



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO**

Estudo de reuso e reciclagem de água de lavagem de filtro rápido de estação de tratamento de água, em sistema de ciclo fechado, independente

José Roberto Bezerra dos Reis

**Campinas
2009**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

José Roberto Bezerra dos Reis

**Estudo de reuso e reciclagem de água de lavagem de filtro rápido
de estação de tratamento de água, em sistema de ciclo fechado,
independente**

Dissertação apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Concentração de Saneamento e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Ruben Bresaola Júnior

**Campinas
2009**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

R277e Reis, José Roberto Bezerra dos
Estudo de reuso e reciclagem de água de lavagem de
filtro rápido de estação de tratamento de água, em
sistema de ciclo fechado, independente / José Roberto
Bezerra dos Reis. --Campinas, SP: [s.n.], 2009.

Orientador: Ruben Bresaola Júnior.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo.

1. Água - Estações de tratamento. 2. Água -
Reutilização. 3. Águas residuais. I. Bresaola Júnior,
Ruben. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Study of reuse and recycling of rapid filter backwash water
from water treatment plant in independent closed cycle system

Palavras-chave em Inglês: Water treatment plant, Reuse of water, Sewage

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Ricardo de Lima Isaac, Luiz Antônio Daniel

Data da defesa: 11/09/2009

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

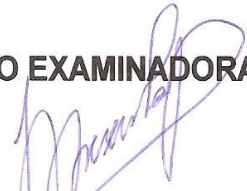
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

José Roberto Bezerra dos Reis

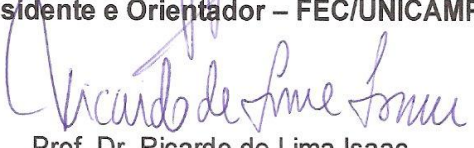
**Estudo de reuso e reciclagem de água de lavagem de filtro
rápido de estação de tratamento de água, em sistema de
ciclo fechado, independente.**

Dissertação apresentada à Comissão de Pós-Graduação Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Saneamento e Ambiente.

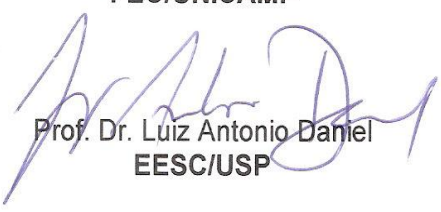
COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. Ruben Bresaola Júnior
Presidente e Orientador – FEC/UNICAMP



Prof. Dr. Ricardo de Lima Isaac
FEC/UNICAMP



Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel
EESC/USP

Campinas, 11 de setembro de 2009.

Dedicatória

Aos meus pais, Heitor Bezerra dos Reis e Vitória Piai dos Reis, *in memoriam*, responsáveis pela minha orientação e formação moral.

À minha esposa Fátma, pelo companheirismo, carinho e incentivo.

Aos meus filhos Fábio e Fernando, razão maior da minha existência.

Agradecimento

Meus agradecimentos a todos que de certa forma me auxiliaram, direta ou indiretamente, na realização deste trabalho, em especial:

Ao Prof. Dr. Ruben Bresaola Júnior, pela confiança, orientação, incentivo, amizade e extrema paciência durante todo o percurso desta caminhada.

Aos professores da Faculdade de Engenharia Civil/UNICAMP, Dr. Bruno Coraucci Filho, Dr. Carlos Gomes da Nave Mendes, Dr. Ricardo de Lima Isaac, Dr. José Roberto Guimarães, Dr. Roberto Feijó, Dr. Edson Aparecido Abdul Nour, Dr^a. Eglé Novaes Teixeira, pelos preciosos ensinamentos.

Aos funcionários da Faculdade de Engenharia Civil/UNICAMP, Paula, Noêmia, Carlos, pela cortezia no trato e atendimento.

Aos meus familiares Will, Jamile e Victor, pela atenção, carinho e calor humano com que sempre me receberam na cidade de Campinas.

Ao engenheiro José Everaldo T. Vanzo, incansável incentivador das pessoas para a busca do saber.

Aos amigos engenheiros: João G. Areias, Rui Engrácia G. Caluz, José P. Zamarioli, Joel C. Alves, Orlando C. Antunes, Luciano Reami, José C. Kochi, Valter Sampaio, Mônica B. C. Freitas e ao químico Rui C. Bueno, pela solidariedade prestada.

Aos colaboradores da ETA/Franca: Joaquim S. Ribeiro, Odir N. Garcia, Adriano H. Carrijo, A. Celso N. Dias, Luiz M. Souza, Carlos H. O. Souto, Agnaldo D. Tomé,

Aliscar A. Faria, Cássio V. Veiga, Antonio C. O. Rossi, Antonio C. Souza, Gutemberg T. Mello, Antonio M. A. Sasaki e Luiz A. Ferreira, prestativos sempre que solicitados.

Aos colaboradores dos laboratórios, Luís A. Salomão, André L. Bagatim, Márcia A. Bortoliero, Luiza P. C. B. B. Peixoto, Nassif Abrão, Elaine Abrão, Paulo V. Albano, Remilde R. Silva, Santana T. Fazzo e Lílian K. S. Leite pela atenção com que me atenderam.

Àqueles que me auxiliaram na montagem do experimento, Luiz C. J. Ferreira, Reinaldo Bastianini, Luís Alvino, Ricardo F. Sousa, Luís F. Lino Alves, Washington L. M. Bianco, José C. Francisco e Vicente Fradique.

Ao Dr. João B. Comparini, em nome de quem, agradeço à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, que me possibilitou a realização deste trabalho.

A disseminação da educação e do conhecimento está entre as mais dignificantes atividades do ser humano, pois é ferramenta essencial para a construção de uma sociedade mais justa, digna e igualitária.

José Roberto Bezerra dos Reis

Resumo

REIS, José Roberto B. dos. **Estudo de reuso e reciclagem de água de lavagem de filtro rápido de estação de tratamento de água, em sistema de ciclo fechado, independente.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP, 2009. 228 p. Dissertação (Mestrado). – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2009.

O projeto foi desenvolvido visando estudar o tratamento e o reuso da água de lavagem de filtro para reciclagem nesta função, dentro de um circuito fechado, em sistema independente das atividades de produção de uma estação de tratamento de água de abastecimento. O sistema foi dotado de unidade de mistura de polímero, pré-filtro de pedregulho e filtro de dupla camada (F3), semelhante aos usados na estação de tratamento de água. O pré-filtro foi retirado do sistema porque não forneceu a eficiência esperada. Com esta disposição foi monitorado o número de vezes que a água obtida poderia ser reutilizada sem influir na qualidade da água de início de filtração do filtro piloto F1, o que mostrou ser maior ou igual cinco vezes. A perda da água de lavagem no sistema foi de 0,13%, bastante significativo perante os valores costumeiros de 2 a 5%. O sistema operou sempre com partículas floculentas, nunca com partículas coloidais.

Palavras Chave: estação de tratamento de água; reciclagem da água de lavagem de filtro; resíduo de estação de tratamento de água, redução de perda.

Abstract

REIS, José Roberto B. **Study of reuse and recycling of rapid filter backwash water from water treatment plant in independent closed cycle system.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP, 2009. 228 p. Dissertação (Mestrado).

The project was developed with the aim of studying the treatment and the reuse of rapid filter backwash water for recycling in this role, within a closed cycle, under system independent of production activities of a water treatment plant. The system was assembled with a polymer blending unit, a gravel preliminary upflow filter and a dual layer filter(F3), similar to those used in the water treatment plant. The pre-filter was withdrawn because it did not provided the expected efficiency. With this provision, it was monitored the number of times that water obtained could be reused without affecting the quality of water filtration top of the filter F1 which proved to be greater or equal to five times. The loss of filter backwash water in the system was 0,13%, quite significant when compared to the usual 2 to 5%. The system always worked with flocculent particles, not with colloidal particles.

Key Words: water treatment plant; filter backwash water recycling; water treatment plant waste; loss reduction.

Lista de Figuras

Figura 3.1 – Representação esquemática de uma partícula de argila.....	38
Figura 3.2 – Distribuição de tamanhos das partículas na água.....	38
Figura 3.3 – Configuração esquemática da Dupla Camada Elétrica.....	40
Figura 3.4 – Valores de gradiente de velocidade ótimo em função do tempo de floculação.....	45
Figura 3.5 – Configuração esquemática de polímeros adsorvidos na superfície de partículas coloidais..	47
Figura 3.6 – Possibilidade de interações repulsivas decorrentes de polímeros adsorvidos na superfície de partículas coloidais.....	48
Figura 3.7 – Representação esquemática da desestabilização de colóides por polímeros.	49
Figura 3.8 – Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano..	50
Figura 3.9 – Processos e operações unitárias componentes de uma ETA de ciclo completo..	51
Figura 3.10 – Etapa inicial da filtração rápida e a influência da lavagem na qualidade do efluente..	53
Figura 3.11 – Variação da concentração de sólidos suspensos totais nas amostras da água de lavagem de filtro, coletadas em intervalos de 30 s.....	59
Figura 4.1 – Planta esquemática da Estação de Tratamento de Água com a localização da instalação piloto (sem escala).	64
Figura 4.2 – Corte 1-1 esquemático da ETA com indicação do local da instalação do experimento piloto - J.	65
Figura 4.3 – Etapas componentes do estudo experimental.	65
Figura 4.4 – Esquema geral da instalação piloto – Primeira e Segunda Etapas.	66
Figura 4.5 – Fotografias das unidades componentes dos filtros F1, F2 e F3: (a) Segmentos flangeados dos filtros F1 e F2; (b) Segmentos flangeados componentes do filtro F3; (c) Placa perfurada e flangeada usada no F1 e F2; (d) Placa flangeada e perfurada do F3.	67
Figura 4.6 – Esquema dos componentes formadores dos filtros.	68

Figura 4.7 – (a) Vista de uma tomada piezométrica e de um visor transparente de acrílico, através do qual, é possível ver o topo da camada de antracito do filtro F1; (b) Visor de acrílico e tomada piezométrica – F2.	68
Figura 4.8 – Corte esquemático do filtro F1 com a disposição das camadas dos meios filtrantes, espessuras, localização dos pontos de tomada de pressões (piezômetros-PZ _{ij}) e sensor de nível SN1.	69
Figura 4.9 – Corte esquemático do pré-filtro de pedregulho F2, mostrando a disposição das camadas de pedregulho, espessuras, granulometrias e localização dos pontos de tomada de pressão (piezômetros-PZ _{ij}).	70
Figura 4.10 – Corte esquemático do filtro F3 com a disposição das camadas do meio filtrante, espessuras e localização dos pontos de tomada de pressões (piezômetros-PZ _{ij}) e sensor de nível SN2.	71
Figura 4.11 – Corte transversal esquemático do reservatório R1 com o agitador mecânico - Etapas 1 e 2.	72
Figura 4.12 – Fotografias dos reservatórios (a) – R1 e (b) – R2 com as mangueiras e os respectivos níveis expressos nas paredes externas.	73
Figura 4.13 – Fotografias (a) e (b) dos conjuntos eletrobombas B1 e B2,respectivamente.	74
Figura 4.14 – Esquema do sensor de nível SN1, para controle dos níveis máximo e mínimo da água decantada da ETA, afluenta ao filtro F1.	75
Figura 4.15 – Fotografias: (a) Sensor de Nível SN1; (b) Sensor de Nível SN2; (c) Válvula Solenóide VS e (d) Quadro Elétrico de Comando (QEC), do sistema.	76
Figura 4.16 – Fotografias: (a) Quadro de Piezômetros do filtro F3; (b) Quadro de Piezômetros do filtro F1 e (c) Rotâmetro Rt4,Válvula de Retenção VR2 e o conjunto eletrobomba B3.	77
Figura 4.17 – Fotografias: (a) Tomadas de água decantada da ETA, afluenta ao filtro F1 e para lavagem do pré-filtro de pedregulho F2; (b) Vista geral do sistema instalado e (c) Vista parcial do F1, QEC, R1 e tubos de descargas de águas de lavagem dos filtros F1 e F3 no reservatório R1.	78
Figura 4.18 – Esquema da Derivação.	83
Figura 4.19 – Corte esquemático do R1 com as paredes internas inclinadas em relação ao plano de fundo, também modificado.	89
Figura 4.20 – Fotografia do interior do reservatório R1, onde foram identificados as singularidades A, B, C, D, E, F e G.	90
Figura 4.21 – Esquema da instalação piloto – Terceira Etapa.	91
Figura 5.1 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F1. Carreira do Filtro F1 - Segunda Etapa. Taxa de 321 m ³ /m ² .dia.	103
Figura 5.2 – Variação da Turbidez do afluenta (Am 1) e efluente (Am 2), do filtro F1, ao longo do tempo de Carreira do F1 - Segunda Etapa. Taxa de 321 m ³ /m ² .dia.	104

Figura 5.3 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F2 pré filtro de pedregulho. Ensaio A - Segunda Etapa. Taxa de 53 m ³ /m ² .dia.	105
Figura 5.4 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F3. Ensaio A - Segunda Etapa. Taxa de 196 m ³ /m ² .dia.	105
Figura 5.5 – Turbidez do afluente (Am 3) e do efluente (Am 4) do filtro F2 e do efluente (Am 5) do filtro F3, ao longo do tempo. Ensaio A - Segunda Etapa. Taxas de 53 m ³ /m ² .dia no F2 e 196 m ³ /m ² .dia no F3.	106
Figura 5.6 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F2. Ensaio B - Segunda Etapa. Taxa de 71 m ³ /m ² .dia.	109
Figura 5.7 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F3. Ensaio B - Segunda Etapa. Taxa de 261 m ³ /m ² .dia.	110
Figura 5.8 – Turbidez do afluente (Am 3) e do efluente (Am 4) do filtro F2 e do efluente (Am 5) do filtro F3, ao longo do tempo. Ensaio B - Segunda Etapa. Taxas de 71 m ³ /m ² .dia no F2 e 261 m ³ /m ² .dia no F3.	110
Figura 5.9 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F2. Ensaio C - Segunda Etapa. Taxa de 50 m ³ /m ² .dia.	113
Figura 5.10 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F3. Ensaio C - Segunda Etapa. Taxa de 183 m ³ /m ² .dia.	114
Figura 5.11 – Turbidez do afluente (Am 3) e do efluente (Am 4) do filtro F2 e do efluente (Am 5) do filtro F3, ao longo do tempo. Ensaio C - Segunda Etapa. Taxas de 50 m ³ /m ² .dia no F2 e 183 m ³ /m ² .dia no F3.	114
Figura 5.12 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F2. Ensaio D - Segunda Etapa. Taxa de 89 m ³ /m ² .dia.	117
Figura 5.13 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F3. Ensaio D - Segunda Etapa. Taxa de 326,5 m ³ /m ² .dia.	118
Figura 5.14 – Turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4), do filtro F2 e do efluente (Am 5) do filtro F3, ao longo do tempo. Ensaio D - Segunda Etapa. Taxas de 89 m ³ /m ² .dia para o filtro F2 e 326,5 m ³ /m ² .dia para o filtro F3.	119
Figura 5.15 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F2. Ensaio D1 - Segunda Etapa. Taxa de 89 m ³ /m ² .dia.	121
Figura 5.16 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F3. Ensaio D1 - Segunda Etapa. Taxa de 326,5 m ³ /m ² .dia.	122
Figura 5.17 – Turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4), do filtro F2 e do efluente (Am 5) do filtro F3, ao longo do tempo. Ensaio D1 - Segunda Etapa. Taxas de 89 m ³ /m ² .dia para o filtro F2 e 326,5 m ³ /m ² .dia para o filtro F3.	123
Figura 5.18 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F2. Ensaio D2 - Segunda Etapa. Taxa de 89 m ³ /m ² .dia.	125
Figura 5.19 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F3. Ensaio D2 - Segunda Etapa. Taxa de 326,5 m ³ /m ² .dia.	126

Figura 5.20 – Turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4), do filtro F2 e do efluente (Am 5) do filtro F3, ao longo do tempo. Ensaio D2 - Segunda Etapa. Taxas de 89 m ³ /m ² .dia para o filtro F2 e 326,5 m ³ /m ² .dia para o filtro F3.	126
Figura 5.21 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F3. Ensaio D3 - Terceira Etapa. Taxa de 261 m ³ /m ² .dia.	131
Figura 5.22 – Turbidez do afluente (Am 1) do F1, do afluente (Am 3) do filtro F3 e do efluente (Am5) do F3. Ensaio D3 - Terceira Etapa. Taxa de 261 m ³ /m ² .dia.	132
Figura 5.23 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F3. Ensaio D4 - Terceira Etapa. Taxa de 277,6 m ³ /m ² .dia.	135
Figura 5.24 – Turbidez do afluente ao F3 (Am 3) e do efluente do F3 (Am5). Ensaio D4 - Terceira Etapa. Taxa de 277,6 m ³ /m ² .dia.	135
Figura 5.25 – Fotografias de algumas operações desenvolvidas durante os Ensaios D5 à D19 – Terceira Etapa.	160
Figura 5.26 – Curvas do teor de sólidos sedimentáveis (ml/L) em função do tempo em Cone Imhoff da primeira e segunda coleta de amostras do lodo gerado nos ensaios da primeira fase – Terceira Etapa.	162
Figura 5.27 – Curva do teor de sólidos sedimentáveis (ml/L) em função do tempo em Cone Imhoff. Primeira coleta de amostra do lodo em 02/10/2007 - Segunda Fase – Terceira Etapa.	162
Figura 5.28 – Curvas do teor de sólidos sedimentáveis (ml/L) em função do tempo em Cone Imhoff. Primeira e segunda coleta de amostras do lodo em 13/05/2008 e 15/05/2008 - Terceira Fase – Terceira Etapa.	163

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Classificação das águas com relação ao teor de carbonato de cálcio (dureza total).	35
Tabela 3.2 – Argilas comumente encontradas e suas fórmulas químicas.....	37
Tabela 3.3 – Valores máximos dos parâmetros de qualidade da água bruta para o emprego da dupla filtração e parâmetros de projeto..	57
Tabela 3.4 – Características de águas de lavagens de filtros de ETAs (Coagulante primário: ETAs 1 e 2 – cloreto férrico; ETAs 3 e 4 – sulfato de alumínio)	60
Tabela 3.5 – Características do sistema de lavagem, método de filtração e coagulantes primários usados nas ETAs da tabela 3.4	61
Tabela 3.6 – Caracterização da água bruta, da água de lavagem do filtro e dos sobrenadantes obtidos nos ensaios de sedimentação em coluna (após 24 min. de sedimentação)	62
Tabela 4.1 – Valores de alguns parâmetros da água bruta de Franca – Ano 2009. ..	64
Tabela 4.2 – Características dos conjuntos eletrobombas montados no experimento..	73
Tabela 4.3 – Características do antracito e areia utilizados nos filtros da ETA - Franca.	78
Tabela 4.4 – Características dos meios granulares utilizados na camada suporte dos filtros da ETA - Franca.	78
Tabela 4.5 – Características do meio filtrante do Pré-Filtro de Pedregulho – F2.....	79
Tabela 4.6 – Valores de taxas de filtração, velocidades de filtração e respectivas vazões utilizadas nos reatores durante o experimento.	79
Tabela 4.7 – Características dos polímeros utilizados durante o experimento.	80
Tabela 4.8 – Operações desenvolvidas nos ensaios da segunda etapa.....	81
Tabela 4.9 – Amostras colhidas durante os ensaios da segunda etapa – Controle da turbidez.	84
Tabela 4.10 – Amostras colhidas durante os ensaios da terceira etapa – Controle da turbidez.....	93
Tabela 4.11 – Ensaios da Primeira Fase	96

Tabela 4.12 – Ensaio da Segunda Fase	96
Tabela 4.13 – Ensaio da Terceira Fase	96
Tabela 5.1 – Valores dos parâmetros operacionais, relativos aos ensaios realizados na Segunda Etapa.	129
Tabela 5.2 – Alguns parâmetros operacionais dos Ensaio D5 à D19; primeira, segunda e terceira fases – Terceira etapa do experimento.	168
Tabela A1 – Carreira do Filtro F1: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F1, ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 321 m ³ /m ² .dia e medidas de turbidez do afluente (Am 1) e efluente (Am 2).	182
Tabela A2 – Ensaio A: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3 do leito filtrante do filtro F2, ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 50 m ³ /m ² .dia e medidas de turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4).	185
Tabela A3 – Ensaio A: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F3 ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 183 m ³ /m ² .dia e medidas de turbidez do efluente (Am 5).	186
Tabela A4 – Ensaio B: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3 do leito filtrante do filtro F2, ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 71 m ³ /m ² .dia e medidas de turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4).	187
Tabela A5 – Ensaio B: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F3 ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 261 m ³ /m ² .dia e medidas de turbidez do efluente (Am 5).	188
Tabela A6 – Ensaio C: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3 do leito filtrante do filtro F2, ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 50 m ³ /m ² .dia e medidas de turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4).	189
Tabela A7 – Ensaio C: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F3 ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 180 m ³ /m ² .dia e medidas de turbidez do efluente (Am 5).	190
Tabela A8 – Ensaio D: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3 do leito filtrante do filtro F2, ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 89 m ³ /m ² .dia e medidas de turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4).	191
Tabela A9 – Ensaio D: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F3 ao longo do tempo na Segunda	

Etapa. Taxa de filtração de 326,5 m ³ /m ² .dia e medidas de turbidez do efluente (Am 5).....	192
Tabela A10 – Ensaio D1: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3 do leito filtrante do filtro F2, ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 89 m ³ /m ² .dia e medidas de turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4).....	193
Tabela A11 – Ensaio D1: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F3 ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 326,5 m ³ /m ² .dia e medidas de turbidez do efluente (Am 5).....	194
Tabela A12 – Ensaio D2: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3 do leito filtrante do filtro F2, ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 89 m ³ /m ² .dia e medidas de turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4).....	195
Tabela A13 – Ensaio D2: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F3 ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 326,5 m ³ /m ² .dia e medidas de turbidez do efluente (Am 5).....	196
Tabela A14 – Ensaio D3: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F3 ao longo do tempo na Terceira Etapa. Taxa de filtração de 261 m ³ /m ² .dia e medidas de turbidez do afluente ao F1, água decantada da estação (Am 1); afluente ao F3, água clarificada do R1 (Am 3) e efluente do F3 (Am 5).	197
Tabela A15 – Ensaio D4: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F3 ao longo do tempo na Terceira Etapa. Taxa de filtração de 277,6 m ³ /m ² .dia e medidas de turbidez do afluente ao F1, água decantada da estação (Am1); afluente ao F3, água clarificada do R1 (Am 3) e efluente do F3 (Am 5).	198
Tabela A16 – Resultados de análises das amostras coletadas da água filtrada pelo filtro F1, após início do seu funcionamento, nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos. Primeira Fase – Ensaio D5 à D9-Terceira Etapa.	199
Tabela A17 – Resultados de análises das amostras coletadas da água filtrada pelo filtro F1, após início do seu funcionamento, nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos. Segunda Fase – Ensaio D10 à D14-Terceira Etapa.	200
Tabela A18 – Resultados de análises das amostras coletadas da água filtrada pelo filtro F1, após início do seu funcionamento, nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos. Terceira Fase – Ensaio D15 à D19-Terceira Etapa.	201
Tabela A19 – Resultados de análises das amostras Am6 e Am7 – Ensaio D15 à D19 – Terceira Fase – Terceira Etapa.	202
Tabela A20 – Ensaio D5 da Primeira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2),	

- do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio. 203
- Tabela A21 – Ensaio D6 da Primeira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio. 204
- Tabela A22 – Ensaio D7 da Primeira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio. 205
- Tabela A23 – Ensaio D8 da Primeira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio. 206
- Tabela A24 – Ensaio D9 da Primeira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio. 207
- Tabela A25 – Ensaio D10 da Segunda Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio. 208
- Tabela A26 – Ensaio D11 da Segunda Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio. 209
- Tabela A27 – Ensaio D12 da Segunda Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio. 210
- Tabela A28 – Ensaio D13 da Segunda Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio. 211
- Tabela A29 – Ensaio D14 da Segunda Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio. 212
- Tabela A30 – Ensaio D15 da Terceira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio. 213

Tabela A31 – Ensaio D16 da Terceira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio.	214
Tabela A32 – Ensaio D17 da Terceira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio.	215
Tabela A33 – Ensaio D18 da Terceira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio.	216
Tabela A34 – Ensaio D19 da Terceira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio.	217
Tabela A35 – Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, respectivamente, do leito filtrante do filtro piloto F1, durante a carreira deste filtro, no ensaio D10 – Segunda Fase – 01/10/2007 à 05/10/2007. Medidas de turbidez do afluente ao F1, água decantada da ETA (Am 1), do efluente do F1 (Am2) e vazões do efluente filtrado. ...	218
Tabela A36 – Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, respectivamente, do leito filtrante do filtro piloto F1, durante a carreira deste filtro, no ensaio D15 – Terceira Fase – 12/05/2008 à 16/05/2008. Medidas de turbidez do afluente ao F1, água decantada da ETA (Am 1), efluente do F1 (Am2) e vazões do efluente filtrado.	219
Tabela A37 – Teor de sólidos sedimentáveis em cone Imhoff, utilizando lodo da primeira descarga de fundo do R1, relativo aos ensaios D5 e D6 da primeira semana – 25/09/2007. Terceira Etapa.	220
Tabela A38 – Teor de sólidos sedimentáveis em cone Imhoff, utilizando lodo da segunda descarga de fundo do R1, relativos aos ensaios D7 e D8 da primeira semana – 27/09/2007. Terceira Etapa.	221
Tabela A39 – Teor de sólidos sedimentáveis em cone Imhoff, utilizando lodo da primeira descarga de fundo do R1, relativos aos ensaios D10 e D11 da segunda semana – 02/10/2007. Terceira Etapa.	222
Tabela A40 – Teor de sólidos sedimentáveis em cone Imhoff, utilizando lodo da primeira descarga de fundo do R1, relativos aos ensaios D15 e D16 da terceira semana – 13/05/2008. Terceira Etapa.	223
Tabela A41 – Teor de sólidos sedimentáveis em cone Imhoff, utilizando lodo da segunda descarga de fundo do R1, relativos aos ensaios D17 e D18 da terceira semana – 15/05/2008. Terceira Etapa.	224

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	→	área
Am	→	amostra
AWWA	→	American Water Works Association
bar	→	unidade de pressão
B ₁	→	conjunto eletrobomba 1
B ₂	→	conjunto eletrobomba 2
B ₃	→	conjunto eletrobomba 3
B ₄	→	conjunto eletrobomba 4
°C	→	grau Celsius
CETESB	→	Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental
CMB	→	conjunto motor-bomba
cm	→	centímetro
DEFOFO	→	PVC rígido DEFOFO
Eng ^o .	→	engenheiro
Eq.	→	equação
ETA	→	estação de tratamento de água
ETE	→	estação de tratamento de esgoto
F1	→	filtro 1
F2	→	filtro 2
F3	→	filtro 3
FDA	→	filtração direta ascendente

FDD	→	filtração direta descendente
Fig.	→	figura
h	→	hora
hab.	→	habitante
kW	→	quilowatt
L	→	litro
LPM	→	litro por minuto
m	→	metro
m ²	→	metro quadrado
m ³	→	metro cúbico
m.c.a	→	metro de coluna de água
mg	→	miligrama
ml	→	mililitro
μ	→	viscosidade da água
μm	→	micrômetro ou micron
min.	→	minuto
mV	→	milivolt
mm	→	milímetro
n.d.	→	não detectável
NaOH	→	hidróxido de sódio
OMS	→	Organização Mundial da Saúde
p.	→	página
PAD	→	Polietileno de Alta Densidade
ppm	→	parte por milhão
PROSAB	→	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
pH	→	potencial hidrogeniônico da água
“	→	polegada
PVC	→	policloreto de vinilo

PZ	→	potencial zeta
Pzij	→	piezômetro localizado na interface inferior da Camada j, do reator i
QEC	→	quadro elétrico de comando
Q	→	vazão
RMSP	→	Região Metropolitana de São Paulo
R1	→	reservatório de água de lavagem de filtro
R2	→	reservatório de água filtrada
r.p.m.	→	rotação por minuto
Rt	→	rotâmetro
s	→	segundo
SABESP	→	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
STD	→	sólidos totais dissolvidos
T	→	taxa
Tab.	→	tabela
Tb	→	tempo de deslocamento da terceira fração de água remanescente da lavagem de filtro
T.D.	→	tempo de detenção
THM	→	trialometano
Tm	→	tempo de deslocamento da segunda fração de água remanescente da lavagem de filtros
Tu	→	tempo de deslocamento da primeira fração de água remanescente da lavagem de filtro
uH	→	unidade Hazen - padrão de platina cobalto
uT	→	unidade de turbidez
v.	→	volume
VMP	→	valor máximo permitido
W	→	Watt

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
2	OBJETIVOS	29
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
3.1	Características Físicas e Organolépticas da Água	32
3.1.1	Turbidez	32
3.1.2	Cor Verdadeira e Cor Aparente	32
3.1.3	Temperatura	33
3.1.4	Condutividade Elétrica	33
3.1.5	Sabor e Odor	33
3.2	Características Químicas da Água	34
3.2.1	pH	34
3.2.2	Dureza	34
3.2.3	Alcalinidade e Acidez	35
3.2.4	Ferro e Manganês.....	36
3.3	Partículas Causadoras de Turbidez.....	36
3.3.1	Partículas Coloidais	38
3.3.2	Classificação e Estabilidade dos Colóides	39
3.4	Coagulação – Floculação	41
3.4.1	Considerações Gerais	41
3.4.2	Coagulação	42
3.4.2.1	Mecanismos de Coagulação.....	44
3.4.3	Floculação	44
3.4.4	Uso de Polímeros como Auxiliares	46
3.5	Tratamento de Águas de Abastecimento com Coagulação Química.	49

3.6	Perdas de Água em Estação de Tratamento de Água de Ciclo Completo	50
3.7	Recirculação da Água de Lavagem dos Filtros	53
3.8	Dupla Filtração.....	55
3.8.1	Pré-filtro de Pedregulho de Fluxo Vertical Ascendente	57
3.8.2	Limpeza do Filtro Ascendente de Pedregulho	58
3.9	Caracterização da Água de Lavagem de Filtros Descendentes	59
4	MATERIAL E MÉTODOS	63
4.1	Descrição do Sistema Piloto.....	67
4.2	Características do meio filtrante	78
4.3	Taxas de Filtração	79
4.4	Polímeros Químicos Utilizados na Refloculação de lavagem e Adensamento do Lodo	80
4.5	Etapas do Experimento	81
4.5.1	Primeira Etapa	81
4.5.2	Segunda Etapa.....	81
4.5.2.1	Considerações Gerais.....	81
4.5.2.2	Coleta de Amostras.	84
4.5.2.3	Variáveis de Controle.	84
4.5.2.4	Procedimentos Operacionais.	85
4.5.3	Terceira Etapa.....	88
4.5.3.1	Considerações Gerais.....	88
4.5.3.2	Coleta de Amostras – Terceira Etapa	93
4.5.3.3	Variáveis de Controle	95
4.5.3.4	Procedimentos Operacionais – Terceira Etapa	96
5	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	99
5.1	Primeira Etapa	100
5.2	Segunda Etapa.....	100
5.2.1	Resultados do Ensaio A – Sem Aplicação de Polímero na Água de Lavagem do Filtro F1	101
5.2.1.1	Discussão dos Resultados Obtidos no Ensaio A – Segunda Etapa	106

5.2.2	Resultados do Ensaio B – Aplicação de Polímero Não Iônico na Água de Lavagem do Filtro F1.	108
5.2.2.1	Discussão dos Resultados Obtidos no Ensaio B – Segunda Etapa	111
5.2.3	Resultados do Ensaio C – Aplicação de Polímero Não Iônico na Água de Lavagem do filtro F1, Mantida sob Agitação Durante o Recalque para a Dupla Filtração.	112
5.2.3.1	Discussão dos Resultados Obtidos no Ensaio C – Segunda Etapa....	114
5.2.4	Resultados do Ensaio D – Aplicação de Polímero Catiônico na Água de Lavagem Oriunda do Filtro F1.	116
5.2.4.1	Discussão dos Resultados Obtidos no Ensaio D – Segunda Etapa....	119
5.2.5	Resultados do Ensaio D1 – Aplicação de Polímero Catiônico na Água de Lavagem Oriunda do Filtro F1, Depois de Duas Operações de Lavagens Consecutivas.	120
5.2.5.1	Discussão dos Resultados Obtidos no Ensaio D1 – Segunda Etapa..	123
5.2.6	Resultados do Ensaio D2 – Aplicação de Polímero Catiônico na Água de Lavagem Oriunda do Filtro F1	124
5.2.6.1	Discussão dos Resultados Obtidos no Ensaio D2 – Segunda Etapa..	127
5.3	Terceira Etapa	130
5.3.1	Resultados do Ensaio D3 – Aplicação de Polímero Catiônico na Água de Lavagem do Filtro F1.	130
5.3.1.1	Discussão dos Resultados Obtidos no Ensaio D3 – Terceira Etapa ...	132
5.3.2	Resultados do Ensaio D4 – Aplicação de Polímero Catiônico, uma Única Vez, no Primeiro Volume de Água de Lavagem do Filtro F1, Lavado por Duas Vezes.	133
5.3.2.1	Discussão dos Resultados Obtidos no Ensaio D4 – Terceira Etapa ...	136
5.3.3	Resultados dos Ensaio da Primeira Fase – D5 à D9 – Terceira Etapa	136
5.3.3.1	Discussão dos Resultados Obtidos Durante os Ensaio D5 à D9 da Primeira Fase – Terceira Etapa – 24 à 28/09/2007	142
5.3.4	Resultados dos Ensaio da Segunda Fase – D10 à D14 – Terceira Etapa	145
5.3.4.1	Discussão dos Resultados Obtidos Durante os Ensaio D10 à D14 da Segunda Fase – Terceira Etapa – 01/10/2007 à 05/10/2007	149
5.3.5	Resultados dos Ensaio da Terceira Fase – D15 à D19 –Terceira Etapa	151

5.3.5.1	Discussão dos Resultados Obtidos Durante os Ensaios D15 à D19 da Terceira Fase – Terceira Etapa	155
5.3.6	Resultados dos Ensaios em Cone Imhoff e Respectivas Curvas do Teor de Sólidos Sedimentáveis em Função do Tempo, das Amostras Coletadas do Lodo Descartado nos Ensaios da Primeira, Segunda e Terceira Fases – Terceira Etapa	161
5.3.6.1	Discussão dos Resultados dos Ensaios em Cone Imhoff, das Amostras de Lodo da Primeira e Segunda Coletas, nos Ensaios da Primeira Fase – Terceira Etapa	163
5.3.6.2	Discussão dos Resultados dos Ensaios em Cone Imhoff, das amostras de Lodo da Primeira e Segunda Coletas nos Ensaios da Segunda Fase – Terceira Etapa	164
5.3.6.3	Discussão dos Resultados dos Ensaios em Cone Imhoff das Amostras de Lodo da Primeira e Segunda Coletas nos Ensaios da Terceira Fase – Terceira Etapa	164
5.3.7	Índice de Perda, Relativo à Quantidade de Água Produzida pelo F1 e à Água Descartada do R1 (Água e Lodo).....	169
6	CONCLUSÕES	171
7	RECOMENDAÇÕES.....	173
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	175
	ANEXO A	181
	ANEXO B	225

1 INTRODUÇÃO

O homem na sua dependência da água tem buscado cada vez mais, através de processos tecnológicos, a qualidade e a quantidade deste bem precioso e essencial à sua vida.

De acordo com TUNDISI (2003), entre outras crises sérias que possam ocorrer, a da água é uma ameaça permanente à vida da humanidade e à sobrevivência da biosfera como um todo. Esta crise tem grande importância e interesse geral, além de colocar em perigo a sobrevivência do componente biológico, incluindo o “Homo sapiens”. Ela impõe dificuldades ao desenvolvimento, a tendência a doenças de veiculação hídrica, produz estresses econômicos e sociais, incrementando as desigualdades entre regiões e países. A água sempre foi recurso estratégico à sociedade. O crescimento populacional e as demandas sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos são algumas das causas fundamentais da crise.

Segundo MARSIGLIA NETTO (2002), a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) apresenta disponibilidade hídrica, “per capita”, de 201 m³/hab/ano, muito baixa quando comparada com a recomendada pela OMS, de 2000 m³/hab/ano. Ainda segundo aquele autor, em 2002, cerca de 50% da população da RMSP era abastecida pelo Sistema Cantareira, que recebe transferência de águas oriundas da bacia do rio Piracicaba.

Com a criação dos Comitês de Bacias Hidrográficas, estas transferências de vazões de uma bacia para outra, serão mais difíceis, pois, gerarão discussões amplas entre Estado, Município e Sociedade Civil.

Diante da ameaça de escassez e das dificuldades para obtenção de novos mananciais exploráveis, busca-se através das tecnologias, formas de utilizações mais racionais e eficientes da água, desde sua captação, adução, passando pelo tratamento, até a distribuição final.

A proposta do presente trabalho foi desenvolver em uma estação de tratamento de água de ciclo completo, investigações sobre a recuperação da água de lavagem de filtros rápidos. Para tal, a água de lavagem era recolhida em um reservatório onde decantava, sem e com aplicação de polímero. Após um tempo de detenção, o clarificado era submetido à dupla filtração, ou não, cujo efluente filtrado, era contido em um outro reservatório, do qual era utilizado para outras operações de lavagens, segundo um circuito fechado.

2 OBJETIVOS

Foram objetivos deste trabalho:

- Estudar a tratabilidade da água oriunda da lavagem de filtros rápidos descendentes de uma ETA em ciclo completo, através de aplicação, ou não, de polímeros, seguido ou não de adensamento gravitacional dos sólidos e dupla filtração do clarificado, de tal modo a produzir água filtrada, para ser utilizada em sucessivas operações de lavagens, reciclando-a portanto;
- Analisar características de qualidades físico-químicas da água filtrada de início de carreira, coletada do filtro piloto F1, após cada operação de lavagem do mesmo com a água de reciclo;
- Verificar a perda de água no processo, associada ao descarte do lodo produzido.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As estações de tratamento de água têm como objetivo tornar a água adequada para o consumo humano, eliminando-lhe impurezas.

Segundo LEINZ & AMARAL (1987), as correntes de água transportam substâncias de várias e diferentes maneiras: a) em solução verdadeira; b) em suspensão; c) em suspensão coloidal; d) por arrastamento ou rolamento e, finalmente, e) por saltos. Citam, ainda, que a água ao percolar pelo solo e pelas rochas, pode dissolver diversas substâncias, que são levadas aos mares ou aos lagos. Anualmente, os rios transportam para os mares, a massa considerável de 2,7 bilhões de toneladas de sais dissolvidos.

A água é um líquido incolor, inodoro, insípido e transparente. É um ótimo solvente e, portanto, nunca é encontrada em estado totalmente puro, contendo várias impurezas, que podem variar de concentração de alguns miligramas por litro, na chuva, a mais de 30.000 mg/L nas águas marinhas (RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991).

ISAAC (1997) cita que, o grau de pureza da água é alterado pela incorporação de componentes durante o seu percurso no Ciclo Hidrológico, ou por receber contribuição de atividades humanas. Estes podem se apresentar em suspensão, estado coloidal e em solução.

As características físicas e químicas da água são importantes na escolha de tecnologia para o seu tratamento. As características químicas, produzidas por sais ou compostos orgânicos, interferem, ou até mesmo inviabilizam, a utilização de determinadas tecnologias de tratamento (DI BERNARDO, 1993 a).

3.1 Características Físicas e Organolépticas da Água

Apesar de as características físicas da água terem importância relativamente pequena do ponto de vista sanitário, elas podem ser determinantes na escolha da tecnologia do tratamento (DI BERNARDO et al, 2002).

São elas: turbidez, cor, temperatura, condutividade elétrica, sabor e odor.

3.1.1 Turbidez

A turbidez é característica física relativa à adsorção, ou refração de luz no meio aquoso, devido a presença de partículas em suspensão e em estado coloidal, as quais podem apresentar ampla faixa de tamanhos. A turbidez pode ser causada principalmente por areia, argila e microrganismos em geral (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

3.1.2 Cor Verdadeira e Cor Aparente

Nas águas naturais, a cor é, também, característica física relativa à adsorção, ou refração de luz no meio aquoso, decorrente da presença de matéria inorgânica e orgânica dissolvida, originada da decomposição de plantas e animais. A remoção da cor obedece normas para atender efeitos estéticos, e também para eliminar ou diminuir a presença de orgânicos dissolvidos. Com a descoberta de que tais substâncias são, potencialmente, precursoras de formação de trihalometanos (THM) e de outros compostos organo-halogenados se a desinfecção for feita com cloro livre, a quantificação da cor passou a ser muito importante (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

A cor aparente é aquela derivada da medida feita na amostra da água em seu estado natural.

Cor verdadeira é feita com o sobrenadante da amostra de água centrifugada por 30 minutos, com rotação de 3.000 rpm, ou de água filtrada em membrana de 0,45 µm (DI BERNARDO et al, 2002).

3.1.3 Temperatura

A variação de temperatura acelera ou retarda reações químicas, reduz ou aumenta a solubilidade dos gases e compostos químicos, acentua ou ameniza sensações de odor e sabor, assim como, interfere no metabolismo de microrganismos. Sua determinação é importante para que sejam bem interpretadas as análises de laboratórios (VON SPERLING, 1996).

3.1.4 Condutividade Elétrica

A condutividade depende da quantidade de sais dissolvidos na água, sendo aproximadamente proporcional à sua quantidade. A determinação da condutividade elétrica permite estimar de modo rápido a quantidade de sólidos totais dissolvidos (STD) presentes na água. Para valores elevados de STD, aumenta a solubilidade dos precipitados de alumínio e de ferro, o que influi na cinética da coagulação. Também é afetada a formação e precipitação de carbonato de cálcio, favorecendo a corrosão (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

3.1.5 Sabor e Odor

Segundo DI BERNARDO & DANTAS (2005 v1), sabor e odor são características de difícil avaliação por serem de sensações subjetivas. Normalmente decorrem de matéria excretada por algumas espécies de algas e de substâncias dissolvidas, como gases, fenóis, clorofenóis e, em alguns casos, do lançamento de despejos nos cursos de água. Para remoção dessas substâncias, geralmente é necessária a aeração, além da aplicação de um oxidante e de carvão ativado para adsorção dos compostos orgânicos responsáveis pelo sabor e odor.

3.2 Características Químicas da Água

Do ponto de vista sanitário, as características químicas das águas são de grande importância, pois a presença de alguns elementos ou compostos químicos na água bruta pode inviabilizar o uso de certas tecnologias de tratamento e exigir tratamentos específicos. Dependendo da forma em que se encontra um metal na água, ele poderá ou não ser removido na estação. O cromo com valência seis, por exemplo, é muito mais difícil de ser removido que o cromo de valência três (DI BERNARDO & DANTAS, 2005 v1).

Das muitas características químicas: pH, alcalinidade e acidez, dureza, cloretos e sulfatos, ferro e manganês, nitratos e nitritos, oxigênio dissolvido e compostos orgânicos, serão feitos alguns comentários relativos ao pH, alcalinidade e acidez, dureza, ferro e manganês.

3.2.1 pH

O pH expressa a acidez de uma solução. É um parâmetro importante, principalmente nas etapas de coagulação, filtração, desinfecção e controle de corrosão. Águas com valores baixos de pH tendem a ser corrosivas ou agressivas a certos metais e paredes de concreto. Águas com valor elevado de pH, tendem a formar incrustações (DI BERNARDO et al, 2002).

3.2.2 Dureza

Segundo DI BERNARDO & DANTAS (2005 v1), dureza é definida como a soma de cátions polivalentes presentes na água e expressa em termos de uma quantidade equivalente de CaCO_3 . Os principais íons metálicos, que conferem dureza à água são o cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+} – quase sempre associado ao íon sulfato) e, em menor grau, o íon ferro (Fe^{2+} – associado ao nitrato), do manganês (Mn^{2+} - associado ao nitrato) e estrôncio (Sr^{2+} – associado ao cloreto). A dureza está associada a

incrustações em sistemas de água quente, podendo causar problemas sérios em aquecedores em geral.

Na maioria dos casos, a dureza é decorrente do cálcio associado ao bicarbonato, o qual se transforma em carbonato (pouco solúvel) por aquecimento ou elevação do pH, tendo-se neste caso a dureza temporária. A dureza decorrente de cátions associados a outros ânions é denominada dureza permanente.

A Tabela 3.1 apresenta uma classificação das águas em relação ao teor de carbonato de cálcio.

TABELA 3.1 – Classificação das águas com relação ao teor de carbonato de cálcio (dureza total).
FONTE: Adaptado de RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991, p. 31

Classificação das Águas	Dureza total (mg CaCO ₃ /L)
Mole (normal)	0 a 50
Moderadamente dura	51 a 150
Duras	151 a 300
Muito duras	> 300

3.2.3 Alcalinidade e Acidez

De acordo com DI BERNARDO & DANTAS (2005), a alcalinidade pode ser entendida como a capacidade da água neutralizar ácidos, e a acidez, como a capacidade de neutralizar bases. A alcalinidade e a acidez de soluções aquosas baseiam-se geralmente, no sistema do ácido carbônico. Em função do pH, tem-se:

pH = 12,3 a 9,4: alcalinidade decorrente de hidróxidos e carbonatos.

pH = 9,4 a 8,3: alcalinidade decorrente de carbonatos e bicarbonatos.

pH = 8,3 a 4,4: alcalinidade decorrente somente de bicarbonatos.

Ainda segundo esses autores, a medida da alcalinidade é usualmente obtida por meio de titulação com ácido padronizado, sendo os resultados expressos em termos de carbonato de cálcio. A não ser que seja devida a hidróxidos, ou que contribua de modo acentuado à

quantidade de sólidos totais, a alcalinidade não tem significado sanitário. A alcalinidade influi consideravelmente na coagulação química, uma vez que os principais coagulantes primários comumente utilizados no Brasil – sulfato de alumínio e cloreto férrico – são doadores de prótons em solução. Assim, se a alcalinidade da água for baixa, a coagulação poderá exigir a adição de alcalinizante para ajuste do pH, mas se a alcalinidade e o pH forem relativamente altos, é provável que a coagulação com sulfato de alumínio apresente problemas.

3.2.4 Ferro e Manganês

Nas águas, geralmente o ferro solúvel está associado a bicarbonatos e cloretos. A presença do ferro não costuma causar problemas ao ser humano, porém, quando oxidado, traz sérios inconvenientes, com formação do precipitado, provocando manchas em sanitários e roupas e favorecendo o crescimento da bactéria *Chrenotrix*. É difícil a ocorrência de sais de ferro com concentração elevada em águas superficiais bem aeradas (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

Segundo DI BERNARDO & DANTAS (2005 v1), o manganês acarreta problemas semelhantes ao do ferro, porém, é mais difícil de ser removido, pois a formação do precipitado (MnO_2) ocorre em valores de pH relativamente altos, em geral, superior a 8, o que pode dificultar a coagulação. Dependendo da sua concentração, o ferro muitas vezes associado ao manganês, confere à água um sabor amargo adstringente.

3.3 Partículas Causadoras de Turbidez

JANSSENS & BUCKENS (1993) afirmam que no tratamento de água para abastecimento, a remoção dos elementos causadores de turbidez, além de melhorar a aparência da água, permite a remoção de vírus, bactérias, cistos, esporos e ovos, permitindo o melhor desempenho do processo de desinfecção. Relatam ainda que substâncias orgânicas adsorvidas nas partículas favorecem o desenvolvimento de bactérias, o que incrementa a demanda de produtos químicos desinfectantes.

As argilas são constituídas essencialmente por partículas cristalinas extremamente pequenas de um número de minerais conhecidos como argilo-minerais. Quimicamente, eles são compostos por silicatos hidratados de alumínio e ferro, possuindo ainda, certo teor de elementos alcalinos e alcalino-terrosos. Além dos argilo-minerais, elas apresentam outros componentes, tais como: matéria orgânica, partículas de quartzo, pirita, mica, calcita e outros minerais residuais, podendo ocorrer também minerais não cristalinos ou amorfos. Na Tabela 3.2 está apresentada a relação de algumas argilas comumente encontradas e suas respectivas fórmulas químicas. (MENDES, 2001).

TABELA 3.2 – Argilas comumente encontradas e suas fórmulas químicas.
FONTE: MENDES (2001)

ARGILA	FÓRMULA QUÍMICA
Caulinita	$Al_4 (Si_4O_{10}) (OH)_8 + Al_4 (Si_4O_6) (OH)_{16}$
Montmorilonita	$Al \{Mg\} (Si_8O_{20}) (OH)_4 \cdot xH_2 (\S)$
Ilita	$K_y Al_4 \{Fe_4 Mg_4 Mg_{16}\} (Si_{8-y} Al_y) O_{20} (\S)$

(§) os elementos entre parênteses podem substituir o elemento colocado a sua esquerda.

Segundo GRIM (1953 e 1968)¹, apud SOUZA SANTOS (1975), o nome “argila” é usado como termo petrográfico para designar uma rocha e, também, como terminologia para caracterizar uma faixa de dimensões de partículas na análise mecânica granulométrica de rochas sedimentares e solos. De maneira geral, o termo argila significa um material de textura terrosa e de baixa granulometria, com grãos de dimensões geralmente inferiores a 5 micrômetros, que desenvolve plasticidade quando misturado com uma quantidade limitada de água.

Segundo DI BERNARDO (1993 a), morfologicamente, as partículas de argila se apresentam sob a forma de plaquetas, compostas de lâminas muito finas, como mostra esquematicamente a Figura 3.1.

¹ GRIM, R. E. – Clay Mineralogy, 1ª ed., Mc Graw – Hill Book, New York, 1953, 2ª ed., 1968.

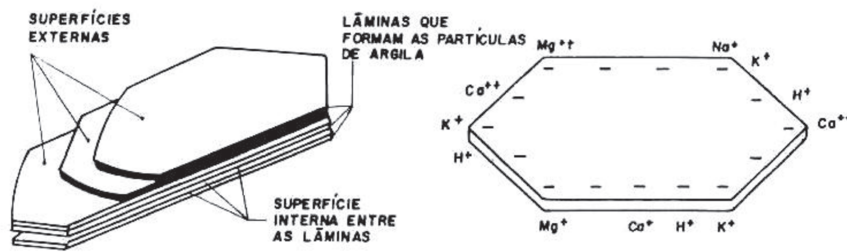


FIGURA 3.1 – Representação esquemática de uma partícula de argila.
 FONTE: ADAPTADO DE DI BERNARDO (1993 A).

3.3.1 Partículas Coloidais

Em um sistema coloidal, as partículas estão finamente divididas e dispersas em um meio contínuo. Elas apresentam uma grande superfície específica, ou seja, uma grande relação entre área superficial e massa (MENDES, 1989).

Um dos resultados mais importantes da superfície específica é a adsorção de íons e outros materiais pelas partículas. Essa adsorção pode levar à acumulação de cargas elétricas nas partículas que as impedem de agruparem-se em grandes agregados (SABESP, 1982).

Na figura 3.2 está disposto, esquematicamente, a distribuição de tamanhos das partículas, moléculas e átomos normalmente presentes nas águas de escoamento superficial.

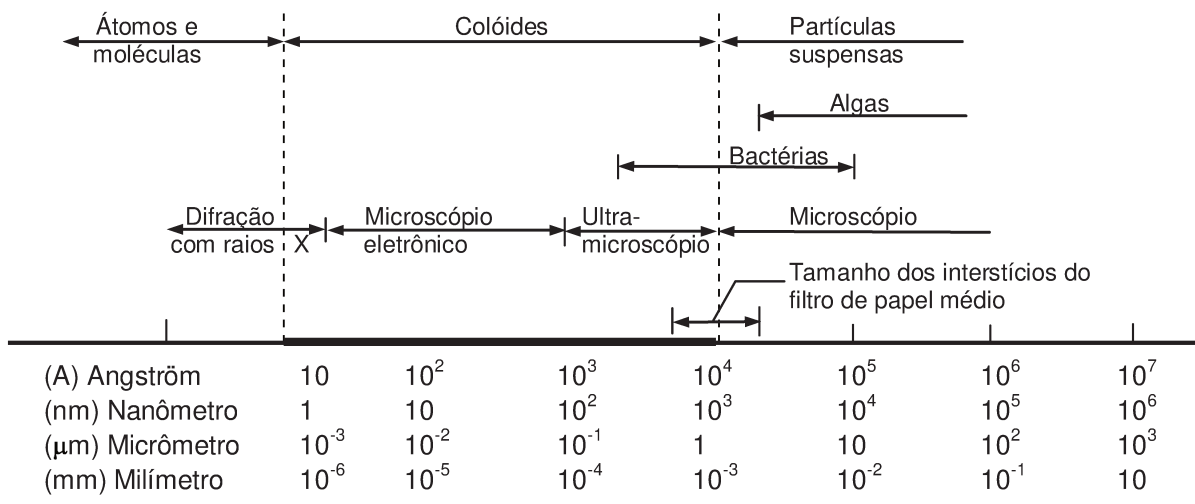


FIGURA 3.2 – Distribuição de tamanhos das partículas na água.
 FONTE: DI BERNARDO *et al*, 2002.

3.3.2 Classificação e Estabilidade dos Colóides

Os sistemas coloidais podem ser classificados em liofóbicos e liofílicos, em função da sua afinidade com a fase dispersante. Liofóbicos, quando há pouca atração com a fase dispersante e liofílicos quando possuem grande afinidade com a fase dispersante. Se a fase dispersante é a água, os liofílicos denominam-se hidrofílicos e os liofóbicos, hidrofóbicos (MENDES, 1989).

Um sistema coloidal cineticamente estável é um sistema irreversível, no qual a coagulação é desprezível. Todavia, um sistema coloidal cineticamente instável é um sistema reversível, no qual a coagulação é significativa (DI BERNARDO, 1993 a). Ainda de acordo com o autor, relativamente às partículas coloidais e moléculas de substâncias húmicas, são duas as formas de estabilidade das mesmas:

- estabilidade eletrostática;
- estabilidade estérica.

Para cada condição de estabilidade, são considerados dois aspectos:

- estrutura da interface sólido-líquido;
- forças entre duas interfaces, quando próximas entre si.

Para sistemas coloidais hidrofílicos, a estabilidade é mantida pelo processo de hidratação, onde as moléculas de água são atraídas para a superfície da partícula, atuando como barreira ao contacto entre partículas (SABESP, 1982).

Na água, a maior parte das partículas e moléculas de substâncias húmicas possui superfície carregada eletricamente, usualmente negativa (DI BERNARDO, 1993 a).

Para sistemas coloidais hidrofóbicos, a estabilidade é conseguida pelo fenómeno da dupla camada, que consiste de uma superfície de partícula carregada

com carga elétrica, e de uma outra camada de íons de carga oposta àquela do núcleo da partícula (SABESP, 1982).

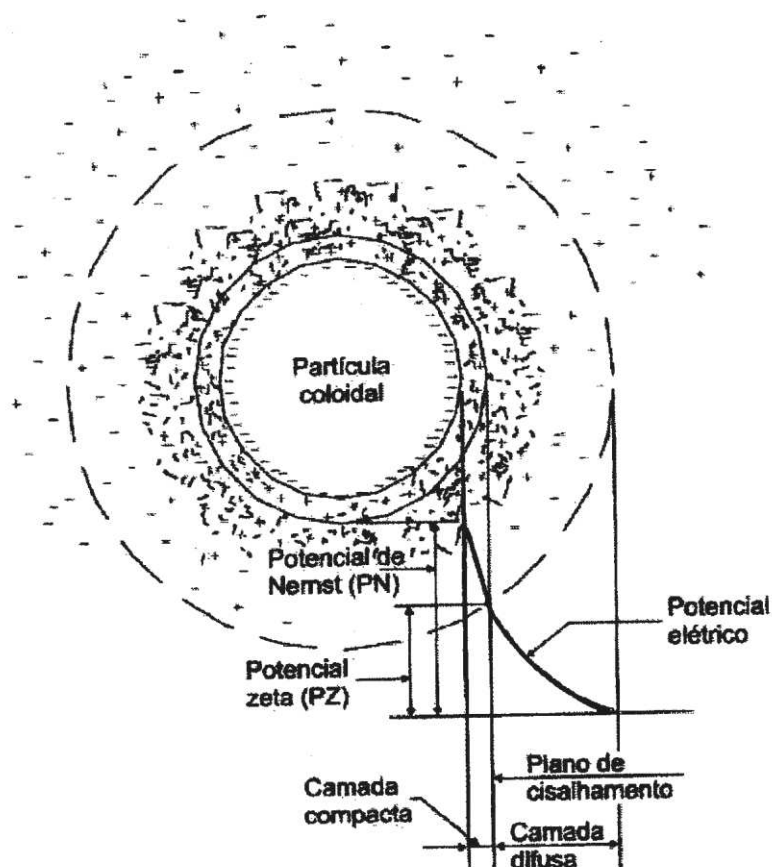


FIGURA 3.3 – Configuração esquemática da Dupla Camada Elétrica.
FONTE: adaptado de DI BERNARDO (1993 a).

De acordo com DI BERNARDO (1993 a), a Figura 3.3 é uma representação esquemática de uma partícula coloidal negativa com uma atmosfera de íons ao redor da mesma. Segundo a AWWA (1999), citado por DI BERNARDO & DANTAS (2005 v1), o modelo mais simples sobre a Dupla Camada Elétrica considera a interface como um dispositivo armazenador de carga, análogo a um capacitor de placas paralelas. Um modelo mais realista envolve a divisão da dupla camada em duas regiões, Camada Compacta (CC) e Camada Difusa (CD), conforme mostrado na Figura 3.3. Sendo negativa a superfície da partícula, há acúmulo de íons positivos na região da interface sólido-líquido, formando, juntamente com a carga negativa da partícula, a CC. Íons negativos aproximam-se da CC e, atraindo íons positivos, formam a camada difusa, que engloba a primeira; a

CD resulta, na realidade, da atração de íons positivos, repulsão eletrostática de íons negativos e difusão térmica.

A idéia da Dupla Camada Elétrica foi proposta por Helmholtz, que desenvolveu o conceito de um sistema contendo cargas distribuídas em dois planos paralelos. Porém, com a movimentação térmica dos íons na água, ocorre certo grau de desordem, fazendo com que os íons sejam espalhados fora da região da superfície carregada (DI BERNARDO & DANTAS, 2005 v1).

Segundo MENDES (2001), a magnitude da carga da partícula coloidal não pode ser medida diretamente, entretanto, é possível a determinação do potencial atuante no plano de cisalhamento da partícula coloidal, através de medidas de sua mobilidade eletroforética. Este é o potencial Zeta, que manifesta-se no plano de cisalhamento, entre o corpo líquido e o invólucro de água que se move com a partícula. Sua intensidade pode ser interpretada como uma estimativa da estabilidade da partícula coloidal. Valores elevados indicam sistemas coloidais de grande estabilidade e vice-versa.

3.4 Coagulação – Flocculação

3.4.1. Considerações Gerais

As partículas coloidais presentes em um meio aquoso, em geral, possuem cargas elétricas em seu núcleo e dessa forma, forças elétricas repulsivas atuam sobre os colóides de mesma carga, produzindo uma barreira energética, que evita a aproximação e agregação das mesmas. Esta barreira deve ser eliminada para permitir que as partículas se aglomerem, formando flocos. Os processos de coagulação e flocculação compreendem quatro etapas distintas, que ocorrem concomitantemente: a) adição do coagulante na água com formação de espécies hidrolisadas; b) dispersão das espécies hidrolisadas do coagulante no fluído; c) agitação para promover o contato entre as partículas presentes na água e as espécies hidrolisadas; e, d) agitação para permitir o contato entre as partículas

desestabilizadas, de modo a formar flocos de tamanho e densidade adequados, que possam ser removidos por sedimentação, flotação e/ou filtração (DI BERNARDO *et al*, 1995).

3.4.2. Coagulação

No tratamento de água, a força iônica do meio, devida a presença das cargas em partículas coloidais, substâncias húmicas e microrganismos em geral, é alterada por adição de reagentes químicos para possibilitar a redução da repulsão das partículas e acelerar a aproximação das mesmas. Sais de alumínio e ferro, na forma de sulfato de alumínio, cloreto férrico e sulfato ferroso são agentes coagulantes inorgânicos empregados com maior frequência (RAMOS, 2000).

A coagulação química com sais metálicos é um processo de curtíssima duração e de elevadíssima importância para o sucesso e eficiência do tratamento da água. Tem como principal objetivo prover os mecanismos necessários à desestabilização das partículas coloidais, para que elas se aproximem e se agreguem formando os flocos, com condições para sua separação física da água, por sedimentação/flotação e/ou filtração rápida ou direta (LEAL & LIBANIO, 2002).

Quando é necessária a coagulação química, o desempenho de qualquer tecnologia de tratamento depende, essencialmente, dessa etapa, que se for deficiente, as impurezas não serão retidas nos meios granulares em sistemas de filtração direta. Já no tratamento em ciclo completo, a floculação também pode resultar ineficiente, comprometendo o desempenho da sedimentação e filtração (DI BERNARDO & DANTAS, 2005 v1). Ainda segundo os autores, a coagulação depende fundamentalmente das características da água e das impurezas presentes, conhecidas por meio dos parâmetros como pH, alcalinidade, cor verdadeira, turbidez, temperatura, potencial zeta, condutividade

elétrica, tamanho e distribuição de tamanhos das partículas em estado coloidal e em suspensão, etc.

DENNETT² *et al* (1996) e EDWARDS & AMIRTHARAJAH³ (1985), citados por LEAL & LIBANIO (2002), relatam que a eficiência da coagulação na remoção das substâncias húmicas dissolvidas nas águas é dependente da concentração inicial das substâncias húmicas, da dosagem do coagulante empregado e do pH ótimo para a coagulação. A remoção mais efetiva da cor ocorre para faixas mais baixas de pH, do que aquelas normalmente requeridas para remoção de turbidez. Segundo esses autores, estudos realizados por outros pesquisadores indicam que a remoção da matéria orgânica dissolvida e, conseqüentemente da cor, ocorre por mecanismos similares ao da remoção da turbidez.

A coagulação de substâncias húmicas tem sido creditada a dois mecanismos principais, função do pH de coagulação. Na faixa de pH de 6 a 8, região em que há predominância do precipitado de alumínio, a remoção ocorre por adsorção das substâncias húmicas no precipitado. Quando o potencial hidrogeniônico de coagulação encontra-se na faixa de 4,0 a 5,5, tem sido assumido que as substâncias húmicas são neutralizadas pelas espécies hidrolisadas positivas de alumínio, causando a precipitação das mesmas na forma de humato de alumínio (DI BERNARDO & DANTAS, 2005 v1).

De acordo com LETTERMAN *et al* (1999)⁴, citados por LEAL & LIBANIO (2002), outra considerável importância atribuída à coagulação química decorre da sua associação aos processos de floculação, sedimentação, filtração e desinfecção nas estações convencionais de tratamento. Além de clarificar a água, há a remoção de

² DENNETT, K. E.; AMIRTHARAJAH, A.; MORAN, T. F. & GOULD, J. P. – Coagulation: its effect on organica matter, JAWWA, p. 129 – 42, April, 1996.

³ EDWARDS, G. A. & AMIRTHARAJAH, A. – Removing Color Caused by Humic Acids, JAWWA, p. 50 – 57, March, 1985.

⁴ LETTERMAN, R. D.; AMIRTHARAJAH, A. & O'MELIA, C. R. – Coagulation and Flocculation in: Water quality and treatment, American Water Works Association, 5th Edition, Mc Graw hill Inc., 1999.

cistos e oocistos de protozoários, sobre os quais, a ação dos desinfetantes mais comumente utilizados, não se apresenta muito eficiente.

Na coagulação da água para redução de cor e turbidez com sais de alumínio e ferro, os flocos resultantes são removidos nas unidades de decantação (ou de flotação) e nos filtros. Dependendo das características físico-químicas da água bruta, da eficiência hidráulica das unidades de processo e do tipo e dose do coagulante aplicado, entre 60% e 95% do lodo gerado é acumulado nos tanques de decantação (flotação) e o restante nos filtros (40% a 5%). Os filtros são usualmente lavados por curtos períodos a cada 24-72 horas utilizando grandes volumes de água, média de 2% a 5% do volume produzido. A concentração de sólidos na água de lavagem não depende da quantidade de flocos carregada para o filtro, mas da capacidade de acumulação do leito filtrante, isto é, do valor do depósito específico. Ao contrário, a frequência de lavagem destas unidades, e, portanto, o volume de água utilizado, depende da qualidade do afluente e da duração da carreira de filtração (RICHTER, 2001).

3.4.2.1. Mecanismos de Coagulação

Segundo DI BERNARDO & DANTAS (2005 v1), atualmente, considera-se a coagulação como resultado individual ou combinado da ação de quatro mecanismos distintos: a)compressão da dupla camada elétrica; b)adsorção e neutralização; c)varredura; d)adsorção e formação de pontes.

De acordo com MENDES (1989), o predomínio de determinado mecanismo depende das espécies hidrolisadas do coagulante que, por sua vez, são funções de fatores como o valor resultante do pH de coagulação, características químicas do meio aquoso e dosagem do coagulante.

3.4.3 Flocculação

O termo “flocular” provém do latim *flocculare*, que significa produzir flocos (AZEVEDO NETTO, 1987).

DI BERNARDO *et al* (2002) esclarece que nas ETA a floculação corresponde a etapa em que são fornecidas condições para facilitar o contato e a agregação de partículas previamente desestabilizadas por coagulação química, visando a formação de flocos com tamanho e massa específica que favoreçam sua remoção por sedimentação, flotação ou filtração direta.

O desempenho das unidades de mistura rápida e de floculação influi na qualidade da água clarificada produzida na ETA e, conseqüentemente, na duração da carreira de filtração (DI BERNARDO *et al*, 2002).

No início da floculação, logo após a coagulação, as impurezas ainda encontram-se dispersas na água, sendo necessária agitação mais intensa (maior gradiente de velocidade médio) para permitir o contato entre elas, visando à agregação destas em flocos. À medida que os flocos vão se formando, o gradiente de velocidade médio deve ser reduzido, a fim de atenuar a quebra daqueles já existentes, conforme mostrado na Figura 3.4 (MENDES, 1989).

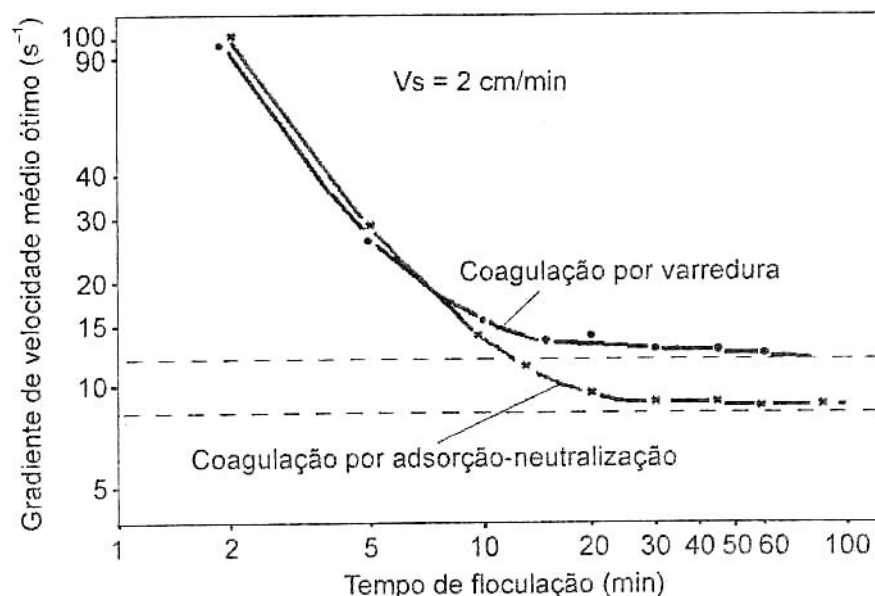


FIGURA 3.4 – Valores de gradiente de velocidade ótimo em função do tempo de floculação.
FONTE: MENDES (1989).

Nas ETA é recomendado o escalonamento do gradiente de velocidade médio nas unidades de floculação, decrescendo-o à medida que aumenta o tempo de detenção. Os ensaios de “jar-teste” permitirão estabelecer qual o gradiente de velocidade adequado para cada água, em função do tempo de floculação (DI BERNARDO, 2003).

3.4.4 Uso de Polímeros como Auxiliares

Tanto polímeros sintéticos como naturais (amidos em geral), têm sido usados como auxiliares de floculação e filtração. No primeiro caso, busca-se aumentar a velocidade de sedimentação dos flocos, a resistência dos mesmos às forças de cisalhamento, que podem ocorrer na veiculação da água floculada e a diminuição da dosagem de coagulante primário. No segundo, deseja-se reduzir a possibilidade da ocorrência do transpasse e aumentar a taxa de filtração (DI BERNARDO, 1993 a).

Segundo DI BERNARDO & DANTAS (2005 v1), os polímeros sintéticos podem ser agrupados em catiônicos, aniônicos, não iônicos e anfotéricos.

- Não iônico: não apresenta sítios ionizáveis;
- Catiônico: apresenta sítios ionizáveis positivos;
- Aniônico: apresenta sítios ionizáveis negativos;
- Anfotérico: apresenta sítios ionizáveis negativos e positivos.

Os autores informam ainda que a adsorção de polímeros na superfície das partículas coloidais ocorre em decorrência da interação de forças de origem coulômbica (carga-carga), por meio de ligações de pontes de hidrogênio, de interações de Van der Waals ou pela combinação destas.

Os polímeros adsorvidos sobre a superfície das partículas afetam as interações repulsivas e as atrativas. No primeiro caso, a repulsão da DCE (Dupla Camada Elétrica), aumentará se o polímero estiver ionizado e com o mesmo sinal das partículas; no segundo,

o polímero adsorvido pode enfraquecer a força de atração. Na figura 3.5 é ilustrado graficamente o efeito de um polímero adsorvido na superfície da partícula coloidal, com caudas, alças e segmentos fixos (Gregory, 1978)⁵, citado por DI BERNARDO & DANTAS (2005). Os polímeros adsorvidos podem tanto estabilizar como desestabilizar, dependendo, principalmente, da quantidade relativa de polímero e de partículas, da afinidade entre o polímero com a partícula e a água e do tipo e da concentração de eletrólitos presentes. A quantificação das forças de interação entre duas partículas, nessas condições, é extremamente difícil, porém, algumas considerações a esse respeito são úteis para a compreensão do fenômeno.

As alças e as caudas decorrentes da adsorção de um polímero na superfície da partícula coloidal geralmente são as partes estabilizadoras da cadeia, uma vez que, dependendo do tipo de interação com as partículas ou com a água, podem acarretar o aparecimento de energia de repulsão, impedindo sua aglomeração. Os segmentos fixados à superfície são os responsáveis pelo ancoramento da cadeia polimérica, pois se ligam a sítios superficiais com os quais possuem afinidade.

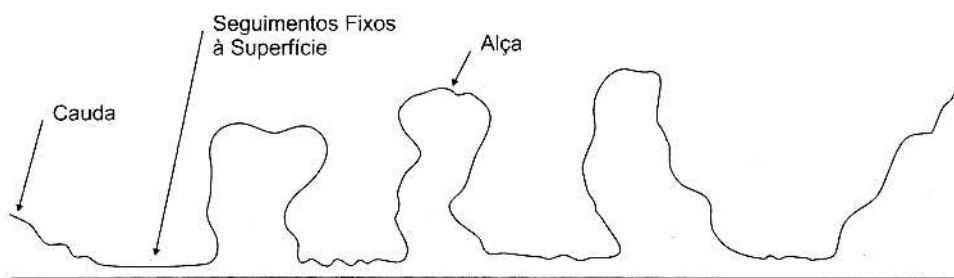


FIGURA 3.5 – Configuração esquemática de polímeros adsorvidos na superfície de partículas coloidais.
FONTE: GREGORY (1978). Citado por DI BERNARDO & DANTAS (2005).

Segundo DI BERNARDO & DANTAS (2005 v1), quando há interação entre superfícies de duas partículas recobertas por polímeros, que se encontram muito próximos, a repulsão entre elas pode ocorrer de duas formas, como ilustrado na Figura 3.6 (Gregory, 1978). Em uma delas, com a colisão entre as partículas, cada camada de

⁵ GREGORY, J. Effect of polymers on colloid stability. In: The scientific basis of flocculation. The Netherlands: Sijthoff and Noordoff, 1978.

polímero pode ser comprimida, reduzindo o volume disponível para as moléculas adsorvidas e restringindo o movimento dos polímeros, causando, assim, a repulsão entre as partículas. Na outra, e mais freqüentemente, as camadas adsorvidas se entrelaçam, aumentando a concentração de segmentos dos polímeros nessa região; se os segmentos estendidos dos polímeros forem fortemente hidrofílicos, ocorrerá, preferencialmente, a reação entre eles e a água, tendendo à repulsão.

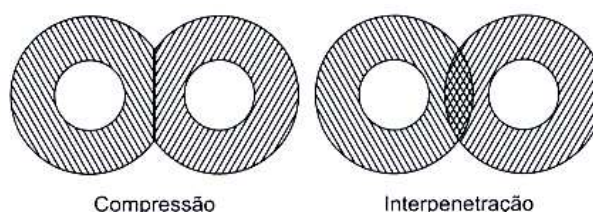


FIGURA 3.6 – Possibilidade de interações repulsivas decorrentes de polímeros adsorvidos na superfície de partículas coloidais.

FONTE: Gregory, 1978. Citado por DI BERNARDO & DANTAS (2005).

Os mecanismos, através dos quais, os polieletrólitos desestabilizam os colóides, estão baseados na adsorção dos mesmos à superfície das partículas coloidais, seguida ou pela redução da carga, ou pelo “entrelaçamento” das partículas pelos polieletrólitos. A atração do polímero à superfície coloidal, pode ser predominantemente uma propriedade química ou física (CAMPOS, 1980).

A Figura 3.7 apresenta alguns esquemas da adsorção e a subsequente interação entre as moléculas dos polímeros e as partículas coloidais.

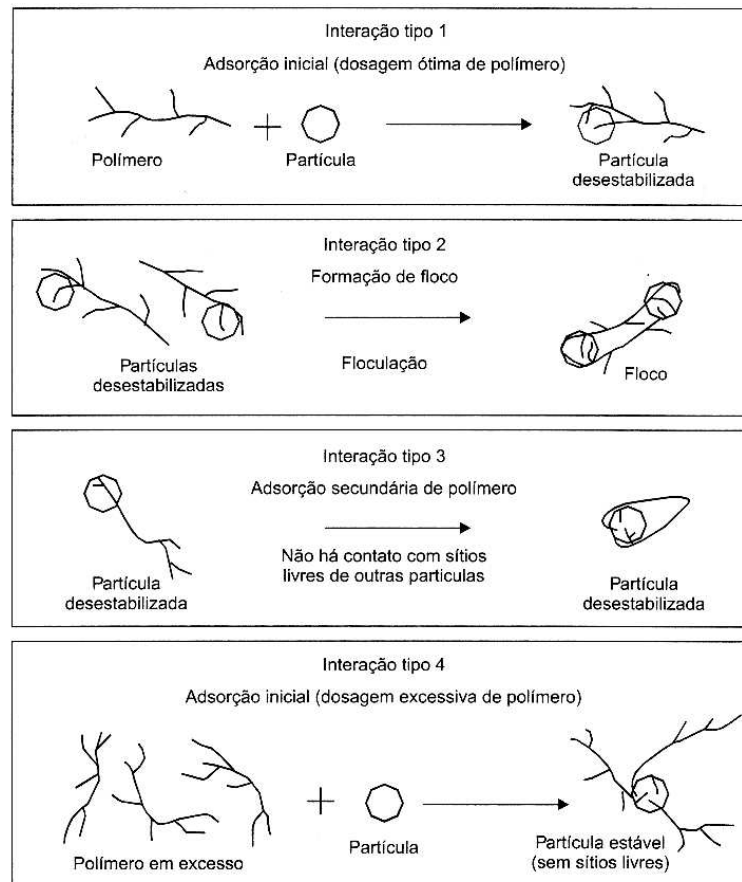


FIGURA 3.7 – Representação esquemática da desestabilização de colóides por polímeros.
 FONTE: AWWA – EPA, 1972. Citado por DI BERNARDO & DANTAS (2005).

3.5 Tratamento de Águas de Abastecimento com Coagulação Química

A qualidade da água bruta deve ser o fator decisivo, na escolha da tecnologia de tratamento de águas de abastecimento. Uma vez coagulada quimicamente, a água pode chegar ao processo de filtração através de diferentes caminhos (DI BERNARDO *et al*, 2002).

As tecnologias de tratamento de água podem ser resumidas em dois grupos, sem coagulação química e com coagulação química. Dependendo da qualidade da água bruta, ambas podem ou não ser precedidas de pré-tratamento. Na figura 3.8 são apresentadas, na forma de diagrama de blocos, as principais alternativas de tratamento com ou sem coagulação química, com ou sem pré-tratamento (DI BERNARDO & DANTAS, 2005 v1).

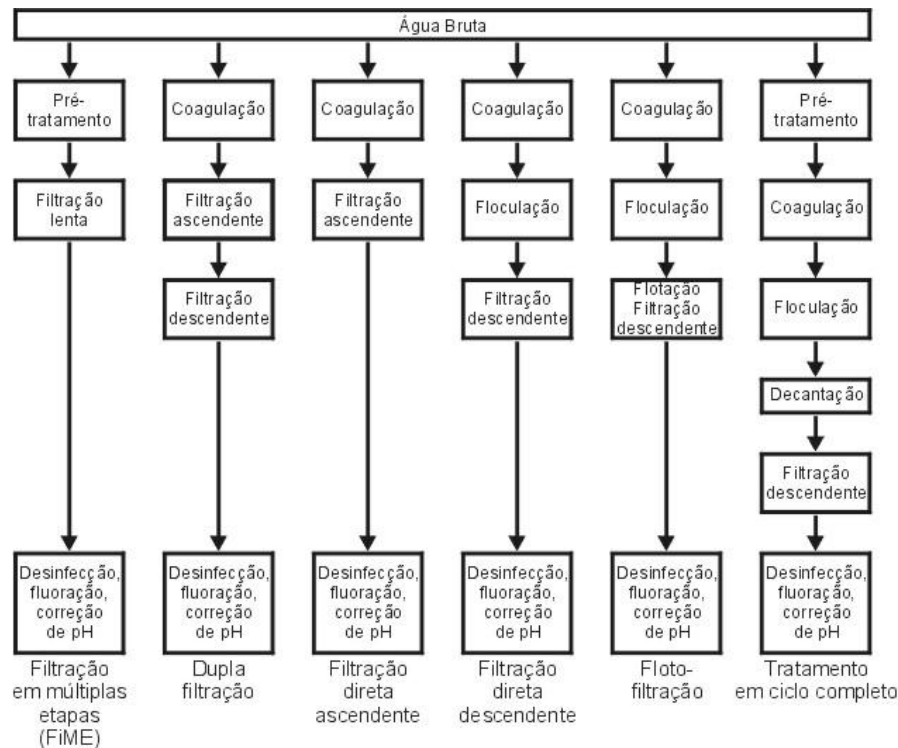


FIGURA 3.8 – Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano.
 FONTE: DI BERNARDO & DANTAS (2005 v1).

Qualquer que seja a tecnologia usada, a coagulação química desempenha papel importantíssimo, pois dela depende a eficiência das operações subseqüentes, com destaques à filtração, embora a decantação e a floculação também sejam afetadas pela coagulação (ISAAC, 2001).

3.6 Perdas de água em Estação de Tratamento de Água de Ciclo Completo

Basicamente, uma estação de tratamento de água (ETA) de ciclo completo, também chamada convencional, é constituída pelos processos e operações, representados no fluxograma da figura 3.9.

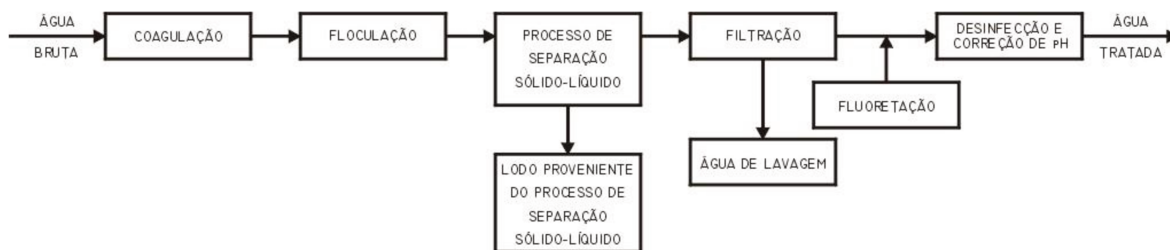


FIGURA 3.9 – Processos e operações unitárias componentes de uma ETA de ciclo completo.
 FONTE: FERREIRA FILHO *et al* (1999).

Segundo FERREIRA FILHO *et al* (1999), o controle de perdas em ETA, não é uma atividade isolada e envolve tanto a redução do volume da água gasto na operação do processo, quanto o tratamento dos resíduos sólidos e líquidos, gerados nesta atividade. Em uma ETA, pode-se identificar perdas de água devido a vazamentos e as de origens operacionais. Os autores relatam que os volumes de perdas operacionais correspondem a:

- Gastos no processo de tratamento, relativos à lavagem de filtros e descargas de lodos, lançados no corpo receptor, sem reaproveitamento. Nesse caso, o controle de perdas compreende um processo de tratamento e reaproveitamento dos mesmos volumes utilizados na lavagem dos filtros e nos da descarga de lodos;
- Excedentes àqueles estritamente necessários à boa operação da ETA. No caso, a redução das perdas se dá pela revisão do processo de tratamento, através da adequação das instalações ou dos métodos operacionais, de forma a utilizar o mínimo de água necessário;
- Utilizações na lavagem de tanques de produtos químicos, preparo de soluções entre outros. Nesse caso, o volume perdido é praticamente desprezível, quando comparado com o utilizado na lavagem dos filtros.

Segundo DI BERNARDO *et al* (2002), a operação de lavar um filtro apenas com água no sentido ascendente, concorre para a geração de um volume maior de água, quando comparada com uma outra forma de lavagem, como a que utiliza inicialmente a aplicação de fluxo de ar, com velocidades controladas, seguida da aplicação da fase líquida.

De acordo com CLEASBY *et al* (1977), os principais métodos de lavagem de meios filtrantes podem ser classificados em quatro grandes categorias de lavagem:

- exclusivamente com água em fluxo ascendente;
- com água em fluxo ascendente, precedida de lavagem superficial com sistema hidráulico auxiliar;
- com ar unicamente, seguido de água;
- com ar e água simultaneamente.

Segundo a AWWA (1987), em média, uma ETA gasta de 2% a 5% do volume de água produzido, no processo de lavagem dos filtros. Trata-se do maior volume de água gasto durante o processo de tratamento.

Para AMIRTHARAJAH (1985), uma das etapas mais importantes do processo de filtração é a da limpeza do leito filtrante, uma vez encerrada a carreira de filtração.

AMIRTHARAJAH & WETSTEIN (1980)⁶ e AMIRTHARAJAH (1985)⁷, segundo DI BERNARDO (1993 b), atribuem principalmente à lavagem, a produção de água com qualidade insatisfatória, no início da filtração. Os autores explicam a ocorrência dos picos de turbidez, pela existência de:

- água de lavagem remanescente, em estado limpo, sob o leito filtrante e em tubulações de saída;
- água de lavagem remanescente, no interior do meio filtrante e em camada suporte;
- água de lavagem remanescente, situada acima do topo do meio filtrante.

A Figura 3.10 mostra esquematicamente o que pode ocorrer, qualitativamente, no início da carreira de filtração, após lavagem de um filtro.

⁶ AMIRTHARAJAH, A.; WETSTEIN, D. P. Initial degradation of effluent quality during filtration. JAWWA, USA, V. 72, n. 9, p. 518, sep. 1980.

⁷ AMIRTHARAJAH, A. The interface between filtration and backwashing. Water Resources Researches, USA, V. 19, n. 5, p. 581-588, may. 1985.

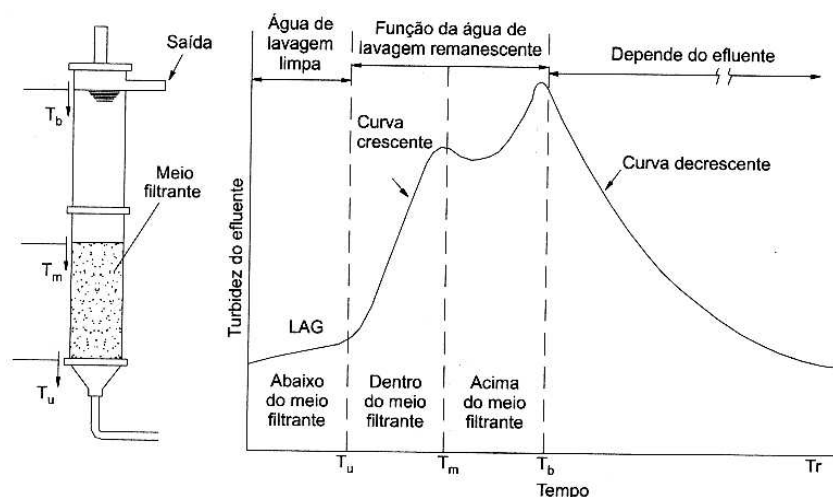


FIGURA 3.10 – Etapa inicial da filtração rápida e a influência da lavagem na qualidade do efluente.
 FONTE: AMIRTHARAJAH & WETSTEIN (1980); AMIRTARAJAH (1985),
 citado por DI BERNARDO & DANTAS (2005).

3.7 Recirculação da Água de Lavagem dos Filtros

Nas estações de tratamento de água de ciclo completo, a água de lavagem dos filtros pode ser recirculada, com ou sem clarificação, para a câmara de chegada da água bruta, onde será misturada com a mesma. O volume de água de lavagem é variável. Depende da qualidade da água bruta, do tipo e eficiência do tratamento e, para as ETAs de ciclo completo, da eficiência dos decantadores. Assim sendo, se faz necessário a presença de um reservatório ou um tanque, para recepção dos resíduos líquidos oriundos da lavagem, que permitirá equalizar e regularizar a vazão de recirculação (SOUZA FILHO, 1998).

A recirculação é integral, quando a água de lavagem dos filtros não é clarificada. Quando houver a clarificação por sedimentação ou flotação, com ou sem adição de condicionante, a recirculação não é integral (DI BERNARDO *et al*, 2002).

KAWAMURA (1991)⁸, citado por FERREIRA FILHO *et al* (1999), informa que uma recomendação usual é que o retorno da água de lavagem não ultrapasse 10% da vazão nominal da água bruta afluyente a ETA. Isto é recomendado pelo pesquisador de modo que não haja nenhum prejuízo no processo de coagulação-floculação, dosagem de coagulante e sobrecarga hidráulica temporária nas unidades de tratamento.

A clarificação da água de lavagem de filtros possibilita a recirculação do sobrenadante na câmara de chegada de água bruta da ETA. É imprescindível o monitoramento microbiológico do sobrenadante, pois este pode contribuir para o aumento significativo do número de microrganismos na água a ser tratada. Dependendo da qualidade microbiológica, a pré-desinfecção pode se fazer necessária, antes de ser misturado à água bruta (DI BERNARDO *et al*, 2002).

Segundo CARVALHO (1999), a recirculação para a câmara de chegada da água bruta dos resíduos líquidos gerados em uma ETA, minimiza o volume a ser disposto e evita desperdício de grande quantidade de água. Dependendo da qualidade do recirculado, tal procedimento poderá diminuir a carreira de filtração e sobrecarregar os decantadores, com aumento de volume do lodo retido nestas unidades. Pode ainda interferir na dosagem de produtos químicos, nos processos de mistura rápida, coagulação, floculação e resultar no aumento da concentração de subprodutos da desinfecção mais substâncias que causam gosto e odor. Ainda segundo MURRAY⁹ *et al* (1994), microbiologicamente, se a água bruta contiver oocistos de criptosporídio, os resíduos líquidos gerados na ETA poderão conter quantidade elevada dos mesmos. Daí, a recirculação desses resíduos, sem o devido cuidado, resultará na concentração dos oocistos no sistema.

Devido à escassez crescente de mananciais em condições adequadas para utilização de sua água para fins de abastecimento, há interesse na

⁸ KAWAMURA, S. *“Intergrated Design of Water Treatment Facilities”*. John Wiley & Sons, New York, 658 p. 1991.

⁹ MURRAY, K. *et al* (1994). Waterworks residuals management: A comparasion of US and UK practices. In: Management of Water and Wastewater solids for 21st. Century, june, 19-22, Washington D.C., USA.

clarificação da água de lavagem de filtros para futuro reaproveitamento do sobrenadante e disposição adequada do sedimento (DI BERNARDO, 2002).

KAWAMURA (1996), cita que vários parâmetros influem no processo de sedimentação. Dentre eles, as características de sedimentação, variações nas taxas de escoamento, ocorrência de curtos-circuitos, natureza e tipo de partículas, variações da taxa de escoamento, etc.

No tratamento e recuperação da água de lavagem dos filtros, uma vez que seja necessária a separação de parte dos sólidos presentes na água de lavagem, antes do seu retorno, devido à fragilidade de floco formado pelos hidróxidos de alumínio, ou férricos, a operação do sistema de recuperação de água de lavagem deverá ser feita, preferencialmente, em batelada, pois a ocorrência de correntes de velocidade no interior do tanque de separação, pode fazer com que haja a ressuspensão dos flocos sedimentados, retornando-os para a fase líquida (FERREIRA FILHO & ALÉM SOBRINHO, 1998).

3.8 Dupla Filtração

Segundo DI BERNARDO & DANTAS (2005), em decorrência das limitações da qualidade da água bruta no tratamento por meio da filtração direta ascendente (FDA), ou da filtração direta descendente (FDD), a dupla filtração surge como uma alternativa atrativa, podendo eliminar a necessidade do tratamento em ciclo completo, quando a água a ser tratada apresentar uma das seguintes condições: a)valores relativamente altos (maiores que os recomendados para a FDA ou FDD) de concentração de algas, cor verdadeira, de turbidez ou de coliformes; b)suspeita da presença de vírus, protozoários e outros microrganismos patogênicos; c)variações bruscas dos parâmetros de qualidade; d)necessidade de dosagens elevadas de alcalinizante (ou acidificante) e de coagulante. Ainda segundo os autores, a instalação pode possuir um conjunto de diversos filtros ascendentes, seguido de outro conjunto

de filtros descendentes, acoplados em série ou de tal modo a satisfazerem os valores de taxa de filtração destes últimos. Também pode-se ter vários sistemas de dupla filtração, cada um deles constituído de um filtro ascendente e seguido de um descendente.

A dupla filtração é uma tecnologia de tratamento de água de abastecimento, que utiliza a filtração direta ascendente, seguida da filtração rápida descendente. Essa tecnologia pode contemplar o uso de um reator de pedregulho, de fluxo ascendente, como uma primeira unidade, seguida de um filtro rápido de fluxo descendente. Todavia, nem todas as águas brutas, que são tratadas em ciclo completo, podem ser tratadas por dupla filtração. A Tabela 3.3 apresenta parâmetros a serem considerados na escolha da tecnologia de dupla filtração.

TABELA 3.3 – Valores máximos dos parâmetros de qualidade da água bruta para o emprego da dupla filtração e parâmetros de projeto.
 FONTE: DI BERNARDO, L. (Coord.). Projeto PROSAB, 2003.

Discriminação	Dupla filtração com filtração ascendente em areia grossa	Dupla filtração com filtração ascendente em pedregulho
Características da água bruta		
Turbidez (uT) (*)		
90% do tempo	≤ 50	≤ 100
95% do tempo	≤ 100	≤ 150
100% do tempo	≤ 150	≤ 200
Cor verdadeira (uH)(**)		
90% do tempo	≤ 50	≤ 50
95% do tempo	≤ 75	≤ 75
100% do tempo	≤ 100	≤ 100
Sólidos suspensos totais (mg/L)		
95% do tempo	100	150
100% do tempo	150	200
DBO ₅ (mg/L)	≤ 10	≤ 10
NMP <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)	≤ 1.000 (+)	≤ 1.000 (+)
NMP de coliformes totais (NMP/100 ml)	≤ 5.000 (+)	≤ 5.000 (+)
Carbono orgânico total (mg/L)	≤ 5	≤ 5
Densidade algal (UPA/ml)	≤ 1.000	≤ 1.000
Parâmetros de projeto		
Taxa de filtração no filtro ascendente (m ³ /m ² /d)	120 a 240	80 a 180 (***)
Taxa de filtração no filtro descendente (m ³ /m ² /d)(**)	200 a 400 (++)	180 a 400
Número de descargas de fundo intermediárias no filtro ascendente durante a carreira de filtração	≥ 4	≥ 4
Taxa de aplicação de água na interface (m ³ /m ² /d)	600 a 1.000	
Mecanismo de coagulação	neutralização de cargas	neutralização de cargas

(*) picos de até 300 uT com duração inferior a 12 h poderão ocorrer na água bruta; (**) picos de até 150 uH com duração inferior a 12 h poderão ocorrer na água bruta; (***) os valores superiores da taxa de filtração na filtração direta somente deverão ser adotados após a comprovação de sua viabilidade em instalação-piloto; (+) limites mais elevados podem ser adotados com o emprego da pré-desinfecção; (++) para o filtro descendente com camada única de areia, a taxa de filtração deve ser inferior a 300 m³/m²/d; para filtros de antracito e areia, a taxa de filtração pode ser maior.

3.8.1 Pré-filtro de Pedregulho de Fluxo Vertical Ascendente

Resultados obtidos pela Rede de Pesquisas do PROSAB-Edital III – Tema 1 (2003), indicam que os limites de aplicação da filtração direta e, principalmente da dupla filtração em relação à qualidade da água bruta, são mais amplos do que os reportados na literatura (DI BERNARDO, 2003).

Segundo WEGELIN (1988), os pré-filtros de pedregulho de fluxo vertical ascendente são definidos como pré-filtros operados e lavados da mesma forma que os de fluxo descendente, basicamente alterando o sentido do escoamento.

KURODA (2002)¹⁰, citado por WIECHETECK *et al* (2004), operou um sistema de dupla filtração, com filtro ascendente de pedregulho e filtro descendente de areia. Variou as taxas de filtração no filtro ascendente de 60 a 240 m³/m²/d e no descendente de 100 a 240 m³/m²/d. A turbidez resultante no efluente do filtro descendente apresentou-se menor que 1,0 uT, nas 19 horas de duração da carreira de filtração. Independentemente da taxa de filtração usada, foi observada a presença de flocos acima da superfície superior do meio filtrante, no filtro ascendente de pedregulho. O método de descargas de fundo intermediárias, nesta unidade, com esvaziamento total do filtro apresentou melhor eficiência na recuperação da carga hidráulica, quando comparado ao método em que o esvaziamento se dava até a superfície superior do meio filtrante. Consideradas as taxas de filtrações aplicadas, o efluente final, após filtro descendente, apresentou-se com valores de parâmetros qualitativos, dentro dos limites de potabilidade preconizados pela então, Portaria 1469/2000.

3.8.2 Limpeza do Filtro Ascendente de Pedregulho

Experimentos desenvolvidos pela Rede de Pesquisas do PROSAB-Edital III – Tema 1 (2003), indicam que a limpeza do Filtro Ascendente de Pedregulho pode ser efetuada por meio de descarga de fundo, com base nos seguintes procedimentos:

- primeiro: executar a descarga de fundo com velocidade intersticial inicial mínima no meio granular, de 0,5 a 0,6 m/minuto;
- segundo: encher o filtro com água limpa até que cubra o topo do meio granular e executar novamente a descarga de fundo;
- repetir o passo anterior até que a água descarregada esteja visivelmente limpa. A verificação da eficiência desta lavagem é a recuperação da perda de carga no meio granular no início da próxima carreira de filtração, a qual não deve ultrapassar 5% daquela observada com o meio granular em estado novo.

¹⁰ KURODA, E. K. Avaliação da Filtração Direta Ascendente em Pedregulho como Pré-tratamento em Sistemas de Dupla Filtração. São Carlos, 217 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002.

3.9 Caracterização da Água de Lavagem de Filtros Descendentes

Segundo a CETESB (1987), em geral a lavagem dos filtros é realizada em intervalos de 12 a 48 h, com duração de 4 a 15 min. e taxa de aplicação de água da ordem de 10 a 15 L/s.m², dependendo do método empregado. A concentração de sólidos suspensos na água de lavagem de filtros varia bastante durante tal procedimento. É relativamente baixa no início, aumenta depois de 1 a 3 minutos e, após atingir um pico, diminui gradativamente até o final. O filtro é considerado limpo quando se observa a clarificação e ausência de flocos na água de lavagem.

Os sólidos presentes nesses resíduos líquidos são remanescentes da decantação da água bruta (argilas finas, matéria orgânica, etc.), podendo também resultar da adição de auxiliares de filtração (CORDEIRO, 1991).

A lavagem contra corrente carrega os sólidos retidos na camada filtrante que resulta em resíduos líquidos com concentração de sólidos que pode variar de 100 a 200 mg/L, em condições normais de operação, mas que pode atingir 1000 mg/L, se a carreira de filtração for mais longa (GRANDIN, 1992).

Na Figura 3.11 são mostrados os valores correspondentes de sólidos suspensos totais em amostras de água de lavagem de filtro, coletadas em diferentes tempos, após início da operação.

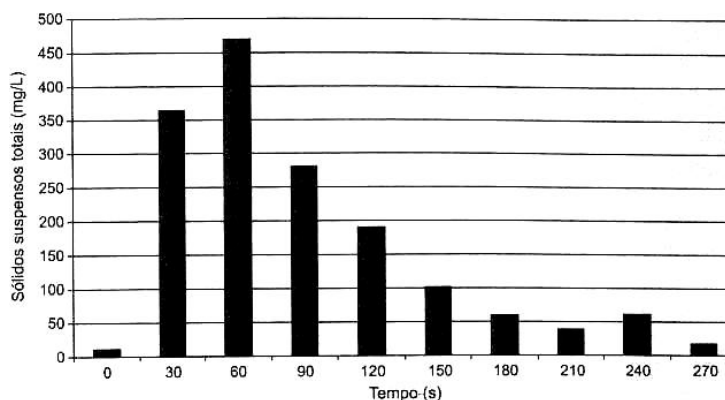


FIGURA 3.11 – Variação da concentração de sólidos suspensos totais nas amostras da água de lavagem de filtro, coletadas em intervalos de 30 s.

FONTE: DI BERNARDO *et al* (2002).

A tecnologia de tratamento depende da água bruta, tendo influência na quantidade e qualidade de resíduos líquidos gerados durante as lavagens dos filtros. No caso da filtração direta,

tem-se a retenção de partículas coaguladas ou de pequenos flocos desta, enquanto na filtração de água decantada tem-se principalmente a retenção de fragmentos de flocos (REALI, 1999).

Na tabela 3.4 são apresentados dados relativos às caracterizações da água de lavagem de filtros de algumas ETAs, identificadas como ETAs 1, 2, 3 e 4. As ETAs 1, 2 e 3 são ETAs em ciclo completo e a ETA 4, filtração direta ascendente.

TABELA 3.4 – Características de águas de lavagens de filtros de ETAs (Coagulante primário: ETAs 1 e 2 – cloreto férrico; ETAs 3 e 4 – sulfato de alumínio).
FONTE: REALI (1999).

Parâmetros	Estações de Tratamento de Água			
	ETA 1	ETA 2	ETA 3	ETA 4
Turbidez (uT)	130	171	58	76
Cor aparente (uC)	200	2690	310	400
DQO (mg/L)	40,8	52	35	48
pH	7,1	8,0	6,9	7,3
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	37	*	17	12,6
Dureza (mg/L CaCO ₃)	40,8	*	12	*
Condutividade (µS/cm)	95	*	38	37,1
Sólidos totais (mg/L)	367	*	88	130
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	157	*	65	*
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	210	*	23	*
Sólidos suspensos totais (mg/L)	250	313	59	95
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	210	230	42	*
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	40	83	17	*
Sólidos sedimentáveis (ml/L)	74	41	3,4	8
Nitrogênio total (mg/L N)	*	*	4,0	*
Fosfato (mg/L PO ₄ ⁻³)	0,037	*	0,022	*
Carbono orgânico total (mg/L)	11,8	*	6,3	6,4
Coliformes totais (NMP/100 mL)	241920	17329	1640	1095
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	17820	20	72	3
Metais: Ferro (mg/L)	700	170	6,9	6,5
Alumínio (mg/L)	*	*	0,30	0,80
Manganês (mg/L)	2,19	1,17	0,10	0,10
Zinco (mg/L)	2,00	0,10	0,64	*
Cobre (mg/L)	,035	0,84	0,06	*
Chumbo (mg/L)	0,58	ND	ND	*
Níquel (mg/L)	0,35	ND	ND	*
Cromo (mg/L)	0,09	ND	ND	*
Cádmio (mg/L)	0,01	ND	ND	*
Cálcio (mg/L)	95,6	*	*	*
Magnésio (mg/L)	22,8	*	*	*

ND = não detectado; (*) não pesquisado.

Na tabela 3.5 estão algumas características das ETAs 1, 2, 3 e 4.

TABELA 3.5 – Características do sistema de lavagem, método de filtração e coagulantes primários usados nas ETAs da tabela 3.4
FONTE: REALI (1999).

ETA	Lavagem	Método/Operação	Coagulante
ETA 1	Insuflação de ar, seguida da lavagem com água no sentido ascensional	Ciclo completo e Filtração com taxa declinante	Cloreto férrico
ETA 2	Insuflação de ar, seguida da lavagem com água no sentido ascensional	Ciclo completo e Filtração com taxa declinante	Cloreto férrico
ETA 3	Lavagem com água no sentido ascensional	Ciclo completo e Filtração com taxa constante	Sulfato de alumínio
ETA 4	Lavagem com água no sentido ascensional	Filtração direta ascendente com taxa constante	Sulfato de alumínio

A lavagem dos filtros apenas com água no sentido ascensional, concorre para a geração de um volume maior de água quando comparado ao sistema que possui lavagem auxiliar com ar, seguida da lavagem com água ascensional (REALI, 1999).

SCALIZE (1997)¹¹, citado por DI BERNARDO *et al* (2002), relata que, após clarificação por sedimentação da água de lavagem de filtros, utilizando polímero aniônico, ocorreu diminuição considerável nos valores de vários parâmetros no sobrenadante (concentração de sólidos suspensos totais, cor aparente, turbidez, número de coliformes totais e de *Escherichia coli*, DQO e alguns parasitas).

SOUZA FILHO & DI BERNARDO (1999) realizaram ensaios de clarificação da água de lavagem dos filtros de uma ETA que emprega como coagulante o cloreto férrico. Foram utilizados polímeros catiônico, aniônico e não iônico. Os sobrenadantes obtidos nos ensaios, apresentaram qualidades superiores às da água bruta afluenta à ETA, principalmente em relação à turbidez, sólidos suspensos totais, coliformes totais e *Escherichia coli*. Na tabela 3.6 estão apresentados os valores obtidos nos respectivos ensaios.

¹¹ SCALIZE, P. S. Caracterização e clarificação por sedimentação da água de lavagem de filtros rápidos de Estações de Tratamento de Água que utilizam sulfato de alumínio como coagulante primário, 1997, 220 p. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Univesidade de São Paulo, São Carlos.

TABELA 3.6 – Caracterização da água bruta, da água de lavagem do filtro e dos sobrenadantes obtidos nos ensaios de sedimentação em coluna (após 24 min. de sedimentação).

FONTE: SOUZA FILHO & DI BERNARDO(1999).

Parâmetro	Água bruta	Água de lavagem do filtro	Sobrenadante			
			Sem polímero	Catiônico 2,5 mg/L	Não-iônico 2,5 mg/L	Aniônico 1,0 mg/L
Turbidez	13,7	130	3,70	1,36	1,10	0,87
Cor aparente (uH)	80	2000	20	5	5	5
pH	6,9	7,1	7,0	7,0	7,0	7,1
Alcalinidade (mg/L de CaCO ₃)	17,9	37	25,8	24,1	25,8	25,8
DQO (mg/L)	17	40,8	11,7	14,3	19,6	19,6
Cloretos (mg/L)	NR	15	14,4	12,6	13	13,6
Fosfato (mg/L)	0,03	0,037	0,014	0,008	0,016	0,010
Condutividade (µS/cm)	25,2	95	78,2	80,9	72,4	80,1
Sólidos suspensos totais (mg/L)	9	250	5	1	4	1
Coliformes totais (NMP)	24.192	241.920	4.413,6	396,8	344,8	410,6
<i>Escherichia coli</i>	504	17.820	172,2	7,4	21,8	17,3
Parasitológico	–	–	–	–	–	–
Ferro (mg/L)	2,69	700	1,62	ND	0,16	0,10
Manganês (mg/L)	0,06	2,19	0,02	0,02	0,02	0,02
Cálcio (mg/L)	0,17	95,6	0,83	0,81	0,85	0,82
Magnésio (mg/L)	0,66	22,8	0,68	0,65	0,67	0,75
Zinco (mg/L)	ND	2,00	ND	ND	ND	ND
Chumbo (mg/L)	ND	0,58	ND	ND	ND	ND
Cádmio (mg/L)	ND	0,01	ND	ND	ND	ND
Níquel (mg/L)	ND	0,35	ND	ND	ND	ND
Cobre (mg/L)	ND	0,35	ND	ND	ND	ND
Cromo (mg/L)	ND	0,09	ND	ND	ND	ND

ND: Não detectado; (–): Negativo; NR: Não realizado.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo experimental foi desenvolvido na estação de tratamento de água da cidade de Franca, estado de São Paulo, comunidade cujos sistemas de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos sanitários são operados pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, na condição de concessionária.

A estação de tratamento utiliza tecnologia de ciclo completo. Foi projetada para tratar 600 L/s, mas atualmente chega a tratar 900 L/s. Utiliza cloreto férrico como coagulante principal e um polímero não iônico como auxiliar de floculação.

A ETA é composta por cinco (5) decantadores e nove (9) unidades de filtração rápida descendentes.

A estação trata a água oriunda de dois mananciais: ribeirão Pouso Alegre, que colabora com 17% da vazão de água bruta e do rio Canoas, com os 83% restantes. Na Tabela 4.1 estão presentes valores de alguns parâmetros da água bruta, tratada pela estação.

TABELA 4.1 – Valores de alguns parâmetros da água bruta de Franca – Ano 2009.
 FONTE: Laboratório de Controle Sanitário

PARÂMETROS	MANANCIAIS		UNIDADES
	RIO CANOAS	RIO POUSO ALEGRE	
Turbidez	13	9,8	uT
pH	7,0	6,9	–
Condutividade Específica	40,80	48,30	μS/cm
Coli Total	8664	7701	NMP/100mL
Escherichia Coli (fecal)	309	144	NMP/100mL
Média Cor Aparente	10	11	uH
Média Alcalinidade Total	16	13	mgCaCO ₃ /L
Dureza	14	14	mgCaCO ₃ /L

– Não pesquisado

Em 2007, a estação tratou 25.848.676 m³ e gerou 746.462 m³ de água de lavagem de filtros, correspondente a 2,9% do volume tratado (CONTROLE OPERACIONAL DA ETA/FRANCA, 2008).

O sistema piloto foi montado na galeria de canalizações dos filtros da estação. Esta localização proporcionou à montagem proteção contra vandalismo e ação dos ventos, bem como facilidade para operação, coleta de amostras e transporte das mesmas para o laboratório de análises. As Figuras 4.1 e 4.2 fornecem vistas em planta e corte esquemáticos da estação com o local da instalação piloto, identificada como **J**.

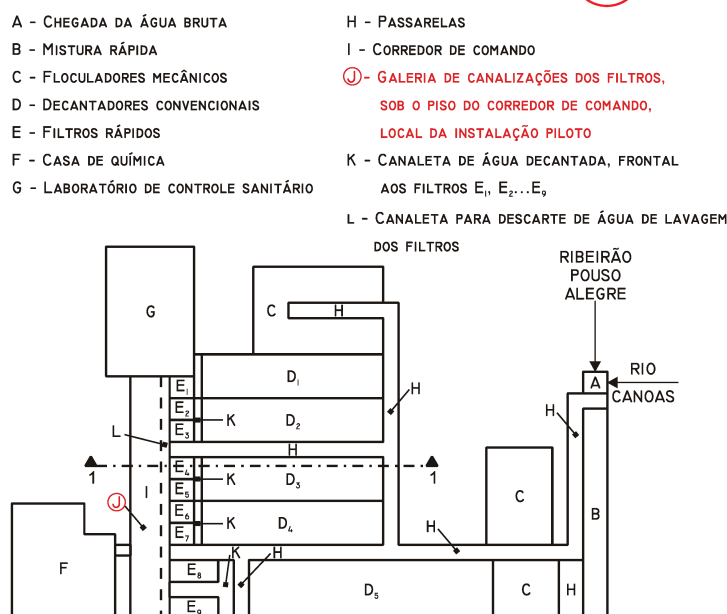


FIGURA 4.1 – Planta esquemática da Estação de Tratamento de Água com a localização da instalação piloto (sem escala).

A Figura 4.2 ilustra, em corte, o local, **J**, da instalação piloto.

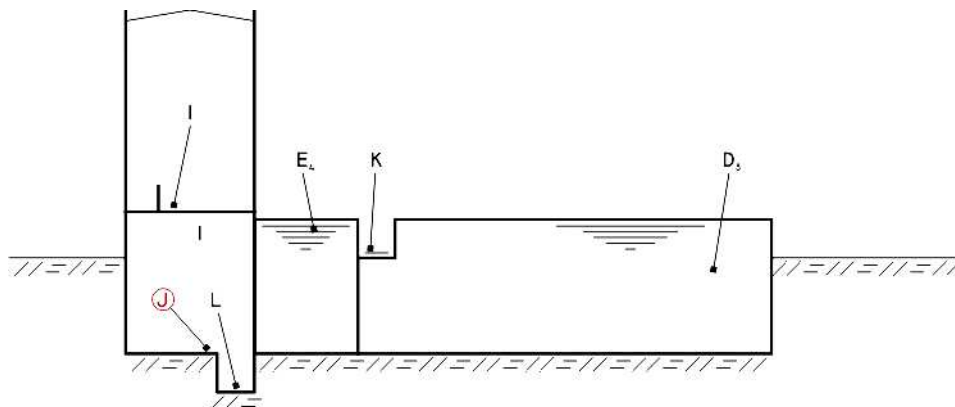


FIGURA 4.2 – Corte 1-1 esquemático da ETA com indicação do local da instalação do experimento piloto - **J**.

Na figura 4.3 estão esquematizadas as etapas componentes do estudo experimental.

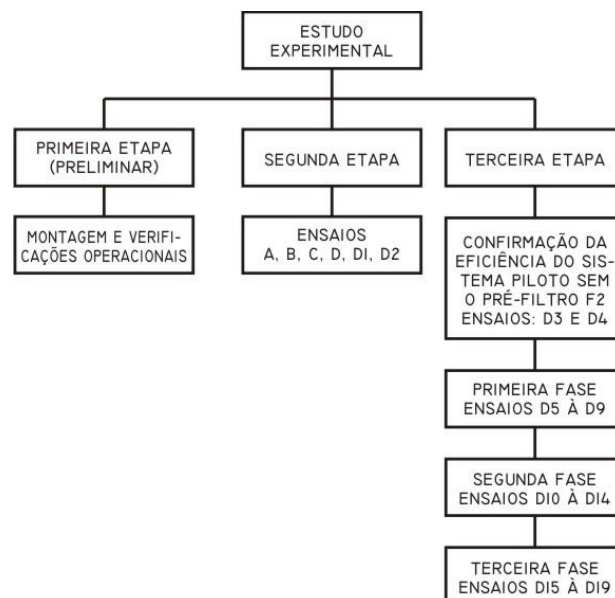


FIGURA 4.3 – Etapas componentes do estudo experimental.

Na figura 4.4, está representada a instalação piloto, utilizada na primeira e segunda etapas.

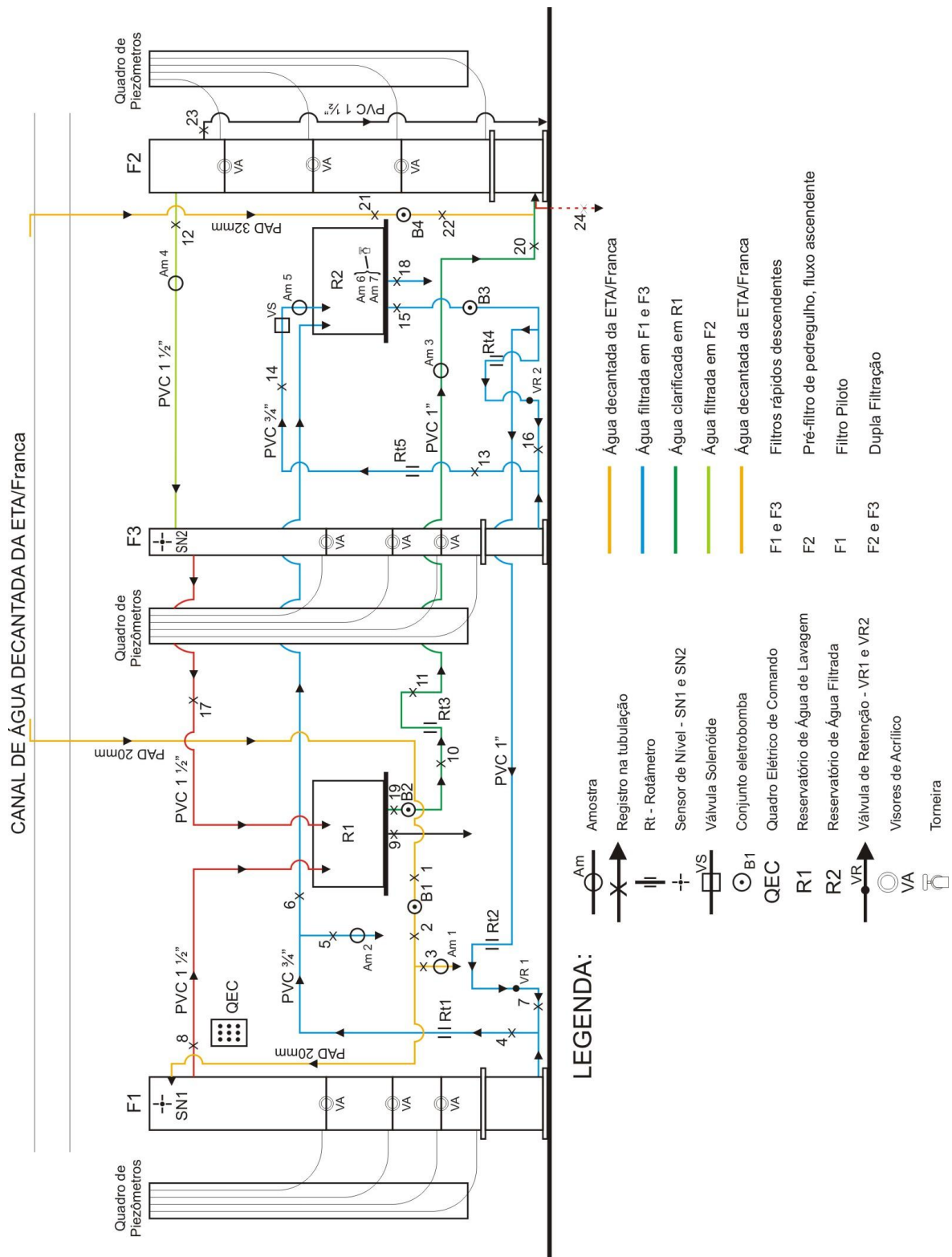


FIGURA 4.4 – Esquema geral da instalação piloto – Primeira e Segunda Etapas.

4.1 Descrição do Sistema Piloto

O sistema era constituído por três filtros, F1, F2 e F3. O F1 e o F3, eram filtros rápidos de fluxo descendentes, dotados com o mesmo meio filtrante dos filtros da ETA-Franca, relativamente ao material e espessuras das camadas. O pré-filtro F2 era de fluxo ascendente, com meio filtrante de pedregulho (seixo rolado), disposto em três camadas. Os três filtros foram montados com tubo de PVC rígido DEFOFO.

As três unidades eram compostas por dois segmentos flangeados. Um continha o meio filtrante e o outro simulava o fundo falso, separados por uma placa flangeada de PVC com espessura de 11 mm. Nos filtros F1 e F2, diâmetros nominais iguais a 200 mm, as placas de PVC flangeadas continham 66 furos de 3/8". Na unidade F3, diâmetro nominal de 100 mm, a placa de PVC flangeada era perfurada com 30 furos, também com diâmetros de 3/8".

Na Figura 4.5 estão fotografias que mostram as unidades principais componentes dos filtros F1, F2 e F3, antes da montagem.

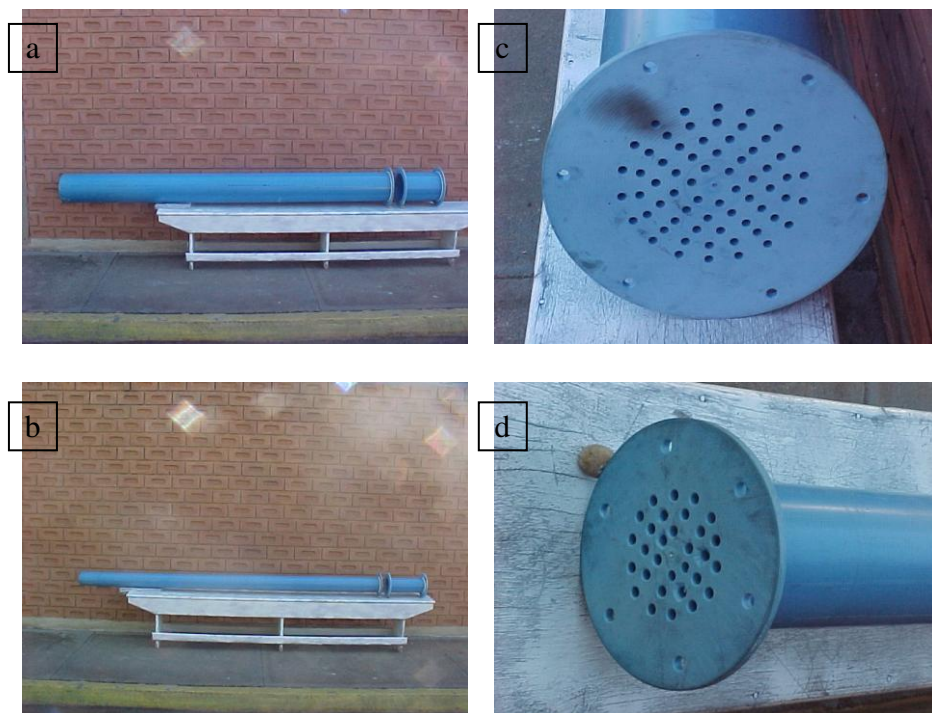


FIGURA 4.5 – Fotografias das unidades componentes dos filtros F1, F2 e F3: (a) Segmentos flangeados dos filtros F1 e F2; (b) Segmentos flangeados componentes do filtro F3; (c) Placa perfurada e flangeada usada no F1 e F2; (d) Placa flangeada e perfurada do F3.

A Figura 4.6 apresenta esquematicamente a montagem dos filtros.

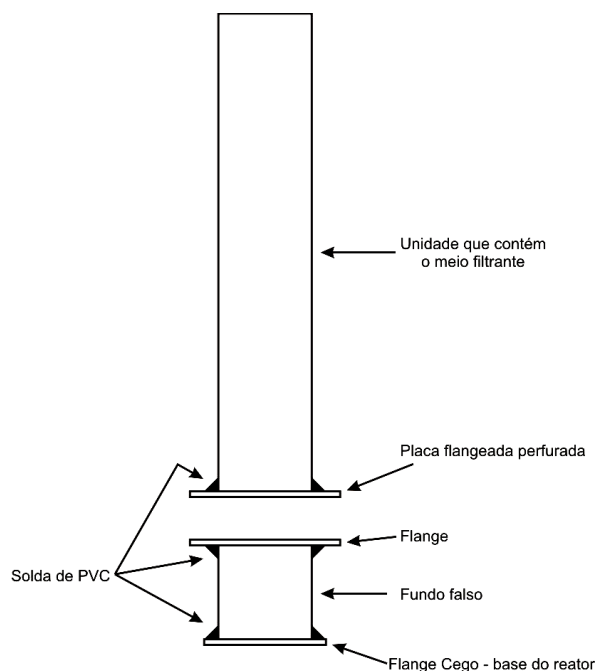


FIGURA 4.6 – Esquema dos componentes formadores dos filtros.

Em cada filtro foram colocadas quatro tomadas piezométricas para medição das alturas piezométricas ao longo dos meios porosos e 3 visores circulares, com diâmetro igual a 2,5 cm, confeccionados em acrílico transparente, nos limites de cada uma das camadas que compunham o mesmo.

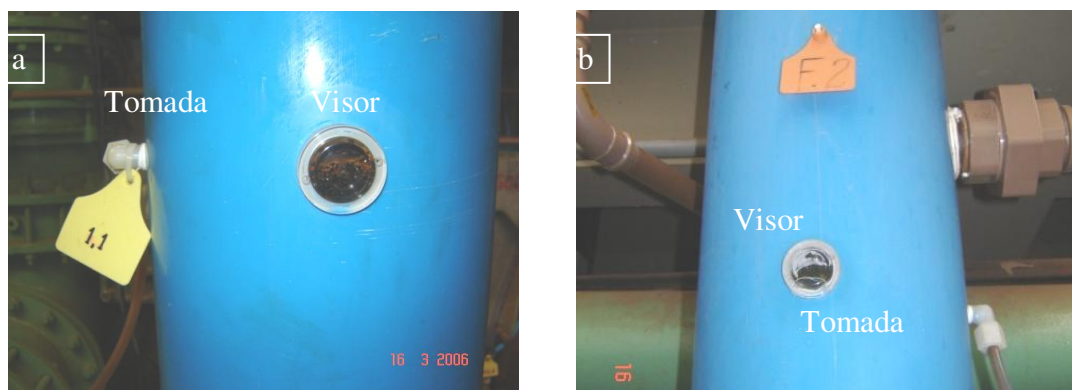
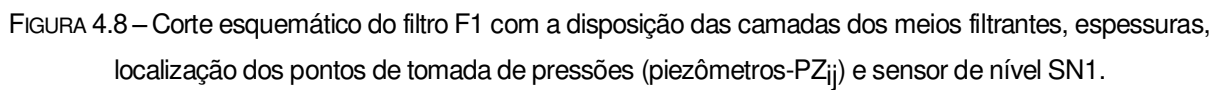


FIGURA 4.7 – (a) Vista de uma tomada piezométrica e de um visor transparente de acrílico, através do qual, é possível ver o topo da camada de antracito do filtro F1; (b) Visor de acrílico e tomada piezométrica – F2.

As Figuras 4.8, 4.9 e 4.10 mostram esquematicamente cortes dos filtros F1, F2 e F3.



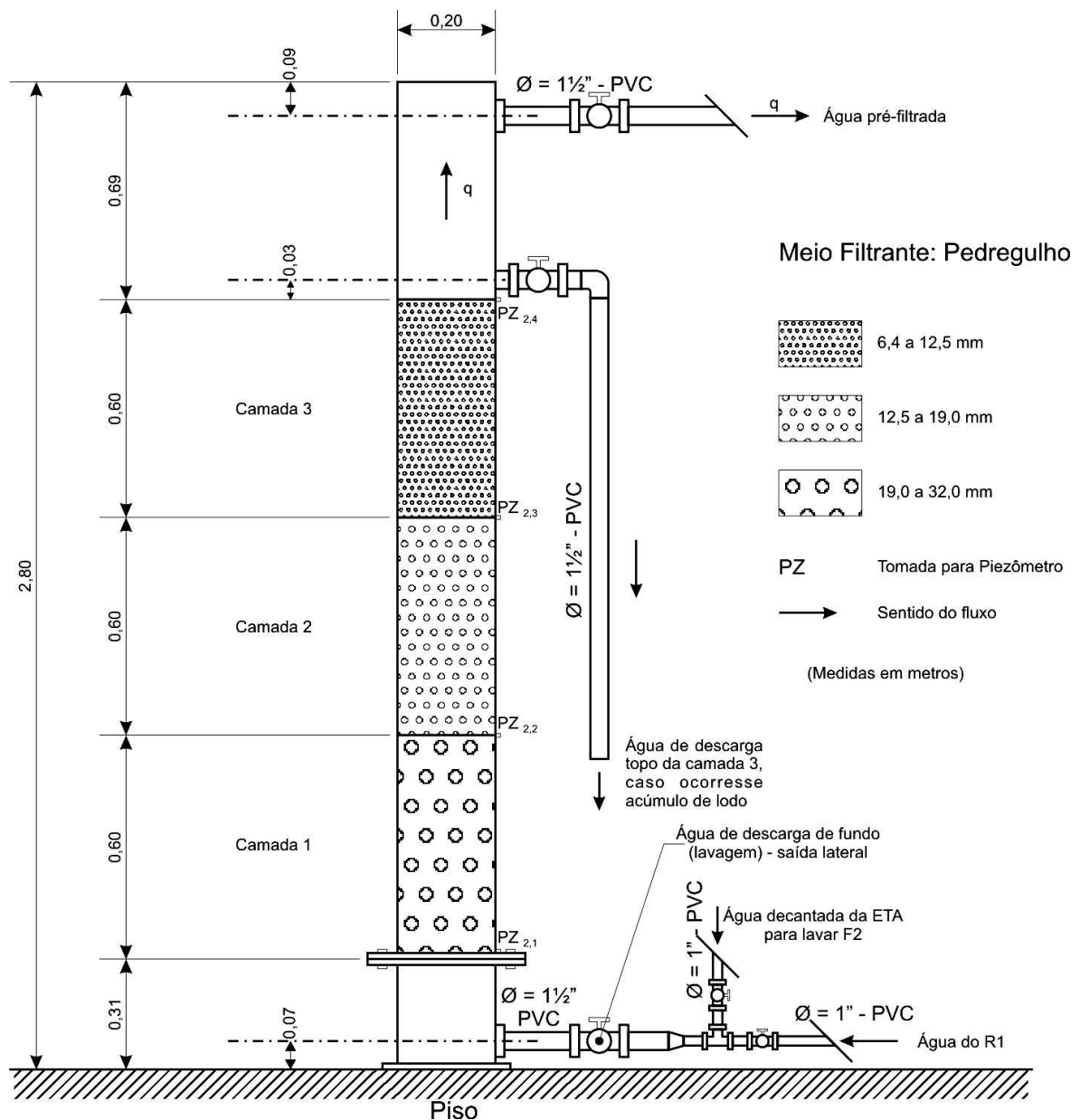


FIGURA 4.9 – Corte esquemático do pré-filtro de pedregulho F2, mostrando a disposição das camadas de pedregulho, espessuras, granulometrias e localização dos pontos de tomada de pressão (piezômetros-PZ_{ij}).

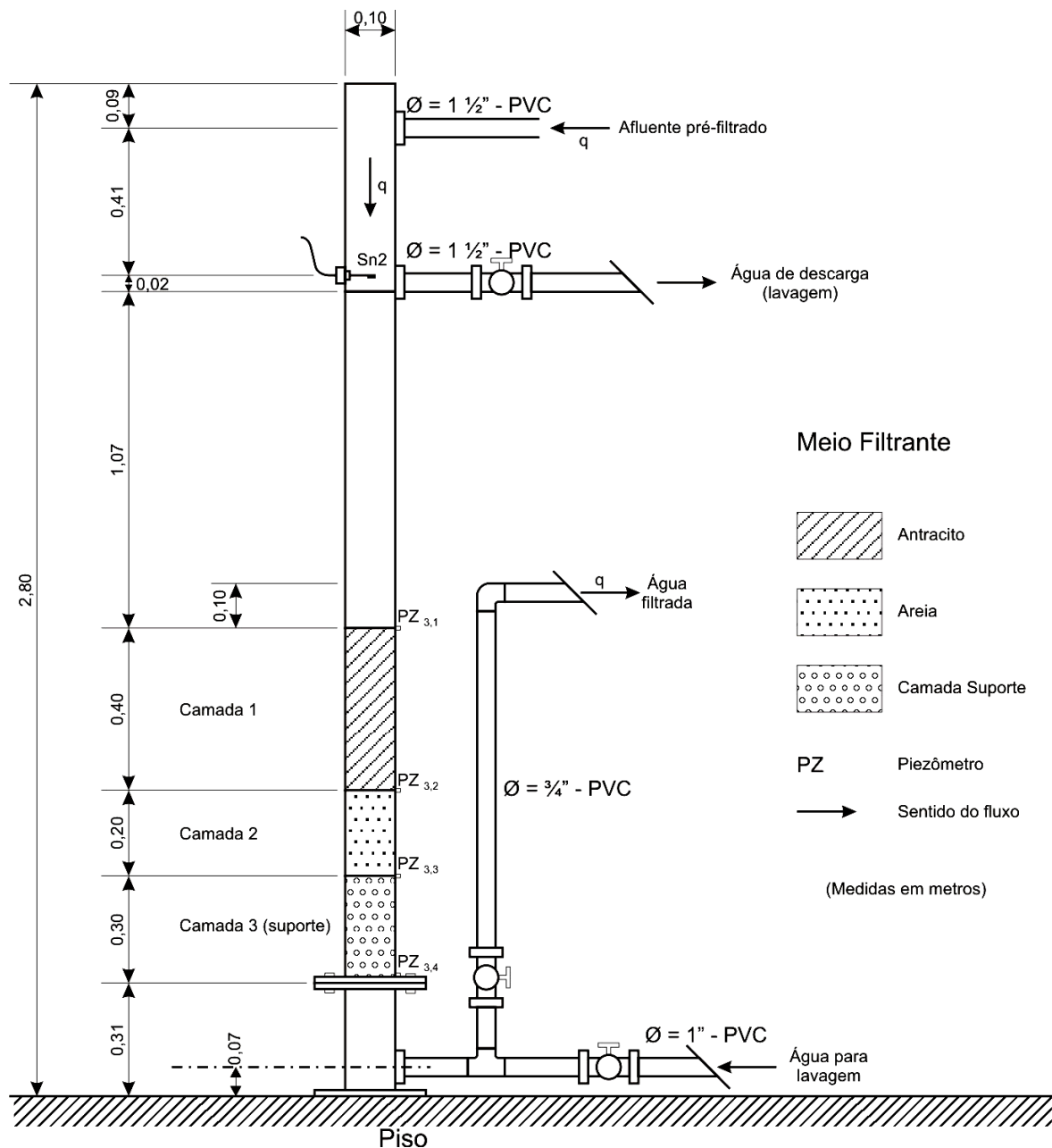


FIGURA 4.10 – Corte esquemático do filtro F3 com a disposição das camadas do meio filtrante, espessuras e localização dos pontos de tomada de pressões (piezômetros-PZ_{ij}) e sensor de nível SN2.

Dois (02) reservatórios de cimento-amianto, denominados R1 e R2 com capacidade para 500L e 750L, respectivamente, fizeram parte do sistema, para diferentes funções.

O reservatório denominado R1 recebia a água de lavagem dos filtros F1 e F3 (rápidos descendentes).

O segundo reservatório R2 recebia e reservava água filtrada oriunda dos filtros F1 (descendente), F2 e F3 (dupla filtração) para as operações de lavagem em contra-fluxo, dos filtros F1 e F3.

Foi instalada, externamente, na parede uma mangueira transparente para medir o nível da água contida no interior de cada um dos reservatórios. A cada nível, correspondia um volume de água. Este foi cuidadosamente medido com o uso de uma proveta graduada e anotado na parede externa do reservatório. Assim, foi possível conhecer pela leitura do nível, qual o volume de água contido em R1 e R2.

- Um (01) agitador mecânico foi instalado no R1 para homogeneizar a água de lavagem oriunda dos filtros F1 e F3. Este agitador era composto por um motor com potência de 550 W, um rotor do tipo axial metálico, diâmetro igual a 350 mm e largura da paleta de 40 mm. O rotor foi fixado em um eixo de aço inoxidável com diâmetro de 6,35 mm e comprimento igual a 350 mm. O desenho da Figura 4.11 ilustra o reservatório R1 e o agitador.

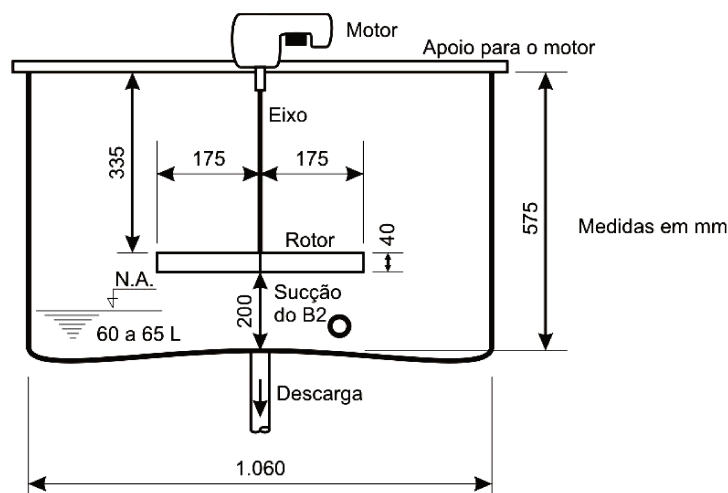


FIGURA 4.11 – Corte transversal esquemático do reservatório R1 com o agitador mecânico - Etapas 1 e 2.

As fotografias da Figura 4.12, “a” e “b”, ilustram os reservatórios R1 e R2.

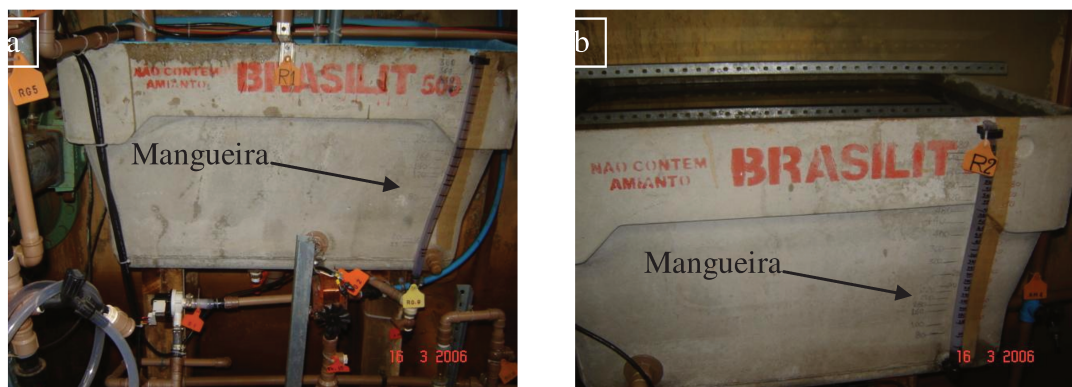


FIGURA 4.12 – Fotografias dos reservatórios (a) – R1 e (b) – R2 com as mangueiras e os respectivos níveis expressos nas paredes externas.

- No sistema ainda constavam quatro (04) conjuntos eletrobomba identificados como: B1, B2, B3 e B4.

As características dos conjuntos instalados no sistema estão anotadas na Tabela 4.2.

TABELA 4.2 – Características dos conjuntos eletrobombas montados no experimento.

CONJUNTO ELETROBOMBA	VAZÃO (L/min)	ALTURA MANOMÉTRICA (m.c.a.)	TENSÃO (V)
B1 e B4	10	1,5	220
B2 e B3	37	1,5	220

O conjunto B1 recalrava água decantada oriunda do decantador da ETA para ser filtrada no filtro F1, o filtro piloto, que simulava o funcionamento dos filtros da ETA.

O conjunto B2 recalrava a água de lavagem dos reatores F1 e F3, contidas em R1, para ser duplamente filtrada no pré-filtro de pedregulho F2 (fluxo ascendente) e em seguida no F3 (fluxo descendente). O efluente filtrado era aduzido para o reservatório R2.

O conjunto B3 recalrava a água filtrada do R2 para lavar, em contra-fluxo, os reatores F1 e F3. As águas de lavagens eram encaminhadas para o reservatório R1.

O conjunto B4 recalrava água decantada oriunda do decantador da ETA para lavar o filtro F2. Esta água de lavagem, oriunda do processo de descarga de fundo, era descartada no canal de água de lavagem dos filtros da estação. Este procedimento foi utilizado somente na segunda Etapa do trabalho.

A Figura 4.13 mostra as fotografias “a” e “b”, onde podem ser vistos, respectivamente, os conjuntos B1 e B2.

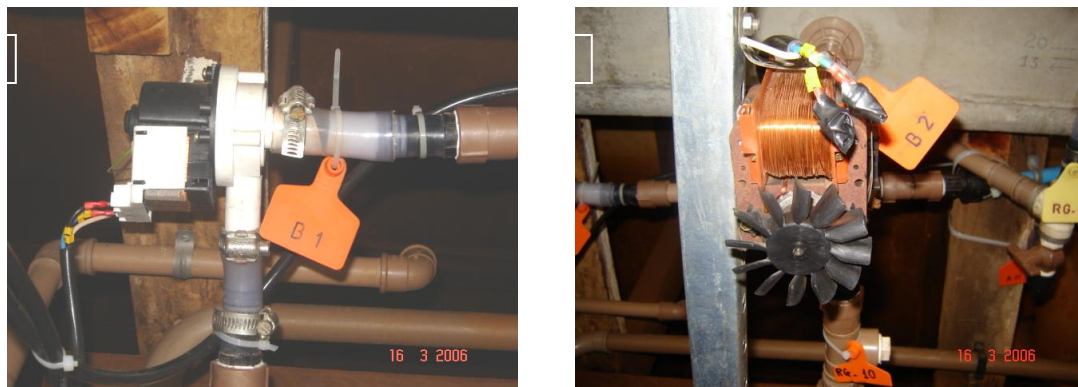


FIGURA 4.13 – Fotografias (a) e (b) dos conjuntos eletrobombas B1 e B2, respectivamente.

Dois (02) sensores de nível foram instalados nos filtros descendentes. O SN1 instalado no F1 e o SN2 no filtro F3.

O SN1 controlava o funcionamento do conjunto elevatório B1. Ligava e desligava-o para que o nível da lâmina de água sobre a superfície do meio poroso do F1 fosse mantido semelhante ao do nível da água decantada, sobre o meio poroso dos filtros da ETA.

Assim é que, quando a haste flutuante do SN1 alcançava o N.A. mínimo no interior do F1, o mesmo acionava o conjunto eletrobomba B1 que iniciava o recalque do efluente decantado do decantador da estação, até que o N.A. máximo fosse atingido e o B1 desligado. Neste funcionamento, o desnível entre os níveis máximo e mínimo variava 2,0 cm.

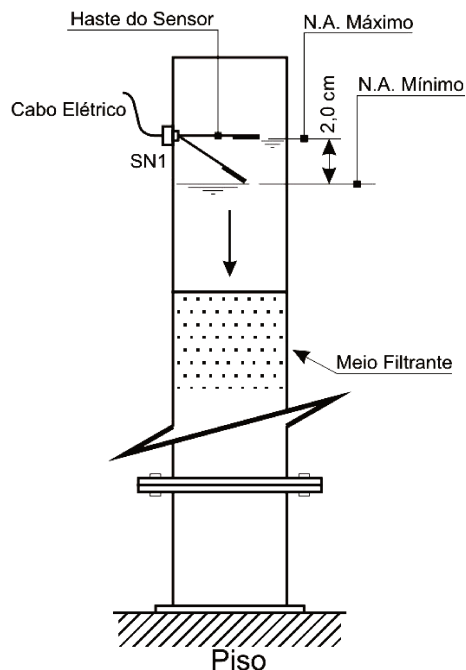


FIGURA 4.14 – Esquema do sensor de nível SN1, para controle dos níveis máximo e mínimo da água decantada da ETA, afluente ao filtro F1.

O outro sensor, SN2, instalado no F3, controlava o nível mínimo com a abertura e o fechamento da válvula solenóide VS, instalada na tubulação do efluente do F3. Este funcionamento permitia manter a água pré-filtrada pelo F2, sobre o meio poroso do F3, em um nível semelhante ao da água decantada sobre o meio poroso dos filtros da ETA.

Quando o nível mínimo de água sobre o meio poroso do F3 era atingido, o sensor SN2 que funcionava com bóia flutuadora, através do deslocamento da haste, acionava o fechamento da válvula solenóide VS. Como o recalque da eletrobomba B2 estava em atividade, o nível máximo de água era alcançado, e então, a válvula solenóide era aberta e liberava o fluxo do efluente filtrado para o reservatório R2. A variação entre os níveis máximo e mínimo de água sobre o meio poroso do F3 era de 2,0 cm.

- Um quadro elétrico de comando (QEC) foi instalado, de modo que pudessem ser operados os conjuntos B1, B2, B3 e B4, bem como os sensores SN1 e SN2 e a própria válvula solenóide VS.

Na Figura 4.15 podem ser visualizadas as unidades descritas.

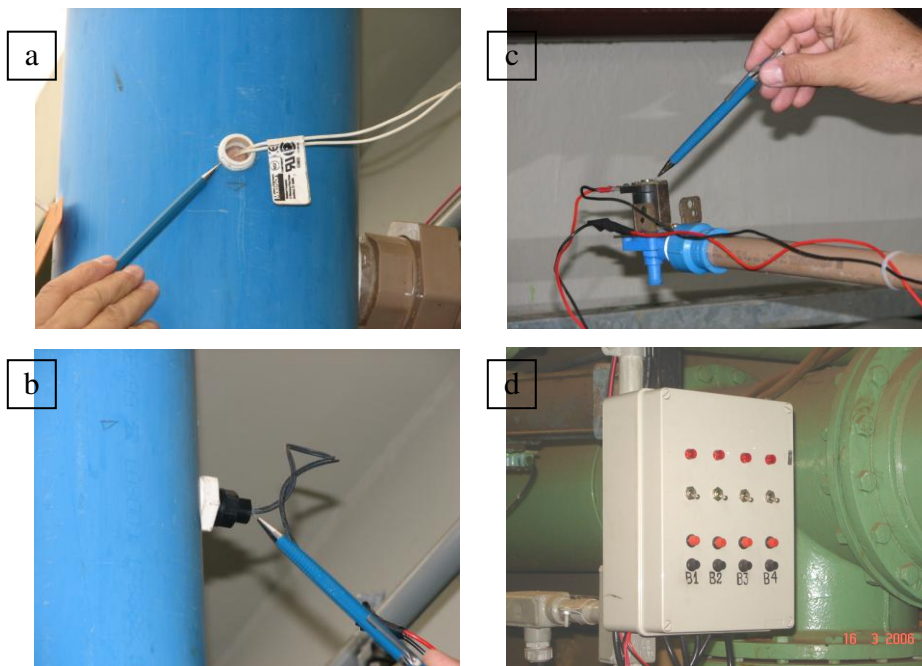


FIGURA 4.15 – Fotografias: (a) Sensor de Nível SN1; (b) Sensor de Nível SN2; Válvula Solenóide VS e (d) Quadro Elétrico de Comando (QEC), do sistema.

(c)

Para o controle de vazão no sistema, foram utilizados cinco rotâmetros identificados como: Rt1, Rt2, Rt3, Rt4 e Rt5.

Os rotâmetros Rt1, Rt2 e Rt4 tinham como especificações, medidas de vazões de 5 a 37,5 L/min e pressão máxima igual a 10,3 bar, enquanto os Rt3 e Rt5 tinham vazões de 0,4 a 4 L/min e pressão máxima, também igual a 10,3 bar.

Os mesmos podiam ser controlados através de registros de esfera.

As vazões medidas pelos rotâmetros foram aferidas com o auxílio de proveta graduada e cronômetro.

O rotâmetro Rt1 expressava a vazão efluente do filtro F1, enquanto o Rt2, mostrava o valor da vazão da água filtrada, recalcada pelo B3 do reservatório R2, para lavar em contra-fluxo o filtro F1. O Rt3 media a vazão da água de lavagem recalcada pelo B2, contida no reservatório R1, para ser tratada em dupla filtração pelos reatores F2 e F3. Já o Rt4 media a vazão de água filtrada, recalcada do reservatório R2 pelo B3

para lavar em contra-corrente, o filtro descendente F3. O rotâmetro Rt5 expressava a vazão do efluente filtrado pelo filtro descendente F3, que era conduzido para o reservatório de água filtrada R2. Ainda fazendo parte do sistema, tinham os quadros de piezômetros, em número de três, um para cada unidade de filtração.

Os reatores foram dotados de quatro tomadas de pressão (piezômetros), nomeados PZ_{ij} , onde o primeiro índice i definia o reator a que se referia a tomada e o segundo índice, j , à camada imediatamente acima do piezômetro em questão.

Nas Figuras 4.8, 4.9 e 4.10 podem ser verificadas as diferentes tomadas de pressão de cada filtro. Em cada tomada de pressão de cada um dos reatores foi acoplada uma mangueira de plástico transparente com diâmetro de 3/8", que reunidas, foram presas nos quadros de piezômetros. Ainda em cada um dos quadros, foram fixadas escalas milimétricas para monitorar a perda de carga em cada uma das camadas do meio poroso, dos respectivos reatores.

Para evitar possíveis retornos de água de lavagem, oriunda dos filtros F1 e F3, para o reservatório R2, através do fundo, foram instaladas válvulas de retenção, VR1 e VR2, no circuito de cada filtro respectivamente.

A Figura 4.16 retrata algumas das unidades do sistema.

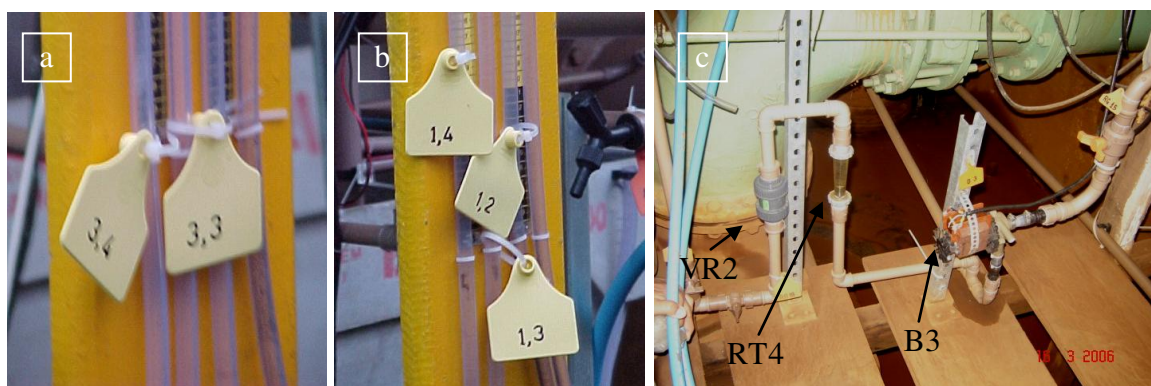


FIGURA 4.16 – Fotografias: (a) Quadro de Piezômetros do filtro F3; (b) Quadro de Piezômetros do filtro F1 e (c) Rotâmetro Rt4, Válvula de Retenção VR2 e o conjunto eletrobomba B3.

Na montagem foram utilizados ainda tubos e conexões de PVC, diâmetros de $\frac{3}{4}$ ", 1" e 1 $\frac{1}{2}$ " e PAD de 20mm e 32mm. Assim como registros de esfera e de gaveta.

As fotografias apresentadas na Figura 4.17 representam uma vista geral do sistema instalado.

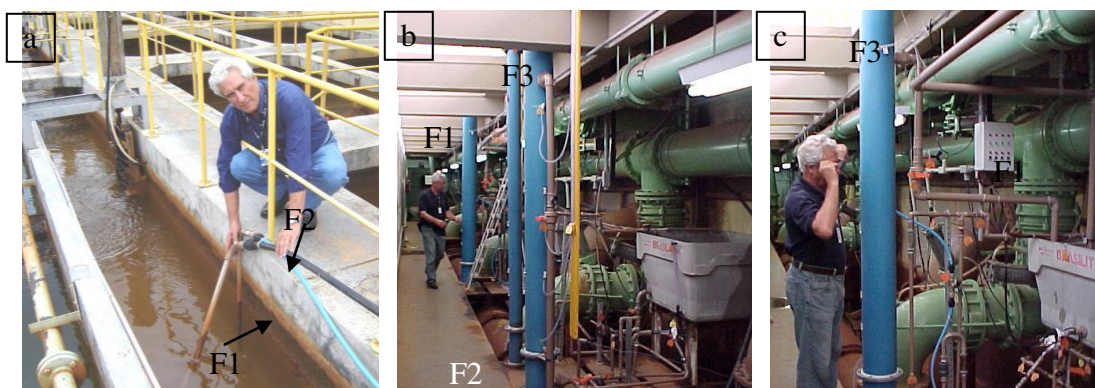


FIGURA 4.17 – Fotografias: (a) Tomadas de água decantada da ETA, afluente ao filtro F1 e para lavagem do pré-filtro de pedregulho F2; (b) Vista geral do sistema instalado e (c) Vista parcial do F1, QEC, R1 e tubos de descargas de águas de lavagem dos filtros F1 e F3 no reservatório R1.

4.2 Características do Meio Filtrante

As composições das camadas suportes, bem como dos leitos filtrantes dos reatores F1 e F3 eram idênticas às presentes nos filtros da ETA – Franca.

TABELA 4.3 – Características do antracito e areia utilizados nos filtros da ETA - Franca.

MATERIAL	TAMANHO EFETIVO	COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE
Antracito	0,85 a 0,90 mm	Inferior a 1,70
Areia	0,41 a 0,45 mm	Inferior a 1,55

Na Tabela 4.4 estão apresentadas as características da camada suporte dos filtros F1 e F3.

TABELA 4.4 – Características dos meios granulares utilizados na camada suporte dos filtros da ETA - Franca.

COMPOSIÇÃO DAS CAMADAS	REATORES F1 E F3	GRANULOMETRIA (mm)	
	ESPESSURA DA CAMADA (cm)	MAIOR GRÃO	MENOR GRÃO
Camada 1	6,5	19	9,5
camada 2	6,5	9,5	6,3
Camada 3	6,5	6,3	4,7
Camada 4	6,5	4,7	3,1
Camada 5	4,0	3,1	2,3

As especificações para granulometria e espessura das camadas do meio filtrante do pré-filtro de pedregulho F2 foram baseadas nos experimentos de BRESAOLA (1990).

TABELA 4.5 – Características do meio filtrante do Pré-Filtro de Pedregulho – F2.

COMPOSIÇÃO DAS CAMADAS	REATOR – F2	GRANULOMETRIA (mm)	
	ESPESSURA DA CAMADA (cm)	MENOR GRÃO	MAIOR GRÃO
1	60	19,0	32,0
2	60	12,5	19,0
3	60	6,4	12,5

4.3 Taxas de Filtração

Definidas as taxas de filtração, as mesmas foram relacionadas com as vazões utilizadas nos filtros, tendo como base a equação 4.1.

Diferentemente do filtro piloto F1, no qual a taxa de filtração e a respectiva vazão foram mantidas as mesmas, durante as três etapas do projeto experimental, as taxas e vazões correspondentes da unidade F2, variaram entre os valores de 50 e 100 m³/m².dia, na primeira e segunda etapas do experimento. Para o filtro F3, as taxas e vazões correspondentes variaram ao longo das três etapas do projeto, entre os valores de 176 e 362 m³/m².dia.

Na Tabela 4.6 estão apresentados os valores de taxas, velocidades de filtração e respectivas vazões usadas nos durante o experimento. Foi usada a Equação 4.1.

Tabela 4.6 – Valores de taxas de filtração, velocidades de filtração e respectivas vazões utilizadas nos reatores durante o experimento.

REATOR	DIÂMETRO INTERNO (cm)	ÁREA (m ²)	TAXA (m ³ /m ² .dia)	V. FILTRAÇÃO (m/min.)	VAZÕES	
					L/seg.	L/min.
F1	20,3 cm	3,236x10 ⁻²	321	0,2229	0,120	7,2
F2	20,3 cm	3,236x10 ⁻²	50	0,0347	0,018	1,1
F2	20,3 cm	3,236x10 ⁻²	100	0,0694	0,037	2,2
F3	10,6 cm	0,882x10 ⁻²	176	0,1222	0,018	1,1
F3	10,6 cm	0,882x10 ⁻²	362	0,2513	0,037	2,2

$$T = \frac{86,4 \times Q}{A} \quad (4.1)$$

onde: T → Taxa de filtração superficial (m³/m².dia);

Q → Vazão medida em L/s;

A → Área superficial transversal dos reatores (F1, F2 e F3);

4.4 Polímeros Químicos Utilizados na Refloculação das Águas de Lavagem e Adensamento do Lodo

Foram experimentados dois tipos de polímeros durante o trabalho, com o objetivo de verificar qual seria o melhor na aglutinação e sedimentação dos sólidos contidos nas águas de lavagem oriundas das unidades F1 e F3.

Um deles foi o polímero não iônico NALCOLYTE 4021, utilizado na estação de tratamento de Franca como auxiliar de floculação, e o outro, foi o polímero catiônico NALCO W360.

As dosagens de polímeros aplicadas nos efluentes de lavagem dos filtros F1 e F3 tiveram valores variáveis e iguais a 0,1; 0,2 e 0,4 mg/L.

Na Tabela 4.7 estão identificados os polímeros com seus nomes comerciais, origens e concentração das soluções aplicadas

TABELA 4.7 – Características dos polímeros utilizados durante o experimento.

POLÍMERO	ORIGEM	CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO APLICADA
Não Iônico NALCOLYTE 4021	NALCO do Brasil Ltda	2.000 mg/L
Catiônico NALCO W 360	NALCO do Brasil Ltda	1.000 mg/L

4.5 Etapas do Experimento

O experimento foi desenvolvido em três etapas.

4.5.1 Primeira Etapa

Uma etapa preliminar na qual foi montada a instalação piloto, eliminando vazamentos, verificados os funcionamentos de cada um dos equipamentos elétricos e hidro-mecânicos.

4.5.2 Segunda Etapa

4.5.2.1 Considerações Gerais.

Foram executados os ensaios A, B, C, D, D1 e D2, com objetivo de detectar os melhores procedimentos para condicionar no reservatório R1, a água de lavagem do filtro piloto F1 e ter em seguida, como resultado da dupla filtração a que era submetida esta água, um efluente com turbidez menor ou igual a 0,7 uT. Este valor é utilizado na ETA como limite, a partir do qual, os filtros são lavados. Estes ensaios foram executados basicamente, através de várias operações. Na Tabela 4.8 foram registradas as operações desenvolvidas na execução dos ensaios da segunda etapa.

TABELA 4.8 – Operações desenvolvidas nos ensaios da segunda etapa.

E N S A I O S	OPERAÇÕES							
	TAXA DE APLICAÇÃO PARA LAVAR F1 E F3 (1100m³/m².dia)			APLICAÇÃO DE POLÍMERO NA ÁGUA DE LAVAGEM DO FILTRO F1 CONTIDA NO RESERVATÓRIO R1	AGITAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DO FILTRO F1 NO RESERVATÓRIO R1		DECANTAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DO F1 NO R1	DUPLA FILTRAÇÃO EM F2 E F3
	VAZÕES CORRESPONDENTES (L/min)				HIDRÁULICA	MECÂNICA		
	F1	F2	F3					
A	25	–	7,0	N	N	S	S	S
B	25	–	7,0	S	N	S	S	S
C	25	–	7,0	S	S	N	N	S
D	25	–	7,0	S	N	S	S	S
D1	25	–	7,0	S	N	S	S	S
D2	25	–	7,0	S	N	S	S	S

N-NÃO; S-SIM; –SEM ESPECIFICAÇÃO

Especificamente para a execução do ensaio C, foi feita uma modificação no sistema de recalque da água de lavagem do filtro piloto F1, contida e condicionada no reservatório R1, para a dupla filtração em F2 e F3.

O objetivo foi fazer com que as impurezas contidas na água de lavagem permanecessem em suspensão de modo homogêneo, durante o bombeamento.

Tal atividade foi possível graças à instalação de uma derivação na tubulação de recalque, a jusante do conjunto eletrobomba B2 e a montante do registro 10, seguido do rotâmetro Rt3. Tal derivação com o registro 10A foi instalada e utilizada provisoriamente, apenas no **Ensaio C**. Após este ensaio, ela foi desmontada e no “te” de saída foi instalado um bujão, ou niple, para vedação.

A derivação permitiu que a vazão total Q_t fosse dividida em duas parcelas. A parcela Q_1 , que recirculou para o R1 e manteve as partículas em suspensão e a parcela Q_2 que foi bombeada para o sistema de dupla filtração, em F2 e F3.

O controle da vazão Q_2 foi feito pelo registro 11 com auxílio do rotâmetro Rt3. A Figura 4.18 ilustra a derivação instalada.

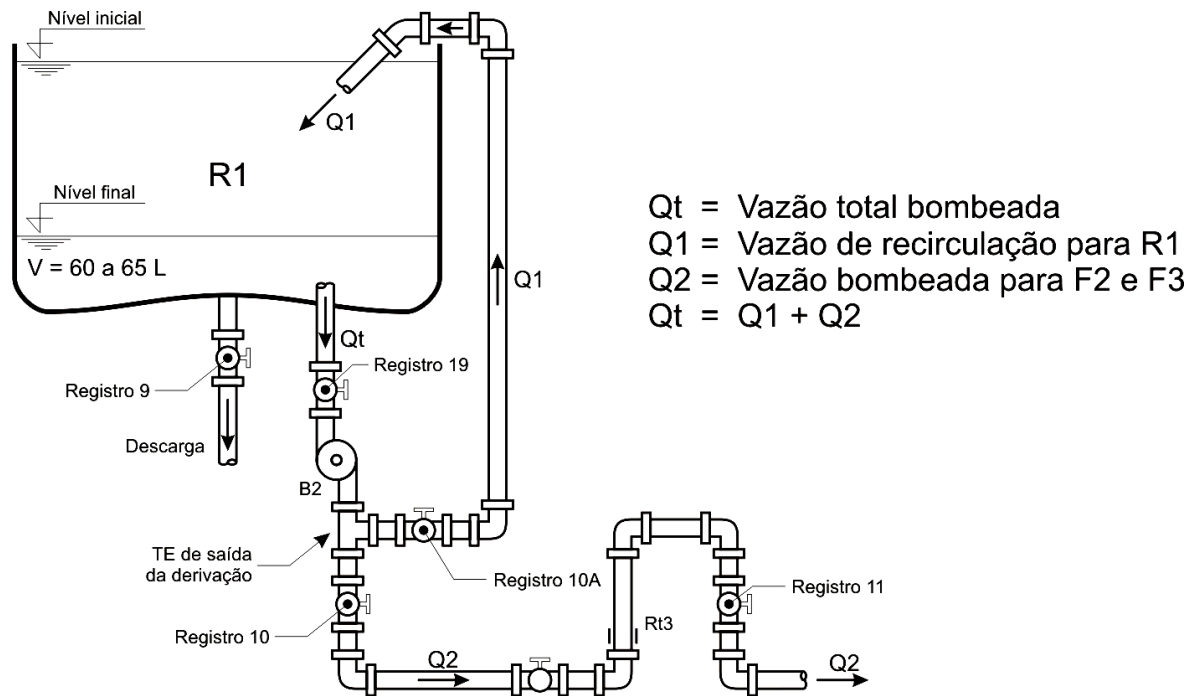


FIGURA 4.18 – Esquema da Derivação.

Depois dos ensaios A, B e C, foi pesquisado o potencial zeta da água de lavagem do filtro F1, após uma carreira normal desta unidade.

Na oportunidade, foi coletada uma amostra da água de lavagem oriunda do filtro F1 e enviada à SABESP em São Paulo, para que no laboratório da ETA Guaraú, fosse pesquisado o potencial zeta.

Dando continuidade à pesquisa, foi feito ensaio de “Jar Test” com água de lavagem do F1 com o objetivo de definir parâmetros, tais como: dosagem de produto químico (polímero), velocidade e tempo de agitação à serem aplicadas na água de lavagem do F1.

A metodologia utilizada na execução do ensaio D1 teve uma particularidade. O filtro F1, após duas carreiras seguidas, foi submetido a duas operações de limpeza, o que gerou volume maior de água de lavagem no reservatório R1 e a necessidade de abastecer o reservatório R2 com um volume maior de água filtrada pelo F1, no início da primeira carreira, à ser utilizado nas duas operações de retrolavagem.

4.5.2.2 Coleta de Amostras.

A coleta de amostras de água para o controle de turbidez dos afluentes e efluentes das unidades de filtração, F1, F2 e F3, foram feitas durante a carreira de cada uma delas, quando da execução dos ensaios da segunda etapa. As amostras do afluente e do efluente do F1 foram denominadas Am1 e Am2, respectivamente. O afluente e efluente do pré-filtro F2 receberam as denominações Am3 e Am4 e o efluente do F3, Am5.

Na Tabela 4.9 foram identificadas as amostras colhidas durante os ensaios da segunda etapa.

TABELA 4.9 – Amostras colhidas durante os ensaios da segunda etapa – Controle da turbidez.

IDENTIFICAÇÕES		
A M O S T R A S	Am1	Água decantada da ETA, afluente ao filtro piloto F1
	Am2	Efluente filtrado pelo filtro piloto
	Am3	Água de lavagem do filtro piloto F1, acondicionada no reservatório R1, bombeada para a dupla filtração, afluente ao filtro de pedregulho F2
	Am4	Efluente do filtro F2, aduzido como afluente do F3
	Am5	Efluente do filtro F3, (efluente final da dupla filtração)

Simultaneamente às coletas das amostras, foram feitas as leituras piezométricas, que permitiram o acompanhamento das perdas de carga, nas camadas do meio filtrante de cada unidade de filtração. No esquema da Figura 4.3 foram registrados os pontos onde foram coletadas as amostras Am1, Am2, Am3, Am4 e Am5.

4.5.2.3 Variáveis de Controle.

As variáveis de controle se limitaram à medida da turbidez, com um turbidímetro HACH 2100P, das amostras dos afluentes e efluentes das unidades F1, F2 e F3 e às perdas de cargas nos respectivos meios porosos, através das leituras dos piezômetros.

4.5.2.4 Procedimentos Operacionais.

O esquema da Figura 4.3 permite visualizar as unidades componentes da montagem experimental e facilitar a compreensão dos procedimentos operacionais, praticados durante os ensaios A, B, C, D, D1 e D2, da segunda etapa.

- a) Início de Operação do filtro piloto F1 – Eram abertos os registros 1 e 2. A água decantada da ETA chegava por gravidade no conjunto eletrobomba B1 que acionado, recalrava-a para ser filtrada no F1, cuja vazão efluente era controlada pelo rotâmetro Rt1 e o registro 4, de tal modo a fornecer a taxa esperada;
- b) Abastecimento do reservatório R2 – No início da operação do F1, ele tinha seu efluente filtrado, aduzido para o reservatório R2, operação que era feita com o fechamento do registro 5 e abertura do registro 6;
- c) Encerramento do abastecimento do reservatório R2 – Uma vez abastecido o R2, era aberto o registro 5, fechado o registro 6 e assim, o filtro piloto F1, tinha o seu efluente, desviado e descartado no canal, que recebe os efluentes de lavagens dos filtros da estação;
- d) Encerramento da carreira do F1 – Terminado seu tempo de carreira, o F1 era desativado através do fechamento do registro 2 e desligamento do conjunto B1;
- e) Limpeza do F1 – Eram fechados os registros 4 e 16, abertos o 7 e o 15, quando então, era ligado o conjunto B3 e a água do R2 era recalçada em contra-fluxo à taxa pré-fixada de $1.100 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, tendo a vazão de recalque mantida sob o controle do rotâmetro Rt2 e o registro 7. Antes do início do bombeamento, o registro 8 era aberto para permitir que o efluente de lavagem fosse aduzido para o R1;
- f) Encerramento da limpeza do F1 – Era fechado o registro 7, desligado o conjunto eletrobomba B3 e fechado o registro 8;

- g) Condicionamento do efluente de limpeza do F1 em R1 – A água de lavagem do F1 era submetida a um processo ou combinação de processos, tais como: receber ou não aplicação de polímero, ser agitada mecânica ou hidraulicamente, não passar por agitação, ser decantada ou não;
- h) Dupla filtração em F2 e F3 – Encerrado o condicionamento da água de lavagem do F1, contida no R1, a mesma era bombeada para a dupla filtração no pré-filtro de pedregulho F2, ascendente, seguido do filtro rápido F3. A operação tinha início com a abertura dos registros 19, 10, 11, 20, 12, 13 e 14, nesta ordem, quando em seguida era ligado o conjunto B2 que tinha a vazão de recalque controlada pelo rotâmetro Rt3 e o registro 10, de tal forma a atender uma taxa relativa à dupla filtração. Também tinha controle, a vazão efluente do F3, através do rotâmetro Rt5 e do registro 14, que era aduzida para o reservatório R2. Encerrado o bombeamento, coincidente com os tempos de carreiras do F2 e F3, o registro 10 era fechado e desligado o conjunto B2. Na sequência, eram fechados os demais registros. Durante esta operação, eram monitoradas a turbidez dos afluentes e efluentes do filtro F1, do pré-filtro F2, assim como do efluente do F3. Eram feitas ainda, as leituras dos piezômetros de cada um dos filtros, para monitorar as perdas de carga nos respectivos meios filtrantes.
- i) Limpeza do pré-filtro F2 – Ela iniciava com a descarga de fundo, através da abertura do registro 24. Em seguida o registro 24 era fechado e abertos os registros 21 e 22, quando então, a água decantada oriunda da ETA, chegava por gravidade ao conjunto eletrobomba B4 que ligado, bombeava a água pelo fundo do reator F2 em fluxo ascendente, até que fosse atingido o nível de 0,60m, acima do topo da última camada porosa, quando então, o conjunto B4 era desligado. Em seguida, o registro 22 era fechado e o 24 aberto, para a descarga de fundo que terminada, tinha o registro 24 fechado. Esta operação se repetia por mais duas vezes e totalizada quatro descargas de fundo. Há que se esclarecer que, as descargas eram descartadas no canal da estação e a vazão de recalque do conjunto B4, não tinha valor definido;

- j) Limpeza do filtro F3 – Ela iniciava com a abertura dos registros 15, 16 e 17, mantido fechado o 13, quando então, era ligado o conjunto B3. Este que bombeava a água do R2 em contra-fluxo a uma taxa específica de $1.100 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, para lavar o F3. A vazão de recalque correspondente era controlada pelo rotâmetro Rt4 e registro 16. O efluente da lavagem era aduzido para o reservatório R1, de onde era descartado para o canal da ETA, através da abertura do registro 9, descarga do R1. Finalizado o bombeamento, era fechado o registro 16, desligado o conjunto B3 e fechados em seguida os registros 15 e 17. Duração média de 8,6 min.
- k) Limpeza dos reservatórios R1 e R2 – Depois de esvaziados, eram lavados com água tratada da ETA, através da utilização de uma mangueira acoplada a um ponto de tomada d'água, próximo da instalação piloto. Toda a água de limpeza era descartada no canal que recebe as águas de lavagens dos filtros da estação.

Cumpridas as operações descritas, o sistema piloto estava em condições para ser utilizado na execução de outro ensaio.

Durante os ensaios da segunda etapa, foram observadas três ocorrências relevantes. Na primeira foi verificado que, finalizado o bombeamento da água de lavagem condicionada no reservatório R1, para a dupla filtração em F2 e F3, sobrava em R1 o volume que variava de 60 à 65L de água de lavagem e lodo. A segunda ocorrência registrou que os valores da turbidez do afluente ao filtro piloto F1, água decantada da ETA, controlados pela amostra Am1, se revelaram semelhantes aos do afluente do pré-filtro de pedregulho F2, água de lavagem do filtro F1, após aplicação do polímero catiônico e da decantação no reservatório R1, cujo controle era feito pela amostra Am3. Na terceira ocorrência, verificou-se que depois de 30 minutos de decantação, da água de lavagem do filtro F1, no interior do reservatório R1, era possível notar ainda, partículas em processo de sedimentação.

4.5.3 Terceira Etapa

4.5.3.1 Considerações Gerais

Foram feitas modificações na montagem do experimento, originadas pelas três ocorrências observadas durante o desenvolvimento dos ensaios da segunda etapa.

- O pré-filtro de pedregulho, F2, foi retirado do sistema.

O filtro piloto F1, durante todo o experimento, produziu efluente com turbidez menor que 0,7 uT.

Tal alteração se apoiou nos resultados citados na denominada segunda ocorrência e no fato de que, sendo iguais os filtros F1 e F3, filtros rápidos com o mesmo meio filtrante, o F3, baseado nos bons resultados de turbidez para o efluente do filtro piloto F1, poderia apresentar também bons resultados de turbidez para o seu efluente, mesmo sem o filtro ascendente de pedregulho, o F2. A alteração foi feita e surtiu os resultados esperados, através dos Ensaios D3 e D4. Esta modificação também pode ser considerada interessante do ponto de vista econômico, pois em uma aplicação do sistema na escala real, não haveriam custos relativos à implantação e manutenção do filtro ascendente de pedregulho F2.

- As paredes internas e o fundo do reservatório R1 foram modificadas com aplicação de fibra de vidro. O fundo foi nivelado e as paredes internas, inclinadas com ângulo de 57°, em relação ao plano de fundo.

O fundo do reservatório R1 não era uma superfície plana. Internamente ao reservatório, junto às paredes laterais o nível da superfície do fundo era mais baixo que aquele da região central do R1. Por este motivo, após o bombeamento da água de lavagem do F1, sobravam no interior do reservatório, cerca de 60 a 65 L da água de lavagem. Esta situação, mais as paredes verticais do reservatório, não permitiram no decorrer do experimento, a obtenção de valores mais precisos quanto às perdas de água

de lavagem no processo, assim como, descargas de fundo com os descartes de toda a água e lodo, do reservatório R1.

- Ainda no reservatório R1, foi instalado mais um tubo de sucção em cota com nível superior ao da cota da tubulação de sucção existente.

O desenho da Figura 4.19 ilustra esquematicamente um corte do reservatório R1 com as modificações em fibra de vidro, explicitadas.

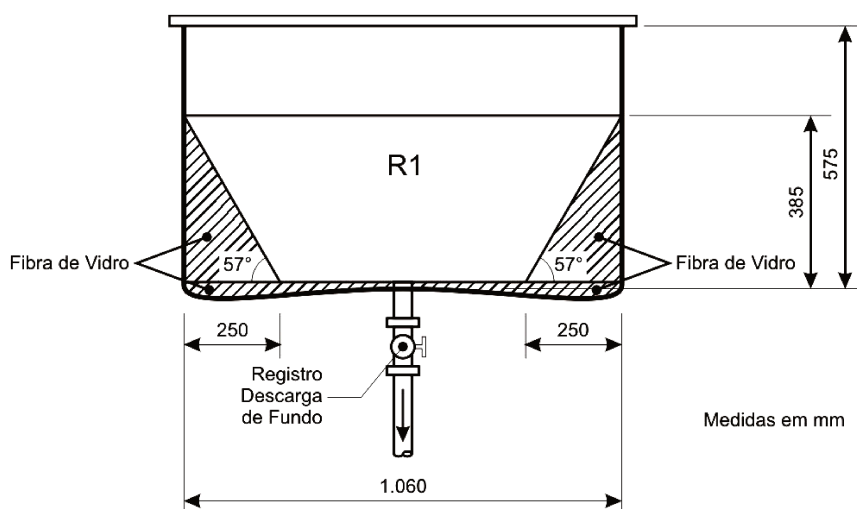


FIGURA 4.19 – Corte esquemático do R1 com as paredes internas inclinadas em relação ao plano de fundo, também modificado.

A Figura 4.20 ilustra singularidades do interior do reservatório R1, cujas identificações tiveram suas descrições dispostas na sequência:

- A – Descarga de fundo do R1.
- B – Tubulação de sucção do conjunto eletrobomba B2, instalada em cota inferior.
- C – Tubulação de sucção do conjunto eletrobomba B2, instalada em cota superior.
- D – Haste para manobrar o registro da sucção superior.
- E – Haste para manobrar o registro da sucção inferior.
- F – Tubo de descarga da água de lavagem do filtro F1.
- G – Tubo de descarga da água de lavagem do filtro F3.

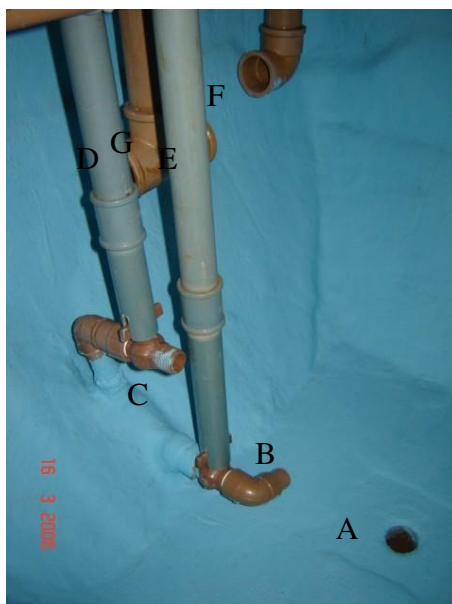


FIGURA 4.20 – Fotografia do interior do reservatório R1, onde foram identificados as singularidades A, B, C, D, E, F e G.

As modificações implementadas deram outra feição ao sistema piloto utilizado na terceira etapa, como pode ser visto na Figura 4.20.

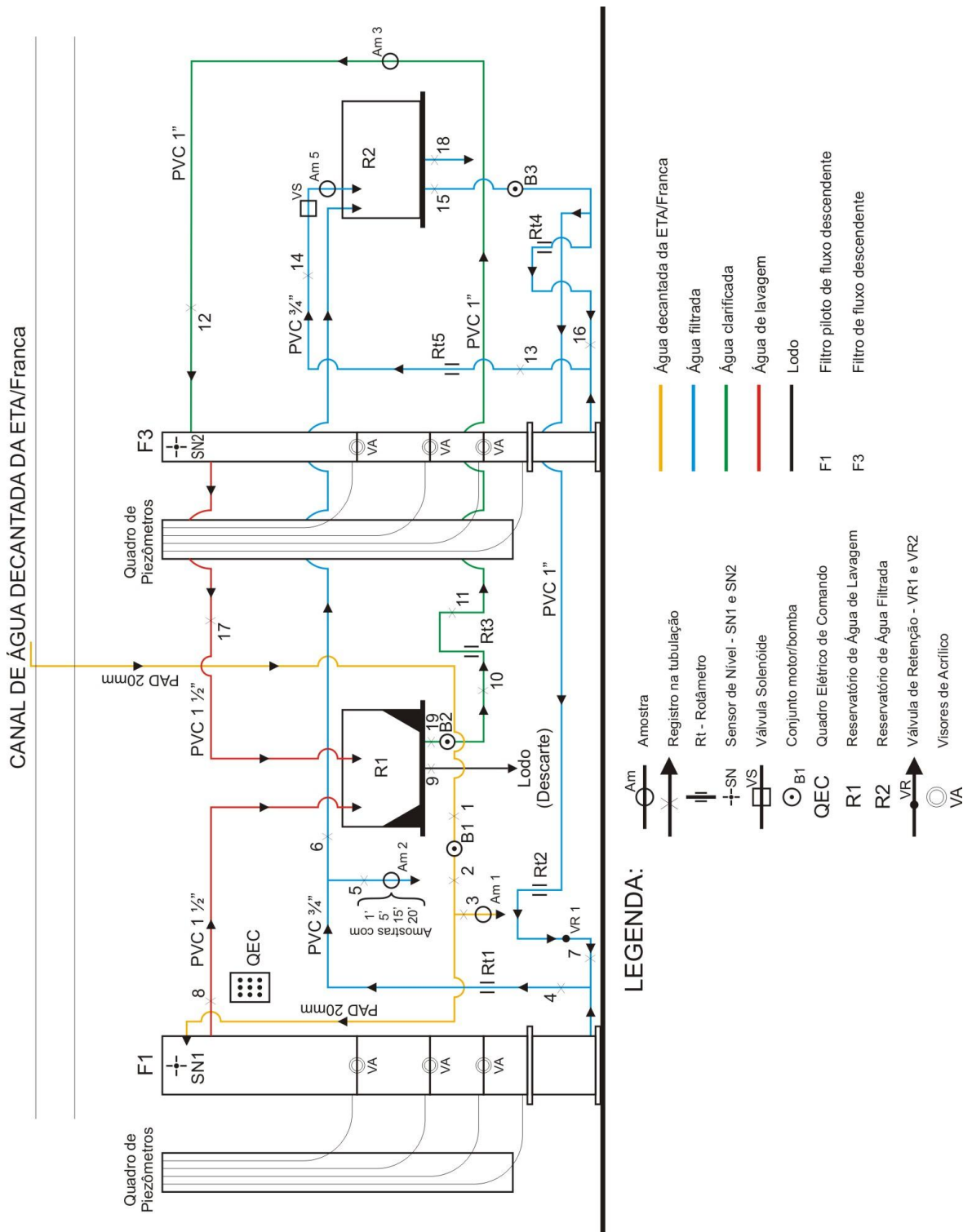


FIGURA 4.21 – Esquema da instalação piloto – Terceira Etapa.

Para comprovar a confiança no funcionamento do sistema então modificado, foram feitos os **Ensaio D3** e **D4**.

O **Ensaio D3** teve seu encerramento tão logo terminou o bombeamento da água de lavagem do filtro F1, contida e condicionada no reservatório R1, diretamente para a filtração no filtro F3, agora, sem a presença do pré-filtro de pedregulho F2.

O **Ensaio D4** teve a execução mais demorada e apresentou algumas singularidades. Neste ensaio o filtro piloto F1 foi colocado em operação e lavado por duas vezes seguidas, conforme descrito de forma bastante sintética. Na primeira operação de lavagem, feita em contra-fluxo com água filtrada pelo filtro F1, contida no reservatório R2, a água de lavagem foi aduzida para o reservatório R1 onde recebeu aplicação de polímero sob agitação mecânica e decantou. Em seguida, foi recalçada para ser filtrada diretamente no filtro F3, quando teve o efluente filtrado, aduzido para o reservatório R2. Finalizado o bombeamento, o filtro F3 foi lavado pela primeira vez, agora com água parcialmente reciclada do R2, relativa ao tratamento em R1 e F3, da primeira água de lavagem produzida pela limpeza do F1.

A segunda operação de lavagem do F1, foi feita também em contra-fluxo com água reciclada, contida no reservatório R2. A água de lavagem desta operação, aduzida para o R1, mistorou-se à sobra da água de lavagem ali contida e no seu condicionamento, não recebeu polímero. Passou por agitação mecânica e decantação, após o que, foi bombeada para a filtração direta no filtro F3.

Na sequência é que foram realizados os ensaios que objetivamente acompanharam a variação da qualidade da água filtrada no início da operação do filtro F1 e da qualidade da água reciclada para lavá-lo. Os ensaios foram realizados em três fases distintas:

Primeira fase: **Ensaio D5, D6, D7, D8 e D9;**

Segunda fase: **Ensaio D10, D11, D12, D13 e D14;**

Terceira fase: **Ensaio D15, D16, D17, D18 e D19.**

Basicamente, na metodologia utilizada neste etapa, os efluentes das lavagens do F1 e F3 eram aduzidos para o reservatório R1, onde eram condicionados por alguns dos processos: aplicação de polímero, agitação mecânica ou hidráulica e decantação. Na

sequência, a água contida no reservatório R1 era bombeada diretamente para filtrar no filtro F3. O efluente do F3 era aduzido para o reservatório R2, de onde era utilizado em outras operações de lavagens dos filtros F1 e F3. Assim, as operações se repetiam, de tal modo a se ter a reciclagem das águas de lavagens dos filtros F1 e F3, em circuito fechado.

4.5.3.2 Coleta de Amostras – Terceira Etapa

A amostragem foi feita em diferentes momentos e locais. Durante os **Ensaio D3, D4** e em todos ensaios da primeira, segunda e terceira fases, **D5 à D19**, foram feitas coletas de amostras do afluente e do efluente dos filtros F1 e F3, durante seus tempos em operação.

Na Tabela 4.10 foram identificadas as amostras colhidas durante os ensaios da Terceira Etapa.

TABELA 4.10 – Amostras colhidas durante os ensaios da terceira etapa – Controle da turbidez.

IDENTIFICAÇÕES		
A M O S T R A S	Am1	Água decantada da ETA, afluente ao filtro piloto F1
	Am2	Efluente filtrado pelo filtro piloto F1
	Am3	Água de lavagem dos filtros F1 e F3, acondicionadas no reservatório R1, bombeada para filtração diretamente no filtro F3 (afluente ao F3)
	Am5	Efluente do filtro F3
	Am6	Água filtrada pelo filtro piloto F1, contida no reservatório R2, início do ensaio D15, antes da utilização na lavagem do filtro F1
	Am7	Água filtrada e reciclada por cinco vezes, final do ensaio D19 e do experimento
	—	Amostras da água filtrada pelo filtro piloto F1, no início de carreira, nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos – Ensaios da primeira à terceira fases

– Amostras para análises físico-químicas cujas identificações foram as datas, horários das coletas e nome do coletor

Nos ensaios da primeira, segunda e terceira fases, além das coletas citadas, foram feitas ainda coletas de amostras para análises físico-químicas do efluente do filtro piloto F1. Estas coletas foram feitas de acordo com um procedimento padrão. Assim é que em todos ensaios das três fases, **D5 à D19**, depois de lavado, o filtro

piloto F1 era colocado em operação, quando então, do seu efluente, eram feitas coletas de amostras nos tempos de operação iguais a 1, 5, 15 e 20 minutos. Elas eram feitas com o tempo controlado por um cronômetro que era acionado assim que o filtro piloto F1 entrava em operação. Elas eram coletadas no mesmo local onde era colhida a amostra Am2, cuja finalidade era tão somente monitorar a turbidez do efluente do F1. Tal procedimento visou verificar a variação da qualidade físico-química da água obtida, imediatamente após o início da filtração, após lavagem com a água reciclada.

Por orientação do Laboratório de Controle Sanitário e Ambiental da SABESP em Franca, as identificações destas amostras coletadas a 1, 5, 15 e 20 minutos, foram feitas com etiqueta colada ao frasco da coleta e registrada em uma planilha. Assim é que, as identificações se limitaram à data, hora da coleta e autor. Os resultados das análises físico-químicas foram fornecidos anotados em cópias das planilhas originais, utilizadas nas respectivas coletas. De posse destes resultados, é que foram montadas as tabelas, contidas no Anexo A.

As análises físico-químicas das amostras foram feitas de acordo com a metodologia e o procedimento, preconizadas pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA e WEF, 1995).

Há que se dizer que no início do **Ensaio D15** e final do **Ensaio D19**, ambos da terceira fase, foram feitas duas coletas da água contida no reservatório R2. Elas foram identificadas como amostras Am6 e Am7, respectivamente.

Estas amostras, Am6 e Am7, mostraram a variação das variáveis físico-químicas, relativas à água filtrada no início da operação do filtro F1 e desta mesma água, depois de reciclada por cinco vezes, durante os ensaios da terceira fase, **D15** à **D19**.

Durante os **Ensaio D5** à **D19**, as carreiras de filtração do filtro piloto F1 foram monitoradas relativamente às variáveis: turbidez do afluente (água decantada da ETA) através da amostra Am1 e do efluente, pela amostra Am2; perda de carga nas camadas constituintes do meio filtrante e vazão do efluente.

No final dos **Ensaio D6** e **D8**, **D11** e **D13**, **D16** e **D18** realizados nas primeira, segunda e terceira fases, respectivamente, foram feitas coletas de amostras do lodo contido no reservatório R1, através de descargas de fundo do R1. A finalidade foi obter e comparar as curvas do teor de sólidos sedimentáveis, em Cone Imhoff, em função do tempo.

O esquema modificado da instalação piloto, ilustrada na Figura 4.20, contribuirá para a compreensão das coletas de amostras, feitas durante o desenvolvimento da terceira etapa.

4.5.3.3 Variáveis de Controle

Foram monitoradas as variáveis físico-químicas das amostras do efluente do filtro F1, coletadas nos tempos de operações iguais a 1, 5, 15 e 20 minutos, respectivamente, assim como, das amostras Am6 e Am7, ambas da água filtrada F1, início do **Ensaio D15**, sem que esta água tivesse sido reciclada. Am7, água filtrada e reciclada. Am7, água filtrada e reciclada por cinco vezes, final do **Ensaio D19**, encerramento dos Ensaio da Terceira Fase e do experimento.

Foram monitoradas ainda a turbidez do afluente e efluente dos filtros F1 e F3, à semelhança do praticado nos Ensaio da Segunda Etapa.

As perdas de carga do F1 e F3 nos seus meios filtrantes também tiveram monitoramento, assim como, as vazões efluentes do filtro piloto F1, durante a sua carreira, através de leituras feitas no rotâmetro Rt1.

4.5.3.4 Procedimentos Operacionais – Terceira Etapa

Os ensaios da terceira etapa foram agrupados em três fases distintas e executados segundo as cronologias expressas nas Tabelas 4.11, 4.12 e 4.13.

TABELA 4.11 – Ensaios da Primeira Fase

DATA DA EXECUÇÃO	DIA DA SEMANA	ENSAIO
24/09/2007	Segunda-feira	D5
25/09/2007	Terça-feira	D6
26/09/2007	Quarta-feira	D7
27/09/2007	Quinta-feira	D8
28/09/2007	Sexta-feira	D9

TABELA 4.12 – Ensaios da Segunda Fase

DATA DA EXECUÇÃO	DIA DA SEMANA	ENSAIO
01/10/2007	Segunda-feira	D10
02/10/2007	Terça-feira	D11
03/10/2007	Quarta-feira	D12
04/10/2007	Quinta-feira	D13
05/10/2007	Sexta-feira	D14

TABELA 4.13 – Ensaios da Terceira Fase

DATA DA EXECUÇÃO	DIA DA SEMANA	ENSAIO
12/05/2008	Segunda-feira	D15
13/05/2008	Terça-feira	D16
14/05/2008	Quarta-feira	D17
15/05/2008	Quinta-feira	D18
16/05/2008	Sexta-feira	D19

Todos os ensaios da primeira, segunda e terceira fase, tiveram suas execuções de acordo com os seguintes procedimentos:

DOMINGO – O filtro piloto F1 era colocado em operação para filtrar a água decantada da estação. O efluente filtrado era aduzido para abastecer o reservatório R2. Depois de abastecido o R2, o filtro F1 tinha o seu efluente descartado no canal utilizado pela estação, para receber a água de lavagem dos seus filtros.

SEGUNDA-FEIRA – Depois de cumprir seu tempo de carreira, o filtro F1 era tirado de operação. Em seguida, era lavado em contra-fluxo com água bombeada do reservatório R2. O efluente da limpeza era aduzido para o reservatório R1.

No R1, a água de lavagem ao ser condicionada, passou por um tempo de 30 minutos em decantação, à exceção de dois ensaios, **D11** e **D13**, nos quais decantou por 50 minutos.

Durante este tempo, o filtro F1 era recolocado em operação, quando então, tinha o seu efluente filtrado, amostrado nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos, enquanto era descartado no canal da ETA, descarte que tinha prosseguimento por todo o tempo de operação do filtro F1, que se encerrava no dia seguinte. Tal procedimento visava registrar a variação da qualidade da água, após lavagem com a água reciclada.

Finalizado o tempo de decantação da água de lavagem, no interior do reservatório R1, o clarificado era bombeado para a filtração no filtro F3, cujo efluente era aduzido para o reservatório R2.

Terminado o bombeamento do clarificado, o filtro F3 era lavado em contra-fluxo com água do reservatório R2. O efluente de lavagem do filtro F3 era então aduzido para o reservatório R1. Estava assim encerrado o primeiro ensaio, de uma das três fases.

No dia seguinte, terça-feira, ao completar o seu segundo tempo de carreira, o filtro piloto F1 era tirado de operação.

A partir daí, todos os procedimentos eram repetidos na execução dos demais ensaios.

A exceção na repetição dos procedimentos então citados, ocorria na terça e quinta-feira, quando era encerrada a operação do bombeamento do clarificado contido no R1, para filtração no filtro F3. Neste instante, antes que o filtro F3 fosse lavado, era dada descarga de fundo no reservatório R1, durante a qual era procedida a coleta de amostra do lodo descartado no canal da ETA, produzido pelas operações executadas nos ensaios anteriores. Assim, só então, após esta descarga, é que o filtro F3 era lavado e tinha o efluente da limpeza aduzido para o reservatório R1.

As descargas do lodo do reservatório R1 eram feitas depois da execução de dois ensaios consecutivos. Elas foram escolhidas aleatoriamente, com o objetivo de avaliar o lodo gerado durante os ensaios, relativamente ao teor de sólidos sedimentáveis, em função do tempo, através da utilização do Cone Imhoff.

Há que se destacar que em todos os ensaios da terceira etapa, as carreiras de filtração do filtro piloto F1, tiveram monitorados os parâmetros: turbidez do afluente (água decantada da ETA), amostra Am1, do efluente, amostra Am2, perdas de carga nas camadas do meio poroso e vazões do efluente. Considerando que os valores destes parâmetros se mantiveram semelhantes durante os **Ensaio D5 à D19**, foram apresentados apenas os valores do acompanhamento das carreiras do filtro F1, que precederam os **Ensaio D10 e D15** e que podem ser consultados nas Tabelas A35 e A36, no Anexo A, respectivamente.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

O trabalho foi executado em três etapas, conforme descrito no Capítulo 4. No Anexo A, em forma de tabelas, estão apresentados os valores monitorados nos ensaios da segunda e terceira etapas e de acordo com o já mencionado, também no Capítulo 4, a terceira etapa foi composta pelos ensaios da primeira, segunda e terceira fases, os quais foram feitos sem a dupla filtração, dada a exclusão do filtro ascendente de pedregulho F2, logo após o final da segunda etapa.

Os valores monitorados foram: perda de carga nas camadas filtrantes das unidades F1, F2 e F3; turbidez dos afluentes e efluentes destes filtros; valores das variáveis físico-químicas das amostras coletadas do efluente do filtro piloto F1, no início da filtração nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos; vazão efluente do filtro F1 e teor de sólidos sedimentáveis em função do tempo em Cone Imhoff do lodo descartado pelo fundo do reservatório R1.

No Anexo B foram feitas breves considerações de caráter técnico e financeiro, relativas à montagem de um sistema coexistente, responsável pelo tratamento, reuso e reciclagem da água de lavagem de filtros, em circuito fechado.

5.1 Primeira Etapa

Preliminarmente foram identificados e reparados vazamentos que ocorreram em algumas conexões. O quadro elétrico de comando, os conjuntos eletrobombas B1, B2, B3 e B4, os sensores de nível e a válvula solenóide foram submetidos aos testes pertinentes. Os rotâmetros tiveram seus funcionamentos verificados, os valores de vazões aferidos e os registros submetidos aos testes de abertura e fechamento, assim como, verificados os piezômetros. Estas atividades foram fundamentais para o conhecimento operacional do sistema.

5.2 Segunda Etapa

Foram executados vários ensaios com o objetivo de definir aquele ou aqueles que pudessem atender ao parâmetro turbidez, para o efluente da unidade F3, pré-fixado como igual ou menor que 0,7 uT, à semelhança do que é usado para os filtros da estação, conforme citado no capítulo 4.

Assim é que, foram realizados vários ensaios identificados como: **Ensaio A, B, C, D, D1 e D2.**

Nas carreiras do filtro piloto F1, com as quais foram iniciados todos os ensaios, os resultados obtidos para o efluente, atenderam ao parâmetro turbidez, com valores menores que 0,7 uT e mantiveram semelhanças nas perdas de cargas, relativas às camadas constituintes do meio filtrante. Assim é que, nesta etapa foi apresentado apenas um dos monitoramentos da unidade F1, referente aos valores da turbidez e perdas de carga. Há que se destacar que todas as vezes em que o F1 foi colocado em operação, ele iniciou com a taxa de filtração igual a 321 m³/m².dia, correspondente à vazão de 7,2 L/min, assim como, nos ensaios da segunda etapa, as carreiras duraram 24 horas.

Os **Ensaio A, B e C** foram repetidos e reprovados por apresentarem como resultados, para o efluente do filtro F3, valores maiores que 0,7 uT. Diferentemente, o

Ensaio D foi aprovado, pois a variável turbidez do efluente do F3, se manteve menor que 0,7 uT. Assim ele foi repetido por mais duas vezes, através dos **Ensaio D1** e **D2** para comprovação do resultado.

5.2.1 Resultados do Ensaio A – Sem Aplicação de Polímero na Água de Lavagem do Filtro F1

O ensaio foi desenvolvido de acordo com as operações descritas em cada um dos itens registrados em 4.5.2.4.

O filtro F1 foi colocado em operação com taxa de filtração igual a 321 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, vazão igual a 7,2 L/min. Abasteceu o reservatório R2 com 480L de água filtrada e teve em seguida, o seu efluente desviado e descartado no canal que recebe a água de lavagem dos filtros da ETA, até o final da carreira, após 24 horas.

Encerrada a carreira, foi tirado de operação e lavado durante 11,2 min com água do reservatório R2, bombeada em contra-fluxo à taxa de aplicação igual a 1.100 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, correspondente a vazão igual a 25 L/min. A operação durou 11,2 min e gerou 280 L de água de lavagem, aduzidos para o reservatório R1, onde permaneceram em decantação durante 90 minutos. Em seguida o clarificado foi bombeado para a dupla filtração em F2 e F3. O bombeamento foi feito à vazão de 1,2 L/min e correspondeu às taxas de 53 e 196 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, respectivamente nos filtros F2 e F3. Durou 180 min e sobraram no R1, 64 L da água de lavagem do filtro F1. Na sequência, o filtro F2 foi lavado com quatro descargas de fundo que descartaram o volume aproximado de 226 L no canal que recebe a água de lavagem dos filtros da ETA.

Deve ser destacado que, devido as condições de trabalho do sistema piloto, não foi possível reciclar este volume de água. Daí ter sido utilizada água decantada da estação para a lavagem do F2. É recomendável que seja desenvolvido outro trabalho, onde possa estar disponível um sistema de coleta desta água de descarga, em cota

mais baixa, de modo a ser inserido em outra pesquisa de reuso/reciclagem, considerado que isto não foi cotejado no presente trabalho. Em seguida, o F3 foi lavado, também em contra-fluxo com taxa igual a $1.100 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, correspondente a vazão de 7 L/min. A operação durou aproximadamente 8,57 min e produziu 60 L de água de lavagem, também descartados no canal da estação, após o que, os reservatórios R1 e R2 foram também lavados.

O **Ensaio A** foi reprovado, pois os valores de turbidez do efluente do filtro F3, detectados na amostra Am5, foram maiores que 0,7 uT, com valores mínimo e máximo iguais a 0,34 uT e 3,33 uT, respectivamente.

O ensaio A foi reprovado, pois os valores de turbidez da amostra Am5, efluente do F3, foram maiores que 0,7 uT. O valor mínimo registrado foi de 0,34 uT e o máximo igual a 3,33 uT, durante a carreira do F3.

A Figura 5.1 ilustra a evolução da perda de carga ao longo do tempo de carreira igual a 24 horas, da unidade de filtração F1, filtro piloto que simulou os filtros da estação. Esta carreira precedeu o início do **Ensaio A** e, como citado anteriormente, foi tomada como representante das outras, executadas no início de cada um dos ensaios.

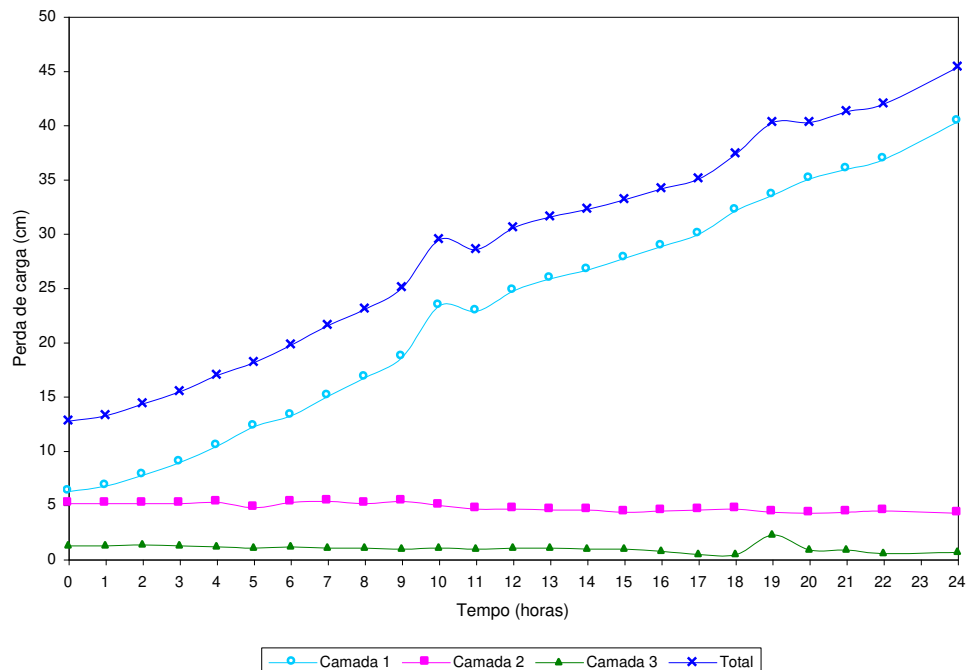


FIGURA 5.1 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F1. Carreira do Filtro F1 - Segunda Etapa. Taxa de $321 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

A perda de carga em cada camada foi calculada pela diferença entre as alturas manométricas medidas nos piezômetros entre o início e fim daquela camada. Assim, a perda de carga na camada 1 do filtro F1 foi igual à diferença ($Pz\ 1,1 - Pz\ 1,2$).

Os dados utilizados para obtenção da Figura 5.1 estão na Tabela A1, contida no Anexo A.

A Figura 5.2 representa a variação dos valores de turbidez, medidas em uT, relativas ao afluente (água decantada da ETA de Franca) e efluente do filtro F1, também correspondente ao início do **Ensaio A**.

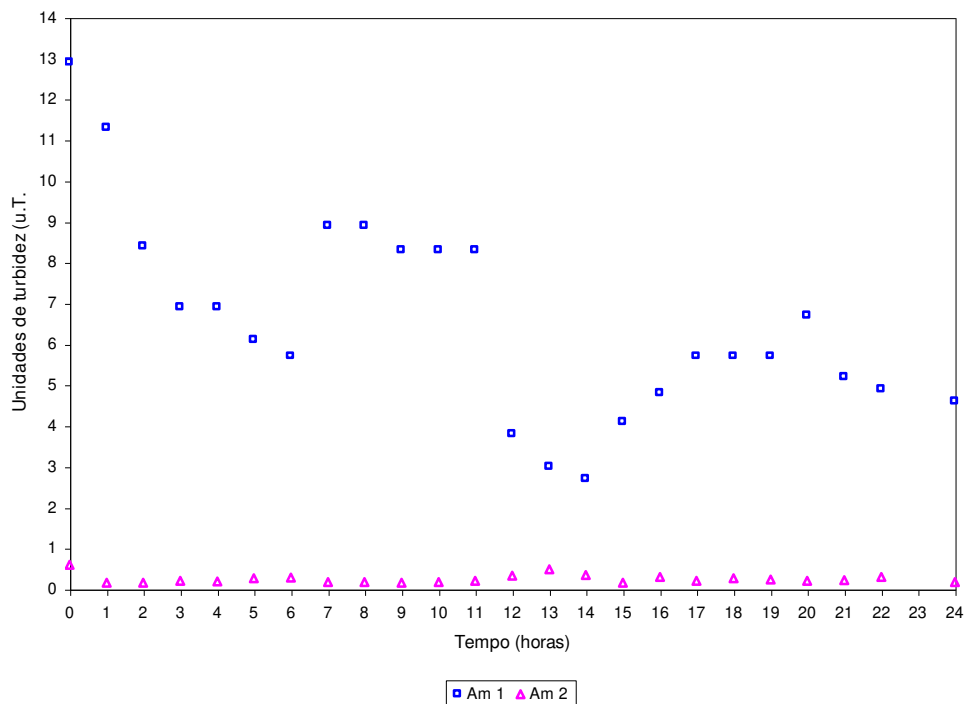


FIGURA 5.2 – Variação da Turbidez do afluente (Am 1) e efluente (Am 2), do filtro F1, ao longo do tempo de carreira do Filtro F1 - Segunda Etapa. Taxa de $321 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

Para a construção da Figura 5.2 foram utilizados os valores também registrados na Tabela A1, relativos à turbidez do afluente (Am 1) e efluente (Am 2) do filtro F1.

Na Figura 5.3 está a evolução da perda de carga, registrada no filtro ascendente de pedregulho (F2), durante o seu tempo de operação no **Ensaio A**. Os dados que geraram esta figura estão na Tabela A2 do Anexo A.

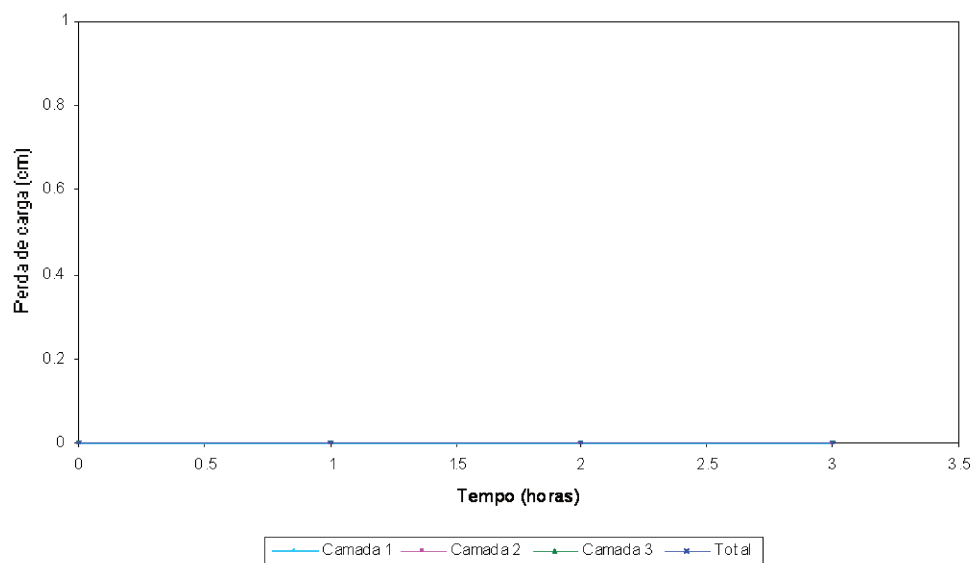


FIGURA 5.3 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F2 pré filtro de pedregulho. Ensaio A - Segunda Etapa. Taxa de $53 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

A evolução da perda de carga no filtro F3, ao longo do processo de filtração, durante o **Ensaio A**, está representada na Figura 5.4. Os valores que compuseram esta figura estão na Tabela A3 do Anexo A.

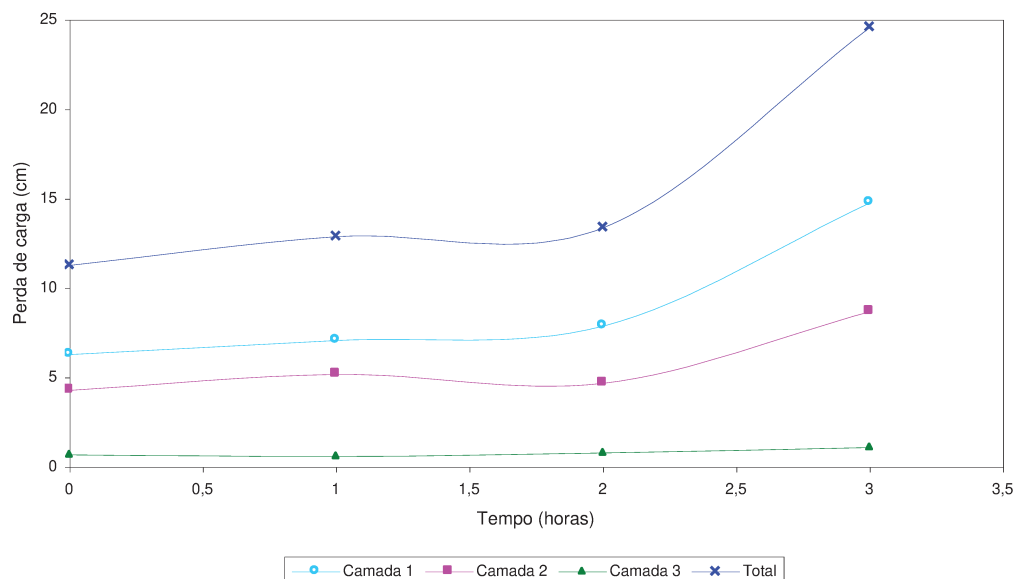


FIGURA 5.4 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F3. Ensaio A - Segunda Etapa. Taxa de $196 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

Na Figura 5.5 estão representados a variação dos valores da turbidez do afluente (Am 3) e do efluente (Am4) da unidade de filtração F2, mais a turbidez do efluente (Am 5) do filtro F3. Estes valores estão presentes nas Tabelas A2 e A3 do Anexo A.

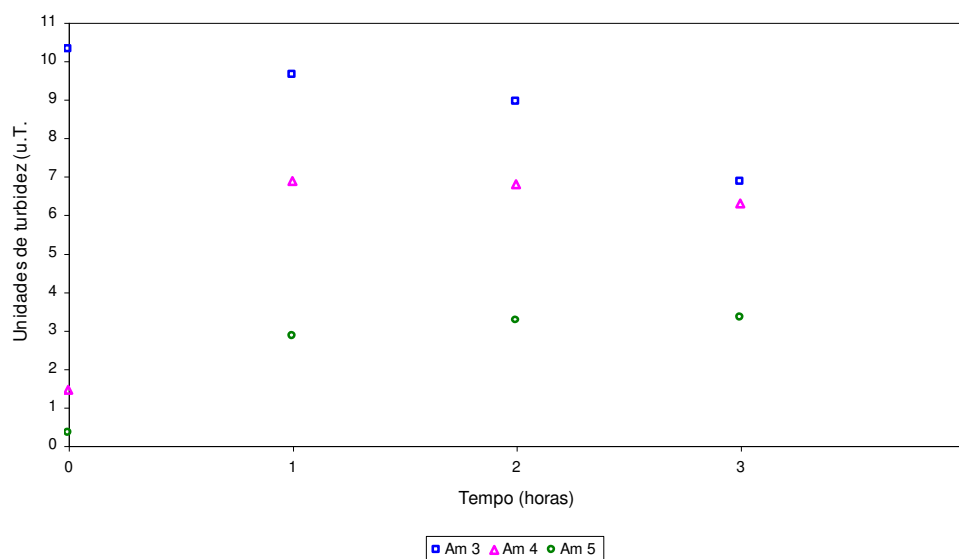


FIGURA 5.5 – Turbidez do afluente (Am 3) e do efluente (Am 4) do filtro F2 e do efluente (Am 5) do filtro F3, ao longo do tempo. Ensaio A - Segunda Etapa. Taxas de $53 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ no F2 e $196 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ no F3.

5.2.1.1 Discussão dos Resultados Obtidos no Ensaio A – Segunda Etapa

a) Perda de Carga

A análise da curva representada na Figura 5.1 mostrou que, no F1, a filtração rápida descendente ocorreu com ação superficial, onde a retenção das partículas foi significativa na primeira camada, constituída por antracito.

Esta característica pode ser a responsável pela redução da vazão efluente do F1, que variou de $7,2 \text{ L/min}$ à $4,0 \text{ L/min}$, respectivamente, início e final da carreira. O filtro piloto F1 funcionou com carga hidráulica praticamente constante e taxa declinante.

Segundo DI BERNARDO & DANTAS (2005), a filtração rápida de água coagulada, floculada ou decantada (ou flotada), deve preferivelmente ser realizada com ação de profundidade, pois poderão resultar carreiras de filtração curtas, com baixa

produção efetiva de água, se a filtração ocorrer, predominantemente, com ação superficial.

A curva da Figura 5.3, que representa a evolução da perda de carga no filtro de pedregulho F2, demonstrou que a perda de carga no meio filtrante foi desprezível, provavelmente pela curta duração da carreira do filtro F2 que se limitou a 3 horas, correspondente ao tempo do recalque da água contida em R1, para a dupla filtração em F2 e F3.

De acordo com BOLLER (1993), uma das vantagens do pré-filtro de pedregulho é assegurar longas carreiras de filtração, com excelente capacidade para armazenar sólidos, com baixa perda de carga.

Na Figura 5.4 a curva da perda de carga no filtro F3, apesar do pouco tempo de carreira, ocorreu com ação de profundidade, pois as impurezas foram retidas nas duas camadas do meio filtrante, antracito e areia.

b) Turbidez

Este parâmetro foi utilizado para acompanhar a característica física das amostras dos afluentes e efluentes do F1, F2 e F3.

A Figura 5.2 mostra que, apesar dos valores altos de turbidez na água decantada da estação, afluente ao filtro piloto F1, o desempenho do filtro, durante as 24 horas de carreira, foi muito bom, relativamente aos valores de turbidez do efluente enquadrados no valor preconizado pela Portaria 518 de 2004 do Ministério da Saúde, $\leq 1,0$ uT.

Na Figura 5.5 está o comportamento da turbidez do afluente e efluente do pré-filtro F2 e do efluente do F3. É possível verificar a redução da turbidez do efluente do F2, o que não conseguiu fazer entretanto, com que o efluente do F3 atingisse valores menores ou iguais a 0,7 uT, limite um tanto conservador, estipulado como aquele que

aprovou e reprovou os ensaios, o mesmo adotado ainda hoje, para indicar se um dos filtros da estação precisa ser lavado.

Tudo indica que sem aplicação de polímero, não ocorreu a desestabilização das partículas que permitisse melhores desempenhos dos filtros F2 e F3, na ação de filtrar.

5.2.2 Resultados do Ensaio B – Aplicação de Polímero Não Iônico na Água de Lavagem do Filtro F1.

Foi realizado segundo os procedimentos descritos em 4.5.2.4. Neste ensaio, as operações relativas aos itens a), b), c), d), foram as mesmas do **Ensaio A**.

O F1 foi lavado com água do R2, durante 12,2 min em contra-fluxo, à vazão de 25 L/min, taxa de aplicação igual à $1.100 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. Foram gerados 305L de água de lavagem, aduzidos para o R1, onde foram submetidos ao processo de agitação mecânica, através de um agitador com potência igual a 550W ou 0,550 kW, que conferiu à massa líquida a potência de $1,8 \text{ kW}/\text{m}^3$. A agitação foi feita a 50 rpm, durante 10 min, quando então, foi aplicada uma dosagem de 0,1 mg/L de uma solução de polímero não iônico com a concentração de 2.000 mg/L. Há que se ressaltar que o polímero não iônico é aplicado na estação, como auxiliar de floculação com dosagens que variam de 0,07 à 0,14 mg/L. Encerrado o processo de agitação, a água de lavagem do F1 permaneceu em repouso no R1 por 1 h 40 min. Após a decantação em R1, o clarificado foi bombeado para a dupla filtração. A vazão de recalque para F2 e F3, foi de 1,6 L/min e correspondeu em F2, a uma taxa de filtração igual a $71 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e em F3, $261 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

O tempo de recalque da água clarificada do R1, para F2 e F3, durou 150 min. Foram recalcados 240 L e restaram 65 L no R1. Em seguida foram lavados os filtros F2, F3 e os reservatórios R1 e R2, da mesma maneira como no **Ensaio A**.

Os valores maiores que 0,7 uT, registrados nas amostras Am5, do efluente da unidade F3, impugnaram o **Ensaio B**. A turbidez variou de 0,95 à 1,09 uT.

Na Figura 5.6 está representada a evolução da perda de carga nas subcamadas do leito filtrante da unidade de filtração F2, ao longo do tempo em que esteve em operação.

Na Tabela A4 estão os valores da perda de carga, utilizados na elaboração da Figura 5.6. A Tabela A4 está disponível no Anexo A.

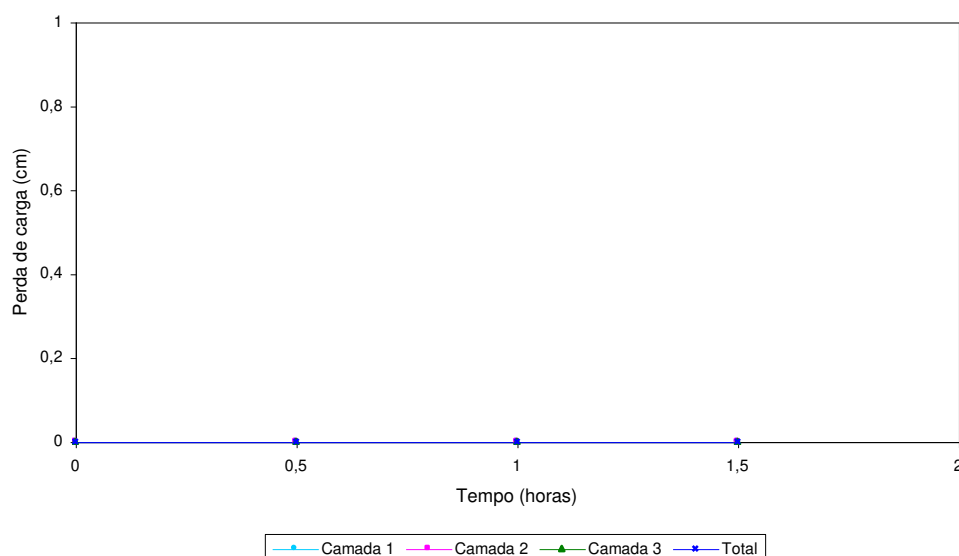


FIGURA 5.6 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F2. Ensaio B - Segunda Etapa. Taxa de $71 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

A Figura 5.7 representa a variação da perda de carga nas subcamadas constituintes do leito filtrante do filtro F3, durante o tempo em que esteve em operação, por 1 h 30 minutos. Os valores utilizados na composição desta figura estão na Tabela A5 do Anexo A.

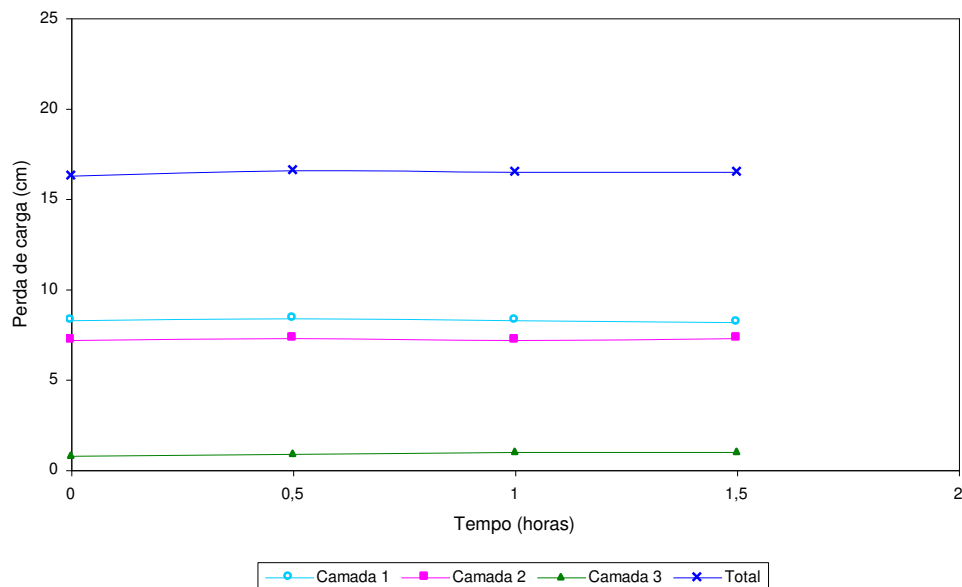


FIGURA 5.7 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F3. Ensaio B - Segunda Etapa. Taxa de $261 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

Na Figura 5.8 estão os dados da turbidez do afluente (Am 3) e do efluente (Am 4) do filtro F2 e também do efluente (Am 5) da unidade de filtração F3. Tais valores de turbidez estão disponíveis nas Tabelas A4 e A5, ambas no Anexo A.

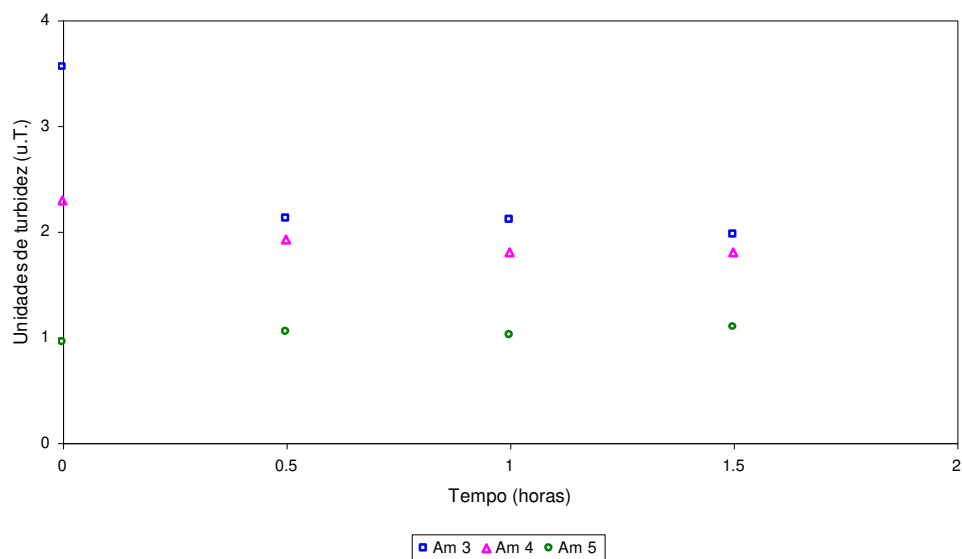


FIGURA 5.8 – Turbidez do afluente (Am 3) e do efluente (Am 4) do filtro F2 e do efluente (Am 5) do filtro F3, ao longo do tempo. Ensaio B - Segunda Etapa. Taxas de $71 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ no F2 e $261 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ no F3.

5.2.2.1 Discussão dos Resultados Obtidos no Ensaio B – Segunda Etapa

a) Perda de Carga

Há que se repetir que, após o **Ensaio A**, não foram mais apresentados os resultados da carreira do filtro F1, relativos à turbidez e perda de carga, visto que, tais valores foram praticamente semelhantes, em todas as carreiras que precederam cada um dos **Ensaio A, B, C, D, D1 e D2**.

Da Figura 5.6, é possível verificar que a perda de carga no pré-filtro de pedregulho, foi desprezível, pela própria condição do meio filtrante, assim como, pelo curto tempo de carreira que neste teste registrou 1 h 30 minutos, com taxa de filtração igual à $71 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, correspondente à vazão de 1,6 L/minuto.

Quanto à evolução da perda de carga do filtro F3, submetido à taxa de filtração igual a $261 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, vazão igual a 1,6 L/minuto, praticamente não houve variação e se mantiveram com uma média de 8,3 cm, 7,25 cm e 0,92 cm, para camada 1, 2 e 3, respectivamente, como pode ser visto na Figura 5.7.

b) Turbidez

Com relação à turbidez, o pré-filtro de pedregulho F2 e o filtro F3 conseguiram produzir efluentes com turbidez bem melhores que aqueles produzidos no ensaio anterior, **Ensaio A**, de acordo com a Figura 5.8.

O filtro F3, inclusive, produziu um efluente de turbidez média de 1,03 uT, praticamente igual ao preconizado pela Portaria 518 do Ministério da Saúde – 2004, 1,0 uT, mas ainda superior ao limite admitido como menor ou igual a 0,7 uT, para os presentes ensaios.

É provável que a adição de polímero não iônico, à semelhança do que ocorre na ETA, tenha favorecido a formação dos flocos, a sedimentação e a melhoria na

qualidade da água decantada contida no reservatório R1, antes do seu recalque para filtração no pré-filtro de pedregulho F2 e filtro F3.

5.2.3 Resultados do Ensaio C – Aplicação de Polímero Não Iônico na água de Lavagem do filtro F1, Mantida sob Agitação Durante o Recalque para a Dupla Filtração.

Foi executado de acordo com os procedimentos descritos em 4.5.2.4.

Este ensaio teve repetidos os itens a), b), c), d), aplicados no **Ensaio A**.

Em seguida o F1 foi lavado com água do R2, durante 13,3 min em contra-fluxo, à vazão de 25 L/min, taxa de aplicação igual à 1.100 m³/m².dia. Foram gerados 333 L de água de lavagem aduzidos para o R1. Enquanto procedia a lavagem do F1, foi aplicada nesta água, no R1, a dosagem de 0,1 mg/L de uma solução de polímero não iônico, na concentração de 2.000 mg/L, tendo inicialmente, como processo de mistura, a agitação hidráulica provocada pelo despejo de água de lavagem, dentro do reservatório R1, até o final da operação de lavagem.

Neste ensaio pode-se afirmar que os procedimentos operacionais relativos aos itens g) e h), descritos em 4.5.2.4, ocorreram simultaneamente. Isto porque, enquanto a água de lavagem do filtro F1, contida no R1, era bombeada para a dupla filtração em F2 e F3, esta água já com polímero aplicado durante a lavagem do F1, mantinha-se sob agitação hidráulica, agora provocada pela recirculação no interior do R1, de uma fração da vazão total então bombeada, para F2 e F3.

Assim é que, durante toda a operação de recalque, a água no interior do reservatório R1 foi mantida sob agitação hidráulica, de tal forma a permitir que as partículas permanecessem em suspensão e de modo homogêneo. Tal condição foi conseguida graças à uma montagem, cuja execução foi abordada no capítulo 4, de acordo com a Figura 4.18.

O bombeamento para a dupla filtração em F2 e F3, foi feito à vazão de 1,12 L/min, o que correspondeu às taxas de filtração iguais a 50 e 183 m³/m².dia, respectivamente nos filtros F2 e F3. O tempo de bombeamento do R1 para o F2 e F3 foi de 240 min. Foi bombeado o volume de 269 L e restaram 64 L no interior do reservatório R1.

As operações relativas às limpezas dos filtros F2, F3 e reservatórios R1 e R2, foram as mesmas e exatamente iguais às do **Ensaio A**.

Os valores maiores que 0,7 uT, registrados nas amostras Am5, do efluente da unidade F3, impugnaram o **Ensaio C**. Variaram de 0,16 à 1,58 uT.

A Figura 5.9 mostra a evolução da perda de carga nas subcamadas do leito filtrante do F2. Praticamente desprezível.

Os valores da perda de carga usados para a confecção da Figura 5.9 estão na Tabela A6, que se encontra registrada no Anexo A.

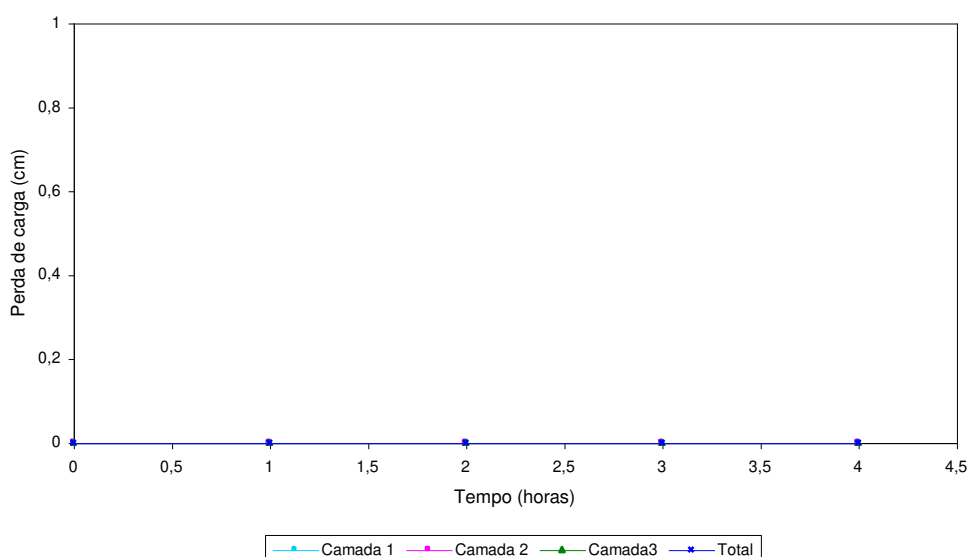


FIGURA 5.9 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F2. Ensaio C - Segunda Etapa. Taxa de 50 m³/m².dia.

Na Figura 5.10 se encontram as variações das perdas de carga nas subcamadas do filtro F3, ao longo do tempo. Os dados utilizados na composição desta figura foram extraídos da Tabela A7 do Anexo A.

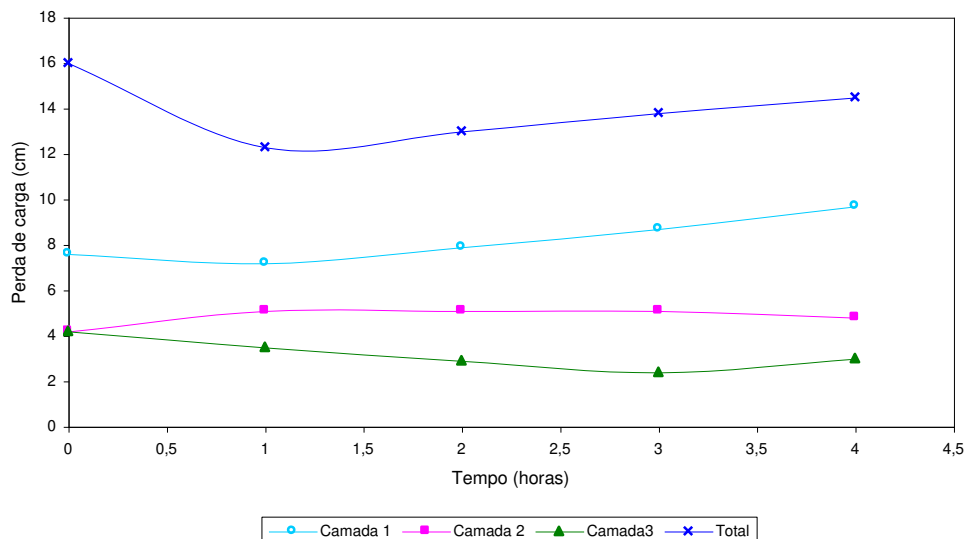


FIGURA 5.10 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F3. Ensaio C - Segunda Etapa. Taxa de $183 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

A Figura 5.11 representa a variação da turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4) do filtro ascendente F2, assim como a turbidez do efluente do filtro F3 (Am 5). Os valores da turbidez estão nas Tabelas A6 e A7. Estas tabelas estão no Anexo A.

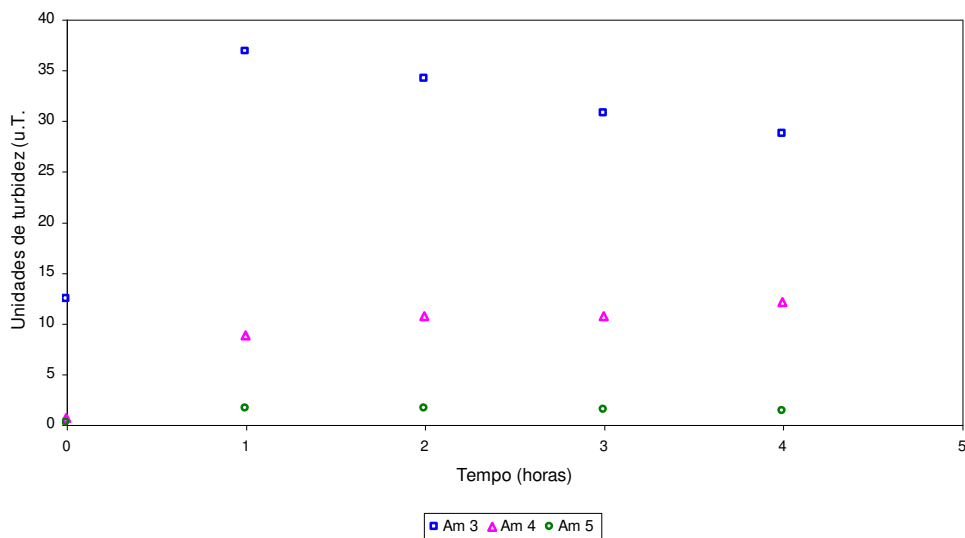


FIGURA 5.11 – Turbidez do afluente (Am 3) e do efluente (Am 4) do filtro F2 e do efluente (Am 5) do filtro F3, ao longo do tempo. Ensaio C - Segunda Etapa. Taxas de $50 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ no F2 e $183 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ no F3.

5.2.3.1 Discussão dos Resultados Obtidos no Ensaio C – Segunda Etapa

a) Perda de Carga

Como anteriormente, a perda de carga no pré-filtro F2, durante a carreira de 50 m³/m².dia não ocorreu, certamente pelo meio poroso composto por pedregulho e pelo curto tempo de carreira que se restringiu a 240 minutos à uma vazão aproximada de 1,12 L/minuto. Na Figura 5.9 esta representada a perda de carga nas diversas camadas do F2, todas praticamente nulas.

Na Figura 5.10 estão representadas as perdas de carga nas camadas do filtro F3 durante a carreira com taxa de 183 m³/m².dia e com duração de 240 minutos, relativos ao recalque da água de lavagem do F1, contida no R1.

Foi possível notar que a perda de carga se mostrou mais pronunciada na camada 1, onde a elevação, apesar de suave, se manteve em um crescente, tendo 7,2 cm como valor mínimo, atingindo 9,7 cm como valor máximo.

Na camada 2, a perda de carga apresentou pouca variação e se manteve praticamente com o mesmo valor, no entorno de 5,1 cm.

Quanto a camada 3, a variação esteve entre 2,4 cm (mínima) e 4,2 cm (máxima).

O curto tempo de carreira do F3, certamente não permitiu uma melhor caracterização das perdas de carga, em cada uma das camadas do leito poroso.

b) Turbidez

Quanto à turbidez, o F2 apresentou um bom desempenho, pois conseguiu reduzir a turbidez média de 28,54 uT do afluente, para 8,58 uT, média do efluente. Redução média de 70%.

Com relação ao efluente do F3, o valor médio registrou 1,21 uT, superior ao 0,7 uT, fixado como limite máximo para aprovação do teste.

Foi possível observar ainda que, durante o tempo de carreira, a turbidez do efluente do F3 foi decrescendo. Na Figura 5.11 estão representados valores aqui discutidos.

O insucesso dos ensaios A, B e C, relativos ao efluente do filtro F3, maior que 0,7 uT, conduziu a pesquisa no sentido de identificar qual o tipo de polímero a ser aplicado como auxiliar na floculação, sedimentação dos sólidos e dosagem a ser aplicada.

Ensaio realizado no laboratório da ETA Guaraú em São Paulo, revelaram potencial zeta igual a -13,3 mV, o que sinalizou para a utilização de um polímero catiônico.

Em seguida, foi feito ensaio de “Jar Test” com a água de lavagem do F1 que definiu a aplicação da dosagem de 0,4 mg/L de polímero catiônico, sob agitação a 70 rpm durante 1 min, seguida de 30 rpm, por 4 min, totalizando 5 min de agitação.

Há que se acrescentar que no ensaio de “Jar Test” com decantação durante 20 min a água de lavagem do F1 que inicialmente registrava 117 uT e cor aparente igual a 822 uH, passou para 2,02 uT e 8 uH, respectivamente.

5.2.4 Resultados do Ensaio D – Aplicação de Polímero Catiônico na Água de Lavagem Oriunda do Filtro F1.

O ensaio foi conduzido de acordo com 4.5.2.4. Os itens a), b), c), d), f) foram repetidos como os do **Ensaio A**.

Na sequência o filtro F1 foi lavado com água do R2, durante 13 min, em contra-fluxo, repetidas vazão e taxa de aplicação dos ensaios anteriores. Foram gerados 325 L de água de limpeza, aduzidos para o reservatório R1, durante a operação.

A água da limpeza do F1, retida no R1, foi agitada mecanicamente durante 5 min, o que lhe conferiu a potência de $1,7 \text{ kW/m}^3$. Durante 1 min, a 70 rpm, seguida de 30 rpm, por 4 min. Simultaneamente à agitação rápida, 70 rpm, foi aplicada a dosagem de $0,4 \text{ mg/L}$ de polímero catiônico, correspondente à 130 ml da solução de polímero catiônico, na concentração de 1.000 mg/L . Em seguida, a água de limpeza do F1, permaneceu em decantação no reservatório R1, durante 30 min. Passado o tempo de decantação, o clarificado foi bombeado para a dupla filtração em F2 e F3. O bombeamento foi feito à vazão de $2,0 \text{ L/min}$, o que correspondeu às taxas de 89 e $326,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, nas unidades F2 e F3, respectivamente. A operação do recalque demorou 130 min, foram bombeados 260 L da água clarificada e restaram no R1, 65 L de água e lodo. Em seguida, foram executadas as operações de limpezas descritas nos itens i), j), k), iguais àquelas executadas anteriormente, no **Ensaio A**.

Os valores menores que $0,7 \text{ uT}$, obtidos nas amostras Am5 do efluente do F3, aprovaram o **Ensaio D**. Eles variaram de $0,69$ à $0,33 \text{ uT}$.

A Figura 5.12 mostra a evolução da perda de carga nas subcamadas do leito filtrante do F2, durante o tempo de operação. Na Tabela A8 do Anexo A, foram anotados os valores da perda de carga que permitiram compor a Figura 5.12.

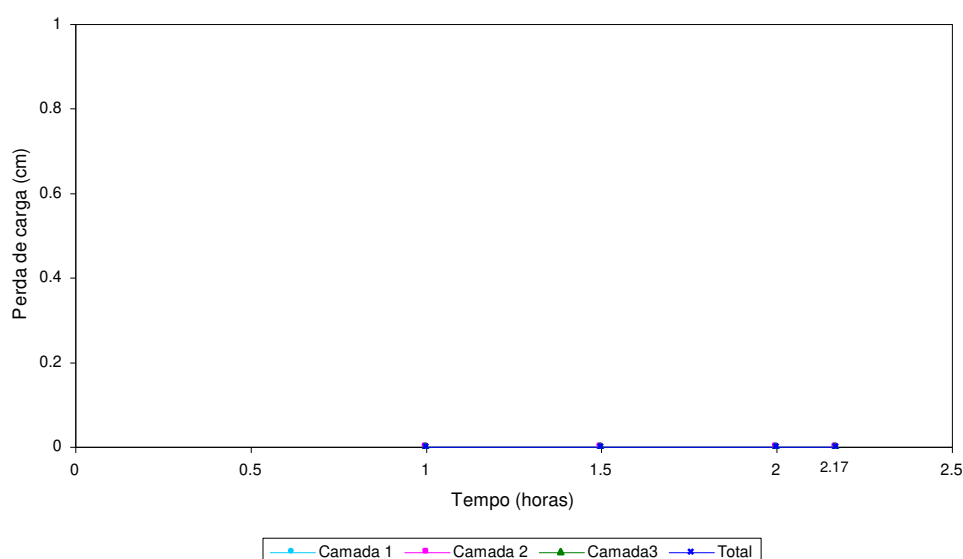


FIGURA 5.12 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F2. Ensaio D - Segunda Etapa. Taxa de $89 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

Na Figura 5.13 estão as variações das perdas de carga nas camadas do filtro F3 durante o tempo de carreira. Os valores que permitiram a composição desta Figura estão anotados na Tabela A9, do Anexo A e foram medidos depois de 1 h de carreira do filtro F3.

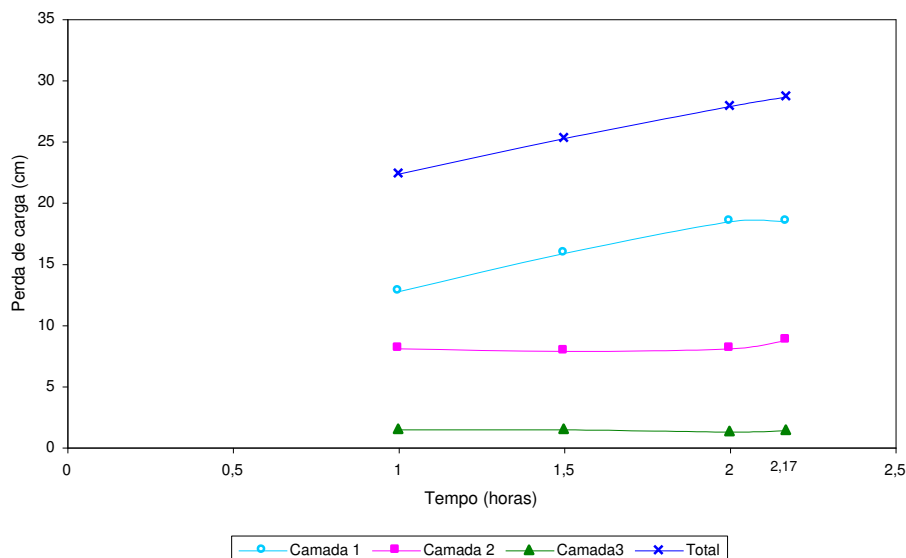


FIGURA 5.13 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F3. Ensaio D - Segunda Etapa. Taxa de $326,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

A Figura 5.14 estão representadas as variações da turbidez do afluente (Am3) e efluente (Am4) do filtro F2 e a variação do efluente da unidade F3 (Am5). Os valores utilizados estão nas Tabelas A8 e A9 do Anexo A.

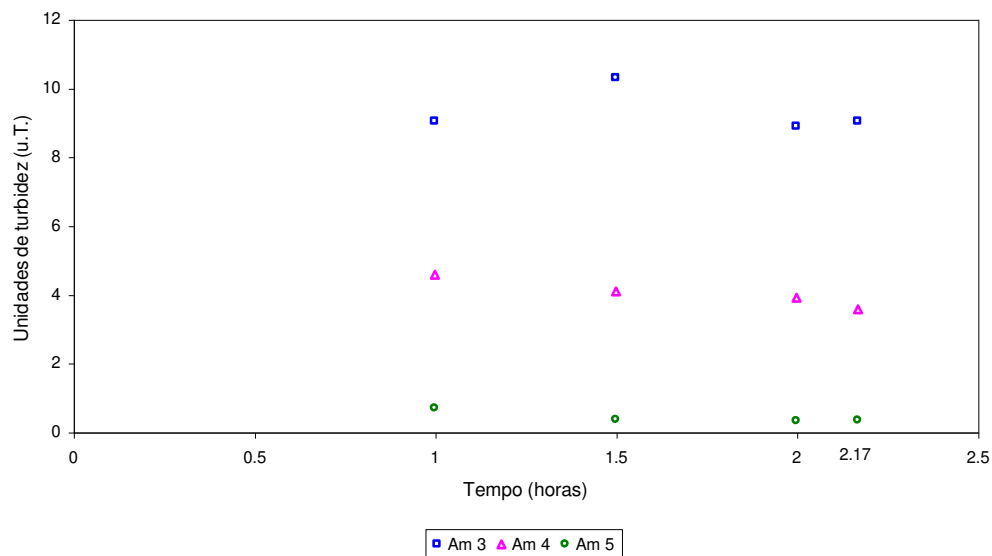


FIGURA 5.14 – Turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4), do filtro F2 e do efluente (Am 5) do filtro F3, ao longo do tempo. Ensaio D - Segunda Etapa. Taxas de $89 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ para o filtro F2 e $326,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ para o filtro F3.

5.2.4.1 Discussão dos Resultados Obtidos no Ensaio D – Segunda Etapa

a) Perda de carga

Na Figura 5.12 é possível verificar que praticamente não ocorreu perda de carga nos meios filtrantes do pré-filtro ascendente de pedregulho (F2), durante a carreira de 130 minutos à taxa de $89 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, à vazão afluente de $2,0 \text{ L/minuto}$.

No filtro F3, como pode ser visto na Figura 5.13, a perda de carga se manifestou de forma mais acentuada, na camada 1. Assim é que iniciou com $12,8 \text{ cm}$ e assinalou $18,5 \text{ cm}$ no final da carreira.

Quanto às camadas 2 e 3, praticamente não houve variação, certamente, pelo curto tempo de carreira.

b) Turbidez

Na Figura 5.14 estão representados os valores de turbidez registrados nas amostras coletadas dos filtros F2 e F3.

O F2, mais uma vez, apresentou bom desempenho e reduziu de 9,3 uT, turbidez média do afluente, para 4,0 uT, turbidez média do efluente. Uma redução de 56,9%.

Quanto ao efluente do F3, à taxa de 326,5 m³/m².dia, a turbidez média registrou 0,42 uT, menor que 0,7 uT e o teste foi aprovado. A aplicação do polímero catiônico, anteriormente pesquisado, deu resultado positivo para a turbidez do efluente do F3.

5.2.5 Resultados do Ensaio D1 – Aplicação de Polímero Catiônico na Água de Lavagem Oriunda do Filtro F1, Depois de Duas Operações de Lavagens Consecutivas.

Este ensaio foi realizado de acordo com as operações descritas no item 4.5.2.4. Todavia, ele apresentou uma particularidade em relação aos demais ensaios desta etapa, visto que, antes de ser realizada a operação descrita em g), condicionamento da água de lavagem do F1 em R1, as anteriores a), c), d), e), f), foram realizadas duas vezes.

As operações a), b), c), d), f), foram idênticas às do **Ensaio A**. Durante a operação b), abastecimento do R2 realizada apenas no primeiro tempo de carreira, o reservatório R2 foi abastecido com 620 L de água filtrada pelo filtro F1.

O F1 foi lavado por duas vezes com água filtrada do R2, em contra-fluxo, repetidas as vazões e taxas de aplicações dos ensaios anteriores. Primeira operação de limpeza do F1 durou 10,4 min; gerou 260 L de água de lavagem, aduzidos para o R1. Segunda operação de limpeza do F1 durou 9,2 min; gerou 230 L de água de lavagem, aduzidos para o R1. Encerradas as duas operações de lavagem do F1, o reservatório R1, estava abastecido com 490L.

Finalizada a limpeza do filtro F1, a água no interior do R1, foi agitada mecanicamente por 5 min, o que lhe conferiu a potência de 1,12 kW/m³. A agitação

rápida e a lenta, mantiveram os mesmos valores praticados no **Ensaio D**. Durante a agitação rápida, foi aplicada na água de lavagem, no interior do R1, a dosagem de 0,4 mg/L de uma solução de polímero catiônico, na concentração de 1.000 mg/L, o que correspondeu ao volume de 196 ml da solução de polímero. Após a agitação, a água foi submetida à decantação durante 30 min.

Depois da decantação, o clarificado foi bombeado para a dupla filtração em F2 e F3, na vazão de 2,0 L/min o que correspondeu às taxas de filtração em F2 e F3, iguais às anteriores do **Ensaio D**, 89 e 326,5 m³/m².dia, respectivamente. Foram bombeados 430 L do clarificado, durante 215 min e restaram no R1, 60 L de água mais lodo. Na sequência, foram executadas as operações i), j), k), iguais àqueles executadas no **Ensaio A**.

Os resultados da turbidez das amostras Am5, relativas ao efluente do F3, menores que 0,7 uT, aprovaram o **Ensaio D1**. Variaram de 0,19 à 0,41 uT.

A Figura 5.15 corresponde à evolução da perda de carga nas camadas componentes do leito filtrante do F2, durante o tempo em que esteve em operação. A Tabela A10, contida no Anexo A, tem anotados os valores da perda de carga utilizados para a composição da Figura 5.15.

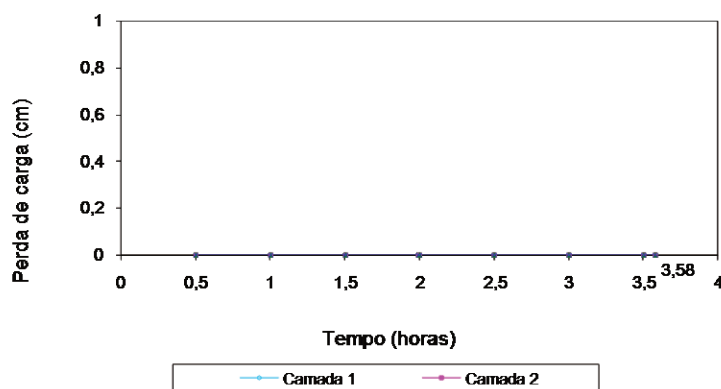


FIGURA 5.15 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F2. Ensaio D1 - Segunda Etapa. Taxa de 89 m³/m².dia.

Na Figura 5.16 estão as variações das perdas de carga nas camadas do filtro F3, ao longo do tempo.

A composição desta figura foi feita com os valores anotados na Tabela A11 do Anexo A.

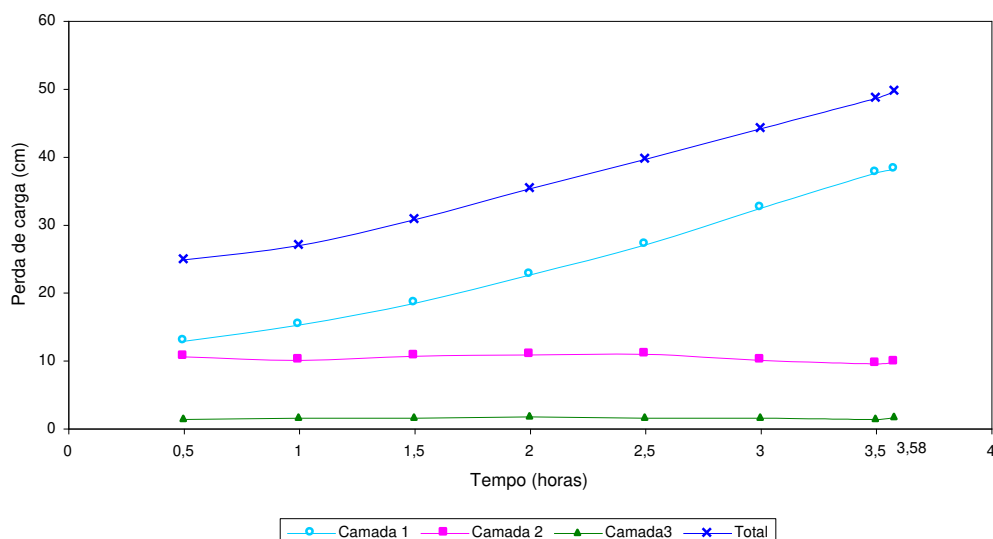


FIGURA 5.16 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F3. Ensaio D1 - Segunda Etapa. Taxa de 326,5 m³/m².dia.

A Figura 5.17 representa a variação da turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4) do filtro F2 e também a variação do efluente (Am 5), do filtro F3.

Os valores da turbidez utilizados estão registrados nas Tabelas A10 e A11 do Anexo A.

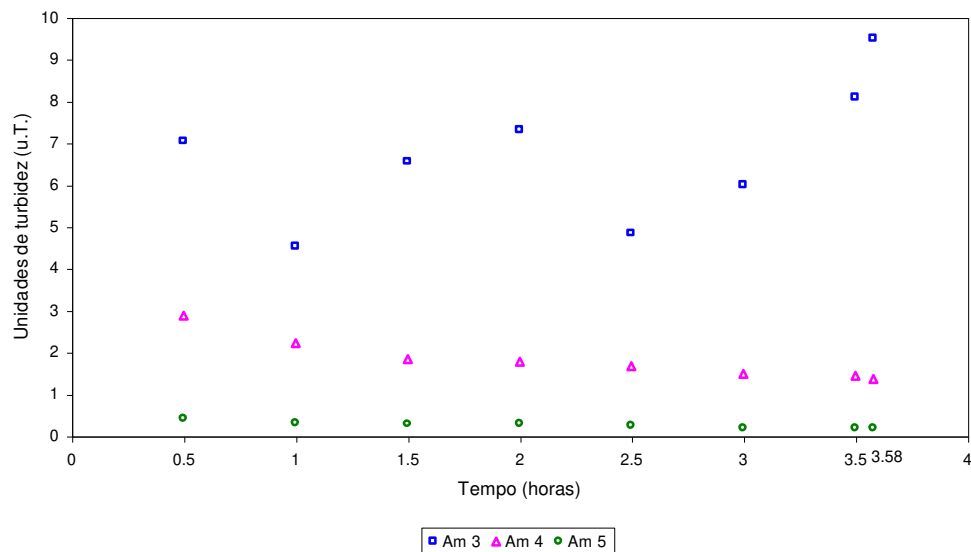


FIGURA 5.17 – Turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4), do filtro F2 e do efluente (Am 5) do filtro F3, ao longo do tempo. Ensaio D1 - Segunda Etapa. Taxas de 89 m³/m².dia para o filtro F2 e 326,5 m³/m².dia para o filtro F3.

5.2.5.1 Discussão dos Resultados Obtidos no Ensaio D1 – Segunda Etapa

Considerando o bom resultado obtido no **Teste D** anterior, com aplicação de polímero catiônico, sob agitação mecânica e apenas 30 minutos como tempo de detenção em R1, da água de lavagem do filtro F1, a título de comprovação, repetiu-se o teste, então denominado **Teste D1**. Assim é que foram mantidas as taxas de 89 m³/m².dia no F2 e 326,5 m³/m².dia no F3.

a) Perda de carga

Como nos testes anteriores, não ocorreu perda de carga em cada uma das camadas constituintes do leito filtrante do F2, como ser verificado na Figura 5.15.

Com relação ao filtro F3, na Figura 5.16, ficou claro que a perda de carga se manifestou mais na primeira camada do reator. Durante toda a carreira, ela se manteve ascendente, visto que iniciou com 12,9 cm e no término da carreira, passados 215 minutos, registrou 38,2 cm.

Quanto às camadas 2 e 3, se mantiveram praticamente constantes, com perdas máximas de 11,0 cm e 1,8 cm, respectivamente.

b) Turbidez

Na Figura 5.17 foram registradas as variações da turbidez dos afluentes e efluentes dos reatores F2 e F3.

O reator F2 apresentou um bom desempenho e conseguiu reduzir a turbidez média afluente de 6,7 uT, para a turbidez média efluente de 1,8 uT.

O desempenho do F2, permitiu que o F3 apresentasse também bom rendimento, de tal forma que seu efluente apresentou turbidez que variou de 0,41 uT à 0,19 uT e contabilizou como turbidez média, o valor de 0,26 uT, durante os 215 minutos de carreira. Os valores registrados, menores que 0,7 uT, aprovaram o teste.

5.2.6 Resultados do Ensaio D2 – Aplicação de Polímero Catiônico na Água de Lavagem Oriunda do Filtro F1

Ainda com o objetivo de comprovar os resultados obtidos no **Ensaio D**, foi realizado o presente ensaio.

Ele foi feito segundo as operações descritas em 4.5.2.4. Os itens a), b), c), d), f), foram repetidos como no **Ensaio A**.

O F1 foi lavado com água do R2, durante 15,6 min e gerou 390 L de água de lavagem, aduzidos para o reservatório R1. A lavagem foi feita em contra-fluxo repetidas a vazão e a taxa de aplicação dos ensaios anteriores.

Encerrada a operação de limpeza do F1, em R1, a água de lavagem foi submetida à agitação nos tempos e rotações utilizados nos **Ensaio D** e **D1**, anteriores, o que transferiu à massa líquida, a potência de 1,4 kW/m³. Durante a agitação rápida, foi acrescentado à água de lavagem, a dosagem de 0,4 mg/L de

polímero catiônico, de uma solução na concentração de 1.000 mg/L. Para tal, o volume de solução adicionado foi igual a 156 ml. Em continuidade ao condicionamento da água de lavagem no R1, a mesma foi submetida a 30 min de decantação, após o que, o clarificado foi bombeado para dupla filtração em F2 e F3. O recalque foi feito com vazão igual a 2,0 L/min, e correspondeu às taxas de filtração iguais a 89 e 326,5 m³/m².dia. O bombeamento durou 165 min, foram recalcados 330 L do clarificado e sobraram 60 L de água e lodo no R1. Na sequência, foram executadas as operações descritas nos itens i), j), k), iguais às aquelas do **Ensaio A**, de acordo com o item 4.5.2.4, do capítulo 4 anterior.

Os valores do efluente do F3, amostra Am5, menores que 0,7 uT, aprovaram o **Ensaio D2**. Variaram de 0,34 à 0,44 uT.

A Figura 5.18 representa a perda de carga nas subcamadas componentes do leito poroso do pré-filtro F2, durante seu tempo de carreira, no **Teste D2**. No Anexo A está a Tabela A12 que contém os valores da perda de carga usados na composição da figura.

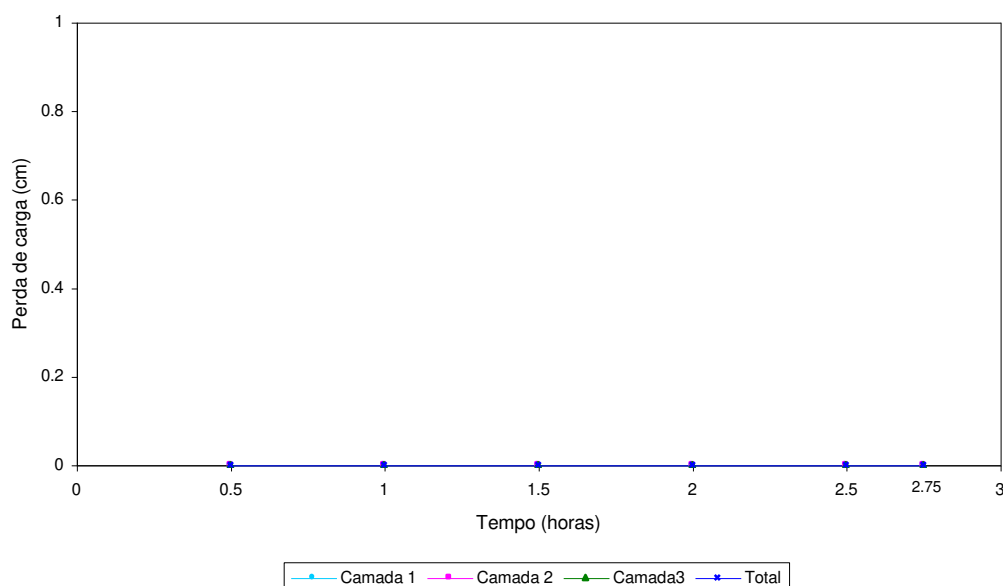


FIGURA 5.18 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F2. Ensaio D2 - Segunda Etapa. Taxa de 89 m³/m².dia.

A Figura 5.19 registra as variações das perdas de carga nas camadas do filtro F3, ao longo da carreira. A figura foi feita com os valores contidos na Tabela A13 do Anexo A.

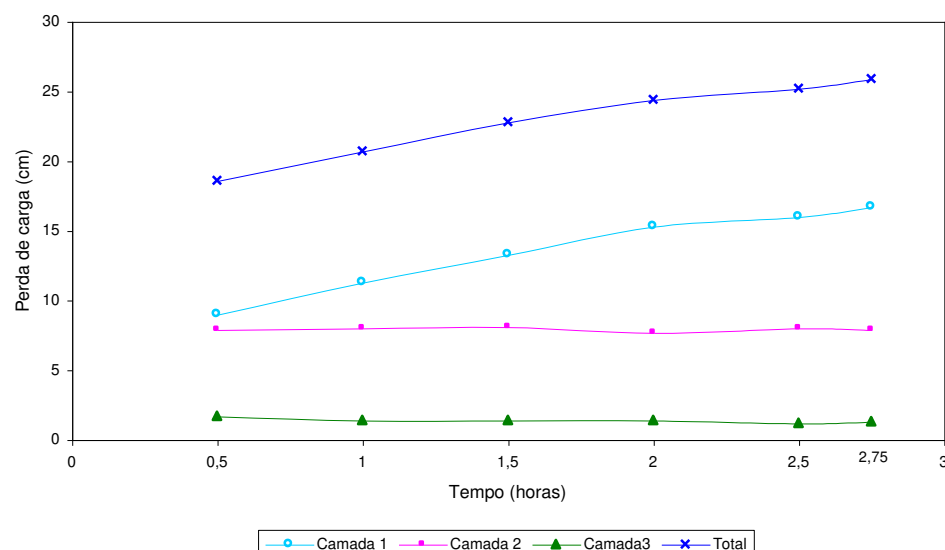


FIGURA 5.19 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F3. Ensaio D2 - Segunda Etapa. Taxa de 326,5 m³/m².dia.

A Figura 5.20 representa a variação da turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4) do filtro F2 e a variação do efluente (Am 5), do filtro F3. (Tabelas A12 e A13- Anexo A).

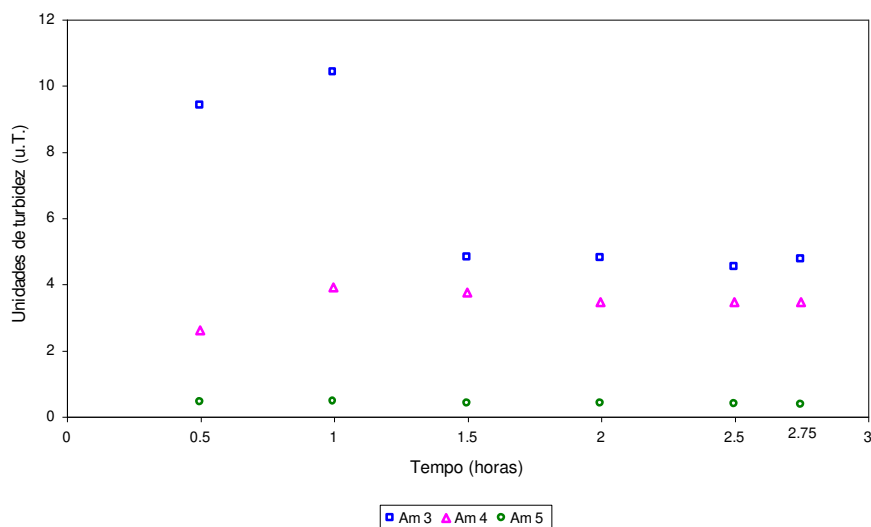


FIGURA 5.20 – Turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4), do filtro F2 e do efluente (Am 5) do filtro F3, ao longo do tempo. Ensaio D2 - Segunda Etapa. Taxas de 89 m³/m².dia para o filtro F2 e 326,5 m³/m².dia para o filtro F3.

5.2.6.1 Discussão dos Resultados Obtidos no Ensaio D2 – Segunda Etapa

Ainda com o objetivo de confirmar os bons resultados obtidos com a aplicação do polímero catiônico, sob agitação mecânica, 30 minutos de detenção em R1, taxas de aproximadamente $89 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ no F2 e $326,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ no F3, correspondentes à vazão de recalque aproximadamente a $2,0 \text{ L/minuto}$, foi feito mais um ensaio, então denominado, **Ensaio D2**.

a) Perda de carga

No F2, como anteriormente, praticamente não ocorreram perdas de carga nas camadas constituintes do meio filtrante, como pode ser verificado na Figura 5.18.

No F3, à semelhança dos testes anteriores a perda de carga se manifestou mais expressivamente, na camada 1, como foi anotado na Figura 5.19. Assim é que, na camada 1 a variação foi de $9,0 \text{ cm}$ inicial, até $16,7 \text{ cm}$ no final da carreira que durou 165 minutos.

Nas camadas 2 e 3, as perdas de cargas se mantiveram praticamente constantes.

b) Turbidez

O F2 reduziu a turbidez afluyente com valor médio de $6,38 \text{ uT}$ para o valor médio de $3,42 \text{ uT}$, para o efluente. Os valores máximos de turbidez para o afluyente e o efluente ao F2, foram respectivamente: $10,10 \text{ uT}$ e $3,89 \text{ uT}$, respectivamente.

Quanto à turbidez do efluente do reator F3, os valores foram todos menores que o limite de $0,7 \text{ uT}$, utilizado como impugnação de teste. O valor médio da turbidez registrou $0,39 \text{ uT}$ e os valores máximo e mínimo, foram $0,44 \text{ uT}$ e $0,34 \text{ uT}$, respectivamente.

Todos os valores aqui citados, para os filtros F2 e F3, compuseram a Figura 5.20. Aqueles da turbidez do efluente do F3, aprovaram o **Ensaio D2** e a segunda etapa foi dada por encerrada.

Os valores de turbidez das amostras Am1, Carreira do filtro F1 e Am3, relativos aos **ensaios D, D1 e D2**, com aplicação do polímero catiônico, seguida da decantação, no reservatório R1, geradores da segunda ocorrência citada no Capítulo 4 foram anotados nas Tabelas A1, A8, A10 e A12, onde poderão ser consultados e comparados.

Na Tabela 5.1 foram registrados valores dos parâmetros operacionais, relativos aos ensaios realizados na segunda etapa que poderão facilitar a compreensão dos mesmos. Não foram anotadas a taxa de aplicação para lavar os filtros F1 e F3 em contra-fluxo, igual a $1.100 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e as vazões correspondentes, iguais a 25 e 7 L/min, respectivamente, pois os valores foram os mesmos durante todo o experimento.

TABELA 5.1 – Valores dos parâmetros operacionais, relativos aos ensaios realizados na Segunda Etapa.

E N S A I O S	VOLUME DE ÁGUA FILTRA- DA PELO F1 NO INÍCIO DA CARREI- RA, ADU- ZIDO PARA O RESERV. R2 (L)	TEMPO DE RECA- QUE DE R2 PARA LAVAR F1 E F3 (min)		VOLUME DE ÁGUA DE LAVA- GEM DO F1 ADUZIDO PARA CONDI- CIONA- MENTO EM R1 (L)	VOLUME DE ÁGUA DE LAVAGEM DO F2, DESCAR- TADO NO CANAL DA ETA (L)	APLI- CAÇÃ O DE POLÍ- MERO NA ÁGUA DE LAVA- GEM DO F1, RETID A NO R1	DOS- GEM DE POLÍ- MEROA PLI- CADA EM R1 (mg/L)	TEMPO DE AGITA- ÇÃO HIDRÁU- LICA EM R1 (min)	AGITAÇÃO MECÂNICA EM R1			ENERGIA CONFE- RIDA PELA AGITA- ÇÃO À ÁGUA DE LAVA- GEM RETI-DA NO R1 (kW/m³)	TEMPO DE DECAN- TAÇÃO DA ÁGUA DE LAVA- GEM EM R1 (min)	VAZÃO DE RE- CALQU E DA ÁGUA DE LAVA- GEM RETI- DA NO R1, PARA A DUPLA FILTRA- ÇÃO EM F2 E F3 (L/min)	TAXA DE FILTRA- ÇÃO CORRES- PONDEN- TE EM F2 E F3 (m³/m².dia)		SOBRA DE ÁGUA DE LAVA- GEM NO R1 DEPOIS DO RECAL- QUE PARA F2/F3 (L)
		F1	F3						TEMPO TOTAL DE AGITA- ÇÃO (min)	RÁPI- DA COM 70 rpm (min)	LENT A COM 30 rpm (min)				F2	F3	R1
A	480	11,2	8,95	280	226	N	N	N	N	N	N	N	90	1,2	53	196	64
B	480	12,2	8,57	305	226	S	0,1	N	10*	N	N	1,8	100	1,6	71	261	65
C	480	13,3	8,57	333	226	S	0,1	240	N	N	N	–	N	1,12	50	183	64
D	480	13	8,57	325	226	S	0,4	N	5	1	4	1,7	30	2,0	89	326,5	65
D1	620	**196	8,57	490	226	S	0,4	N	5	1	4	1,12	30	2,0	89	326,5	60
D2	480	15,6	8,57	390	226	S	0,4	N	5	1	4	1,4	30	2,0	89	326,5	60

N=Não; S=Sim; *=Agitação durante 10 min. A 50 rpm; **=Soma dos tempos de duas operações de lavagem do filtro F1; – Não definida

5.3 Terceira Etapa

Conforme citado no capítulo 4, o sistema piloto passou por modificações de tal forma que, foram feitos os **Ensaio D3** e **D4** para comprovar a confiança no projeto piloto modificado. Depois da comprovação é que verdadeiramente, foram efetuados os ensaios da primeira, segunda e terceira fases, através dos quais foram verificadas as variações da água filtrada de início de carreira do filtro piloto F1, assim como, da água reciclada no sistema, relativamente às variáveis físico-químicas monitoradas.

5.3.1 Resultados do Ensaio D3 – Aplicação de Polímero Catiônico na Água de Lavagem do Filtro F1.

O ensaio foi executado segundo os seguintes procedimentos operacionais:

O filtro piloto F1 foi colocado em operação e abasteceu o reservatório R2 com 480 L de água filtrada, após o que, teve o efluente desviado e descartado no canal que recebe água de lavagens de filtros da ETA. Depois de 21 h 40 minutos de carreira, foi lavado com água do reservatório R2, em contra-fluxo, à taxa de 1.100 m³/m².dia, vazão correspondente a 25 L/min, aproximadamente. A operação demorou cerca de 11,2 min e gerou 280 L de água de lavagem aduzida para o reservatório R1. Em R1 a água foi agitada mecanicamente por 5 minutos e consumiu a potência de 1,96 kW/m³. A agitação foi de 1 minuto à 70 rpm e 4 min a 30 rpm. Durante a agitação rápida foi aplicada a dosagem de 0,4 mg/L de polímero catiônico que utilizou o volume de 112 ml da solução do mesmo, na concentração de 1.000 mg/L. A água ficou em decantação durante 1 h 30 minutos.

Em seguida, o clarificado foi bombeado diretamente para a filtração em F3. A vazão de recalque foi de 1,6 L/min, que correspondeu à taxa de filtração em F3, igual à 261 m³/m².dia. O bombeamento demorou cerca de 162 minutos e foram recalcados 259 L de água do R1 para filtração direta no F3.

Encerrado o bombeamento, sobraram no R1, aproximadamente 21 L de lodo e água.

Os valores da turbidez do efluente do F3, menores que 0,7 uT, confirmaram o ensaio e o bom desempenho do sistema piloto, após o descarte do pré-filtro de pedregulho F2.

Na Figura 5.21 estão as variações das perdas de carga nas camadas do filtro F3, ao longo da carreira que durou cerca de 2,7 horas. Os valores utilizados para montar a figura foram registrados na Tabela A14 do Anexo A.

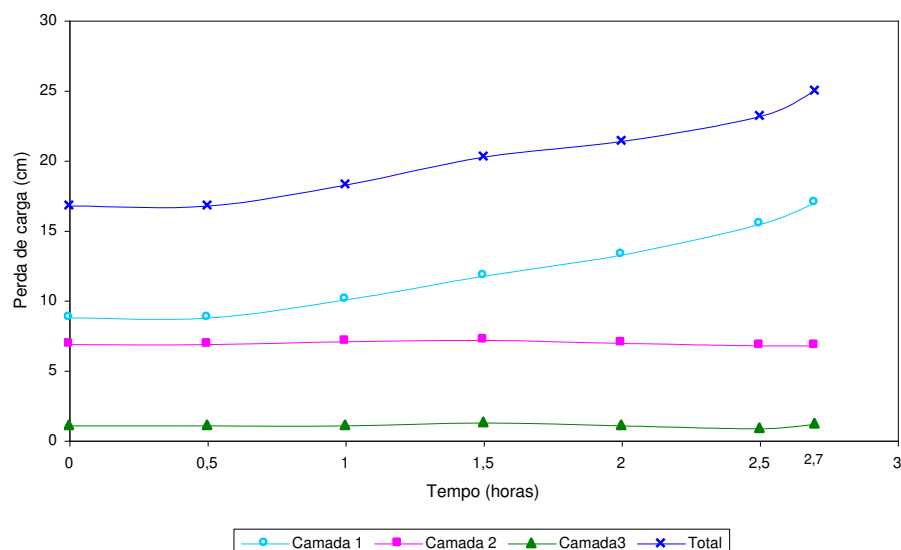


FIGURA 5.21 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F3. Ensaio D3 - Terceira Etapa. Taxa de 261 m³/m².dia.

A Figura 5.22 representa a variação da turbidez da água decantada da ETA, afluente ao F1 (Am1), do afluente do F3 (Am3) e do efluente do F3 (Am5).

Os valores da turbidez estão anotados na Tabela A14 do Anexo A.

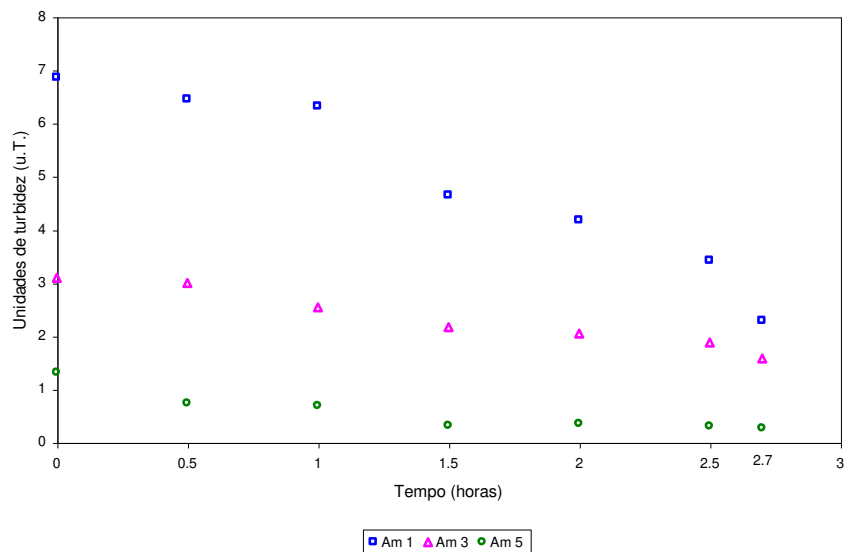


FIGURA 5.22 – Turbidez do afluente (Am 1) do F1, do afluente (Am 3) do filtro F3 e do efluente (Am5) do F3. Ensaio D3 - Terceira Etapa. Taxa de $261 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

5.3.1.1 Discussão dos Resultados Obtidos no Ensaio D3 – Terceira Etapa

a) Perda de Carga

Mesmo com a exclusão do filtro de pedregulho F2, a perda de carga no filtro F3 não apresentou modificações durante o tempo de carreira.

Na Figura 5.21 foi possível verificar que a perda de carga no meio filtrante do F3 continuou com a mesma característica, ou seja, a perda de carga se manifestou mais pronunciadamente, na primeira camada.

b) Turbidez

Da Figura 5.22, é possível extrair que a turbidez da água clarificada do R1, afluente ao F3, agora sem o F2, se manteve com valores menores que os da água decantada da ETA, afluente ao F1, colaborando assim, para que o efluente do F3 mantivesse valores de turbidez menores que 0,7 uT.

5.3.2 Resultados do Ensaio D4 – Aplicação de Polímero Catiônico, uma Única Vez, no Primeiro Volume de Água de Lavagem do Filtro F1, Lavado por Duas Vezes.

A execução do ensaio foi feita, segundo os seguintes procedimentos operacionais:

O filtro F1, filtro piloto, foi colocado em operação. Abasteceu o reservatório R2 com 620 L e teve em seguida o seu efluente desviado e descartado no canal que recebe água de limpeza dos filtros da ETA. Depois de cumprir 22 horas de carreira, foi tirado de operação e lavado em contra-fluxo com água bombeada do reservatório R2. A taxa de aplicação foi de $1.100 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e correspondeu à vazão de 25 L/min. A operação durou cerca de 10,4 minutos e gerou 260 L de água de limpeza, aduzidos para o reservatório R1.

No R1 a água foi agitada mecanicamente durante 5 minutos e consumiu uma potência igual a $2,1 \text{ kW}/\text{m}^3$. A agitação foi feita durante 1 minuto com 70 rpm e durante 4 minutos com 30 rpm. Durante a agitação mais rápida, foi aplicada na água de limpeza do F1, a dosagem de 0,4 mg/L de polímero catiônico, que consumiu 104 mL de uma solução na concentração de 1.000 mg/L. Depois da operação de agitação, a água foi submetida a 30 minutos de decantação.

Durante o tempo de decantação, o filtro piloto F1 foi colocado em operação pela segunda vez, agora descartado o efluente, no canal da estação, visto que, o R2 já tinha sido abastecido com água filtrada pelo F1, no início da sua primeira operação. Encerrado o tempo de decantação em R1, a água foi bombeada diretamente para a filtração no filtro F3. A vazão de recalque foi igual a 1,7 L/min e correspondeu à taxa de filtração igual a $277,6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, no filtro F3. A operação de recalque demorou cerca de 141 minutos e recalcou aproximadamente 240 L para filtrar em F3, cujo efluente foi aduzido para o reservatório R2. Sobraram no reservatório R1, aproximadamente 20L.

Na sequência, o filtro F3 foi lavado, mantidas a taxa de aplicação igual a $1.100 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e vazão igual a 7 L/min. A limpeza foi feita em contra-fluxo com água recalçada do R2. Durou cerca de 8,57 minutos e gerou aproximadamente 60 L de

água de lavagem aduzidos para o R2. Há que se ressaltar aqui que pela primeira vez, durante o desenvolvimento dos ensaios, o filtro F3 foi lavado com água reciclada, referente aos 240 L da água de lavagem do filtro F1, que foram tratados na operação e) anterior, volume este, aduzido para o reservatório R2. Depois desta operação, o reservatório R1 continha no seu interior, volume igual a 80 L, assim especificados: 20 L, relativos à sobra do volume de água da primeira lavagem do filtro F1; 60 L, referentes à água da primeira lavagem do filtro F3.

Em seguida, depois que o filtro F1 cumpriu 22 horas no seu tempo de carreira, foi tirado de operação e lavado pela segunda vez. Foi lavado em contra-fluxo com água do R2, à vazão conhecida, igual a 25 L/min, durante cerca de 10,4 minutos. Gerou 260 L de água de lavagem, aduzidos para o reservatório R1 que agora teve como reservados o total de 340 L, resultantes da soma dos 80 L anteriores com os 260 L da segunda operação de lavagem do filtro piloto F1.

Prosseguindo com o ensaio, a água contida no R1, 340 L, foi agitada durante 5 minutos, 1 minuto com 70 rpm e 4 minutos a 30 rpm. Neste processo, foi conferida à massa líquida, $1,62 \text{ kW/m}^3$. Há que se ressaltar que durante a agitação mecânica, não foi feita aplicação de polímero. A aplicação foi feita apenas uma vez, durante a operação de agitação descrita anteriormente. Finalizada a agitação mecânica, a água foi mantida em decantação no interior do reservatório R1, durante 40 minutos. Depois da decantação, o clarificado foi bombeado para filtrar diretamente no filtro F3. O bombeamento durou 180 minutos. Foi feito à vazão aproximada de 1,7 L/min, o que resultou em uma taxa de $277,6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, neste filtro. Foram bombeados 306 L e sobraram no R1, 34 L de água e lodo. Os valores da turbidez do efluente do filtro F3 foram menores que 0,7 uT e aprovaram o ensaio.

Este ensaio confirmou a eficiência do sistema piloto, depois da alteração com a exclusão do pré-filtro de pedregulho F2. Além do que, pode ser considerado ainda, como o ensaio de transição entre aqueles executados anteriormente na segunda etapa e os executados posteriormente, na terceira etapa, **Ensaio D5 à D19**.

A Figura 5.23 mostra as variações das perdas de carga nas camadas do filtro F3, depois de 3 horas de carreira. Os valores utilizados foram registrados na Tabela A15 do Anexo A.

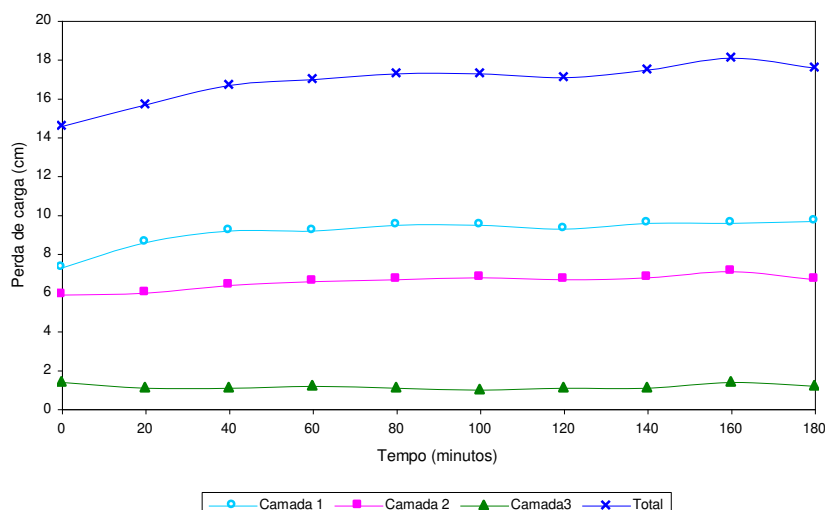


FIGURA 5.23 – Evolução da perda de carga ao longo do tempo no filtro F3. Ensaio D4 - Terceira Etapa. Taxa de 277,6 m³/m².dia.

Na Figura 5.24 estão os valores da variação da turbidez do afluente ao F3 (Am3) e do efluente do F3 (Am5). Os valores da turbidez foram coligidos da Tabela A15 do Anexo A.

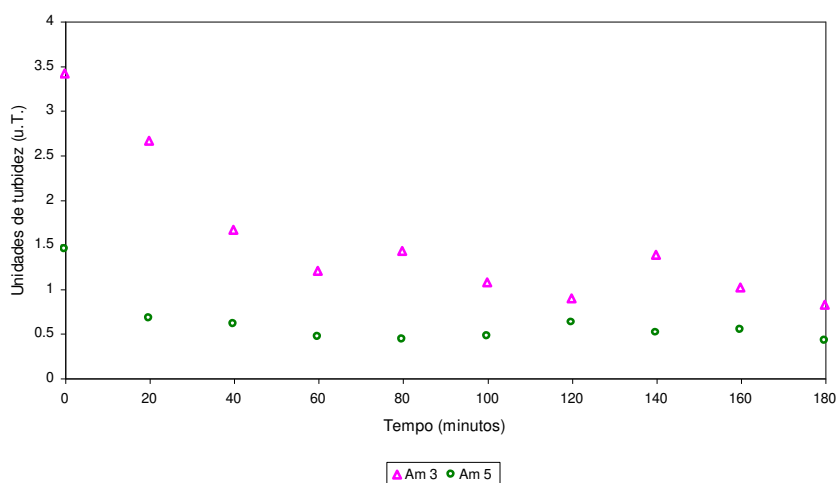


FIGURA 5.24 – Turbidez do afluente ao F3 (Am 3) e do efluente do F3 (Am5). Ensaio D4 - Terceira Etapa. Taxa de 277,6 m³/m².dia.

5.3.2.1 Discussão dos Resultados Obtidos no Ensaio D4 – Terceira Etapa

a) Perda de Carga

Ao observarmos a Figura 5.23, foi possível verificar que a evolução das perdas de cargas nas camadas 1 e 2 do meio poroso do filtro F3, foi levemente ascendente ainda com alguma acentuação mais visível na camada 1, de antracito.

b) Turbidez

Os valores representados na Figura 5.24 mostram que a turbidez do clarificado, afluente ao F3 se manteve com valores relativamente baixos, que possibilitou ao F3 produzir um efluente que atendesse aos valores menores que 0,7 uT.

5.3.3 Resultados dos Ensaios da Primeira Fase – D5 à D9 – Terceira Etapa

Os ensaios foram executados de acordo com os procedimentos operacionais descritos no Capítulo 4, item 4.5.3.4 e aqui explicitados durante a execução dos mesmos.

No domingo, 23/09/2007, o filtro F1 foi colocado em operação com a taxa de filtração igual a $321 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, vazão correspondente a 7,21 L/min e abasteceu o reservatório R2 com 620 L de água filtrada, após o que, teve o seu efluente desviado e descartado no canal que recebe as águas de lavagens dos filtros da ETA.

Na segunda-feira, 24/09/2007, o filtro F1 cumpriu o seu tempo de carreira de filtração igual a 17h 10min, após o que, foi tirado de operação. Em seguida ele foi lavado em contra-fluxo com água recalcada do reservatório R2. Esta operação foi feita à taxa de aplicação igual a $1.100 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e correspondeu à vazão de 25 L/min. Durou cerca de 10,4 minutos e gerou 260 L de água de limpeza, aduzidos para o reservatório R1, onde foi agitada mecanicamente por 5 minutos. Durante 1 minuto à 70 rpm e os 4 minutos finais à 30 rpm. A agitação mecânica conferiu à massa líquida a energia de $2,11 \text{ kW}/\text{m}^3$.

Sob a agitação rápida, a água de lavagem recebeu a dosagem de 0,2 mg/L de polímero catiônico de uma solução na concentração de 1.100 mg/L, da qual foram aplicados 52 ml. Após estas operações, a água foi mantida durante 30 minutos em decantação, no reservatório R1.

Durante o tempo de decantação, o filtro piloto foi recolocado em atividade, mantida a taxa de filtração igual a 321 m³/m².dia. Em seguida, teve seu efluente amostrado nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos, enquanto o mesmo era descartado no canal da ETA.

Finalizado o tempo de decantação em R1, o clarificado foi bombeado para a filtração diretamente no filtro F3. O bombeamento durou aproximadamente 133 minutos e foram bombeados 239 L à vazão de 1,8 L/min, que correspondeu no F3 à taxa de filtração igual a 293,9 m³/m².dia. Sobraram no reservatório R1, 20 L da água de lavagem e lodo.

Depois do bombeamento, o filtro F3 foi lavado em contra-fluxo com água recalçada do reservatório R2. A operação durou cerca de 8,57 minutos, à taxa de aplicação igual a 1.100 m³/m².dia, vazão correspondente igual a 7 L/min. Foram gerados 60 L de água de lavagem, aduzidos para o reservatório R1, onde se juntaram aos 20 L, relativos à sobra ali existente e que somaram 80 L. Encerramento do **Ensaio D5**.

Na terça-feira, 25/09/2007, o filtro F1 teve interrompida a carreira após 17h 40 min. Em seguida foi lavado em contra-fluxo com água do reservatório R2, à taxa de aplicação igual a 1.100 m³/m².dia, vazão correspondente a 25 L/min. A operação de lavagem demorou 10,4 minutos e gerou 260 L de efluente da lavagem, que foram aduzidos para o reservatório R1, onde se juntaram aos 80 L ali depositados anteriormente, composto por 20 L da sobra da primeira água de lavagem do F1 e 60 L, da primeira água de lavagem do filtro F3.

Prosseguindo, o volume correspondente a 340 L, contido no R1, foi submetido à agitação mecânica por 5 minutos. Durante 1 minuto à 70 rpm e os 4 minutos restantes, à 30 rpm, que conferiu à massa líquida a potência de 1,62 kW/m³. Enquanto durou a agitação rápida, foi aplicada neste volume de água a dosagem de 0,5 mg/L de polímero catiônico, na concentração de 1.000 mg/L. O volume aplicado desta solução foi igual a 68 ml.

Finalizadas estas operações, a água permaneceu em decantação no reservatório R1 durante 30 minutos.

Neste tempo, o filtro piloto F1 foi recolocado em operação à taxa de filtração e vazão, citadas anteriormente. Neste instante, enquanto o efluente do filtro F1 era descartado no canal da ETA, eram feitas deste, coletas de amostras nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos.

Encerrado o tempo de decantação no reservatório R1, o clarificado foi bombeado para a filtração no filtro F3. Esta operação durou cerca de 180 minutos. Foram bombeados 317 L de água de lavagem para o F3, à vazão de 1,76 L/min, que correspondeu em F3 à taxa de filtração aproximadamente igual a 287,3 m³/m².dia.

O efluente filtrado do F3, 317 L, foi aduzido para o reservatório R2. No reservatório R1 sobraram 23 L de água e lodo.

Após o bombeamento, diferentemente do ensaio do dia anterior, **D5**, antes do filtro F3 ser lavado, foi dada descarga de fundo no reservatório R1, quando então, foi feita a coleta de amostra do lodo.

Finalizada a descarga de fundo e a coleta, o filtro F3 foi submetido à operação de limpeza com água do reservatório R2 em contra-fluxo. A taxa de aplicação foi igual a 1.100 m³/m².dia e correspondeu no filtro F3 à vazão de 7 L/min. Esta operação gerou 60

L de água e lavagem, aduzidos para o reservatório R1 durante o tempo aproximado de 8,57 minutos. Foi encerrado o **Ensaio D6**.

Na quarta-feira, 26/09/2007, finalizado o tempo de carreira do filtro F1, após 17 h 05 min, ele foi tirado de operação. Em seguida, ele foi lavado contra-fluxo com água do reservatório R2. A taxa de aplicação nesta operação foi igual a $1.100 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, correspondente à vazão de 25 L/min.

A operação durou o tempo aproximado de 10,4 minutos e gerou 260 L de água de lavagem, aduzidos para o reservatório R1. Em R1, este volume somou-se aos 60 L da lavagem do filtro F3, feita no dia anterior, terça-feira. Assim, o R1 reservou o total de 320 L de água de lavagem.

Em seguida, a água de lavagem foi agitada mecanicamente por 5 minutos. Durante 1 minuto a 70 rpm. Os 4 minutos restantes, à 30 rpm. A agitação conferiu à água a potência de $1,72 \text{ kW}/\text{m}^3$. Enquanto foi submetida à agitação rápida a água recebeu aplicação de polímero catiônico na dosagem de 0,4 mg/L, de uma solução com concentração de 1.000 mg/L, da qual foram utilizados o volume de 128 ml.

Encerrada a agitação, a água foi submetida a 30 minutos de decantação, quando então, o filtro piloto foi colocado em operação e seu efluente, à medida que foi descartado no canal da ETA, foi amostrado através das coletas feitas a 1, 5, 15 e 20 minutos de operação. Finalizada a decantação da água de lavagem no R1, o clarificado foi bombeado para a filtração no filtro F3, cujo efluente foi aduzido para o reservatório R2. O recalque foi feito durante 165 minutos à vazão de 1,8 L/min, que correspondeu no filtro F3 à taxa de filtração igual a $293,9 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. Foram bombeados 297 L do clarificado. Sobraram no R1, 23 L de água e lodo.

Depois do bombeamento, o filtro F3 foi lavado em contra-fluxo com água do reservatório R2. A taxa de aplicação foi igual à $1.100 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e correspondeu à vazão de 7 L/min. A operação durou cerca de 9,6 minutos e gerou o volume de 67 L de água

de lavagem, aduzido para o reservatório R1, onde se juntou ao volume da sobra anterior igual a 23 L. Foi encerrado o **Ensaio D7**.

Na quinta-feira, 27/09/2007, foi finalizado o tempo de carreira do filtro F1, após 17h 40 min. Em seguida, foi lavado com água do reservatório R2 em contra-fluxo, segundo a taxa de aplicação igual à $1.100 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ com vazão correspondente à 25 L/min. Esta operação demorou cerca de 10,4 minutos e gerou 260 L de água de lavagem, aduzidos para o reservatório R1, onde se juntou aos 90 L ali contidos, o que totalizou 350 L.

Em seguida, os 350 L foram submetidos à agitação mecânica, durante 5 minutos. No primeiro minuto à 70 rpm e nos 4 restantes, à 30 rpm. Enquanto se processou a agitação rápida, foi aplicada a dosagem de 0,2 mg/L de polímero catiônico, de uma solução na concentração de 1.000 mg/L. Nesta aplicação, foram utilizados 70 mL da solução.

Finalizadas estas operações, a água permaneceu em decantação no R1 durante 30 minutos. Durante este tempo, o filtro F1 foi recolocado em operação, mantidas a taxa de filtração igual a $321 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e vazão correspondente à 7,21 L/min. O filtro piloto F1 teve o seu efluente descartado no canal da ETA, devidamente amostrado nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos.

Finalizada a decantação da água no reservatório R1, o clarificado foi bombeado para filtração no filtro F3. Esta operação durou cerca de 187 minutos à vazão aproximada de 1,74 L/min, que correspondeu no F3 à taxa de filtração igual à $284,0 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

Foram bombeados 326 L para o F3, cujo efluente foi aduzido para o reservatório R2. Restaram no R1 24 L de água mais lodo. Terminado o bombeamento, diferentemente do ensaio anterior, **D7**, antes do filtro F3 ser lavado, foi dada descarga de fundo no reservatório R1 e feita a segunda coleta de amostra do lodo.

Em seguida, o filtro F3 foi lavado com água do reservatório R2. Esta operação foi feita em contra-fluxo à vazão de 7 L/min, o que correspondeu em F3, à taxa de aplicação igual à 1.100 m³/m².dia e gerou 62 L de água de lavagem aduzidos para o reservatório R1, após cerca de 8,85 minutos de bombeamento. Foi encerrado o Ensaio **D8**.

Na sexta-feira, 28/09/2007, depois de 17 horas de carreira, o filtro F1 foi tirado de operação e lavado em contra-fluxo com água do reservatório R2, à taxa de aplicação igual à 1.100 m³/m².dia com vazão correspondente a 25 L/min. A operação durou 10,4 minutos e produziu 260 L de água de lavagem, aduzida para o reservatório R1, onde se juntou aos 62 L ali depositados, o que somou 322 L de água de lavagem.

Depois, a água foi agitada por 5 minutos, quando então, foi submetida a 70 rpm durante 1 minuto e 30 rpm por 4 minutos. A agitação conferiu à massa líquida, energia igual a 1,71 kW/m³. Durante a agitação rápida, recebeu a dosagem de 0,4 mg/L de polímero catiônico de uma solução à 1.000 mg/L de concentração, da qual foram aplicados 129 ml. Em seguida, a água foi mantida em decantação por 30 minutos no R1.

Durante este tempo, o filtro piloto F1 foi colocado em operação e enquanto o seu efluente foi descartado no canal da ETA, ele teve o mesmo, amostrado nos tempos de operação iguais a 1, 5, 15 e 20 minutos.

Depois da decantação o clarificado foi bombeado do reservatório R1, para filtrar na unidade da filtração F3. O bombeamento demorou 168 minutos, à vazão de 1,8 L/min, que correspondeu no filtro F3, à taxa de filtração igual a 293,9 m³/m².dia. Foram bombeados 302 L e sobraram aproximadamente 20 L no reservatório R1.

Finalizado o bombeamento, o filtro F3 foi lavado em contra-fluxo com água recalçada do reservatório R2. A operação foi feita à taxa de aplicação igual a 1.100

m³/m².dia, correspondente em F3, à vazão de 7 L/min. Teve duração aproximada de 8,57 min e gerou 60 L de água de lavagem, aduzidos para o reservatório R1, onde se juntaram aos 20 L relativos à sobra existente. Em seguida, o filtro F1 teve interrompida a sua operação e foi lavado. Na sequência, os reservatórios R1 e R2 foram esvaziados e lavados e assim, foi dado por encerrado o **Ensaio D9** e com ele, a primeira fase da Terceira Etapa.

Nas Tabelas A20 à A24, do Anexo A, foram registrados os valores dos parâmetros relativos à turbidez do afluente e efluente do filtro F3, durante o seu tempo de carreira, em cada um dos **Ensaio D5** à **D9**, através das amostras Am3 e Am5, respectivamente, assim como as perdas de carga, nos seus meios filtrantes. Na oportunidade, o filtro F1 também teve registrados os valores da turbidez, relativas ao afluente (água decantada da ETA), amostra Am1 e efluente, amostra Am2.

5.3.3.1 Discussão dos Resultados Obtidos Durante os Ensaio D5 à D9 da Primeira Fase – Terceira Etapa – 24 à 28/09/2007

Os **Ensaio D5** à **D9** da primeira fase foram realizados com modificações na dosagem aplicada de polímero catiônico, diferente daquela anteriormente definida pelo ensaio Jar Test, igual a 0,4 mg/L.

As modificações foram baseadas nos resultados do **Ensaio D4**, citado nos itens anteriores 5.3.2 e 5.3.2.1.

Assim é que, os **Ensaio D5**, **D6** e **D8**, tiveram como aplicação de polímero catiônico, a dosagem igual a 0,2 mg/L, metade de 0,4 mg/L, definida no Jar Test.

Na oportunidade, foi avaliada a possibilidade de se ter reduzida a dosagem do polímero catiônico, devido a provável ação do polímero existente no volume de sobra da água de lavagem retida no reservatório R1, somado à dosagem aplicada, igual a 0,2 mg/L, à semelhança do **Ensaio D4**.

Os resultados anotados nas Tabelas A 20, A21 e A23, relativamente aos **Ensaio D5, D6 e D8**, revelaram valores de turbidez do efluente do filtro F3, maiores que 0,7 uT e assim, eliminada a possibilidade aventada.

Há que se ressaltar que, apesar das condições dos **Ensaio D7 e D9** terem sido as mesmas, inclusive com a mesma dosagem de polímero catiônico aplicada, igual a 0,4 mg/L, os valores da turbidez do efluente do filtro F3, no **Ensaio D7**, foram maiores que 0,7 uT, como pode ser observado na Tabela A22.

Quanto aos resultados das análises físico-químicas das amostras coletadas da água filtrada de início de carreira, do filtro piloto F1, os mesmos foram registrados na Tabela A16.

- Alcalinidade Total:

Variou de 23 à 35 mgCaCO₃/L, com o pH também variando de 7,9 a 9,0 e predominância de valores maiores que 8,3, em função dos quais a alcalinidade pode ser atribuída à presença de carbonatos e bicarbonatos;

No dia 25/09/2007, nas coletas a 1 e 5 minutos, o pH registrou valores iguais a 7,9, quando então, a alcalinidade esteve relacionada com a presença de bicarbonato;

- Condutividade Específica:

Variou de 145,7 µS/cm aos 15 minutos do dia 24/09/2007 à 175,2 µS/cm, em 1 minuto do dia 28/09/2007.

No caso, os valores da condutividade variaram no intervalo de 50 à 1.500 µS/cm, citados pela CETESB (1978).

- Cor Aparente

Foi assinalada uma variação de valores < 3 à 55 uH, todavia, com predominância de valores menores que 15 uH, o valor padrão de aceitação para o consumo humano, de acordo com a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde.

- Dureza Total

Os valores variaram de 51 à 64 mg CaCO₃/L com predominância de valores entre 51 e 57 mg CaCO₃/L, o que classificou esta água, com relação ao carbonato de cálcio, como água moderadamente dura.

- Ferro Total

Variou de 0,050 à 1,274 mg Fe/L, valor máximo detectado em 25/09/2007, com 1 minuto de carreira. Os outros valores se manifestaram abaixo do limite padrão de 0,3 mg Fe/L, preconizado pela Portaria 518.

- Manganês Total

Todos os valores foram < 0,010 mg Mn/L, abaixo de 0,1 mg Mn/L, preconizado pela Portaria 518.

- pH

Variou de 7,9 à 9,3 e atendeu à faixa de 6,0 à 9,5, indicada para água no sistema de distribuição, de acordo com a Portaria 518.

- Temperatura

Os valores variaram de 23 a 26°C.

- Turbidez

Considerando que as amostras foram coletadas da água filtrada do início de carreira do F1, nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos, os resultados que variaram de 0,32 à 4,1 uT, foram praticamente os esperados, considerada a etapa inicial da carreira de filtração, de acordo com AMIRTHARAJAH & WETSTEIN (1980); AMIRTHARAJAH (1985).

5.3.4 Resultados dos Ensaios da Segunda Fase – D10 à D14 – Terceira Etapa

Os ensaios foram realizados de acordo com as operações descritas em 4.5.3.4. No domingo, 30/09/2007, o filtro F1 foi colocado em operação e abasteceu o reservatório R2, após o que, teve descartado no canal da ETA o seu efluente.

Na segunda-feira, 01/10/2007, após 17:00 horas o filtro F1, teve interrompido o seu tempo de carreira e foi lavado durante 10,4 minutos em contra-fluxo com água do R2. Gerou 260 L de água de lavagem, aduzidos para o reservatório R1, onde foi agitada mecanicamente e à massa líquida, foi conferida a potência igual à 2,11 kW/m³. Durante a agitação rápida foi aplicada a dosagem de polímero igual a 0,4 mg/L, com volume de solução aplicada igual à 104 ml.

Em seguida, a água foi mantida por 30 min em decantação no reservatório R1 e durante este tempo o filtro piloto F1 foi colocado em operação e teve amostrado seu efluente nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos.

Finalizado o tempo de decantação no reservatório R1, o mesmo teve seu clarificado bombeado para a filtração no filtro F3. Vazão de recalque igual à 1,8 L/min o que correspondeu em F3, a taxa de filtração igual à 293,9 m³/m².dia. O tempo de bombeamento foi igual à aproximadamente 131,7 min. Foram recalcados 237 L e sobraram 23 L de água e lodo, no reservatório R1. Encerrado o bombeamento, o tempo de carreira do filtro F3, também encerrou. O F3 em seguida, foi lavado por cerca de 8,57 minutos e gerou 60 L de água de limpeza que aduzidos para o reservatório R1, juntou-se aos 23 L ali retidos e somaram 83 L de água de lavagem no interior do R1. Foi encerrado o **Ensaio D10**.

Na terça-feira, 02/10/2007, o filtro F1, cumpriu 17:00 horas em operação e teve sua atividade interrompida.

Foi lavado durante 10,4 minutos e gerou 260 L de água de lavagem, aduzidos para o reservatório R1, onde se somou aos 83 L ali contidos, o que contabilizou 343 L de água de lavagem, no interior do R1.

Há que se ressaltar que, neste ensaio, **D11**, não foi aplicado polímero na água de lavagem contida no reservatório R1. O único polímero existente se restringiu àquele aplicado nos 260 L da primeira lavagem do filtro piloto F1, efetuada no ensaio anterior **D10**, portanto restrito apenas aos 23 L restantes no R1, mantidos como sobra da segunda para a terça-feira.

A agitação à que a massa líquida esteve submetida, correspondeu à agitação hidráulica provocada no interior do reservatório R1, quando do bombeamento dos 260 L do reservatório R2 para lavar o filtro F1, pela segunda vez, cujo efluente foi então aduzido para o reservatório R1, durante 10,4 min. Após esta operação a massa líquida, 343 L, decantou em R1 durante 50 minutos. Durante este tempo, o filtro F1 foi colocado em operação e teve seu efluente filtrado amostrado nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos.

WAGNER (1983), citou que a utilização do potencial hidráulico para a execução da mistura rápida e floculação, reflete na redução de custos relativos à instalação de bombas, motores e demais equipamentos.

Cumprido o tempo de decantação, o clarificado contido em R1 foi bombeado para filtrar no F3. Vazão de recalque igual a 1,9 L/min que correspondeu em F3 à taxa de filtração igual à 310,2 m³/m².dia, durante o tempo de bombeamento com cerca de 168,4 minutos. Recalcados para o F3, 320 L. Sobraram no reservatório R1, 23 L de água e lodo. Depois desta operação, antes que o filtro F3 fosse lavado, foi dada descarga de fundo no reservatório R1 e feita a amostragem do lodo descartado.

Em seguida, o filtro F3 foi lavado em contra-fluxo e gerou 60 L de água de lavagem, aduzidos para o reservatório R1. A operação durou cerca de 8,57 minutos. Foi encerrado o **Ensaio D11**.

Na quarta-feira, 03/10/2007, o filtro piloto F1 cumpriu 17 horas de carreira de filtração e foi lavado durante 10,4 min e gerou 260 L de efluente de lavagem aduzidos para o reservatório R1, onde se juntou aos 60 L existentes, o que totalizou 320 L. Foram agitados mecanicamente, transferindo-lhes a potência de 1,72 kW/m³.

A dosagem de polímero catiônico aplicada foi igual à 0,4 mg/L com volume de solução aplicado igual à 128 ml, durante a agitação rápida por 1 minuto. Foi mantida em decantação no R1, por 30 minutos durante os quais o filtro F1 foi colocado em operação e teve seu efluente amostrado nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos. Encerrada a decantação, o clarificado foi bombeado para filtrar no F3. Vazão de bombeamento igual à 1,8 L/min e taxa igual à 293,9 m³/m².dia. Recalque durante aproximadamente 165 minutos; foram recalcados 297 L e sobraram 23 L no reservatório R1.

Após o recalque, a lavagem do filtro F3 foi feita com duração de 8,57 minutos. O volume de água gerado foi de 60 L, aduzidos para o R1, onde somou aos 23 L ali existentes, totalizando 83 L de água de lavagem. Encerrado o **Ensaio D12**.

Na quinta-feira, 04/10/2007, o filtro F1, após 17:00 horas, encerrou sua carreira. Foi lavado por 10,4 minutos. Gerou o volume igual a 260 L de efluente de lavagem, aduzido para o R1, onde somou com a parcela de 83 L do ensaio anterior e totalizou 343 L.

Neste ensaio, **D13**, como no **D11**, não foi feita aplicação de polímero. O único volume de água que recebeu aplicação de polímero catiônico, existente na massa líquida (343 L), retida no reservatório R1, durante o **Ensaio D13**, correspondeu aos 23 L retidos no R1, relativos à sobra dos 320 L do ensaio anterior, **D12**.

No reservatório R1, o volume de água foi agitado hidraulicamente, durante 10,4 minutos, enquanto durou a operação de lavagem de filtro F1, da mesma forma como descrita anteriormente no **Ensaio D11**. Em seguida, o volume de 343 L foi decantado no reservatório R1 durante 50 minutos. Durante este tempo, o filtro piloto foi recolocado em operação e teve o seu efluente amostrado nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos. Encerrada a decantação, o clarificado do reservatório R1 foi bombeado para filtração no filtro F3.

Vazão de recalque igual a 1,7 L/min, correspondeu em F3 à taxa de filtração igual à 277 m³/m².dia. Tempo de bombeamento igual à 188 minutos. Recalcados 320 L para o filtro F3. Sobraram 23 L de água e lodo, no reservatório R1. Após esta operação, antes que o filtro F3 fosse lavado, foi dada descarga de fundo no reservatório R1 e feita amostragem do lodo descartado.

Prosseguindo, o filtro F3 foi lavado em contra-fluxo e gerou 65 L de água de lavagem, aduzidos para o reservatório R1. A operação durou cerca de 9,3 minutos. Foi encerrado o **Ensaio D13**.

Na sexta-feira, 05/10/2007, após ter cumprido 17 h 20min de carreira, o filtro piloto F1 teve encerrada a operação. Foi lavado por 10,4 minutos e gerou 260 L de água de lavagem que foram aduzidos para o reservatório R1 e se juntaram aos 65 L ali existentes, o que totalizou o volume de 325 L de água de lavagem. Este volume foi agitado, o que lhe transferiu a potência de 1,69 kW/m³. A dosagem de 0,4 mg/L de polímero catiônico aplicada, utilizou 130 ml da solução. Em seguida a água decantou no reservatório R1. Durante o tempo de decantação, o filtro piloto F1 foi colocado em operação e teve seu efluente amostrado nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos.

Após a decantação, o clarificado foi recalcado para filtração no filtro F3.

Vazão de recalque igual à 1,8 L/min; taxa de filtração no filtro F3 igual à 293,9 m³/m².dia. Duração do recalque, aproximadamente, 167,8 minutos. Foram recalcados 302 L e sobraram 23 L de água e lodo no reservatório R1.

Depois do recalque, o filtro F3 foi lavado em contra-fluxo. A operação durou cerca de 8,57 minutos e gerou 60 L de água, aduzidos para o reservatório R1, onde se juntaram aos 23 L relativos à sobra e totalizaram 83 L. Na sequência o filtro F1 teve interrompida sua operação e foi lavado. Em seguida, os reservatórios R1 e R2 foram esvaziados e também lavados.

O **Ensaio D14** foi dado por encerrado e assim, a segunda fase da terceira etapa.

5.3.4.1 Discussão dos Resultados Obtidos Durante os Ensaios D10 à D14 da Segunda Fase – Terceira Etapa – 01/10/2007 à 05/10/2007

Os **Ensaios D10 à D14** também foram influenciados pelo **Ensaio D4**, citado em 5.3.2 e 5.3.2.1, relativamente à aplicação do polímero catiônico feita alternadamente, ou seja, aplicação em um ensaio e no outro não e assim, sucessivamente até o ensaio final **D14**.

Como pode ser observado pelos valores das Tabelas A25 à A29, Anexo A, os valores da turbidez do efluente do filtro F3, amostra Am5, se mantiveram menores que 0,7 uT.

Com relação aos resultados das análises físico-químicas, das amostras coletadas do efluente do filtro piloto F1, aos tempos de início de carreira de filtração iguais a 1, 5, 15 e 20 minutos, os mesmos tiveram os seus registros feitos na Tabela A17.

- Alcalinidade Total:

Foi de 21 a 36 mg CaCO_3/L , com o pH variando de 7,6 à 9,4 com predominância de valores maiores que 8,0, acrescentando que o pH 7,6 ocorreu uma única vez na coleta de 05/10/2007, aos 20 minutos.

Os valores indicaram que a alcalinidade foi devida à presença de carbonatos e bicarbonatos, tal como, nos testes da primeira fase.

- Condutividade Específica:

Os valores variaram de 156,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, registrado no dia 05/10/2007, aos 20 minutos de carreira à 236 $\mu\text{S}/\text{cm}$, no dia 01/10/2007, com 1 minuto de carreira. Eles atenderam aos preconizados pela CETESB (1978), ou seja, valores entre 50 e 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

- Cor Aparente

Os valores registrados em todas as amostras analisadas foram menores que 3 uH, muito abaixo de 15 uH, definido para consumo humano pela Portaria nº 518, do Ministério da Saúde – 25 de março de 2004.

- Dureza Total

Variou de 54 à 84 mg CaCO_3/L , o que classifica esta água como moderadamente dura, considerada a faixa de 51 à 150 mg CaCO_3/L .

- Ferro Total

A predominância foi de valores menores que 0,020 mg Fe/L. O valor máximo foi de 0,077, abaixo de 0,3 mg Fe/L, indicado pela Portaria 518, como valor máximo permitido para consumo humano.

- Manganês Total

Todos os valores foram menores que 0,010 mg Mn/L, menores que 0,1 mg Mn/L, valor máximo permitido pela Portaria 518 do Ministério da Saúde para consumo humano.

- pH

O valor mais baixo foi de 7,6, na coleta aos 20 minutos de carreira, do dia 05/10/2007. Os demais valores variaram de 8,1 à 9,4. Tais valores atendem a Portaria 518, com relação à faixa de 6,0 à 9,5, preconizada para a água no sistema de distribuição.

- Temperatura

A variação dos valores foi de 17 à 26°C.

- Turbidez

A variação dos valores, 0,18 à 0,82 uT, das amostras coletadas da água filtrada do início de carreira do F1, nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos estiveram praticamente de acordo com AMIRTHARAJAH & WETSTEIN (1980); AMIRTHARAJAH (1985).

5.3.5 Resultados dos Ensaio da Terceira Fase – D15 à D19 –Terceira Etapa

Os presentes ensaios tiveram suas execuções, de acordo com os procedimentos operacionais, abordados no Capítulo 4, item 4.5.3.4.

No domingo, 11/05/2008, o filtro piloto F1 foi colocado em operação e abasteceu o reservatório R2 com 620 L de água filtrada. Logo após esta operação diferentemente dos ensaios da primeira e segunda fase, foi coletada no R2, a amostra Am6.

Na segunda-feira, 12/05/2008, depois de 17:00 horas de carreira, o F1 foi tirado de operação. Foi lavado com água do R2 em contra-fluxo por 10,4 minutos aproximadamente e gerou 260 L de água de lavagem, aduzidos para o reservatório R1. Foi agitada mecanicamente e recebeu dosagem de polímero catiônico, igual à 0,4 mg/L e consumiu da solução de polímero, 104 ml. Potência consumida pela agitação igual a 2,11 kW/m³. Em seguida a água permaneceu em decantação no R1. Neste tempo, o

filtro piloto F1, foi recolocado em operação e teve seu efluente amostrado nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos.

Após a decantação, o clarificado foi bombeado para filtrar em F3. A vazão do recalque foi igual a 1,9 L/min. A taxa de filtração no filtro F3 foi de 310,2 m³/m².dia. O bombeamento foi de aproximadamente 124,7 minutos e foram recalcados 237 L. Sobraram em R1, 23 L de água de lavagem. Em seguida, o F3 foi lavado com o tempo aproximado igual à 8,57 minutos o que gerou 60 L de efluente de lavagem que aduzidos para o R1, juntaram-se aos 23 L ali existentes, totalizando 83 L. Foi encerrado o **Ensaio D15**.

Na terça-feira, 13/05/2008, após 19 h 30 min de carreira, o filtro piloto F1 foi tirado de operação e lavado durante aproximadamente 10,4 minutos. Gerou 260 L de água de lavagem que se juntaram aos 83 L no reservatório R1, totalizando 343 L. Em seguida a água no reservatório R1, foi submetida à agitação mecânica, o que conferiu à massa líquida a potência de 1,60 kW/m³. A aplicação do polímero catiônico, feita durante a agitação rápida pó 1 minuto, consumiu da solução de polímero o volume igual à 137 ml.

A água foi então mantida em decantação no R1. Neste tempo, o filtro piloto F1 foi colocado em operação e teve o seu efluente amostrado nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos.

Após a decantação, o clarificado do R1 foi bombeado para filtração no filtro F3.

O bombeamento foi à vazão de 1,8 L/min e correspondeu no F3 à taxa de filtração igual à 293,9 m³/m².dia. A duração do bombeamento foi igual à 177,8 minutos. Foram bombeados 320 L e sobraram 23 L no reservatório R1. Encerrado o bombeamento, de maneira diferente do ensaio anterior, **D15**, antes do filtro F3 ser lavado, foi dada descarga de fundo no R1. O lodo foi descartado e amostrado. Em seguida o filtro F3 foi lavado durante 8,57 minutos e gerou 60 L de água de lavagem, aduzidos para o reservatório R1. Foi encerrado o ensaio **D16**.

Na quarta-feira, 14/05/2008, depois de 19:00 horas de carreira, o filtro F1 foi tirado de operação e lavado, durante 10,4 minutos e gerou 260 L de água de lavagem aduzidos para o R1, onde se juntaram aos 60 L ali contidos, do ensaio anterior **D16** e totalizaram assim, 320 L. Em R1 a água foi agitada mecanicamente durante 5 minutos, o que lhe conferiu a energia de 1,72 kW/m³. Durante agitação rápida foi aplicado polímero catiônico e consumidos 128 ml da solução do polímero.

A água foi mantida em decantação no R1. Durante este tempo, o F1 foi recolocado em operação e amostrado o seu efluente, nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos.

Depois da decantação, o clarificado contido no R1 foi recalcado para filtrar no filtro F3. O recalque demorou 166,7 minutos à vazão igual a 1,8 L/min. A taxa de filtração em F3 foi igual à 293,9 m³/m².dia. e foram bombeados 300 L. Sobraram no reservatório R1, 20 L de água de lavagem.

Finalizado o recalque, o filtro F3 foi lavado, durante aproximadamente 8,57 minutos. Foram gerados 60 L de água de limpeza que aduzidos para o R1, foram somados aos 20 L ali existente e totalizaram 80 L de água de lavagem. O **Ensaio D17** foi encerrado.

Na quinta-feira, 15/05/2008, o filtro F1 foi tirado de operação após 19:00 horas de carreira e foi lavado. Foram gerados 260 L de água de lavagem aduzidos para o R1, onde se juntaram aos 80 L ali reservados, totalizando 340 L.

Em R1, a água foi submetida á agitação mecânica por 5 minutos, o que lhe conferiu a potência de 1,62 kW/m³. Foi aplicada dosagem de polímero catiônico e utilizados 136 mL da solução de polímero. Em seguida a água foi mantida em decantação por 30 minutos. Durante esta operação, o filtro F1 foi recolocado em atividade e teve seu efluente amostrado nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos. Após a decantação o clarificado do R1 foi

bombeado para filtração no filtro F3. O bombeamento durou 176 minutos. Foi feito à vazão de 1,8 L/minuto com taxa de filtração no F3 igual a 293,9 m³/m².dia. Foram recalcados 317 L e sobraram 23 L no R1.

Encerrado o bombeamento, diferentemente do **Ensaio D17**, anterior, antes do filtro F3 ser lavado, foi dada descarga de fundo no R1 e feita amostragem do lodo descartado. Na sequência o F3 foi lavado e gerou 60 L de água de lavagem aduzidos para o reservatório R1. Assim, o **Ensaio D18** teve seu encerramento.

Na sexta-feira, 16/05/2008, após 19:00 horas de carreira, o filtro F1 foi tirado de operação e lavado. Foram gerados 260 L de água de lavagem, aduzidos para o R1, onde foram somados com 60 L e totalizaram 320 L.

Em seguida foi aplicada agitação mecânica durante 5 minutos e conferida potência de 1,72 kW/m³, à massa líquida. A dosagem aplicada de polímero catiônico, 0,4 mg/L, consumiu da solução 128 ml.

Prosseguindo, a água foi colocada em decantação por 30 minutos. Durante este tempo o F1 foi colocado em atividade e teve seu efluente filtrado amostrado, para acompanhamento qualitativo, nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos.

Após a decantação, o clarificado foi bombeado para filtrar no filtro F3. O recalque demorou 165 minutos. A vazão foi de 1,8 L/min e correspondeu no F3, à taxa de filtração, igual à 293,9 m³/m².dia. Foram recalcados 297 L. Sobraram no R1, 23 L de água de lavagem.

Em seguida foi acrescentada uma operação não utilizada nos ensaios anteriores da primeira e segunda fases: foi feita a coleta de amostra da água contida no reservatório R2, água reciclada em circuito fechado, depois de usada em 5 operações de lavagem do filtro F1 e 5 operações de lavagem do filtro F3. A amostra foi identificada como amostra Am7 e tal como a amostra Am6, tiveram examinadas as variáveis físico-

químicas, também com o objetivo de acompanhar e comparar a variação de qualidade da água reciclada.

Na sequência, o filtro piloto foi tirado de operação e lavado. Os reservatórios R1 e R2 esvaziados e lavados.

Assim, foi dado como encerrado o último ensaio da terceira fase, **Ensaio D19** e com ele, a finalização do experimento.

5.3.5.1 Discussão dos Resultados Obtidos Durante os Ensaio D15 à D19 da Terceira Fase – Terceira Etapa

Nestes ensaios, **D15 à D19**, foi feita a aplicação do polímero catiônico em todos eles na dosagem de 0,4 mg/L de solução na concentração de 1.000 mg/L. Em todos ensaios a massa líquida contida no R1 foi submetida à agitação mecânica, seguida de decantação por 30 minutos.

Os valores da turbidez do efluente do filtro F3, registrados nas Tabelas A30 à A34, Anexo A, mostraram que os valores se mantiveram menores que 0,7 uT, com ênfase ao ensaio D18, onde os valores da turbidez do efluente do F3, chegaram a se assemelhar com os revelados nas amostras Am2, efluente do filtro piloto F1.

Relativamente aos resultados das análises físico-químicas, das amostras coletadas da água filtrada de início de carreira, do filtro piloto F1, eles foram registrados na Tabela A18 contida no Anexo A.

- Alcalinidade Total:

Variou de 14 à 37 mg CaCO_3 /L, com o pH no mesmo período, assumindo valores entre 7,0 à 8,2 predominando aqueles de 7,3 à 7,8.

Os valores registrados dão como causa da alcalinidade, a presença de bicarbonato, diferente dos testes anteriores, relativos à primeira e segunda semanas.

Foi verificado ainda que, isoladamente, na coleta feita em 15/05/2008 à 1 minuto, a alcalinidade acusou um valor menor que 2 mg CaCO₃/L e um pH igual a 5,0. Acredita-se que estes valores anômalos e isolados, tenham ocorrido provavelmente devido a algum problema no sistema de aplicação de cal para correção do pH, que na estação é feito na entrada do decantador. A esta provável ocorrência, soma-se o fato de que, a tomada d'água decantada da estação para o filtro F1 do experimento, ficou instalada próxima de um dos pontos de fluoretação da ETA, feitos com aplicação de ácido fluorsilícico, à montante dos filtros da ETA e antes da desinfecção.

- Condutividade Específica:

Os resultados das análises mostraram uma variação de 141 µs/cm à 168,3 µs/cm. Estes valores foram enquadrados entre aqueles considerados como normais pela CETESB (1978), ou seja, 50 à 1.500 µs/cm.

- Cor Aparente

Com exceção do resultado referente à coleta do dia 13/05/2008, aos 5 minutos, que registrou 6 uH, os outros foram menores que 3 uH.

Todos os valores foram menores que 15 uH, o VMP admitido pela Portaria 518, do Ministério da Saúde.

- Dureza Total

Os resultados variaram de 50 à 60 mg CaCO₃/L. Estes valores, menores que os registrados nas semanas anteriores, classificam esta água como moderadamente dura.

- Ferro Total

As análises revelaram valores menores que 0,020 mg Fe/L e valor máximo de 0,084 mg Fe/L, menores que 0,3 mg Fe/L, VMP para consumo humano, definido pela Portaria 518.

- Manganês Total

Os valores registrados foram menores que 0,010 Mn/L. Portanto, atenderam ao VMP de 0,1 mg Mn/L, preconizado pela Portaria 518 do Ministério da Saúde.

- pH

Os valores de uma maneira geral, variaram de 7,0 à 8,2, predominando valores de 7,3 à 7,8.

Houve uma anomalia, um valor isolado, revelado na amostra coletada aos 5 minutos do dia 15/05/2008, que registrou pH igual a 5.

Como abordado na discussão anterior, relativa à alcalinidade, as possibilidades da ocorrência anômala foram relacionadas a um provável problema, momentâneo, na aplicação da cal na estação, mais a circunstância de que a tomada da água decantada da ETA, afluenta ao F1 ter estado próxima de um dos pontos de fluoretação da ETA, feita com aplicação de ácido fluorsilícico na água decantada, a montante dos filtros da estação e antes da desinfecção.

- Temperatura

Variou de 22 à 24°C.

- Turbidez

Foram registrados valores que se situaram entre 0,16 e 0,92 uT, correspondentes às amostras coletadas nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos, da água filtrada de início de carreira do filtro piloto F1.

Os resultados praticamente atenderam aos valores estudados por AMIRTHARAJAH & WETSTEIN (1980); AMIRTHARAJAH (1985), citados por DI BERNARDO & DANTAS (2005).

Quanto aos resultados das análises físico-químicas das amostras Am6 e Am7 estão registrados na Tabela A19, do Anexo A.

Am6: Amostra da água filtrada pelo F1, contida no reservatório R2, coletada antes do início dos ensaios da terceira fase.

Am7: Amostra da água filtrada contida no reservatório R2, coletada logo após o encerramento dos ensaios da terceira fase.

- Alcalinidade Total:

Variou de 21 a 25 mg CaCO_3/L , com pH de 8,0 à 8,3 respectivamente.

Os valores sinalizam para uma alcalinidade devida à presença de bicarbonatos.

- Condutividade Específica:

Variou de 155,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 166,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estes valores estão de acordo com os limites de 50 à 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, admitidos pela CETESB (1978).

- Cor Aparente

Não houve variação na cor aparente que se manteve menor que 3,0 uH, bem inferior à 15 uH, estipulado como VMP para consumo humano, de acordo com a Portaria 518, do Ministério da Saúde – 25 de março de 2004.

- Dureza Total

Variou com um decréscimo de 60 para 59 mg CaCO_3/L . Os valores registrados classificam esta água como moderadamente dura.

- Ferro Total

Os resultados foram 0,022 e menor que 0,020 mg Fe/L, valores bem menores que o VMP de 0,3 mg Fe/L, considerado pela Portaria 518 do Ministério da Saúde.

- Manganês Total

Os valores foram menores que 0,010 mg Mn/L e atendem perfeitamente à Portaria 518 que considera o VMP como 0,1 mg Mn/L.

- pH

Variou de 8,0 à 8,3, dentro dos limites de 6,0 à 9,5, admitidos pela Portaria 518, como a faixa de pH para água à ser distribuída.

- Temperatura

A temperatura variou de 23 à 24°C, certamente em função dos horários das coletas.

Am6 foi coletada às 07h 20 min do dia 12/05/2008 e a Am7, às 11h 14 min, do dia 16/05/2008.

- Turbidez

Variação de 0,18 à 0,40 uT. Valores bem inferiores ao VMP igual à 5 uT, admitido pela Portaria 518, Março de 2004, como de aceitação para consumo humano e inferiores ao padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção.

A Figura 5.25 ilustra algumas operações relativas aos **Ensaio D5 à D19**, realizados na primeira, segunda e terceira fases da terceira etapa do experimento.



FIGURA 5.25 – Fotografias de algumas operações desenvolvidas durante os Ensaios D5 à D19 – Terceira Etapa.

Na fotografia (a) foi retratada a descarga do efluente da lavagem do filtro piloto F1, aduzido para o reservatório R1. Este tipo de descarga é que produziu a agitação hidráulica nos **Ensaios D11 e D13**, da segunda fase do experimento.

A fotografia (b) mostra a água de lavagem dos filtros F1 e F3, retidas no reservatório R1.

Na fotografia (c) foi retratado o agitador mecânico.

A fotografia (d) registrou o momento em que era feita a aplicação do polímero catiônico na massa líquida sob agitação rápida.

Na fotografia (e) foi mostrada a água de lavagem no interior do reservatório R1, já floculada, após a agitação mecânica.

Em (f) foi apresentada a água de lavagem em processo de decantação, onde foi possível notar no fundo do reservatório R1 a presença do lodo sedimentado.

As fotografias (g) e (h) registraram dois momentos relativos às amostragens feitas durante os ensaios. Em (g) a amostragem do efluente do filtro F3, através da amostra Am5, controle da turbidez. Em (h), coleta do efluente do filtro piloto F1, a partir do início da carreira de filtração, nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos, para controle das variáveis físico-químicas da água reciclada.

5.3.6 Resultados dos Ensaios em Cone Imhoff e Respektivas Curvas do Teor de Sólidos Sedimentáveis em Função do Tempo, das Amostras Coletadas do Lodo Descartado nos Ensaios da Primeira, Segunda e Terceira Fases – Terceira Etapa

Os resultados dos ensaios do lodo em Cone Imhoff foram registrados nas Tabelas A37 à A41, do Anexo A. Em cada fase de ensaios foram coletadas duas amostras do lodo descartado do reservatório R1.

Na segunda fase foi utilizada apenas uma amostra, a do dia 02/10/2007, visto que, a segunda amostra, do dia 04/10/2007, após ter sido coletada, foi perdida após a queda do recipiente, onde o lodo fora contido.

Com valores obtidos nos ensaios com o Cone Imhoff, foram construídas as respectivas curvas do teor de sólidos sedimentáveis, em função do tempo, para cada uma das amostras. Nestas curvas, representadas nas Figuras 5.26 à 5.28, pode ser notado o adensamento do lodo com o aumento do período de sedimentação.

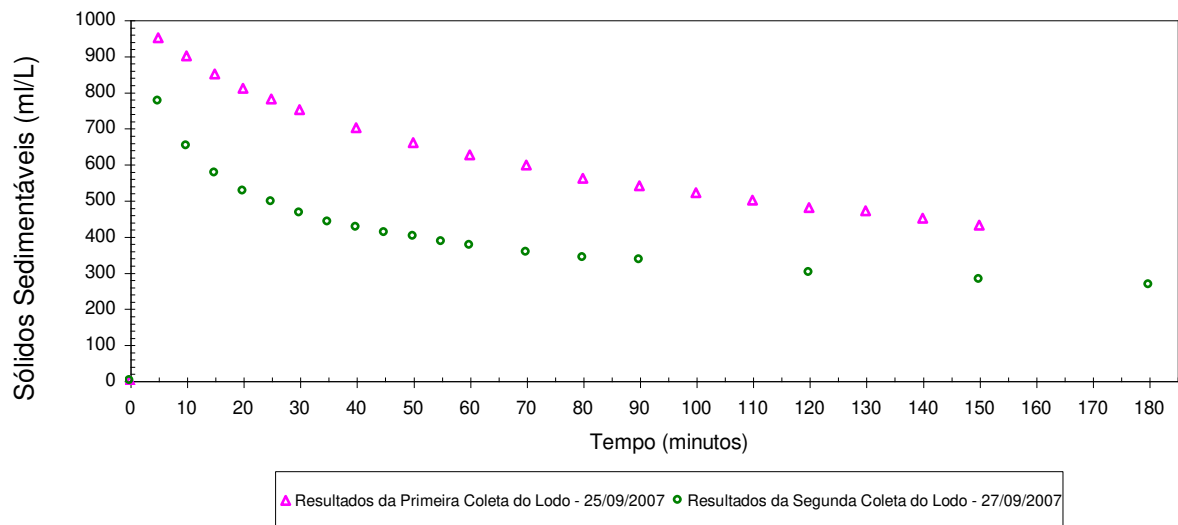


FIGURA 5.26 – Curvas do teor de sólidos sedimentáveis (ml/L) em função do tempo em Cone Imhoff da primeira e segunda coleta de amostras do lodo gerado nos ensaios da primeira fase – Terceira Etapa.

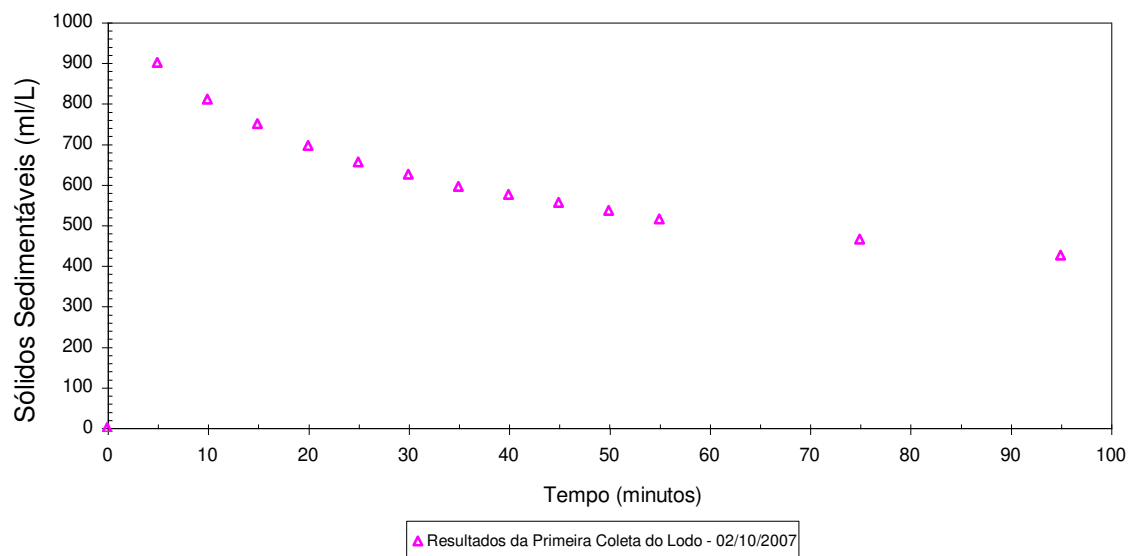


FIGURA 5.27 – Curva do teor de sólidos sedimentáveis (ml/L) em função do tempo em Cone Imhoff. Primeira coleta de amostra do lodo em 02/10/2007 - Segunda Fase – Terceira Etapa.

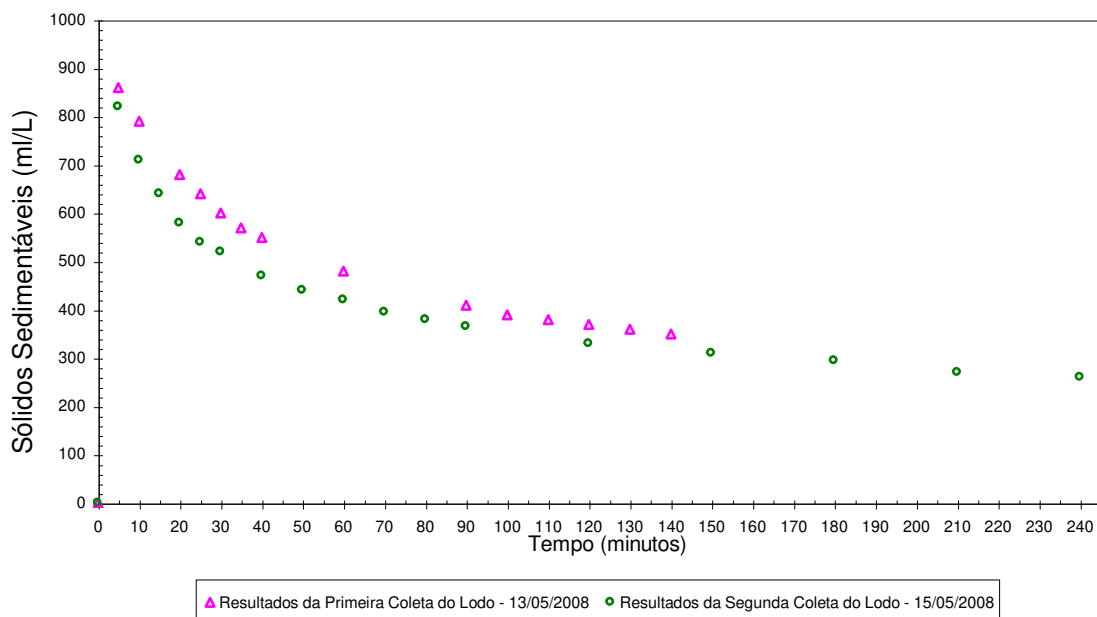


FIGURA 5.28 – Curvas do teor de sólidos sedimentáveis (ml/L) em função do tempo em Cone Imhoff. Primeira e segunda coleta de amostras do lodo em 13/05/2008 e 15/05/2008 - Terceira Fase – Terceira Etapa.

5.3.6.1 Discussão dos Resultados dos Ensaios em Cone Imhoff, das Amostras de Lodo da Primeira e Segunda Coletas, nos Ensaios da Primeira Fase – Terceira Etapa

Os valores de sólidos sedimentáveis a cada tempo, registrados nos ensaios em Cone Imhoff, da amostra relativa à primeira coleta de lodo (terça-feira, 25/09/2007), feita na primeira fase, foram menores que aqueles obtidos na amostra referente à segunda coleta (quinta-feira, 27/09/2007), feita também na primeira fase, como pode ser verificado na Figura 5.26. Provavelmente, a causa esteja relacionada com a maior concentração de polímero catiônico na água e lodo descartados na segunda descarga, coletada em 27/09/2007. Há que se observar que durante a execução destes ensaios, **D5 à D9**, as dosagens de polímero catiônico aplicadas nas águas de lavagens dos filtros F1 e F3, retidas no reservatório R1, variaram de 0,2 à 0,4 mg/L.

5.3.6.2 Discussão dos Resultados dos Ensaios em Cone Imhoff, das amostras de Lodo da Primeira e Segunda Coletas nos Ensaios da Segunda Fase – Terceira Etapa

Na segunda fase, foi feito o ensaio em Cone Imhoff, apenas da primeira amostra de lodo coletada, pois a segunda amostra, após a coleta, foi perdida em acidente ocorrido com tombamento do recipiente que a continha.

Desta forma, não foi possível comparar as duas curvas, relativas à primeira e segunda amostras feitas na terça, 02/10/2007, e quinta-feira, 04/10/2007, da segunda fase, conforme Figura 5.27.

Nos ensaios da segunda fase, **D10** à **D14**, a dosagem de polímero catiônico, 0,4 mg/L, foi feita alternadamente, ensaio sim, ensaio não. Chama atenção ainda o fato de que nos ensaios onde não foram aplicados o polímero, **D11** e **D13**, não foi feita a agitação mecânica. A agitação se restringiu a agitação hidráulica, provocada no interior do reservatório R1, quando da chegada da água de lavagem do filtro F1.

5.3.6.3 Discussão dos Resultados dos Ensaios em Cone Imhoff das Amostras de Lodo da Primeira e Segunda Coletas nos Ensaios da Terceira Fase – Terceira Etapa

Os ensaios em Cone Imhoff, da amostra referente à primeira coleta de lodo (terça-feira, 13/05/2008), feita na terceira fase, revelaram valores de sólidos sedimentáveis, a cada tempo, menores que os valores registrados na amostra relativa à segunda coleta (quinta-feira, 15/05/2008), feita também na terceira fase. As curvas foram registradas na Figura 5.28.

É provável que os valores maiores para os sólidos sedimentáveis nas amostras do lodo da segunda coleta, em relação aos valores registrados nas amostras da primeira coleta, sejam devido à maior concentração de polímero catiônico no lodo das segundas descargas (amostras).

As curvas do teor de sólidos dos ensaios **D15** à **D19**, relativas às coletas de amostras da primeira e segunda descarga de lodo, foram elaboradas com valores bastante semelhantes e quase se confundiram. Durante os ensaios, as dosagens de polímero catiônico aplicadas nos efluentes de limpezas dos filtros F1 e F3, contidos no reservatório R1, foram iguais à 0,4 mg/L.

Segundo DI BERNARDO & DANTAS (2005), quando a floculação é realizada com sais de alumínio ou de ferro, a massa específica é, geralmente, da ordem de 1005 à 1030 kg/m³, enquanto, quando polímeros são usados, principalmente como auxiliares de floculação, a massa específica pode atingir valores de 1050 kg/m³ ou até maiores.

Na Tabela 5.2 foram anotados valores de vários parâmetros relativos à execução dos ensaios da primeira, segunda e terceira fases da terceira etapa. A disposição destes parâmetros na tabela, foi feita de tal modo a facilitar o acompanhamento das atividades operacionais desenvolvidas durante a execução de cada um dos ensaios, com ênfase ao condicionamento dado no interior do reservatório R1, aos volumes de águas das lavagens dos filtros F1, filtro piloto e F3.

Há que se ressaltar que alguns parâmetros não foram lançados na presente tabela, pelo fato de serem praticamente constantes, tais como:

- Taxa de filtração do filtro piloto F1, igual à 321 m³/m².dia, vazões correspondente à 7,2 L/min,
- Taxa de aplicação para lavar os filtros F1 e F3, igual a 1.100 m³/m².dia, vazões em contra-fluxo, com água do reservatório R2, respectivamente 25 e 7 L/min.
- Agitação mecânica da água de lavagem dos filtros F1 e F3, feita no reservatório R1, durante 1 minuto à 70 rpm e 4 minutos à 30 rpm, totalizando 5 minutos.
- Os **Ensaio D5**, **D10** e **D15** tiveram seus inícios através do abastecimento do reservatório R2 com 620 L de água filtrada pelo filtro piloto F1, após o que, o

mesmo teve seu efluente filtrado, descartado no canal receptor da água de lavagem dos filtros da estação.

- O polímero utilizado foi o catiônico, W360.

É importante ainda esclarecer que a agitação hidráulica utilizada nos **Ensaio D11** e **D13**, da segunda fase, tiveram como duração, o tempo do recalque em contra-fluxo da água do reservatório R2, para lavar o filtro piloto F1. A agitação consistiu na movimentação do volume de líquido (83 L) contido no interior do reservatório R1, provocada pela entrada neste reservatório de 260 L, referentes ao efluente de lavagem do filtro F1, durante 10,4 minutos.

Nos **Ensaio D11** e **D13** não foi aplicado polímero na água de lavagem retida no reservatório R1. O polímero existente no interior do R1 em cada um destes ensaios, restringiu-se aquele existente nos 23 L referentes à sobra dos 260 L do ensaio anterior **D10** e nos 23 L relativos à sobra dos 320 L do ensaio anterior **D12**, nos quais, aos 260 e 320 L, respectivamente, foram feitas aplicações de polímero catiônico.

Simbologia utilizada na Tabela 5.2:

○ Volume da água de lavagem do filtro F1.

↑ Operação de recalque do clarificado em R1, após decantação, para filtração no F3.

◻ Volume relativo à sobra do volume da água de lavagem do filtro F1, após recalque para o filtro F3. Volume mantido de um dia para o outro, interior do reservatório R1.

△ Volume da água de lavagem do filtro F3, mantido de um dia para o outro, no R1.



Volume descartado da água + lodo, contido no reservatório R1.



Volume relativo à sobra dos volumes de águas de lavagens dos filtros F3 + F1, após recalque do clarificado, para filtração no filtro F3.

TABELA 5.2 – Alguns parâmetros operacionais dos Ensaios D5 à D19; primeira, segunda e terceira fases – Terceira etapa do experimento.

E N S A I O S		TEMPO DE CARREIRA DO F1	VOLUME DA ÁGUA DE LAVAGEM DOS FILTROS F1 E F3, MAIS SOBRAS ANTES DO RECALQUE DO CLARIFICADO PARA FILTRAÇÃO NO FILTRO F3 (L)	TEMPO DE AGITAÇÃO HIDRÁULICA DA ÁGUA AFLUENTE E DA ÁGUA CONTIDA NO RESERVATÓRIO R1 (min)	TEMPO DE AGITAÇÃO MECÂNICA DA ÁGUA DE LAVAGEM DOS FILTROS F1 E F3 MAIS SOBRAS (min)	DOSAGEM POLÍMERO CATIONICO APLICADO NA ÁGUA LAVAGEM CONTIDA R1 ANTES RECALQUE E P/ F2 (mg/L)	VOLUME SOLUÇÃO POLÍMERO CATIONICO APLICADO NA ÁGUA LAVAGEM CONTIDA NO RESERVATÓRIO R1 (mL)	POTÊNCIA CONSUMIDA NA AGITAÇÃO MECÂNICA DO VOLUME DE ÁGUA DE LAVAGEM CONTIDA NO RESERVATÓRIO R1 (kW/m³)	TEMPO DE DECANTAÇÃO NO R1, DA ÁGUA DE LAVAGEM DOS FILTROS F1 E F3, ANTES DO RECALQUE E PARA FILTRAÇÃO NO F3 (min)	VAZÃO MÉDIA DO RECALQUE E DO CLARIFICADO DO CONTIDO NO R1, PARA FILTRAÇÃO NO FILTRO F3 (L/min)	TAXA DE FILTRAÇÃO MÉDIA NO FILTRO F3 CORRESPONDENTE À VAZÃO DE RECALQUE E DO CLARIFICADO R1 PARA F3 (m³/m².dia)	VOLUME DO LODO DESCARTADO DO RESERVATÓRIO R1 DEVIDAMENTE AMOSTRADO (L)	SITUAÇÃO NO INTERIOR DO RESERVATÓRIO R1, DURANTE OS ENSAIOS DA PRIMEIRA, SEGUNDA E TERCEIRA FASES, RELATIVA AOS VOLUMES DE ÁGUAS DE LAVAGENS DOS FILTROS F1 (PILOTO) E F3, ANTES E APÓS OS SUCESSIVOS RECALQUES DO CLARIFICADO, PARA FILTRAÇÕES NO F3
PRIMEIRA FASE 24/09/2007 à 28/09/2007	D5	17h10'	260	N	5	0,2	52	2,11	30	1,8	293,9	N	○ ↑ □ + △ (260) ↑ 20+60 L
	D6	17h40'	340	N	5	0,2	68	1,62	30	1,8	293,9	23	□ + △ + ○ ↑ +, △ (20+60+260) ↑ 23,60 L
	D7	17h05'	320	N	5	0,4	128	1,72	30	1,8	293,9	N	△ + ○ ↑ □ + △ (60+260) ↑ 23+67 L
	D8	17h40'	350	N	5	0,2	70	1,57	30	1,7	277,6	24	□ + △ + ○ ↑ +, △ (23+67+260) ↑ 24,62 L
	D9	17h00'	322	N	5	0,4	129	1,71	30	1,8	293,9	N	△ + ○ ↑ □ + △ (62+260) ↑ 23+60 L
SEGUNDA FASE 01/10/2007 à 05/10/2007	D10	17h00'	260	N	5	0,4	104	2,11	30	1,8	293,9	N	○ ↑ □ + △ (260) ↑ 23+60 L
	D11	17h00'	343	10,4	N	N	N	–	50	1,9	310,2	23	□ + △ + ○ ↑ +, △ (23+60+260) ↑ 23,60 L
	D12	17h00'	320	N	5	0,4	128	1,72	30	1,8	293,9	N	△ + ○ ↑ □ + △ (60+260) ↑ 23+60 L
	D13	17h00'	343	10,4	N	N	N	–	50	1,7	277,6	23	□ + △ + ○ ↑ +, △ (23+60+260) ↑ 23,65 L
	D14	17h20'	325	N	5	0,4	130	1,69	30	1,8	293,9	N	△ + ○ ↑ □ + △ (65+260) ↑ 23+60 L
TERCEIRA FASE 12/05/2007 à 16/05/2008	D15	17h00'	260	N	5	0,4	104	2,11	30	1,9	310,2	N	○ ↑ □ + △ (260) ↑ 23+60 L
	D16	19h30'	343	N	5	0,4	137	1,60	30	1,8	293,9	23	□ + △ + ○ ↑ +, △ (23+60+260) ↑ 23,60 L
	D17	19h00'	320	N	5	0,4	128	1,72	30	1,8	293,9	N	△ + ○ ↑ □ + △ (60+260) ↑ 20+60 L
	D18	19h00'	340	N	5	0,4	136	1,62	30	1,8	293,9	23	□ + △ + ○ ↑ +, △ (20+60+260) ↑ 23,60 L
	D19	19h00'	320	N	5	0,4	128	1,72	30	1,8	293,9	N	△ + ○ ↑ □ + △ (60+260) ↑ 23+60 L

○ Volume água lavagem F1; ↑ Operação recalque p/ F3; □ Sobra volume água lavagem F1 após recalque p/ F3, mantido até dia seguinte; △ Volume de água lavagem F3, mantido até dia seguinte; ✦ Descarte água e lodo do R1; □ Sobra volumes águas lavagens F3+F1, após recalque para F3.

As coletas das amostras do lodo em cada uma das três fases, assim como as dosagens de polímero catiônico aplicadas em cada ensaio, foram elencadas na Tabela 5.2.

5.3.7 Índice de Perda, Relativo à Quantidade de Água Produzida pelo F1 e à Água Descartada do R1 (Água e Lodo)

Este índice foi avaliado com base no volume filtrado pelo F1, e no volume de água mais lodo, descartado através de descargas de fundo do tanque R1.

Na Tabela 5.2 e nas Tabelas A35 e A36, relativas aos monitoramento do filtro piloto F1, durante suas carreiras de filtração, foram anotados valores que permitiram calcular o Índice de Perda aproximado, registrado durante os **Ensaio D15 à D19**, terceira fase – terceira etapa.

Assim:

- Índice de Perda =
$$\frac{\text{Volume Produzido pelo filtro F1}}{\text{Volume Produzido pelo filtro F1}}$$
- Tempo total de operação do filtro piloto F1, durante a terceira fase = 5.610 min.
- Vazão média de operação do filtro piloto F1, durante a terceira fase = 6,1 L/min.
- Volume de lodo mais água descartados durante a terceira fase = (23+23)L = 46 L – Descartes em 13/05/2008 e 15/05/2008, respectivamente.
- Volume médio de água filtrada, produzido pelo filtro piloto F1, na terceira fase = 5.610 min x 6,1 L/min = 34.221 L.
- Índice de Perda =
$$\frac{46\text{L}}{34221\text{L}} \rightarrow \text{IP} = 0,13\%$$

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados experimentais, obtidos neste trabalho, puderam ser estabelecidas algumas conclusões:

- A tratabilidade da água de lavagem com aplicação de polímero, seguida de adensamento, produziram bons resultados no condicionamento desta água, antes de submetê-la a dupla filtração na segunda etapa, ou filtração rápida, terceira etapa;
- A aplicação do polímero catiônico na água de lavagem retida no reservatório R1, melhorou a turbidez do clarificado, tornando-a semelhante e até menor que a turbidez da água decantada da ETA;
- Nos testes com aplicação do polímero catiônico na água de lavagem do filtro F1, o desempenho do pré-filtro de pedregulho F2 melhorou, quando então, os valores da turbidez do seu efluente, foram menores que aqueles registrados na água decantada da estação;
- As modificações implementadas no tanque R1, início da terceira etapa, relativas à inclinação das paredes e nivelamento do plano de fundo, resolveram a dificuldade existente na operação de descarte do lodo, através das descargas de fundo, assim como, eliminaram os volumes de lodo e água (60 à 64L) que ficavam retidos no reservatório R1, depois de cada ensaio;

- A implantação de um segundo tubo de sucção no tanque R1, em nível mais alto do que o do tubo inicialmente instalado, foi importante, pois a sucção do clarificado sempre iniciou pelo nível mais alto, ou seja, aquele com menor turbidez;
- Mesmo com valores de turbidez maiores que 0,7 uT, registrados para o efluente do F3, amostra Am5, nos ensaios da primeira fase, **D5 à D9**, foram normais os resultados das análises físico-químicas das amostras do efluente do F1, coletadas a 1, 5, 15 e 20 minutos, da água filtrada de início de carreira. Tal fato pode indicar não haver necessidade de ser tão restritivo como se foi, ao fixar-se a turbidez do efluente do filtro F3, como menor ou igual à 0,7 uT, valores que aprovavam os ensaios na segunda etapa;
- O sistema demonstrou que existe viabilidade técnica e econômica, bastante competitiva na sua adoção em uma ETA, como pode ser avaliado no **ANEXO B**.
- Os **Ensaio D10 à D14**, da segunda fase e os da terceira fase, **D15 à D19**, tiveram resultados que atenderam à turbidez menor ou igual à 0,7 uT, para o efluente do filtro F3. Tiveram também, os valores monitorados da qualidade físico-química da água reciclada atendendo aqueles preconizados pela portaria nº 518, de 25 de Março de 2004, do Ministério da Saúde;
- Os **Ensaio D10 à D14**, da segunda fase, levaram vantagens sobre os da terceira fase, **D15 à D19**, pois gastaram menos energia com agitação mecânica e tiveram menos polímero catiônico aplicado;
- A adoção de um sistema com essa tecnologia poderá levar à uma perda de água, em operações de lavagem de filtros, conforme resultados obtidos, da ordem de 0,13% em lugar dos costumeiros 2 a 5 %.

7 RECOMENDAÇÕES

- Ampliar o número de ensaios, semelhantes aos realizados na segunda fase, **D10** à **D14**, bem como os da terceira fase, **D15** à **D19**, para o acompanhamento não só dos resultados das análises físico-químicas das amostras da água filtrada de início de carreira do filtro F1 mas também, da qualidade microbiológica desta água. No caso de bons resultados relativos ao padrão microbiológico, o sistema implantado evitará acúmulo mais rápido de lodo nos decantadores e risco de contaminação, inerentes ao sistema de recirculação da água de lavagem;
- Substituir o filtro F3 por um filtro exatamente igual ao F1, visto que, o filtro F3, com menor área superficial, utilizado no experimento, atendeu à montagem inicial que previu dupla filtração, para o projeto, antes do descarte do pré-filtro de pedregulho F2.
- Desenvolver um experimento com uma montagem que possibilite ensaios com a adução da água de lavagem clarificada em R1, diretamente para um canal com água decantada da estação, afluente à um filtro piloto rápido descendente igual ao filtro piloto F1, com o objetivo de acompanhar a qualidade físico-química e microbiológica da água filtrada de início de carreira deste filtro.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). Water treatment plant management. American Water Works Association Research Foundation, Denver, 459 p., 1987.
2. APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19^a ed. Washington, 1995.
3. AZEVEDO NETTO, J. M. *et al.* Técnica de abastecimento e tratamento de água. CETESB/ASCETESB, V. 1 e V. 2. 1987, São Paulo.
4. BOLLER, M. – Filter mechanisms in roughing filters. Journal Water SRT – Aqua. V. 42, n. 3, p. 174-185. 1993.
5. CAMPOS, J. R. – Emprego do Amido de Batata como Auxiliar de Floculação de Águas para Abastecimento. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 1980.
6. CARVALHO, E. H. Simulação da disposição de resíduos líquidos de ETAs em ETEs. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1999.
7. CETESB. Técnica de abastecimento e tratamento de água. São Paulo: Companhia de Tecnologia Ambiental. 1978.

8. CLEASBY, J. L., ARBOLEDA, J., BURNS, D. E., PRENDIVILLE, W., SAVAGE, E. S. Backwashing of granular filters. Journal AWWA, p. 115-126, February 1997.
9. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1987). Operação e controle de estações de tratamento de água. Relatório, CETESB, São Paulo.
10. CONTROLE OPERACIONAL DA ETA/FRANCA, 2005.
11. CORDEIRO, J. S. Disposição, tratabilidade e reuso de lodos de estações de tratamento de água. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1991.
12. CORDEIRO, J. S. O problema dos lodos gerados nos decantadores de estações de tratamento de água. São Carlos. 324 p. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1993.
13. DI BERNARDO, L. (a) Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. Rio de Janeiro: ABES, V. 1, 1993. 481 p.
14. DI BERNARDO, L., BRESAOLA JR., R., RUGNO, O. R. Considerações sobre o uso da pré-filtração em pedregulho para a remoção de impurezas das águas de abastecimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 14, 1987, São Paulo. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1987. P. 351-364.
15. DI BERNARDO, L. (a) Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. Rio de Janeiro: ABES, V. 2, 1993. 503 p.

16. DI BERNARDO, L. *et al.* Eficiência da floculação realizada em reatores estáticos e em unidades de escoamento contínuo. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 18. Anais. Rio de Janeiro: ABES, 1995.
17. DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. São Carlos: RiMa Editora, 2002.
18. DI BERNARDO, L. (Coordenador). Tratamento de Água para Abastecimento por Filtração Direta. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, projeto PROSAB, 498 p. 2003.
19. DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO DANTAS, A. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água – segunda edição – São Carlos: RiMa, V. 1, 2005. 792 p.
20. DI BERNARDO, L., DI BERNARDO DANTAS, A. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água – segunda edição – São Carlos: RiMa, V. 2, 2005. 792 p.
21. FERREIRA FILHO, S. S., ALÉM SOBRINHO, P. Considerações sobre o tratamento de despejos líquidos gerados em estações de tratamento de água. ABES – Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. V. 3, n. 3 e n. 4, p. 128-136. Jul/Set e Out/Dez 1998.
22. FERREIRA FILHO, S. S. e LAGE FILHO, F. A. Redução de Perdas e Tratamento de Lodo em ETA. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA). DTA. DA. Presidência da República, Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Secretaria de Política Urbana, Brasília, 1999.
23. GRANDIN, S. R. Desidratação dos lodos produzidos nas estações de tratamento de água. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1992.

24. ISAAC, R. L. Apostila de Curso EC-711: “Abastecimento de Água”. UNICAMP, Departamento de Hidráulica e Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil, PGR+711-100, 1997.
25. ISAAC, R. L. Material Didático IC. 769: Tópicos em Saneamento Ambiental IV. UNICAMP, Departamento de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Agosto de 2001.
26. JANSSENS, J. G. e BUCKENS, A. Assessment of process selection for particle removal in surface water treatment. **Journal of Water Supply Research and Technology – AQUA**. V. 42, n. 5, p. 279-288, 1993.
27. KAVAMURA, S. Optimisation of basic water-treatment process- Design and Operation: sedimentation and filtration. **Journal Water SRT- Aqua**. V.45, n.3, p. 130-142. 1996.
28. LABORATÓRIO DE CONTROLE SANITÁRIO. Valores Médios Anual de Alguns Parâmetros da Água Bruta de Franca, 2004.
29. LEAL, F. C. T., LIBÂNIO, M. Estudo da Remoção da Cor por Coagulação Química no Tratamento Convencional de Águas de Abastecimento. Engenharia Sanitária e Ambiental, V. 7, nº 4, p. 117-128, 2002.
30. LEINZ, V. e AMARAL, S. E. do. Geologia Geral. Editora Nacional, 10ª edição revisada, 1987.
31. LIBÂNIO, M. e CARNEIRO, L. G. P. L. As Perspectivas da Recirculação das Águas de Lavagens de Filtros em Estações de Tratamento de Água. Disponível na Internet. <http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/v16/OPNIAO1.htm>. 06 de out. 2004.

32. MARSIGLIA NETTO, A. Diagnóstico do Sistema Produtor Metropolitano: Investimentos Realizados e Benefícios Auferidos. Revista Saneas – Associação dos Engenheiros da Sabesp, V. 1, n. 13, p. 44-45, 2002.
33. MENDES, C. G. N. Apostila de Curso IC-449 – “Tratamento de água para abastecimento”. UNICAMP, Departamento de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, 2001.
34. MENDES, C. G. N. Estudo da Coagulação e Floculação de Águas Sintéticas e Naturais com Turbidez e Cor Variáveis. Tese de Doutorado – EESC – USP, São Carlos, 1989.
35. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano. Portaria n. 518 de 25/03/2004, Brasília, Brasil.
36. RAMOS, R. O. Desempenho de reatores hidráulicos de floculação em regime de escoamento laminar no trecho de transição. Tese de mestrado, UNICAMP, 2000.
37. REALI, M. A. P. (Coord.) Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 1999.
38. RIBEIRO, R. E. Y. Gestão Operacional em Estações de Tratamento de Água de Ciclo Completo, Estudo de Caso da ETA Cubatão/SP. In: Encontro Técnico AESABESP, 14., São Paulo, 2003.
39. RICHTER, C. A. e AZEVEDO NETTO, J. M. Tratamento de Água – Tecnologia atualizada. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1991, p. 6-7.
40. RICHTER, C. A. Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2001.

41. SABESP. Potencial Zeta no Controle de coagulação. São Paulo: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. 1982.
42. SERETE S. A. ENGENHARIA. Espessuras das Camadas de Areia e de Antracito. Projeto da ETA de Franca, 1979.
43. SOUZA FILHO, A. G.; DI BERNARDO, L. Caracterização e clarificação da água da lavagem dos filtros de uma ETA que utiliza cloreto férrico como coagulante. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20; Anais... Rio de Janeiro, 1999.
44. SOUZA SANTOS, P. Tecnologia de Argilas Aplicada às Argilas Brasileiras. São Paulo: Edgard Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo, 1975.
45. TUNDISI, J. G. Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez. São Carlos: RiMa, IIE, 2003.
46. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios do tratamento biológico de águas residuais. Belo Horizonte: Depto. Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 2ª edição, 1996, v. 1, 243 p.
47. WAGNER, E. G. Management and operation. Journal AWWA, p. 168-173, april 1983.
48. WEGELIN, M. Roughing gravel filters for suspended solids removal. In GRAHAM, N. J. D. Slow sand filtration- Recent developments in water treatment technology. p. 103-122. Nov/ Dez. 1988.
49. WIECHETECK, G. K., DA SILVA BENINI, B. D., DI BERNARDO, L. Remoção de Substâncias Húmicas utilizando Dupla Filtração com Filtro Ascendente de Areia Grossa ou de Pedregulho. Engenharia Sanitária e Ambiental, V. 9, n. 2, p. 156-164, 2004

ANEXO A

TABELA A1 – Carreira do Filtro F1: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F1, ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 321 m³/m².dia e medidas de turbidez do afluente (Am 1) e efluente (Am 2).

		Δh (cm)							
Tempo de Carreira (h)		0	1	2	3	4	5	6	7
Filtro F1									
Camada 1		6,3	6,8	7,8	9,0	10,5	12,3	13,3	15,1
Camada 2		5,2	5,2	5,2	5,2	5,3	4,8	5,3	5,4
Camada 3		1,3	1,3	1,4	1,3	1,2	1,1	1,2	1,1
Total (cm)		12,8	13,3	14,4	15,5	17,0	18,2	19,8	21,6
Turbidez (uT)	Am 1	12,90	11,30	8,40	6,90	6,90	6,10	5,70	8,90
	Am 2	0,60	0,16	0,16	0,20	0,19	0,27	0,28	0,18

TABELA A1 – Carreira do Filtro F1: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F1, ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 321 m³/m².dia e medidas de turbidez do afluente (Am 1) e efluente (Am 2) (Continuação).

		Δh (cm)							
Tempo de Carreira (h)		8	9	10	11	12	13	14	15
Filtro F1									
Camada 1		16,8	18,7	23,4	22,9	24,8	25,9	26,7	27,8
Camada 2		5,2	5,1	5,0	4,7	4,7	4,6	4,6	4,4
Camada 3		1,1	1,0	1,1	1,0	1,1	1,1	1,0	1,0
Total (cm)		23,1	24,8	29,5	28,6	30,6	31,6	32,3	33,2
Turbidez (uT)	Am 1	8,90	8,30	8,30	8,30	3,80	3,00	2,70	4,10
	Am 2	0,18	0,16	0,17	0,20	0,33	0,48	0,35	0,16

TABELA A1 – Carreira do Filtro F1: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F1, ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 321 m³/m².dia e medidas de turbidez do afluente (Am 1) e efluente (Am 2) (Continuação).

		Δh (cm)							
Tempo de Carreira (h)		16	17	18	19	20	21	22	24
Filtro F1									
Camada 1		28,9	30,0	32,2	33,6	35,1	36,0	36,9	40,4
Camada 2		4,5	4,6	4,7	4,4	4,3	4,4	4,5	4,3
Camada 3		0,8	0,5	0,5	2,3	0,9	0,9	0,6	0,7
Total (cm)		34,2	35,1	37,4	40,3	40,3	41,3	42,0	45,4
Turbidez (uT)	Am 1	4,80	5,70	5,70	5,70	6,70	5,20	4,90	4,60
	Am 2	0,30	0,21	0,27	0,24	0,21	0,22	0,30	0,17

TABELA A2 – Ensaio A: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3 do leito filtrante do filtro F2, ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 50 m³/m².dia e medidas de turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4).

		Δh (cm)			
Tempo de Carreira (h)		0	1	2	3
Filtro F2					
Camada 1		0	0	0	0
Camada 2		0	0	0	0
Camada 3		0	0	0	0
Total (cm)		0	0	0	0
Turbidez (uT)	Am 3	10,3	9,63	8,93	6,85
	Am 4	1,45	6,88	6,79	6,29

TABELA A3 – Ensaio A: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F3 ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 183 m³/m².dia e medidas de turbidez do efluente (Am 5).

		Δh (cm)			
Tempo de Carreira (h)		0	1	2	3
Filtro F3					
Camada 1		6,3	7,1	7,9	14,8
Camada 2		4,3	5,2	4,7	8,7
Camada 3		0,7	0,6	0,8	1,1
Total (cm)		11,3	12,9	13,4	24,6
Turbidez (uT)	Am 5	0,34	2,85	3,24	3,33

TABELA A4 – Ensaio B: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3 do leito filtrante do filtro F2, ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 71 m³/m².dia e medidas de turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4).

		Δh (cm)			
Tempo de Carreira (h)		0	0,5	1	1,5
Filtro F2					
Camada 1		0	0	0	0
Camada 2		0	0	0	0
Camada 3		0	0	0	0
Total (cm)		0	0	0	0
Turbidez (uT)	Am 3	3,55	2,12	2,11	1,97
	Am 4	2,29	1,92	1,80	1,80

TABELA A5 – Ensaio B: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F3 ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 261 m³/m².dia e medidas de turbidez do efluente (Am 5).

		Δh (cm)			
Tempo de Carreira (h)		0	0,5	1	1,5
Filtro F3					
Camada 1		8,3	8,4	8,3	8,2
Camada 2		7,2	7,3	7,2	7,3
Camada 3		0,8	0,9	1,0	1,0
Total (cm)		16,3	16,6	16,5	16,5
Turbidez (uT)	Am 5	0,95	1,05	1,02	1,09

TABELA A6 – Ensaio C: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3 do leito filtrante do filtro F2, ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 50 m³/m².dia e medidas de turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4).

		Δh (cm)				
Tempo de Carreira (h)		0	1	2	3	4
Filtro F2						
Camada 1		0	0	0	0	0
Camada 2		0	0	0	0	0
Camada 3		0	0	0	0	0
Total (cm)		0	0	0	0	0
Turbidez (uT)	Am 3	12,40	36,80	34,10	30,70	28,70
	Am 4	0,61	8,78	10,70	10,70	12,10

TABELA A7 – Ensaio C: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F3 ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 180 m³/m².dia e medidas de turbidez do efluente (Am 5).

		Δh (cm)				
Tempo de Carreira (h)		0	1	2	3	4
Filtro F3						
Camada 1		7,6	7,2	7,9	8,7	9,7
Camada 2		4,2	5,1	5,1	5,1	4,8
Camada 3		4,2	3,5	2,9	2,4	3,0
Total (cm)		16,0	15,8	15,9	16,2	17,5
Turbidez (uT)	Am 5	0,16	1,58	1,56	1,45	1,33

TABELA A8 – Ensaio D: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3 do leito filtrante do filtro F2, ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 89 m³/m².dia e medidas de turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4).

		Δh (cm)			
Tempo de Carreira (h)		1,0	1,5	2,0	2,17
Filtro F2					
Camada 1		0	0	0	0
Camada 2		0	0	0	0
Camada 3		0	0	0	0
Total (cm)		0	0	0	0
Turbidez (uT)	Am 3	9,02	10,30	8,88	9,02
	Am 4	4,57	4,09	3,90	3,56

TABELA A9 – Ensaio D: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F3 ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 326,5 m³/m².dia e medidas de turbidez do efluente (Am 5).

		Δh (cm)			
Tempo de Carreira (h)		1,0	1,5	2,0	2,17
Filtro F3					
Camada 1		12,8	15,9	18,5	18,5
Camada 2		8,1	7,9	8,1	8,8
Camada 3		1,5	1,5	1,3	1,4
Total (cm)		22,4	25,3	27,9	28,7
Turbidez (uT)	Am 5	0,69	0,35	0,31	0,33

TABELA A10 – Ensaio D1: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3 do leito filtrante do filtro F2, ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 89 m³/m².dia e medidas de turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4).

		Δh (cm)							
Tempo de Carreira (h)		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	3,58
Filtro F2									
Camada 1		0	0	0	0	0	0	0	0
Camada 2		0	0	0	0	0	0	0	0
Camada 3		0	0	0	0	0	0	0	0
Total (cm)		0	0	0	0	0	0	0	0
Turbidez (uT)	Am 3	7,03	4,52	6,55	7,31	4,83	5,99	8,09	9,49
	Am 4	2,87	2,21	1,84	1,78	1,66	1,48	1,43	1,36

TABELA A11 – Ensaio D1: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F3 ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 326,5 m³/m².dia e medidas de turbidez do efluente (Am 5).

		Δh (cm)							
Tempo de Carreira (h)		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	3,58
Filtro F3									
Camada 1		12,9	15,3	18,5	22,7	27,1	32,5	37,7	38,2
Camada 2		10,6	10,1	10,7	10,9	11,0	10,1	9,6	9,8
Camada 3		1,4	1,6	1,6	1,8	1,6	1,6	1,4	1,7
Total (cm)		24,9	27,0	30,8	35,4	39,7	44,2	48,7	49,7
Turbidez (uT)	Am 5	0,41	0,30	0,28	0,29	0,24	0,19	0,19	0,19

TABELA A12 – Ensaio D2: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3 do leito filtrante do filtro F2, ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 89 m³/m².dia e medidas de turbidez do afluente (Am 3) e efluente (Am 4).

		Δh (cm)					
Tempo de Carreira (h)		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	2,75
Filtro F2							
Camada 1		0	0	0	0	0	0
Camada 2		0	0	0	0	0	0
Camada 3		0	0	0	0	0	0
Total (cm)		0	0	0	0	0	0
Turbidez (uT)	Am 3	9,39	10,10	4,80	4,78	4,51	4,74
	Am 4	2,59	3,89	3,74	3,45	3,44	3,44

TABELA A13 – Ensaio D2: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F3 ao longo do tempo na Segunda Etapa. Taxa de filtração de 326,5 m³/m².dia e medidas de turbidez do efluente (Am 5).

		Δh (cm)					
Tempo de Carreira (h)		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	2,75
Filtro F3							
Camada 1		9,0	11,3	13,3	15,3	16,0	16,7
Camada 2		7,9	8,0	8,1	7,7	8,0	7,9
Camada 3		1,7	1,4	1,4	1,4	1,2	1,3
Total (cm)		18,6	20,7	22,8	24,4	25,2	25,9
Turbidez (uT)	Am 5	0,42	0,44	0,39	0,38	0,37	0,34

TABELA A14 – Ensaio D3: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F3 ao longo do tempo na Terceira Etapa. Taxa de filtração de 261 m³/m².dia e medidas de turbidez do afluente ao F1, água decantada da estação (Am 1); afluente ao F3, água clarificada do R1 (Am 3) e efluente do F3 (Am 5).

		Δh (cm)						
Tempo de Carreira (h)		0	0,5	1	1,5	2	2,5	2,7
Filtro F3								
Camada 1		8,8	8,8	10,1	11,8	13,3	15,5	17,0
Camada 2		6,9	6,9	7,1	7,2	7,0	6,8	6,8
Camada 3		1,1	1,1	1,1	1,3	1,1	0,9	1,2
Total (cm)		16,8	16,8	18,3	20,3	21,4	23,2	25,0
Turbidez (uT)	Am 1	6,86	6,45	6,32	4,64	4,18	3,42	2,29
	Am 3	3,09	2,99	2,54	2,16	2,04	1,88	1,58
	Am 5	1,31	0,73	0,68	0,31	0,35	0,30	0,26

TABELA A15 – Ensaio D4: Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, do leito filtrante do filtro F3 ao longo do tempo na Terceira Etapa. Taxa de filtração de 277,6 m³/m².dia e medidas de turbidez do afluente ao F1, água decantada da estação (Am1); afluente ao F3, água clarificada do R1 (Am 3) e efluente do F3 (Am 5).

		Δh (cm)									
Tempo de Carreira (min)		0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
Filtro F3											
Camada 1		7,3	8,6	9,2	9,2	9,5	9,5	9,3	9,6	9,6	9,7
Camada 2		5,9	6,0	6,4	6,6	6,7	6,8	6,7	6,8	7,1	6,7
Camada 3		1,4	1,1	1,1	1,2	1,1	1,0	1,1	1,1	1,4	1,2
Total (cm)		14,6	15,7	16,7	17,0	17,3	17,3	17,1	17,5	18,1	17,6
Turbidez (uT)	Am 1	6,92	6,51	6,42	5,93	5,31	4,47	3,81	3,25	2,90	2,29
	Am 3	3,41	2,66	1,66	1,20	1,42	1,07	0,89	1,38	1,01	0,82
	Am 5	1,44	0,67	0,60	0,46	0,43	0,47	0,62	0,50	0,54	0,42

TABELA A16 – Resultados de análises das amostras coletadas da água filtrada pelo filtro F1, após início do seu funcionamento, nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos. Primeira Fase – Ensaios D5 à D9-Terceira Etapa.

PARÂMETROS (UNIDADES)	DATA DE COLETA / TEMPO DE FUNCIONAMENTO DO F1 (minutos)																			
	24/09/2007				25/09/2007				26/09/2007				27/09/2007				28/09/2007			
	1	5	15	20	1	5	15	20	1	5	15	20	1	5	15	20	1	5	15	20
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	23	39	28	34	25	26	30	34	34	32	30	25	29	34	30	26	35	35	30	31
Condutividade Específica (µs/cm)	146,9	151,9	145,7	147,8	163,3	161,0	164,9	170,0	165,3	168,8	157,3	151,2	171,4	172,2	159,2	158,9	175,2	174,6	159,2	153,1
Cor Aparente (uH)	< 3	21	< 3	< 3	55	13	< 3	< 3	16	12	11	< 3	< 3	10	< 3	< 3	8	10	< 3	< 3
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	53	52	51	53	53	53	57	64	55	55	52	52	56	57	57	57	57	57	55	54
Ferro Total (mg Fe/L)	0,264	0,102	0,086	0,077	1,274	0,186	0,052	0,030	0,088	0,106	0,122	0,058	0,076	0,102	0,069	0,050	0,087	0,114	0,103	0,077
Manganês total (mg Mn/L)	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
pH	8,7	8,7	8,7	9,0	7,9	7,9	8,9	9,3	8,7	8,2	8,2	8,3	8,4	8,7	9,0	8,9	8,5	8,6	8,6	8,8
Temperatura da Água (°C)	26	26	26	26	24	24	24	24	23	23	23	24	26	26	26	26	25	25	25	25
Turbidez (uT)	0,67	1,6	0,49	0,38	4,1	1,6	0,42	0,35	1,3	1,1	1,1	0,33	0,94	1,1	0,37	0,32	1,2	1,4	0,48	0,33

TABELA A17 – Resultados de análises das amostras coletadas da água filtrada pelo filtro F1, após início do seu funcionamento, nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos. Segunda Fase – Ensaios D10 à D14-Terceira Etapa.

PARÂMETROS (UNIDADES)	DATA DE COLETA / TEMPO DE FUNCIONAMENTO DO F1 (minutos)																			
	01/10/2007				02/10/2007				03/10/2007				04/10/2007				05/10/2007			
	1	5	15	20	1	5	15	20	1	5	15	20	1	5	15	20	1	5	15	20
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	27	25	30	33	26	26	26	26	33	26	26	27	26	26	24	25	36	27	22	21
Condutividade Específica (µs/cm)	236	228	207	204	230	228	198	198	233	226	190,6	188	229	222	173,9	169,9	224	217	156,8	156,1
Cor Aparente (uH)	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	78	78	75	76	84	79	73	69	75	75	67	67	77	76	62	64	73	74	54	57
Ferro Total (mg Fe/L)	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	0,020	0,045	0,077	0,070
Manganês Total (mg Mn/L)	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
pH	8,8	9,0	9,4	9,4	8,6	8,6	9,0	9,1	8,0	8,4	9,1	9,1	8,3	8,5	8,7	9,1	8,1	8,2	8,1	7,6
Temperatura da Água (°C)	26	26	26	26	23	23	24	24	17	19	19	19	23	23	23	23	24	24	24	24
Turbidez (uT)	0,31	0,52	0,30	0,37	0,35	0,53	0,25	0,19	0,23	0,60	0,20	0,45	0,53	0,54	0,29	0,18	0,60	0,82	0,49	0,40

TABELA A18 – Resultados de análises das amostras coletadas da água filtrada pelo filtro F1, após início do seu funcionamento, nos tempos de 1, 5, 15 e 20 minutos. Terceira Fase – Ensaios D15 à D19-Terceira Etapa.

PARÂMETROS (UNIDADES)	DATA DE COLETA / TEMPO DE FUNCIONAMENTO DO F1 (minutos)															
	D15				D16				D17				D18			
	1	5	15	20	1	5	15	20	1	5	15	20	1	5	15	20
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	21	21	18	18	26	23	16	16	221	21	17	16	22	< 2	14	15
Condutividade Específica (µs/cm)	155,7	156	151,3	148,6	157,6	156,8	161,1	158,8	162,7	162,3	155,1	159,3	165,1	164	143,8	141
Cor Aparente (uH)	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	6	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	55	56	53	55	57	56	56	56	56	56	56	54	59	59	50	50
Ferro Total (mg Fe/L)	< 0,020	0,062	0,072	0,057	< 0,020	0,077	0,053	0,048	< 0,020	0,084	0,041	0,026	< 0,020	0,054	0,041	0,020
Manganês total (mg Mn/L)	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
pH	8,0	7,8	7,8	7,8	7,8	7,4	7,5	7,3	7,16	7,6	7,3	7,1	7,6	5,0	7,1	7,3
Temperatura da Água (°C)	23	23	23	22	22	22	22	22	23	23	23	23	24	24	24	24
Turbidez (uT)	0,16	0,53	0,33	0,22	0,28	0,92	0,28	0,17	0,31	0,33	0,25	0,23	0,30	0,64	0,22	0,18

TABELA A19 – Resultados de análises das amostras Am6 e Am7 – Ensaio D15 à D19 – Terceira Fase – Terceira Etapa.

PARÂMETROS (UNIDADES)	DATA / HORA DA COLETA	
	Am6	Am7
	12/05/2008 07H 20'	16/05/2008 11H 14'
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	21	25
Condutividade Específica (µs/cm)	155,3	166,0
Cor Aparente (uH)	< 3	< 3
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	60	59
Ferro Total (mg Fe/L)	0,022	< 0,020
Manganês Total (mg Mn/L)	< 0,010	< 0,010
pH	8,0	8,3
Temperatura da Água (°C)	23	24
Turbidez (uT)	0,18	0,40

TABELA A20 – Ensaio D5 da Primeira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio.

DATA DO ENSAIO			24/09/2007					
Tempo de Carreira F3 (min)			0	30	60	90	120	133
Perda de Carga Δh (cm)	Camada 1		9,1	10,1	10,4	10,5	–	11,1
	Camada 2		6,6	6,8	6,8	6,9	–	7,4
	Camada 3		1,2	1,4	1,3	1,2	–	1,4
	Total (cm)		16,9	18,3	18,5	18,6	–	19,9
Turbidez (uT)	F3	Am 3	3,72	3,51	3,45	3,23	3,07	3,00
		Am 5	0,72	1,70	1,64	1,58	1,59	1,57
	F1	Am 1	3,35	3,41	2,58	2,47	2,51	2,72
		Am 2	0,21	0,22	0,22	0,17	0,18	0,19

– Sem Leitura

TABELA A21 – Ensaio D6 da Primeira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio.

DATA DO ENSAIO		25/09/2007							
Tempo de Carreira (min)		0	30	60	90	120	150	175	180
Perda de Carga Δh (cm)	Camada 1	9,1	9,4	10,1	10,3	11,3	11,4	11,3	–
	Camada 2	6,9	7,2	7,1	7,4	7,5	7,5	7,5	–
	Camada 3	1,3	1,2	1,5	1,2	1,3	1,3	1,2	–
	Total (cm)	17,3	17,8	18,7	18,9	20,1	20,2	20,0	–
Turbidez (uT)	F3	Am 3	3,04	2,79	2,89	2,54	3,58	2,43	2,45
		Am 5	2,03	1,47	1,33	1,17	1,13	1,08	1,07
	F1	Am 1	3,28	3,31	3,22	2,34	2,92	2,80	2,82
		Am 2	0,21	0,21	0,23	0,16	0,16	0,19	0,20

– Sem Leitura

TABELA A22 – Ensaio D7 da Primeira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio.

DATA DO ENSAIO			26/09/2007						
Tempo de Carreira (min)			0	30	60	90	120	150	165
Perda de Carga Δh (cm)	Camada 1		9,4	10,5	11,2	11,7	12,7	–	12,7
	Camada 2		2,2	7,1	7,1	7,2	7,5	–	7,3
	Camada 3		6,5	1,6	1,3	1,2	1,7	–	1,3
	Total (cm)		18,1	19,2	19,6	20,1	21,9	–	21,3
Turbidez (uT)	F3	Am 3	2,99	2,43	2,13	1,93	2,04	0,93	1,84
		Am 5	1,16	0,86	0,88	0,85	0,86	0,86	0,85
	F1	Am 1	3,96	3,47	3,50	3,73	4,51	4,42	3,98
		Am 2	0,32	0,19	0,22	0,21	0,22	0,23	0,23

– Sem Leitura

TABELA A23 – Ensaio D8 da Primeira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio.

DATA DO ENSAIO		27/09/2007							
Tempo de Carreira (min)		0	30	60	90	120	150	180	187
Perda de Carga Δh (cm)	Camada 1	9,2	9,8	10,8	11,2	11,5	11,6	11,6	–
	Camada 2	6,9	7,2	7,7	7,4	7,5	7,6	7,8	–
	Camada 3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	1,4	1,4	–
	Total (cm)	17,4	18,3	19,8	20,0	20,3	20,6	20,8	–
Turbidez (uT)	F3	Am 3	2,92	2,55	2,31	2,05	1,96	1,75	1,64
		Am 5	0,85	1,31	1,02	0,99	1,01	0,97	0,99
	F1	Am 1	2,24	2,46	2,82	4,98	5,62	4,44	5,02
		Am 2	0,22	0,15	0,12	0,14	0,19	0,15	0,15

– Sem Leitura

TABELA A24 – Ensaio D9 da Primeira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio.

DATA DO ENSAIO			28/09/2007						
Tempo de Carreira (min)			0	30	60	90	120	150	168
Perda de Carga Δh (cm)	Camada 1		–	11,0	12,3	13,5	14,5	15,4	15,8
	Camada 2		–	7,0	7,3	7,5	7,5	7,3	7,2
	Camada 3		–	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4
	Total (cm)		–	19,2	20,8	22,3	23,3	24,0	24,4
Turbidez (uT)	F3	Am 3	2,27	1,87	1,71	1,55	1,48	1,40	1,36
		Am 5	0,92	0,48	0,34	0,31	0,29	0,29	0,29
	F1	Am 1	3,23	2,61	2,95	3,33	3,20	3,52	5,02
		Am 2	0,47	0,36	0,22	0,25	0,29	0,25	0,22

– Sem Leitura

TABELA A25 – Ensaio D10 da Segunda Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio.

DATA DO ENSAIO			01/10/2007					
Tempo de Carreira (min)			0	30	60	90	120	130
Perda de Carga Δh (cm)	Camada 1		8,7	10,6	11,8	14,1	15,2	15,2
	Camada 2		7,5	7,8	7,7	7,8	7,6	7,8
	Camada 3		1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,1
	Total (cm)		17,5	19,8	20,9	23,3	24,2	24,1
Turbidez (uT)	F3	Am 3	2,66	1,78	1,52	1,37	1,25	1,18
		Am 5	0,27	0,36	0,38	0,40	0,42	0,42
	F1	Am 1	4,78	4,78	4,32	4,46	6,20	5,72
		Am 2	0,12	0,14	0,44	0,12	0,15	0,11

– Sem Leitura

TABELA A26 – Ensaio D11 da Segunda Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio.

DATA DO ENSAIO			02/10/2007						
Tempo de Carreira (min)			0	30	60	90	120	150	170
Perda de Carga Δh (cm)	Camada 1		8,9	10,1	10,3	10,3	11,6	11,8	12,0
	Camada 2		6,5	6,9	6,5	6,5	7,1	7,0	7,2
	Camada 3		1,3	1,1	1,1	1,1	1,4	1,3	1,3
	Total (cm)		16,7	18,1	17,9	17,9	20,1	20,1	20,5
Turbidez (uT)	F3	Am 3	6,50	3,31	2,84	2,60	2,23	2,02	1,80
		Am 5	0,37	0,64	0,59	0,55	0,56	0,51	0,52
	F1	Am 1	2,29	2,07	2,70	2,35	2,39	2,65	–
		Am 2	0,19	0,17	0,18	0,17	0,17	0,16	–

– Sem Leitura

TABELA A27– Ensaio D12da Segunda Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio.

DATA DO ENSAIO			0310/2007						
Tempo de Carreira (min)			0	30	60	90	120	150	165
Perda de Carga Δh (cm)	Camada 1		8,1	–	11,0	12,1	13,6	14,2	14,4
	Camada 2		6,5	–	7,1	7,0	7,2	7,0	6,9
	Camada 3		1,2	–	1,3	1,2	1,4	1,4	1,5
	Total (cm)		15,8	–	19,4	20,3	22,2	22,6	22,8
Turbidez (uT)	F3	Am 3	2,13	1,62	1,55	1,53	1,33	1,29	1,31
		Am 5	0,42	0,36	0,34	0,35	0,37	0,43	0,48
	F1	Am 1	2,74	2,56	3,18	4,55	6,51	4,18	5,35
		Am 2	0,25	0,25	0,20	0,19	0,16	0,18	0,27

– Sem Leitura

TABELA A28 – Ensaio D13 da Segunda Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio.

DATA DO ENSAIO		04/10/2007							
Tempo de Carreira (min)		0	30	60	90	120	150	180	190
Perda de Carga Δh (cm)	Camada 1	8,6	9,5	9,8	10,0	10,9	10,9	11,5	11,8
	Camada 2	6,4	6,5	6,5	7,0	7,0	7,0	6,8	7,1
	Camada 3	1,2	1,3	1,3	1,5	1,5	1,3	1,3	1,4
	Total (cm)	16,2	17,3	17,6	18,5	19,4	19,2	19,6	20,3
Turbidez (uT)	F3	Am 3	3,21	2,91	2,59	2,37	2,20	1,98	1,85
		Am 5	0,30	0,77	0,76	0,71	0,70	0,70	0,67
	F1	Am 1	4,60	4,36	3,40	2,40	2,08	1,94	2,19
		Am 2	0,13	0,10	0,15	0,19	0,15	0,13	0,13

TABELA A29 – Ensaio D14 da Segunda Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio.

DATA DO ENSAIO			05/10/2007						
Tempo de Carreira (min)			0	30	60	90	120	150	170
Perda de Carga Δh (cm)	Camada 1		8,9	10,0	10,9	11,4	12,4	12,8	13,4
	Camada 2		6,5	6,7	6,7	6,8	6,8	6,9	6,6
	Camada 3		1,5	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,8
	Total (cm)		16,9	18,1	19,0	19,7	20,7	21,2	21,8
Turbidez (uT)	F3	Am 3	2,64	2,13	1,97	1,86	1,76	1,63	1,58
		Am 5	0,52	0,48	0,45	0,44	0,46	0,47	0,48
	F1	Am 1	2,47	2,38	2,36	4,02	3,98	5,35	4,40
		Am 2	0,39	0,30	0,27	0,19	0,19	0,19	0,20

TABELA A30 – Ensaio D15 da Terceira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio.

DATA DO ENSAIO			12/05/2008					
Tempo de Carreira (min)			0	30	60	90	120	127
Perda de Carga Δh (cm)	Camada 1		9,4	10,6	11,1	11,7	12,4	12,4
	Camada 2		7,5	7,8	7,9	8,1	8,0	8,0
	Camada 3		0,9	1,1	0,9	0,9	1,1	1,2
	Total (cm)		17,8	19,5	19,9	20,7	21,5	21,6
Turbidez (uT)	F3	Am 3	2,33	2,10	2,22	1,93	1,89	1,84
		Am 5	0,92	0,70	0,62	0,67	0,70	0,70
	F1	Am 1	2,47	3,12	3,24	4,08	4,03	4,08
		Am 2	0,39	0,27	0,28	0,22	0,20	0,20

– Sem Leitura

TABELA A31 – Ensaio D16 da Terceira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio.

DATA DO ENSAIO			13/05/2008						
Tempo de Carreira (min)			0	30	60	90	120	150	175
Perda de Carga Δh (cm)	Camada 1		9,0	9,9	10,4	11,3	11,9	12,6	12,9
	Camada 2		6,6	6,8	6,9	7,0	7,0	7,2	7,1
	Camada 3		1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7
	Total (cm)		17,0	18,1	18,8	19,8	20,5	21,4	21,7
Turbidez (uT)	F3	Am 3	2,12	1,55	1,51	1,45	1,44	1,38	1,46
		Am 5	0,46	0,44	0,43	0,41	0,55	0,49	0,52
	F1	Am 1	2,42	2,46	2,56	2,71	2,86	3,08	3,50
		Am 2	0,21	0,19	0,19	0,32	0,19	0,16	0,30

TABELA A32 – Ensaio D17 da Terceira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio.

DATA DO ENSAIO			14/05/2008						
Tempo de Carreira (min)			0	30	60	90	120	150	162
Perda de Carga Δh (cm)	Camada 1		9,0	10,0	10,4	10,3	11,5	11,5	11,8
	Camada 2		6,5	6,9	6,8	6,9	7,0	7,1	7,3
	Camada 3		1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3
	Total (cm)		16,5	18,0	18,3	18,4	19,7	19,9	20,4
Turbidez (uT)	F3	Am 3	3,11	2,29	2,00	1,95	1,92	1,83	1,75
		Am 5	0,51	0,44	0,56	0,51	0,57	0,52	0,57
	F1	Am 1	2,51	2,73	3,29	2,98	3,30	4,33	4,52
		Am 2	0,17	0,19	0,17	0,19	0,15	0,23	0,22

TABELA A33 – Ensaio D18 da Terceira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio.

DATA DO ENSAIO			15/05/2008						
Tempo de Carreira (min)			0	30	60	90	120	150	179
Perda de Carga Δh (cm)	Camada 1		8,8	9,9	10,9	11,3	12,3	12,7	12,9
	Camada 2		6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	6,9	6,8
	Camada 3		1,4	1,4	1,5	1,6	1,6	1,5	1,6
	Total (cm)		16,7	17,9	19,1	19,7	20,8	21,1	21,3
Turbidez (uT)	F3	Am 3	2,61	1,57	1,38	1,26	1,22	1,25	1,20
		Am 5	0,47	0,56	0,26	0,25	0,22	0,22	0,19
	F1	Am 1	3,81	3,73	3,97	3,97	4,57	4,92	4,60
		Am 2	0,39	0,27	0,26	0,21	0,17	0,19	0,15

TABELA A34 – Ensaio D19 da Terceira Fase – Terceira Etapa: Valores de variação da turbidez da água decantada da estação (Am 1), do efluente do F1 (Am 2), do afluente e efluente do F3, respectivamente (Am 3 e Am 5) e do desenvolvimento da perda de carga no filtro F3, durante o ensaio.

DATA DO ENSAIO			16/05/2008						
Tempo de Carreira (min)			0	30	60	90	120	150	169
Perda de Carga Δh (cm)	Camada 1		8,9	9,7	10,9	11,6	12,4	12,7	12,9
	Camada 2		7,3	7,4	7,8	7,8	7,8	7,9	7,9
	Camada 3		1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6
	Total (cm)		17,5	18,4	20,1	20,8	21,7	22,1	22,4
Turbidez (uT)	F3	Am 3	2,92	2,48	2,12	1,92	1,84	1,74	1,89
		Am 5	0,37	0,44	0,46	0,48	0,47	0,50	0,53
	F1	Am 1	3,40	5,94	5,27	4,71	3,29	3,50	3,68
		Am 2	0,29	0,21	0,18	0,18	0,15	0,14	0,14

TABELA A35 – Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, respectivamente, do leito filtrante do filtro piloto F1, durante a carreira deste filtro, no ensaio D10 – Segunda Fase – 01/10/2007 à 05/10/2007. Medidas de turbidez do afluente ao F1, água decantada da ETA (Am 1), do efluente do F1 (Am2) e vazões do efluente filtrado.

Tempo de Carreira F1 (h)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Perda de Carga Δh (cm)	Camada 1	5,0	5,9	7,0	8,8	–	19,3	21,4	–	–	32,2	–	44,0	46,4	48,8	50,4	51,9	54,6	57,0
	Camada 2	4,7	4,7	4,8	4,8	–	6,7	5,6	–	–	6,7	–	4,9	4,7	5,1	5,3	5,4	5,5	5,9
	Camada 3	1,4	1,4	1,4	1,5	–	2,2	1,6	–	–	1,3	–	1,1	1,3	1,2	1,1	1,2	1,4	1,1
	Total (cm)	11,1	12,0	13,2	15,1	–	28,2	28,6	–	–	40,2	–	50,0	52,4	55,1	56,8	58,5	61,5	64,0
Turbidez (uT)	Am 1	3,71	4,39	4,44	6,54	–	10,3	10,4	–	–	10,6	–	5,91	5,98	4,89	5,21	4,93	4,17	4,8
	Am 2	0,63	0,19	0,17	0,17	–	0,14	0,15	–	–	0,21	–	0,10	0,11	0,13	0,12	0,13	0,22	0,26
Vazão Efluente do F1 (L/min)		7,2	7,2	7,2	6,8	–	6,8	6,8	–	–	6,8	–	6,2	5,0	5,0	5,0	5,0	4,4	4,0

– Não medido

TABELA A36 – Perdas de carga (Δh) total e nas Camadas 1, 2 e 3, antracito, areia e suporte, respectivamente, do leito filtrante do filtro piloto F1, durante a carreira deste filtro, no ensaio D15 – Terceira Fase – 12/05/2008 à 16/05/2008. Medidas de turbidez do afluente ao F1, água decantada da ETA (Am 1), efluente do F1 (Am2) e vazões do efluente filtrado.

Tempo de Carreira (h)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Perda de Carga Δh (cm)	Camada 1	6,0	7,0	7,5	11,0	13,0	15,1	18,0	21,7	25,8	28,0	35,1	40,4	44,7	48,4	51,6	52,9	53,8	56,1
	Camada 2	6,5	6,5	6,0	6,0	6,5	6,7	5,6	5,5	4,4	4,3	4,3	5,9	4,5	4,9	4,5	4,6	4,6	4,7
	Camada 3	1,0	1,2	1,5	1,5	1,2	1,2	1,4	1,3	0,9	0,8	1,1	1,1	0,9	0,6	0,9	0,8	0,8	0,9
	Total (cm)	13,5	14,7	15,0	18,5	20,7	23,0	25,0	28,5	31,1	33,1	40,5	47,4	50,1	53,9	57,0	58,3	59,2	61,7
Turbidez (uT)	Am 1	1,73	3,29	2,91	3,67	3,41	3,48	5,30	7,22	6,07	5,40	6,38	4,25	4,17	4,01	3,92	3,77	2,78	2,62
	Am 2	0,11	0,19	0,28	0,31	0,26	0,28	0,20	0,17	0,12	0,17	0,24	0,13	0,12	0,12	0,12	0,11	0,19	0,13
Vazão Efluente do F1 (L/min)		7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	6,0	6,0	6,0	6,0	5,5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0

TABELA A37 – Teor de sólidos sedimentáveis em cone Imhoff, utilizando lodo da primeira descarga de fundo do R1, relativo aos ensaios D5 e D6 da primeira semana – 25/09/2007. Terceira Etapa.

Tempo (min)	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	0	950	900	850	810	780	750	700	660	625	598	560	540	520	500	480	470	450	430

TABELA A38 – Teor de sólidos sedimentáveis em cone Imhoff, utilizando lodo da segunda descarga de fundo do R1, relativos aos ensaios D7 e D8 da primeira semana – 27/09/2007. Terceira Etapa.

Tempo (min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	120	150	180
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	0	775	650	575	525	495	465	440	425	410	400	385	375	355	340	335	300	280	265

TABELA A39 – Teor de sólidos sedimentáveis em cone Imhoff, utilizando lodo da primeira descarga de fundo do R1, relativos aos ensaios D10 e D11 da segunda semana – 02/10/2007. Terceira Etapa.

Tempo (min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	75	95
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	0	900	810	750	695	655	625	595	575	555	535	515	465	425

TABELA A40 – Teor de sólidos sedimentáveis em cone Imhoff, utilizando lodo da primeira descarga de fundo do R1, relativos aos ensaios D15 e D16 da terceira semana – 13/05/2008. Terceira Etapa.

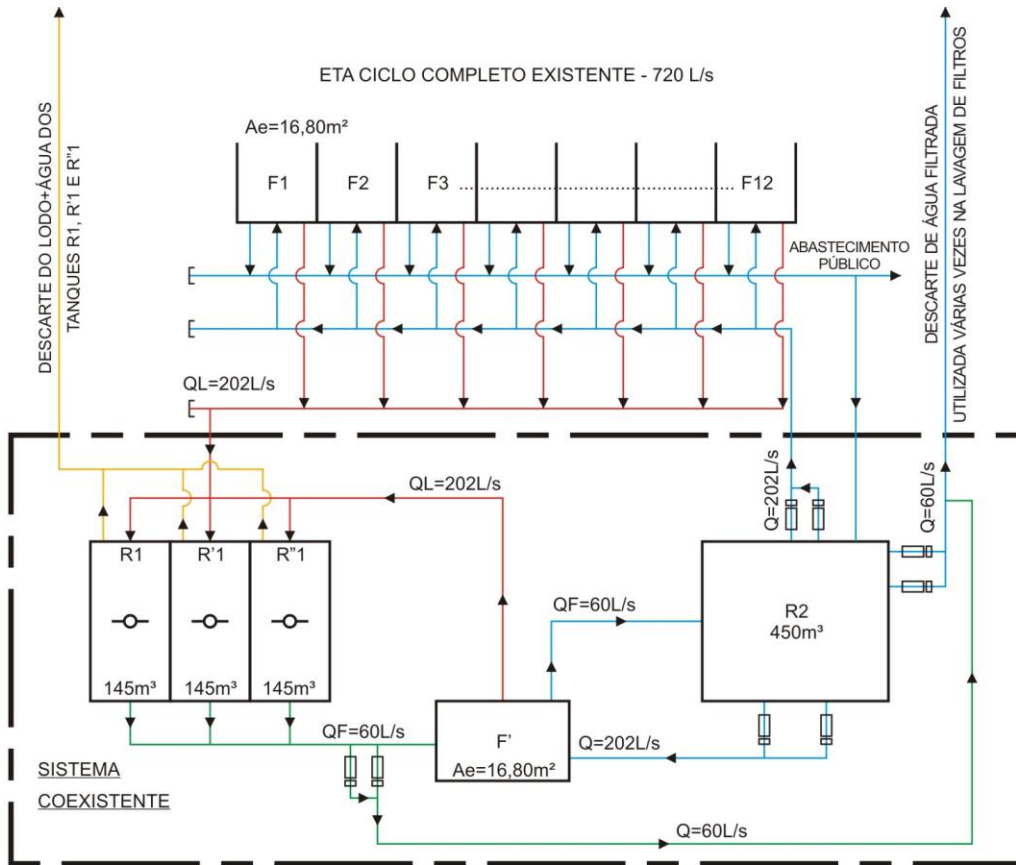
Tempo (min)	0	5	10	20	25	30	35	40	60	90	100	110	120	130	140
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	0	860	790	680	640	600	570	550	480	410	390	380	370	360	350

TABELA A41 – Teor de sólidos sedimentáveis em cone Imhoff, utilizando lodo da segunda descarga de fundo do R1, relativos aos ensaios D17 e D18 da terceira semana – 15/05/2008. Terceira Etapa.

Tempo (min)	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	120	150	180	210	240
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	0	820	710	640	580	540	520	470	440	420	395	380	365	330	310	295	270	260

ANEXO B

Sistema Coexistente



- LEGENDA:**
- Água Filtrada para Abastecimento Público e Lavagem dos Filtros
 - Água de Lavagem dos Filtros F1, F2 ... F12 e F'
 - Água de Lavagem dos Filtros, Tratada em R1, R'1 e R''1
 - Agitador Mecânico

R1=R'1=R''1=141 m³ = Tanques para Tratamento das Águas de Lavagens dos Filtros F1, F2 ... F12 e F'

R2 = Reservação de Água Filtrada Utilizada em Reciclagem na Lavagem dos Filtros F1, F2 ... F12 e F'

F' = Filtro Igual aos Filtros da Estação. Utilizado para Filtrar Água Clarificada em R1, R'1 e R''1

Ae = Área Efetiva dos Filtros = 16,80 m²

Tfi = Taxa de Filtração = 308,60 m³/m².dia

Qfi = Vazão de Filtração = 60 L/s

TLa = Taxa de Lavagem = 1040 m³/m².dia

QLa = Vazão de Lavagem = 202 L/s

Volume Tratado = 22.705.920 m³/ano

Água de Lavagem dos Filtros = 3% do Volume Tratado

Volume da Água de Lavagem dos Filtros = 681.178 m³

Avaliações Financeiras

Considerados os dados relativos aos custos para a produção de água em uma ETA, com as características apresentadas na figura anterior e os valores cotados para a implantação de um Sistema Coexistente, foi possível estimar aproximadamente o tempo para amortização do investimento a ser feito nesta implementação.

Tempo para amortização do investimento

É dado pela relação entre C1 e C2, onde:

C1 = Custo do investimento para implantar o Sistema Coexistente;

C2 = Custo economizado com a eliminação do descarte da água de lavagem dos filtros relacionado com a implantação do Sistema Coexistente.

$$\text{Assim: } T = \frac{C1}{C2}$$

Custo para implantação do Sistema Coexistente, considerados material e mão-de-obra → C1.

$$C1 = \text{R\$ } 1.194.510,00 \rightarrow \text{U\$ } 706.810,65$$

(Valor do Dólar = R\$ 1,69)

Custo de 1m³ de água produzido na ETA, considerados: energia elétrica, mão-de-obra e produtos químicos → C3.

$$C3 = \text{R\$ } 0,67 \rightarrow \text{U\$ } 0,0138$$

Custo para processar 1m³ de água de lavagem de filtro no Sistema Coexistente, considerados: energia elétrica e polímero → C4.

$$C4 = R\$ 0,0234 \rightarrow U\$ 0,0138$$

Custo economizado por m³ com a implantação do Sistema Coexistente $\rightarrow C5$.

$$C5 = (C3 - C4) \rightarrow C5 = U\$ (0,3964 - 0,0138)$$

$$C5 = U\$ 0,3826$$

Volume de água da lavagem de filtros da ETA, descartado no ano $\rightarrow V = 681.178 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Volume aproveitado desta água, considerada a perda de 0,13 % $\rightarrow V1 = V \times 0,9987$

$$V1 = 681.178 \text{ m}^3/\text{ano} \times 0,9987 = 680.292,5 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Custo economizado com a eliminação do descarte da água de lavagem de filtros, relacionado com a implantação do Sistema Coexistente $\rightarrow C2 = V1 \times C5$.

$$C2 = 680.292,5 \text{ m}^3/\text{ano} \times U\$ 0,3826$$

$$C2 = U\$ 260.279,91$$

Assim, temos o tempo para amortização do investimento:

$$T = \frac{C1}{C2} = \frac{U\$ 706.810,65}{U\$ 260.279,91/\text{ano}}$$

$$T = 2,72 \text{ anos} \approx 2 \text{ anos e } 8 \text{ meses.}$$