

**DANIELA CRISTINA FONSECA CAMPESI**

**DESEMPENHO DA TECNOLOGIA DE FILTRAÇÃO EM MÚLTIPLAS  
ETAPAS (FIME) NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE  
ABASTECIMENTO EM ESCALA PILOTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

**Área de concentração:** Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

**Orientador:** Prof. Eduardo Queija de Siqueira, PhD.

Goiânia  
Dezembro de 2009

**DANIELA CRISTINA FONSECA CAMPESI**

**DESEMPENHO DA TECNOLOGIA DE FILTRAÇÃO EM MÚLTIPLAS  
ETAPAS (FIME) NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE  
ABASTECIMENTO EM ESCALA PILOTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente, aprovada em 18 de dezembro de 2009, pela banca examinadora:

---

**Prof. Dr. Klebber Teodomiro Formiga**  
UFG - Presidente da Banca e Coordenador do PPGEMA

---

**Prof. Dr. Edson Pereira Tangerino**  
UNESP Ilha Solteira, SP – Examinador Externo

---

**Profa. Dra. Mariangela Fontes Santiago**  
UFG – Examinadora Interna

---

**Profa. Dra. Nora Katia Saavedra del Águila**  
UFG – Examinadora Interna

Ao Júnior,

Pelos adoráveis longos anos de convivência, pelo amor, companheirismo e motivação para que esse trabalho se concretizasse.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por permitir a realização e conclusão desse trabalho.

Ao professor Eduardo Queija de Siqueira, meu agradecimento especial à sua orientação e dedicação, fundamentais para a realização desse trabalho e por ser, além de um grande profissional, um exemplo de ser humano.

À professora Luiza Cintra Campos, pelas colaborações e pelo valioso material enviado para leitura.

Ao professor Dr. Klébber Formiga pela participação como presidente da banca examinadora.

Aos membros da banca examinadora, Profa. Dra. Mariângela Fontes Santiago, Profa. Dra. Nora Katia Saavedra Del Águila e Prof. Dr. Edson Pereira Tangerino pela atenção e disponibilidade.

Ao professor Dr. Paulo Sérgio Sacalize pelas contribuições na qualificação.

À SANEAGO pela instalação e manutenção da estação piloto de FiME.

À FUNAPE e CAPES pelo auxílio financeiro.

A todos os professores do PPGEMA, pelo conhecimento transmitido e por contribuir com o meu crescimento pessoal e profissional.

A todos os funcionários da Escola de Engenharia Civil – EEC UFG.

À professora Dra. Mariângela Santiago por permitir a utilização da autoclave e espectrofotômetro de seu laboratório e pelas contribuições na qualificação.

Ao amigo Wanderlei Elias Perez, por todos os seus conhecimentos, ajuda e parceria na operação e manutenção da estação piloto FiME.

A todos os amigos do PPGEMA, pela agradável convivência durante esse período.

Às amigas Alyne, Bárbara, Fernanda e Valéria pela amizade, companheirismo e prazerosos longos momentos de estudo e também de descontração.

À Camila e Leonardo, pela amizade.

Ao setor de transportes da UFG por disponibilizar o carro para a coleta das amostras na estação.

Aos operadores da ETA Goianápolis, em especial ao Sr. Roberto pela ajuda na operação e manutenção da estação, para que funcionasse em perfeitas condições durante todos os experimentos.

Aos meus pais Ercílio e Maria Aparecida pelo apoio e por sempre persistirem em dizer que o maior tesouro que um homem pode ter é o estudo.

Ao meu irmão Eduardo, exemplo de determinação em tudo que faz, pelo companheirismo.

À Sra. Ruth, Sr. Milton, Gelsy, Gilvia, Paulo e aos meus sobrinhos Cecília e Vinícius, pelo incentivo.

A todos, que de alguma forma colaboraram com esse trabalho, meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

CAMPLESI, D. C. F. (2009). **Desempenho da Tecnologia de Filtração em Múltiplas Etapas (FiME) no Tratamento de Águas de Abastecimento em Escala Piloto**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009. 192p.

O presente trabalho avaliou a eficiência de um sistema de FiME no tratamento de águas de abastecimento em escala piloto. A instalação piloto FiME, localizada na área da Estação de Tratamento de Água (ETA) de Goianápolis, GO e alimentada pelo Ribeirão Sozinha, era composta de um pré-filtro dinâmico (PFD), um pré-filtro com escoamento vertical ascendente (PFA) em camadas, ambos com composições granulométricas diferenciadas, um filtro lento de areia (FLA) e um filtro lento de areia com carvão ativado (FLAC) e foi denominada SEQ 1. A SEQ 2 do experimento era constituída de um pré-filtro dinâmico (PFD) e um filtro lento de areia (FLA-2). As taxas de filtração utilizadas foram 24 e 48 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia para PFD, 12 e 24 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia para PFA, 3 e 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia para FLA e FLAC. A eficiência foi avaliada por meio das análises de turbidez, cor aparente, sólidos suspensos totais (SST) e coliformes totais e termotolerantes. Foi avaliado também o efeito da variação das taxas de filtração nas eficiências das unidades do sistema FiME, a comparação da eficiência do sistema FiME com o tratamento de ciclo completo da ETA e as correlações entre as remoções de turbidez, cor, coliformes e a remoção de SST. Os resultados obtidos nos experimentos demonstraram que o PFD e PFA são unidades importantes para a retenção de partículas sólidas e microorganismos, preparando o afluyente para ser submetido à filtração lenta e possibilitam maior duração das carreiras de filtração. De maneira geral, os filtros lentos apresentaram eficiências significativas e superiores a 90% para remoção de cor, turbidez, SST e 99,9% de eficiência para remoção de coliformes totais e termotolerantes em praticamente todas as carreiras de filtração. Quando comparada a qualidade da água produzida pelo sistema FiME com a ETA de ciclo completo, verificou-se que a FiME produz água com qualidade similar à ETA de ciclo completo. As variações das taxas de filtração influenciaram significativamente nas eficiências de remoção de cor e turbidez. Não há correlação entre as remoções dos parâmetros cor, turbidez, SST e coliformes mas há correlação para cor aparente e cor verdadeira. Os resultados obtidos nos experimentos sugerem que a tecnologia de FiME, quando operada adequadamente, é um sistema viável para o tratamento de águas de abastecimento e produziu água com baixos teores de cor, turbidez, SST e coliformes sendo que em 40% das amostras analisadas, proveu água potável em condições compatíveis às estabelecidas pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) para consumo humano.

**Palavras-chaves:** Filtração em múltiplas etapas, filtração lenta, qualidade da água, turbidez.

## ABSTRACT

CAMPLESI, D. C. F. (2009). **Performance technology Multi-Stage Filtration (MSF) for supplying water treatment on a pilot scale.** Master dissertation, Civil Engineering School, Federal University of Goiás, Goiânia, 2009. 192p.

The present work has evaluated the efficiency of an MSF system for treating supplying water on a pilot scale. A MSF pilot plant was located in the Water Treatment Station (WTS) area in Goianópolis- GO and fed by 'Sozinha' stream. The plant was comprised of a dynamic pre-filter (DPF) and a vertical upflowing pre-filter (VUF) in layers, both of them with different granular compositions; a slow sand filter (SSF); and a slow sand filter with activated carbon (SSFAC), which was called SEQ. 1. The second sequence of the trial, SEQ. 2, was comprised of a dynamic pre-filter (DPF) and a slow sand filter (SSF-2). The filtration rates in use were 24 and 48 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> a day for DPF, 12 e 24 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. day for APF; 3 e 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. day for SSF and SSFAC. The efficiency was evaluated by analyzing turbidity, apparent color, total suspended solids (TSS), as well as total thermo tolerant coliforms. The following items were evaluated: the filtration rates ranging effect onto the MSF unit trial system efficiencies; the MSF system efficiency comparison to the WTS complete cycling treatment; and the correlations between turbidity, color, and coliforms' removals and the TSS' removals. The results obtained from the trials have shown that DPF and VUF are important units for microorganisms and solid particles retaining, for it prepares the effluent in order to submit it into slow filtration. They have also shown that they make it possible for the roughing filtration to last longer. Generally put, it presents that the slow filters are significantly and above 90% efficient in removing TSS, color and turbidity, and 99% efficient in removing total coliforms and thermotolerant coliforms in all roughing filtration. After comparing the quality of both the water produced by MSF and the one by the complete cycling WTS, it was noticed that MSF produces water with quality similar to the complete cycling WTS. The range for the filtration rates has had significant influence only in the removal efficiencies of color and turbidity. There isn't correlation among the removals of the parameters color, turbidity, TSS and coliforms but for the correlation among apparent color and true color. The experiment results suggest that MSF technology, when suitably operated, it is a viable system for the treatment of supplying water and produced water with low levels of color, turbidity, TSS and coliforms is that 40% of the samples, provided drinking water under conditions compatible to those established by Decree 518/2004 of the Ministry of Health (BRAZIL, 2004) for human consumption.

**Key-words:** Multi-stage filtration; slow sand filtration, water quality; turbidity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição de tamanhos de partículas.....	33
Figura 2 – Esquema Geral da Filtração em múltiplas etapas (Adaptado de PROSAB, 1999)36	
Figura 3 – Esquema de uma unidade de pré-filtração dinâmica (PFD) (PROSAB, 1999)....	37
Figura 4 – Esquema de pré-filtros grosseiros com escoamento ascendente (PROSAB, 1999)38	
Figura 5 – Representação esquemática do filtro lento de areia (FLA) (Adaptado de PROSAB, 1999) .....	39
Figura 6 – Opções de filtro lento com Carvão Ativado Granular (CAG) (Adaptado de BAUER et al., 1996).....	43
Figura 7 – Esquema de reposição da areia nos filtros lentos (LETTERMAN, 1991).....	48
Figura 8 – Disposição de tubulações e canais do sistema de drenagem para filtros lentos (PROSAB, 1999) .....	48
Figura 9 – Tipos de sistemas de drenagem para os filtros lentos (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).....	49
Figura 10 – Fluxograma das etapas de tratamento de ciclo completo .....	55
Figura 11 – Aplicação de produtos químicos na Calha Parshall .....	55
Figura 12 – Vista geral da ETA ciclo completo de Goianópolis.....	56
Figura 13 – Instalação piloto FiME em Goianópolis – GO .....	58
Figura 14 – ETA ciclo completo e FiME construídas em paralelo .....	59
Figura 15 – Ribeirão Sozinha.....	59
Figura 16 – Poço de sucção da ETA Goianópolis .....	60
Figura 17 – Fluxograma da instalação do sistema de FiME e tratamento de ciclo completo e pontos de coleta (Adaptado de CAMPOS, 2006).....	61
Figura 18 – Vista lateral do Pré-filtro dinâmico.....	62
Figura 19 – Vista superior do Pré-filtro dinâmico.....	62
Figura 20 – Vista lateral do Pré-filtro Ascendente .....	63

Figura 21 – Detalhes da caixa distribuidora de vazão do PFA .....	64
Figura 22 – Filtros Lentos (Adaptado de CAMPOS, 2006).....	65
Figura 23 – Pontos de conexão das perdas de carga no FLA e FLAC .....	65
Figura 24 – Curva de distribuição granulométrica da FiME (PEREZ, 2009).....	67
Figura 25 – Turbidez da água bruta em todas as carreiras de filtração.....	74
Figura 26 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 1ª carreira de filtração e ETA .....	75
Figura 27 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 2ª carreira de filtração e ETA .....	76
Figura 28 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 3ª carreira de filtração e ETA .....	76
Figura 29 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 4ª carreira de filtração e ETA .....	77
Figura 30 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 5ª carreira de filtração e ETA .....	77
Figura 31 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 6ª carreira de filtração e ETA .....	78
Figura 32 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 7ª carreira de filtração e ETA .....	78
Figura 33 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 8ª carreira de filtração e ETA .....	79
Figura 34 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 6ª carreira de filtração – SEQ 2 e ETA .....	80
Figura 35 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 7ª carreira de filtração – SEQ 2 e ETA .....	80

Figura 36 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 8ª carreira de filtração – SEQ 2 e ETA.....	81
Figura 37 – Duração das carreiras de filtração em relação à turbidez média afluente – SEQ 1 .....	82
Figura 38 – Duração das carreiras de filtração em relação à turbidez média afluente – SEQ 2 .....	83
Figura 39 – Remoção de turbidez em todas as unidades do sistema de FiME na 1ª carreira – SEQ 1 e ETA.....	85
Figura 40 – Remoção de turbidez em todas as unidades do sistema de FiME na 2ª carreira – SEQ 1 e ETA.....	86
Figura 41 – Remoção de turbidez em todas as unidades do sistema de FiME na 3ª carreira- SEQ 1 e ETA.....	86
Figura 42 – Remoção de turbidez em todas as unidades do sistema de FiME na 4ª carreira- SEQ 1 e ETA.....	87
Figura 43 – Remoção de turbidez em todas as unidades do sistema de FiME na 5ª carreira- SEQ 1 e ETA.....	87
Figura 44 – Remoção de turbidez em todas as unidades do sistema de FiME na 6ª carreira- SEQ 1 e ETA.....	88
Figura 45 – Remoção de turbidez em todas as unidades do sistema de FiME na 7ª carreira- SEQ 1 e ETA.....	88
Figura 46 – Remoção de turbidez em todas as unidades do sistema de FiME na 8ª carreira- SEQ 1 e ETA.....	89
Figura 47 – Remoção de turbidez em todas as unidades FiME na 6ª carreira – SEQ 2 e ETA	89
Figura 48 – Remoção de turbidez em todas as unidades FiME na 7ª carreira – SEQ 2 e ETA	90
Figura 49 – Remoção de turbidez em todas as unidades FiME na 8ª carreira – SEQ 2 e ETA	90
Figura 50 – <i>Box Plot</i> de Taxa 1 (baixa) para a SEQ 2 de experimento .....	92

Figura 51 – <i>Blox Plot</i> de Turbidez 1 (baixa) para a SEQ 1 de experimento.....	93
Figura 52 – <i>Box Plot</i> de Turbidez 2 (alta) para a SEQ 1 de experimento.....	93
Figura 53 – <i>Box Plot</i> de Taxa 1 (baixa) para a SEQ 1 de experimento .....	94
Figura 54 – <i>Box Plot de</i> Taxa 2 (alta) para a SEQ 1 de experimento.....	95
Figura 55 – <i>Box Plot</i> de Taxa 2 (alta) para a SEQ 2 de experimento.....	95
Figura 56 – Cor aparente da água bruta em todas as carreiras de filtração.....	96
Figura 57 – Cor afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 1ª carreira de filtração e ETA .....	98
Figura 58 – Cor afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 2ª carreira de filtração e ETA .....	98
Figura 59 – Cor afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 3ª carreira de filtração e ETA .....	99
Figura 60 – Cor afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 4ª carreira de filtração e ETA .....	99
Figura 61 – Cor afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 5ª carreira de filtração e ETA .....	100
Figura 62 – Cor afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 6ª carreira de filtração e ETA .....	100
Figura 63 – Cor afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 7ª carreira de filtração e ETA .....	101
Figura 64 – Cor afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 8ª carreira de filtração e ETA .....	101
Figura 65 – Cor afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 6ª carreira de filtração – SEQ 2 e ETA .....	103
Figura 66 – Cor afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 7ª carreira de filtração – SEQ 2 e ETA .....	103

Figura 67 – Cor afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 8ª carreira de filtração – SEQ 2 e ETA .....	104
Figura 68 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 1ª carreira – SEQ 1 e ETA...	106
Figura 69 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 2ª carreira – SEQ 1 e ETA...	106
Figura 70 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 3ª carreira – SEQ 1 e ETA...	107
Figura 71 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 4ª carreira – SEQ 1 e ETA...	107
Figura 72 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 5ª carreira – SEQ 1 e ETA...	108
Figura 73 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 6ª carreira – SEQ 1 e ETA...	108
Figura 74 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 7ª carreira – SEQ 1 e ETA...	109
Figura 75 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 8ª carreira – SEQ 1 e ETA...	109
Figura 76 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 6ª carreira – SEQ 2 e ETA...	110
Figura 77 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 7ª carreira – SEQ 2 e ETA...	110
Figura 78 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 8ª carreira – SEQ 2 e ETA...	111
Figura 79 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 1ª carreira – SEQ 1 .....	115
Figura 80 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 1ª carreira – SEQ 1 .....	115
Figura 81 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 2ª carreira – SEQ 1 .....	116
Figura 82 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 2ª carreira – SEQ 1 .....	116
Figura 83 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 3ª carreira – SEQ 1 .....	117
Figura 84 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 3ª carreira – SEQ 1 .....	117
Figura 85 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 4ª carreira – SEQ 1 .....	118
Figura 86 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 4ª carreira – SEQ 1 .....	118
Figura 87 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 5ª carreira – SEQ 1 .....	119

Figura 88 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 5ª carreira – SEQ 1 .....	119
Figura 89 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 6ª carreira – SEQ 1 .....	120
Figura 90 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 6ª carreira – SEQ 1 .....	120
Figura 91 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 7ª carreira – SEQ 1 .....	121
Figura 92 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 7ª carreira – SEQ 1 .....	121
Figura 93 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 8ª carreira – SEQ 1 .....	122
Figura 94 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 8ª carreira – SEQ 1 .....	122
Figura 95 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 6ª carreira – SEQ 2.....	123
Figura 96 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 6ª carreira – SEQ 2 .....	123
Figura 97 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 7ª carreira – SEQ 2.....	124
Figura 98 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 7ª carreira – SEQ 2 .....	124
Figura 99 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 8ª carreira – SEQ 2.....	125
Figura 100 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 8ª carreira – SEQ 2 .....	125
Figura 101 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 1ª carreira SEQ 1 e ETA.....	131
Figura 102 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 2ª carreira SEQ 1 e ETA.....	131
Figura 103 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 3ª carreira SEQ 1 e ETA.....	132

Figura 104 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 4ª carreira SEQ 1 e ETA.....	132
Figura 105 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 5ª carreira SEQ 1 e ETA.....	133
Figura 106 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 6ª carreira SEQ 1 e ETA.....	133
Figura 107 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 7ª carreira SEQ 1 e ETA.....	134
Figura 108 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 8ª carreira SEQ 1 e ETA.....	134
Figura 109 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 6ª carreira SEQ 2 e ETA.....	135
Figura 110 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 7ª carreira SEQ 2 e ETA.....	135
Figura 111 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 8ª carreira SEQ 2 e ETA.....	136
Figura 112 – Relação entre turbidez da água bruta e SST em todas as carreiras de filtração	136
Figura 113 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 1ª carreira – SEQ 1	138
Figura 114 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 2ª carreira – SEQ 1	138
Figura 115 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 3ª carreira – SEQ 1	139
Figura 116 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 4ª carreira – SEQ 1	139
Figura 117 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 5ª carreira – SEQ 1	140
Figura 118 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 6ª carreira – SEQ 1	140
Figura 119 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 7ª carreira – SEQ 1	141
Figura 120 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 8ª carreira – SEQ 1	141
Figura 121 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 6ª carreira – SEQ 2	142

Figura 122 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 7ª carreira – SEQ 2	142
Figura 123 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 8ª carreira – SEQ 2	143
Figura 124 – Correlação entre cor aparente e cor verdadeira.....	146
Figura 125 – Evolução das perdas de carga em todas as carreiras de filtração.....	146
Figura 126 – Perdas de Carga na 2ª carreira de filtração – SEQ 1 .....	148
Figura 127 – Perdas de Carga na 3ª carreira de filtração – SEQ 1 .....	148
Figura 128 – Perdas de Carga na 4ª carreira de filtração – SEQ 1 .....	149
Figura 129 – Perdas de Carga na 5ª carreira de filtração – SEQ 1 .....	149
Figura 130 – Perdas de Carga na 6ª carreira de filtração – SEQ 1 .....	150
Figura 131 – Perdas de Carga na 7ª carreira de filtração – SEQ 1 .....	150
Figura 132 – Perdas de Carga na 8ª carreira de filtração – SEQ 1 .....	151
Figura 133 – Perdas de Carga na 6ª carreira de filtração – SEQ 2.....	151
Figura 134 – Perdas de Carga na 7ª carreira de filtração – SEQ 2.....	152
Figura 135 – Perdas de Carga na 8ª carreira de filtração – SEQ 2.....	152

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de turbidez em águas superficiais (OPS, 2005) .....	31
Tabela 2 – Qualidade da água recomendável para tratamento por filtração lenta (PROSAB, 1999) .....	41
Tabela 3 – Porcentagem de remoção de parâmetros monitorados utilizando filtro lento com carvão ativado tipo “Sandwich” (BAUER et al., 1996).....	44
Tabela 4 – Atividades de operação e manutenção do pré-filtro dinâmico (PROSAB, 1999)	46
Tabela 5 – Atividades de operação e manutenção do pré-filtro ascendente (PROSAB, 1999)	46
Tabela 6 – Atividades de operação e manutenção dos filtros lentos (PROSAB, 1999) .....	47
Tabela 7 – Taxas de filtração utilizadas no estudo .....	51
Tabela 8 – Porcentagem de remoção de turbidez e clorofila-a em estudo realizado no Lago Paranoá.....	51
Tabela 9 – Composição granulométrica do PFD.....	62
Tabela 10 – Composição granulométrica do PFA.....	63
Tabela 11 – Composição granulométrica dos FLA .....	66
Tabela 12 – Composição granulométrica do FLAC .....	66
Tabela 13 – Planejamento Experimental para SEQ 1 .....	68
Tabela 14 – Planejamento Experimental para SEQ 2.....	68
Tabela 15 – Parâmetros de controle.....	69
Tabela 16 – Conclusão em um Teste de Hipótese (Monteiro, 2004) .....	71
Tabela 17 – Qualidade da água bruta durante o período experimental.....	72
Tabela 18 – Síntese das carreiras e taxas de filtração – SEQ 1 .....	72
Tabela 19 – Síntese das carreiras e taxas de filtração – SEQ 2.....	73
Tabela 20 – Classificação das carreiras de filtração .....	74
Tabela 21 – Porcentagens de remoção parcial de turbidez de cada unidade de FiME e remoção global para os dois sistemas de tratamento – SEQ 1 .....	84

Tabela 22 – Porcentagens de remoção parcial de cada unidade de FiME e remoção global para os dois sistemas de tratamento – SEQ 2 .....	84
Tabela 23 – Porcentagens de remoção parcial de cor de cada unidade de FiME e remoção global para os dois sistemas de tratamento – SEQ 1 .....	105
Tabela 24 – Porcentagens de remoção parcial de cor de cada unidade de FiME e remoção global para os dois sistemas de tratamento – SEQ 2 .....	105
Tabela 25 – Valores mínimos e máximos de remoção de coliformes totais – SEQ 1 .....	126
Tabela 26 – Valores mínimos e máximos de remoção de coliformes totais – SEQ 2 .....	127
Tabela 27 – Valores mínimos e máximos de remoção de coliformes termotolerantes – SEQ 1 .....	127
Tabela 28 – Valores mínimos e máximos de remoção de coliformes termotolerantes – SEQ 2 .....	127
Tabela 29 – Porcentagens de remoção parcial de SST de cada unidade de FiME e remoção global para os dois sistemas de tratamento – SEQ 1 .....	137
Tabela 30 – Porcentagens de remoção parcial de SST de cada unidade de FiME e remoção global para os dois sistemas de tratamento – SEQ 2 .....	137

## APÊNDICE A – TABELAS DE VALORES DOS PARÂMETROS ANALISADOS

Tabela A- 1 - Valores de turbidez da carreira de filtração 1 – SEQ 1 .....	163
Tabela A- 2 - Valores de turbidez da carreira de filtração 2 – SEQ 1 .....	163
Tabela A- 3 - Valores de turbidez da carreira de filtração 3 – SEQ 1 .....	163
Tabela A- 4 - Valores de turbidez da carreira de filtração 4 – SEQ 1 .....	163
Tabela A- 5 - Valores de turbidez da carreira de filtração 5 – SEQ 1 .....	164
Tabela A- 6 - Valores de turbidez da carreira de filtração 6 – SEQ 1 .....	164
Tabela A- 7 - Valores de turbidez da carreira de filtração 6 – SEQ 2 .....	164
Tabela A- 8 - Valores de turbidez da carreira de filtração 7 – SEQ 1 .....	164
Tabela A- 9 - Valores de turbidez da carreira de filtração 7 – SEQ 2 .....	164
Tabela A- 10 - Valores de turbidez da carreira de filtração 8 – SEQ 1 .....	165
Tabela A- 11 - Valores de turbidez da carreira de filtração 8 – SEQ 2 .....	165
Tabela A- 12 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 1 – SEQ 1 .....	165
Tabela A- 13 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 2 – SEQ 1 .....	165
Tabela A- 14 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 3 – SEQ 1 .....	165
Tabela A- 15 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 4 – SEQ 1 .....	166
Tabela A- 16 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 5 – SEQ 1 .....	166
Tabela A- 17 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 6 – SEQ 1 .....	166
Tabela A- 18 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 6 – SEQ 2 .....	166
Tabela A- 19 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 7 – SEQ 1 .....	166
Tabela A- 20 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 7 – SEQ 2 .....	167
Tabela A- 21 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 8 – SEQ 1 .....	167
Tabela A- 22 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 8 – SEQ 2 .....	167
Tabela A- 23 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 1 – SEQ 1 .....	167
Tabela A- 24 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 2 – SEQ 1 .....	167
Tabela A- 25 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 3 – SEQ 1 .....	168

Tabela A- 26 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 4 – SEQ 1 .....	168
Tabela A- 27 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 5 – SEQ 1 .....	168
Tabela A- 28 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 6 – SEQ 1 .....	168
Tabela A- 29 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 6 – SEQ 2 .....	168
Tabela A- 30 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 7 – SEQ 1 .....	169
Tabela A- 31 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 7 – SEQ 2 .....	169
Tabela A- 32 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 8 – SEQ 1 .....	169
Tabela A- 33 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 8 – SEQ 2 .....	169
Tabela A- 34 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 1 – SEQ 1 .....	169
Tabela A- 35 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 2 – SEQ 1 .....	170
Tabela A- 36 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 3 – SEQ 1 .....	170
Tabela A- 37 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 4 – SEQ 1 .....	170
Tabela A- 38 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 5 – SEQ 1 .....	170
Tabela A- 39 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 6 – SEQ 1 .....	170
Tabela A- 40 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 6 – SEQ 2 .....	171
Tabela A- 41 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 7 – SEQ 1 .....	171
Tabela A- 42 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 7 – SEQ 2 .....	171
Tabela A- 43 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 8 – SEQ 1 .....	171
Tabela A- 44 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 8 – SEQ 2 .....	171
Tabela A- 45 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 1 – SEQ 1 ...	172
Tabela A- 46 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 2 – SEQ 1 ...	172
Tabela A- 47 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 3 – SEQ 1 ...	172
Tabela A- 48 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 4 – SEQ 1 ...	172
Tabela A- 49 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 5 – SEQ 1 ...	172
Tabela A- 50 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 6 – SEQ 1 ...	173
Tabela A- 51 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 6 – SEQ 2 ...	173

Tabela A- 52 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 7 – SEQ 1 ...	173
Tabela A- 53 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 7 – SEQ 2 ...	173
Tabela A- 54 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 8 – SEQ 1 ...	173
Tabela A- 55 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 8 – SEQ 2 ...	174
Tabela A- 56 - Valores de cor aparente e cor verdadeira da água bruta da carreira de filtração 8 – SEQ 1 .....	174

## **APÊNDICE B – TESTES ESTATÍSTICOS DOS PARÂMETROS ANALISADOS**

Tabela B- 1- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da primeira carreira de filtração .....	176
Tabela B- 2- Teste T Student para dados pareados .....	176
Tabela B- 3- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da segunda carreira de filtração.....	177
Tabela B- 4- Teste T Student para dados pareados .....	177
Tabela B- 5- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da terceira carreira de filtração.....	178
Tabela B- 6- Teste T Student para dados pareados .....	178
Tabela B- 7- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da quarta carreira de filtração.....	179
Tabela B- 8- Teste T Student para dados pareados .....	179
Tabela B- 9- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da quinta carreira de filtração.....	180
Tabela B- 10- Teste T Student para dados pareados .....	180
Tabela B- 11- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da sexta carreira de filtração .....	181
Tabela B- 12- Teste T Student para dados pareados .....	181
Tabela B- 13- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da sexta carreira.....	182
Tabela B- 14- Teste T Student para dados pareados .....	182
Tabela B- 15- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da sétima carreira de filtração .....	182
Tabela B- 16- Teste T Student para dados pareados .....	183

Tabela B- 17- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da sétima carreira de filtração .....	183
Tabela B- 18- Teste T Student para dados pareados .....	184
Tabela B- 19- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da oitava carreira de filtração.....	184
Tabela B- 20- Teste T Student para dados pareados .....	184
Tabela B- 21- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da oitava carreira de filtração.....	185
Tabela B- 22- Teste T Student para dados pareados .....	185
Tabela B- 23- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade .....	186
Tabela B- 24- Teste T Student para dados pareados .....	186
Tabela B- 25- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade .....	187
Tabela B- 26- Teste T Student para dados pareados .....	187
Tabela B- 27- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade .....	187
Tabela B- 28- Teste T Student para dados pareados .....	188
Tabela B- 29- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade .....	188
Tabela B- 30- Teste T Student para dados pareados .....	189
Tabela B- 31- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade .....	189
Tabela B- 32- Teste T Student para dados pareados .....	190
Tabela B- 33- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade .....	190

Tabela B- 34- Teste T Student para dados pareados .....	191
Tabela B- 35- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade .....	191
Tabela B- 36- Teste T Student para dados pareados .....	192

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Água Bruta
AT	Água Tratada
CAG	Carvão Ativado Granular
d	Dia
EEC	Escola de Engenharia Civil
ETA	Estação de Tratamento de Água
FiME	Filtração em Múltiplas Etapas
FL	Filtro Lento
FLA	Filtro Lento de Areia
FLA 1	Filtro Lento de Areia 1
FLA 2	Filtro Lento de Areia 2
FLAC	Filtro Lento de Areia e Carvão
NMP	Número Mais Provável
PFA	Pré-filtro Ascendente
PFD	Pré-filtro Dinâmico
PPGEMA	Programa de Pós Graduação <i>Stricto Sensu</i> em Engenharia do Meio Ambiente
pH	Potencial Hidrogeniônico
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
SANEAGO	Saneamento de Goiás
SEQ	Seqüência de experimento
SST	Sólidos Suspensos Totais
UFG	Universidade Federal de Goiás
uH	Unidade de Hazen
uT	Unidade de Turbidez
Q	Vazão

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	27
1.1	JUSTIFICATIVA.....	29
2	OBJETIVOS .....	30
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	31
3.1	Definição e origem da turbidez .....	31
3.2	Filtração em Múltiplas Etapas (FiME) .....	34
3.3	Etapas do processo de filtração .....	36
3.3.1	Pré-Filtro Dinâmico (PFD) .....	36
3.3.2	Pré-Filtro de Pedregulho com escoamento Vertical Ascendente (PFA) .....	37
3.3.3	Filtro Lento (FL).....	38
3.3.4	Desinfecção .....	42
3.4	Adsorção em carvão ativado .....	43
3.5	Operação e manutenção de filtros grosseiros e filtros lentos de areia .....	45
3.5.1	Técnicas de limpeza para filtros grosseiros .....	45
3.5.2	Técnicas de limpeza para filtros lentos.....	47
3.5.3	Sistema de drenagem dos Filtros Lentos .....	48
3.6	Estudos com FiME.....	49
3.7	Estação de Tratamento de Água de ciclo completo de Goianápolis.....	55
4	MATERIAIS E MÉTODOS .....	58
4.1	Descrição da instalação piloto FiME e ETA de ciclo completo de Goianápolis.....	58
4.2	Água de Estudo.....	59
4.3	Início das atividades e captação da água para o sistema de FiME e de ciclo completo ...	60
4.4	Meios Granulares.....	62
4.4.1	Características do meio granular do pré-filtro dinâmico (PFD).....	62

4.4.2	Características do meio granular do pré-filtro ascendente (PFA) .....	63
4.4.3	Características do meio granular dos filtros lentos de areia (FLA) e filtro lento de areia e carvão (FLAC).....	64
4.4.4	Curvas Granulométricas.....	66
4.5	Planejamento Experimental.....	67
4.6	Parâmetros de controle.....	69
4.6.1	Análises físico-químicas e parâmetros hidráulicos .....	69
4.6.2	Comparação da eficiência total de remoção de cor, turbidez e sólidos suspensos totais obtidos na FiME com Sistema de Ciclo Completo. ....	70
4.7	Análise estatística dos dados .....	70
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	72
5.1	Remoção de Turbidez .....	73
5.2	Remoção de Cor Aparente .....	96
5.3	Remoção de Coliformes Totais e Escherichia coli .....	114
5.4	Remoção de Sólidos Suspensos Totais (SST).....	130
5.5	Correlações.....	145
5.6	Perda de Carga.....	146
	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	153
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	157
	APÊNDICE A .....	162
	APÊNDICE B.....	175

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural importante e é assim considerada porque é finita, vulnerável e essencial à vida e ao meio ambiente.

Nos últimos anos pode-se constatar um acentuado aumento da utilização dos corpos d'água naturais em diversas atividades humanas, principalmente devido ao crescimento e adensamento populacional urbano, desenvolvimento agrícola e industrial. Como consequência, tem-se alterações na quantidade e qualidade da água e os problemas relacionados à poluição dos mananciais se agravaram. A escassez e o uso inadequado dos recursos hídricos representam um grande risco ao desenvolvimento sustentável, à proteção do meio ambiente, à saúde coletiva e à vida no planeta. A água pode ser um elemento natural benéfico ao homem ou um veículo pelo qual microrganismos causadores de doenças ou substâncias tóxicas podem ser disseminados.

A poluição de um recurso hídrico geralmente resulta do lançamento de águas oriundas de atividades humanas e a contaminação é uma denominação genérica das consequências dessa poluição, introduzindo substâncias e organismos nocivos ao recurso hídrico, causando diversas alterações em suas características físicas, químicas e biológicas (PROSAB, 1999).

A escassez ou falta de água afeta mais de 40% da população mundial por razões políticas, econômicas e climáticas. Cerca de 1,1 bilhões de pessoas não têm acesso a um tratamento adequado de água e esgoto, principalmente em países da África, Ásia e América Latina (RANGEL, 2008).

De acordo com Morgado (2008), pelo menos um terço da população dos países em desenvolvimento não tem acesso à água potável. A água superficial sem nenhum tipo de tratamento representa uma ameaça para a saúde humana.

O controle da poluição da água é necessário para assegurar e manter níveis de qualidade compatíveis com sua utilização, em especial para abastecimento público.

Condições adequadas de vida e saúde estão diretamente relacionadas com a prestação de serviços de saneamento. Entretanto, grande parte da população urbana menos favorecida economicamente, população de zonas rurais e indígenas não têm acesso a um sistema de tratamento de água e esgoto adequados, apresentando elevada incidência de doenças associadas à água (GALVIS, 2006).

No Estado de Goiás, a empresa Saneamento de Goiás (SANEAGO), concessionária responsável pelos serviços de água e esgoto, atende 223 municípios, abrangendo 85,8% da população urbana com água tratada (SANEAGO, 2009).

Do ponto de vista tecnológico, água de qualquer qualidade pode ser transformada em água potável, porém, os custos envolvidos e a confiabilidade na operação e manutenção podem inviabilizar o uso de um determinado corpo d'água como fonte de abastecimento (PROSAB, 1999). Devido ao fato dos problemas relacionados à poluição dos mananciais terem se agravado nos últimos anos, exigiu-se medidas tecnológicas apropriadas e eficazes ao tratamento da água destinada ao consumo humano (VERAS e DI BERNARDO, 2008).

Água potável é água destinada ao consumo humano cujos parâmetros físicos, químicos, radioativos e microbiológicos atendem aos padrões de potabilidade, não oferecem riscos à saúde e assim, estejam em condições sensoriais adequadas. No Brasil, os Padrões de Potabilidade da água são estabelecidos pela Portaria n° 518, de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2004).

As tecnologias de tratamento de águas para abastecimento são classificadas em dois grupos: (1) com coagulação química, que incluem todas as etapas tradicionais do processo (coagulação, floculação, decantação e filtração) e (2) não-convencionais, ou seja, sem coagulação química, incluindo a filtração direta ascendente e descendente, a dupla filtração, a filtração lenta e a FiME, que é a filtração em múltiplas etapas. Em ambos os casos a desinfecção é comum e necessária após o tratamento.

A maior parte da população brasileira que não tem acesso à água tratada encontra-se na zona rural ou em pequenos municípios, que em geral, não possuem recursos e mão de obra qualificadas para investir em tecnologias mais sofisticadas de operação das ETA's convencionais. Assim, surge a necessidade de desenvolvimento de tecnologias de tratamento de águas mais simples, cuja operação e manutenção possam ser realizadas pela própria comunidade, beneficiando-as e produzindo água com qualidade segura. Segundo Clarke et al. (2004), é muito importante utilizar uma tecnologia de tratamento de água que seja adequada às condições locais da comunidade.

A estação de tratamento sem coagulação química, utilizando FiME (filtração em múltiplas etapas), constitui-se de uma unidade de pré-filtro dinâmico, pré-filtros com escoamento vertical ascendente em camadas com composição granulométricas diferenciadas e filtros lentos constituídos de areia e areia com carvão ativado granular.

A FiME é uma tecnologia proposta para superar os problemas com a qualidade da água bruta e as limitações da filtração lenta, no que diz respeito a águas superficiais com elevada turbidez.

A eficiência da filtração lenta pode ser comprometida em determinadas épocas do ano devido à piora da qualidade da água bruta. Elevados valores de turbidez causam uma

redução significativa nas carreiras de filtração, além do efluente produzido resultar com qualidade inferior (PATERNIANI e CONCEIÇÃO, 2001).

Para que a filtração lenta produza água com turbidez baixa e não comprometa a eficiência da desinfecção final bem como apresente carreiras de filtração com duração razoável (carreiras com duração de 1 mês aproximadamente), muitos pesquisadores limitam em 10 uT a turbidez da água afluyente aos filtros lentos. Fora destas condições, a pré-filtração é necessária, pois absorve picos de turbidez e condiciona a água afluyente ao filtro lento (PROSAB, 1999).

Quando devidamente selecionada, projetada, construída e operada, a FiME produz água filtrada com baixa turbidez, sem a presença de impurezas nocivas e livre de organismos patogênicos, porém poucos são os estudos com água bruta apresentando alta turbidez (VISSCHER; GALVIS; LATORRE, 1996).

Diante disso, o presente trabalho investigou o desempenho da FiME como uma alternativa de tratamento de águas de abastecimento para atender pequenas comunidades e zonas rurais.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Como justificativa para a realização da presente pesquisa, destaca-se a necessidade de se aprimorar a técnica para tratamento de águas de abastecimento sem coagulação química, ou seja, há grande demanda por tecnologias simplificadas como uma alternativa sustentável para serem aplicadas a pequenas comunidades e zonas rurais. A Filtração em Múltiplas Etapas (FiME) constitui-se de uma tecnologia eficiente, de simples construção, baixo custo de instalação e operação e a instrumentação pode ser praticamente eliminada.

Apesar de estudos (GALVIS et al., 1996; BRANDÃO et al., 1998; VERAS, 1999; SÁ, 2002; TANGERINO, 2003; MURTHA e HELLER, 2003; PATERNIANI e CONCEIÇÃO, 2004) terem demonstrado o potencial de aplicação da FiME para tratar águas com elevada turbidez, existem poucos trabalhos sobre esta tecnologia. As águas naturais de Goiás tendem a ter teores altos de turbidez, diferentes de regiões de clima temperado, onde muitos estudos foram desenvolvidos. Assim, este trabalho contribuirá para a disseminação e implantação da FiME no Estado de Goiás pois contará também com o apoio da SANEAGO, que é a concessionária responsável pelos serviços de água e esgoto nesse Estado.

A Fundação Nacional de Saúde (Funasa) é um órgão do Ministério da Saúde que possui a responsabilidade de alocar recursos não onerosos para sistemas de abastecimentos de

água e ações de saneamento em geral para o atendimento a municípios com população inferior a 50.000 habitantes e em comunidades indígenas, quilombolas e especiais. Dessa forma, a Funasa estabeleceu um projeto de cooperação com a Universidade Federal de Goiás, através do Edital 01/2003. Houve interesse no desenvolvimento desse trabalho como uma forma de aplicar a FiME e levar água de boa qualidade para consumo humano e fornecimento contínuo, assegurando a redução e controle de diversas doenças de veiculação hídrica nestas comunidades.

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o desempenho da tecnologia de Filtração em Múltiplas Etapas (FiME) no tratamento de águas de abastecimento, destinadas ao abastecimento de pequenas comunidades e zonas rurais.

Os objetivos específicos foram:

- (a) Avaliar a eficiência de remoção de turbidez, cor, SST (sólidos suspensos totais) e coliformes nas várias unidades constituintes da FiME;
- (b) Comparar a eficiência total de remoção de turbidez, cor e SST obtidas na FiME com a eficiência do sistema de ciclo completo (com coagulação química) na ETA de Goianápolis, Goiás;
- (c) Avaliar a correlação entre as remoções de turbidez, cor, coliformes e a remoção de SST na FiME;
- (d) Avaliar o efeito da variação das taxas de filtração nas eficiências do FLA e FLAC do sistema de FiME;

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Definição e origem da turbidez

A qualidade de uma água é definida por sua composição química, física e biológica. As características desejáveis de uma água dependem de sua utilização. Para o consumo humano, há a necessidade de uma água pura e saudável, isto é, livre de matéria suspensa visível, cor, gosto e odor, de quaisquer organismos capazes de provocar enfermidades e de quaisquer substâncias orgânicas ou inorgânicas que possam produzir efeitos fisiológicos prejudiciais (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991).

A água bruta proveniente de corpos d'água superficiais geralmente contém material flutuante e em suspensão, tais como folhas de árvores, grama, pequenos galhos, areia, silte, argila, matéria orgânica natural, algas e microrganismos, tais como protozoários, vírus e bactérias que podem representar riscos à saúde pública (PROSAB, 1999).

Um manancial superficial pode apresentar variações significativas de turbidez durante as diferentes épocas do ano (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). Em períodos chuvosos, a água geralmente apresenta concentrações elevadas de turbidez, sólidos suspensos e microrganismos (PROSAB, 1999).

A Tabela 1 mostra os valores de turbidez das águas superficiais e sua respectiva classificação como baixa, intermediária e alta (OPS, 2005).

**Tabela 1 – Classificação de turbidez em águas superficiais (OPS, 2005)**

Nível	Turbidez
Baixa	< 10 uT
Intermediária	10 – 20 uT
Alta	20 – 70 uT

Segundo Von Sperling (1996), a turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva devido aos sólidos em suspensão. As fontes e natureza da turbidez são variáveis e complexas e são influenciadas pelas características físico-químicas e biológicas da água. A turbidez é causada pela presença de vários elementos, incluindo partículas de rocha, argila, silte e outros minerais, além de algas e microrganismos, causando implicações importantes nos processos de tratamento de água e afetando a segurança e aceitação da água pelos consumidores (CAMPOS, 2006). De acordo com a Portaria n° 518/2004 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), o padrão de

turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção submetida à filtração lenta é de 2 uT em 95% das amostras analisadas e 1 uT para água submetida ao tratamento de ciclo completo ou filtração direta, consolidando-se como um dos principais parâmetros na avaliação do desempenho das estações de tratamento.

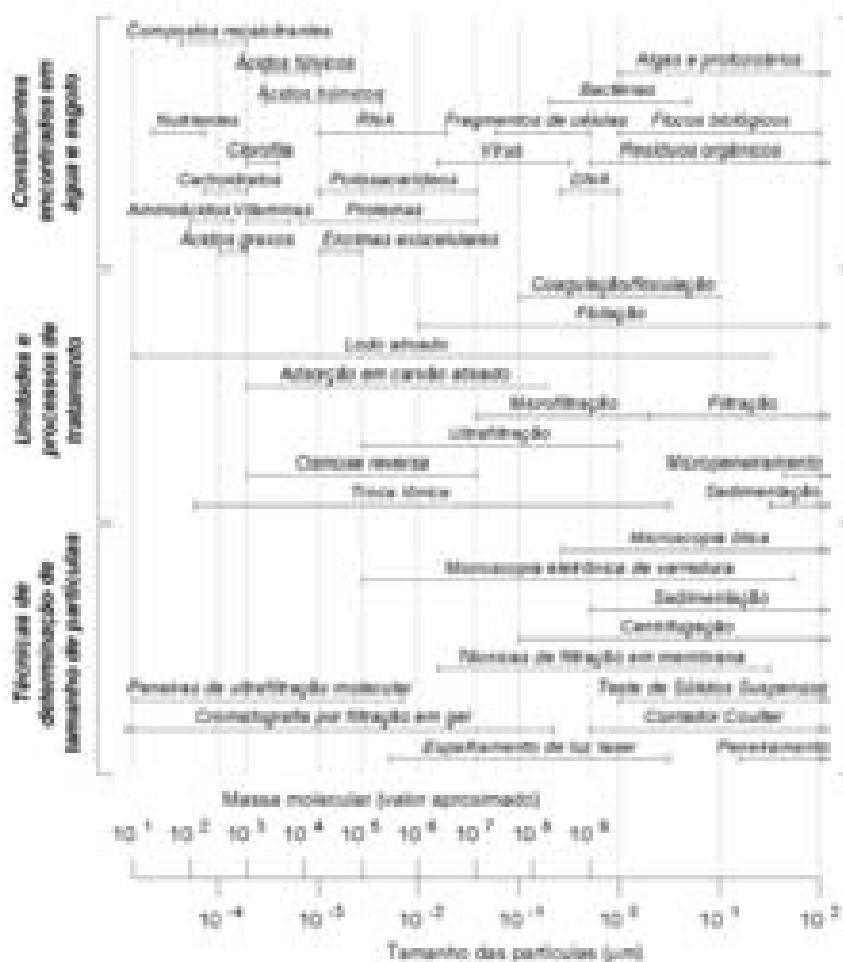
A qualidade microbiológica da água potável pode ser significativamente afetada pela turbidez juntamente com as partículas sólidas que são parâmetros indicadores da presença de microrganismos como *Giardia* e *Cryptosporidium*. Esses microrganismos são de difícil detecção, quantificação e remoção nos filtros de ETAs, além de resistirem aos métodos tradicionais de desinfecção, representando grandes riscos sanitários. Devido a esses agravantes, as normas mundiais para água de consumo estão cada vez mais restritas para os limites de turbidez da água filtrada (DANTAS, 2004).

O crescimento microbiano na água é maior sobre as superfícies das partículas sólidas e nos flocos (quando se utiliza o processo de coagulação e floculação no tratamento da água). Alguns estudos demonstraram uma correlação entre a redução da turbidez da água tratada (valores abaixo de 0,1 uT) e redução do número de bactérias e algas (HEALTH CANADÁ, 2003).

Se a possibilidade de contaminação industrial estiver descartada no manancial, devem ser levados em consideração, basicamente os resultados das análises dos parâmetros turbidez, cor e coliformes termotolerantes como características relevantes para a água tratada (OPS, 2005).

A elevação da turbidez do efluente filtrado pode sinalizar um potencial aumento da passagem de organismos indesejáveis, mesmo que a turbidez do efluente seja menor que 1,0 uT. Podem-se citar dois exemplos: (1) o aumento das concentrações de cistos de *Giardia* pode ocorrer com aumentos de turbidez de apenas 0,2 - 0,3 uT e (2) foram encontrados coliformes em água com turbidez variando entre 3,8 a 84,0 uT, mesmo após a desinfecção, aplicando 0,1 e 0,5 ml/L de cloro residual livre com tempo de contato de 30 minutos. As partículas orgânicas e inorgânicas em suspensão promovem uma barreira protetora contra os efeitos da desinfecção (HEALTH CANADÁ, 2003).

A turbidez das águas é devida à presença de: (1) partículas em estado coloidal, (2) partículas em suspensão, (3) matéria orgânica (húmus), (4) matéria inorgânica (óxidos) finamente dividida, plâncton, algas e (5) outros organismos microscópicos. O comportamento dessas partículas no meio dispersante está ligado às dimensões, como mostrado na Figura 1.



**Figura 1 – Distribuição de tamanhos de partículas**  
(Adaptado de LEVINE; TCHOBANOGLIOUS; ASANO, 1985)

De acordo com alguns autores como Alcócer (1993) e Dantas (2004), é muito importante o conhecimento do tamanho das partículas presentes na água bruta, pois águas que contém grande quantidade de partículas finamente divididas, dificilmente podem ser tratadas convenientemente apenas por filtração lenta.

Nas soluções, o fracionamento ocorre em nível: (1) de moléculas e átomos e nas dispersões coloidais, (2) das partículas que são finamente divididas (semelhante a uma mistura homogênea), (3) das partículas que não se sedimentam e também não podem ser filtradas apenas pela filtração comum. As partículas coloidais podem ser formadas por milhares de átomos ou moléculas. As suspensões, que podem ser orgânicas ou inorgânicas, não estão em solução ou em suspensão na água e originam a névoa ou turvação da água. A separação de fases é realizada por simples decantação em um curto espaço de tempo. O grau de contaminação coloidal pode ser determinado por turbidimetria (DANTAS, 2004).

A propriedade ótica expressa como turbidez pode ser considerada como a interação entre a luz e as partículas em suspensão na água. Em amostras contendo partículas

em suspensão, a maneira como a água interfere na transmissão de luz está relacionada com as características destas partículas (tamanho, forma e composição) e com o comprimento de onda da luz incidente (DANTAS, 2004).

Um fator importante a ser considerado em trabalhos nos quais a turbidez é o principal parâmetro de controle, é a diferença que existe entre os diversos equipamentos de medida de turbidez. O princípio básico do funcionamento dos equipamentos de determinação nefelométrica de turbidez consiste em um detector disposto a um determinado ângulo em relação ao raio de luz incidente, que mede a reflexão da luz pelas partículas. Para o ângulo de 90°, o equipamento denomina-se nefelômetro ou turbidímetro (HACH; VANOUS; HEER, 1989).

Teixeira et al. (2004), realizaram estudo sobre a confiabilidade analítica, em termos de turbidez, dos efluentes das unidades de filtração em escala piloto. Foram realizadas determinações deste parâmetro com turbidímetro de bancada e de escoamento contínuo. A partir dos resultados experimentais, foram efetuados testes de confiabilidade e de validade, considerando o turbidímetro de bancada como padrão. Os resultados concluíram que as determinações de turbidez estão condicionadas aos princípios de funcionamento de cada equipamento.

LeChevallier et al. (1981), estudaram a relação entre elevação da turbidez e eficiência da cloração na inativação de coliformes em sistemas de águas superficiais de comunidades onde a cloração era o único tratamento. Os autores concluíram que, um aumento na turbidez de 1 para 10 uT resulta na diminuição da eficiência da desinfecção com dosagem fixa de cloro, reduzindo a proteção contra possíveis contaminações durante o percurso da água nas redes de distribuição. A turbidez pode fornecer um meio para crescimento microbiológico. A matéria orgânica é, geralmente, uma fonte de nutrientes para os microrganismos e pode criar condições favoráveis aos mesmos quando utilizada desinfecção química ou por ultravioleta. Os sólidos em suspensão podem conter toxinas tais como metais pesados, biocidas e podem também adsorver microrganismos, protegendo-os da desinfecção. Elevada turbidez de origem orgânica na água requer maior demanda de cloro.

### **3.2 Filtração em Múltiplas Etapas (FiME)**

Segundo Paterniani (1986), há muitos séculos, sem mesmo possuir grandes conhecimentos, o ser humano já conseguia diferenciar uma água esteticamente limpa de outra que se apresentasse turva, com gosto e sabor.

Existem relatos do ano 2000 a.C, de tradições médicas na Índia, recomendando que, a água impura deveria ser purificada pela fervura sobre um fogo, pelo aquecimento no sol, mergulhando um ferro em brasa dentro dela ou ainda ser purificada por filtração em areia ou cascalho e depois, resfriada (USEPA, 1999).

A filtração como processo de tratamento de água foi criada pelo homem, provavelmente, através da observação da limpeza e clarificação da água subterrânea que passava pelos solos naturais. Acredita-se que desde o século XVI, a filtração já se encontrava difundida. Os primeiros filtros possuíam leitos de pedras porosas, mas foi somente a partir de 1828 que os filtros de areia foram utilizados para abastecimento público e pretendia-se apenas reduzir a turbidez pelos mecanismos de retenção de partículas (PATERNIANI e CONCEIÇÃO, 2004).

Esse processo de tratamento de águas apresenta algumas vantagens sobre outras tecnologias, destacando-se principalmente: (1) não requer adição de produtos químicos na água para coagulação, (2) não utiliza equipamentos sofisticados para controle do processo, (3) não necessita de operadores muito qualificados, (4) é de simples construção, manutenção e operação e (5) produz pouco lodo. Essas vantagens possibilitam um tratamento de água eficiente e mais acessível à população que se deseja atender (PATERNIANI e CONCEIÇÃO, 2004).

O pré-tratamento com pré-filtros de pedregulho é recomendado por diversos pesquisadores, pois atenua os picos de cor e turbidez afluentes ao filtro lento (PATERNIANI e CONCEIÇÃO, 2004). Além disso, ele também é utilizado para remover impurezas e sólidos suspensos. Alguns autores recomendam que o efluente dos filtros grossos devam conter entre 2 e 5 mg/L de sólidos suspensos para que a qualidade da água bruta seja adequada aos filtros lentos (VERAS, 1999). Há dados na literatura relatando substancial remoção de algas, coliformes, protozoários, metazoários e rotíferos nos pré-filtros em pedregulho com escoamento ascendente. Desta forma, quando os pré-filtros com escoamento ascendente são precedidos de pré-filtração dinâmica produzem água com qualidade segura, adequando as características dessa água para a etapa posterior, que é a da filtração lenta (PROSAB, 1999).

Assim, a filtração lenta tem sido precedida por unidades de pré-tratamento, geralmente constituídas por pré-filtros de pedregulho (PROSAB, 1999).

A filtração em múltiplas etapas é uma combinação de filtração em pedregulho e filtração lenta, que permite o tratamento de água com elevados níveis de contaminação e que não poderiam ser tratados apenas por filtração lenta (IRC, 2006).

A capacidade de contribuição da filtração em múltiplas etapas (FiME) para a melhoria da qualidade da água depende da seleção do pré-tratamento e arranjos entre as unidades filtrantes (GALVIS et al., 1996).

Na FiME, a água passa por diferentes etapas de tratamento, ocorrendo, em cada uma, progressiva remoção de substâncias sólidas. O princípio básico é o de cada etapa condicionar seu efluente de forma adequada para ser submetido ao tratamento posterior, sem sobrecarregá-lo, ou seja, impedindo uma colmatação muito freqüente dos meios granulares e assegurando um efluente com características compatíveis com o processo de tratamento adotado (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

### 3.3 Etapas do processo de filtração

As etapas de tratamento da FiME são: (1) pré-filtração dinâmica (PFD), (2) pré-filtração grosseira com escoamento vertical ascendente (PFA), (3) filtração lenta (FL) e (4) desinfecção, como mostra o esquema na Figura 2.

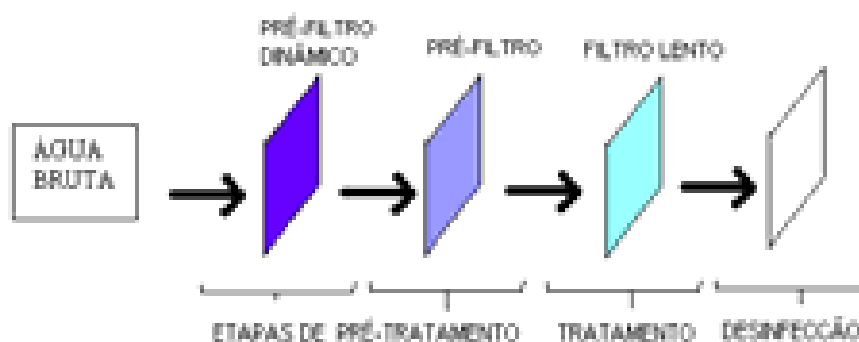


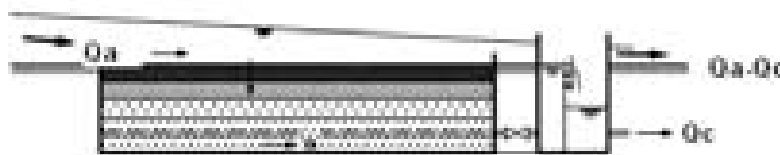
Figura 2 – Esquema Geral da Filtração em múltiplas etapas (Adaptado de PROSAB, 1999)

As unidades constituintes do sistema FiME são descritas a seguir.

#### 3.3.1 Pré-Filtro Dinâmico (PFD)

Na primeira etapa, a pré-filtração dinâmica (PFD), o meio granular é constituído de pedregulho com tamanho menor no topo e maior no fundo dessa unidade, dispostos sobre um sistema de drenagem, geralmente constituídos por tubos perfurados (TANGERINO, 2003). Há também a remoção de sólidos grosseiros e amortecimento de picos de turbidez, além da remoção parcial de organismos. A remoção de coliformes totais e termotolerantes no pré-filtro dinâmico tem sido da ordem de 80 a 90%. A taxa de filtração empregada varia de 24

a 120 m/d. Na unidade de pré-filtração mostrada na Figura 3, uma parcela da vazão afluyente ( $Q_a$ ) escoa superficialmente e a outra infiltra ( $Q_c$ ), onde é coletada e encaminhada às demais unidades subseqüentes de filtração (PROSAB, 1999). Há também a vazão de descarte ( $Q_a - Q_c$ ) que retorna para a entrada da unidade filtrante. O pré-filtro dinâmico dessa natureza foi utilizado na estação piloto FiME de Goianápolis.



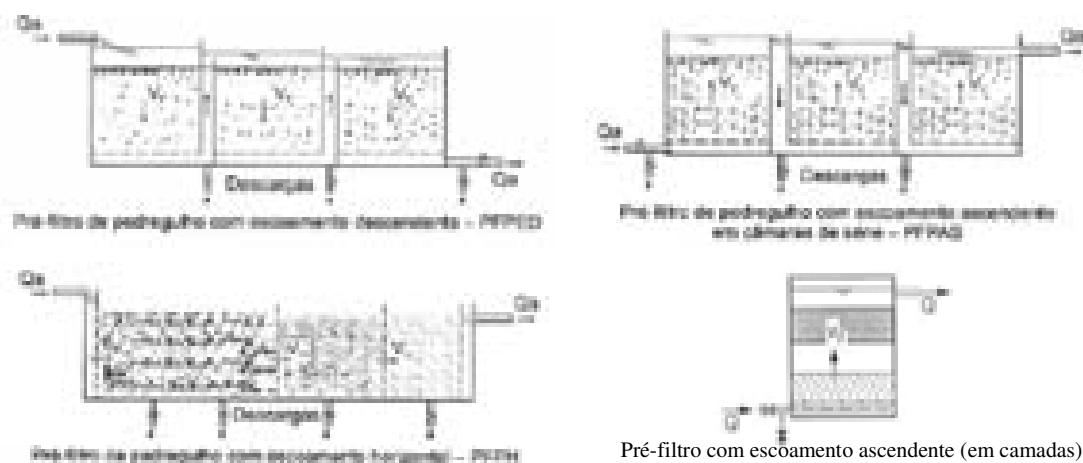
**Figura 3 – Esquema de uma unidade de pré-filtração dinâmica (PFD) (PROSAB, 1999)**

Segundo Latorre et al. (1996), a remoção de impurezas ocorre por meio da sedimentação no topo e no interior do material granular, sendo mais efetiva nos vazios do meio granular. De acordo com Veras e Di Bernardo (2008), foi dado o nome de “dinâmico” para esse tipo de filtro devido à sua capacidade de reagir às variadas cargas de sólidos.

### **3.3.2 Pré-Filtro de Pedregulho com escoamento Vertical Ascendente (PFA)**

A segunda etapa da FiME é a pré-filtração vertical, que pode variar entre descendente e ascendente. Neste trabalho utilizou-se a pré-filtração com escoamento vertical ascendente (PFA).

Os pré-filtros de escoamento ascendente são divididos em dois grupos: (1) compartimentados em duas, três ou quatro unidades em série e cada uma contendo granulometria específica e (2) o material granular com tamanho variado é disposto em uma única unidade e essa unidade de filtração pode conter até três subcamadas de pedregulho de tamanhos decrescentes no sentido do fluxo da água. A Figura 4 mostra os diversos tipos de PFA. As taxas de filtração usualmente utilizadas variam na faixa de 12 a 48 m/d (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). O pré-filtro com escoamento ascendente em camadas foi utilizado na estação piloto de FiME de Goianápolis.



**Figura 4 – Esquema de pré-filtros grosseiros com escoamento ascendente (PROSAB, 1999)**

Uma das vantagens dessa unidade filtrante é o acúmulo de sólidos no fundo do filtro, onde está o sistema de drenagem, favorecendo a limpeza hidráulica ou de fundo que são realizadas através de descargas de fundo (TANGERINO, 2003). O pré-filtro ascendente também pode ser operado com descargas de fundo intermediárias e, de acordo com a característica do efluente, podem ser programadas descargas de fundo a cada 10 cm de decréscimo na perda de carga, aumentando assim a duração da carreira de filtração (PROSAB, 1999).

O efluente do pré-filtro ascendente possui, em geral, qualidade e características mais adequadas para ser submetido à filtração lenta (TANGERINO, 2003).

### 3.3.3 Filtro Lento (FL)

A filtração lenta é um sistema de tratamento de água de operação simplificada que, em verdade, simula mecanismos naturais de depuração das águas, em sua percolação pelo subsolo, sendo que, nesse percurso, são removidos microrganismos, partículas e substâncias químicas. Trata-se de processo que tinha emprego privilegiado no tratamento de água no Brasil desde o início do século até a década de 60 e passou a ser desprezado a partir dos anos 70. Duas pressões colaboraram com essa mudança: (1) o processo de substituição tecnológica, determinado pela influência, sobretudo da cultura técnica norte-americana e (2) a acelerada deterioração da qualidade das águas dos mananciais, resultado da opção de desenvolvimento econômico baseado no modelo urbano industrial, sem a preocupação de assegurar sua sustentabilidade sócio-ambiental (PROSAB, 1999).

Os componentes básicos de um filtro lento são: (1) camada de água sobrenadante, (2) meio filtrante, (3) camada suporte, (4) sistema de drenagem e (5) controle de vazão, ilustrados na Figura 5.

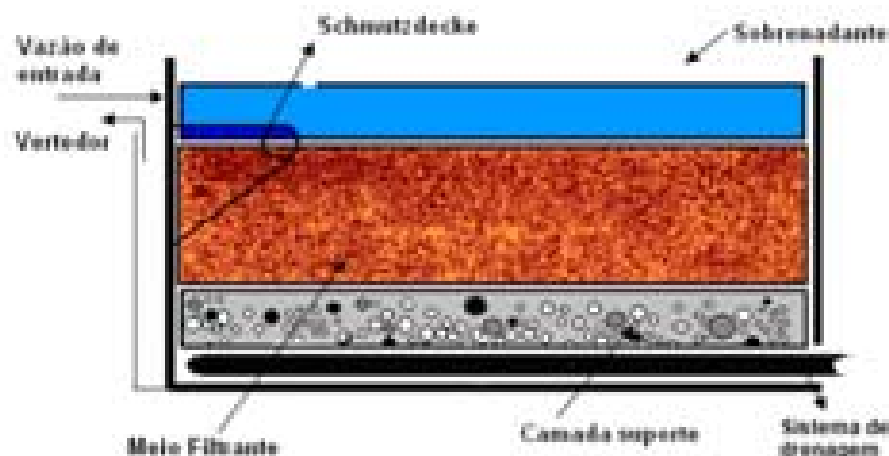


Figura 5 – Representação esquemática do filtro lento de areia (FLA) (Adaptado de PROSAB, 1999)

A camada sobrenadante de água fornece a carga hidráulica suficiente para a água atravessar o meio filtrante, por gravidade. Geralmente é utilizada areia como meio filtrante devido ao baixo custo, durabilidade e disponibilidade. Os filtros lentos trabalham com taxas de filtração entre 3 a 6 m/d e utilizam areia de granulometria mais fina, normalmente com grãos de tamanho entre 0,15 e 1,00 mm. A atividade biológica é considerada a ação mais importante que ocorre na filtração lenta, sendo mais efetiva no topo do meio filtrante, mas se estendendo até cerca de 40 cm de profundidade (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Murtha e Heller (2003), avaliaram a eficiência de remoção de indicadores microbiológicos do leito filtrante na filtração lenta em areia. Os estudos mostraram que os 30 cm iniciais do leito filtrante seriam responsáveis por quase a totalidade de remoção de coliformes totais e *Escherichia coli* (*E. coli*).

Essa camada, chamada “*Schmutzdecke*”, é constituída por partículas inertes, matéria orgânica e diversas variedades de bactérias, algas, protozoários, metazoários, entre outros, além de precipitados de ferro e manganês quando se encontram dissolvidos no afluente e é formada a partir da retenção de partículas suspensas e adesão de microrganismos. A atividade de microrganismos no “*Schmutzdecke*”, no filtro lento, é um dos fatores chaves para se obter água de boa qualidade (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Campos et al. (2002), estudaram a importância do “*Schmutzdecke*”, que é a camada de biofilme no topo da areia, para a atividade microbiológica nos filtros lentos. Nesse trabalho concluiu-se que a matéria orgânica inicialmente degradada nesta camada fornece

nutrientes para o sistema biológico distribuído ao longo do leito filtrante. Durante o processo de limpeza dos filtros lentos há remoção da camada biológica, podendo diminuir a eficiência do mesmo (TANGERINO et al., 2008).

O desempenho do filtro lento na remoção de microrganismos depende de vários fatores como: (1) a taxa de filtração, (2) a temperatura, (3) a espessura e granulometria do meio filtrante, (4) a idade da camada biológica e (5) a maturidade biológica do meio filtrante. A tecnologia de filtração lenta, última etapa da FiME, evoluiu consideravelmente nos últimos anos em relação à performance do meio filtrante e ao conhecimento de sua operação. O emprego de areia fina em conjunto com as mantas sintéticas ou em conjunto com carvão ativado granular favorece a remoção de matéria orgânica dissolvida, o que não acontecia com meio filtrante exclusivamente de areia. O carvão ativado granular é utilizado no tratamento de águas de abastecimento pela sua capacidade de adsorção de compostos orgânicos que causam odor e gosto na água, além da remoção de produtos orgânicos sintéticos como os pesticidas (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Segundo Tangerino e Di Bernardo (2005), diversas pesquisas estão sendo realizadas utilizando-se carvão ativado em camada intermediária (tipo “Sandwich”) do filtro lento cujo objetivo é melhorar a eficiência na remoção de cor e reduzir os subprodutos da desinfecção.

A operação dos filtros lentos é essencial para a sua eficiência. A taxa de filtração deve ser mantida dentro de um intervalo de 2,4 a 7,2 m/d para fornecer aos microrganismos atuantes dentro do filtro um escoamento estável de nutrientes e oxigênio, além de proporcionar tempo suficiente para purificar a água (MOODY et al., 2002).

Ainda de acordo com Moody et al. (2002), a qualidade bacteriológica da água filtrada não deteriora significativamente quando são aplicadas taxas de filtração maiores que 2,4 m/d. e podem ser adotadas nos filtros lentos para uma água bruta de boa qualidade. Porém, filtros com taxas de filtração altas requerem limpeza com maior frequência.

É possível aumentar consideravelmente as taxas de filtração se o pré-tratamento da água bruta e a desinfecção após a filtração lenta forem eficazes (ELLIS, 1985).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas limita a taxa de filtração nos filtros lentos em 6 m/d quando o meio filtrante é constituído unicamente de areia. Porém, tem sido recomendados valores da taxa de filtração entre 2 e 5 m/d, dependendo da qualidade do afluente e da carga hidráulica disponível total (PROSAB, 1999).

Pesquisas realizadas com mantas sintéticas (PROSAB, 1999; PATERNIANI, 2001) indicam a possibilidade da utilização de taxa de filtração de 9 a 12 m/d.

Londe (2002), utilizando um sistema composto apenas de filtro lento tendo como meio filtrante areia grossa de construção civil passada por peneira de 1 mm e mantas sintéticas não tecidas e, aplicando uma taxa de filtração igual a 3 m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>.dia, reduziu em média 64% a turbidez, 38% a cor, 62% os sólidos suspensos totais, 92,57% os *E. coli* e 85,61% os coliformes totais. Nos ensaios com taxa de filtração igual a 6 m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>.dia, a redução em média foi de 72% para turbidez, 44% para cor, 67% para sólidos suspensos totais, 83,87% para *E. coli* e 82,90% para coliformes totais.

De acordo com Veras e Di Bernardo (2008), no tratamento sem coagulação química, a filtração lenta e a cloração são os principais processos capazes de assegurar a produção de água com qualidade adequada ao consumo, porém a eficiência da filtração lenta pode ser comprometida se a turbidez da água bruta for superior a 10 uT. Nesse estudo, a pré-filtração possibilita a redução das impurezas da água antes da filtração lenta. A Tabela 2 mostra a qualidade da água recomendável para tratamento por filtração lenta.

**Tabela 2 – Qualidade da água recomendável para tratamento por filtração lenta (PROSAB, 1999)**

Parâmetro	Valores máximos recomendáveis	
	Di Bernardo (1993)	Cleasby (1991)
Turbidez (uT)	10	5
Cor verdadeira (uH)	5	-
Ferro (mg/L)	1	0,3
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	1000	-
<i>Escherichia coli</i>	200	-

É sabido que o *Schmutzdecke*, a camada orgânica que é formada no topo da areia e que mantém protozoários, bactérias, algas e outras formas de vida, contribui significativamente para o processo de purificação da água (ELLIS, 1985).

Com o passar do tempo de operação, o *Schmutzdecke* dificulta o escoamento nos filtros e conseqüentemente, o desempenho dos mesmos diminui temporariamente, necessitando que essa camada seja removida (DIZER et al., 2004).

Ainda segundo Dizer et al. (2004), os filtros lentos geralmente apresentam um desempenho oscilatório, com períodos de aumento de remoção de poluentes e vazão baixa e períodos de reduzida eficiência de remoção e vazão alta.

A limpeza do filtro lento é necessária quando a máxima perda de carga é atingida ou a qualidade do efluente seja inadequada e assim, a carreira de filtração é encerrada. Na maioria dos casos, a carreira é considerada encerrada quando a perda de carga atinge 0,70 a 1,0 m (VERAS e DI BERNARDO, 2008).

Segundo Veras (1999), a perda de carga é a diferença do nível de água sobre o leito filtrante (nível máximo) e o de descarga da estrutura de saída, recomendando-se um nível mínimo sobre a superfície da camada da areia, para evitar perturbações na camada biológica.

Essa operação de limpeza consiste em uma raspagem de 1 a 3 cm da camada superior do leito filtrante, devolvendo a carga hidráulica para que a filtração prossiga adequadamente. A areia é carregada para fora dos filtros, lavada, seca, homogeneizada e guardada para reposição futura (VERAS e DI BERNARDO, 2008).

A lavagem da areia não deve ultrapassar 24 horas pois os microorganismos presentes nos grãos de areia continuam suas atividades, podendo atingir condições de decomposição anaeróbia e liberar compostos que poderão impregnar-se nos grãos, dificultando ou diminuindo a eficiência da lavagem da areia (CULLEN e LETTERMAN, 1985).

### **3.3.4 Desinfecção**

A desinfecção constitui-se na etapa do tratamento cuja função é a inativação de microrganismos patogênicos presentes na água, incluindo bactérias, vírus e protozoários, além de algas, por meio de processos que utilizam um agente químico ou não químico (PROSAB, 2001).

A inativação ocorre por meio de um ou mais dos seguintes mecanismos: (1) destruição da estrutura celular, (2) interferência no metabolismo com inativação de enzimas e (3) interferência na biosíntese e no crescimento celular, evitando a síntese de proteínas, ácidos nucléicos e co-enzimas (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

A desinfecção é um processo seletivo, isto é, não destrói todas as formas vivas e não elimina todos os organismos patogênicos. A destruição completa das formas vivas é denominada esterilização (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Para serem utilizados nas estações de tratamento de água, os desinfetantes devem apresentar as seguintes características: (1) destruir, em tempo razoável, os organismos patogênicos na quantidade em que se apresentam e nas condições da água; (2) não ser tóxico ao ser humano e animais domésticos, (3) nas dosagens usualmente utilizadas, não causar odor e sabor nas águas; (4) disponível a preço razoável e oferecer condições seguras de transporte, armazenamento e aplicação na água; (5) ter sua concentração na água medida de forma rápida por meio de métodos simples e confiáveis e (6) produzir residuais persistentes na água (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Dentre os principais desinfetantes químicos utilizados na desinfecção para a produção de água potável encontra-se o cloro ( $\text{Cl}_2$ ), líquido ou gasoso e é empregado como desinfetante primário na maioria das estações que trata água superficial ou subterrânea. Atualmente, outros desinfetantes alternativos são utilizados, tais como: cloroaminas, ozônio ( $\text{O}_3$ ), dióxido de cloro, peróxido de hidrogênio e ácido peracético, além dos mecanismos físicos de desinfecção, que são: radiação ultravioleta, fotocatalise heterogênea e radiação solar (PROSAB, 2001).

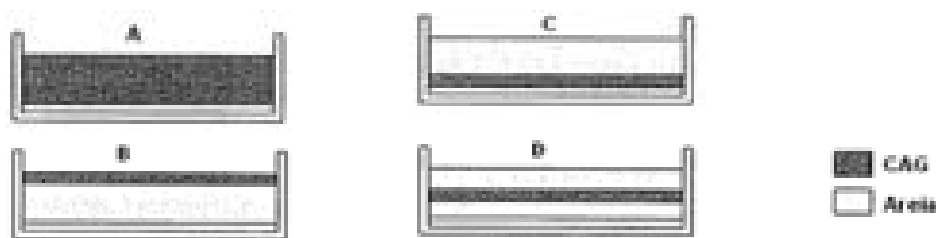
Para a desinfecção final, a escolha do agente deve garantir a produção de água tratada isenta de microrganismos patogênicos, tais como: coliformes totais, *E. coli*, bactérias heterotróficas, cistos de *Giardia*, oocistos de *Cryptosporidium*, *Legionella* e vírus.

### 3.4 Adsorção em carvão ativado

O carvão ativado é um material obtido do carbono natural de produtos como carvão, turfa ou madeira, por meio de processos de queima controlada, tais como, carbonização, pirólise ou ativação térmica. Este possui alta porosidade e é muito utilizado como adsorvente em tratamentos de água para abastecimento. O carvão ativado possui estruturas de macroporos e microporos variáveis, de acordo com a matéria prima utilizada (TANGERINO, 2003).

Segundo Fettig (1999 apud TANGERINO, 2003, p. 13), o volume de poros do carvão ativado comercial é cerca de 900 a 1000  $\text{mm}^3/\text{g}$ , sendo 40% de macroporos (raios  $> 25$  nm) e 40% microporos (raios  $< 1$  nm) e área superficial em torno de 1000  $\text{m}^2/\text{g}$ .

O carvão ativado pode estar disposto de várias formas no filtro lento, como mostra a Figura 6.



**A - Somente CAG**

**B - CAG no topo do meio filtrante**

**C - CAG no fundo do meio filtrante**

**D - CAG entre camadas do meio filtrante ("Sandwich")**

Figura 6 – Opções de filtro lento com Carvão Ativado Granular (CAG) (Adaptado de BAUER et al., 1996)

A forma mais utilizada é chamada de “CAG Sandwich”, letra D da Figura 6, devido à camada de carvão ativado estar localizada entre duas camadas de areia nos filtros lentos. Segundo Coelho (2002), a camada de carvão ativado granular deve estar sob uma camada de areia, que funciona como um filtro lento, protegendo o carvão de uma carga elevada de matéria orgânica, atuando apenas na adsorção. Esses filtros foram desenvolvidos para auxiliar na remoção de cor, sabor e odor, subprodutos provenientes da desinfecção (trihalometanos) e pesticidas em águas para abastecimento. A principal diferença do carvão em pó e o granulado é o tamanho das partículas do material.

Quando o manancial abastecedor apresenta contaminação por substâncias dissolvidas em concentrações baixas ( $\mu\text{g/L}$ ), o carvão ativado tem sido empregado para alcançar concentrações no efluente que se enquadrem dentro dos padrões de potabilidade. O carvão ativado granular, devido a sua porosidade, área superficial e rugosidade, tem a capacidade de servir como suporte para uma alta densidade de microrganismos, quando comparado com os materiais filtrantes, como areia e antracito (MARRARA, 2005).

Page et al. (1996), realizaram estudos durante seis meses e compararam as perdas de carga em um filtro lento de camada única de areia com um filtro com uma camada de carvão ativado em seu leito. Os autores concluíram que essa subcamada de CAG não contribui de forma significativa para a perda de carga dos filtros.

A Tabela 3 mostra os resultados de parâmetros monitorados e analisados de águas de abastecimento tratada utilizando filtro lento com carvão ativado (BAUER et al., 1996).

**Tabela 3 – Porcentagem de remoção de parâmetros monitorados utilizando filtro lento com carvão ativado tipo “Sandwich” (BAUER et al., 1996)**

<b>Parâmetro</b>	<b>Água Bruta</b>	<b>FLAC</b>	<b>% Remoção</b>
		<b>”CAG Sandwich”</b>	
Turbidez (uT)	1,19	0,18	85
Carbono Orgânico Particulado ( $\mu\text{g/L}$ )	481	33	93
Clorofila-a ( $\mu\text{g/L}$ )	3,5	0,13	96

Segundo Langlais; Reckhow; Brink (1991), quando o carvão é colocado em operação, sua capacidade de adsorção é máxima. Quando sua capacidade diminui, a atividade biológica torna-se mais importante.

A vida útil do carvão ativado tem sido estudada por alguns pesquisadores, Page et al. (1996), determinaram que a expectativa para remoção de pesticidas é de 3 a 5 anos. Tangerino (2003), sugere em seu trabalho que a vida útil e a renovação do carvão ativado como camada intermediária nos filtros lentos de areia sejam avaliadas.

### **3.5 Operação e manutenção de filtros grosseiros e filtros lentos de areia**

Após o período de operação, que pode variar de algumas semanas a meses, a área superficial do leito filtrante colmata devido à deposição de sólidos. O depósito das partículas inertes capturadas e microrganismos, juntamente com o crescimento das demais populações biológicas proporcionam um aumento da resistência hidráulica ao escoamento que se manifesta como uma perda de carga crescente. A perda de carga final ocorre quando, com a máxima pressão sobre a areia e a válvula de saída completamente aberta não é mais possível atingir a vazão de projeto e a limpeza do meio filtrante é necessária para restaurar a taxa de filtração (CAMPOS, 2006).

Pardon (1989), enfatiza a importância de um procedimento de limpeza eficiente para o sucesso de pré-filtros e resume os principais processos associados com a limpeza hidráulica por drenagem rápida: (1) Desestabilização dos depósitos, (2) Transporte de depósitos desprendidos para os drenos inferiores e (3) Remoção dos depósitos dos drenos inferiores.

#### **3.5.1 Técnicas de limpeza para filtros grosseiros**

Os filtros dinâmicos devem ser sempre limpos depois de cada evento de turbidez alta da água bruta ou quando a resistência do filtro aumentar gradualmente durante um período longo sem picos de turbidez. A limpeza tem duração média de 60 minutos e os materiais ou equipamentos de limpeza consistem basicamente de rastelo, pá, escovão, balde, luva, capa e botas. Inicia-se a limpeza com o fechamento da válvula que conduz a tubulação afluente ao pré-filtro vertical ascendente. Em seguida, deve-se, com auxílio do escovão, limpar as paredes e fundo da câmara de alimentação do pré-filtro dinâmico. Com o rastelo revolve-se com movimentos em contra corrente a superfície do meio filtrante para mover o lodo acumulado. O procedimento continua até que a água efluente apresente, visualmente, qualidade similar à água afluente. Nivelada-se a superfície do leito filtrante e inicia-se o processo de sucessiva descarga de fundo para limpeza das camadas mais profundas, recomenda-se rápida abertura e fechamento do registro de descarga de fundo aproximadamente dez vezes consecutivas, até a água efluente apresentar qualidade similar à água afluente (PROSAB, 1999).

A Tabela 4 mostra um resumo das atividades de operação e manutenção do pré-filtro dinâmico.

**Tabela 4 – Atividades de operação e manutenção do pré-filtro dinâmico (PROSAB, 1999)**

<b>Diárias</b>	<b>Periódicas</b>	<b>Eventuais</b>
Controle e registro da vazão afluente e efluente.	Limpeza das câmaras de entrada e saída, escarificação do topo do meio granular e descargas de fundo.	Retirada do material granular, lavagem do pedregulho, e recomposição das camadas filtrantes.
Medição e registro da qualidade (turbidez) da água afluente e efluente.	Execução de exame para determinação de NMP de coliformes totais e termotolerantes.	
Inspeção da camada de lodo formada na superfície do meio granular.		

Os filtros em pedregulho ascendentes são limpos hidraulicamente mas pode ocorrer a limpeza manual, se necessário. A limpeza regular do meio filtrante é importante para se ter uma operação adequada. A limpeza do pré-filtro de escoamento ascendente é realizada através de descargas de fundo intermediárias para evitar compactação do material depositado (PROSAB, 1999). O procedimento de limpeza da câmara de entrada e saída é similar ao pré-filtro dinâmico. O meio granular deve ser submetido à rápida abertura e fechamento da válvula de saída por aproximadamente dez vezes consecutiva. Nesta etapa a alimentação do filtro lento deve ser interrompida. A Tabela 5 apresenta um resumo das atividades de operação e manutenção do pré-filtro ascendente.

**Tabela 5 – Atividades de operação e manutenção do pré-filtro ascendente (PROSAB, 1999)**

<b>Diárias</b>	<b>Periódicas</b>	<b>Eventuais</b>
Controle e registro da vazão afluente.	Limpeza intermediária (câmaras de entrada e saída, “choques” e descargas de fundo).	Verificação de obstrução na tubulação de distribuição de água.
Medição e registro da qualidade (turbidez) da água afluente e efluente.	Limpeza entre carreiras ou mensal (câmaras de entrada e saída, revolvimento da camada de topo e descargas de fundo).	Retirada do material granular, lavagem do pedregulho e recomposição das camadas filtrantes.
Retirada do material flutuante.		
Medição e registro da perda de carga.	Execução de exame para determinação de NMP de coliformes totais e fecais.	

### 3.5.2 Técnicas de limpeza para filtros lentos

O procedimento para limpeza dos filtros lentos consiste em rebaixar o nível da água cerca de 8 cm abaixo do leito filtrante e remover por meio de raspagem, os primeiros 2 ou 3 cm superiores da camada de areia, incluindo o *Schmutzdecke*. São necessárias pranchas de madeira, pás, botas, luvas, baldes e carrinho de mão para transporte da areia até o local de lavagem.

Finalizada a limpeza, para o filtro entrar em operação, é necessário que seja repostos água filtrada de outras unidades e no sentido ascensional para evitar a permanência de ar nos interstícios do meio filtrante. Após esse processo, a água afluyente fica escorrendo sobre o filtro para maturar por um período de 1 a 3 dias, até que a comunidade biológica se estabeleça no filtro para que a filtração ocorra adequadamente e produza efluente de qualidade. A Tabela 6 apresenta um resumo das atividades de operação e manutenção do filtro lento.

**Tabela 6 – Atividades de operação e manutenção dos filtros lentos (PROSAB, 1999)**

<b>Diárias</b>	<b>Periódicas</b>	<b>Eventuais</b>
Controle e registro da vazão afluyente.	Limpeza das canaletas e câmara de entrada.	Reposição da areia limpa e reposicionamento da areia remanescente.
Medição e registro da qualidade (turbidez) da água afluyente e efluente.	Limpeza entre carreiras (câmaras de entrada e saída, raspagem do topo do meio filtrante).	
Retirada do material flutuante.	Execução de exame para determinação de NMP de coliformes totais e fecais.	
Medição e registro da perda de carga.		

Após sucessivas raspagens, a profundidade do leito de areia pode ser reduzida ao nível mínimo de projeto (normalmente 0,5 – 0,6 m) e é necessário um novo preenchimento nos filtros.

O processo de reposição da areia é feito com o reposicionamento da areia remanescente no filtro, como mostra a Figura 7. Para isso, uma vala é escavada até a base de cascalho. A areia deslocada é empilhada ao longo da lateral da vala. A vala é então preenchida com areia limpa e lavada. A próxima vala é dragada ao longo da lateral da vala preenchida e o conteúdo colocado também na vala preenchida anteriormente. O processo é

repetido até que as camadas mais baixas tenham areia limpa e as camadas superiores tenham a areia mais antiga.

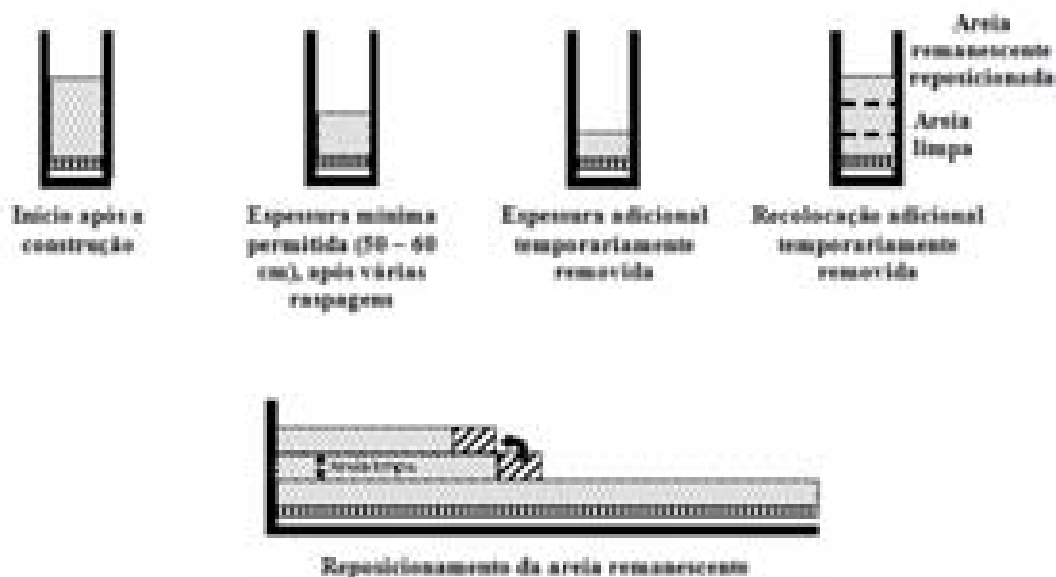


Figura 7 – Esquema de reposição da areia nos filtros lentos (LETTERMAN, 1991)

### 3.5.3 Sistema de drenagem dos Filtros Lentos

O fundo dos filtros lentos, ou seja, o sistema de drenagem, pode ser constituído de tubulações providas de orifícios, de canais com placas perfuradas ou de drenos especiais. A Figura 8 mostra a disposição de tubulações e canais do sistema de drenagem usualmente utilizados na filtração lenta, enquanto na Figura 9 têm-se esquemas de tipos de drenos empregados.

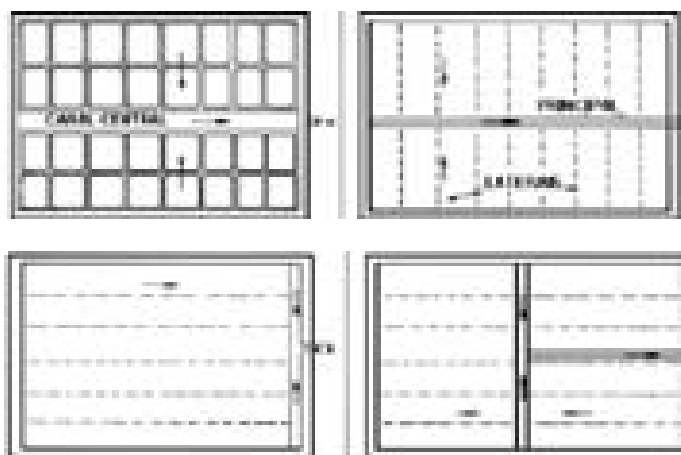


Figura 8 – Disposição de tubulações e canais do sistema de drenagem para filtros lentos (PROSAB, 1999)

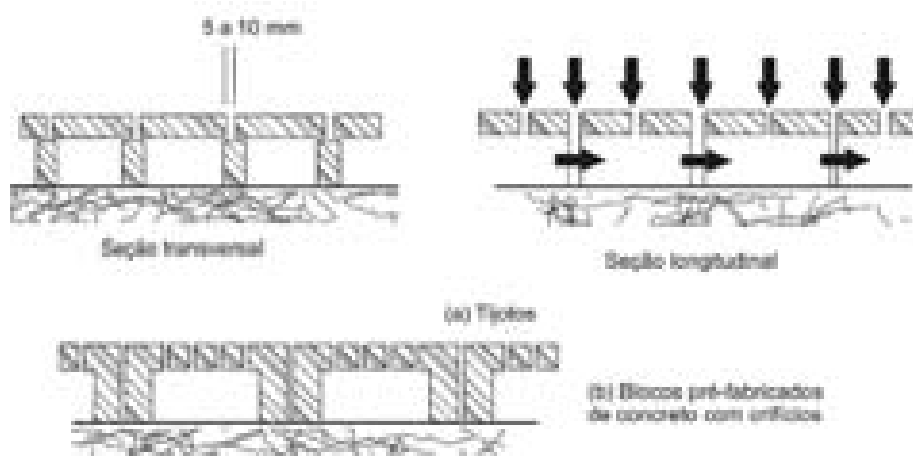


Figura 9 – Tipos de sistemas de drenagem para os filtros lentos (DI BERNARDO e DANTAS, 2005)

### 3.6 Estudos com FiME

A China, durante os anos de 1930 e 1940, utilizava a Filtração Lenta em Areia (FLA) para tratar a água fornecida para dezenas de cidades, tais como Shangai e Tianjing. Com o passar dos anos, houve o crescimento populacional dessas cidades e a demanda por água aumentou e assim, a FLA foi substituída pela Filtração Rápida. Em 1980, com o rápido desenvolvimento da economia rural da China, houve a necessidade de se desenvolver instalações adequadas para o abastecimento de água nas zonas rurais e a filtração lenta novamente foi utilizada. Como em muitas regiões da China eram freqüentes as fortes chuvas e tempestades que ocasionavam grandes escoamentos e o carreamento de uma grande quantidade de sólidos para os mananciais, a turbidez da água era frequentemente elevada.

Dessa forma, o tratamento de água por FLA não fornecia água em condições ideais e então, a sedimentação natural foi implantada para anteceder a filtração lenta. Mais uma vez esse processo não foi satisfatório pois em determinadas condições da água bruta, mesmo após vários dias de sedimentação natural, a turbidez ainda era elevada (valores em torno de 100 uT) e não haviam áreas disponíveis para sedimentadores. Por essas razões, foi necessário implantar o sistema FiME, tecnologia que ocupava uma área muito menor e para tal, modelos empíricos foram utilizados para prever as alterações de turbidez na água e determinar o número de etapas que seriam utilizadas, a profundidade e espessura das camadas filtrantes.

Ao final dos estudos, determinou-se um modelo empírico derivado da correlação dos dados experimentais que foi eficiente na estimativa da qualidade da água. Assim, apenas duas fases de tratamento antecedendo a filtração lenta foram eficazes para produzir água de

boa qualidade e acabar com os problemas ocasionados pela variação da turbidez na água (LI; MA; DU, 1996).

A tecnologia de FiME tem sido utilizada na Colômbia, particularmente na região do Vale de Cauca, onde existem aproximadamente 50 instalações (GALVIS; ROJAS; PARDÓN, 2006). Estas estão sendo administradas, operadas e mantidas por comunidades beneficiadas e por empresas prestadoras de serviços, apoiadas por organizações do setor e entidades não-governamentais. Uma das pesquisas realizadas no Vale de Cauca tinha por objetivos comparar as diferentes alternativas de pré-tratamento para a filtração lenta em areia, produzir critérios de seleção, operação e manutenção e avaliar a aplicação dessas unidades de tratamento utilizando a pré-filtração e filtração lenta.

Os experimentos duraram 6 meses e a instalação era constituída de: (1) pré-filtro dinâmico (PFD), (2) pré-filtro grosseiro ascendente em série (FGAS), (3) pré-filtro grosseiro ascendente em camadas (FGAC), (4) pré-filtros grosseiros de escoamento horizontal em série (FGHS) e (5) pré-filtro grosseiro com escoamento horizontal convencional (FGHC). Cada linha de pré-tratamento estava ligada a um filtro lento de areia, operados com taxa de  $3,6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ . A água bruta apresentava as seguintes características: (1) turbidez média de 54 uT, (2) sólidos suspensos com valores médios de 48 mg/L e (3) valores médios de coliformes termotolerantes de 33815 UFC/100 ml. Durante o estudo foram avaliadas: (1) as eficiências de remoção dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos nos afluentes e efluentes de todas as unidades para as diferentes taxas de filtração e (2) a qualidade da água entre as unidades de filtração em série e convencional. Os resultados obtidos foram:

- Remoção de turbidez e sólidos suspensos nos PFD foram de 50% para taxa de filtração de  $48 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  e 85% para taxa de  $96 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ ;
- Comparação entre as unidades filtrantes: (a) A unidade FGAS apresentou eficiência na remoção de coliformes termotolerantes de 99,4%, 95,6% para o FGHS e 95,4% para FGHC. Para turbidez, o FGAS apresentou 80% de eficiência, 66,7% para FGHS e 68,5% para FGHC. Com relação aos sólidos suspensos (SS), a remoção foi de 97,9% para FGAS e 93,8% para FGHS e FGHC.
- Os coliformes termotolerantes no FLA variaram entre 0 a 231 UFC/100 ml durante o período chuvoso e valores entre 0 a 5 UFC/100 ml quando a turbidez foi considerada baixa, cujos valores eram de 3 a 10 uT;
- A remoção de cor apresentou eficiência de 86 a 89%;
- Ferro e manganês apresentaram eficiência de remoção de 90%

Brandão et al. (1998), desenvolveram um trabalho utilizando uma instalação piloto de FiME localizada às margens do Lago Paranoá (Brasília-DF), de onde a água para o estudo era captada. Esse lago era corpo receptor dos esgotos tratados por duas ETE's e apresentava níveis elevados de algas cianofíceas durante todo o ano. A instalação piloto era composta de um pré-filtro dinâmico (PFD) que alimentava dois pré-filtros de fluxo ascendente (PFA-1 e PFA-2). O PFA-1 era composto por quatro camadas sobrepostas e o PFA-2, composto de cinco camadas sobrepostas. Cada pré-filtro alimentava, respectivamente, um filtro lento, chamados de FL1 e FL2. A instalação FiME foi operada continuamente com três carreiras de filtração. Durante cada carreira, as amostras foram coletadas no afluente e efluente de cada unidade do sistema FiME e os parâmetros analisados foram: pH, turbidez, temperatura, algas (clorofila-a e biomassa algal), coliformes totais e termotolerantes. Foram monitoradas também as perdas de cargas no PFA-1, PFA-2, FLA-1 e FLA-2. As taxas de filtração utilizadas estão apresentadas na Tabela 7.

**Tabela 7 – Taxas de filtração utilizadas no estudo**

Unidade	Taxas de Filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)		
	Carreira 1	Carreira 2	Carreira 3
PFD	36	36	36
PFA-1 e PFA-2	18	12	18
FLA-1 e FLA-2	6	3	3

Durante o período do estudo, a água bruta do Lago Paranoá apresentou um valor médio de turbidez de  $8,6 \pm 2,5$  uT e  $33,7 \pm 13,8$  µg de clorofila-a /litro, característica de lago eutrófico. A Tabela 8 mostra os resultados desse estudo.

**Tabela 8 – Porcentagem de remoção de turbidez e clorofila-a em estudo realizado no Lago Paranoá**

Carreira	Remoção de Turbidez (%)					Remoção de Clorofila-a (%)				
	PFD	PFA 1	PFA 2	FLA 1	FLA 2	PFD	PFA 1	PFA 2	FLA 1	FLA 2
1	32,5	30,6	44,9	72,8	60,2	25,4	21,2	44,2	93,5	91,3
2	48,9	50,6	64,5	71,1	56,7	41,4	41,2	64,4	81,0	81,7
3	60,8	39,3	50,5	65,4	62,6	52,2	15,5	31,3	97,2	97,9

Coelho et al. (2001), Coelho e Di Bernardo (2002) e Coelho (2002), realizaram extensos trabalhos em instalação piloto contendo: um pré-filtro dinâmico (PFD) operado com taxa de filtração 18 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d, um pré-filtro de pedregulho vertical com escoamento ascendente (PFVA), operado com taxa de 12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d e dois filtros lentos em paralelo, um com camada

única de areia (FLA) e outro com camada intermediária de carvão ativado (FLAC), ambos operando com taxa de  $4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ . Os autores estudaram e compararam o tratamento visando a remoção de atrazina, nas seguintes condições: (a) com o uso de meio filtrante constituído de areia e carvão ativado granular; (b) com pré-oxidação com ozônio, peróxido de hidrogênio e seguida de filtração lenta unicamente em areia e em areia e carvão ativado granular.

Na primeira opção estudada, as principais conclusões do trabalho realizado foram: (1) no PFD e PFA houve remoção de 50 e 60% de sólidos suspensos, 80% de turbidez e entre 10 e 60% de cor aparente. A remoção de coliformes variou entre 65,5 e 99,0%; (2) FLA apresentou em seu efluente concentração de *Escherichia coli* inferior a 5 NMP/100 mL para turbidez entre 0,8 a 8,8 uT e a concentração de *Escherichia coli* no afluente estava entre 98 e 600 NMP/100 mL. Embora a turbidez estivesse acima do recomendado pela Portaria 518/2004 (BRASIL, 2004), não houve comprometimento bacteriológico do efluente; (3) após 35 dias de operação, o FLAC apresentou efluente com concentração de atrazina, determinada por cromatografia, inferior a  $2,0 \mu\text{g/L}$  para concentrações no afluente inferiores a  $20 \mu\text{g/L}$ , atendendo à legislação brasileira.

Na segunda opção estudada, a solução de atrazina foi adicionada antes da coluna de ozonização (a coluna ficava posicionada antes do PFVA) e os filtros FLA e FLAC. Estes eram alimentados normalmente e com a mesma taxa de filtração. Observou-se que a oxidação com ozônio reduz em torno de 90% a atrazina presente no afluente. Nos demais parâmetros analisados poucas alterações foram observadas em relação à primeira opção estudada.

Veras (1999), realizou experimentos em instalação piloto que continha duas unidades de PFD em série e três linhas de pré-filtros ascendentes (PFA) em paralelo. A primeira delas possuía quatro unidades de PFA em série, a segunda, duas unidades de PFA em série e a terceira, uma única unidade de PFA contendo quatro subcamadas de pedregulho, com características granulométricas variáveis. Os PFDs operando com taxa de 24 a 48 m/dia, os PFAs com taxa de 8, 12 e 16 m/dia e os FLAs com taxa de 3 a 4 m/dia.

Veras (1999), concluiu que os PFD 1 e 2 alcançaram eficiências máximas de remoção de turbidez de 63% e 37%, respectivamente. No restante das carreiras, quando a turbidez da água bruta sofreu poucas variações, os percentuais de remoção nesses pré-filtros estiveram em torno de 35%. As eficiências de remoção de cor aparente nos pré-filtros dinâmicos 1 (PFD 1) e 2 (PFD 2) foram iguais a 53% e 13% na carreira 1B e a 39% e 30% na carreira 2A. Nos demais ensaios, os percentuais de remoção no PFD 1 estiveram entre 25 e 29% e no PFD 2, entre 23 e 30%. A eficiência de remoção média de sólidos suspensos totais no pré-filtro dinâmico 1 variou entre 22 e 66%. No pré-filtro dinâmico 2 a média percentual

de retenção ficou entre 9 a 30 %. Os PFD 1 e 2 proporcionaram remoções médias de coliformes totais de até 67,6 e 40% respectivamente. Com relação a coliformes termotolerantes, as remoções atingiram 41 e 62%, respectivamente. O teor de ferro na água bruta variou entre 2,93 a 0,90 mg/L. Os ensaios apontaram uma tendência de aumento da remoção no decorrer das carreiras, nesses pré-filtros, os quais obtiveram reduções máximas de 15 e 12 %, respectivamente.

Os testes estatísticos indicaram que não houve diferença significativa entre as três linhas de pré-filtros de escoamento ascendente com relação à remoção de turbidez, cor aparente, ferro, coliformes totais e termotolerantes. Assim, pode-se dizer que esses pré-filtros, em série e em camadas, apresentaram comportamento semelhante, quando foram utilizadas taxas iguais a 8, 12 e 16 m/dia. A eficiência de remoção nas linhas alcançou 81% para turbidez, 54% para cor aparente, 44% para ferro e 93% para coliformes totais e termotolerantes. Não ocorreu diferença na remoção de sólidos suspensos totais entre as três linhas de pré-filtros de escoamento ascendente, quando foram utilizadas taxas iguais a 3 e 4 m/dia. A linha 3, composta por um pré-filtro em camadas, pareceu ser mais eficiente com o emprego de taxa igual a 6 m/dia para sólidos suspensos. As taxas de remoção ficaram entre 48% e 74% para estes pré-filtros. As análises estatísticas detectaram diferença na remoção de turbidez, cor aparente e ferro para os filtros lentos, na maioria dos ensaios. De maneira geral, os FL 3 (com carvão ativado granular) e FL 4 (com manta e carvão ativado granular) obtiveram melhores resultados em relação aos FL 1 e 2 (com manta). Com relação à remoção de sólidos suspensos totais, pode-se afirmar que estatisticamente os quatro filtros lentos não apresentaram diferenças entre si na redução desse parâmetro. Esse resultado permitiu concluir que o uso de mantas e de carvão ativado granular não interferiu na retenção de sólidos. As remoções médias variaram entre 40 e 80%. A filtração lenta demonstrou grande contribuição na redução do teor de ferro, com médias de remoção de até 92,7%. Os resultados estatísticos indicaram diferença nos tratamentos somente nas duas primeiras carreiras, com relação à coliformes totais e termotolerantes. Os FL 3 e 4 apresentaram melhor performance nessas carreiras, sugerindo uma contribuição do carvão ativado granular presente nesses filtros. A remoção ao final da filtração lenta alcançou percentuais médios acima de 99%. Algumas análises apontaram coliformes termotolerantes igual a zero, principalmente a partir da carreira 2A. A eficiência global do sistema chegou a 96% em períodos de pico para cor aparente e a 98,6% para turbidez.

De acordo com Ochieng et al. (2004), mais de 80% da água utilizada nas áreas rurais e urbanas no Quênia são oriundas de rios, riachos, lagos e lagoas. A água proveniente

destas fontes estava, na maioria dos casos, contaminada por resíduos animais, humanos, industrial e atividades agrícolas. O número de casos de cólera e febre tifóide era considerável e cerca de 80% de todas as doenças no país eram provenientes de águas contaminadas e apenas 40% da população possuíam acesso à água potável.

O sistema de tratamento de água adotado pelo Quênia é o convencional ou completo. No entanto, a grande demanda por produtos químicos, disponibilidade de energia e mão de obra qualificada, nem sempre disponível principalmente nas zonas rurais, fizeram com que novas formas de tratamento fossem desenvolvidas.

Para realizar o estudo, uma planta piloto foi construída no campus principal da Moi University (Quênia), mesmo local onde se situava a estação de tratamento de água convencional. A escolha do pré-tratamento foi baseada em pesquisas anteriores em regiões tropicais. Utilizaram-se filtros com fluxo horizontal e filtros lentos. Este estudo teve como objetivo avaliar a filtração em múltiplas etapas como uma alternativa para o tratamento da água e comparar com a tecnologia de tratamento convencional utilizada com relação à eficiência de remoção dos parâmetros físicos, químicos e biológicos, sem a utilização de produtos químicos.

O estudo foi realizado em uma instalação FiME piloto utilizando materiais disponíveis no local, tais como cascalho, resíduos da agricultura, carvão e tijolos quebrados, como material para o pré-filtro. A referência utilizada para os parâmetros analisados era do Departamento de Normas do Quênia (Kenia Bureau of Standards – KEBS). Três materiais disponíveis localmente foram testados para a adequação do filtro com fluxo horizontal: (1) tijolos quebrados, (2) sabugos de milho e (3) carvão. Os materiais foram testados simultaneamente com a mesma água bruta. Os filtros lentos foram preenchidos com areia do rio, com granulometrias de 0,25 mm e coeficiente de uniformidade 2,4. Os parâmetros investigados foram turbidez, sólidos suspensos, coliformes totais e termotolerantes, em períodos chuvosos e de seca. A planta piloto era monitorada diariamente e as coletas das amostras realizadas simultaneamente para FiME e tratamento convencional.

Os resultados mostraram que com boas especificações para a concepção da instalação FiME, esse sistema possuía um desempenho melhor quando comparado ao sistema de tratamento convencional, além de utilizar matérias-primas facilmente disponíveis no local e não comprometia o meio ambiente. Os filtros foram operados aproximadamente 82 dias e a qualidade bacteriológica da água foi muito satisfatória uma vez que a eficiência de remoção de microrganismos foi superior a 99% para coliformes termotolerantes e 98% para coliformes totais, 93% para turbidez e 91% para sólidos suspensos. Apesar da eficiência elevada, a FiME

foi complementada com a cloração final e a dosagem de cloro foi menor quando comparada ao sistema convencional (OCHIENG et al., 2004).

### 3.7 Estação de Tratamento de Água de ciclo completo de Goianápolis

A Estação de Tratamento de Água de Goianápolis é responsável por todo o abastecimento de água distribuída do município. O tratamento é do tipo ciclo completo (coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção). O manancial de abastecimento da ETA é o Ribeirão Sozinha. O sistema é constituído por dosadores automáticos de produtos químicos, dois flocladores, dois decantadores, quatro filtros e a desinfecção é realizada com cloro. A Figura 10 apresenta o fluxograma das etapas do tratamento da água.

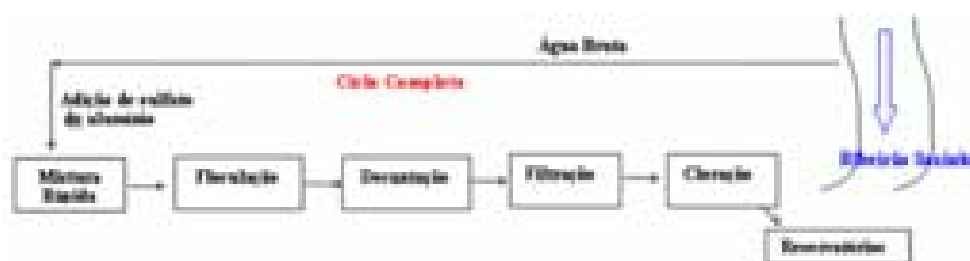


Figura 10 – Fluxograma das etapas de tratamento de ciclo completo

Na calha Parshall são aplicados cal para a correção do pH e sulfato de alumínio como coagulante, como mostra a Figura 11.



Figura 11 – Aplicação de produtos químicos na Calha Parshall

Estes produtos químicos são misturados na água bruta e transportados para uma caixa de mistura rápida e, em seguida, para os floculadores. Após passar pelos floculadores, a água segue para os tanques de decantação e os flocos, mais densos, sedimentam no fundo do decantador. Após essa etapa, a água decantada passa pelos filtros de areia que completam o tratamento. A água atravessa as diferentes camadas do leito filtrante e segue para um reservatório e o cloro é adicionado, eliminando os microrganismos patogênicos presentes. A água tratada segue para os reservatórios da cidade para ser posteriormente distribuída à população.

Na ETA são tratados  $0,022 \text{ m}^3/\text{s}$  e isto representa aproximadamente 80.000 L/hora. Os dois decantadores da ETA foram adaptados com plataformas de madeira localizadas pouco acima do fundo do mesmo. Cada decantador tem uma superfície de  $23,32 \text{ m}^2$ . Os dois floculadores possuem uma área de  $6,35 \text{ m}^2$  cada um e quatro filtros, tendo meio filtrante constituído de areia e área de superfície de  $5,25 \text{ m}^2$ . A Figura 12 mostra a ETA de ciclo completo estudada.



**Figura 12 – Vista geral da ETA ciclo completo de Goianópolis**

A lavagem dos decantadores e floculadores é manual ocorrendo em intervalos de 90 dias, conforme a quantidade de materiais sedimentados e os filtros são lavados de 2 a 3 vezes ao dia. Geralmente o intervalo de limpeza depende da época do ano e qualidade da água bruta, sendo que nos períodos de chuva lava-se com maior frequência, devido ao grande aporte de partículas que chegam até o manancial.

O lodo da ETA de Goianópolis é lançado diretamente no Ribeirão Sozinha.

O consumo mensal dos produtos químicos utilizados no tratamento da água bruta é de 300 kg/mês de sulfato de alumínio e 40 kg/mês de cloro. A cal é adicionada apenas se houver necessidade de correção de pH, o que não é freqüente na ETA. Esses valores podem variar de acordo com a qualidade da água bruta.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Descrição da instalação piloto FiME e ETA de ciclo completo de Goianápolis

Para o desenvolvimento dessa pesquisa foi utilizada a instalação piloto de Filtração em Múltiplas Etapas (FiME), localizada na área da Estação de Tratamento de Água (ETA) de Goianápolis – GO, operada pela SANEAGO. A Figura 13 mostra a instalação piloto FiME.



**Figura 13 – Instalação piloto FiME em Goianápolis – GO**

A estação de FiME piloto consiste em uma unidade de pré-filtração dinâmica (PFD), duas unidades de pré-filtração em pedregulho com escoamento ascendente (PFA-1 e PFA-2), quatro unidades de filtração lenta (FLA-1, FLA-2, FLA-3, FLA-4), uma unidade de Filtração Lenta de Areia e Carvão (FLAC) e uma coluna de carvão.

A estação de FiME foi construída em paralelo com a Estação de Tratamento de Água (ETA) de ciclo completo e captam a mesma água do Ribeirão Sozinha, como mostram as Figuras 14 e 15.



**Figura 14 – ETA ciclo completo e FiME construídas em paralelo**



**Figura 15 – Ribeirão Sozinha**

#### **4.2 Água de Estudo**

A água afluyente à instalação piloto de FiME e a ETA ciclo completo, proveniente do Ribeirão Sozinha, é captada em um poço de sucção como mostra a Figura 16.



**Figura 16 – Poço de sucção da ETA Goianópolis**

A bacia hidrográfica do Ribeirão Sozinha compõe o sistema hidrográfico da bacia do Rio Meia Ponte, localiza-se entre as coordenadas planas (700.600/720.000 m W e 8.185.200/8.141.100 m S) e compreende uma área de aproximadamente 452 km<sup>2</sup>. A bacia abrange parte dos municípios de Leopoldo de Bulhões, Anápolis, Goianópolis, Bonfinópolis, Goiânia, Senador Canedo, Caldazinha e Bela Vista de Goiás (SOUZA e LIMA, 2009).

#### **4.3 Início das atividades e captação da água para o sistema de FiME e de ciclo completo**

A operação da Estação de FiME iniciou-se em setembro de 2008, porém, para que todas as unidades estivessem funcionando adequadamente, algumas atividades de instalações, ajustes e manutenção foram realizadas: (1) substituição e fixação dos piezômetros; (2) troca de bombas de sucção; (3) execução de tubulações de derivação; (4) limpeza do local de instalação da FiME piloto e (5) troca de tubulações e registros.

A água bruta do Rio Ribeirão Sozinha é captada por uma tubulação de 75 mm de diâmetro, através de uma bomba submersível de 5 CV e conduz a água para uma tubulação de 50 mm. Na entrada do PFD há um registro para controle de vazão até a unidade de Pré-Filtração Dinâmica (PFD).

As interligações hidráulicas de todas as unidades da FiME foram constituídas de tubos PVC soldáveis, exceto das junções com registros, onde utilizou-se juntas roscáveis. A verificação de possíveis vazamentos foi realizada regularmente para que fossem evitadas interferências nos resultados.

A Figura 17 mostra a disposição da instalação de FiME piloto e ETA com ciclo completo e as seqüências dos experimentos realizados, denominados de SEQ 1, SEQ 2 e SEQ 3.

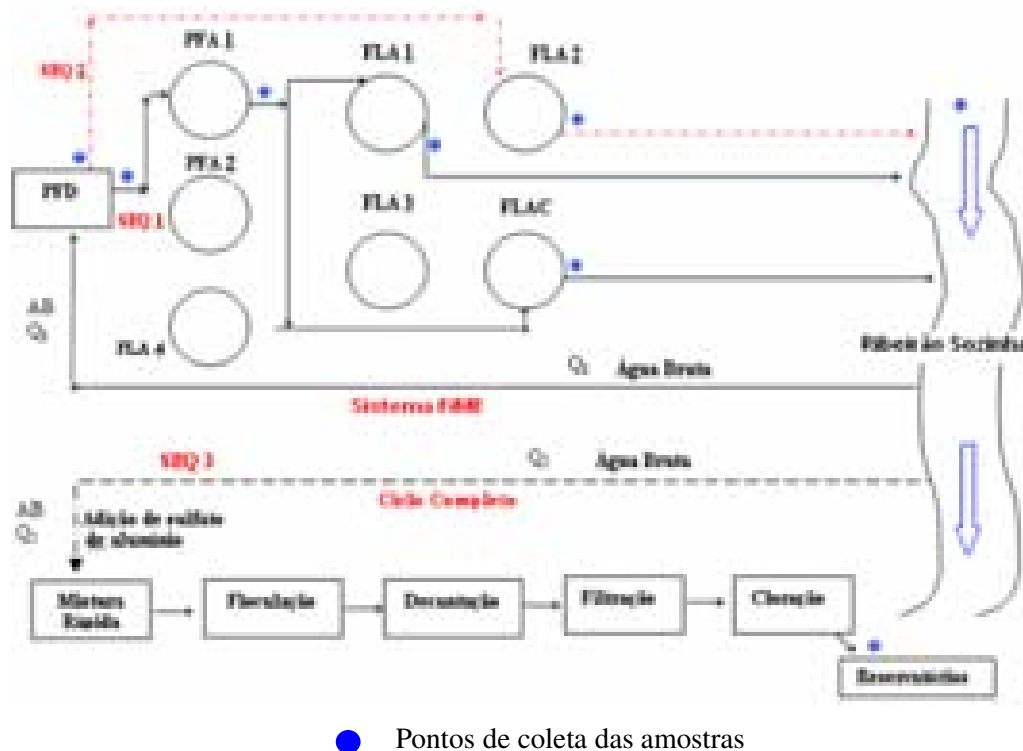


Figura 17 – Fluxograma da instalação do sistema de FiME e tratamento de ciclo completo e pontos de coleta (Adaptado de CAMPOS, 2006)

Na primeira seqüência de experimento (SEQ 1), ilustrada na Figura 17, a água bruta passa pelo PFD e em seguida, a água efluente é encaminhada a uma caixa cilíndrica, dotada de um vertedor tubular concêntrico, o qual mantém a carga hidráulica constante e a vazão encaminhada ao PFA-1. O efluente do PFA-1 segue para uma caixa cilíndrica dotada de vertedor tubular que distribui as vazões para o FLA-1 e FLAC. Os FLA e FLAC são alimentados pela parte superior por meio de uma tubulação para melhor distribuir o efluente sobre o filtro.

Na segunda seqüência (SEQ 2), também ilustrada na Figura 17, o efluente do PFD é encaminhado diretamente ao FLA-2, sem passar pelo PFA. O excesso de água é descartado no Ribeirão Sozinha.

A terceira seqüência (SEQ 3) refere-se ao tratamento de ciclo completo.

Na estação piloto com sistema de FiME também é possível analisar e comparar o comportamento de diversos arranjos seqüenciais dos filtros.

## 4.4 Meios Granulares

### 4.4.1 Características do meio granular do pré-filtro dinâmico (PFD)

O pré-filtro dinâmico (PFD) consistia de uma unidade de chapa metálica com dimensões de 1,70 m x 0,75 m e 1,00 m de altura. Uma vista lateral e outra superior dos filtros são apresentados nas Figura 18 e 19.



Figura 18 – Vista lateral do Pré-filtro dinâmico



Figura 19 – Vista superior do Pré-filtro dinâmico

O meio filtrante do PFD é composto por três camadas de material granular e a granulometria cresce no sentido do escoamento, conforme Tabela 9 (CAMPOS, 2006). A granulometria utilizada nesse trabalho foi a mais tradicional, sendo indicada por vários pesquisadores que trabalham com essa tecnologia.

Tabela 9 – Composição granulométrica do PFD

Camada	Espessura (m)	Granulometria (mm)
Topo	0,2	6,4 a 12,7
Intermediária	0,2	12,7 a 19,0
Fundo	0,4	19,0 a 25,4

O PFD foi alimentado continuamente com água bruta. Como o PFD possui a função de remover impurezas da água bruta e amortecer picos de turbidez, ocorre uma colmatção muito rápida na camada superior de pedregulho. Dessa forma, segundo Veras e Di Bernardo (2008), esse contínuo depósito de impurezas na camada superior do meio filtrante

causa aumento da resistência hidráulica e conseqüentemente, a taxa de filtração diminui. Quando esse fato ocorre, torna-se necessário a limpeza do filtro.

#### 4.4.2 Características do meio granular do pré-filtro ascendente (PFA)

A instalação piloto de FiME de Goianápolis é composta por dois pré-filtro em pedregulho com escoamento ascendente (PFA) e apenas um deles foi operado durante os experimentos. Este filtro é ilustrado na Figura 20.

Essa unidade era constituída de chapa metálica cilíndrica, com diâmetro de 0,80 m, área 0,50 m<sup>2</sup> e 1,98 m de altura.



Figura 20 – Vista lateral do Pré-filtro Ascendente

O material granular foi disposto em camadas e com granulometria decrescente no sentido do escoamento da água. A granulometria e espessura de cada camada filtrante são mostradas na Tabela 10.

Tabela 10 – Composição granulométrica do PFA

Camada	Espessura (m)	Granulometria (mm)
Topo	0,4	3,2 a 6,4
Intermediária superior	0,4	7,9 a 12,7
Intermediária inferior	0,4	15,9 a 25,4
Fundo	0,3	31,4 a 50,0

A água proveniente do PFA era coletada na parte superior da unidade e, em seguida, encaminhada a uma caixa distribuidora de vazão (Figura 21) que alimentava o filtro lento FLA e o filtro lento de areia e carvão (FLAC). O controle da vazão dos dois filtros foi feito por meio de medições volumétricas e regulagem de registros.



Figura 21 – Detalhes da caixa distribuidora de vazão do PFA

#### **4.4.3 Características do meio granular dos filtros lentos de areia (FLA) e filtro lento de areia e carvão (FLAC)**

A instalação piloto de FiME era composta por quatro filtros lentos de areia (FLA-1, FLA-2, FLA-3, FLA-4) e um filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLAC). Nesse estudo, apenas um filtro lento de areia (FLA-1) foi utilizado e com o decorrer dos experimentos, mais um filtro lento foi colocado em operação (FLA-2) para que a seqüência 2 (SEQ 2) do planejamento experimental fosse realizada, como ilustra a Figura 22.



Figura 22 – Filtros Lentos (Adaptado de CAMPOS, 2006)

Os filtros lentos constituíram-se de unidades cilíndricas com diâmetro de 0,80 m, área  $0,50 \text{ m}^2$  e 1,98 m de altura, preenchido com 1,15 m de material granular, sendo 0,70 m de meio filtrante e 0,45 m de camada suporte.

Os filtros lentos possuíam três pontos de medidas de perda de carga, como ilustrados na Figura 23. Nos pontos de conexão das mangueiras foi colocada uma tela fina para evitar a perda de areia por meio das mesmas.



Figura 23 – Pontos de conexão das perdas de carga no FLA e FLAC

A areia utilizada como meio filtrante no FLA-1 e FLAC possuía as características granulométricas recomendadas por Di Bernardo (1993) e outros autores. Estudos de avaliação de areia com diferentes granulometrias concluíram que o tamanho mais eficiente dos grãos estavam compreendidos entre 0,08 e 1,0 mm, tamanho efetivo entre 0,15 e 0,30 mm e coeficiente de uniformidade, de preferência entre 2,0 e 5,0 (PROSAB, 1999). O coeficiente de uniformidade utilizado nesse trabalho foi de 1,53.

A granulometria e espessura de cada camada filtrante são mostradas na Tabela 11.

**Tabela 11 – Composição granulométrica dos FLA**

<b>Unidades</b>	<b>Granulometria (mm)</b>		<b>Espessura (m)</b>	
FLA	Meio Filtrante (areia)	0,08 a 1,00	0,70	
	Tamanho efetivo	0,18		
	Camada Suporte		1,41 a 3,20	0,075
			3,20 a 6,40	0,075
			7,90 a 12,70	0,075
			15,90 a 25,40	0,075
		31,40 a 50,0	0,150	

Os filtros lentos de areia e carvão (FLAC) foram constituídos com as mesmas dimensões dos FLA, porém com meio filtrante conforme Tabela 12.

**Tabela 12 – Composição granulométrica do FLAC**

<b>Unidades</b>	<b>Granulometria (mm)</b>		<b>Espessura (m)</b>	
FLAC	Meio Filtrante (areia)	0,08 a 1,00	0,30	
	Meio Filtrante (CAG)	0,30 a 0,84	0,30	
	Meio Filtrante (areia)	0,08 a 1,00	0,10	
	Tamanho efetivo	0,18		
	Camada Suporte		1,41 a 3,20	0,075
			3,20 a 6,40	0,075
			7,90 a 12,70	0,075
			15,90 a 25,40	0,075
		31,40 a 50,0	0,150	

#### 4.4.4 Curvas Granulométricas

A Figura 24 mostra a curva de distribuição granulométrica da areia usada nos filtros lentos da FiME piloto em estudo apresentado por Perez (2009). No eixo das abscissas

tem-se a abertura das peneiras da série granulométrica e, no eixo das ordenadas, a porcentagem acumulada da areia (em massa) que passa nas peneiras.



Figura 24 – Curva de distribuição granulométrica da FiME (PEREZ, 2009)

#### 4.5 Planejamento Experimental

O planejamento experimental para os estudos no sistema FiME piloto foi do tipo planejamento fatorial  $2^2$  completo. A maioria dos experimentos para planejamento e melhoria de processo envolve algumas variáveis. Um experimento planejado é um teste, no qual são feitas mudanças propositalmente nas variáveis de entrada de um processo, de modo a poder observar e identificar mudanças correspondentes na resposta de saída. Os métodos de planejamento experimental também podem ser muito úteis no estabelecimento de controle estatístico de um processo. Quando há vários fatores de interesse em um experimento, um planejamento fatorial deve ser utilizado. Nesse caso, em cada tentativa completa ou replicação do experimento, são investigadas todas as combinações possíveis dos níveis dos fatores (MONTGOMERY, 2001).

Para a SEQ 1 do experimento (PFD, PFA, FLA e FLAC) foram investigadas todas as combinações possíveis e níveis dos fatores. Isso significa que foi realizado com dois níveis e 2 fatores.

Para a SEQ 2 (PFD, FLA), foi utilizado o planejamento fatorial  $2^1$  incompleto. Durante o período do experimento da SEQ 2, não foi possível realizar carreiras aplicando taxas altas e baixas em períodos de alta turbidez.

Em geral, consideram-se os níveis como níveis “baixo” ou “-” e “alto” ou “+” do fator (MONTGOMERY, 2001).

Assim, os fatores utilizados para cada seqüência de experimento em questão foram: (1) taxa de filtração dos filtros lentos (TF) e (2) nível de turbidez afluyente (TU). A resposta é a remoção dos parâmetros analisados R, sendo  $R = f(\text{SEQ}, \text{TF}, \text{TU})$ .

As Tabelas 13 e 14 apresentam o planejamento experimental utilizado. A seqüência de filtração SEQ 1 (PFD, PFA, FLA-1, FLAC) foi determinada pelo símbolo (+), enquanto para a SEQ 2 (PFD e FLA-2), por meio do símbolo (-). Para as taxas de filtração empregadas, foi utilizado o sinal (+) para taxas de filtração altas e (-) para taxas de filtração baixas. A taxa de filtração considerada baixa para os filtros lentos foi de  $3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$  e a taxa alta de  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ . Para os níveis de turbidez, foi utilizado o sinal (+) para turbidez alta (valores iguais ou superiores a 20 uT) e (-) para turbidez baixa (valores menores de 20 uT).

**Tabela 13 – Planejamento Experimental para SEQ 1**

<i>Carreira de filtração</i>	<i>TF</i>	<i>TU</i>	<i>Remoção</i>
1	-	-	R <sub>1</sub>
2	+	+	R <sub>2</sub>
3	-	+	R <sub>3</sub>
4	-	+	R <sub>4</sub>
5	-	+	R <sub>5</sub>
6	+	-	R <sub>6</sub>
7	+	-	R <sub>7</sub>
8	-	-	R <sub>8</sub>

As carreiras 4, 5, 7 e 8 foram réplicas do planejamento fatorial estabelecido.

**Tabela 14 – Planejamento Experimental para SEQ 2**

<i>Carreira de filtração</i>	<i>TF</i>	<i>TU</i>	<i>Remoção</i>
6	+	-	R <sub>6</sub>
7	+	-	R <sub>7</sub>
8	-	-	R <sub>8</sub>

A carreira 7 foi réplica do planejamento fatorial para a SEQ 2.

## 4.6 Parâmetros de controle

### 4.6.1 Análises físico-químicas e parâmetros hidráulicos

A avaliação das eficiências das unidades de pré-filtração e filtração lenta foram realizadas pelo monitoramento das características físicas, químicas e bacteriológicas dos afluentes e efluentes de todas as unidades envolvidas no processo de filtração, além das medidas dos parâmetros hidráulicos, tais como vazão e perda de carga. Em geral, as amostras e medições foram tomadas 3 vezes por semana.

Na Tabela 15 estão relacionados os parâmetros, métodos e equipamentos utilizados na caracterização das amostras coletadas.

**Tabela 15 – Parâmetros de controle**

<b>Parâmetro</b>	<b>Método</b>	<b>Equipamento</b>
Turbidez (uT)	Nefelométrico	Turbidímetro TB 1000
pH	Potenciométrico	pHmetro TECNAL TEC-2
Cor aparente (uH)	Colorimétrico	Colorímetro HACH DR/890 (520 nm)
Cor verdadeira (uH)	Colorimétrico	Colorímetro HACH DR/890 Bomba de vácuo Filtração em membrana, porosidade 0,45 µm
Condutividade (µS/cm)	Condutivímetro	MS Tecnopon mCA 150
Sólidos suspensos totais (mg/L)	Gravimétrico	Filtração em membrana, porosidade 10 µm, bomba de vácuo, estufa, balança,
Coliformes totais e <i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	Tecnologia do substrato definido (Kit COLILERT®), procedimento Quanti-Tray	Estufa, Seladora IDEXX Quanti- Tray Sealer Modelo 2X, lâmpada ultravioleta portátil com comprimento de onda 360 nm
Perda de carga (nível piezométrico) (cm)	Leitura em piezômetros	Tubos flexíveis transparentes com diâmetro interno de 5 mm
Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Volumétrico	Cronômetro, Proveta

A verificação das perdas de carga nos meios filtrantes de cada unidade foi realizada “in loco” por meio de leitura dos piezômetros instalados nos filtros lentos.

O controle da vazão para os dois filtros foi realizado por meio da regulação de registros e medições volumétricas

Os parâmetros de qualidade da água monitorados na ETA de ciclo completo foram os mesmos do sistema FiME, porém, apenas na água bruta (AB) e na água tratada (AT).

Todos os parâmetros foram monitorados por um período de 11 meses e as análises realizadas de acordo com os procedimentos propostos pelo *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA et al., 2004).

A eficiência de remoção de microrganismos coliformes totais e coliformes termotolerantes, em cada unidade filtrante da instalação piloto de FiME foi avaliada por meio de análises microbiológicas utilizando o Colilert®, patenteado pela IDEXX e que se baseia na tecnologia de substrato definido (DST).

As análises das amostras de água foram realizadas no Laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (UFG).

#### **4.6.2 Comparação da eficiência total de remoção de cor, turbidez e sólidos suspensos totais obtidos na FiME com Sistema de Ciclo Completo.**

Os resultados obtidos para a remoção global de cor, turbidez e SST da FiME foram comparados com os resultados do efluente da ETA Goianápolis. Para isto, amostras de água no efluente da ETA Goianápolis foram coletadas no mesmo dia e horário em que foram coletadas as amostras nas unidades da FiME e submetidas às mesmas análises físico-químicas e os resultados comparados. O objetivo era verificar se a qualidade da água produzida pela FiME e ETA ciclo completo eram similares.

#### **4.7 Análise estatística dos dados**

Foram empregados os métodos estatísticos *Teste t* para dados pareados para análise dos dados obtidos nas carreiras de filtração. O software estatístico utilizado foi o SPSS versão 16.0.

De posse de um grupo de dados de cada carreira de filtração, a primeira etapa foi verificar se estes dados estavam ou não estão em acordo com algum modelo estatístico teórico. O modelo mais utilizado é o ajuste de uma curva normal. Nesse trabalho foi utilizado o Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov (Z) para uma variável para comprovação ou não de normalidade dos dados das carreiras de filtração para a escolha dos testes a serem aplicados. Existem dois grupos de Testes de Hipóteses: (1) Testes Paramétricos e (2) Testes

Não-Paramétricos. Se a carreira de filtração tinha distribuição normal, o teste de hipótese foi o paramétrico senão, o teste aplicado foi o não-paramétrico.

Os testes paramétricos são utilizados quando se deseja fazer comparações entre variáveis do tipo numérica e real. Nesse trabalho foi utilizado o *Teste t* para amostras com dados pareados, com a finalidade de comparar dois tratamentos diferentes (FiME e ETA de ciclo completo) que receberam o mesmo afluente.

Os testes não-paramétricos são aplicados em situações em que os modelos paramétricos não se adequem de forma útil aos valores observados, ou seja, estar ineficiente para estes dados. Para esses casos foi utilizado o Teste Wilcoxon (MONTEIRO, 2004).

Após essa etapa, foi definido o controle no nível de significância. Universalmente o nível de significância utilizado em uma pesquisa é de 0,05 (ou 5%) e denotado por “p”. Desta maneira, se  $p < 0,05$  existe diferença significativa nos atributos propostos ou, se  $p > 0,05$  não existe diferença significativa nos atributos propostos;

A Tabela 16 sintetiza o teste de hipóteses:

**Tabela 16 – Conclusão em um Teste de Hipótese (Monteiro, 2004)**

<b>Valor de p</b>	<b>Conclusão</b>
$p < 0,01$	Altamente significativo
$0,01 < p < 0,03$	Muito significativo
$0,03 < p < 0,05$	Significativo
$p > 0,05$	Não significativo

O diagrama de caixa (*Box Plot*) também foi utilizado nas análises dos resultados de turbidez para comparação entre os tratamentos do sistema de FiME e ETA ciclo completo. O *Box Plot* exibe simultaneamente vários aspectos importantes dos dados, tais como tendência central ou posição, dispersão ou variabilidade, afastamento de simetria e identificação de observações muito afastadas da maior parte dos dados, que são valores discrepantes chamados de *outliers* (MONTGOMERY, 2001).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados desta investigação.

Os valores de todos os parâmetros analisados e as perdas de carga estão apresentados em tabelas no apêndice A e as análises estatísticas dos dados constam em tabelas no apêndice B.

A Tabela 17 mostra a faixa de variação das características físicas, químicas e bacteriológicas da água bruta proveniente do Ribeirão Sozinha durante o período experimental. O período experimental da estação teve início em setembro de 2008 e finalizou em agosto de 2009, perfazendo um total de 11 meses de monitoramento.

Verificou-se uma ampla faixa de condições experimentais, com ocorrência de alta e baixa turbidez e amplas variações nas características da água bruta.

**Tabela 17 – Qualidade da água bruta durante o período experimental**

<b>Parâmetros</b>	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor máximo</b>
Cor aparente	53,0 uH	1455,0 uH
Turbidez	0,8 uT	552,0 uT
Sólidos Suspensos Totais	2,0 mg/L	226,0 mg/L
pH	6,3	7,1
Coliformes totais	148 NMP/100mL	11000 NMP/100mL
Coliformes termotolerantes	20 NMP/100mL	11000 NMP/100mL

As Tabelas 18 e 19 mostram uma síntese das carreiras de filtração, a duração e as taxas de filtração aplicadas para cada seqüência do experimento.

**Tabela 18 – Síntese das carreiras e taxas de filtração – SEQ 1**

<b>Carreira de filtração</b>	<b>Início</b>	<b>Fim</b>	<b>Duração (dias)</b>	<b>Taxas de Filtração (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia)</b>		
				<b>PFD</b>	<b>PFA-1</b>	<b>FLA-1</b>
1	25/09/2008	29/10/2008	35	24	24	3/6
2	01/12/2008	14/01/2009	45	48	24	6
3	28/01/2009	18/02/2009	22	24	12	3
4	01/03/2009	18/03/2009	18	24	12	3
5	18/03/2009	06/04/2009	20	24	12	3
6	16/04/2009	02/05/2009	17	48	24	6
7	27/05/2009	17/06/2009	22	48	24	6
8	19/06/2009	22/07/2009	34	24	12	3

Tabela 19 – Síntese das carreiras e taxas de filtração – SEQ 2

Carreira de filtração	Início	Fim	Duração (dias)	Taxas de Filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	
				PFD	FLA-2
6	16/04/2009	02/05/2009	17	48	6
7	27/05/2009	26/06/2009	31	48	6
8	07/07/2009	03/08/2009	28	24	3

Conforme Tabela 18, a primeira carreira teve início em 25/09/2008 até 29/10/2008 onde houve problemas com a bomba de sucção e a carreira teve que ser interrompida, perfazendo um total de 35 dias de operação. Nesse período, as taxas de filtração nos filtros lentos variaram entre 3 e 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, devido às oscilações das vazões da bomba de sucção e ajustes da mesma. Como em 80% da carreira a taxa de filtração permaneceu com 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia, a carreira foi considerada de baixa taxa.

Também ocorreu a troca dos piezômetros que estavam obstruídos e dessa forma, nessa carreira não foram avaliadas as perdas de carga.

A segunda carreira de filtração foi operada com alta turbidez e alta taxa de filtração. A duração da carreira foi de 45 dias, tempo razoavelmente longo para essas condições. Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), as carreiras de filtração, para essas condições, apresentam duração, geralmente superior a 30 dias.

A quinta carreira foi interrompida com 20 dias de operação, pois houve ruptura na tubulação do FLA e FLAC.

### 5.1 Remoção de Turbidez

Como o objetivo principal desse trabalho foi avaliar o desempenho da tecnologia de Filtração em Múltiplas Etapas (FiME) no tratamento de águas superficiais com alta turbidez, maior ênfase foi dada a esse parâmetro.

As carreiras de filtração foram classificadas em dois grupos de baixa e alta turbidez. Se a turbidez média da água bruta durante a carreira em análise resultasse em um valor igual ou superior a 20 uT, esta carreira era classificada como de alta turbidez com base nos limites definidos pela Organização Panamericana de Saúde (OPS, 2005).

Para o cálculo da turbidez média foram somados todos os valores de turbidez obtidos nas análises e dividiu-se pelo número de eventos monitorados durante a carreira.

Os valores de turbidez média de todas as carreiras de filtração e sua classificação estão relacionados na Tabela 20.

Tabela 20 – Classificação das carreiras de filtração

Carreira de filtração	Turbidez média (uT)	Classificação (OPS, 2005)
1	9,60	Baixa
2	36,2	Alta
3	73,3	Alta
4	24,2	Alta
5	93,6	Alta
6	19,8	Baixa
7	12,8	Baixa
8	9,5	Baixa

Na Figura 25 estão apresentados os valores de turbidez medidos durante o período experimental.

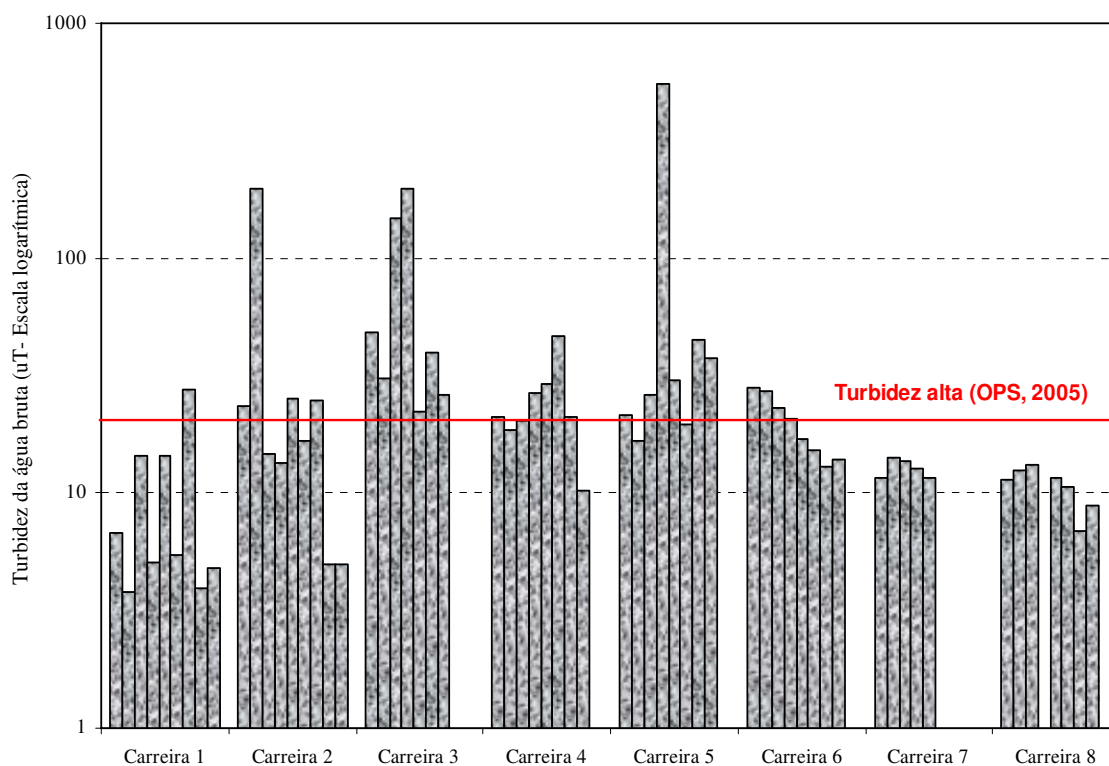


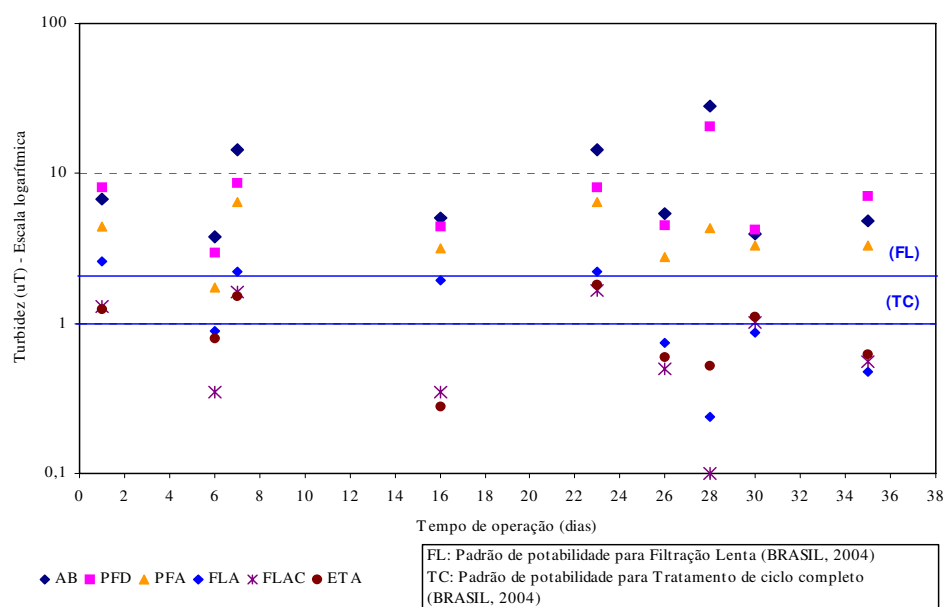
Figura 25 – Turbidez da água bruta em todas as carreiras de filtração

Em média foram realizadas 8 coletas de amostras em cada carreira de filtração. Como a Estação de FiME está localizada a 45 km de Goiânia, não foi possível a realização de coletas com maior frequência.

Durante a primeira carreira de filtração ocorreram poucas chuvas e as que ocorreram tinham baixa intensidade e a turbidez da água bruta apresentou pouca variação,

mantendo-se baixa durante todo o período. As análises das carreiras 2, 3, 4 e 5 foram realizadas em períodos de alta turbidez, em que ocorreu uma frequência maior de eventos de chuva e os parâmetros característicos da água bruta, tais como cor e turbidez variaram, assim como os efluentes de todas as unidades filtrantes. Esse fato refletiu de maneira significativa em todas as unidades do sistema. Nas carreiras 6, 7 e 8 a variação de turbidez foi pequena, mantendo-se baixa durante todo o período.

Nas Figuras 26 a 33 são indicadas a turbidez afluyente e efluente das unidades constituintes da FiME em todas as carreiras de filtração para a SEQ 1 do experimento (PFD, PFA, FLA e FLAC) e os padrões de potabilidade da água. De acordo com a Portaria n° 518/2004 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), o padrão de turbidez para a água tratada na saída das Estações de Tratamento submetidas à filtração lenta é de 2,0 uT enquanto que com tratamento de ciclo completo ou filtração rápida, o padrão de turbidez é de 1,0 uT. Estes padrões estão identificados nas Figuras 26 a 33. O conjunto completo de todos os dados de turbidez são apresentados nas Tabelas A-1 a A-11 do Apêndice A.



**Figura 26 – Turbidez afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 1ª carreira de filtração e ETA**

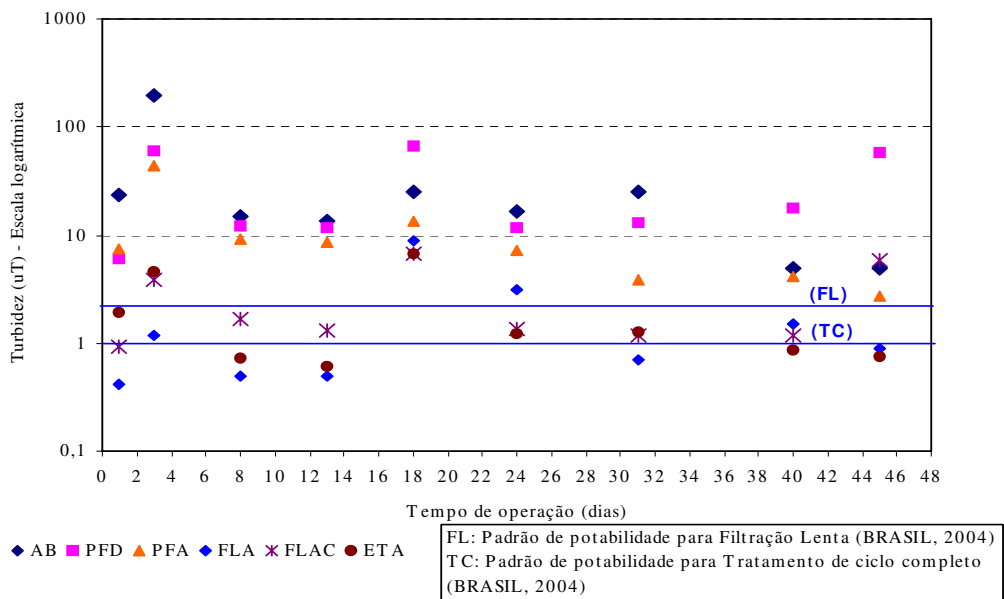


Figura 27 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 2ª carreira de filtração e ETA

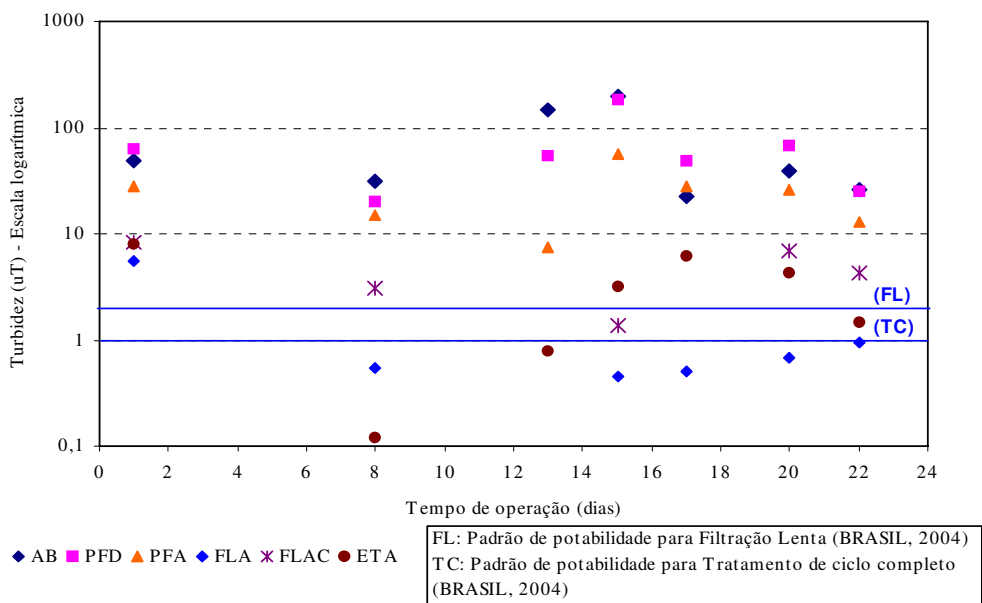


Figura 28 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 3ª carreira de filtração e ETA

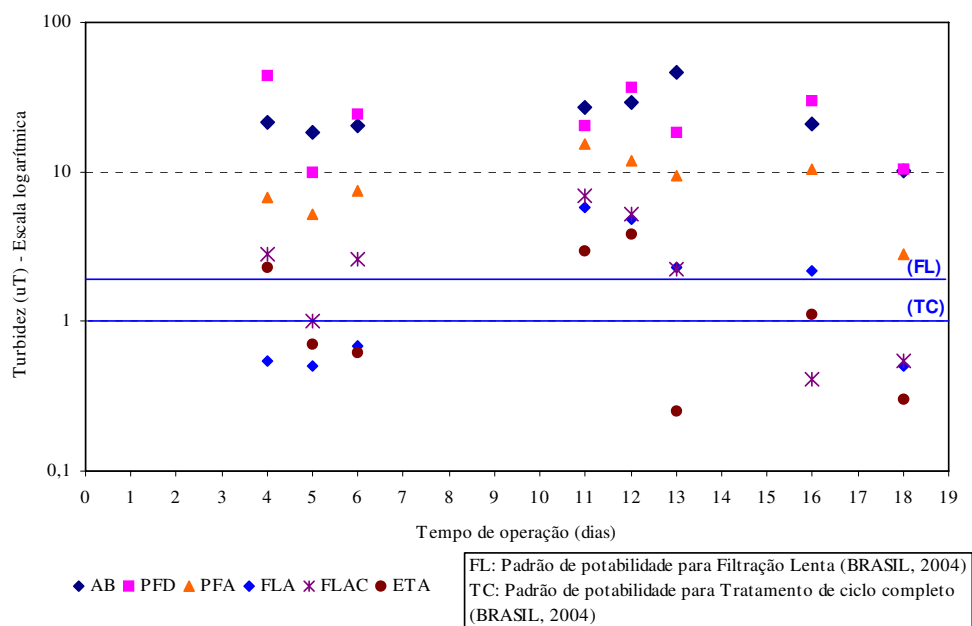


Figura 29 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 4ª carreira de filtração e ETA

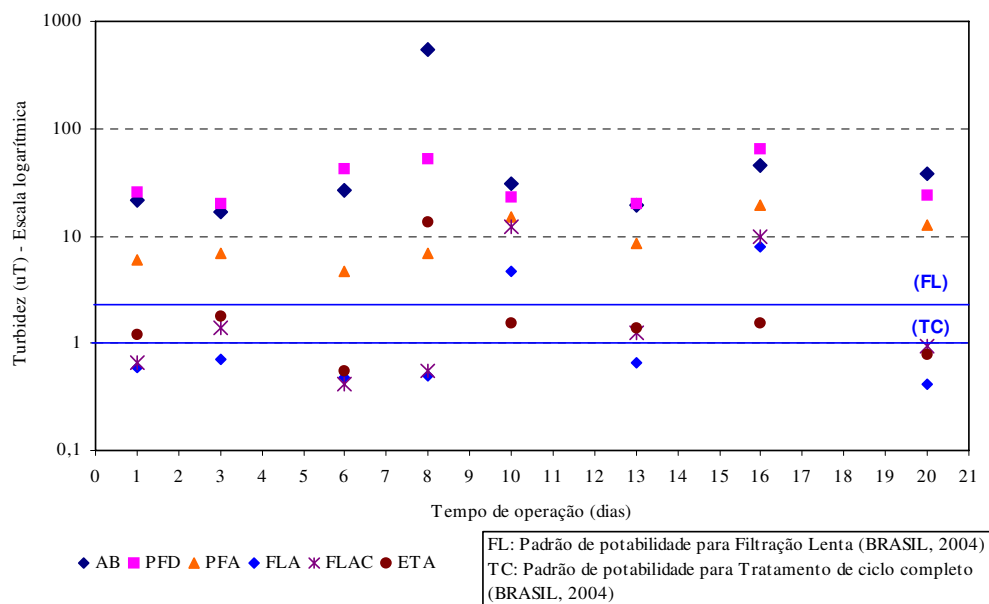


Figura 30 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 5ª carreira de filtração e ETA

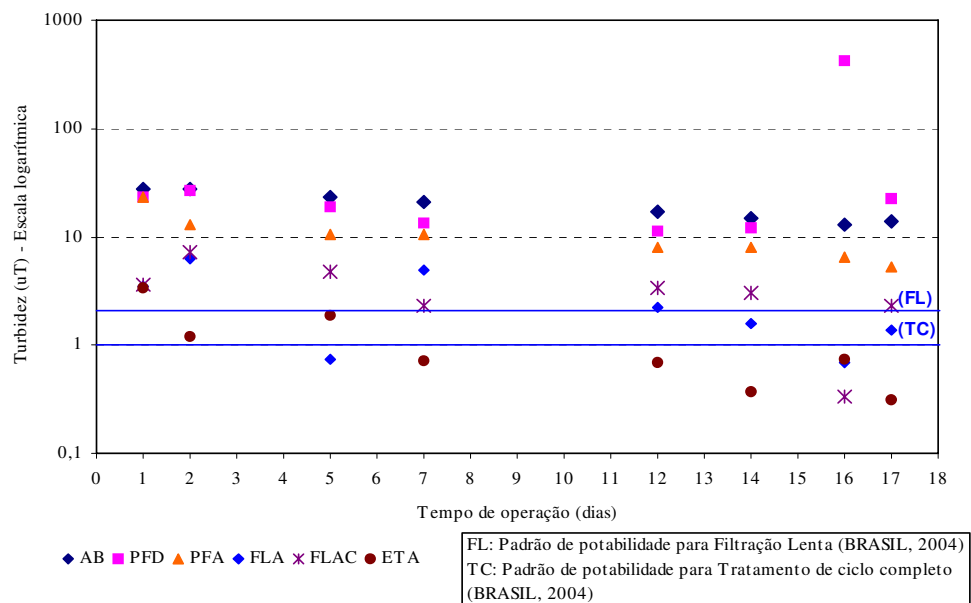


Figura 31 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 6ª carreira de filtração e ETA

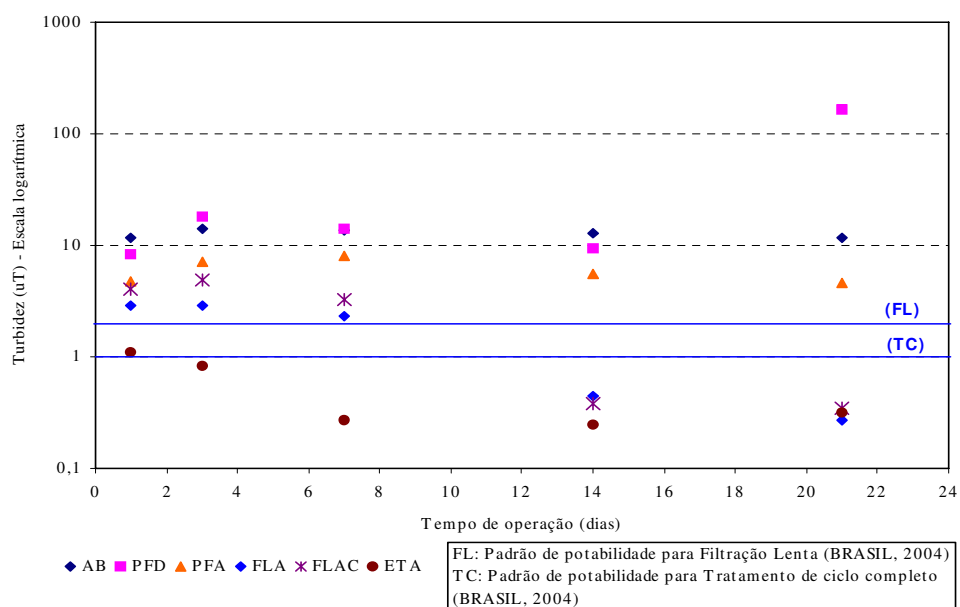
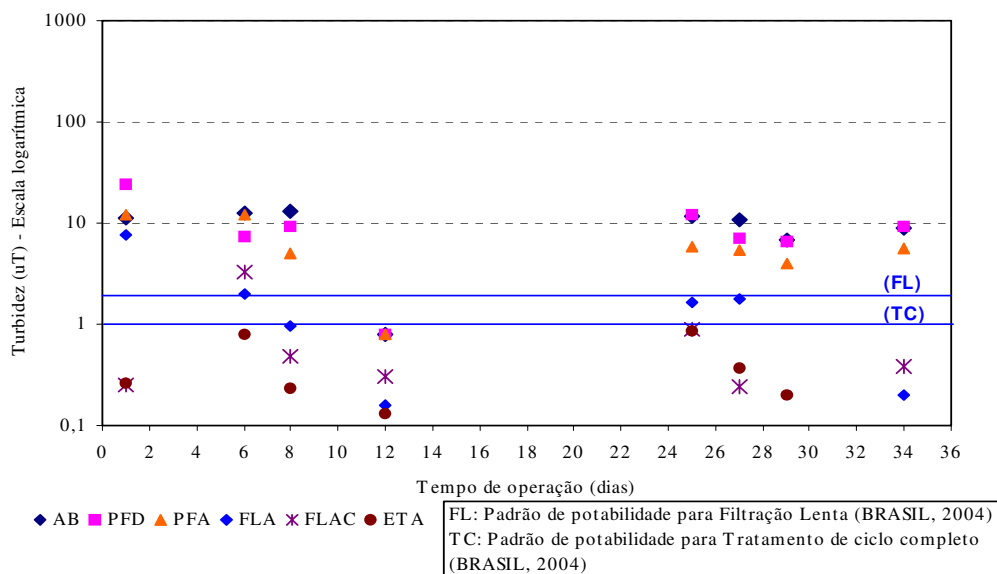


Figura 32 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 7ª carreira de filtração e ETA



**Figura 33 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 8ª carreira de filtração e ETA**

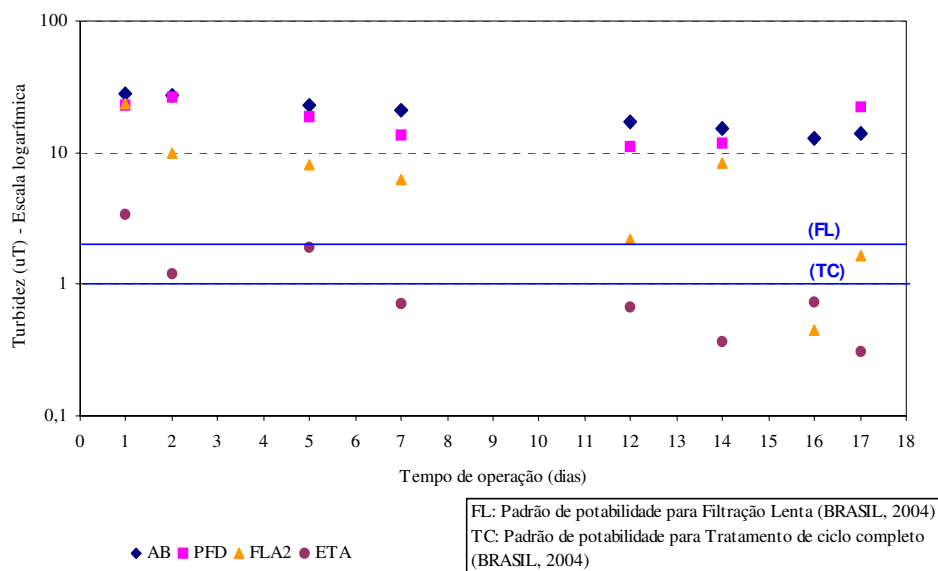
O sistema de FiME produziu água dentro dos padrões de potabilidade (BRASIL, 2004) em diversos pontos das carreiras de filtração analisadas. Nas carreiras 6 e 7, operadas com taxas de filtração alta (6 m/d), o sistema de FiME produziu água dentro dos padrões de potabilidade em apenas 50% dos eventos monitorados para a carreira 6 e 40% para a carreira 7. Em seus estudos, Brandão et al. (1998) observaram diferenças significativas na remoção de turbidez quando as carreiras eram submetidas a taxas de filtração alta (18 m/d) ou baixa (12 m/d), sendo a remoção maior quando aplicada taxa baixa nos pré-filtros. Murtha e Heller (2003), realizaram experimentos em unidades piloto operados com taxas de filtração iguais a 7,2; 4,7 e 2,3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia e concluíram que as taxas de filtração não apresentavam influência significativa nos parâmetros monitorados da qualidade da água.

As taxas de filtração de 6 m/d são permitidas quando o afluente do FLA e FLAC apresenta turbidez inferior a 5 uT e cor verdadeira menor que 5 uH. Para valores de turbidez até 10 uT, as taxa de filtração devem variar entre 3 e 5 m/d. Em casos de ocorrência de picos de turbidez do afluente de até 25 uT, é recomendado que a taxa de filtração seja de 2 a 3 m/d (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

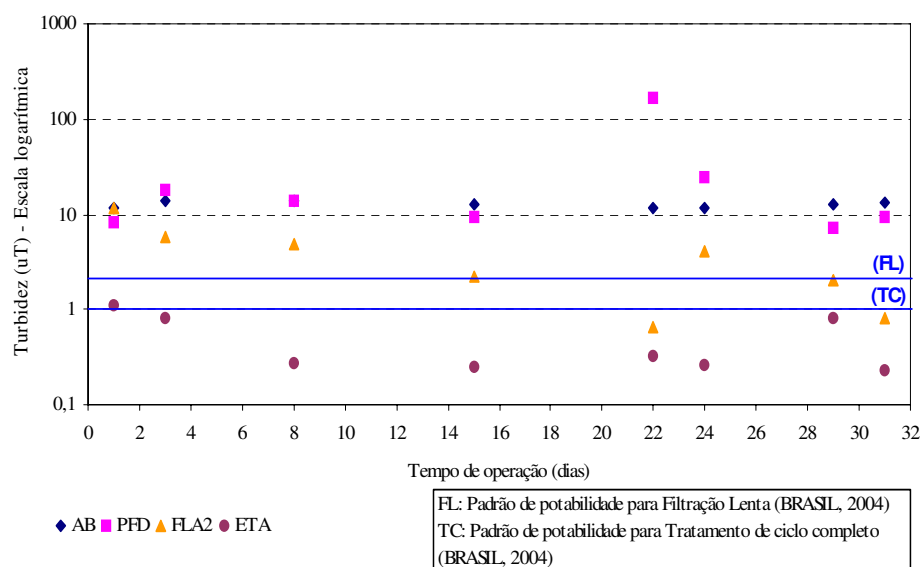
Para a SEQ 2 de experimentos não foi utilizado PFA e FLAC, sendo que a água bruta passou apenas pelo PFD e FLA-2. Nas carreiras 6 e 7 a turbidez da água bruta estava baixa e a taxa de filtração alta. Assim, na sexta carreira, apenas no 16º e 17º dia (25% dos eventos) o FLA-2 produziu efluente de acordo com a Portaria n° 518/2004 (BRASIL, 2004). Na sétima carreira, somente no 15º, 22º, 29º e 31º dias (50% das amostras) o FLA-2 produziu efluente dentro dos padrões de potabilidade. Concluiu-se portanto que, de modo geral, a SEQ

2 não produziu água potável. Os dados completos de turbidez para a SEQ 2 são apresentados nas Tabelas A-7 a A-11 do apêndice A.

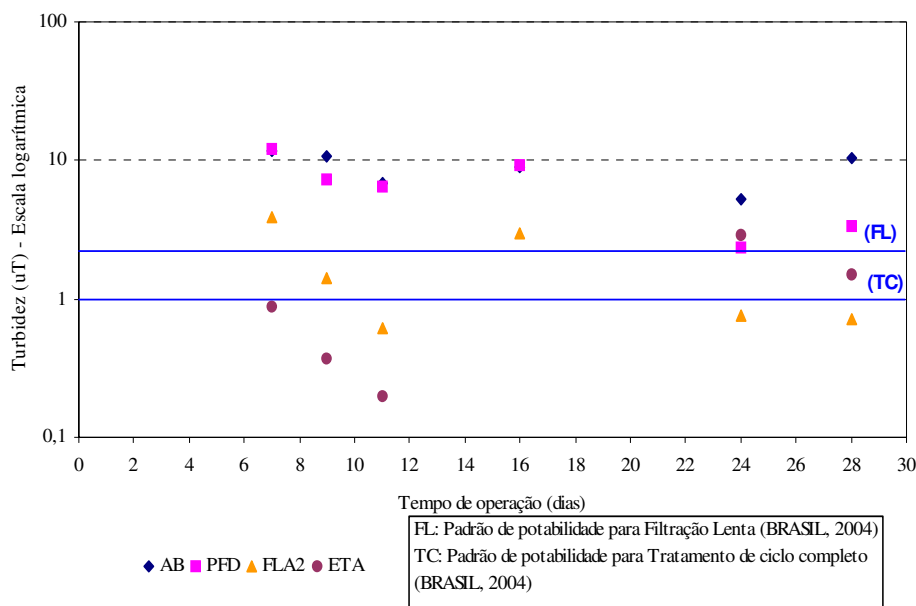
Nas Figuras 34, 35 e 36 são indicados os valores de turbidez afluente e efluente das unidades constituintes da FiME em todas as carreiras de filtração para a SEQ 2 do experimento e os padrões de potabilidade da água



**Figura 34 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 6ª carreira de filtração – SEQ 2 e ETA**



**Figura 35 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 7ª carreira de filtração – SEQ 2 e ETA**



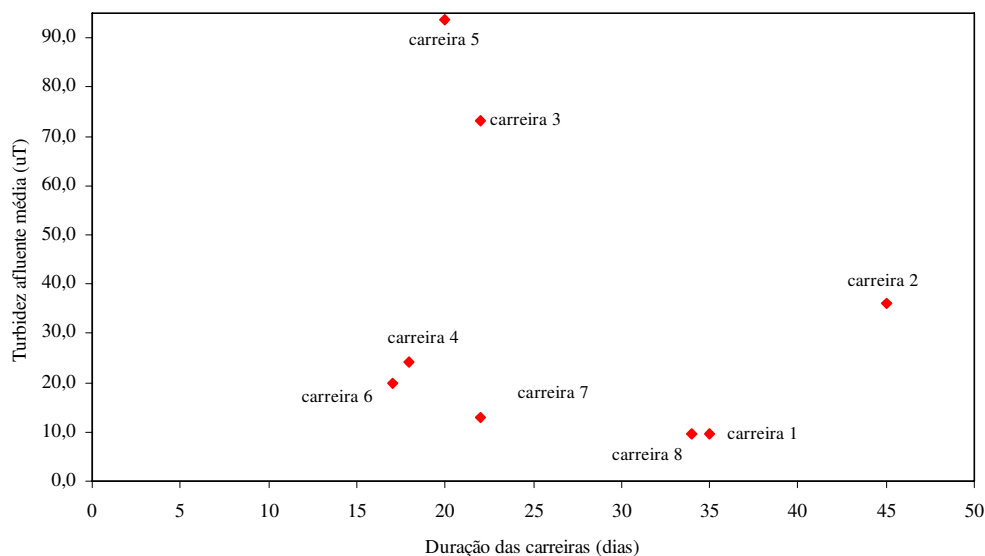
**Figura 36 – Turbidez afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 8ª carreira de filtração – SEQ 2 e ETA**

Observa-se que a ETA apresentou melhor desempenho do que o sistema de FiME, para as carreiras 6 e 7 analisadas da SEQ 2, evidenciando a importância da pré filtração antecedendo a filtração lenta.

Na oitava carreira, a turbidez da água bruta permaneceu baixa variando entre 11,7 a 5,31 uT. A taxa de filtração utilizada foi baixa, 3 m/d e produziu água dentro dos padrões de potabilidade no 9º, 11º, 24º e 28º dias, ou seja em 67% da carreira. Portanto, se forem essas as condições, ou seja, baixa turbidez e baixa taxa de filtração, é possível produzir água potável.

Nas Figuras 26 a 35 verificou-se que em alguns pontos da carreira de filtração o efluente do PFD apresentou valores de turbidez maiores que a água bruta, para a SEQ 1 e SEQ 2 do experimento. Quando esse fato ocorria, o PFD era imediatamente retirado de operação para limpeza. Atribui-se a este fato uma possível colmatação na camada superior desse meio filtrante que causa uma maior resistência hidráulica e faz com que as partículas sólidas depositadas nessa área sejam transportadas para camadas subsequentes do PFD, conferindo uma turbidez maior ao seu efluente, conforme observado por Veras e Di Bernardo (2008). Geralmente o PFD deve ser limpo após eventos de alta turbidez (PROSAB, 1999). Dessa forma, de acordo com os resultados obtidos, recomenda-se lavar o PFD a cada 4 - 6 dias para que o seu efluente esteja em condições adequadas para ser submetido aos

tratamentos subsequentes da FiME, principalmente em períodos de alta turbidez. Segundo Murtha e Heller (2003), do ponto de vista da qualidade do efluente, a turbidez afluente não parece ser limitante da tecnologia, mas pode reduzir as carreiras de filtração. Esse fato pode ser observado na Figura 37, que mostra a duração das carreiras de filtração em relação à turbidez média afluente para cada carreira de filtração para a SEQ 1 (PFD, PFA, FLA e FLAC).



**Figura 37 – Duração das carreiras de filtração em relação à turbidez média afluente – SEQ 1**

As carreiras 1 e 8, operadas com baixa taxa de filtração e baixa turbidez apresentaram comportamentos semelhantes de duração da carreira.

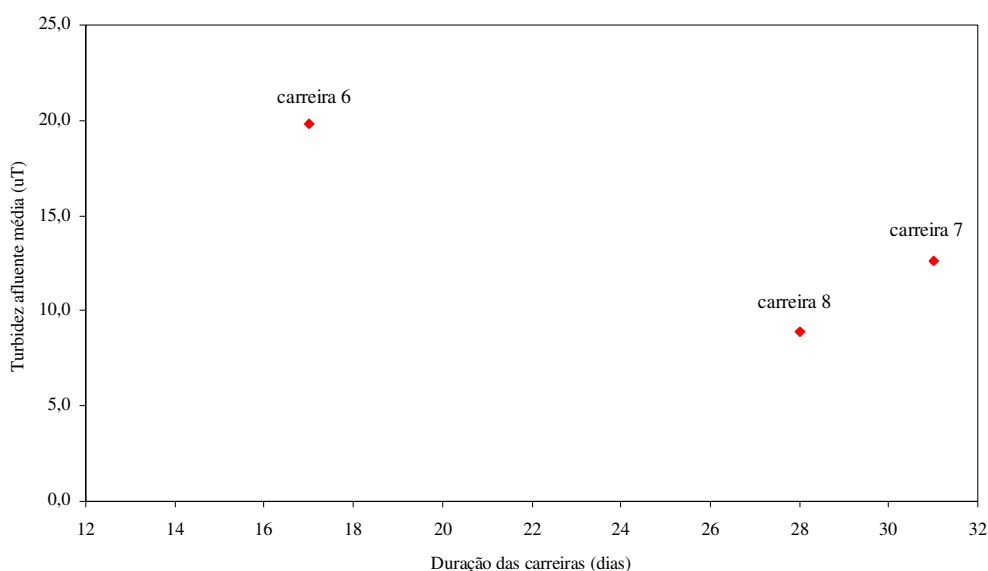
A carreira 2 (turbidez média 36,2 uT) foi considerada de alta turbidez, operada com alta taxa de filtração e a duração da carreira foi de 45 dias. O fato que pode ter contribuído para o prolongamento dessa carreira foram as limpeza freqüentes (a cada 4 dias) do PFD.

A carreira 3 (turbidez média 73,3 uT) e a carreira 5 (turbidez média 93,6 uT), mesmo sendo operadas com taxas de filtração baixa, a duração das carreira foi menor devido à alta turbidez afluente.

A carreira 4 apresentou maior evolução da perda de carga e mesmo sendo operada com turbidez média de 24,2 uT e baixa taxa, a carreira foi encerrada com 18 dias. Esse resultado pode ter sido ocasionado, principalmente pela presença de muitas folhas no interior dos filtros e pela limpeza ineficiente dos mesmos antes de iniciar a carreira.

Já as carreiras 6 e 7, operadas com alta taxa foram encerradas com 17 e 22 dias, respectivamente, evidenciando a influência das taxas de filtração na evolução das perdas de carga e término da carreira.

A Figura 38 mostra a duração das carreiras de filtração em relação à turbidez média afluyente para a SEQ 2 (PFD, FLA-2).



**Figura 38 – Duração das carreiras de filtração em relação à turbidez média afluyente – SEQ 2**

A carreira 7 da SEQ 2 (turbidez média 12,6 uT) foi considerada de baixa turbidez, operada com alta taxa de filtração e duração de 31 dias. Pode ter ocorrido uma dispersão nos dados, uma vez que a carreira 8 (turbidez média de 8,9 uT) teve uma duração menor, de 28 dias).

Nas Tabelas 21 e 22 estão relacionadas as porcentagens de remoção parcial de turbidez de cada unidade FiME e de remoção global para os dois sistemas de tratamento, FiME e ETA ciclo completo para a SEQ 1 e SEQ 2 do experimento.

As unidades mais importantes do sistema de FiME na potabilização da água foram o FLA e FLAC, como comprovado em análises estatísticas evidenciadas nas Tabelas do apêndice B e Tabelas 21 e 22. A ETA ciclo completo produziu água potável em todos os eventos monitorados, exceto quando comparado à carreira de filtração 3, produzindo água potável em apenas 28,5% dos eventos. A turbidez da água bruta permaneceu elevada durante todo esse período.

**Tabela 21 – Porcentagens de remoção parcial de turbidez de cada unidade de FiME e remoção global para os dois sistemas de tratamento – SEQ 1**

Carreira	% Remoção Parcial				% Remoção Global		
	PFD	PFA	FLA	FLAC	FiME FLA	FiME FLAC	ETA
1	15,9 – 84,6	18,8 – 79,3	38,5 – 94,4	69,7 – 97,7	61,8 – 99,1	74,5 – 99,6	71,7 – 98,1
2	12,6 – 73,8	0 – 79,4	35,0 – 97,3	51,2 – 91,4	65,1 – 99,4	73,7 – 98,1	72,9 – 97,7
3	3,8 – 63,9	25,9 – 86,3	80,6 – 100,0	71,1 – 100,0	88,6 – 100,0	82,2 – 100,0	72,1 – 99,6
4	24,6 – 60,9	23,8 – 84,7	60,0 – 91,7	55,0 – 96,1	78,2 – 97,4	82,2 – 98,0	87,0 – 99,5
5	24,3 – 90,6	34,3 – 88,9	60,2 – 96,7	18,5 – 92,5	82,7 – 99,9	59,5 – 99,9	89,1 – 97,9
6	2,6 – 35,1	0 – 98,5	51,2 – 93,0	44,8 – 95,0	76,7 – 96,9	73,6 – 97,5	87,9 – 97,8
7	27,3 – 28,6	40,9 – 97,2	38,8 – 91,8	14,3 – 93,1	75,5 – 97,7	65,6 – 97,0	90,5 – 98,0
8	0 – 42,5	0 – 52,9	37,1 – 98,7	61,3 – 98,2	32,7 – 99,3	61,3 – 99,0	83,8 – 100,0

**Tabela 22 – Porcentagens de remoção parcial de cada unidade de FiME e remoção global para os dois sistemas de tratamento – SEQ 2**

Carreira	% Remoção Parcial		% Remoção Global	
	PFD	FLA-2	FiME FLA 2	ETA
6	2,6 – 35,1	0 – 99,9	15,0 – 96,5	87,9 – 97,8
7	27,3 – 42,5	0 – 99,6	1,7 – 94,5	90,5 – 98,0
8	6,0 – 67,6	67,7 – 90,5	66,3 – 93,1	83,8 – 100,0

De maneira geral os dados mostram que: (1) a FiME apresentou elevado rendimento na remoção de turbidez para a SEQ 1 (PFD, PFA, FLA e FLAC) e SEQ 2 (PFD, FLA-2) de experimento; (2) O PFD apresentou uma grande variação de desempenho ao longo das carreiras de filtração, sendo uma unidade pouco estável na remoção de turbidez; (3) o PFA e os filtros FLA e FLAC são unidades mais estáveis apresentando menores variações e elevada remoção e (4) o FiME FLAC diminuiu sua eficiência ao longo das carreiras de filtração.

Para os filtros descendentes PFD, FLA e FLAC, a remoção de turbidez ocorre predominantemente nos 10 cm iniciais do leito filtrante, onde se concentram os mecanismos de retenção de sólidos em suspensão. Com relação ao filtro ascendente (PFA), a remoção de turbidez ocorre até os 15 cm iniciais da camada filtrante, sendo muito eficaz a remoção na camada suporte. Essa camada cumpre uma função similar à de um pré-filtro de fluxo ascendente. Isto confere ao PFA uma alta capacidade de amortecimento de picos de turbidez, como pode ser observado nas Tabelas 21 e 22 (MURTHA; HELLER, 2003). Verificou-se que para as carreiras 2 e 6, o PFA não apresentou remoção em alguns pontos analisados. Isso se deve possivelmente à coleta de amostra inadequada que foi realizada seguidamente à limpeza

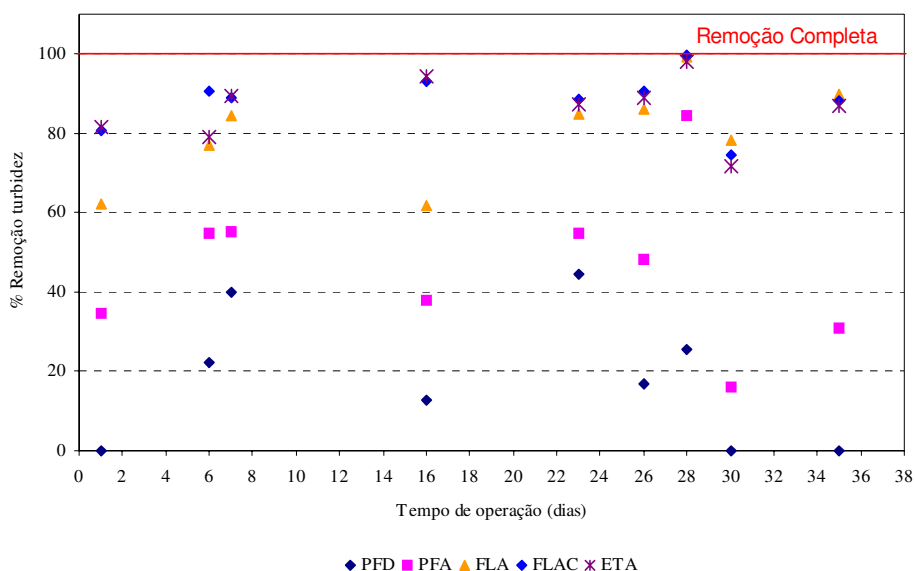
do mesmo. Com relação à carreira 8, verificou-se que a remoção de toda a carreira foi menor quando comparada às demais carreiras. Isso pode ter ocorrido devido a uma limpeza insuficiente nesse filtro, antes de iniciar a carreira.

Houve uma redução da turbidez em todas as unidades filtrantes, como mostram as Figuras 39 a 46 para a SEQ 1 e Figuras 47 a 49 para a SEQ 2. Essa remoção indicada nas figuras citadas é a acumulada em relação à água bruta, em cada unidade do sistema de FiME e ETA ciclo completo.

Um aspecto observado por Mello (1998), é que há uma tendência de maior eficiência de remoção quando a água bruta apresenta elevada turbidez. Isto também foi observado nesse trabalho, principalmente nas carreiras 3 e 5.

Para a SEQ 1 de experimento, a eficiência mínima de remoção no PFD foi de 2,6% na sexta carreira de filtração da SEQ 1 e a máxima de 90,6% na quinta carreira, compatíveis com os estudos de Coelho e Di Bernardo (2002), que obtiveram remoção de turbidez variando de 20,0 a 80,0% em sistema de FiME com condições experimentais semelhantes a esse trabalho.

Coelho e Di Bernardo (2002) e Coelho (2002) obtiveram eficiência máxima de 80,0% de remoção para o PFA. As eficiências de remoção máxima evidenciadas nesse trabalho para o PFA variaram de 98,5% na sexta carreira de filtração.



**Figura 39 – Remoção de turbidez em todas as unidades do sistema de FiME na 1ª carreira – SEQ 1 e ETA**

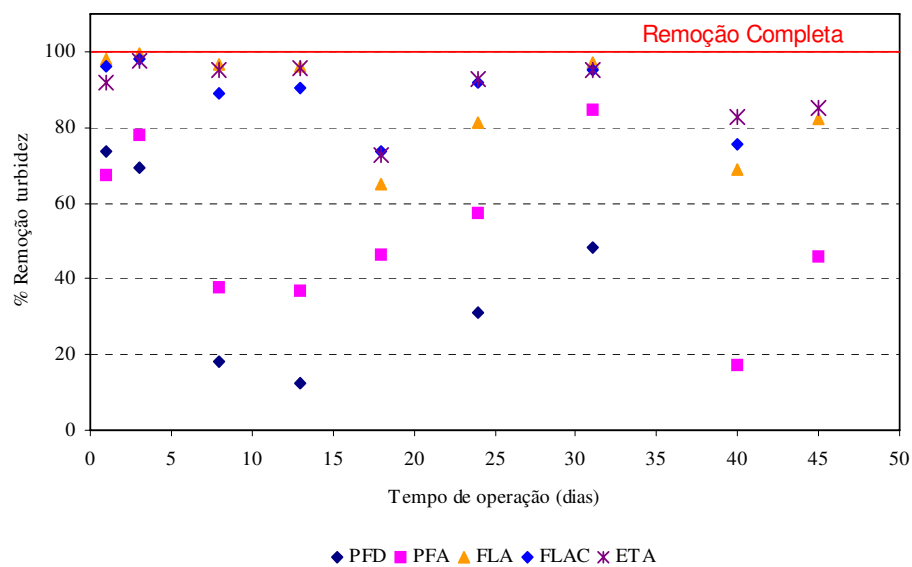


Figura 40 – Remoção de turbidez em todas as unidades do sistema de FiME na 2ª carreira – SEQ 1 e ETA

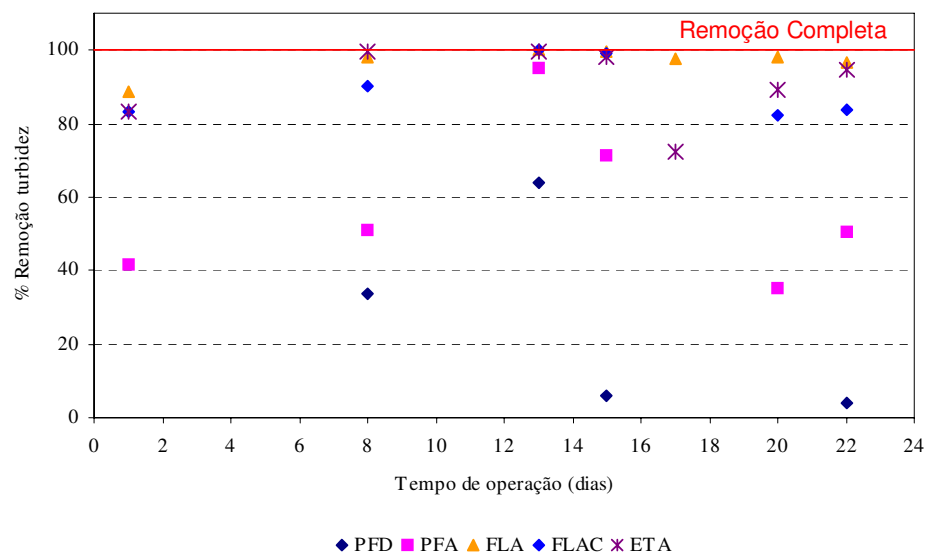


Figura 41 – Remoção de turbidez em todas as unidades do sistema de FiME na 3ª carreira- SEQ 1 e ETA

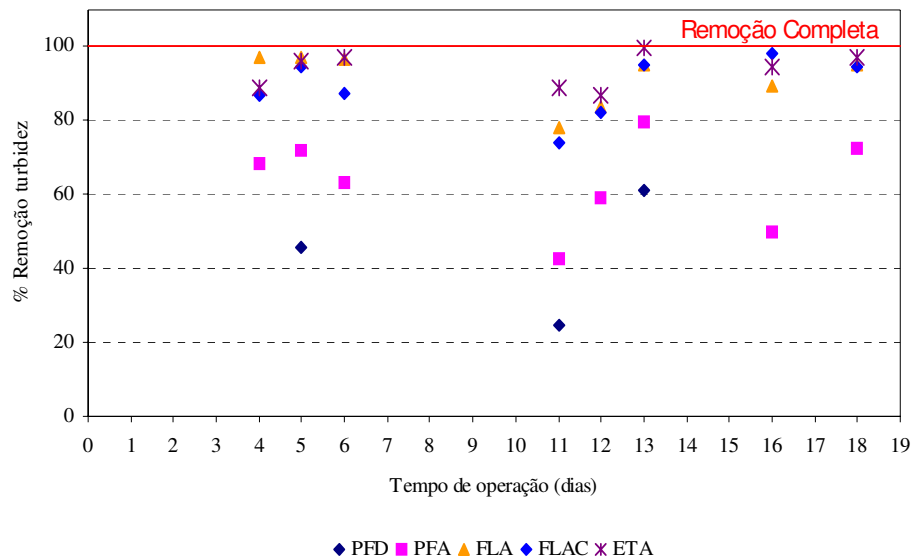


Figura 42 – Remoção de turbidez em todas as unidades do sistema de FiME na 4ª carreira- SEQ 1 e ETA

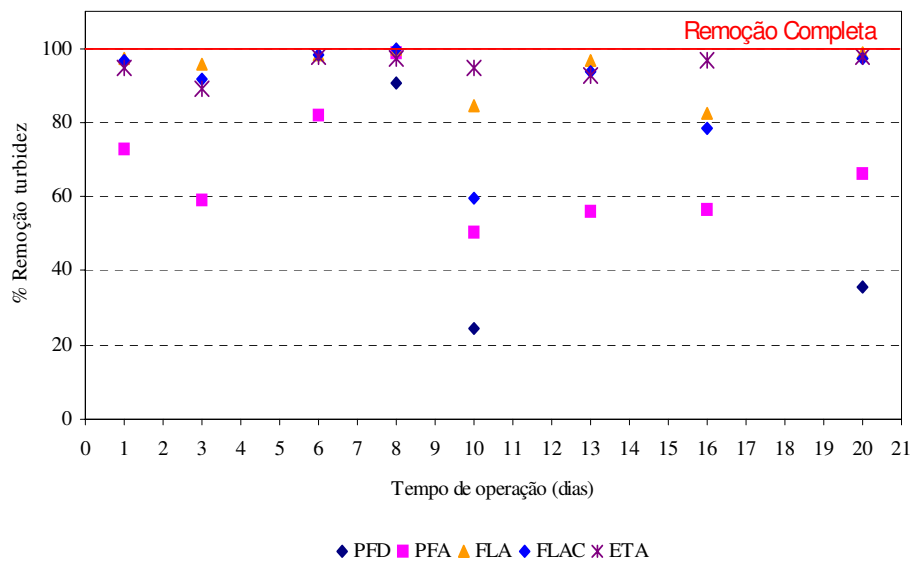


Figura 43 – Remoção de turbidez em todas as unidades do sistema de FiME na 5ª carreira- SEQ 1 e ETA

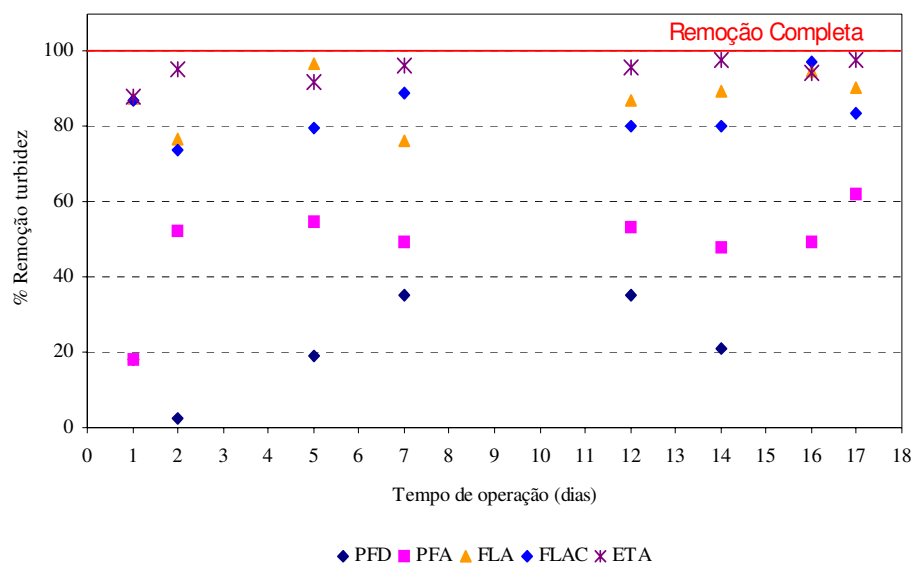


Figura 44 – Remoção de turbidez em todas as unidades do sistema de FiME na 6ª carreira- SEQ 1 e ETA

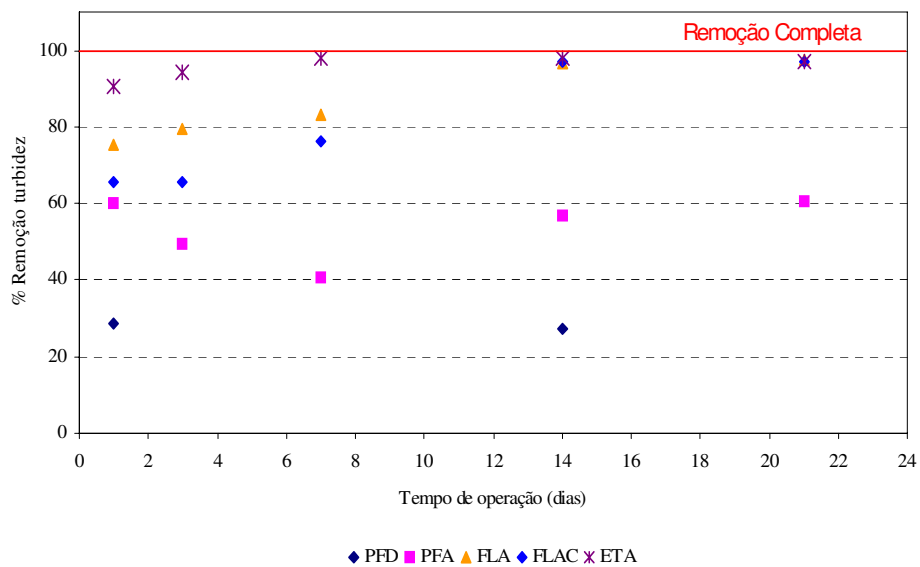


Figura 45 – Remoção de turbidez em todas as unidades do sistema de FiME na 7ª carreira- SEQ 1 e ETA

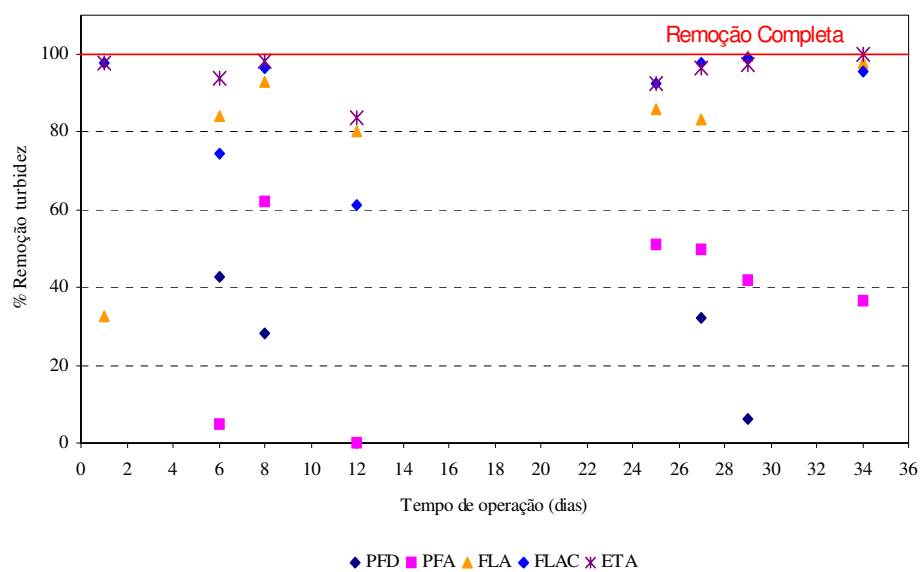


Figura 46 – Remoção de turbidez em todas as unidades do sistema de FiME na 8ª carreira- SEQ 1 e ETA

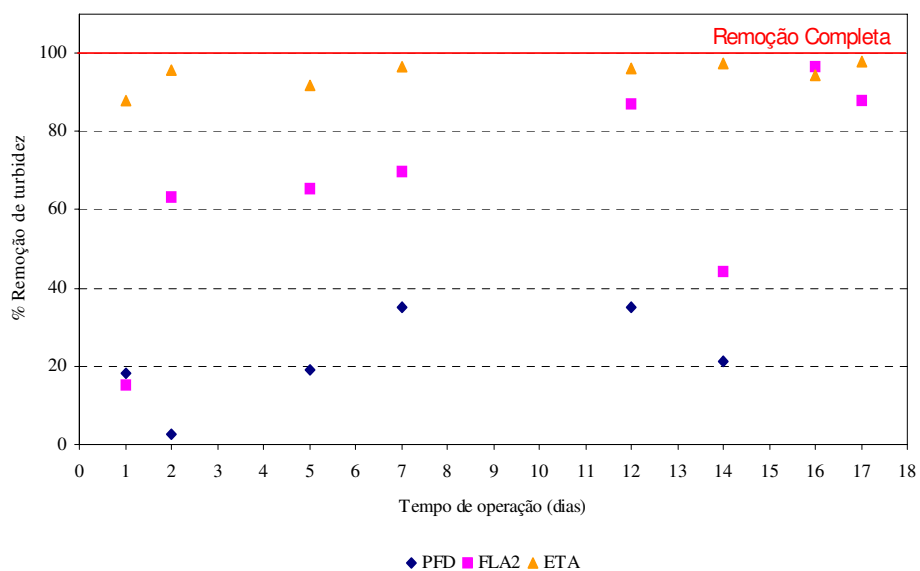


Figura 47 – Remoção de turbidez em todas as unidades FiME na 6ª carreira – SEQ 2 e ETA

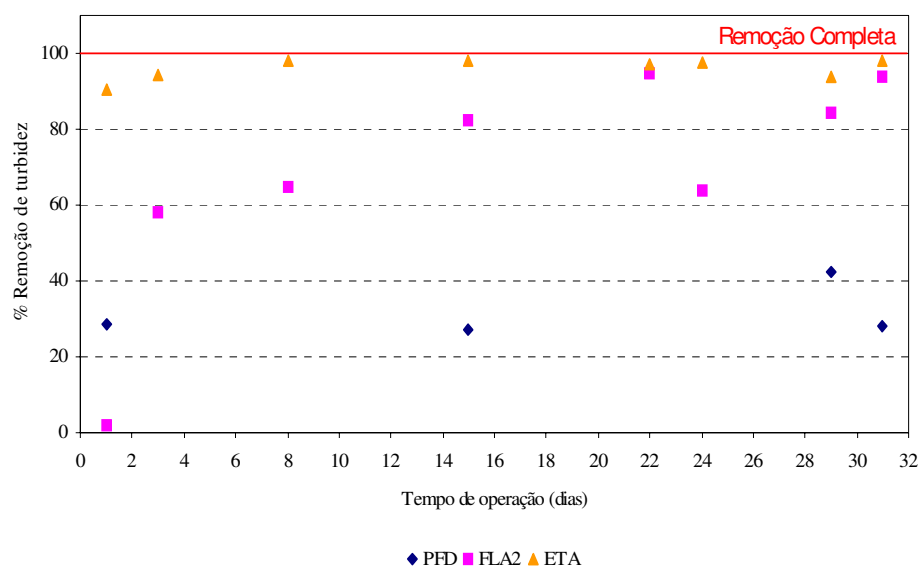


Figura 48 – Remoção de turbidez em todas as unidades FiME na 7ª carreira – SEQ 2 e ETA

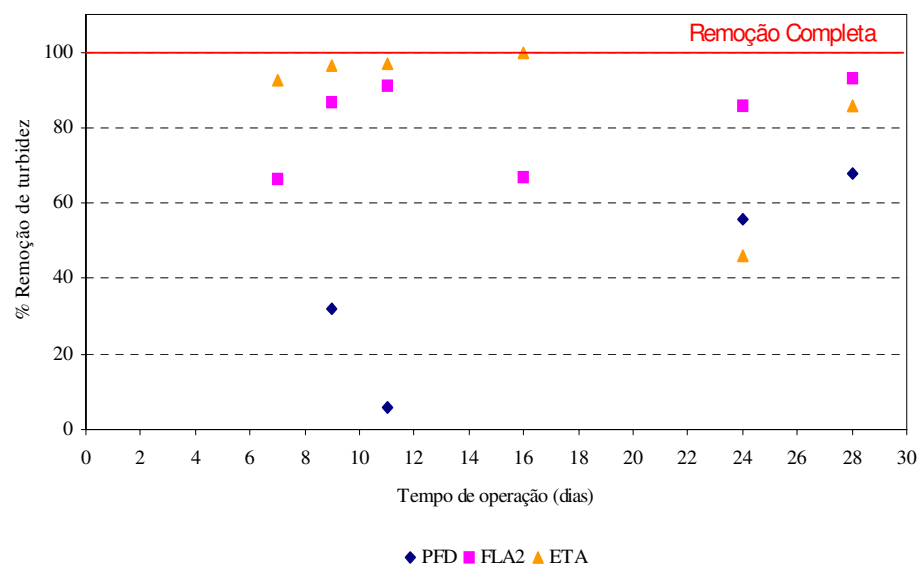


Figura 49 – Remoção de turbidez em todas as unidades FiME na 8ª carreira – SEQ 2 e ETA

As análises estatísticas efetuadas com os dados de turbidez obtidos nas carreiras têm como objetivos: (1) comparar o desempenho das unidades de filtração do sistema de FiME e ETA ciclo completo em cada carreira de filtração; (2) comparar o desempenho dos tratamentos (FiME e ETA) em períodos de alta e baixa turbidez e (3) comparar o desempenho

de cada unidade de filtração do sistema de FiME para situações de alta e baixa taxa de filtração.

Estas análises são apresentadas sequencialmente para as SEQ 1 e 2 do experimento. As comparações se basearam em um intervalo de confiança de 95%, conforme Tabelas do apêndice B.

*Para a SEQ 1 (PFD, PFA, FLA e FLAC):*

(1) Para a carreira 1, não houve diferença significativa ( $p > 0,050$ ) entre os sistemas de tratamento FiME e ETA ciclo completo. Quando comparado o FLA-1 e FLAC, houve diferença significativa ( $p < 0,050$ ) entre os tratamentos e indicaram que o FLAC apresentava melhor média de remoção de turbidez.

(2) Na segunda carreira, não houve diferenças significativas entre FiME e ETA e entre FLA-1 e FLAC;

(3) A terceira carreira não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos quando comparado FiME-FLAC com ETA mas essa diferença foi significativa quando comparado FiME-FLA-1 e ETA, sendo que a média de remoção de turbidez do FLA-1 foi melhor. A diferença foi significativa quando comparado FLA-1 e FLAC e a média de remoção para FLA-1 foi melhor do que FLAC;

(4) a quarta e quinta carreiras de filtração foram operada nas mesmas condições que a carreira anterior e não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos quando comparado FiME com ETA ciclo completo e FLA-1 com FLAC;

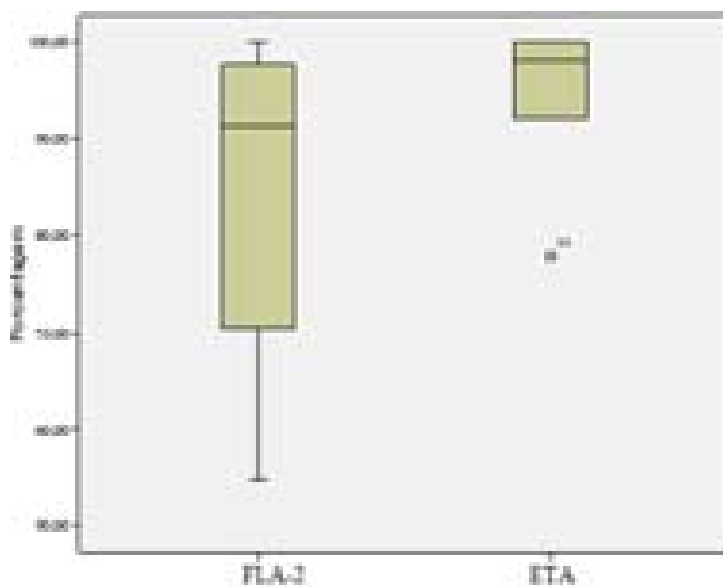
(5) A sexta e sétima carreira foram operadas nas mesmas condições e não apresentaram diferenças entre FLA-1 e FLAC quando comparadas. Apenas a sexta carreira apresentou diferença significativa entre FiME-FLAC e ETA, sendo a média de remoção de turbidez da ETA maior que FLAC;

(6) A oitava carreira não apresentou diferenças entre os tratamentos FiME e ETA ciclo completo.

De maneira geral, não se pode afirmar que houve diferenças significativas entre os sistemas de tratamento de FiME e ETA ciclo completo para as carreiras de filtração analisadas, ou seja, a FiME obteve um desempenho similar ao da ETA ciclo completo.

*Para a SEQ 2 (PFD, FLA-2):*

Para a SEQ 2 de experimento houve diferenças entre os tratamentos FiME e ETA ciclo completo, como pode ser verificado na Figura 50. A ETA teve um desempenho melhor e maior estabilidade do que a FiME FLA-2, quando operada com baixa taxa de filtração.



**Figura 50 – Box Plot de Taxa 1 (baixa) para a SEQ 2 de experimento**

Após as comparações entre as carreiras, as Tabelas B-23 a B-28 do apêndice B mostram as variações dos tratamentos para turbidez baixa (denominada turbidez 1) e turbidez alta (denominada turbidez 2) em todas as carreiras.

Para a turbidez 1 (baixa), os testes indicaram que houve diferença significativa ( $p=0,002$ ) entre a eficiência de remoção de turbidez entre FiME e ETA sendo que a melhor média de remoção foi obtida pela ETA, como pode ser também ilustrado na Figura 51. Isto significa que, embora o desempenho da FiME tenha sido elevado, para turbidez baixa a ETA foi mais eficiente. O desempenho dos dois filtros FLA-1 e FLAC foram semelhantes.

O mesmo fato ocorreu para a SEQ 2, que foi operada apenas com a turbidez baixa.

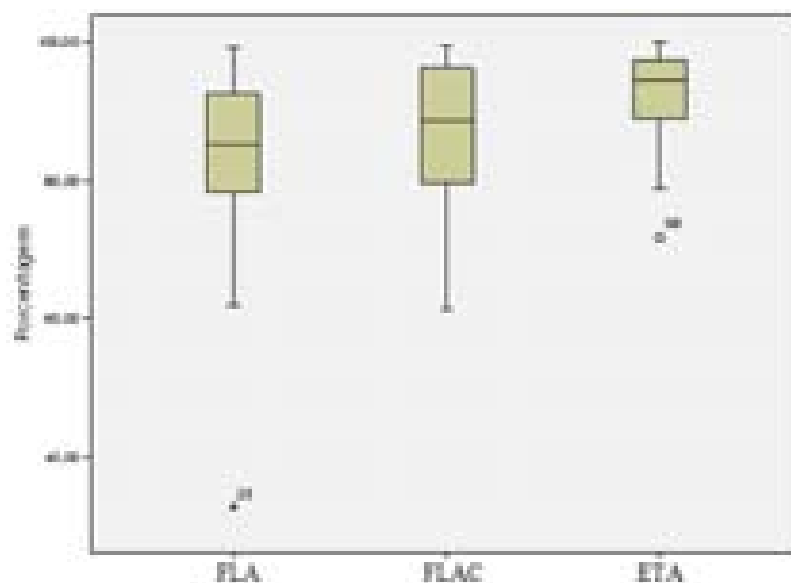


Figura 51 – *Box Plot* de Turbidez 1 (baixa) para a SEQ 1 de experimento

Para a turbidez 2 (alta), foi utilizado o teste não-paramétrico que evidenciou não haver diferença significativa entre os tratamentos FiME e ETA mas quando comparado os filtros FLA-1 e FLAC no sistema FiME, houve diferença significativa ( $p=0,003$ ) e a melhor média de remoção foi obtida por FLA-1, como pode ser observado na Figura 52.

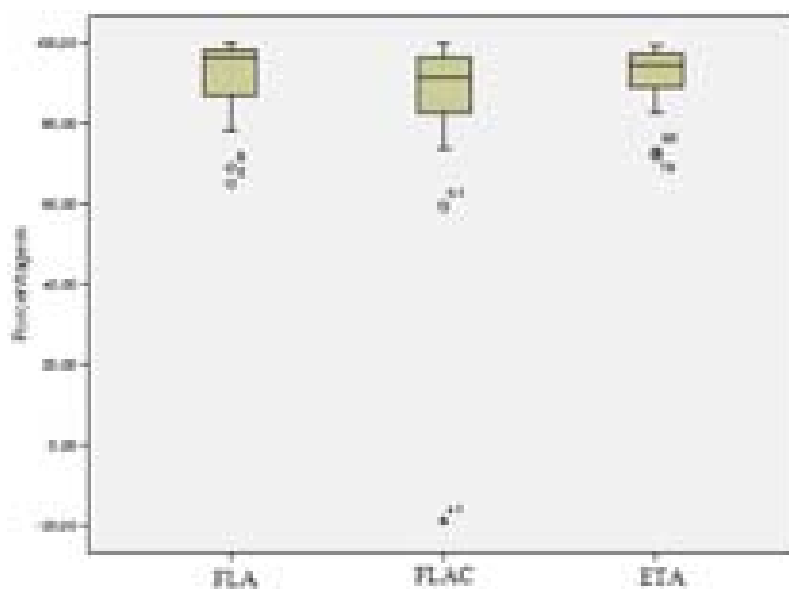


Figura 52 – *Box Plot* de Turbidez 2 (alta) para a SEQ 1 de experimento

Assim, diante dos dados obtidos nas carreiras de filtração, para situações de alta turbidez, a FiME obteve um desempenho similar ao da ETA ciclo completo.

Os testes não-paramétricos utilizados (nesse caso, os modelos paramétricos não foram suficientes para estes dados) mostraram que não houve diferença entre os tratamentos FiME e ETA ciclo completo e também entre os filtros do sistema FiME FLA-1 e FLAC quando realizada a carreira com taxa baixa, como ilustra a Figura 53. As Tabelas B-29 a B-36 do apêndice B mostram as variações de turbidez para as taxas de filtração, denominadas taxa 1 (baixa) e taxa 2 (alta).

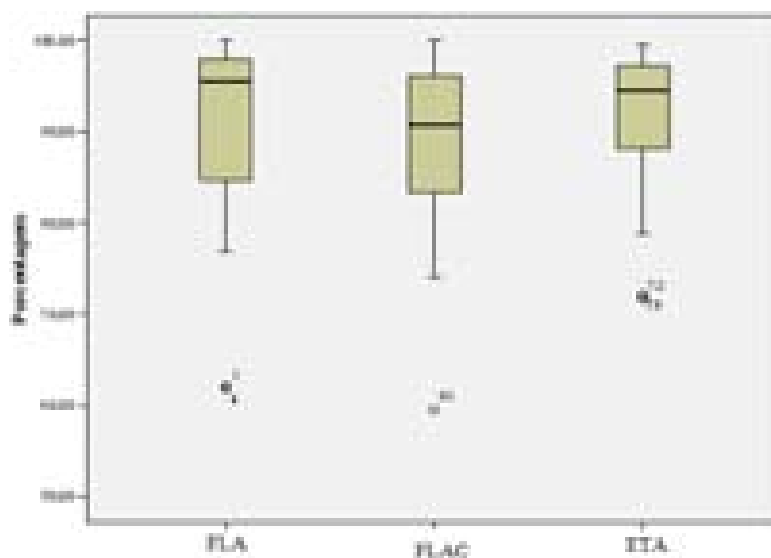
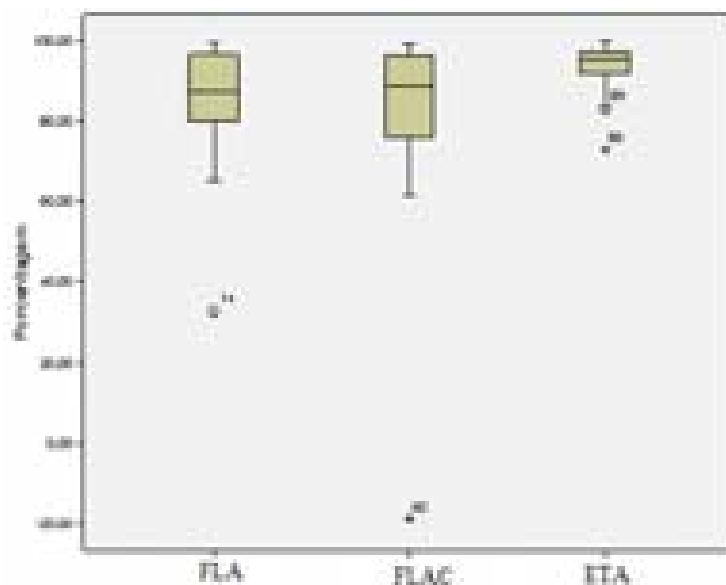


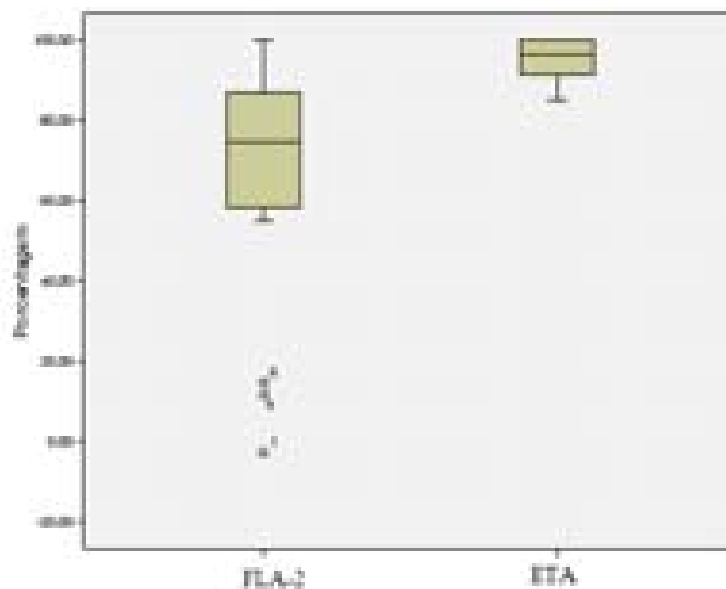
Figura 53 – Box Plot de Taxa 1 (baixa) para a SEQ 1 de experimento

Com relação à taxa 2 (alta), há diferença entre os tratamentos FiME-FLAC e ETA, sendo que a melhor média de remoção foi da ETA ciclo completo, como mostra a Figura 54. Para os demais filtros, não houve diferença significativa entre eles.



**Figura 54 – Box Plot de Taxa 2 (alta) para a SEQ 1 de experimento**

Para a SEQ 2, houve diferença significativa entre os tratamentos sendo que a melhor média de remoção foi obtida pela ETA quando comparada a FLA-2, como comprovado pela Figura 55.



**Figura 55 – Box Plot de Taxa 2 (alta) para a SEQ 2 de experimento**

Conclui-se, portanto, que taxas de filtração elevadas (nesse caso utilizou-se 6 m/d) reduzem a eficiência do sistema de FiME. Isto também ocorreu em estudos realizados por Paterniani e Conceição (2004), com filtração lenta precedida de pré-tratamento. Esses autores

concluíram que a turbidez foi reduzida em média 54% pelo pré-filtro em relação a água bruta e 96% pelo filtro lento em relação a água bruta para a taxa de filtração de 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia no filtro lento. Para a taxa de 4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, a redução média da turbidez obtida em relação a água bruta foi de 62% no pré-filtro e 93% no filtro lento.

## 5.2 Remoção de Cor Aparente

Apesar de todas as vantagens da tecnologia de FiME, existem algumas limitações atribuídas à filtração lenta que podem contribuir para um mal desempenho do sistema e afetar a qualidade da água tratada. Visscher et al. (1996), sugerem como valor de cor aparente para água bruta, 60 uH com picos de até 230 uH para águas submetidas à tecnologia FiME.

A água bruta apresentou cor aparente elevada na maior parte do período experimental, apresentando picos em diversos momentos.

A Figura 56 mostra a variação de cor aparente da água bruta em todas as carreiras de filtração. A água bruta apresentou cor aparente elevada na maior parte do período experimental, apresentando picos em diversos momentos, especialmente nas carreiras 2, 3, 4 e 5.

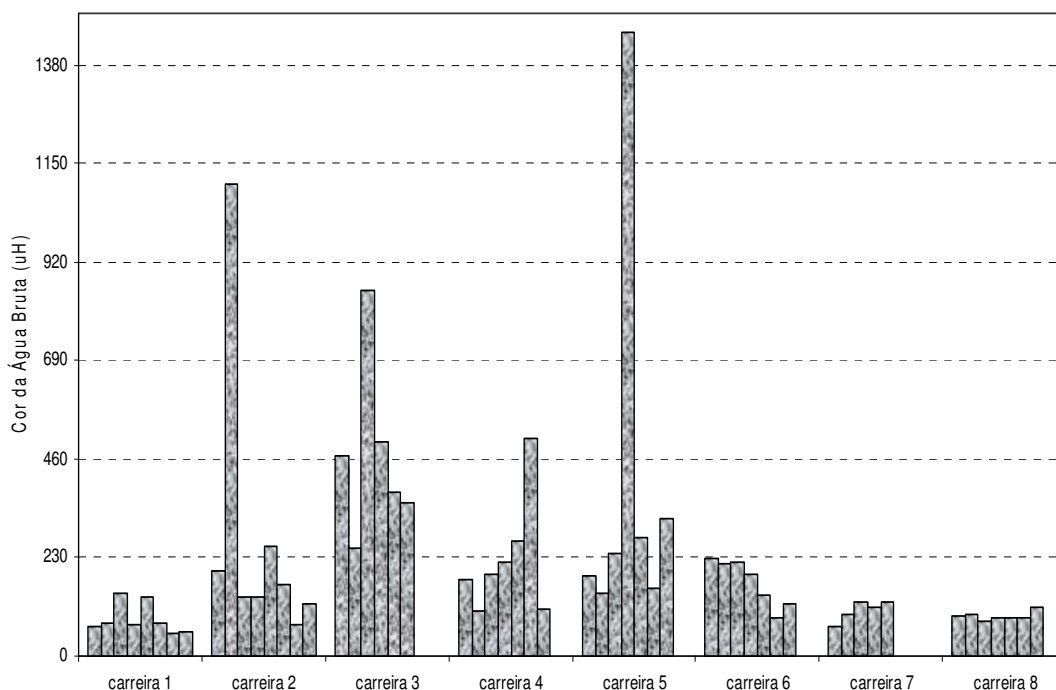


Figura 56 – Cor aparente da água bruta em todas as carreiras de filtração

Para cada carreira foram realizadas, em média, 8 amostragens da qualidade da água bruta.

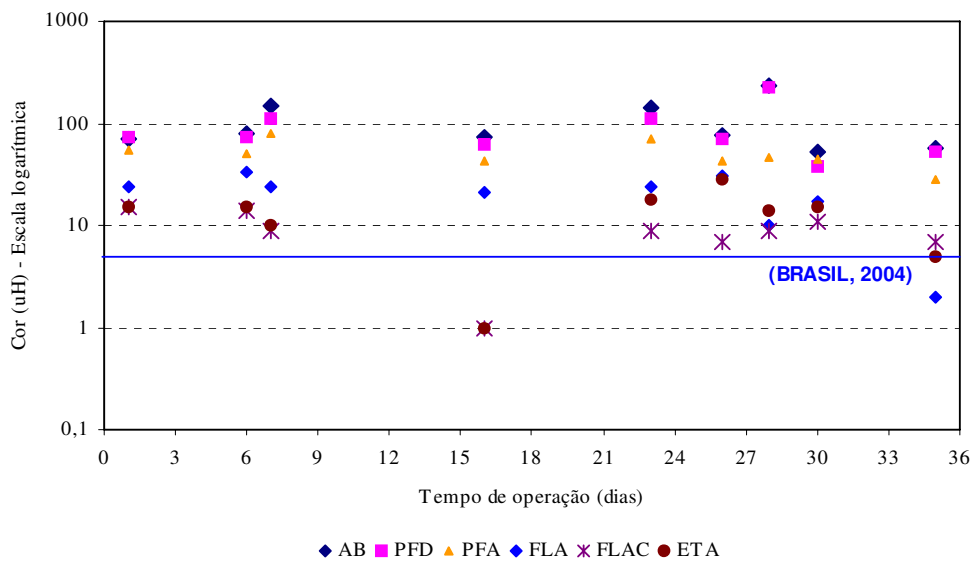
Na primeira carreira de filtração, em que a cor aparente variou de 53 a 232 uH, ocorreram poucas chuvas e de baixa intensidade e a cor aparente da água bruta apresentou pouca variação, mantendo-se baixa nesse período. As análises das carreiras 2, 3, 4 e 5 foram realizadas em períodos de alta turbidez, em que ocorreu uma frequência maior de eventos de chuva e os parâmetros característicos da água bruta, tais como cor aparente e turbidez variaram, assim como os efluentes de todas as unidades filtrantes. Esse fato refletiu na eficiência das unidades do sistema. As carreiras de filtração 2 (valores de cor aparente variando de 62 a 1100 uH), carreira 3 (valores de cor aparente variando de 239 a 855 uH), carreira 4 (valores de cor aparente variando de 104 a 510 uH) e carreira 5 (valores de cor aparente variando de 146 a 1455 uH) apresentaram valores superiores à faixa recomendada por Visscher et al. (1996).

Na carreira 6 (cor aparente variando de 88 a 226 uH) a cor aparente permaneceu elevada, segundo Visscher et al. (1996), mesmo sendo operada em período de baixa turbidez.

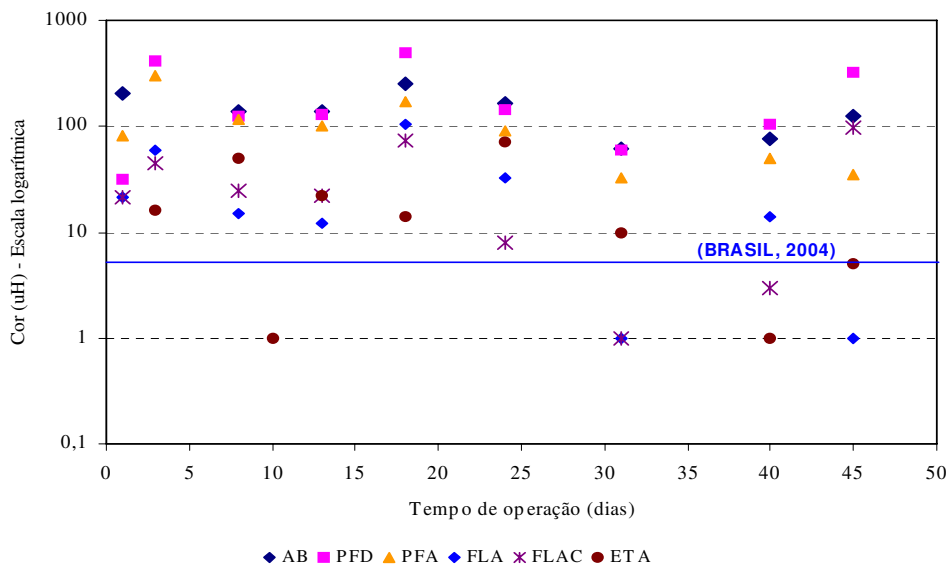
Nas carreiras 7 (cor aparente variando de 68 a 127 uH) e 8 (cor aparente variando de 81 a 117 uH) a cor aparente permaneceu com valores semelhantes aos recomendados para essa tecnologia de tratamento durante todo o período.

Nas Figuras 57 a 64 são indicadas a cor aparente afluente e efluente das unidades constituintes da FiME em todas as carreiras de filtração para a SEQ 1 de experimento (PFD, PFA, FLA e FLAC) e os padrões de potabilidade da água. De acordo com a Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), o padrão de cor aparente para a água tratada na saída das Estações de Tratamento é de 5,0 uH e 15,0 uH nas redes de distribuição. O mesmo padrão é utilizado para águas submetidas à filtração lenta. Estes padrões estão indicados nas Figuras 57 a 67.

Os valores de cor aparente obtidos em todas as unidades filtrantes das carreiras de filtração utilizados na confecção dos gráficos são apresentados nas Tabelas A-12 a A-22 do apêndice A.



**Figura 57 – Cor afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 1ª carreira de filtração e ETA**



**Figura 58 – Cor afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 2ª carreira de filtração e ETA**

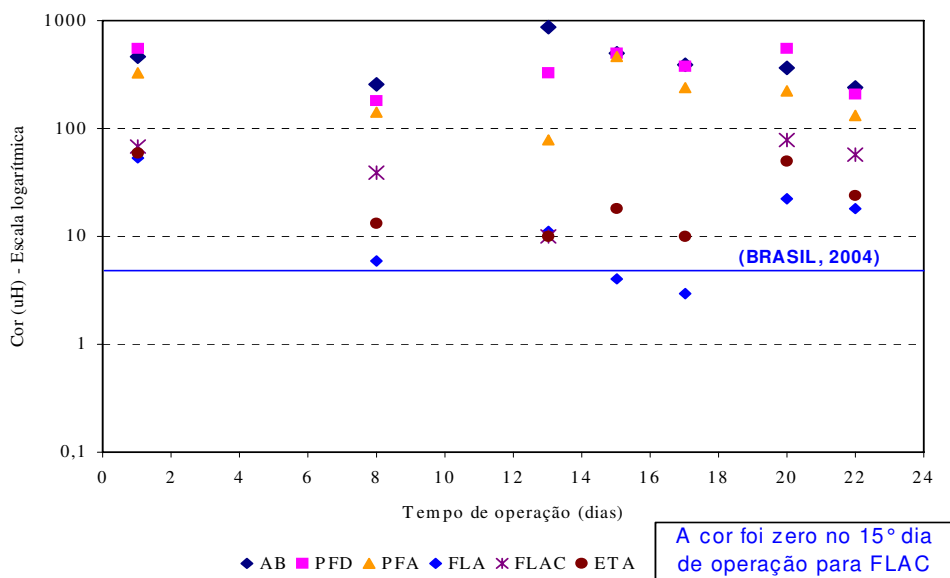


Figura 59 – Cor afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 3ª carreira de filtração e ETA

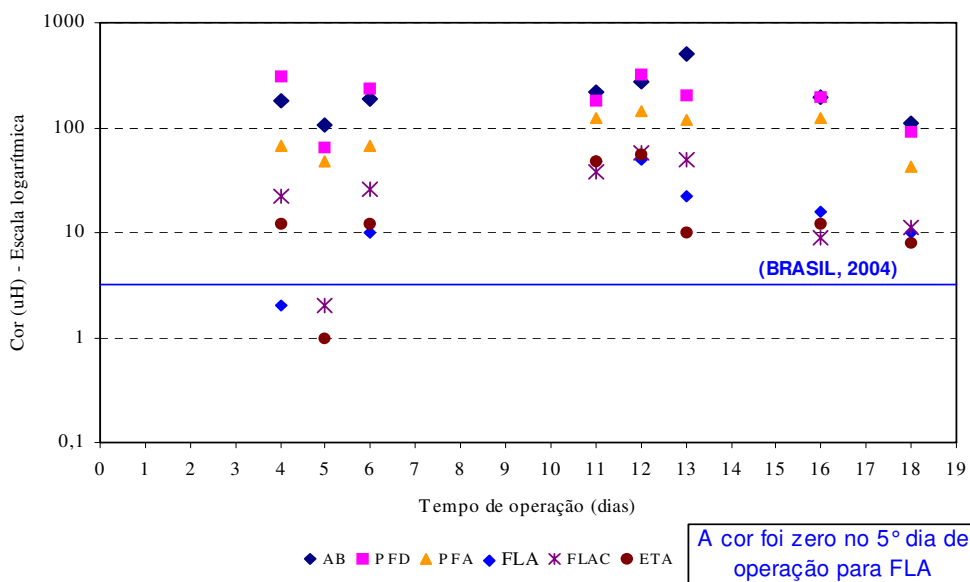


Figura 60 – Cor afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 4ª carreira de filtração e ETA

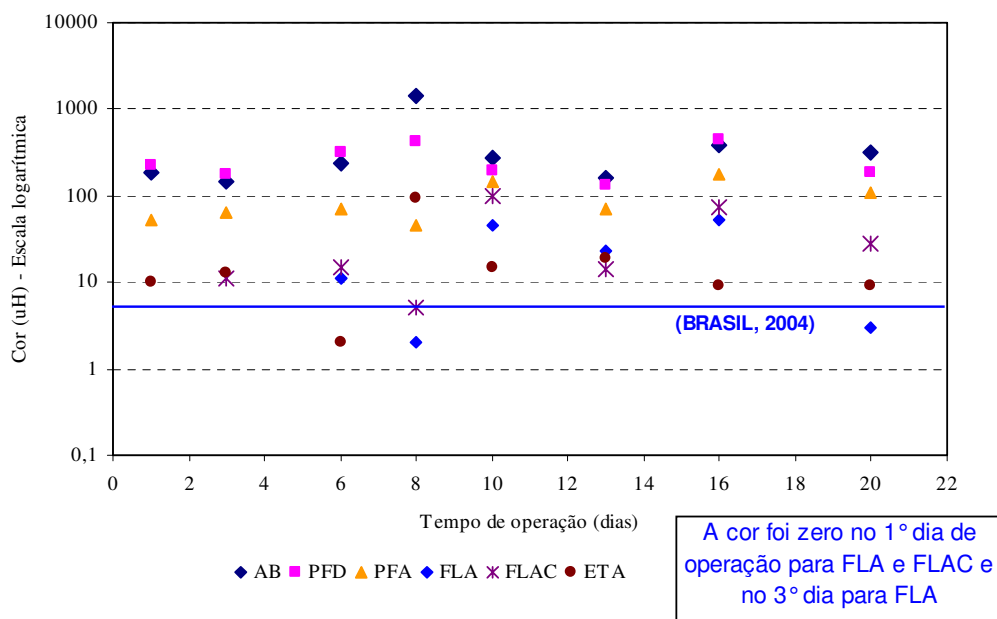


Figura 61 – Cor afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 5ª carreira de filtração e ETA

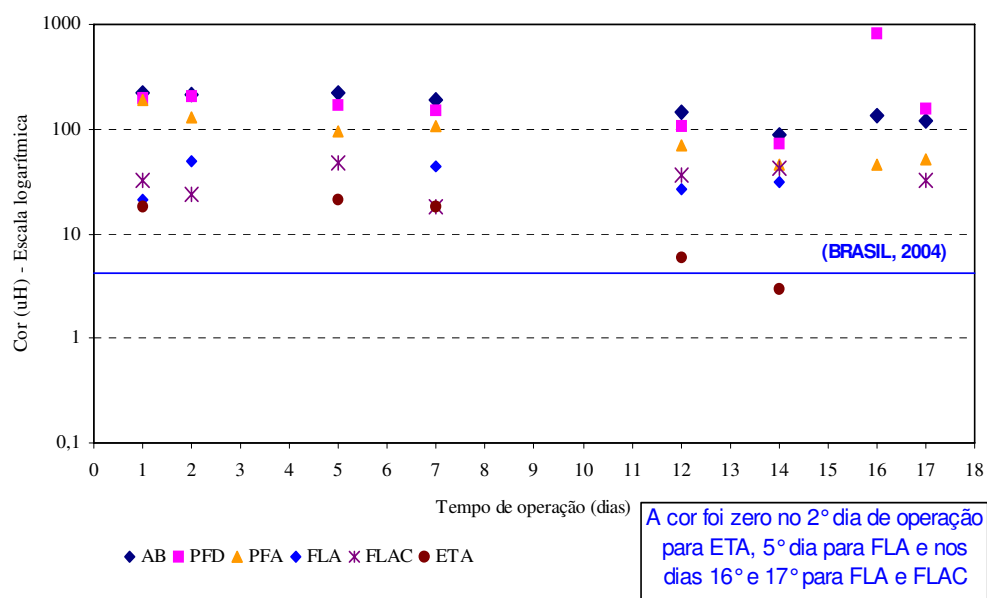
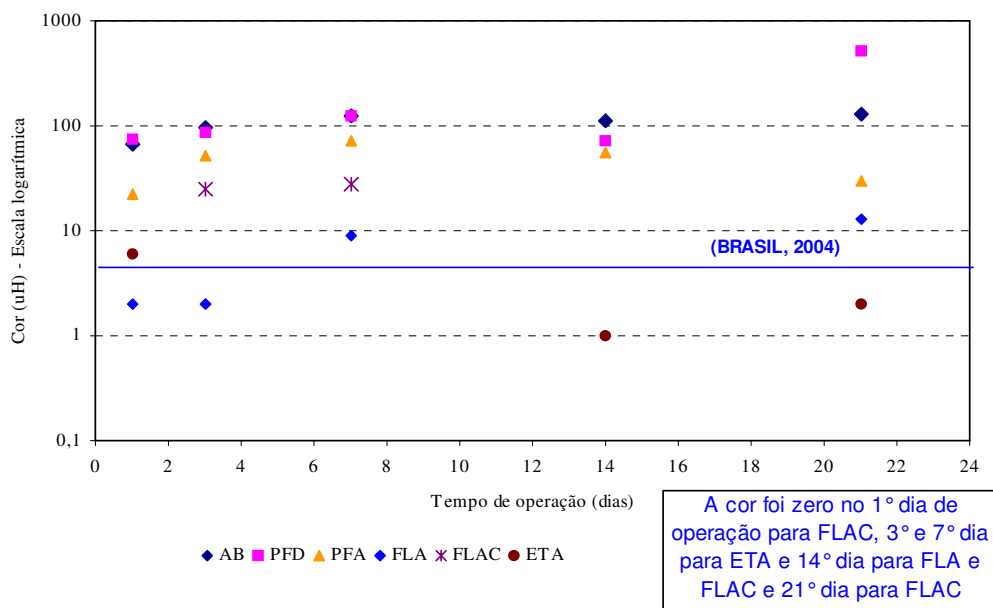
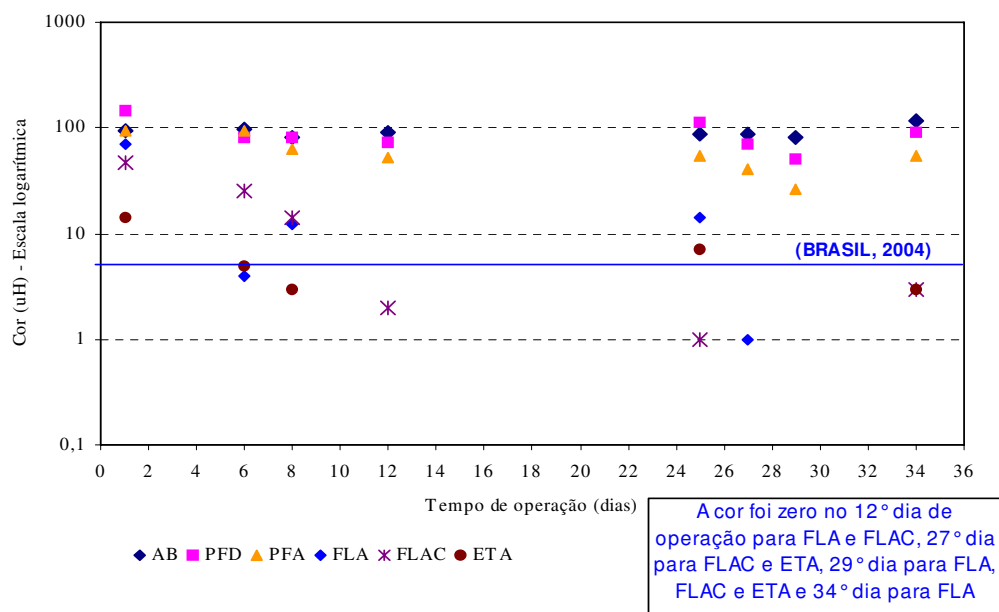


Figura 62 – Cor afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 6ª carreira de filtração e ETA



**Figura 63 – Cor afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 7ª carreira de filtração e ETA**



**Figura 64 – Cor afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 8ª carreira de filtração e ETA**

O sistema de FiME não foi eficiente na produção de água dentro dos padrões de potabilidade (BRASIL, 2004) para cor em praticamente todas as carreiras de filtração analisadas. O mesmo resultado foi encontrado em estudos de Perez (2009).

A água bruta apresentou picos de cor durante todo o período experimental e a água afluyente aos filtros lentos (FLA-1 e FLA-2) e FLAC não foram inferiores a 5,0 uH, como recomendado por Di Bernardo (1993) para o bom funcionamento da filtração lenta.

A primeira carreira apresentou valores de água bruta indicados por Visscher et al. (1996) para águas submetidas ao sistema de FiME mas produziu apenas 12,5% de água dentro dos padrões de potabilidade. Esse fato pode ter sido motivado pelos problemas operacionais de funcionamento da estação e variação das taxas de filtração.

A FiME produziu água dentro dos padrões de potabilidade de acordo com a Portaria n° 518/2004 (BRASIL, 2004) em apenas 50% dos eventos monitorados para a carreira 5, operada com baixa taxa, alta turbidez e picos de cor atingindo 1455 uH.

A carreira de filtração 2 (produção de água dentro dos padrões em 22,3% dos eventos), a carreira 6 (produção de água dentro dos padrões em 37,5% dos eventos) e a carreira 7 (produção de água dentro dos padrões em 80% dos eventos) foram operadas com taxas de filtração de 6 m/d, que são permitidas quando o afluyente do FLA e FLAC possui cor verdadeira menor que 5 uH (DI BERNARDO, 1993; DI BERNARDO e DANTAS, 2005), o que não ocorreu nesse período. Dessa forma e de acordo com as análises estatísticas, verificou-se que as variações das taxas de filtração influenciaram, diminuindo a performance dos FLA e FLAC.

Com relação às carreiras de filtração 3 e 4, ambas operadas com alta turbidez e baixa taxa, a produção de água potável foi de 42,9% para a carreira 3 e 25,0% para a carreira 4.

Na carreira 8, a produção de água potável foi de 62,5% e essa carreira foi operada com baixa taxa e baixa turbidez.

A ETA ciclo completo produziu água potável em poucos eventos monitorados e quando comparado às carreiras de filtração 7 e 8, verifica-se que produziu água potável em 80% dos eventos. Essas carreiras foram operadas em baixa turbidez.

Dessa forma, comparando os resultados obtidos com as análises estatísticas, pode-se concluir que a ETA foi mais eficiente na remoção de cor para situações de baixa turbidez.

Essas razões motivaram estudos com oxidantes antes da filtração. A filtração lenta com pré-ozonização tem sido utilizada quando a água bruta apresenta elevada cor de origem orgânica (TANGERINO, 2003).

Nas Figuras 65 a 67 são indicadas cor afluente e efluente das unidades constituintes da FiME em todas as carreiras de filtração para a SEQ 2 de experimento (PFD, FLA-2) e os padrões de potabilidade da água.

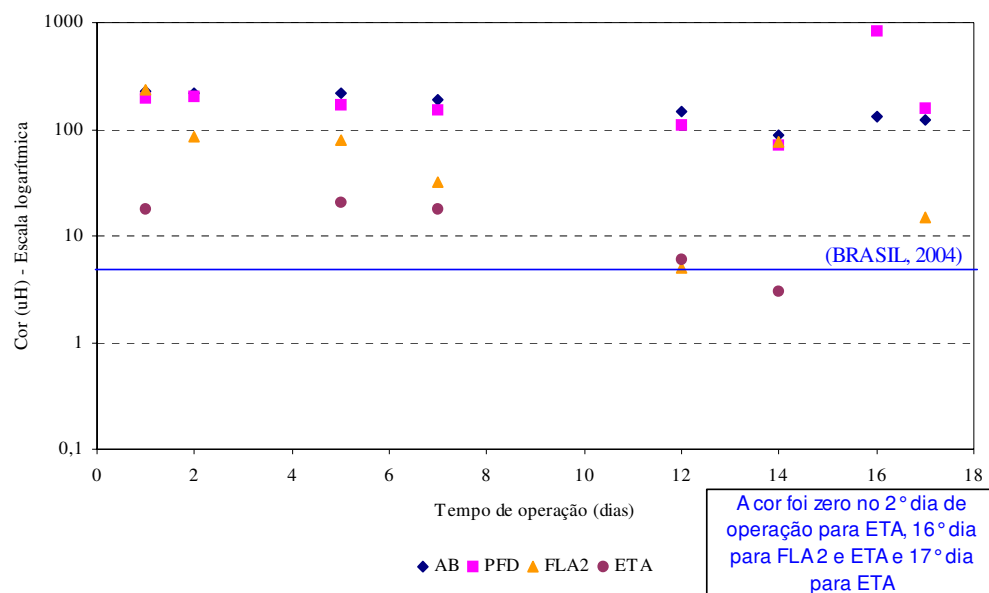


Figura 65 – Cor afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 6ª carreira de filtração – SEQ 2 e ETA

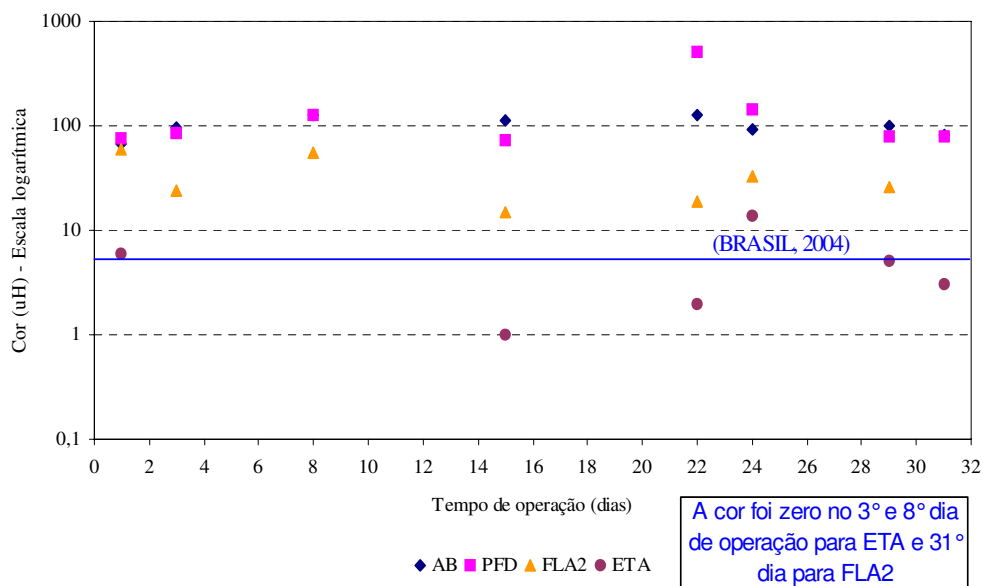
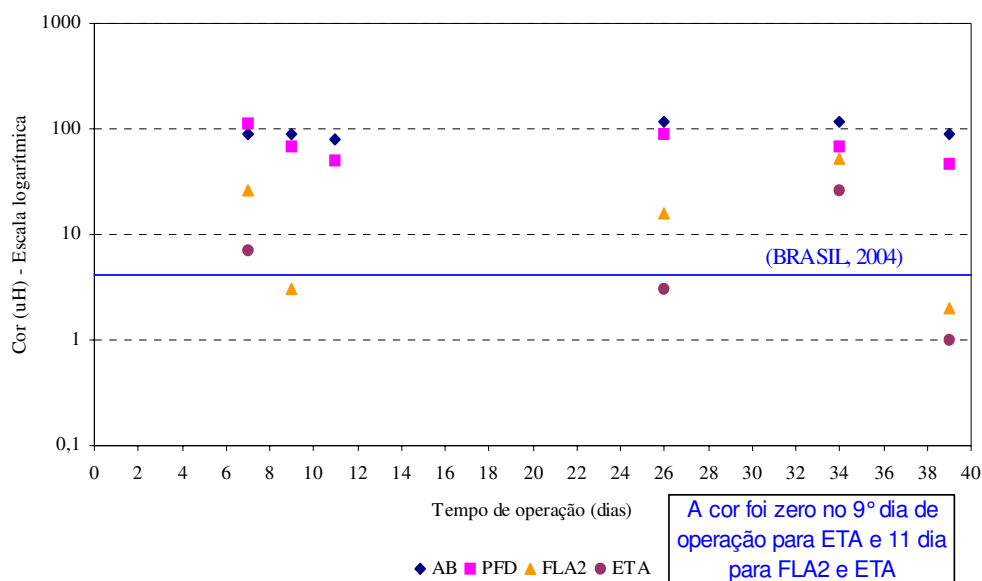


Figura 66 – Cor afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 7ª carreira de filtração – SEQ 2 e ETA



**Figura 67 – Cor afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 8ª carreira de filtração – SEQ 2 e ETA**

Para a SEQ 2 de experimentos não foi utilizado PFA e FLAC, sendo que a água bruta passou apenas pelo PFD e FLA-2. A ETA ciclo completo produziu água potável em: (1) 50% dos eventos monitorados das carreiras 6 e 8 e (2) 87,5% quando comparada à carreira 7. Esses resultados foram compatíveis com os verificados para a SEQ 1 e a taxa de filtração teve influência nos resultados, uma vez que a carreira 7 foi operada com alta taxa de filtração e a carreira 8, com baixa taxa de filtração.

Nas Figuras 57 a 67 verificou-se que em alguns eventos da carreira de filtração a cor do efluente do PFD se apresentava maior que a cor da água bruta. Da mesma forma como ocorria com a turbidez, uma possível colmatação na camada superior desse meio filtrante ocasionou resistência hidráulica e fez com que as partículas sólidas depositadas nessa área fossem transportadas para camadas subsequentes do PFD, conferindo maior cor ao seu efluente e o filtro era retirado de operação para limpeza.

Nas Tabelas 23 e 24 estão relacionadas as porcentagens de remoção parcial de cor de cada unidade de FiME e de remoção global para os dois sistemas de tratamento (FiME e ETA ciclo completo) para a SEQ 1 e SEQ 2 do experimento.

Embora o sistema de FiME não tenha gerado bons resultados na potabilização da água com relação à cor aparente, as unidades mais importantes do sistema de FiME foram o

FLA e FLAC, como comprovado em análises estatísticas evidenciadas nas Tabelas do apêndice B e Tabelas 23 e 24.

**Tabela 23 – Porcentagens de remoção parcial de cor de cada unidade de FiME e remoção global para os dois sistemas de tratamento – SEQ 1**

Carreira	% Remoção Parcial				% Remoção Global		
	PFD	PFA	FLA	FLAC	FiME FLA	FiME FLAC	ETA
1	4,3 – 28,3	0 – 78,8	34,0 – 92,9	72,0 – 97,6	57,7 – 96,6	78,3 – 98,6	63,6 – 98,6
2	3,2 – 84,6	0 – 89,1	38,7 – 97,1	0 – 97,0	58,8 – 99,2	22,0 – 98,4	72,8 – 99,2
3	2,9 – 61,1	7,0 – 76,6	83,6 – 99,1	57,1-100,0	88,4 – 99,2	76,2 – 100,0	86,1 – 98,8
4	1,0 – 60,6	26,2 – 78,3	61,5-100,0	58,8 – 95,8	78,5 – 100,0	78,5 – 98,1	78,5 – 99,0
5	17,5 – 70,1	25,6 – 89,7	66,7-100,0	31,0-100,0	83,8 – 100,0	63,9 – 100,0	88,1 – 99,2
6	5,1 – 24,3	5,1 – 94,6	32,6-100,0	8,7-100,0	64,8 – 100,0	52,3 – 100,0	90,6 – 100,0
7	12,4 – 35,7	23,6 – 94,2	56,7-100,0	51,0-100,0	89,8 – 100,0	74,2 – 100,0	91,2 – 100,0
8	1,2 – 37,5	0 – 51,8	26,3-100,0	50,5-100,0	25,5 – 100,0	50,0 – 100,0	85,1 – 100,0

**Tabela 24 – Porcentagens de remoção parcial de cor de cada unidade de FiME e remoção global para os dois sistemas de tratamento – SEQ 2**

Carreira	% Remoção Parcial		% Remoção Global	
	PFD	FLA-2	FiME FLA 2	ETA
6	5,1 – 24,3	0 – 100,0	14,8 – 100,0	90,6 – 100,0
7	1,2 – 35,7	0 – 100,0	11,8 – 100,0	85,1 – 100,0
8	21,6 – 47,7	22,1 – 100,0	54,7 – 100,0	77,8 – 110,0

De maneira geral os dados mostraram que: (1) embora o seu efluente tenha atendido aos padrões de potabilidade em poucos eventos monitorados, a FiME apresentou elevada eficiência na remoção de cor para a SEQ 1 (PFD, PFA, FLA e FLAC) e SEQ 2 (PFD, FLA-2) do experimento; (2) o PFD apresentou uma grande amplitude de desempenho e comportou-se igualmente como na remoção de turbidez, como uma unidade pouco estável para a remoção de cor e (3) o PFA, os filtros lentos (FLA) e os filtros lentos de areia e carvão (FLAC) apresentaram elevada eficiência na remoção de cor para a SEQ 1 e SEQ 2 e são unidades mais estáveis.

Em seus estudos, Coelho e Di Bernardo (2002) obtiveram remoção de cor de 10% no PFD e 60% no PFA, em condições semelhantes a esse trabalho.

As Figuras 68 a 75 apresentam as eficiências de remoções de cor para a SEQ 1 do experimento.

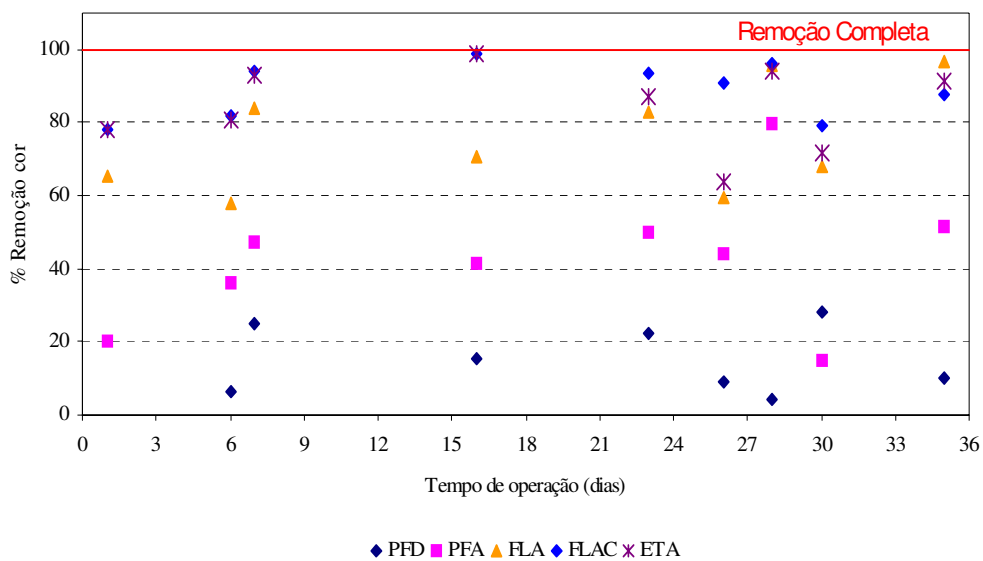


Figura 68 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 1ª carreira – SEQ 1 e ETA

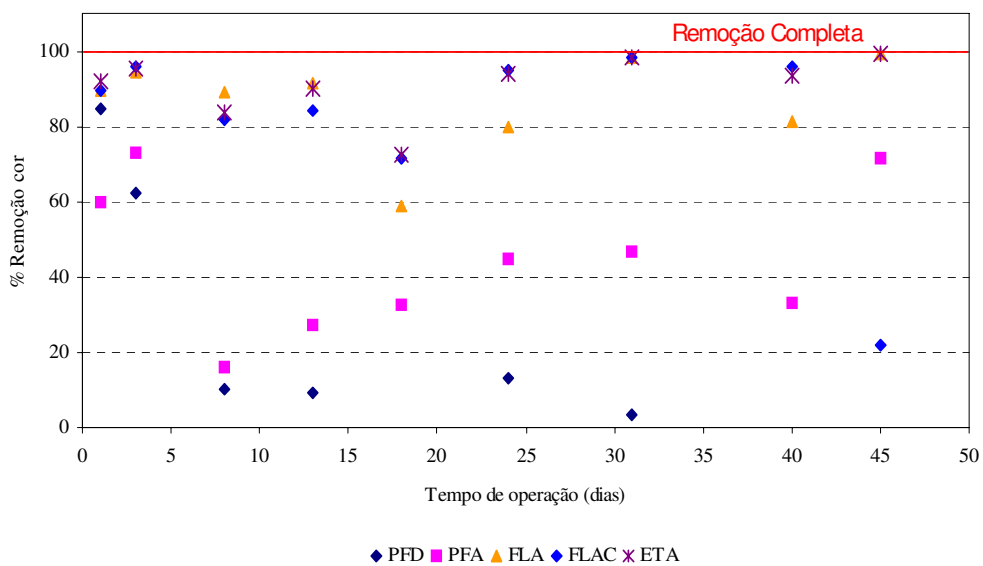


Figura 69 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 2ª carreira – SEQ 1 e ETA

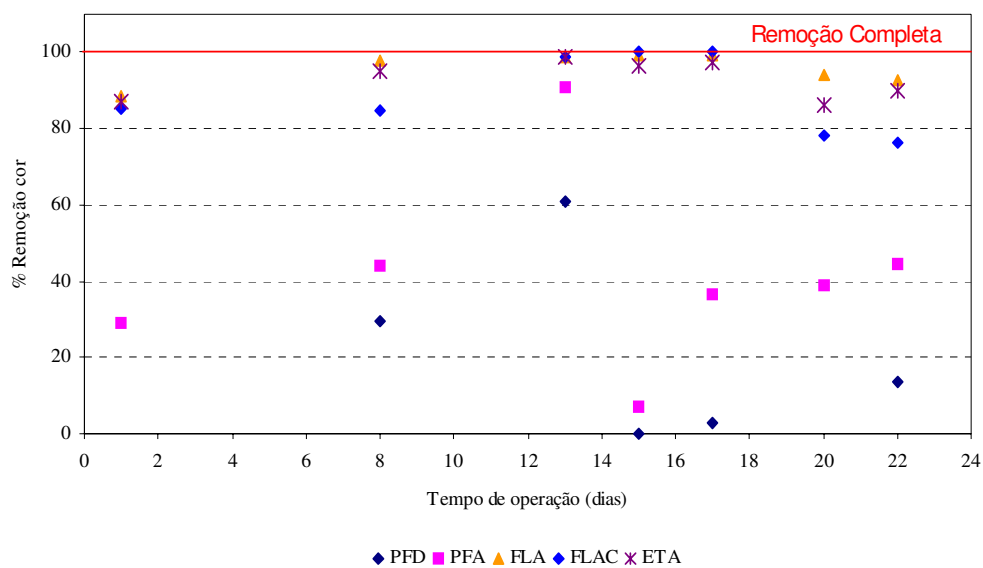


Figura 70 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 3ª carreira – SEQ 1 e ETA

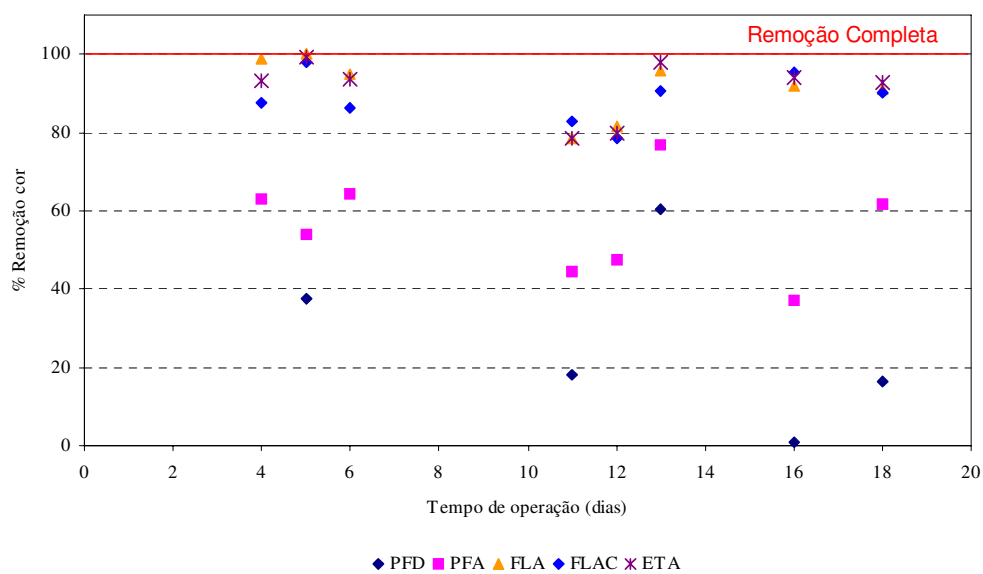


Figura 71 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 4ª carreira – SEQ 1 e ETA

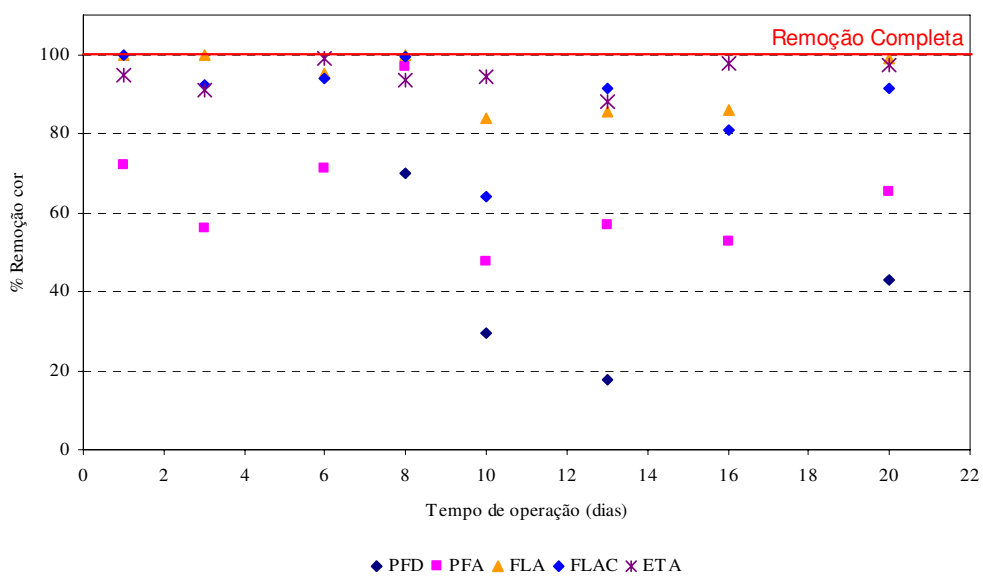


Figura 72 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 5ª carreira – SEQ 1 e ETA

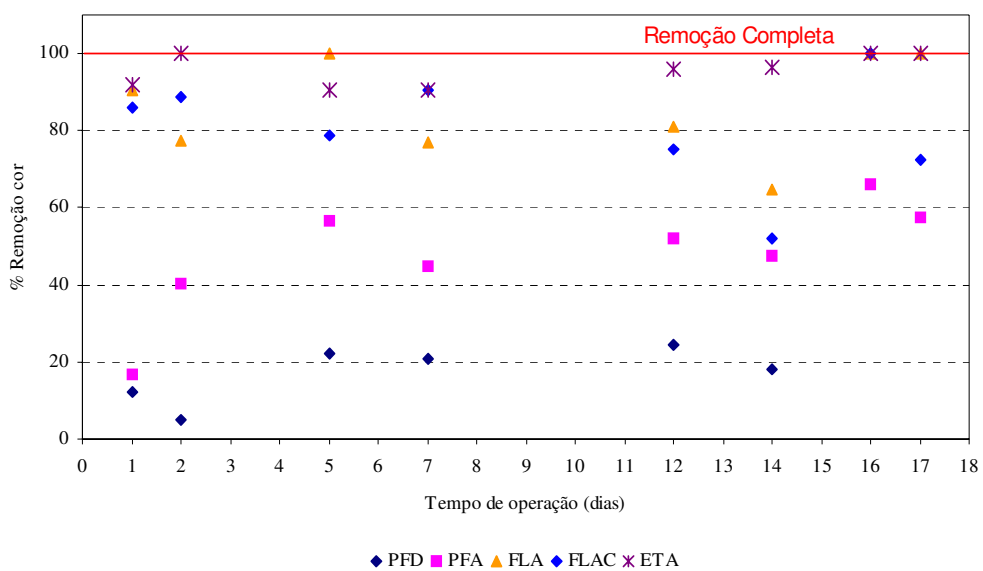


Figura 73 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 6ª carreira – SEQ 1 e ETA

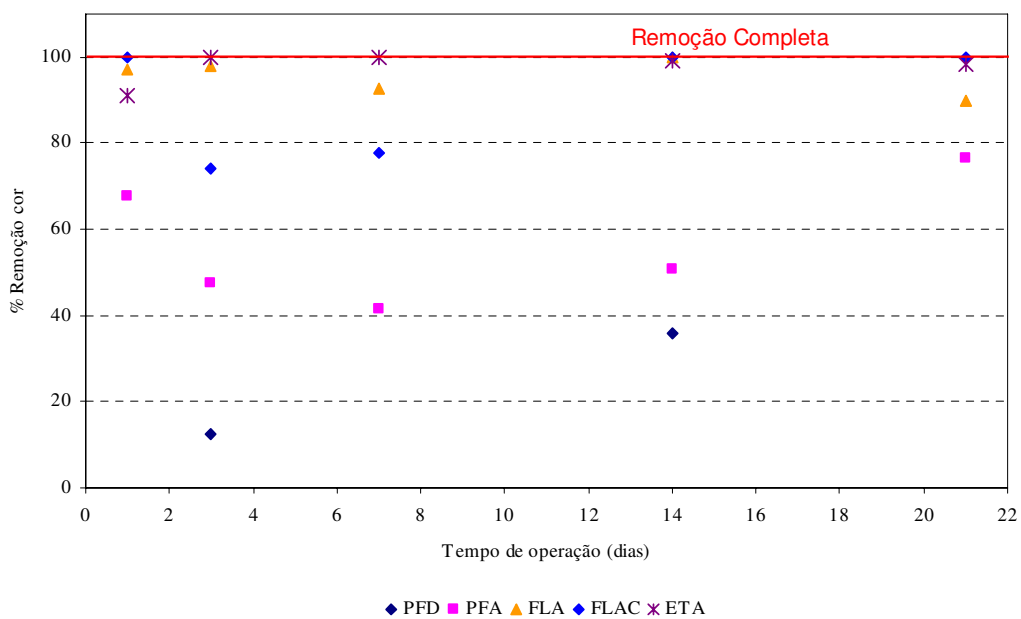


Figura 74 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 7ª carreira – SEQ 1 e ETA

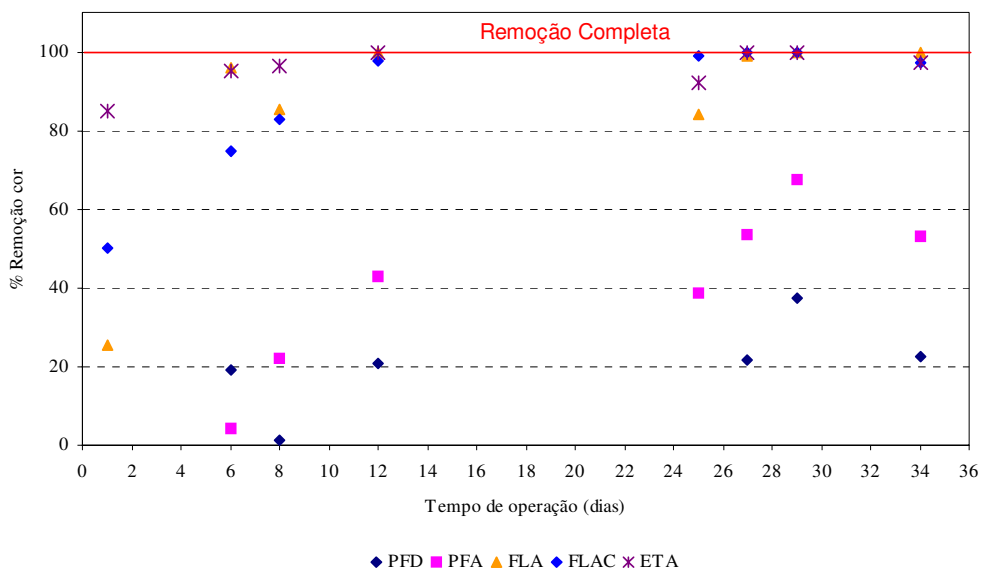
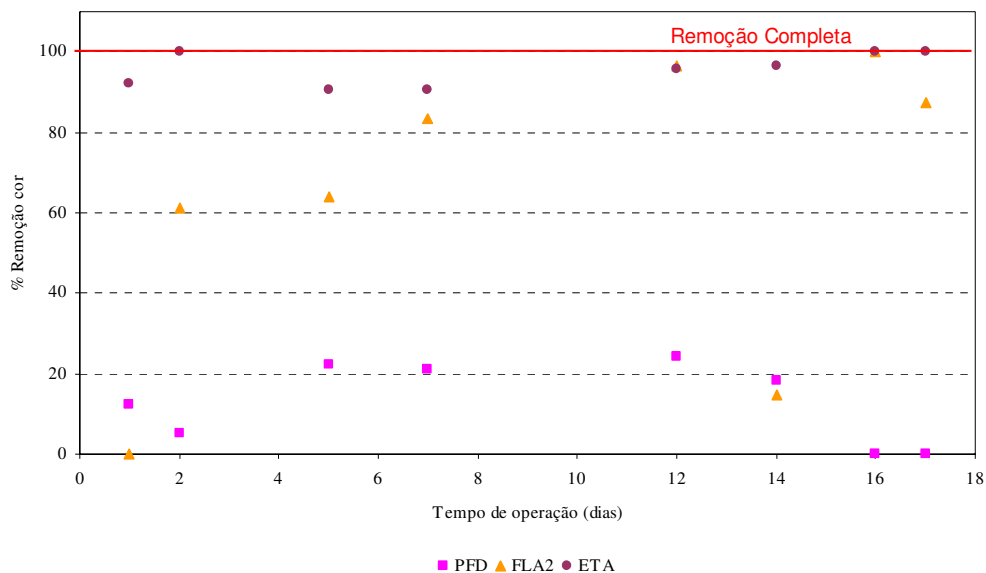
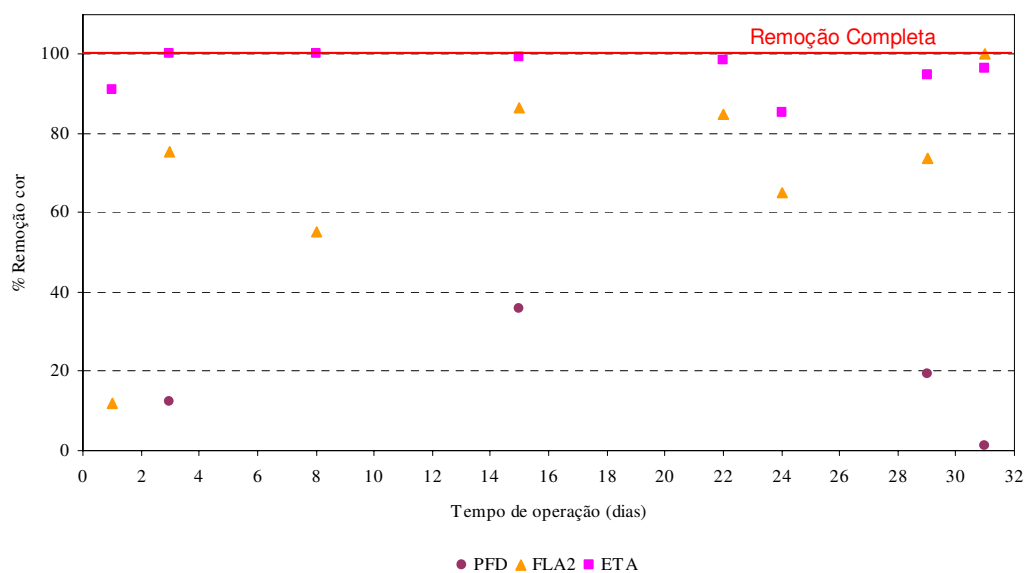


Figura 75 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 8ª carreira – SEQ 1 e ETA

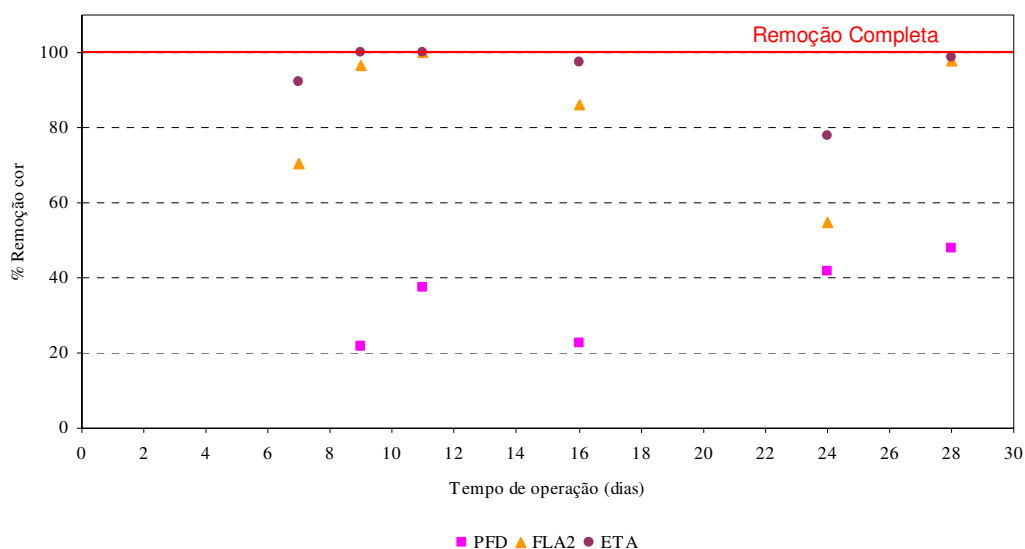
As Figuras 76 a 78 apresentam as eficiências de remoções de cor para a SEQ 2 do experimento.



**Figura 76 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 6ª carreira – SEQ 2 e ETA**



**Figura 77 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 7ª carreira – SEQ 2 e ETA**



**Figura 78 – Remoção de cor em todas as unidades FiME na 8ª carreira – SEQ 2 e ETA**

As análises estatísticas efetuadas com os dados de cor obtidos nas carreiras tem como objetivos: (1) comparar o desempenho das unidades de filtração do sistema de FiME e ETA ciclo completo em cada carreira de filtração; (2) comparar o desempenho dos tratamentos (FiME e ETA) na remoção de cor em períodos de alta e baixa turbidez e (3) comparar o desempenho de cada unidade de filtração do sistema de FiME para situações de alta e baixa taxa de filtração.

Estas análises são apresentadas sequencialmente para as SEQ 1 e 2 do experimento. As comparações se basearam em um intervalo de confiança de 95%, conforme Tabelas do apêndice B.

*Para a SEQ 1 (PFD, PFA, FLA e FLAC):*

(1) A primeira carreira de filtração não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos quando comparado FiME-FLAC com ETA mas essa diferença foi significativa quando comparado FiME-FLA-1 e ETA, sendo que a média de remoção de cor da ETA foi melhor. A diferença foi significativa quando comparado FLA-1 e FLAC e a média de remoção para FLAC foi melhor do que FLA-1;

(2) Na segunda carreira, não houve diferenças significativas entre FiME e ETA e entre FLA-1 e FLAC;

(3) A terceira carreira não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos quando comparado FiME-FLAC com ETA mas essa diferença foi significativa quando comparado FiME-FLA-1 e ETA, sendo que a média de remoção de cor do FLA-1 foi melhor. Não houve diferença significativa quando comparado FLA-1 e FLAC;

(4) A quarta e quinta carreiras de filtração foram operada nas mesmas condições que a carreira anterior e não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos quando comparado FiME com ETA ciclo completo e FLA-1 com FLAC;

(5) A sexta e sétima carreira foram operadas nas mesmas condições e não apresentaram diferenças entre FLA-1 e FLAC quando comparadas. Apenas a sexta carreira apresentou diferença significativa entre FiME-FLAC e ETA, sendo a média de remoção de cor da ETA maior que FLAC;

(6) A oitava carreira não apresentou diferenças entre os tratamentos do sistema de FiME e ETA ciclo completo.

De maneira geral, não se pode afirmar que houve diferenças significativas entre os sistemas de tratamento de FiME e ETA ciclo completo para as carreiras de filtração analisadas quanto a remoção de cor, sendo que as duas formas de tratamento não foram eficientes.

*Para a SEQ 2 (PFD, FLA-2):*

Apenas na sétima carreira houve diferença entre os tratamentos, sendo que a média de remoção da ETA foi melhor quando comparado ao FLA2.

De maneira geral, não se pode afirmar que houve diferenças significativas entre os sistemas de tratamento de FiME e ETA ciclo completo para a SEQ 2 do experimento e assim como na SEQ 1, tanto ETA quanto FiME não foram eficientes para a remoção de cor nas condições estudadas.

Em pesquisa realizada por Veras e Di Bernardo (2008), os filtros lentos com carvão ativado apresentaram maior eficiência, sugerindo a contribuição do CAG para alcançar um percentual de remoção médio de 99,0%. O emprego do carvão ativado granular em conjunto com a areia fina favorece a remoção de matéria orgânica dissolvida, o que geralmente não acontecia na filtração lenta com meio filtrante exclusivamente granular (PROSAB, 1999). Esse fato não ocorreu no presente trabalho e de acordo com as análises

estatísticas, a performance dos FLA e FLAC foram semelhantes. Esse fato pode ter ocorrido devido à perda da capacidade de adsorção do carvão ativado granular (CAG). Tangerino (2003) sugeriu aplicação de ozônio na água bruta para que o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão melhorasse sua eficiência. Uma outra alternativa sugerida pelo mesmo autor, é a troca da camada de carvão ativado e a constatação do aumento do rendimento de remoção, mostrando que o tempo de utilização do carvão interfere em sua capacidade de remoção de cor.

Na SEQ 2 não foi utilizado filtro lento de areia com carvão ativado.

Após as comparações entre as carreiras, as Tabelas B-23 a B-28 do apêndice B mostram as variações dos tratamentos para turbidez baixa (denominada turbidez 1) e turbidez alta (denominada turbidez 2) em todas as carreiras para comparação de remoção de cor.

Para a turbidez 1, os testes indicaram que houve diferença significativa entre a eficiência de remoção de cor entre FiME e ETA sendo que a melhor média de remoção foi obtida pela ETA. O desempenho dos dois filtros FLA-1 e FLAC foram semelhantes.

O mesmo fato ocorreu para a SEQ 2, que foi operada apenas com a turbidez baixa.

Para a turbidez 2 não houve diferença entre os tratamentos FiME e ETA mas quando comparado os filtros FLA-1 e FLAC no sistema FiME, houve diferença significativa e a melhor média de remoção foi obtida por FLA-1.

Assim, concluiu-se que a FiME produz água com cor compatível à ETA ciclo completo para situações de alta turbidez. Para situações de baixa turbidez, a ETA ciclo completo se apresentou mais eficiente como forma de tratamento na remoção de cor. Os resultados são compatíveis aos observados por Perez (2009).

As Tabelas B-29 a B-36 do apêndice B mostram as variações de cor para as taxas de filtração, denominadas taxa 1 (baixa) e taxa 2 (alta).

Os testes não-paramétricos utilizados mostraram que não houve diferença entre os tratamentos FiME e ETA ciclo completo e também entre os filtros do sistema FiME FLA-1 e FLAC quando a taxa baixa foi aplicada na carreira. O mesmo resultado foi obtido para a SEQ 2.

Com relação à taxa 2 (alta), há diferença entre os tratamentos FiME-FLAC e ETA, sendo que a melhor média de remoção foi da ETA ciclo completo. Para os demais filtros, não houve diferença significativa entre eles. Para a SEQ 2, houve diferença

significativa entre os tratamentos sendo que a melhor média de remoção de cor foi obtida pela ETA quando comparada a FLA 2.

Dessa forma, verifica-se que as variações das taxas de filtração influenciaram na performance dos FLA e FLAC.

### **5.3 Remoção de Coliformes Totais e *Escherichia coli***

A remoção de bactérias patogênicas e vírus, principalmente no filtro lento é atribuída a vários fatores, entre eles: (1) decaimento natural, devido o filtro ser um ambiente relativamente hostil para esses microrganismos; (2) predação; (3) efeito biocida da radiação solar e (4) adsorção no biofilme aderido ao meio filtrante, considerado o principal mecanismo de redução desses microrganismos (PROSAB, 1999).

Nas Figuras 79 a 94 são indicados os coliformes totais e termotolerantes afluentes e efluentes das unidades constituintes da FiME em todas as carreiras de filtração para a SEQ 1 do experimento (PFD, PFA, FLA e FLAC). Para melhor visualização dos resultados de coliformes totais e termotolerantes, os mesmos foram transformados em  $\text{Log}_{10}$ .

A Portaria n° 518/2004 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) estabelece a ausência total de coliformes totais e termotolerantes na água para que a mesma esteja dentro dos padrões microbiológicos de potabilidade para consumo humano. Espera-se que o efluente de um sistema de FiME seja sujeito a desinfecção antes do abastecimento.

A lista completa das concentrações de coliformes totais e termotolerantes das carreiras de filtração, utilizados para confecção dos gráficos, são apresentados nas Tabelas A-34 a A-55 do apêndice A.

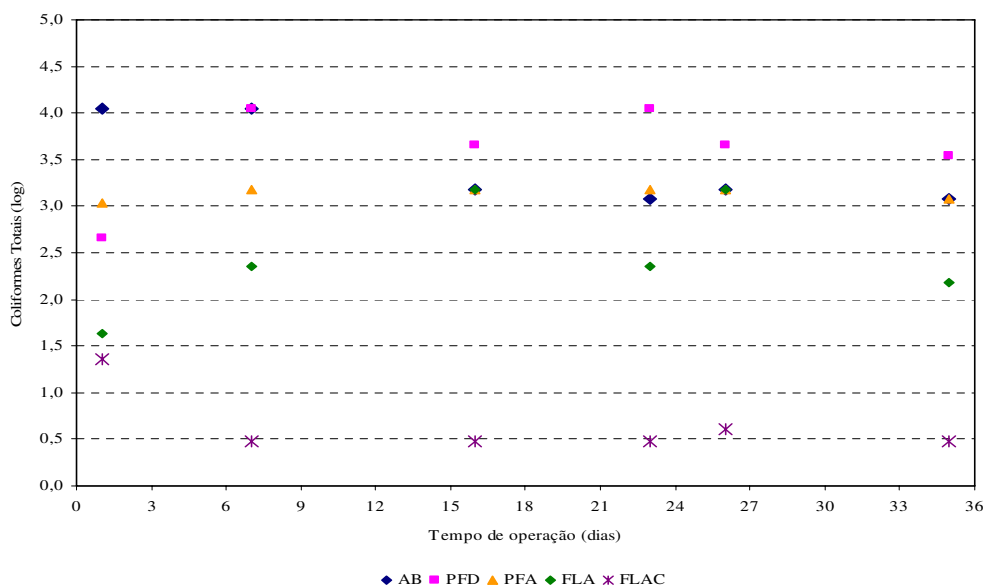


Figura 79 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 1ª carreira – SEQ 1

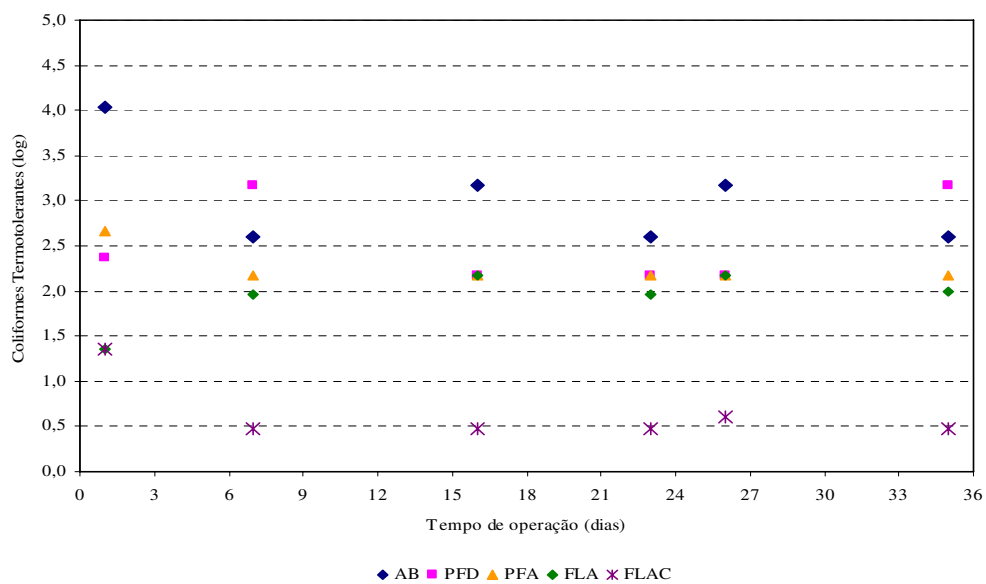


Figura 80 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 1ª carreira – SEQ 1

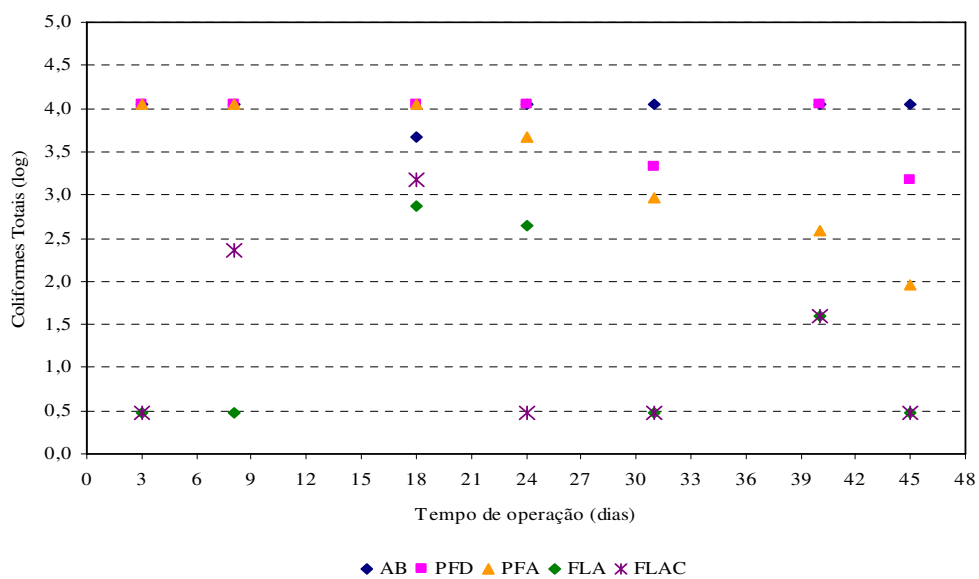


Figura 81 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 2ª carreira – SEQ 1

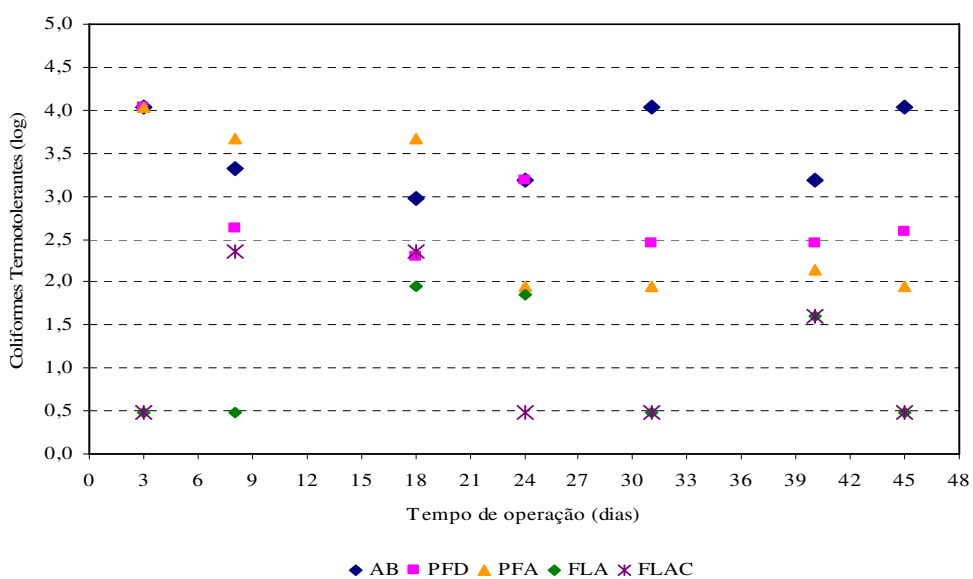


Figura 82 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 2ª carreira – SEQ 1

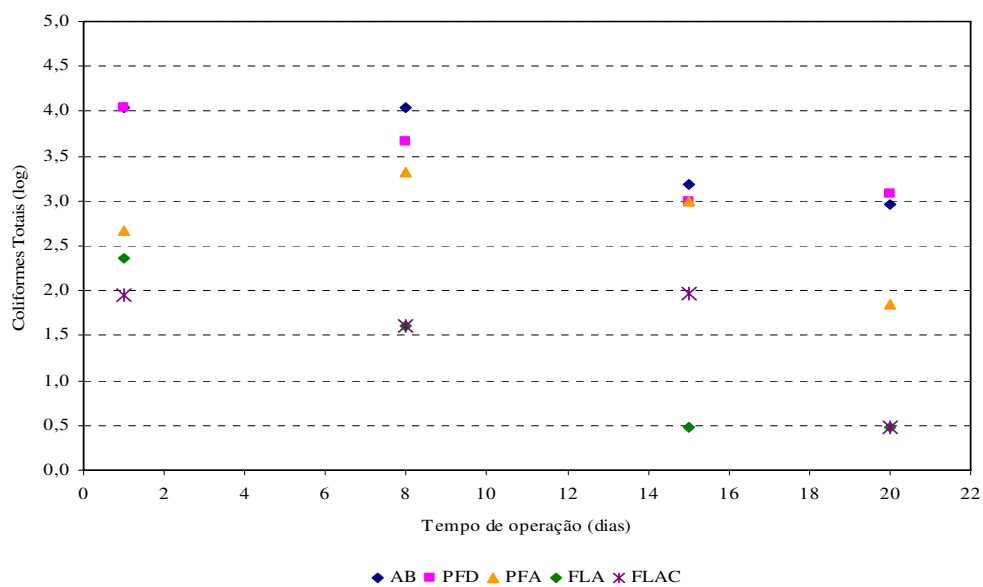


Figura 83 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 3ª carreira – SEQ 1

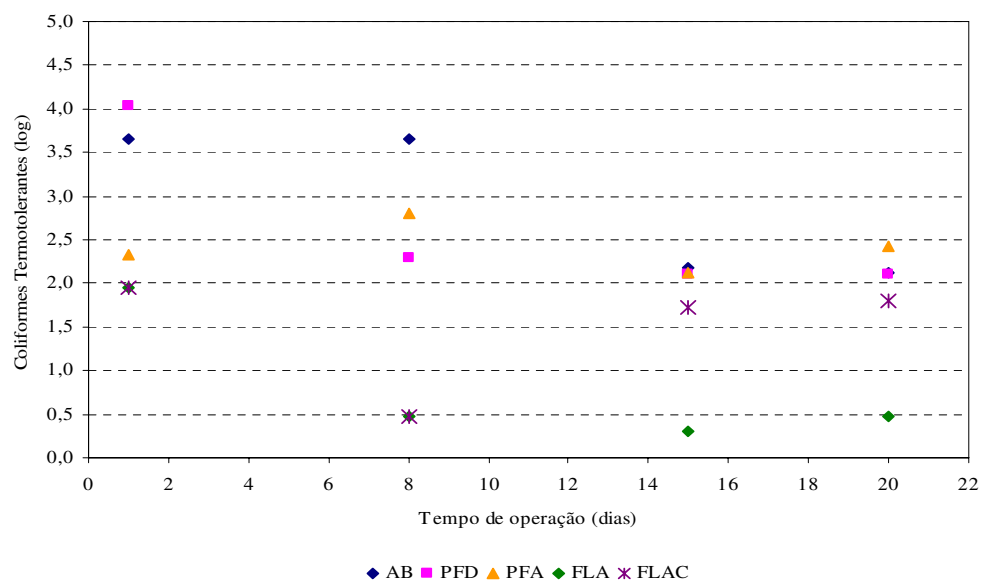


Figura 84 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 3ª carreira – SEQ 1

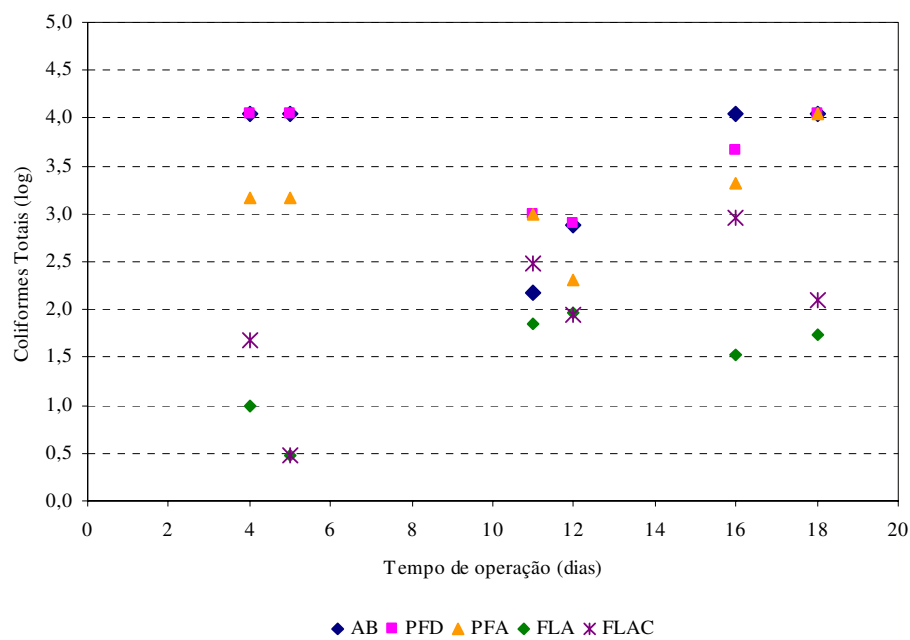


Figura 85 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 4ª carreira – SEQ 1

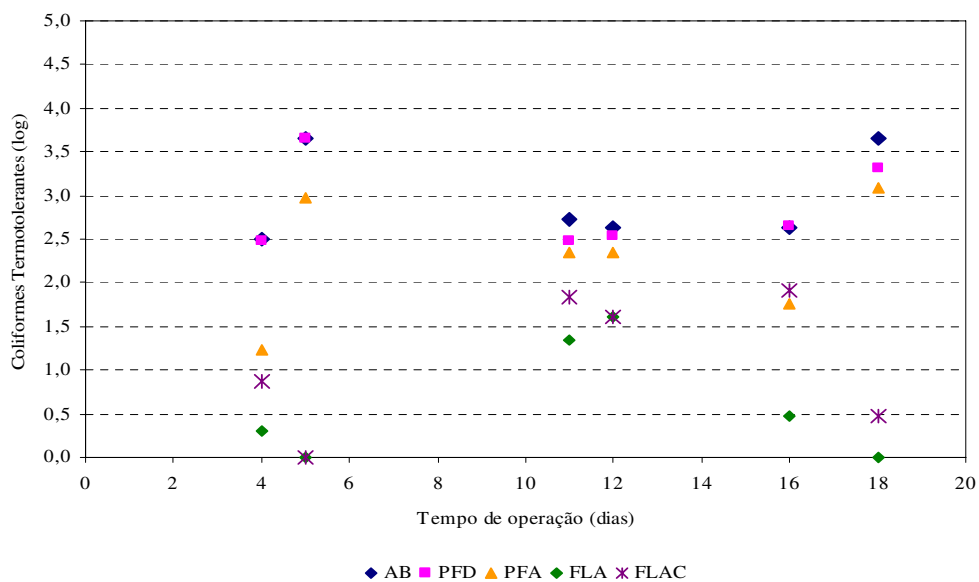
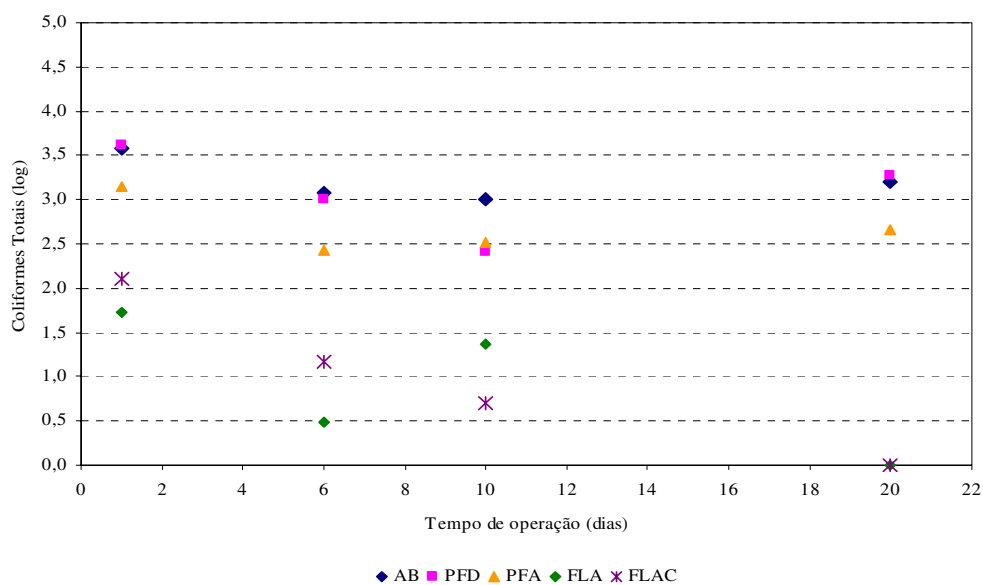
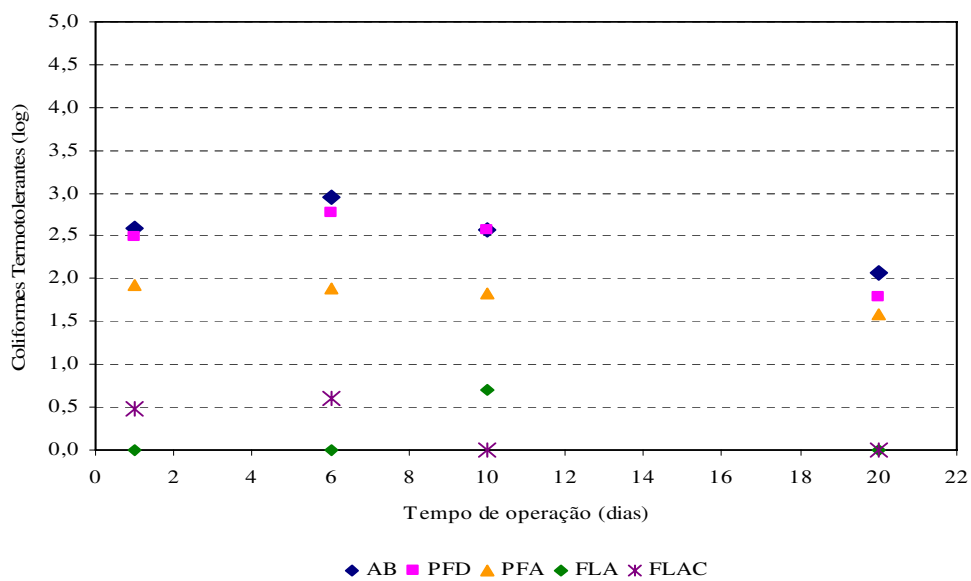


Figura 86 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 4ª carreira – SEQ 1



**Figura 87 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 5ª carreira – SEQ 1**



**Figura 88 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 5ª carreira – SEQ 1**

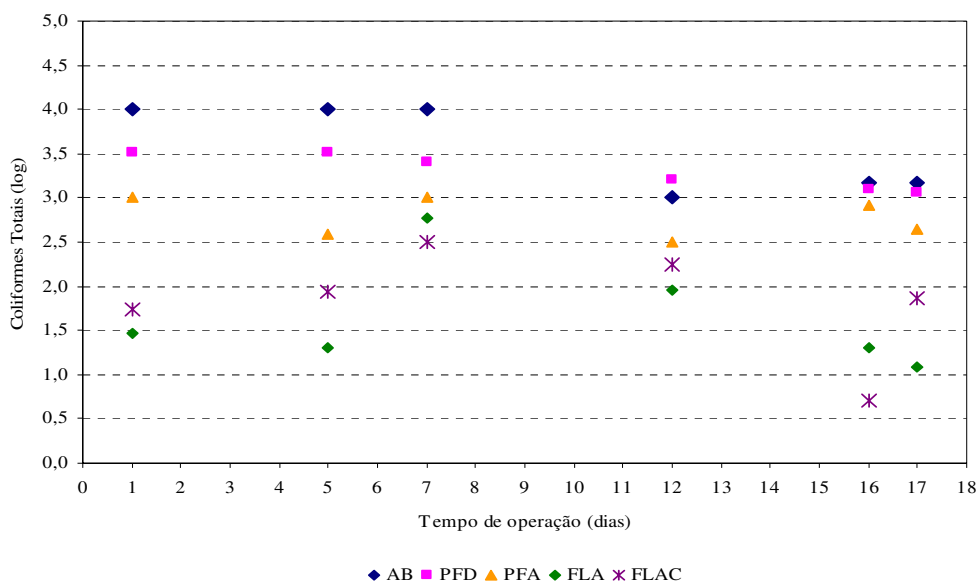


Figura 89 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 6ª carreira – SEQ 1

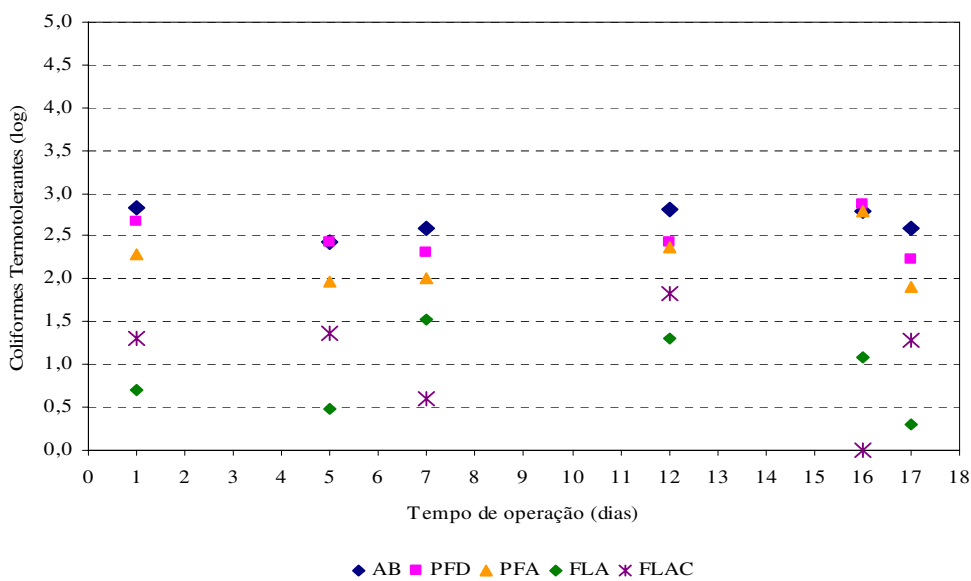


Figura 90 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 6ª carreira – SEQ 1

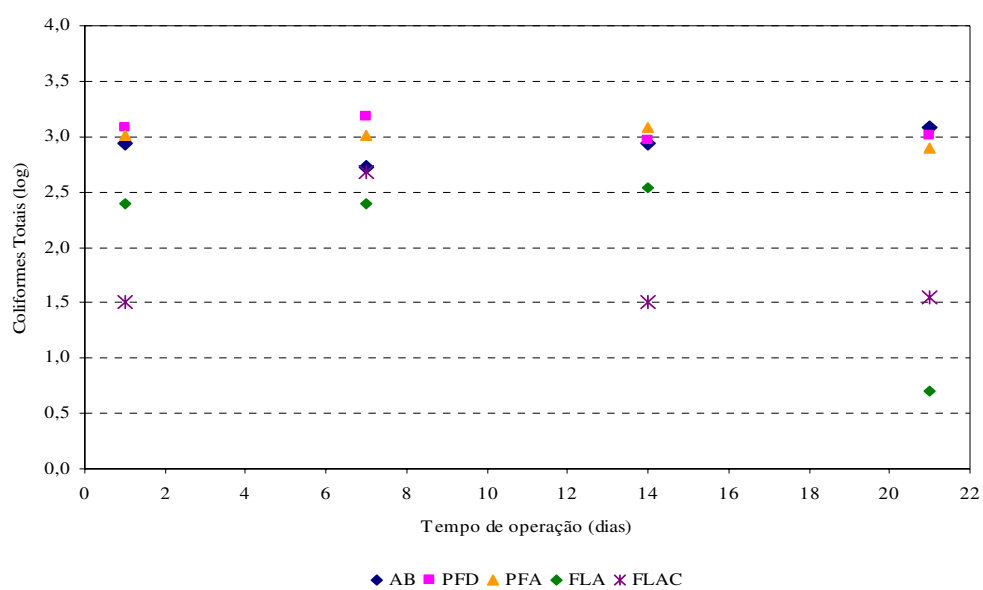


Figura 91 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 7ª carreira – SEQ 1

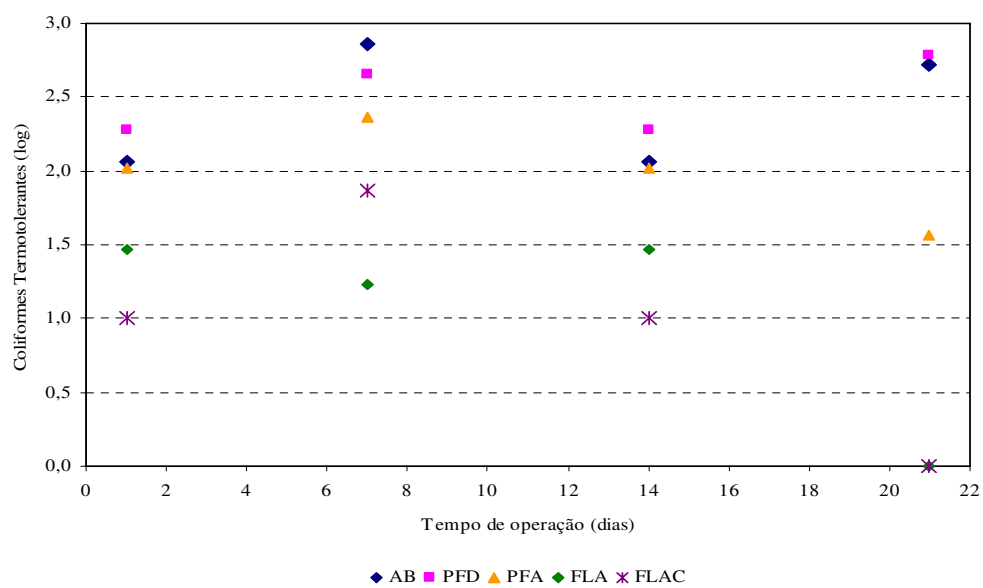


Figura 92 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 7ª carreira – SEQ 1

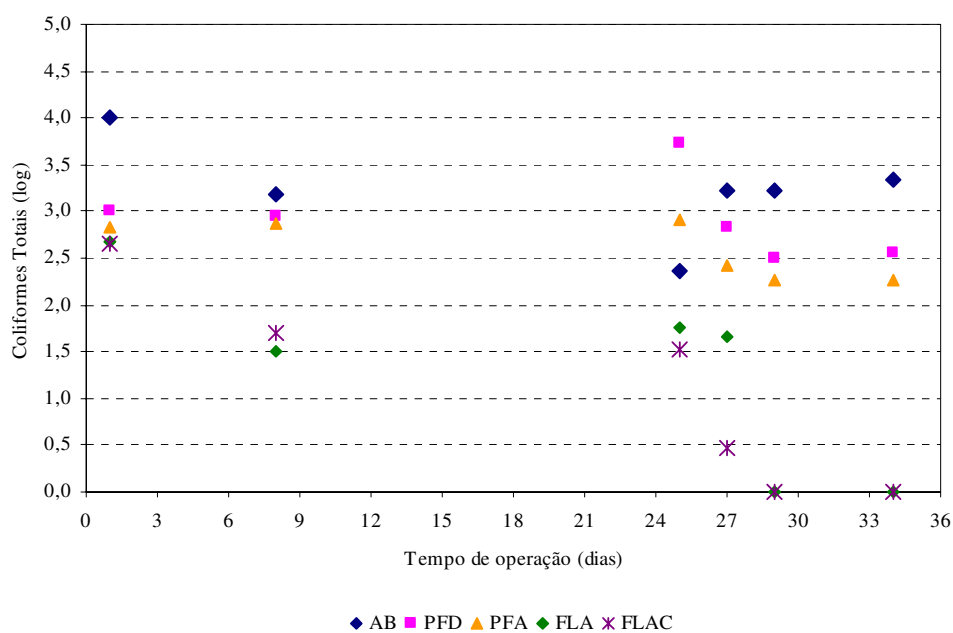


Figura 93 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 8ª carreira – SEQ 1

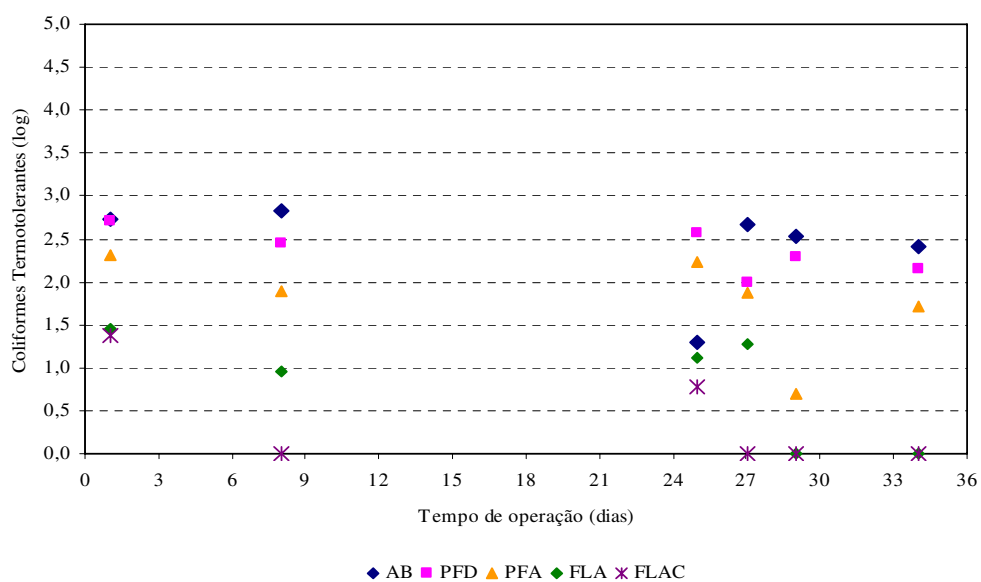
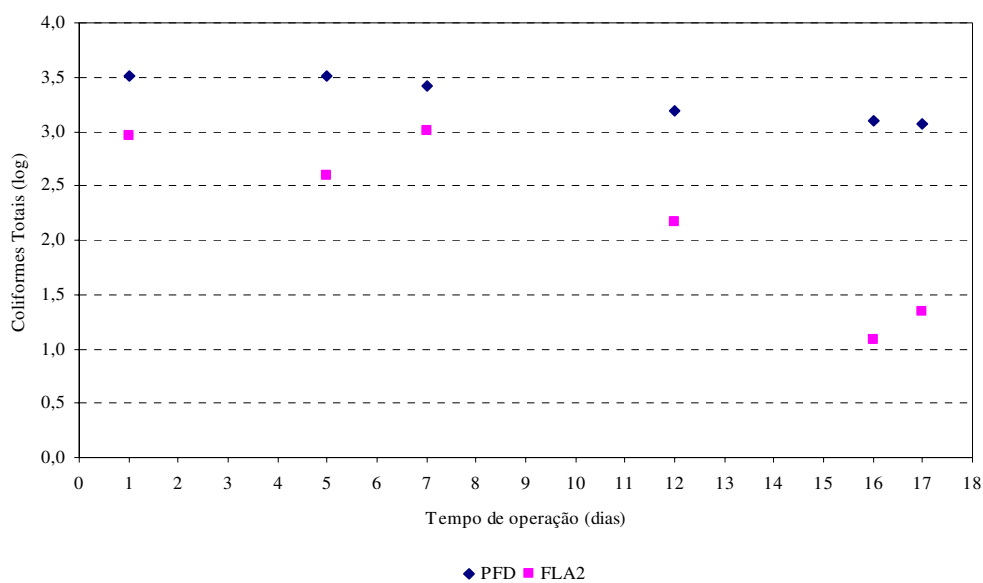


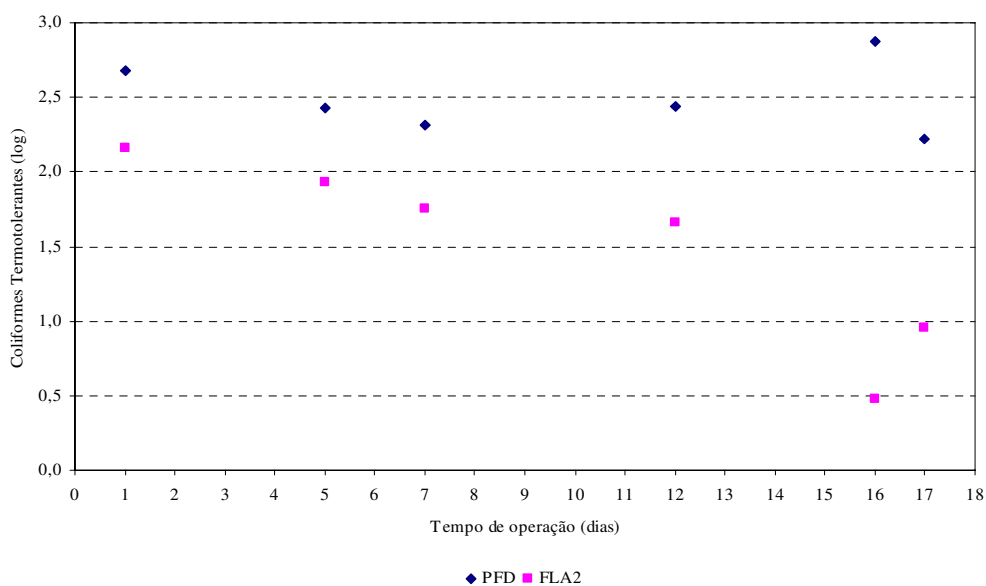
Figura 94 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 8ª carreira – SEQ 1

Não foi realizada comparação entre as análises microbiológicas do efluente da ETA ciclo completo e FiME. A água tratada da ETA era encaminhada diretamente para o reservatório e não foi possível retirar as amostras antes da cloração.

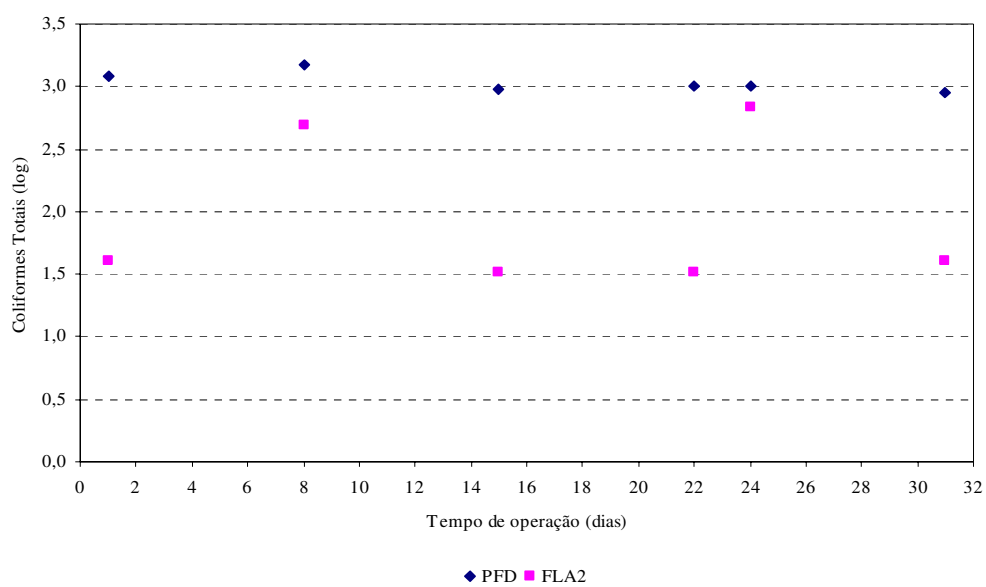
Nas Figuras 95 a 100 são indicados os coliformes totais e termotolerantes afluentes e efluentes das unidades constituintes da FiME em todas as carreiras de filtração para a SEQ 2 do experimento (PFD e FLA-2).



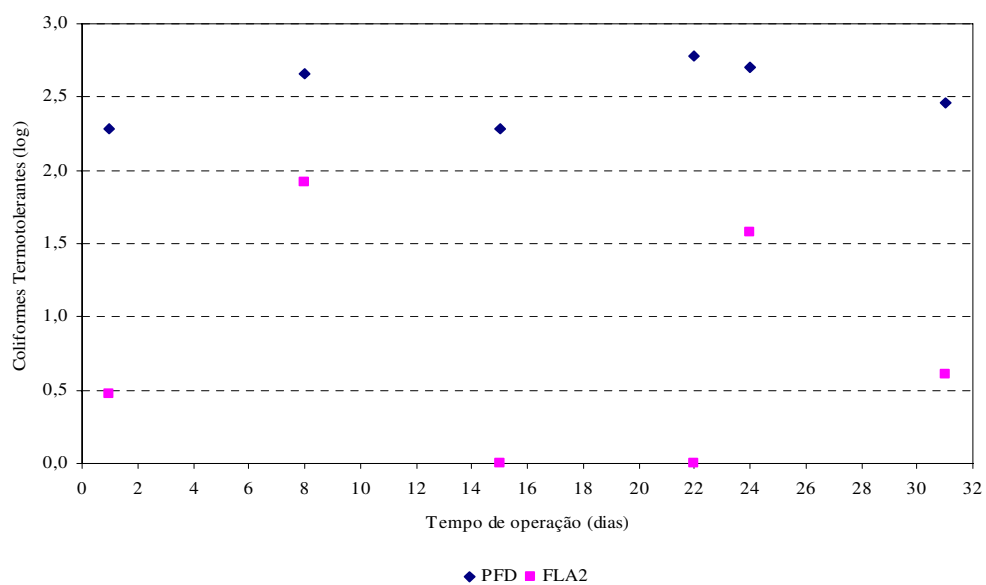
**Figura 95 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 6ª carreira – SEQ 2**



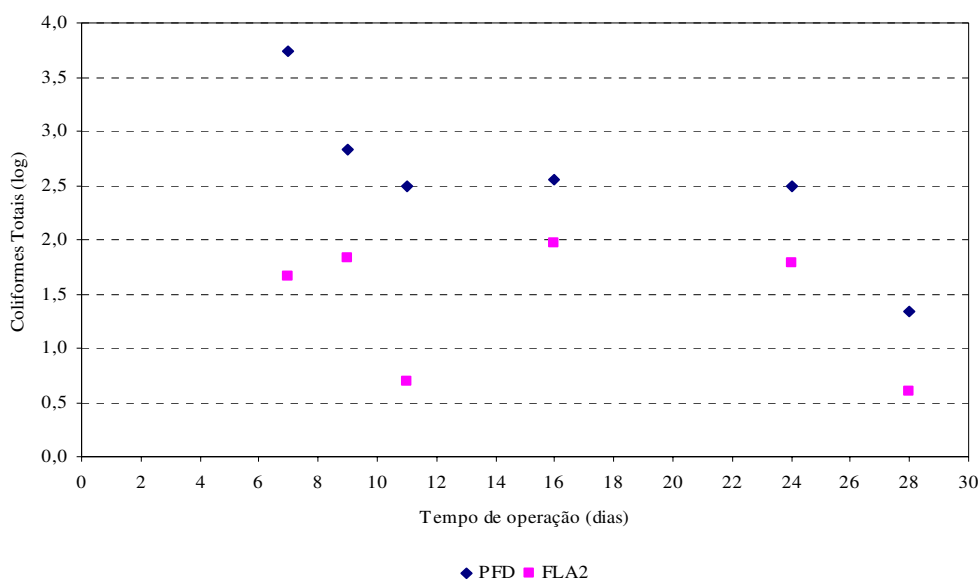
**Figura 96 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 6ª carreira – SEQ 2**



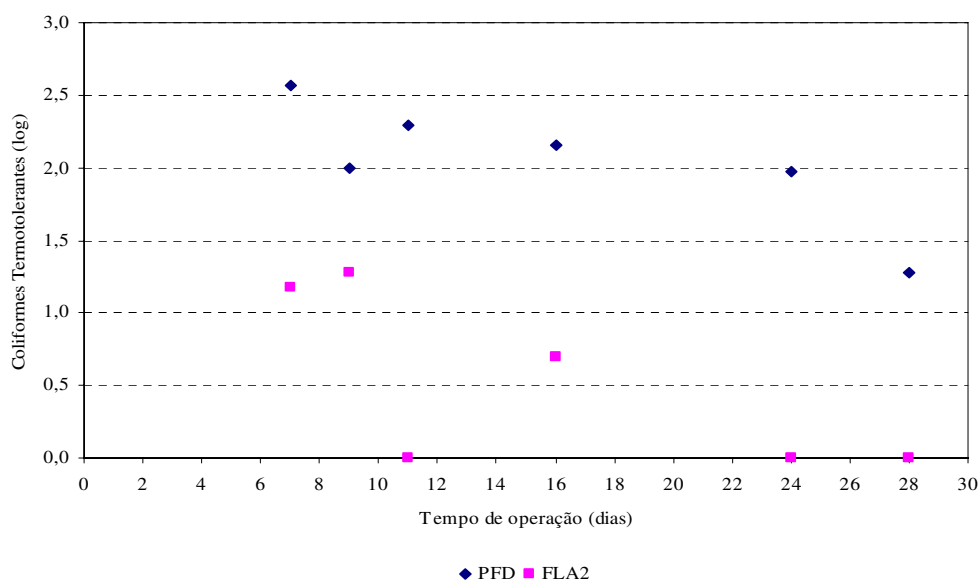
**Figura 97 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 7ª carreira – SEQ 2**



**Figura 98 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 7ª carreira – SEQ 2**



**Figura 99 – Coliformes Totais em todas as unidades FiME na 8ª carreira – SEQ 2**



**Figura 100 – Coliformes Termotolerantes em todas as unidades FiME na 8ª carreira – SEQ 2**

Diante dos resultados obtidos na SEQ 1 e SEQ 2, ficou evidenciado a viabilidade do sistema de FiME para a produção de água potável para consumo humano, necessitando apenas de desinfecção no efluente final para atender as recomendações da Portaria 518/2004 (BRASIL, 2004), estabelecendo que, após a desinfecção, a água deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L. Em qualquer ponto da rede de distribuição é obrigatória a

manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro, recomendando-se que a cloração seja realizada em pH inferior a 8,0 e tempo de contato mínimo de 30 minutos.

O FLAC teve um desempenho maior que o FLA até a terceira carreira de filtração e após esse período a situação se inverteu e o desempenho maior passou a ser do FLA. Isso pode ter ocorrido devido à perda da capacidade de adsorção do carvão ativado.

As carreiras de filtração 2, 6 e 7 foram operadas com taxas altas (6 m/d) e a qualidade bacteriológica da água efluente ao FLA e FLAC não foi comprometida tanto para a SEQ 1 quanto para a SEQ 2. A operação dos filtros lentos é essencial para a sua eficiência. Segundo Moody et al. (2002), a qualidade bacteriológica da água filtrada não deteriora significativamente quando são aplicadas taxas de filtração maiores que 2,4 m/d e podem ser adotadas nos filtros lentos para uma água bruta de boa qualidade. Porém, filtros com taxas de filtração altas requerem limpeza com maior frequência.

A taxa de filtração deve ser mantida dentro de um intervalo de 2,4 a 7,2 m/d para fornecer aos microrganismos atuantes dentro do filtro um escoamento estável de nutrientes e oxigênio, além de proporcionar tempo suficiente para purificar a água (MOODY et al., 2002).

De acordo com Ellis (1985), é possível aumentar consideravelmente as taxas de filtração se o pré-tratamento da água bruta e a desinfecção após a filtração lenta forem eficazes. Porém, com base nos dados desta pesquisa, um aumento na taxa de filtração pode acentuar a turbidez e a cor efluente aos filtros constituintes do sistema de FiME.

Segundo Murtha e Heller (2003), a melhor performance de taxas de aplicação mais baixas deve-se à maior duração das carreiras, proporcionando maior maturação do leito. Esse fato pode ser verificado nas carreiras 6 (duração de 17 dias) e carreira 7 (duração de 22 dias), que foram operadas com baixa turbidez mas com alta taxa. A duração das carreiras foi curta e observou-se uma oscilação das eficiências nas unidades do sistema de FiME.

Nas Tabelas 25 e 26 estão relacionados os valores mínimos e máximos, respectivamente de remoção de coliformes totais em todas as carreiras de filtração para a SEQ 1 e SEQ 2 do experimento. Essa remoção é acumulada em relação à água bruta.

**Tabela 25 – Valores mínimos e máximos de remoção de coliformes totais – SEQ 1**

Carreira	Remoção (log)			
	PFD	PFA	FLA	FLAC
1	-0,5 – 1,4	-0,1 – 1,0	0 – 2,4	2,6 – 3,7
2	-0,4 – 0,9	-0,4 – 2,1	0,8 – 3,6	0,5 – 3,6
3	-0,1 – 0,4	0,2 – 1,4	1,7 – 2,7	1,2 – 2,5
4	-0,8 – 0,4	-0,8 – 0,9	0,3 – 3,6	-0,3 – 3,6

**Cont. – Valores mínimos e máximos de remoção de coliformes totais – SEQ 1**

Carreira	Remoção (log)			
	PFD	PFA	FLA	FLAC
5	-0,1 – 0,6	0,4 – 0,6	1,7 – 3,2	1,5 – 3,2
6	-0,2 – 0,5	0,3 – 1,0	1,0 – 2,7	0,8 – 2,5
7	-0,1 – 0,1	-0,3 – 0,2	0,3 – 2,4	0 – 1,5
8	-1,4 – 0,8	-0,6 – 1,2	0,6 – 3,3	0,8 – 3,3

**Tabela 26 – Valores mínimos e máximos de remoção de coliformes totais – SEQ 2**

Carreira	Remoção (log)	
	PFD	FLA 2
6	-0,2 – 0,5	1,0 – 2,1
7	-0,4 – 0,2	0 – 1,3
8	-1,4 – 1,0	0,7 – 2,5

Nas Tabela 27 e 28 estão relacionados os valores mínimos e máximos, respectivamente de remoção de coliformes termotolerantes em todas as carreiras de filtração para a SEQ 1 e SEQ 2 do experimento.

**Tabela 27 – Valores mínimos e máximos de remoção de coliformes termotolerantes – SEQ 1**

Carreira	Remoção (log)			
	PFD	PFA	FLA	FLAC
1	-0,6 – 1,7	0,4 – 1,4	0,6 – 2,7	2,1 – 2,7
2	0 – 1,6	-0,7 – 2,1	1,0 – 3,6	0,6 – 3,6
3	-0,4 – 1,4	-0,3 – 1,3	1,6 – 3,2	0,3 – 3,2
4	0 – 0,2	0,3 – 1,3	1,0 – 3,7	0,7 – 3,7
5	0 – 0,3	0,5 – 1,1	1,9 – 3,0	2,1 – 2,6
6	-0,1 – 0,4	0 – 0,7	1,1 – 2,3	1,0 – 2,8
7	-0,2 – 2,0	0 – 1,2	0,6 – 2,7	1,0 – 2,7
8	-1,3 – 0,7	-0,9 – 1,8	0,2 – 2,5	0,5 – 2,7

**Tabela 28 – Valores mínimos e máximos de remoção de coliformes termotolerantes – SEQ 2**

Carreira	Remoção (log)	
	PFD	FLA 2
6	-0,1 – 0,4	0,5 – 2,3
7	-0,2 – 0,4	0,9 – 2,7
8	-1,3 – 0,7	0,1 – 2,5

As unidades mais importantes do sistema de FiME com relação à remoção de coliformes totais e termotolerantes foram os filtros lentos (FLA e FLAC). Analisando as Figuras 79 a 100 foi possível observar que a remoção no PFD para coliformes totais não foi significativa e em alguns eventos a presença de coliformes no seu efluente era maior do que a água bruta. Possivelmente o PFD estava oferecendo condições propícias para o crescimento bacteriano, tais como carbono orgânico e nutrientes. Assim, os microrganismos se multiplicavam dentro do filtro e a quantidade de coliformes no efluente era maior do que no afluente (água bruta).

Veras e Di Bernardo (2008), obtiveram remoções variando de 40% a 67,6% de coliformes totais e 41% a 62% de coliformes termotolerantes no PFD.

No PFA as reduções foram significativas, apresentando eficiências de 2,1 unidades logarítmicas e mesmo assim, o PFA apresentou um comportamento instável durante as carreiras de filtração.

Vários foram os estudos realizados para avaliação da eficiência de filtros lentos na remoção de microrganismos patogênicos e indicadores de contaminação e na maioria dos casos, observaram-se elevadas taxas de remoção. Pesquisadores como Coelho (2002) e Aguila (2002), observaram remoções de coliformes totais e termotolerantes de 95% a 100% em ensaios realizados com instalação piloto. Brito et al. (2005), verificaram remoções de 98% para coliformes totais e 97% para coliformes termotolerantes. Esses dados são compatíveis aos verificados no presente trabalho que obteve 3,7 unidades logarítmicas de remoção para FLA e FLAC. Em estudos realizados por Dullemont et al. (2006), foram encontrados baixos valores de remoção de vírus ( $1,7 - 2,2 \log_{10}$ ), usando MS2-bacteriófagos como indicadores e a remoção de *E. coli* foi de aproximadamente  $2 \log_{10}$  maior quando o *Schmutzdecke* estava presente.

Uma tendência de melhora de eficiência de remoção de coliformes totais e termotolerantes foi verificada dentro de cada carreira, com o tempo de operação dos filtros, possivelmente devido ao “amadurecimento” dos filtros. Semelhante a este estudo, Brito et al. (2005), verificaram que aplicando taxas de 3 m/d conseguia gerar concentrações não-detectáveis de coliformes totais e *E. coli* no segundo dia de análise do filtro (oito dias de operação). Segundo o autor, quanto maior o tempo da carreira, maior o equilíbrio alcançado entre as populações que colonizam o filtro. Entretanto, não existe ainda um consenso sobre um indicador que melhor traduza a maturidade biológica de filtros lentos de areia.

O período de “amadurecimento” dos filtros em cada carreira de filtração não foi identificado precisamente. É questionável que em diversos estudos este período se baseie na qualidade do efluente, em termos de turbidez ou por meio de análises microbiológicas para a

determinação do período de maturidade microbiológica (BRITO et al., 2005). Dependendo da qualidade do afluente, taxa de filtração, características do meio filtrante e forma de limpeza do filtro lento, a formação do *Schmutzdecke* pode levar dias ou até semanas (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

De maneira geral os dados mostram que: (1) a FiME apresentou elevado rendimento quanto a remoção de coliformes com e sem o uso do PFA; (2) não houve influência da variação das taxas de filtração na qualidade bacteriológica do efluente; (3) o período de amadurecimento dos filtros não pôde ser determinado exatamente porém, os dados indicam uma progressiva melhora da qualidade do efluente no decorrer de cada carreira.

As análises estatísticas efetuadas com os dados de coliformes totais e termotolerantes obtidos nas carreiras de filtração são apresentadas para a SEQ 1 do experimento e as comparações se basearam em um intervalo de 95% de confiança, conforme Tabelas do apêndice B. A análise indicou que:

(1) A primeira carreira de filtração não apresentou diferenças significativas entre os filtros para coliformes totais mas essa diferença foi significativa para coliformes termotolerantes, sendo que a média de remoção do FLAC foi melhor. Isto mostra que o comportamento varia de acordo com o grupo de microrganismos em estudo. Segundo estudos de Marrara (2005), o carvão ativado granular, devido a sua porosidade, área superficial e rugosidade, possui a capacidade de servir como suporte para uma alta densidade de microrganismos, quando comparado com outros materiais filtrantes, como areia e antracito.

(2) Para todas as demais carreiras, a utilização do FLA ou FLAC não apresentaram diferença significativa quanto a remoção de coliformes.

De maneira geral, o FLA e FLAC tiveram eficiências semelhantes na remoção de coliformes totais e termotolerantes.

Após as comparações entre as carreiras quanto aos dois tratamentos, para turbidez baixa (denominada turbidez 1) e turbidez alta (turbidez 2), observa-se que não houve diferença significativa entre FLA e FLAC para as duas condições, turbidez alta ou baixa. Isto significa que o FLA e FLAC possuem comportamentos semelhantes, independente da turbidez da água bruta. Detalhes encontram-se nas Tabelas B-23 a B-28 do apêndice B.

As Tabelas B-29 a B-36 do apêndice B mostram as variações de coliformes para as taxas de filtração, denominadas taxa 1 (baixa) e taxa 2 (alta).

Os testes não-paramétricos utilizados neste estudo mostraram que não houve diferença entre FLA e FLAC para situações em que foram aplicadas taxas de 3 m/d e 6 m/d, assim como Murtha e Heller (2003), que aplicaram taxas variando de 7,2 m/d e 2,3 m/d e concluíram que as taxas de filtração não apresentaram significativa influência nos parâmetros coliformes totais e termotolerantes. Para esses autores, conforme concluído anteriormente, a melhor performance de taxas de aplicação mais baixas deve-se à maior duração das carreiras, proporcionando maior maturação do leite. Mas em estudos de Paterniani e Conceição (2004), aplicando taxas de filtração de 2 m/d e 4 m/d em seus experimentos, os autores concluíram que a remoção média de coliformes totais para os pré-filtros foi mais eficiente (2% a 50%) quando aplicaram a taxa de 2 m/d e no filtro lento a remoção média foi de 99% tanto para taxa de 2 m/d quanto para a taxa de 4 m/d, confirmando a grande eficiência da filtração lenta na redução de microrganismos.

#### **5.4 Remoção de Sólidos Suspensos Totais (SST)**

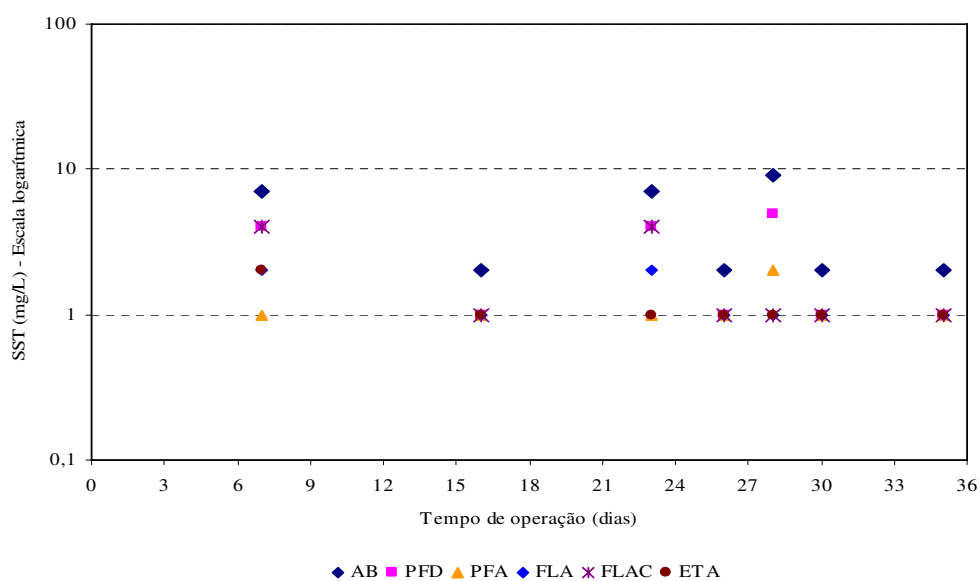
Durante os experimentos ocorreram vários picos de SST na água bruta, principalmente nas carreiras 2, 3, 4 e 5 que foram operadas em alta turbidez e, em alguns momentos na carreira 6, operada em baixa turbidez.

Outro fato que ocorreu com muita frequência durante o período experimental foi o transpasse desse material sólido em suspensão para camadas subseqüentes. Como pode ser verificado nas Figuras 101 a 111, nas carreiras 2, 3, 4, 5 e em alguns momentos da carreira 6, 7 e 8 da SEQ 1 e SEQ 2, o efluente do PFD apresentou valores de SST superiores ao seu afluente.

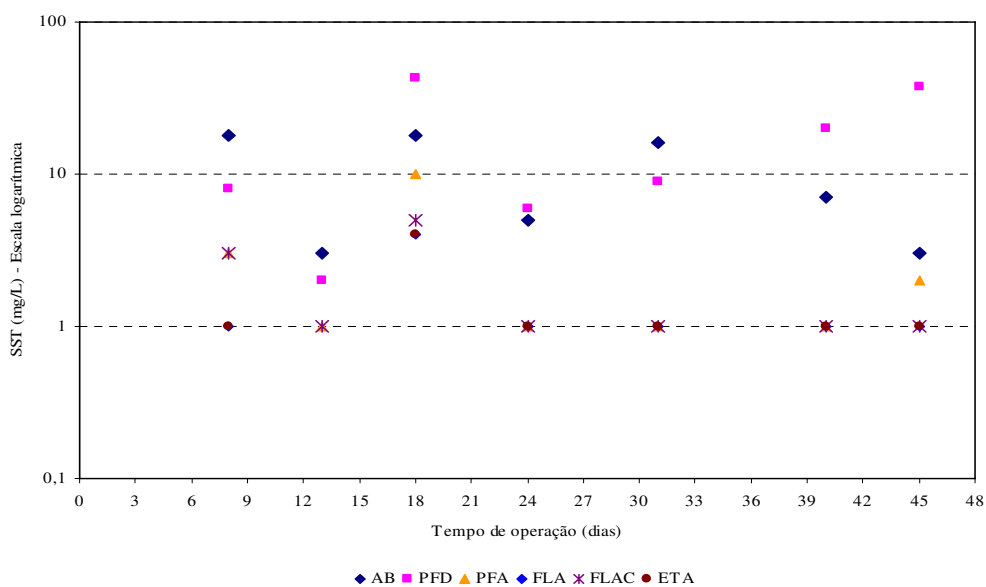
Como sugerido anteriormente, a limpeza do PFD deve ser realizada a cada 4 - 6 dias em períodos de alta turbidez para evitar o transpasse de SST. Foi verificado também que após a limpeza do PFD para o início de uma nova carreira de filtração, a primeira coleta de amostra das carreiras 3, 4, 5 e 8 apresentaram efluente com SST superiores ao seu afluente. Isso pode indicar que durante a coleta ainda havia muito material sólido desprendido devido à operação de revolvimento do meio filtrante.

Nas Figuras 101 a 108 são indicados os SST afluente e efluente das unidades constituintes da FiME em todas as carreiras de filtração para a SEQ 1 do experimento e as Figuras 109 a 111 para a SEQ 2 do experimento. A escala utilizada foi a logarítmica, portanto, os valores de SST do FLA, FLAC e ETA não identificados nos gráficos correspondem a zero.

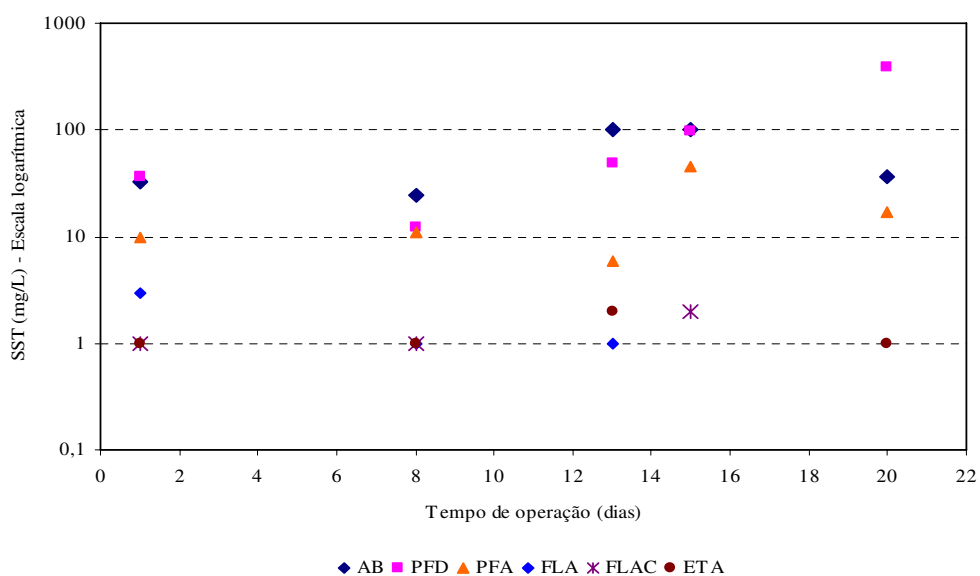
O conjunto completo de SST de todas as carreiras são apresentados nas Tabelas A-23 a A-33 do apêndice A.



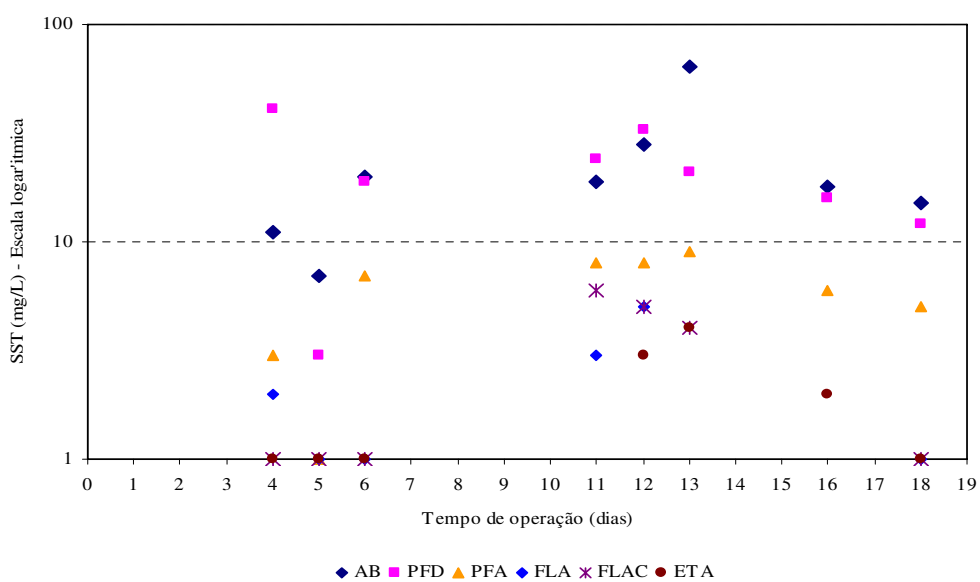
**Figura 101 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 1ª carreira SEQ 1 e ETA**



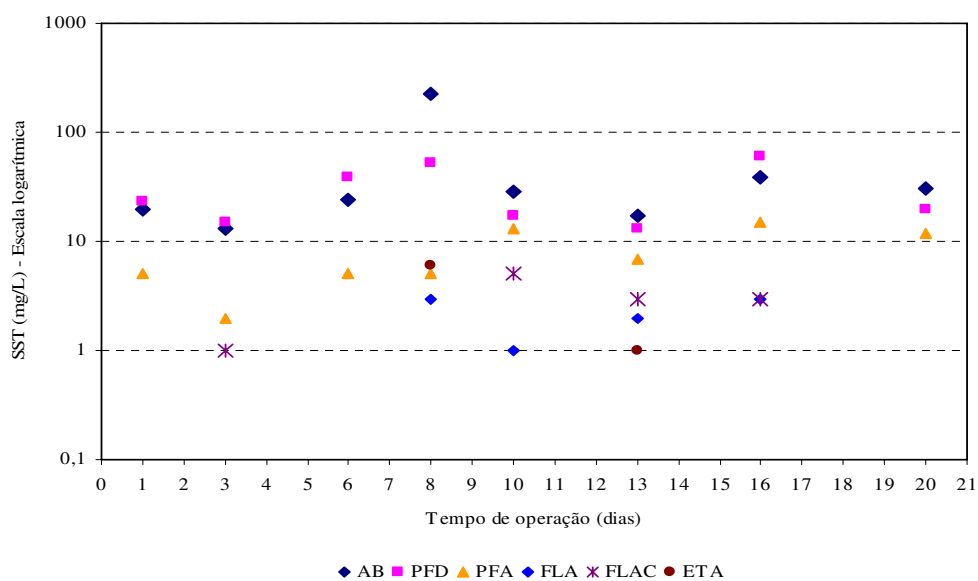
**Figura 102 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 2ª carreira SEQ 1 e ETA**



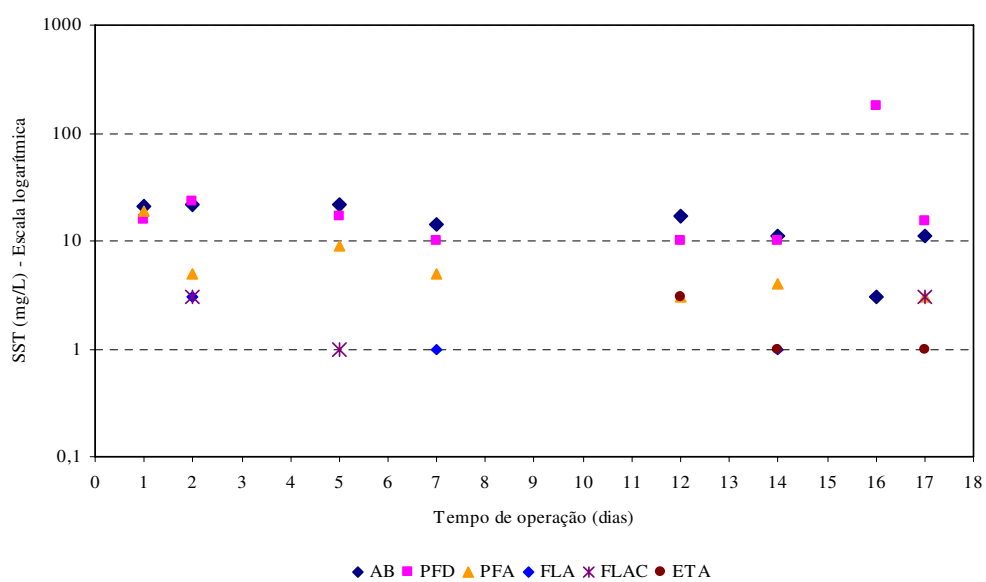
**Figura 103 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 3ª carreira SEQ 1 e ETA**



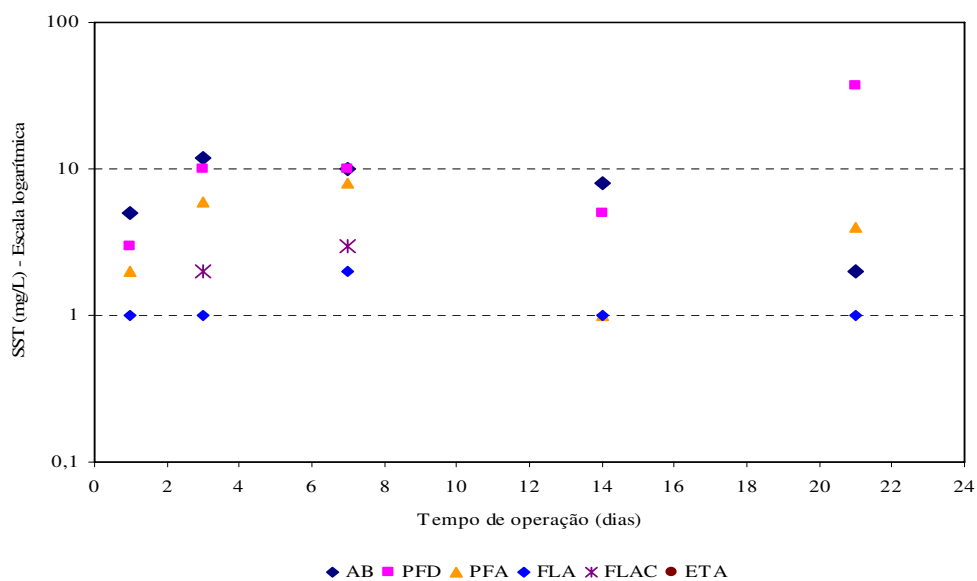
**Figura 104 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 4ª carreira SEQ 1 e ETA**



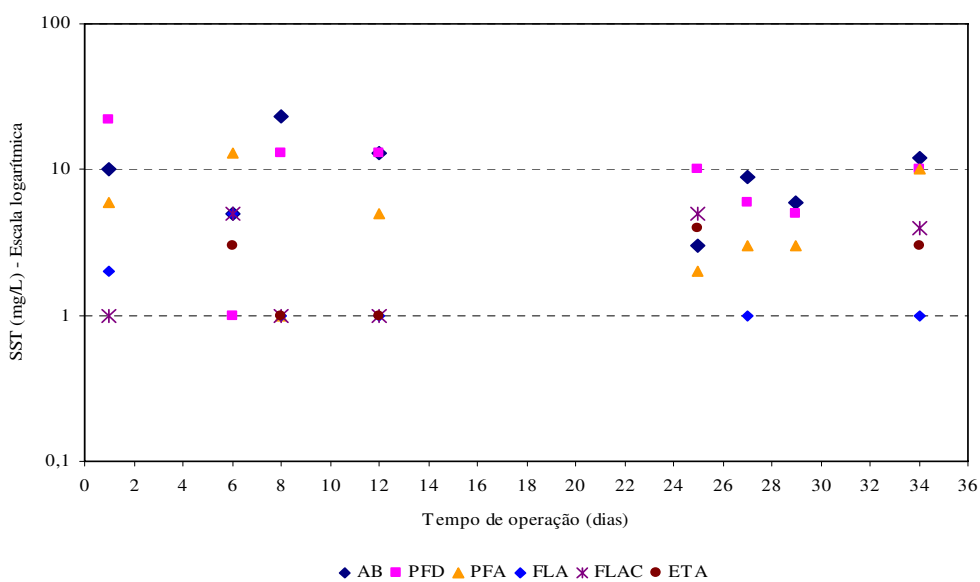
**Figura 105 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 5ª carreira  
SEQ 1 e ETA**



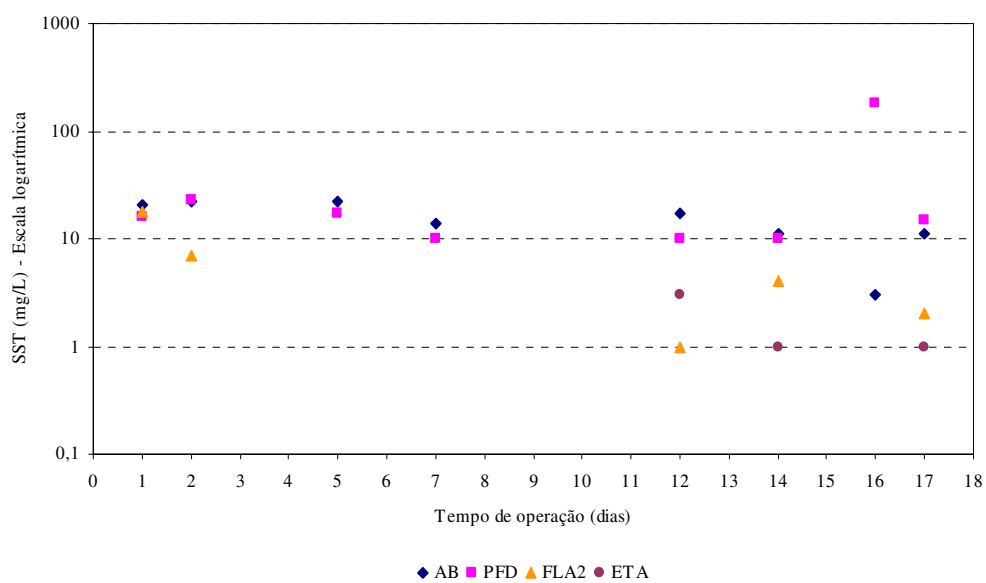
**Figura 106 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 6ª carreira  
SEQ 1 e ETA**



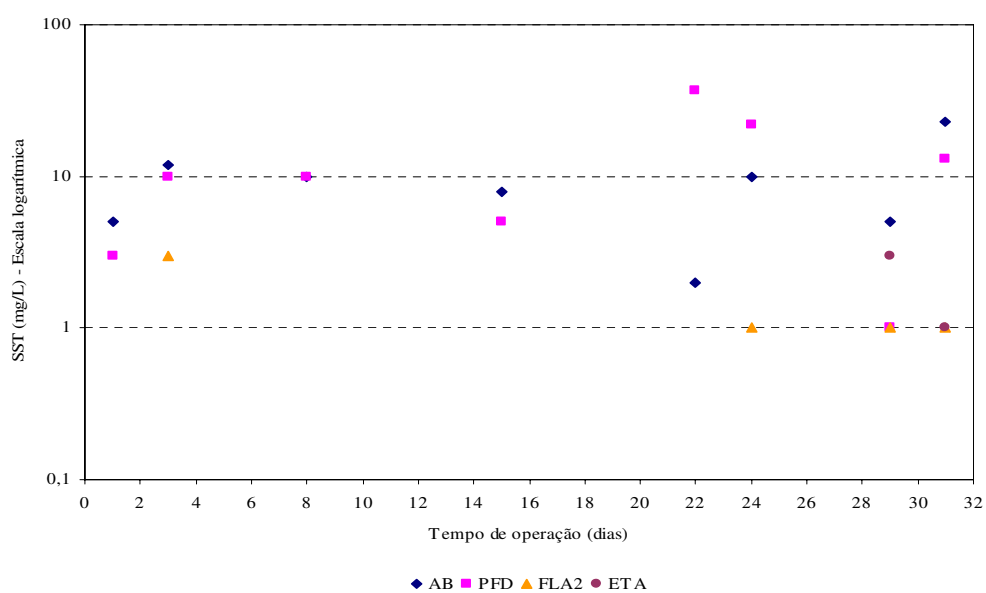
**Figura 107 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 7ª carreira SEQ 1 e ETA**



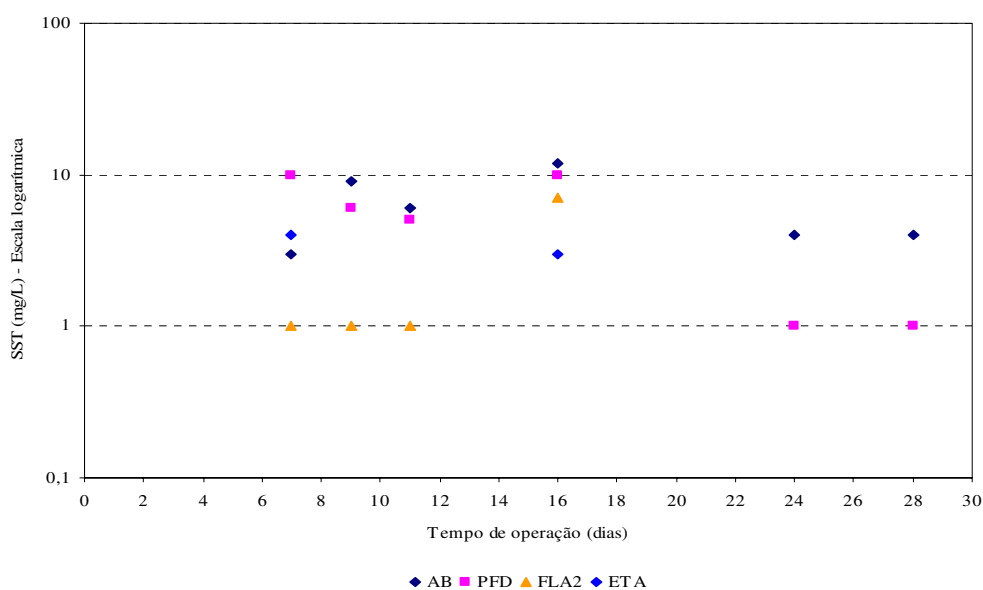
**Figura 108 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 8ª carreira SEQ 1 e ETA**



**Figura 109 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 6ª carreira SEQ 2 e ETA**

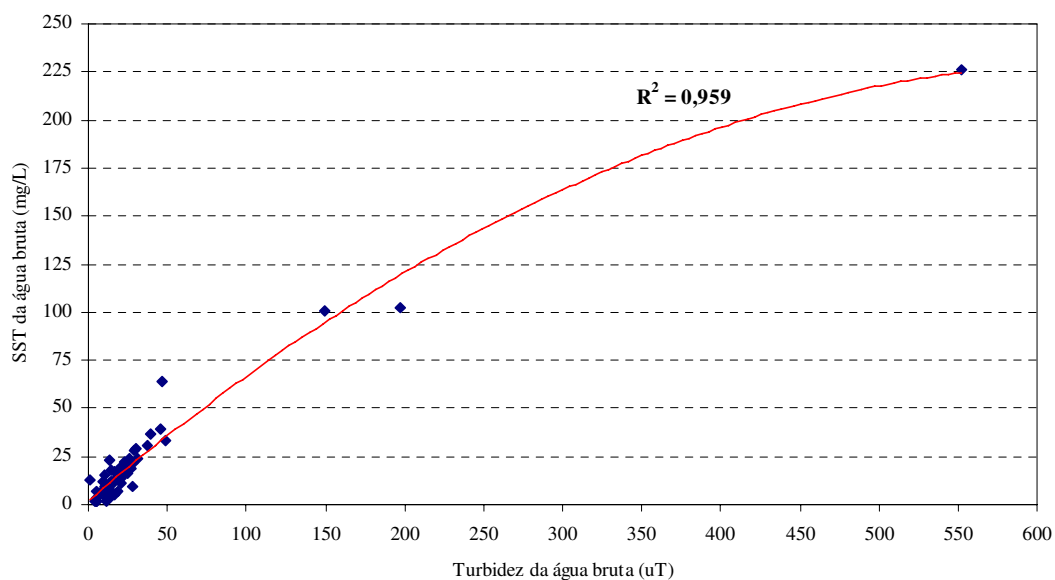


**Figura 110 – SST afluente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 7ª carreira SEQ 2 e ETA**



**Figura 111 – SST afluyente e efluente em todas as unidades do sistema de FiME na 8ª carreira SEQ 2 e ETA**

A Figura 112 mostra que há uma correlação polinomial entre a turbidez e a quantidade de SST na água bruta, com coeficiente de correlação igual a 0,959.



**Figura 112 – Relação entre turbidez da água bruta e SST em todas as carreiras de filtração**

Dessa forma, em períodos de alta turbidez, a presença de quantidades significativas de sólidos em suspensão na água afluyente aos filtros pode ocasionar problemas

operacionais e de qualidade da água filtrada, ocorrendo a obstrução dos vazios intergranulares (colmatção) das camadas superiores do meio filtrante.

A remoção de SST variou de 50,0 a 100,0% no FLA e 42,9 a 100,0% para o FLAC. Em pesquisa realizada por Veras (1999), foi verificado que valores de SST de 96 mg/L na água bruta foram reduzidos a valores inferiores a 5 mg/L no efluente final (redução de 94,5%), com PFD operando com taxa de 24 a 48 m/d, PFA com taxa de 8 a 16 m/d e filtros lentos com taxa de 3 a 4 m/d, taxas também utilizadas no presente trabalho.

O valor máximo de remoção obtido no PFD foi de 80,0% na carreira 8 deste estudo, operado com baixa turbidez e baixa taxa de filtração. Veras e Di Bernardo (2008), obtiveram variação de 22,0 a 66,0% de remoção de SST no PFD e em estudos de Coelho (2002), o mesmo concluiu que as remoções no PFD e PFA variavam de 50,0 a 60%.

Nas Tabela 29 e 30 estão relacionadas as porcentagens de remoção parcial de SST de cada unidade de FiME e de remoção global para os dois sistemas de tratamento (FiME e ETA ciclo completo) para a SEQ 1 e SEQ 2 do experimento.

As unidades constituintes da FiME mais importantes que contribuíram para a remoção de SST foram o PFA, FLA e FLAC.

**Tabela 29 – Porcentagens de remoção parcial de SST de cada unidade de FiME e remoção global para os dois sistemas de tratamento – SEQ 1**

Carreira	% Remoção Parcial				% Remoção Global		
	PFD	PFA	FLA	FLAC	FiME FLA	FiME FLAC	ETA
1	42,9 – 50,0	0 – 75,0%	0 – 50,0%	0 – 50,0%	50,0 – 88,9	42,9 – 88,9	50,0 – 85,7
2	33,3 – 55,6	50,0 – 95,0	50,0 – 100,0	0 – 50,0	66,7 – 100,0	66,7 – 85,7	66,7 – 100,0
3	5,9 – 51,5	8,3 – 85,7	70,0 – 100,0	90,0 – 100,0	90,0 – 100,0	95,8 – 100,0	95,8 – 100,0
4	5,0 – 57,0	57,1 – 92,7	0 – 100,0	0 – 100,0	81,8 – 100,0	82,1 – 100,0	85,7 – 100,0
5	23,4 – 77,0	23,5 – 90,4	40,0 – 100,0	50,0 – 100,0	88,2 – 100,0	82,8 – 100,0	94,1 – 100,0
6	9,1 – 41,2	0 – 100,0	40,0 – 100,0	40,0 – 100,0	86,4 – 100,0	72,7 – 100,0	82,4 – 100,0
7	16,7 – 40,0	20,0 – 89,2	0 – 83,3	62,5 – 100,0	50,0 – 91,7	70,0 – 100,0	100,0
8	16,7 – 80,0	0 – 92,3	0 – 100,0	60,0 – 100,0	80,0 – 100,0	66,7 – 100,0	40,0 – 100,0

**Tabela 30 – Porcentagens de remoção parcial de SST de cada unidade de FiME e remoção global para os dois sistemas de tratamento – SEQ 2**

Carreira	% Remoção Parcial		% Remoção Global	
	PFD	FLA-2	FiME-FLA 2	ETA
6	9,1 – 41,2	0 – 100,0	14,3 – 100,0	82,4 – 100,0
7	16,7 – 40,0	46,2 – 100,0	75,0 – 100,0	40,0 – 100,0
8	16,7 – 75,0	30,0 – 100,0	41,7 – 100,0	75,0 – 100,0

As Figuras 104 a 111 mostram as remoções de SST para a SEQ 1 e Figuras 112 a 114 para a SEQ 2 do experimento. Essa remoção indicada nas figuras citadas é a acumulada em relação à água bruta, em cada unidade do sistema de FiME e ETA ciclo completo.

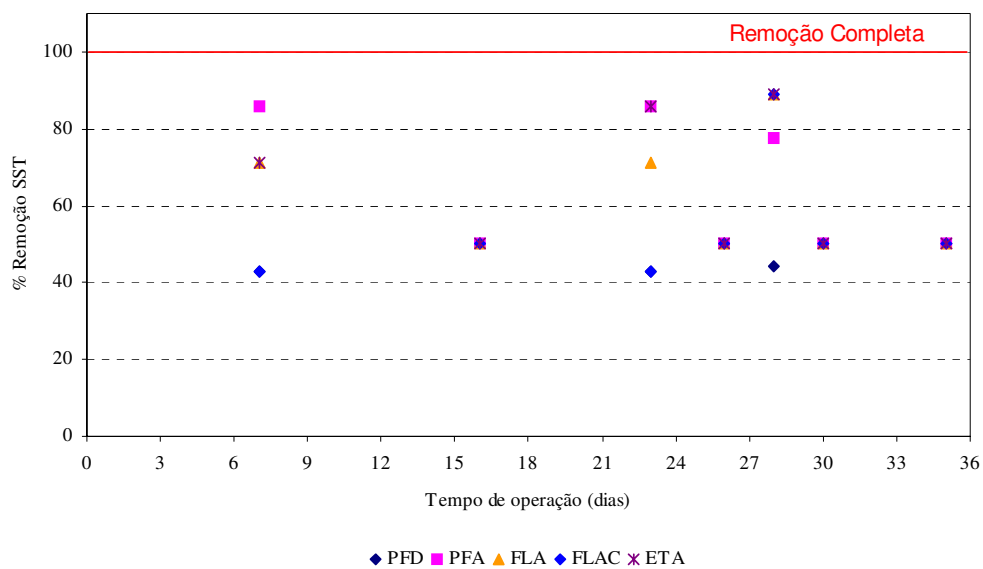


Figura 113 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 1ª carreira – SEQ 1

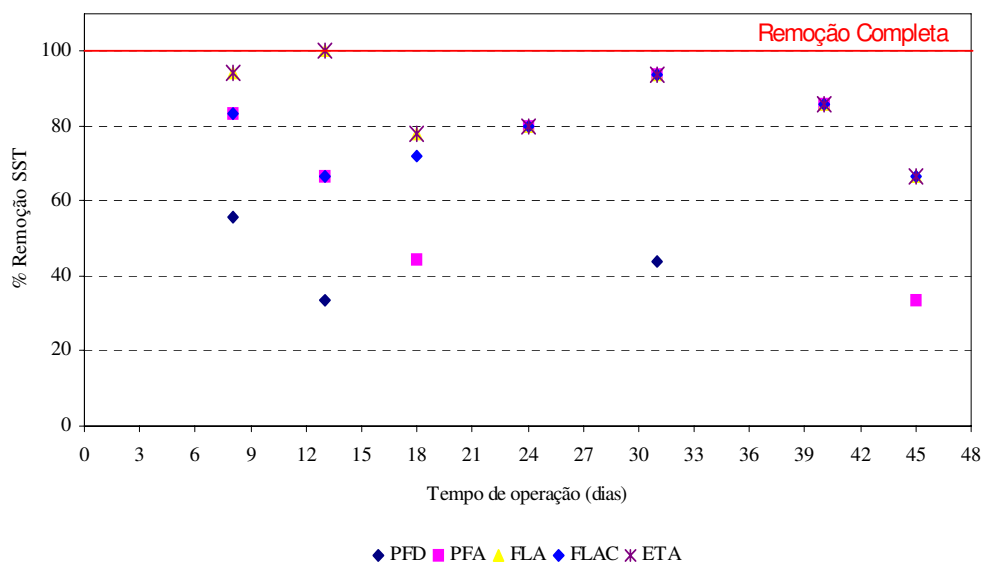


Figura 114 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 2ª carreira – SEQ 1

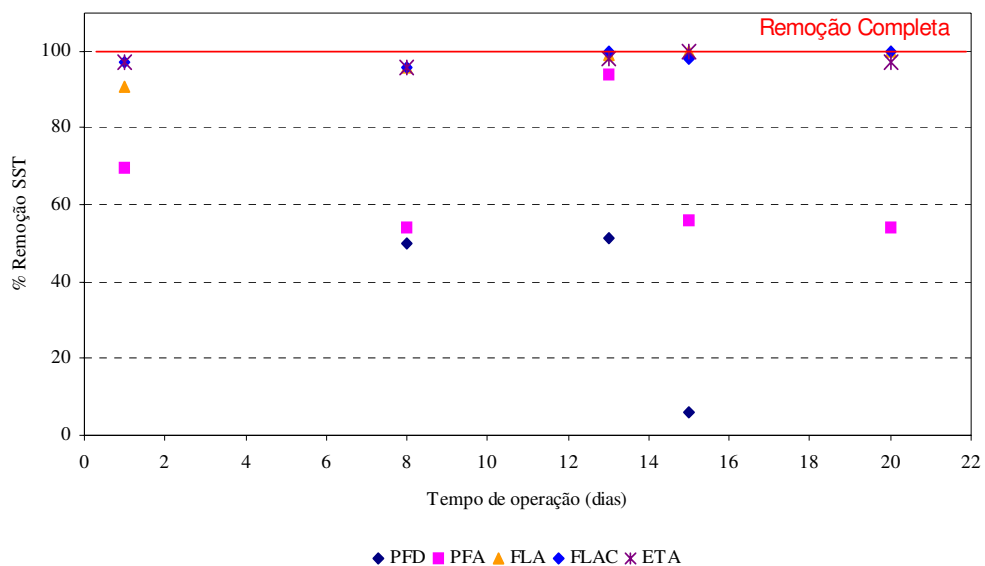


Figura 115 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 3ª carreira – SEQ 1

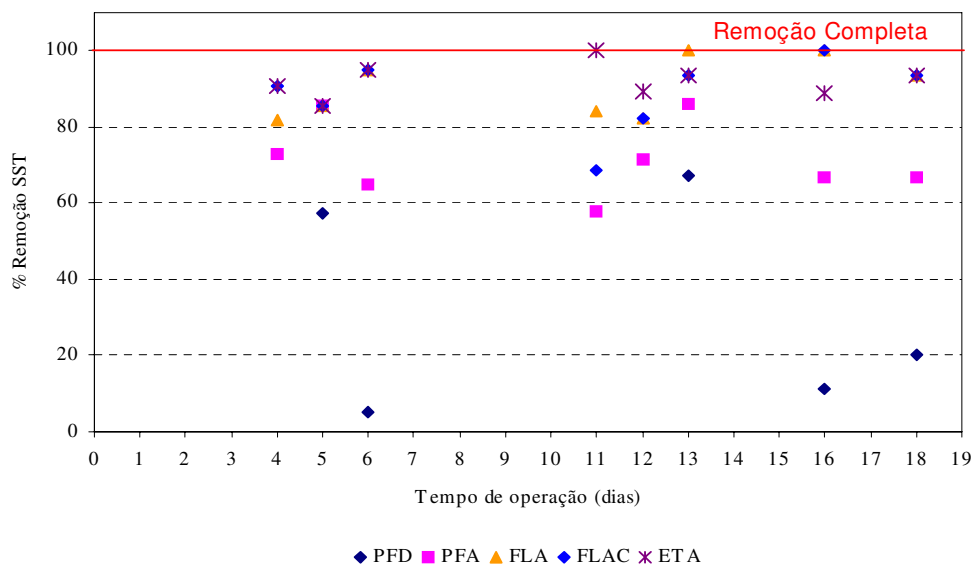


Figura 116 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 4ª carreira – SEQ 1

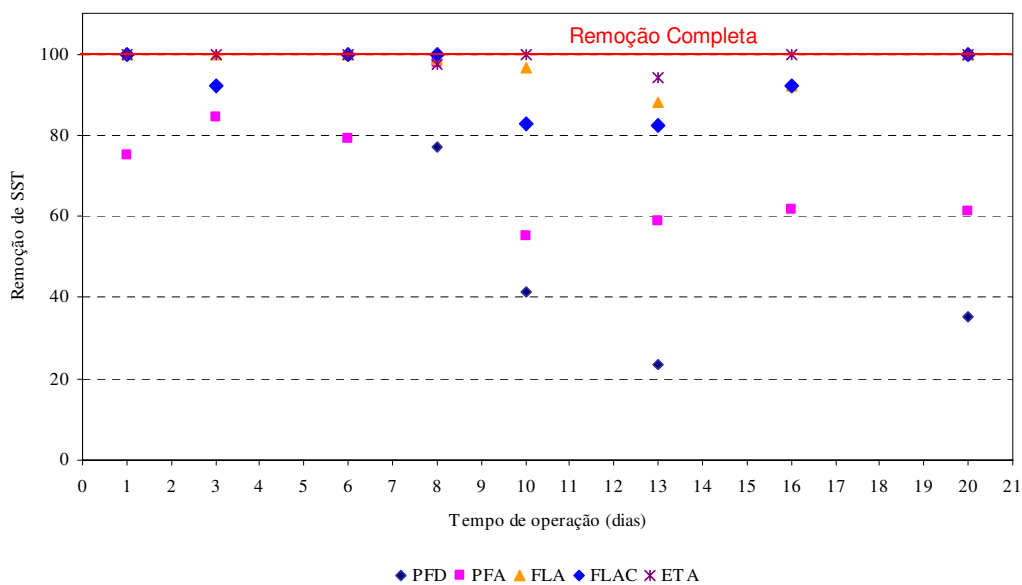


Figura 117 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 5ª carreira – SEQ 1

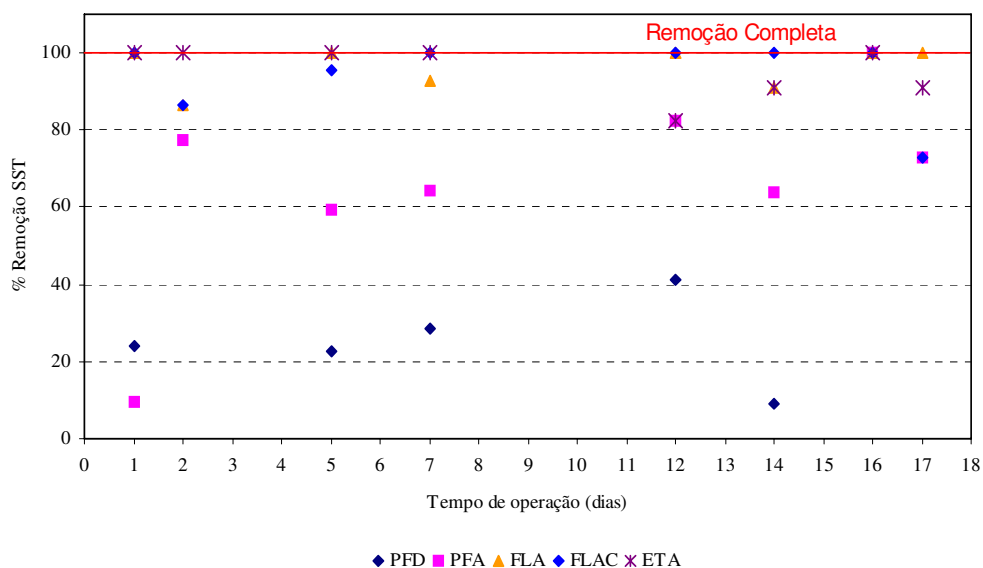


Figura 118 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 6ª carreira – SEQ 1

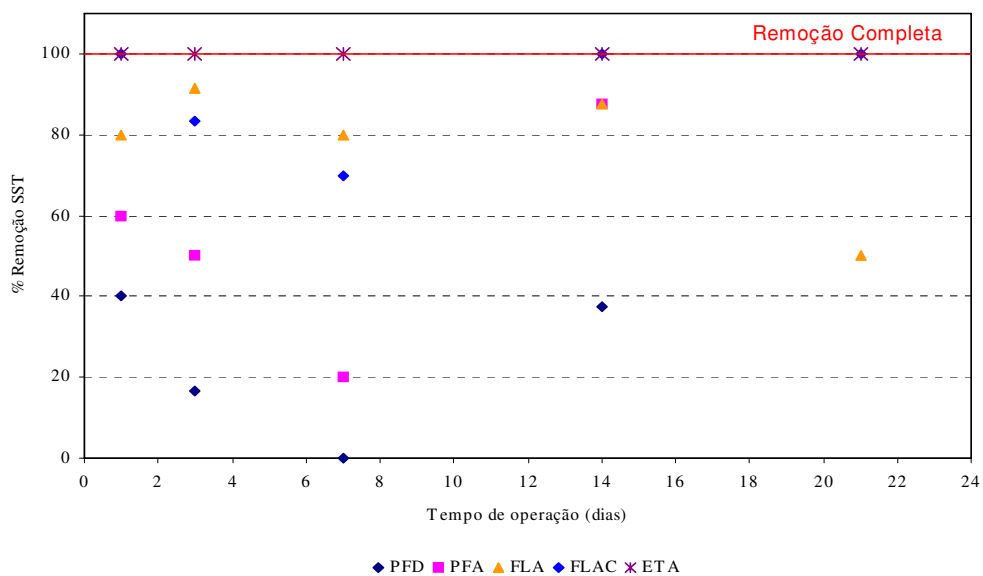


Figura 119 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 7ª carreira – SEQ 1

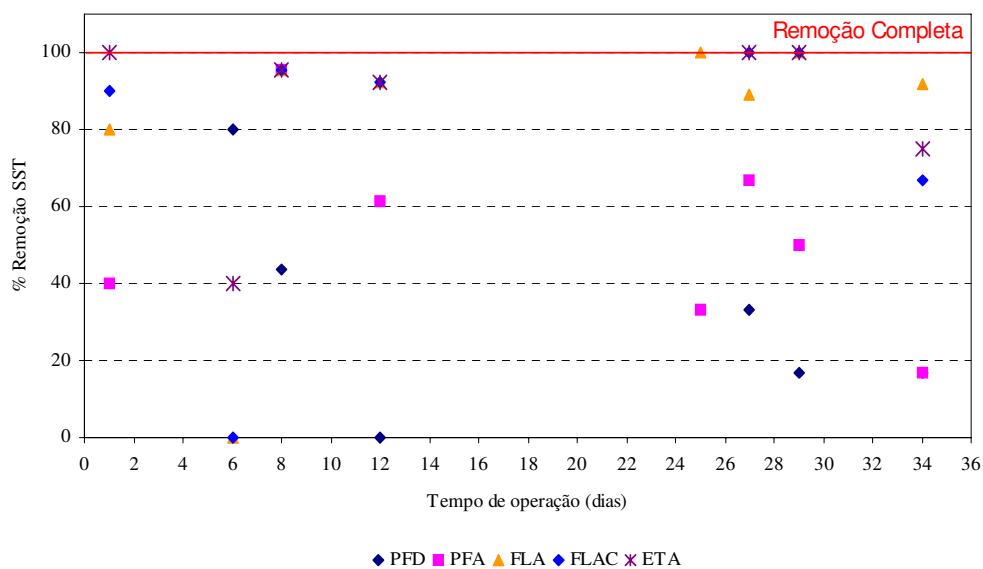


Figura 120 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 8ª carreira – SEQ 1

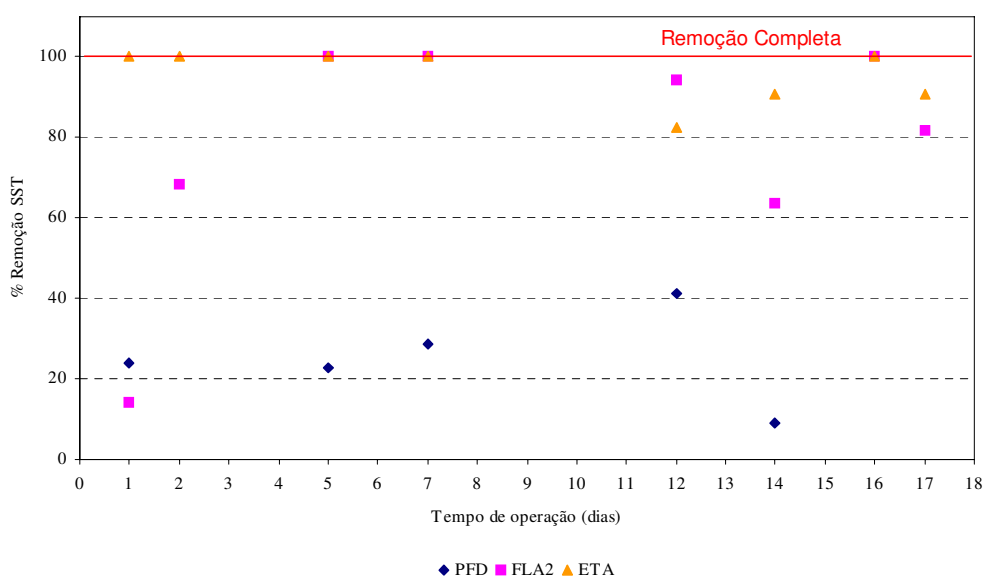


Figura 121 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 6ª carreira – SEQ 2

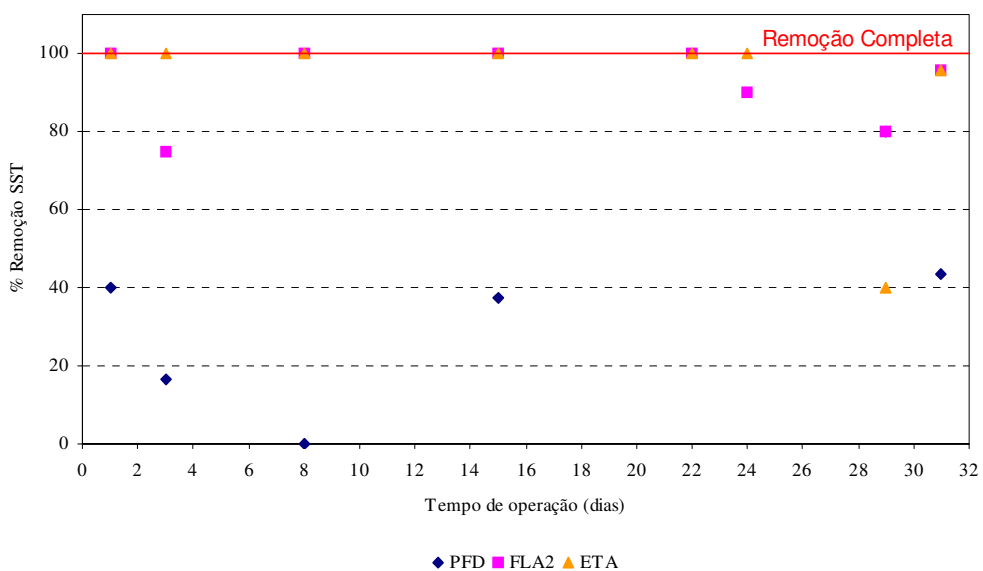
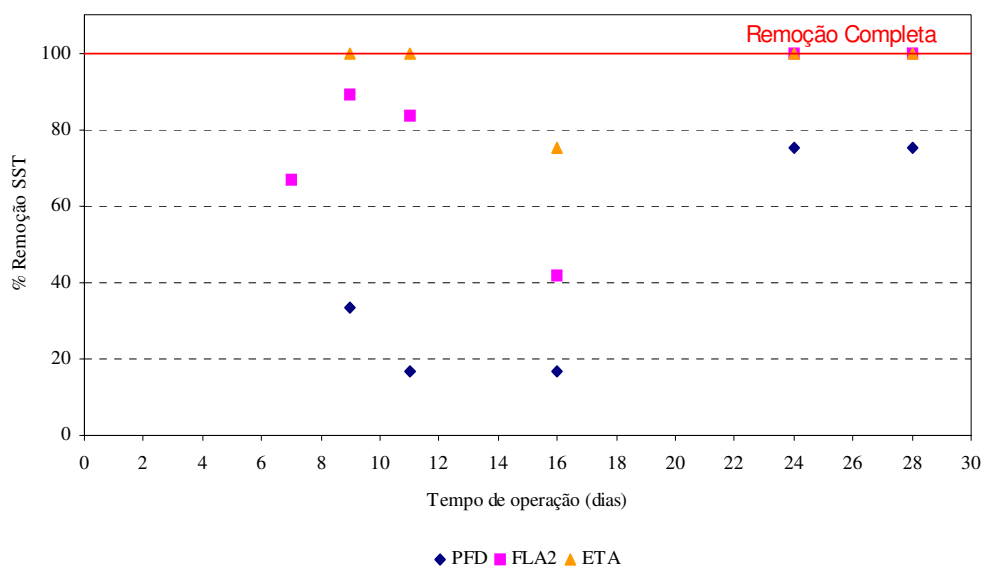


Figura 122 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 7ª carreira – SEQ 2



**Figura 123 – Remoção de SST em todas as unidades FiME e ETA na 8ª carreira – SEQ 2**

As análises estatísticas efetuadas com os dados de SST obtidos nas carreiras têm como objetivos: (1) comparar o desempenho das unidades de filtração do sistema de FiME e ETA ciclo completo em cada carreira de filtração; (2) comparar o desempenho dos tratamentos (FiME e ETA) na remoção de SST em períodos de alta e baixa turbidez e (3) comparar o desempenho de cada unidade de filtração do sistema de FiME para situações de alta e baixa taxa de filtração.

Estas análises são apresentadas sequencialmente para as SEQ 1 e 2 do experimento. As comparações se basearam em um intervalo de confiança de 95%, conforme Tabelas do apêndice B.

*Para a SEQ 1 (PFD, PFA, FLA e FLAC):*

(1) Em todas as carreiras de filtração não houve diferenças significativas entre os tratamentos FiME e ETA ciclo completo quanto à remoção de SST.

(2) Na segunda carreira, não houve diferenças significativas entre FiME e ETA mas os dados foram insuficientes para comparar FiME-FLA-1 e ETA.

De maneira geral, não se pode afirmar que houve diferenças significativas entre os sistemas de tratamento de FiME e ETA ciclo completo para as carreiras de filtração

analisadas quanto a remoção de SST, sendo que as duas formas de tratamento apresentaram eficiências semelhantes.

*Para a SEQ 2 (PFD, PFA-2):*

Para a SEQ 2 de experimento, não houve diferença entre os tratamentos FiME e ETA sendo que as duas formas de tratamentos foram eficientes quanto à remoção de SST.

Para a SEQ 2 não foi utilizado filtro lento com carvão ativado.

As Tabelas B-23 a B-28 do apêndice B mostram as variações dos tratamentos para turbidez baixa (denominada turbidez 1) e turbidez alta (denominada turbidez 2) em todas as carreiras para comparação de remoção de SST.

Para a turbidez baixa, os testes não-paramétricos utilizados indicaram que houve diferença significativa entre a eficiência de remoção de SST entre FiME-FLAC e ETA sendo que a melhor média de remoção foi obtida pela ETA. O desempenho dos dois filtros FLA-1 e FLAC foram semelhantes.

Para a SEQ 2, que foi operada apenas com a turbidez baixa, não houve diferenças significativas entre os dois tratamentos.

Para a turbidez alta, utilizando os testes não-paramétricos, não houve diferença entre os tratamentos FiME e ETA e entre FLA-1 e FLAC.

De maneira geral, pode-se concluir que para remoção de SST em situações de alta e baixa turbidez, não se pode dar preferência nem para o sistema FiME nem para ETA ciclo completo, com base nos dados deste trabalho, sendo que as duas formas de tratamento são propícias para essas situações.

As Tabelas B-29 a B-36 do apêndice B mostram as variações de SST para as taxas de filtração, denominadas taxa 1 (baixa) e taxa 2 (alta).

Para a taxa 1 (baixa) os testes não-paramétricos utilizados mostraram que houve diferença apenas entre os tratamentos FiME-FLAC e ETA, sendo a melhor média de remoção foi para ETA.

Para a SEQ 2, os dados paramétricos evidenciaram que não houve diferença entre FiME e ETA.

Com relação à taxa 2 (alta), não houve diferença significativa entre os tratamentos FiME e ETA. Quando comparados os filtros FLA-1 e FLAC, a melhor média de remoção foi para FLA.

Para a SEQ 2, não houve diferença significativa entre os tratamentos FiME e ETA.

Assim, para remoção de SST em situações de baixa taxa de filtração, a ETA ciclo completo se apresentou mais eficiente e para situações de alta taxa de filtração, conclui-se que tanto ETA quanto FiME são tratamentos propícios para essa situação.

De acordo com os resultados estatísticos do trabalho de Veras e Di Bernardo (2008), quando utilizado um PFA em camadas, a utilização da taxa de 6 m/d pareceu ser mais eficiente na remoção de SST do que utilizando taxas de 3 ou 4 m/d e as eficiências dos FLA não variaram nas diversas linhas estudadas, resultados que corroboram com os dados desse trabalho. Em experimentos realizados por Latorre et al. (1996), a eficiência de remoção de sólidos suspensos não foi significativamente afetada pelo aumento das taxas de filtração de 48 m/d (taxa utilizada no PFD para as carreiras 2, 6 e 7) para 96 m/d, mas mostrou-se sensível ao aumento da taxa para 120 m/d.

## 5.5 Correlações

Foi realizada a verificação de correlação entre as remoções dos parâmetros cor, turbidez, SST e coliformes e também foi avaliada a correlação dos dados entre as leituras dos parâmetros cor aparente e cor verdadeira.

No caso da correlação entre cor verdadeira e cor aparente, foram utilizados os dados da carreira 8 pois apenas nessa foi realizada a análise de cor verdadeira. Houve boa correlação positiva entre cor verdadeira e cor aparente, sendo  $R = 0,9819$  e a equação de regressão é apresentada na Figura 124.

Não houve correlação clara entre as remoções dos demais parâmetros analisados. Os coeficientes entre os dados foram pequenos, indicando uma baixa relação entre os mesmos.

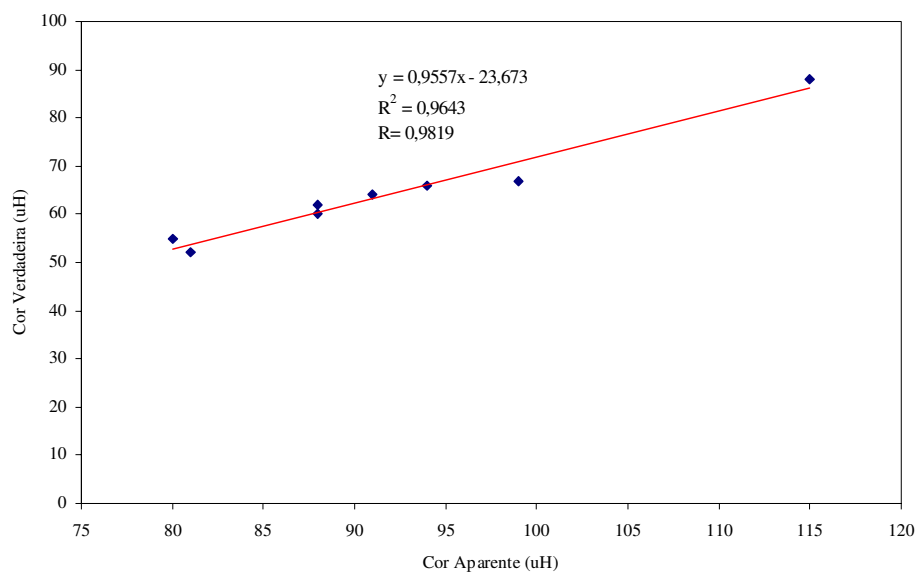


Figura 124 – Correlação entre cor aparente e cor verdadeira

## 5.6 Perda de Carga

As perdas de carga foram obtidas calculando-se as diferenças das leituras piezométricas entre os pontos de montante e de jusante da camada do meio filtrante.

A Figura 125 mostra a evolução das perdas de carga ao longo das carreiras de filtração e o comportamento em função da qualidade da água e da taxa de filtração aplicada.

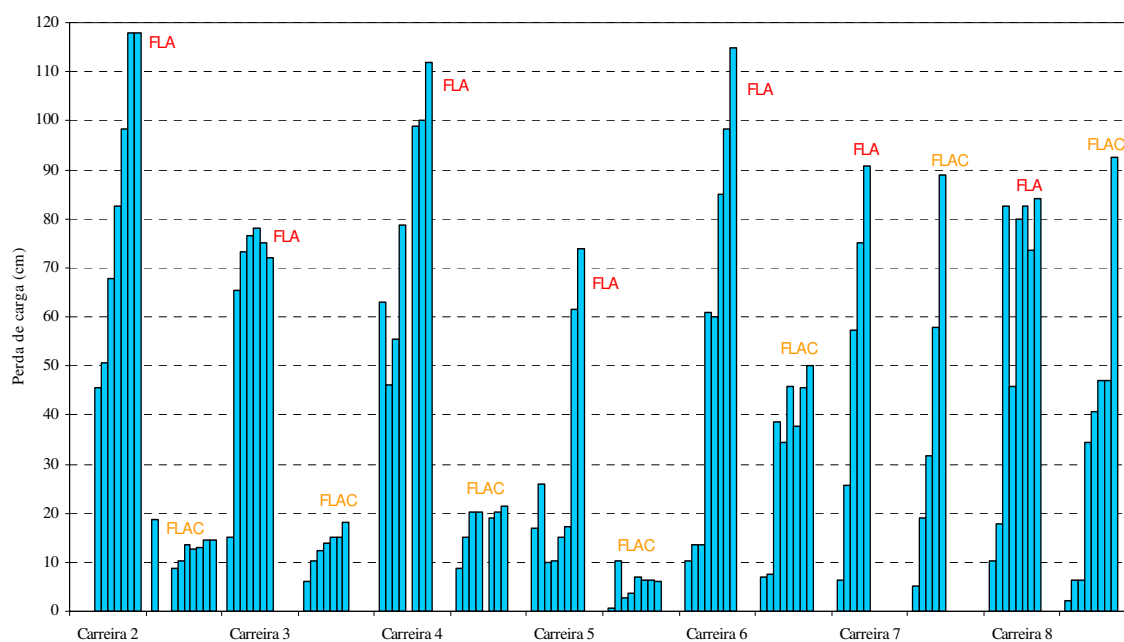


Figura 125 – Evolução das perdas de carga em todas as carreiras de filtração

Como observado em estudo de Tangerino (2003), as perdas de carga para os FLAC permaneceram baixas, raramente atingiram 20 cm e o mesmo ocorreu nesse trabalho. Possivelmente, a perda de carga do FLAC seja menor do que FLA pois a camada de CAG, que está sob uma camada de areia, protege o carvão, que é muito poroso, de uma excessiva carga de matéria orgânica particulada. Essa camada superior de areia funciona como um filtro lento natural e o carvão como adsorvedor (COELHO, 2002) e a perda de carga aumenta com menos intensidade.

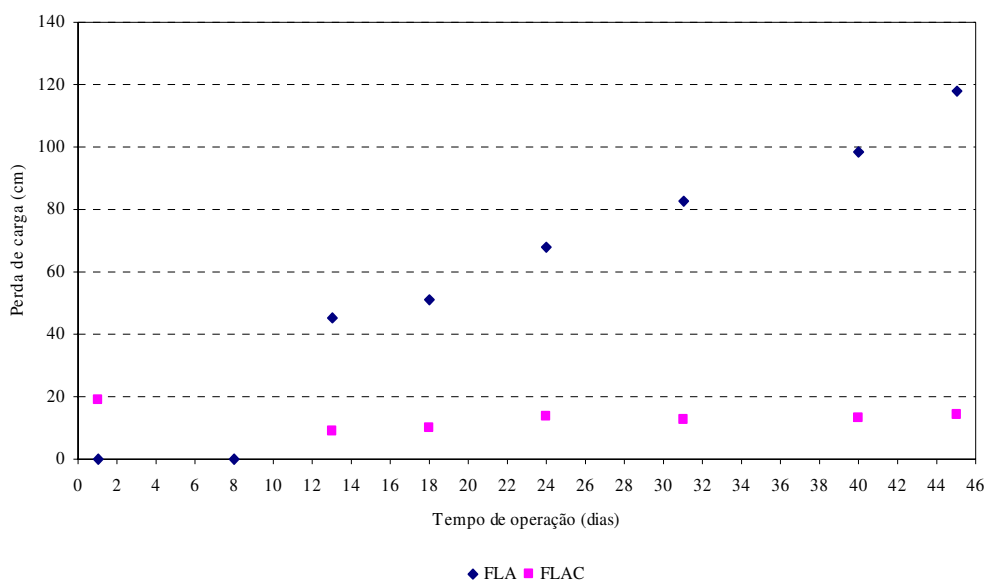
Os FLA nas carreiras 2, 3, 4 e 5 apresentaram perda de carga maior pois nesse período a turbidez da água estava alta. Na carreira 6 houveram muitos picos de turbidez e a taxa de filtração era alta (6 m/d).

A partir da carreira 6 de filtração foi evidenciado um aumento progressivo na perda de carga do FLAC. Como o carvão ativado é muito adsorvente, possui uma elevada área superficial e estrutura microporosa, provavelmente, com o decorrer das carreiras de filtração e do tempo dos experimentos, essa capacidade de adsorção ficou comprometida e contribuiu para a elevação da perda de carga.

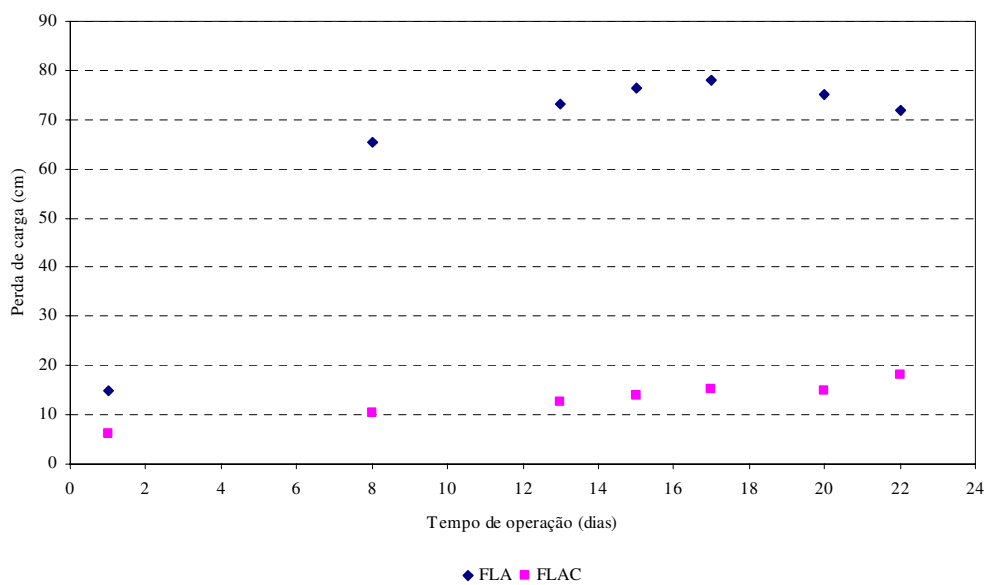
No início da carreira de filtração, a altura da água sobre o leito filtrante é mínima, crescendo gradualmente para compensar a resistência hidráulica devido à retenção de impurezas e da formação do *Schmutzdecke*. Quando o nível da água atinge a altura máxima (geralmente 1,0 m), o filtro é retirado para limpeza e a carreira de filtração encerrada (VERAS e DI BERNARDO, 2008).

A qualidade da água efluente das unidades filtrantes do sistema de FiME pode ficar comprometida com a perda de carga elevada. Esse fato justifica a menor eficiência de remoção de alguns parâmetros analisados, no final das carreiras de filtração em que a perda de carga estava alta. Isso ocorre devido à colmatação da camada superior do meio filtrante causando maior resistência hidráulica no interior do meio filtrante e as partículas sólidas são transportadas para unidades subsequentes. Outro aspecto é a qualidade da água afluyente às unidades filtrantes. Águas com elevada turbidez (carreiras 2, 3, 4 e 5) colmatam mais rapidamente as unidades filtrantes e elevam as perdas de carga devido ao aumento da resistência hidráulica do meio filtrante.

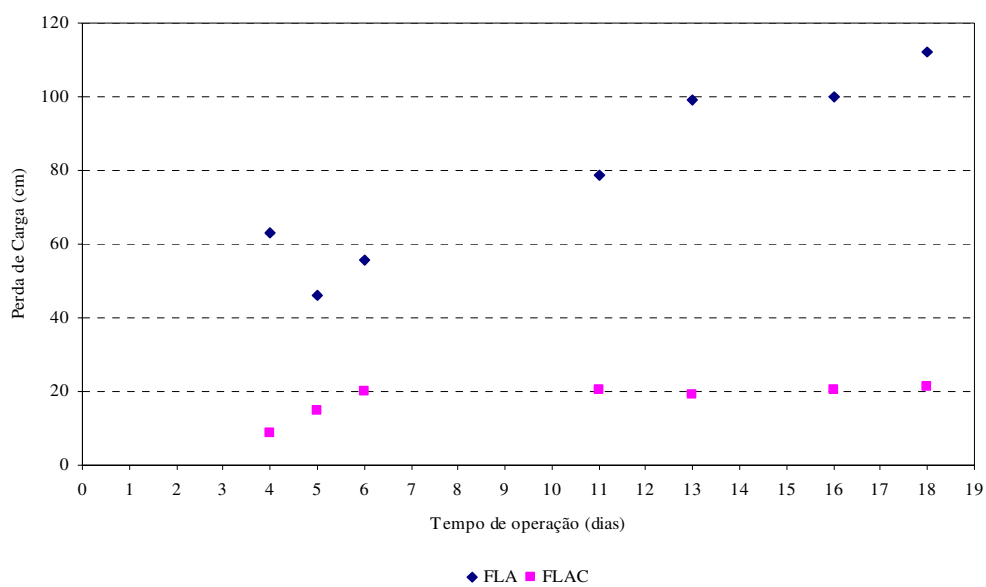
As Figuras 126 a 132 mostram as variações das perdas de carga em cada carreira de filtração para a SEQ 1.



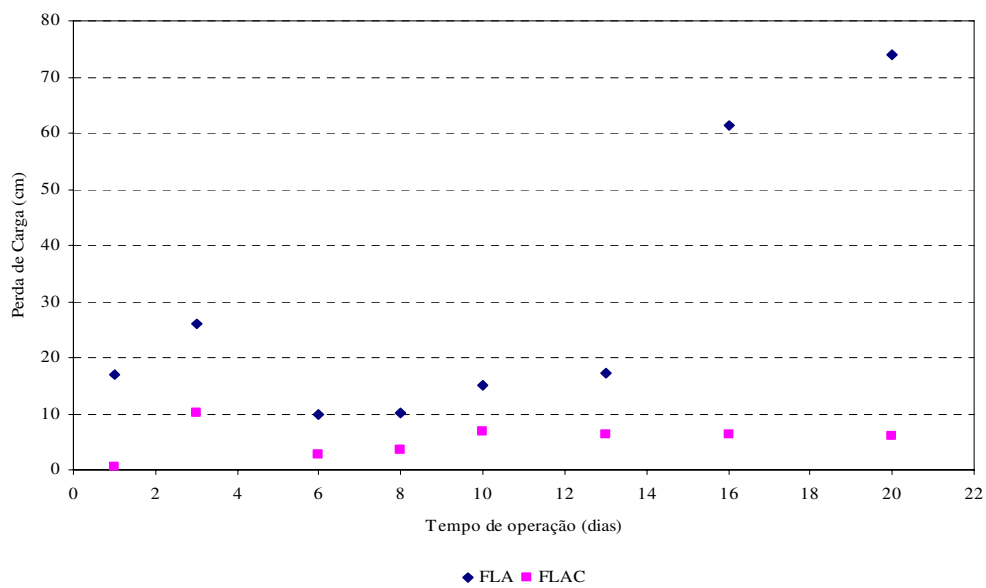
**Figura 126 – Perdas de Carga na 2ª carreira de filtração – SEQ 1**



**Figura 127 – Perdas de Carga na 3ª carreira de filtração – SEQ 1**



**Figura 128 – Perdas de Carga na 4ª carreira de filtração – SEQ 1**



**Figura 129 – Perdas de Carga na 5ª carreira de filtração – SEQ 1**

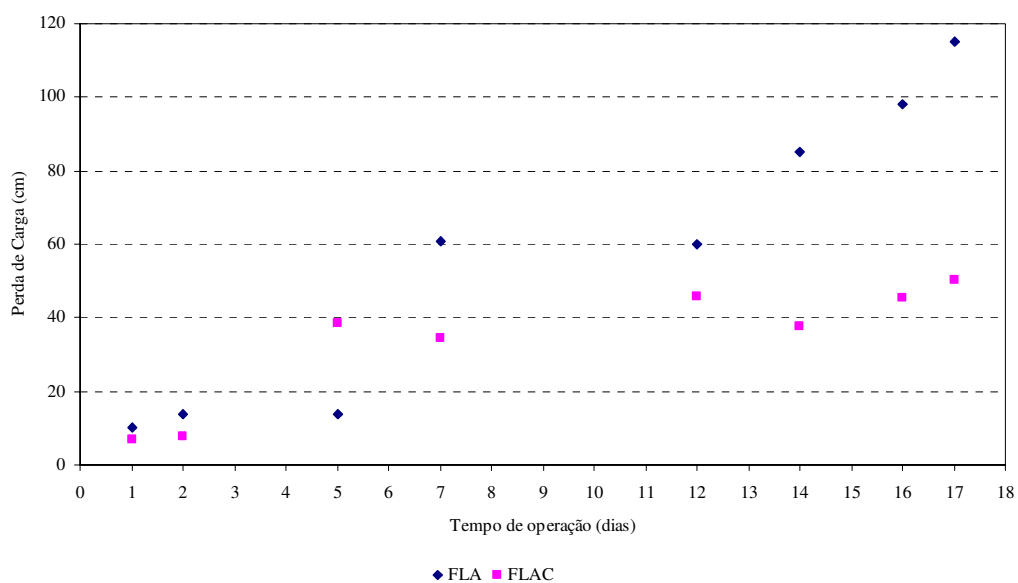


Figura 130 – Perdas de Carga na 6ª carreira de filtração – SEQ 1

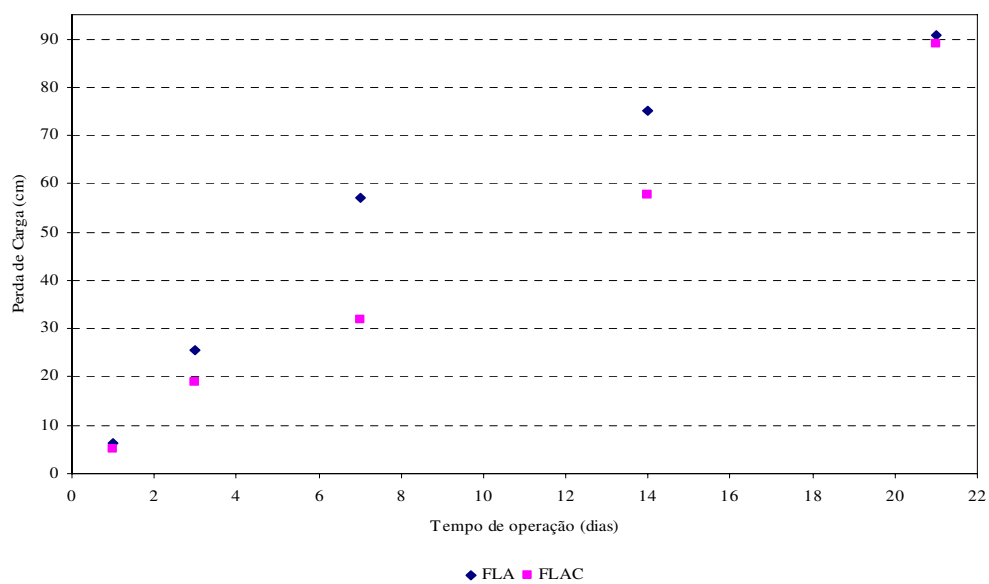
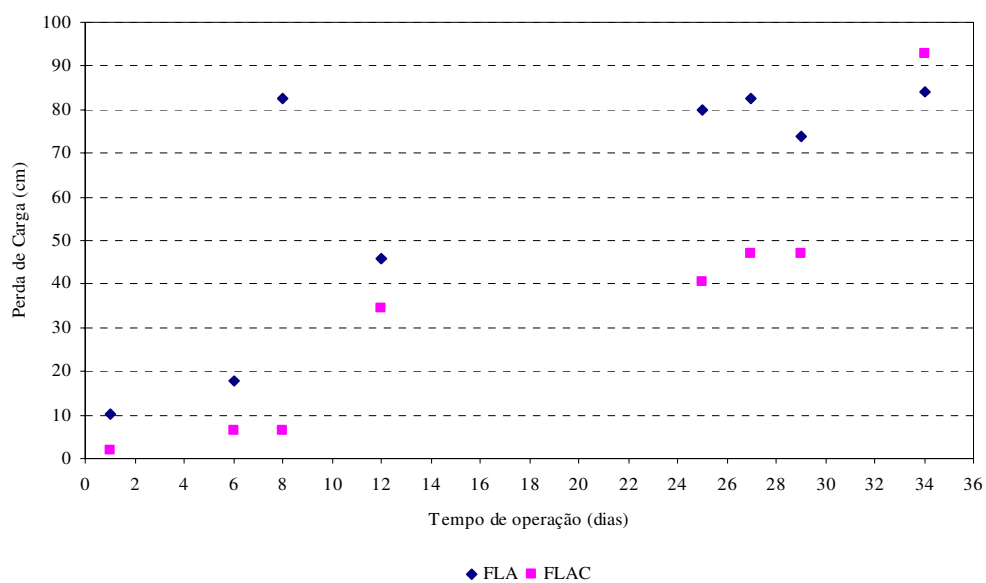
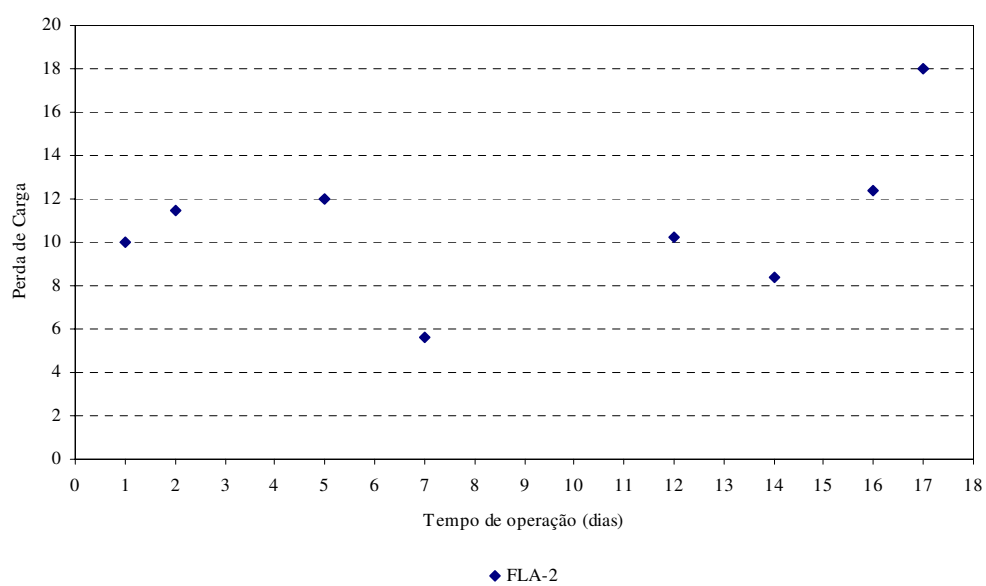


Figura 131 – Perdas de Carga na 7ª carreira de filtração – SEQ 1

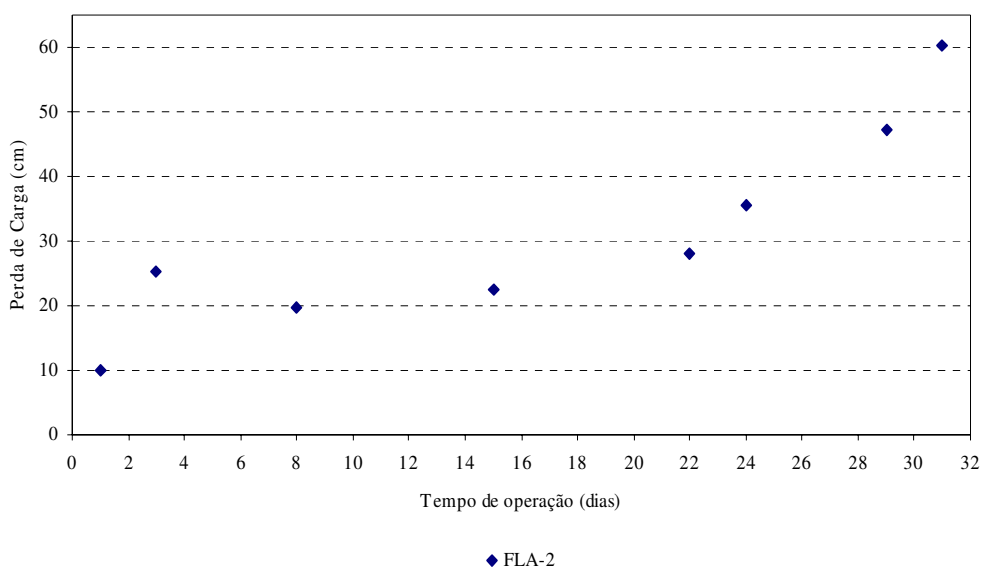


**Figura 132 – Perdas de Carga na 8ª carreira de filtração – SEQ 1**

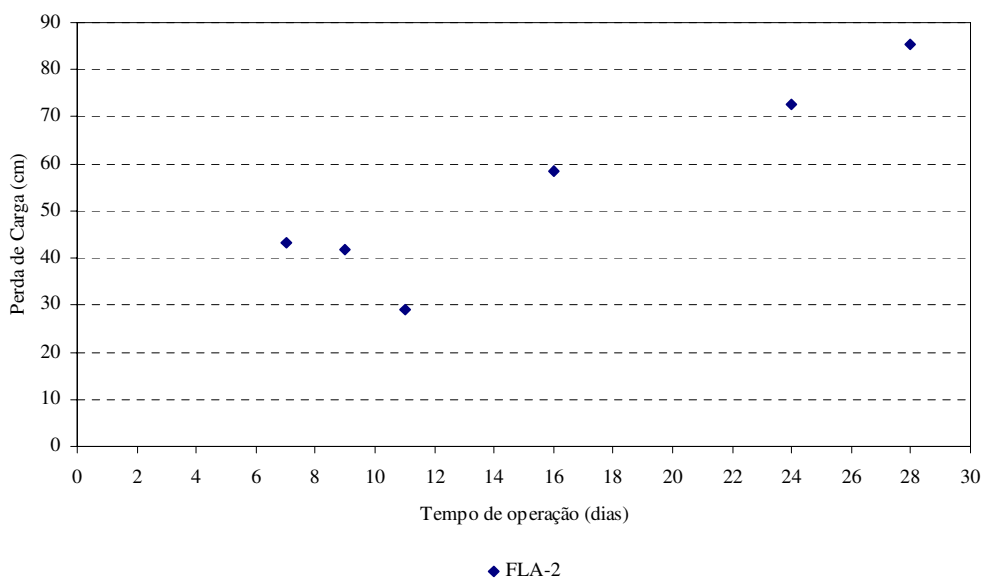
As Figuras 133 a 135 mostram as variações das perdas de carga para a SEQ 2.



**Figura 133 – Perdas de Carga na 6ª carreira de filtração – SEQ 2**



**Figura 134 – Perdas de Carga na 7ª carreira de filtração – SEQ 2**



**Figura 135 – Perdas de Carga na 8ª carreira de filtração – SEQ 2**

Verificou-se que para a carreira 6 da SEQ 2, o comportamento da perda de carga do FLA-2 foi diferente das demais carreiras. Os valores foram bem pequenos e com o decorrer do tempo do experimento, as perdas de carga foram aumentando gradativamente. O material filtrante era novo, sendo monitorado pela primeira vez, não havia presença de impurezas e a camada biológica ainda estava em formação. Assim como observado anteriormente, isto mostra que o efeito do tempo de uso do material comprometeu a sua capacidade de adsorção, elevando a perda de carga.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

*De acordo com o trabalho experimental realizado, conclui-se que:*

- A tecnologia de FiME, constituída de pré-filtro dinâmico, pré-filtro com escoamento ascendente, filtro lento de areia e filtro lento de areia e carvão ativado granular mostrou-se uma tecnologia adequada na produção de água potável provendo água, em 40% das amostras analisadas, em condições compatíveis às estabelecidas pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde para turbidez, coliformes totais e termotolerantes e SST, necessitando apenas de desinfecção no efluente final.

- Quanto a remoção de cor aparente, as duas formas de tratamento (FiME e ETA) apresentaram remoções superiores a 90% mas não atenderam a Portaria 518/2004 (BRASIL, 2004), que estabelece como padrão um valor mínimo de 5 uH para águas destinadas ao abastecimento público. A água bruta apresentou picos de cor durante todo o período experimental e a cor da água afluenta aos FLA e FLAC não foi inferior a 5 uH para que a filtração lenta funcionasse adequadamente, segundo Di Bernardo (1993). Para situações de alta turbidez, a FiME produziu água com cor compatível à ETA ciclo completo e para situações de baixa turbidez, a ETA ciclo completo se apresentou mais eficiente como forma de tratamento;

- O desempenho do sistema de FiME na remoção de turbidez e SST foi bastante elevado, variando de 90% a 100%;

- De maneira geral, não houve diferenças significativas entre os sistemas de tratamento de FiME e ETA ciclo completo quanto a remoção de turbidez nas carreiras analisadas. Para situações de alta turbidez, a FiME e ETA apresentaram eficiências compatíveis e para situações de baixa turbidez, o desempenho da FiME foi elevado mas a ETA ciclo completo se apresentou mais eficiente como forma de tratamento.

- A ETA apresentou melhor desempenho do que o sistema de FiME sem PFA, evidenciando a importância da pré filtração ascendente antecedendo a filtração lenta. A SEQ 2 (PFD, FLA-2) produziu água potável em 67% da oitava carreira de filtração, operada em condições de baixa taxa de filtração e baixa turbidez;

- De maneira geral, o FLA e FLAC tiveram eficiências semelhantes na remoção de coliformes totais e termotolerantes, independente da turbidez da água bruta;

- Não foi possível identificar precisamente o período de amadurecimento do FLA mas houve uma tendência de melhora de eficiência em cada carreira com remoções na ordem de 3,7 unidades logarítmicas de coliformes;

- O aumento das taxas de filtração ( 3 m/d e 6 m/d) influenciou negativamente na performance dos FLA e FLAC para a remoção de turbidez e cor aparente, mas essa diferença não foi tão evidente para os parâmetros coliformes e SST;

- A remoção de SST foi elevada durante todo o período experimental. Em situações de alta turbidez, ambos os tratamentos, FiME e ETA ciclo completo, foram propícios. Para situações de baixa turbidez, a ETA ciclo completo se apresentou mais eficiente como forma de tratamento quando comparada à FiME;

- O FLA e FLAC se mostraram as unidades mais importantes do sistema de FiME.

- O PFD se mostrou pouco estável nas condições estudadas. Para a remoção de SST, além do FLA e FLAC, o PFA também se mostrou uma unidade importante e sua eficiência de remoção variou de 75% a 100%;

- Verificou-se correlação entre cor verdadeira e cor aparente mas não foi verificada correlação entre as remoções dos parâmetros cor, turbidez, SST e coliformes;

- As perdas de carga do FLAC foram menores do que FLA no início dos experimentos devido à camada de areia atuar como um filtro natural fazendo com que a perda de carga aumente com menos intensidade. Com o decorrer do tempo das carreiras de filtração, mais precisamente a partir da sexta carreira, foi evidenciado um aumento progressivo na perda de carga do FLAC. Possivelmente a capacidade de adsorção do CAG ficou comprometida e contribuiu para a elevação da perda de carga;

- A alta turbidez da água bruta (carreiras 2, 3, 4 e 5) colmatou mais rapidamente as unidades filtrantes e elevaram as perdas de carga devido ao aumento da resistência hidráulica do meio filtrante;

*Com base nas observações realizadas durante o período experimental e resultados obtidos, recomenda-se:*

- Utilizar a coluna de carvão ativado granular existente na instalação piloto e avaliar a eficiência do efluente quanto à remoção de cor;

- Estudar a viabilidade de pesquisas utilizando oxidantes antecedendo a filtração, para águas com elevada cor de origem orgânica;

- Estudar a viabilidade de implantação de um reservatório de água bruta próximo ao PFD para que a carreira de filtração não seja interrompida caso haja problemas com a bomba de sucção e para monitoramento da qualidade da água bruta;

- Pesquisar a vida útil do carvão ativado no FLAC em períodos de alta e baixa turbidez e avaliar a periodicidade de troca e custos envolvidos;

- Adotar um sistema de orifício e hidrômetro para melhor controle de vazão de entrada do afluente no PFD, FLA e FLAC;

- Estabelecer uma rotina de limpeza para o PFD a cada 4 - 6 dias em períodos de alta turbidez de 10 a 15 dias em períodos de baixa turbidez para melhorar a eficiência do sistema;

- Estudar o período de “amadurecimento do FLA” realizando monitoramento diário dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água em períodos de alta e baixa turbidez com diferentes taxas de filtração;

- Desenvolver estudos com FiME em diferentes mananciais;

- Desenvolver estudos para verificar as causas do aumento de coliformes no efluente do PFD;

- Estudar a formação e o desenvolvimento do *Schmutzdecke* nos filtros lentos;

- Desenvolver estudos para avaliar a qualidade e a tratabilidade do lodo dos filtros;

- Comparar os resultados das análises obtidos nas carreiras de filtração do sistema de FiME e a ETA de Goianápolis com outras Estações de Tratamento de Água de ciclo completo para avaliar o desempenho de cada uma.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÓCER, C. N. K. S. *Comparação do desempenho de filtros lentos de areia operados com nível constante e com nível variável*. 1993. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

AGUILA, N.K.S. *Influência da pré-oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio no desempenho da filtração lenta em areia e carvão ativado granular*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

APHA; AWWA; WEF. *Standard methods for the examination of water and Wastewater*. 21 ed. Washington D.C., 2004.

BAUER, M. J.; COLBOURNE, J. S.; FOSTER, D. M.; GOODMAN, N. V.; RACHWAL, A. J. *GAC Enhanced Slow Sand Filtration (GAC Sandwich)*. In: Graham, N. e Collins, R. *Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration*. England: John Wiley & Sons, 1996. p.223-232.

BRANDÃO, C. C. S. et al. *O uso da filtração em múltiplas etapas no tratamento de águas com elevado teor de algas*. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 1998, Lima, Peru.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n. 518, de 25 de março de 2004: *Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e dá outras providências*. Diário Oficial da União, n. 59, 26/03/2004, p. 266-270.

BRITO, L. L. A.; CARDOSO, A. B.; SALVADOR, D. P.; HELLER, L. *Amadurecimento de filtros lentos de areia e remoção de microrganismos indicadores de qualidade da água ao longo da profundidade do leito: uma avaliação em instalação piloto*. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10, n. 4, p. 307-317, 2005.

CAMPOS, L.C.; SU, M.F.J.; GRAHAM, N.J.D.; SMITH, S.R. *Biomass development in slow sand filters*. Water Research, London, v.36, n.18, p. 4543-4551, 2002.

CAMPOS, L.C (Coord). *Avaliação da Filtração em Múltiplas Etapas para Remoção de Turbidez em Águas Superficiais*. Projeto FIMERTAS apresentado à FUNASA - Coordenação Regional de Goiás, Divisão de Engenharia de Saúde Pública, Goiânia, out, 2006.

CLARKE, B.A.; JONES, C.J.; EVANS, H.L.; CROMPTON, J.L.; DOREA, C.C.; BERTRAND, S. *Multi-stage filtration for developing world surface water treatment*. Water Management, WM3, Guildford, United Kingdon, n. 157, p. 143-149, sep, 2004.

COELHO, E. R. C. et al. *Avaliação da filtração lenta na remoção de matéria orgânica natural, microorganismos e atrazina*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, set, 2001, João Pessoa, Paraíba.

COELHO, E. R. C. *Influência da pré-oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio na remoção de atrazina em filtros lentos de areia e carvão ativado granular*. 2002. 248p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

COELHO, E. R. C.; DI BERNARDO, L. *Avaliação de filtração lenta em leito de areia e carvão ativado granular e da pré-ozonização na remoção de matéria orgânica, microorganismos e atrazina*. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, 2002, Cancun, México.

CULLEN, T. R.; R. D. LETTERMAN. *The effect of slow sand filter maintenance on water quality*. JAWWA, v.77, n.12, p.48–55, 1985.

DANIEL, L. A.; BRANDÃO, C. C. S.; GUIMARÃES, J. R.; LIBÂNIO, M.; DE LUCA, S. J. *Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável*. São Carlos, PROSAB, 2001. 149p.

DANTAS, A.S. DI B. *Desempenho de sistemas de dupla filtração no tratamento de água com turbidez elevada*. 2004. 281p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. Vol 2. São Carlos: RiMa, 2005. 792p.

DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. *Tratamento de águas por filtração em Múltiplas Etapas*. Rio de Janeiro, ABES/PROSAB, 1999. 114p.

DI BERNARDO, L. *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. Vol 1. Rio de Janeiro, RJ, ABES, 1993.

DIZER H.; GRÜTZMACHER, G.; BARTEL, H.; WIESE, H.B.; SZEWZYK R.; LÓPEZ PILA, J.M. *Contribution of the colmation layer to the elimination of coliphages by slow sand filtration*. *Water Science & Technology*, v. 50, n.2, p.211-214, 2004.

DULLEMONT, Y. J.; SCHIJVEN, J. F.; HIJNEN, W. A. M.; COLIN, M.; MAGIC-KNEZEV, A.; OORTHUIZEN, W. A. *Removal of microorganisms by slow sand filtration*. In: Gimbel, R.; Graham, N.; Collins, R. (Eds.). *Recent Progress in Slow Sand and Alternative Biofiltration Processes*. England. IWA Publishing, 2006.

ELLIS, K.V. *Slow Sand Filtration*. CRC Critical Reviews in Environmental Control, v.15, n.4, p.315-354, 1985.

GALVIS, G. C.; ROJAS, R.; PARDÓN, M. *Agua, Saneamiento y Desarrollo*. Una visión desde América Latina y El Caribe. Material de referencia em Água y Saneamiento em El contexto Del IV Foro Mundial Del Agua. Lima, Peru, 2006.

GALVIS, G.; LATORRE, J.; OCHOA, A. E.; VISSCHER, J. T. *Comparasion of Horizontal and Upflow Roughing Filtration*. In: Graham, N. e Collins, R. *Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration*. England: John Wiley & Sons, 1996. p.341-348.

HACH, C. C.; VANOUS, R. D.; HEER, J. M. *Understanding turbidity measurement. Technical Information Series*, n.11, 1 ed., Hach Company.

HEALTH CANADA. *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality – Supporting Documentation – Turbidity*. Water Quality and Health Bureau, Healthy Environments and Consumer Safety Branch, Health Canada, Ottawa, 2003.

IRC. *Multi-Stage Filtration*. Thematic Overview Paper 15, IRC International Water and Sanitation Centre. Universidad del Valle, Cali, Colombia, October, 2006.

LANGLAIS, B.; RECKHOW, D. A.; BRINK, D. R. *Ozone in Water Treatment. Application and engineering*. Lewis Publishers Inc., Chelsea, 1991.

LATORRE, J.; GALVIS, G.; VISSCHER, J.T. *Performance evaluation of dynamic roughing filtration*. In: Graham, N. e Collins, R. *Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration*. England: John Wiley & Sons, 1996. p. 349-358.

LECHEVALLIER, M. W.; EVANS, T. M.; SEIDER, R. J. *Effect of turbidity on chlorination efficiency and bacterial persistence in drinking water*. *Applied and Environmental Microbiology*, v.42, n.1, p.159-167, July, 1981.

LETTERMAN, R.D. *Operation and Maintenance*. In: *Slow Sand Filtration*. G. S. (Ed.), Logsdon, Task Committee on Slow Sand Filtration, ASCE, 1991.

LEVINE, A. D.; TCHOBANOGLIOUS, G.; ASANO, T. *Characterization of the size distribution of contaminants in wastewater: treatment and reuse implications*. *Journal Water Pollution Control Federation*, v. 57, n. 7, p. 805-816, 1985.

LI, G. B.; MA, J.; DU, K.Y. *Multi-Stage Slow Sand Filtration for the Treatment of High Turbid Water*. In: Graham, N. e Collins, R. *Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration*. England: John Wiley & Sons, 1996. p.371-378.

LONDE, L. R. *Eficiência da Filtração Lenta no Tratamento de Efluentes de Leitões Cultivados*. 2002. Dissertação (Mestrado). FEAGRI-UNICAMP, Campinas, 2002.

MARRARA, D. A. F. *Filtração lenta em areia, manta não tecida e carvão ativado como pós-tratamento de efluentes domésticos*. 2005. 118p. Dissertação (Mestrado). Universidade de Campinas, Campinas, 2005.

MELLO, O. M. T. *Avaliação do desempenho da filtração em múltiplas etapas no tratamento de águas com elevadas concentrações de algas*. 1998. 136p. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

MONTEIRO, G.F. *Segredos da estatística em pesquisa científica*. 1ª edição, Goiânia, GO, gráfica e editora Vieira, 2004.

MONTGOMERY, D.C. *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. 4ª edição, Rio de Janeiro, RJ, LTC, 2001.

MOODY, C.; GARRETT, B.; HOLLER, E. *Pilot Investigation of Slow Sand Filtration and Reverse Osmosis Treatment of Central Arizona*. Project Water. Advanced Water Treatment Research Program - Report N<sup>o</sup>. 90. U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, August, 2002.

MORGADO, W. F. F. *Desinfecção de águas naturais por radiação solar utilizando os bioindicadores: Escherichia coli e Clostridium perfringens*. 2008. p.124. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

MURTHA, N.A., HELLER, L. *Avaliação da influência de parâmetros de projeto e das características da água bruta no comportamento de filtros lentos de areia*. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.8, n.4, p.267-277, 2003.

OCHIENG, G. M. M.; OTIENO, F. A. O.; SHIOTE, S. M.; MENZWA, D. M. *Performance of multistage filtration using different filter media against conventional water treatment systems*. Water AS, África, v.30, n.3, July, 2004.

OPS / CEPIS. *Guia para diseño de sistemas de tratamiento de filtración em múltiples etapas*. Lima, Peru, 2005.

PAGE, T. G.; COLLINS, M. R.; BAUER, M. J.; RACHWAL, A. J. *NOM removals by "GAC sandwich" Modification to Slow Sand Filtration*. In: Graham, N. e Collins, R. *Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration*. England: John Wiley & Sons, 1996. p. 267-276.

PARDON, M. *Treatment of turbid surface water for community supplies*. PhD thesis, University of Surrey, UK, 1989.

PATERNIANI, J. E. S.; CONCEIÇÃO, C. H. Z. DA. *Eficiência da pré-filtração e filtração lenta no tratamento de água para pequenas comunidades*. Revista de Engenharia Ambiental, v. 1, n. 1, jan/dez, 2004.

PATERNIANI, J. E. S.; CONCEIÇÃO, C. H. Z. DA. *Utilização da pré- filtração e filtração lenta no tratamento de água para piscicultura*. Revista Ecosystema, v. 26, n. 1, jan/jul, 2001.

PATERNIANI, J. E. S. *Estudo da Influência de Descargas de Fundo na Eficiência da Remoção de Microrganismos em Sistemas de Filtração Direta Ascendente*. 1986. 139p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.

PEREZ, W. E. *Avaliação do desempenho da filtração em múltiplas etapas (FiME) no tratamento da água do Ribeirão Sozinha – Goianápolis – GO*. 2009. 121p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

RANGEL, M. C.; BRITTO, J. M. *Processos avançados de oxidação de compostos fenólicos em efluentes industriais*. Química Nova, v. 31, n. 1 p.114-122, 2008.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M.; *Tratamento de água – Tecnologia atualizada*. São Paulo, p. 24-8, 286-7, 1991.

SÁ, J.C. *Remoção de Microcystis aeruginosa e microcistina pelo processo de filtração lenta*. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

SANEAGO. Saneamento de Goiás S/A. *Boletim Informativo de Fevereiro de 2009*. Assessoria de planejamento, Goiânia, GO, 2009.

SOUZA, J. C. DE; LIMA, C. V. DE. *Análise integrada do meio físico e uso do solo na bacia do Ribeirão Sozinha (GO)*. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Fev, 2009, Viçosa, MG.

TANGERINO, E. P.; BOTINI, M. T.; ROSSI, C. H.; FUZARO, A. R. *Emprego de colunas de filtração como camada biológica no filtro lento*. In: CONGRESSO INTERAMERICANO AIDIS, 26, Out, 2008. Santiago, Chile.

TANGERINO, E. P.; DI BERNARDO, L. *Remoção de substâncias húmicas por meio da oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio e FiME*. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 10, n. 4, p.290-298, out/dez, 2005.

TANGERINO, E. P. *Remoção de substâncias húmicas por meio da oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio e filtração lenta*. 2003. 265p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

TEIXEIRA, A. R.; COSTA, E. P.; PÁDUA, V. L.; HELLER, L.; DI BERNARDO, L.; LIBÁBIO, M. *Confiabilidade analítica dos valores de turbidez da água filtrada e seu efeito no cumprimento do padrão de potabilidade*. Revista de Engenharia Sanitária Ambiental, vol. 9, n. 1, p. 65-72, 2004.

USEPA (1999). *Giardia: drinking water health advisory*. USEPA, Washington, D.C., EPA-822-R-99-008, 1999.

VERAS, L. R. V.; DI BERNARDO, L. *Tratamento de água de abastecimento por meio da tecnologia de filtração em múltiplas etapas – FiME*. Revista de Engenharia Sanitária Ambiental, vol. 13, n. 1, p.109-116, jan/mar, 2008.

VERAS, L.R.V. *Tratamento de água superficial por meio de diferentes alternativas da tecnologia de Filtração em Múltiplas Etapas*. 1999. 246p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

VISSCHER, J. T.; GALVIS, G.; LATORRE, J. *Filtracion em múltiplas etapas – FiME: bondades e limitaciones*. Anais da Conferência Internacional Mejoramiento de La Calidad Del Agua. Santiago de Cali, abril, Colômbia, 1996.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2ª edição revisada, Belo Horizonte, MG, v.1, 1996

# APÊNDICE A

## TABELAS DE VALORES DOS PARÂMETROS ANALISADOS

Tabela A- 1 - Valores de turbidez da carreira de filtração 1 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de Turbidez (uT) Pontos de coleta das amostras					
			AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC	ETA conv
62,1	80,9	81,5	6,76	8,08	4,43	2,56	1,29	1,25
76,8	90,8	78,9	3,8	2,95	1,72	0,88	0,35	0,8
84,7	88,8	89,6	14,4	8,66	6,45	2,21	1,61	1,5
61,8	93,1	94,5	5,1	4,45	3,17	1,95	0,35	0,28
84,7	88,5	87,4	14,4	8	6,5	2,2	1,65	1,82
86,1	90,7	88,9	5,4	4,48	2,79	0,75	0,5	0,6
99,1	99,6	98,1	27,8	20,7	4,29	0,24	0,1	0,52
78,3	74,5	71,7	3,96	4,19	3,33	0,86	1,01	1,12
90,0	88,3	87,1	4,8	7,13	3,32	0,48	0,56	0,62

Tabela A- 2 - Valores de turbidez da carreira de filtração 2 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de Turbidez (uT) Pontos de coleta das amostras					
			AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC	ETA conv
98,2	96,1	91,6	23,3	6,1	7,55	0,42	0,92	1,95
99,4	98,1	97,7	198	60,6	44,1	1,2	3,79	4,58
96,7	88,9	95,1	14,8	12,1	9,18	0,49	1,65	0,72
96,3	90,4	95,6	13,5	11,8	8,5	0,5	1,3	0,6
65,1	73,7	72,9	25,1	65,5	13,5	8,77	6,59	6,8
81,2	92,0	92,7	16,8	11,6	7,17	3,16	1,35	1,22
97,2	95,3	95,0	24,8	12,8	3,8	0,7	1,17	1,25
69,1	75,8	82,8	4,95	17,5	4,1	1,53	1,2	0,85
82,3	-18,7	84,9	4,98	56,9	2,69	0,88	5,91	0,75

Tabela A- 3 - Valores de turbidez da carreira de filtração 3 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de Turbidez (uT) Pontos de coleta das amostras					
			AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC	ETA conv
88,6	83,1	83,4	48,3	62,5	28,3	5,5	8,18	8
98,3	90,1	99,6	30,9	20,5	15,2	0,54	3,05	0,12
100,0	100,0	99,5	149	53,8	7,39	0	0	0,8
99,8	99,3	98,4	197	185	56,3	0,46	1,36	3,24
97,7		72,1	22,18	48,7	28,3	0,51		6,18
98,3	82,2	89,0	39,6	67,4	25,6	0,67	7,04	4,35
96,5	83,5	94,5	26,4	25,4	13,1	0,93	4,35	1,45

Tabela A- 4 - Valores de turbidez da carreira de filtração 4 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de Turbidez (uT) Pontos de coleta das amostras					
			AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC	ETA conv
97,4	86,8	89,1	21,2	43,6	6,66	0,55	2,8	2,32
97,3	94,6	96,2	18,5	10	5,2	0,5	1	0,7
96,6	87,2	97,0	20,5	24,1	7,53	0,69	2,62	0,62
78,2	74,1	89,0	26,8	20,2	15,4	5,84	6,93	2,94
83,6	82,2	87,0	29,2	36,8	12	4,8	5,2	3,8
95,1	95,2	99,5	46,6	18,2	9,48	2,27	2,26	0,25
89,7	98,0	94,6	20,9	29,9	10,5	2,16	0,41	1,13
95,1	94,6	97,1	10,25	10,5	2,82	0,5	0,55	0,3

Tabela A- 5 - Valores de turbidez da carreira de filtração 5 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de Turbidez (uT) Pontos de coleta das amostras					
			AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC	ETA conv
97,3	97,0	94,5	21,6	25,5	5,9	0,59	0,65	1,19
95,8	91,6	89,1	16,6	20	6,77	0,7	1,39	1,81
98,2	98,4	97,9	26,2	42,4	4,7	0,47	0,42	0,55
99,9	99,9	97,5	552	51,8	6,78	0,5	0,55	13,7
84,7	59,5	94,9	30,4	23	15,1	4,64	12,3	1,56
96,6	93,5	92,8	19,5	20,2	8,57	0,67	1,26	1,41
82,7	78,3	96,5	45,2	64	19,6	7,81	9,82	1,57
98,9	97,5	97,9	37,3	24	12,7	0,42	0,95	0,8

Tabela A- 6 - Valores de turbidez da carreira de filtração 6 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de Turbidez (uT) Pontos de coleta das amostras					
			AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC	ETA conv
87,7	86,9	87,9	28	22,9	22,9	3,44	3,66	3,4
76,7	73,6	95,6	27,2	26,5	13	6,34	7,18	1,21
96,9	79,6	91,9	23,2	18,8	10,5	0,73	4,74	1,88
76,3	88,8	96,5	20,8	13,5	10,5	4,94	2,32	0,72
87,1	80,3	96,0	17,1	11,1	8	2,2	3,37	0,68
89,5	80,1	97,5	15,1	11,9	7,86	1,59	3,01	0,37
94,8	97,5	94,4	13	428	6,55	0,68	0,33	0,73
90,2	83,5	97,8	13,9	22,5	5,25	1,36	2,29	0,31

Tabela A- 7 - Valores de turbidez da carreira de filtração 6 – SEQ 2

Remoção FLA-2 (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de Turbidez (uT) Pontos de coleta das amostras			
		AB	PFD	FLA-2	ETA conv
15,0	87,9	28	22,9	23,8	3,4
63,2	95,6	27,2	26,5	10	1,21
65,5	91,9	23,2	18,8	8	1,88
69,8	96,5	20,8	13,5	6,28	0,72
87,3	96,0	17,1	11,1	2,18	0,68
44,2	97,5	15,1	11,9	8,43	0,37
96,5	94,4	13	428	0,45	0,73
88,0	97,8	13,9	22,5	1,67	0,31

Tabela A- 8 - Valores de turbidez da carreira de filtração 7 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de Turbidez (uT) Pontos de coleta das amostras					
			AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC	ETA conv
75,5	65,6	90,5	11,7	8,35	4,69	2,87	4,02	1,11
79,6	65,7	94,2	14,1	18,1	7,14	2,87	4,83	0,82
83,3	76,4	98,0	13,7	14	8,14	2,29	3,23	0,27
96,5	97,0	98,0	12,8	9,3	5,5	0,45	0,38	0,25
97,7	97,0	97,3	11,7	166	4,64	0,27	0,35	0,32

Tabela A- 9 - Valores de turbidez da carreira de filtração 7 – SEQ 2

Remoção FLA-2 (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de Turbidez (uT) Pontos de coleta das amostras			
		AB	PFD	FLA-2	ETA conv
1,7	90,5	11,7	8,35	11,5	1,11
58,1	94,2	14,1	18,1	5,91	0,82
65,0	98,0	13,7	14	4,8	0,27
82,4	98,0	12,8	9,3	2,25	0,25
94,5	97,3	11,7	166	0,64	0,32
63,7	97,7	11,4	24	4,14	0,26
84,1	93,7	12,6	7,24	2	0,8
93,7	98,2	13,1	9,43	0,82	0,23

Tabela A- 10 - Valores de turbidez da carreira de filtração 8 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de Turbidez (uT) Pontos de coleta das amostras					ETA conv
			AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC	
32,7	97,8	97,7	11,4	24	12,2	7,67	0,25	0,26
83,9	74,4	93,7	12,6	7,24	12	2,03	3,23	0,8
92,7	96,3	98,2	13,1	9,43	4,99	0,95	0,49	0,23
80,0	61,3	83,8	0,8	0,8	0,8	0,16	0,31	0,13
85,9	92,3	92,6	11,7	12,2	5,75	1,65	0,9	0,87
83,2	97,7	96,5	10,6	7,2	5,33	1,78	0,24	0,37
99,3	99,0	97,1	6,86	6,45	3,99	0,05	0,07	0,2
97,8	95,6	100,0	8,93	9,27	5,67	0,2	0,39	0

Tabela A- 11 - Valores de turbidez da carreira de filtração 8 – SEQ 2

Remoção FLA-2 (%)	Remoção ETA conv (%)	AB	Valores de Turbidez (uT) Pontos de coleta das amostras			ETA conv
			PFD	FLA-2	ETA conv	
66,3	92,6	11,7	12,2	3,94	0,87	
86,7	96,5	10,6	7,2	1,41	0,37	
91,1	97,1	6,86	6,45	0,61	0,2	
67,1	100,0	8,93	9,27	2,94	0	
85,9	46,1	5,31	2,35	0,75	2,86	
93,1	85,7	10,5	3,4	0,72	1,5	

Tabela A- 12 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 1 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de cor (uH) Pontos de coleta das amostras					ETA conv
			AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC	
65,2	78,3	78,3	69	72	55	24	15	15
57,7	82,1	80,8	78	73	50	33	14	15
83,8	93,9	93,2	148	111	78	24	9	10
70,8	98,6	98,6	72	61	42	21	1	1
82,9	93,6	87,1	140	109	70	24	9	18
59,7	90,9	63,6	77	70	43	31	7	28
95,7	96,1	94,0	232	222	47	10	9	14
67,9	79,2	71,7	53	38	45	17	11	15
96,6	87,9	91,4	58	52	28	2	7	5

Tabela A- 13 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 2 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de cor (uH) Pontos de coleta das amostras					ETA conv
			AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC	
89,6	89,6	92,0	201	31	81	21	21	16
94,6	95,9	95,5	1100	413	297	59	45	50
89,1	81,8	83,9	137	123	115	15	25	22
91,4	84,3	90,0	140	127	102	12	22	14
58,8	71,6	72,8	257	487	173	106	73	70
80,0	95,2	93,9	165	143	91	33	8	10
98,4	98,4	98,4	62	60	33	1	1	1
81,3	96,0	93,3	75	103	50	14	3	5
99,2	22,0	99,2	123	322	35	1	96	1

Tabela A- 14 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 3 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de cor (uH) Pontos de coleta das amostras					ETA conv
			AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC	
88,4	85,2	87,1	466	545	330	54	69	60
97,6	84,6	94,9	254	179	142	6	39	13
98,7	98,8	98,8	855	333	78	11	10	10
99,2	100,0	96,4	500	500	465	4	0	18
99,2	100,0	97,4	384	373	243	3	0	10
93,9	78,3	86,1	359	550	220	22	78	50
92,5	76,2	90,0	239	207	133	18	57	24

Tabela A- 15 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 4 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de cor (uH)					
			AB	PFD	Pontos de coleta das amostras			ETA conv
					PFA-1	FLA-1	FLAC	
98,9	87,6	93,3	178	304	66	2	22	12
100,0	98,1	99,0	104	65	48	0	2	1
94,7	86,3	93,7	190	234	68	10	26	12
78,5	82,6	78,5	219	179	122	47	38	47
81,5	78,5	79,6	270	320	142	50	58	55
95,7	90,4	98,0	510	201	119	22	49	10
91,8	95,4	93,8	195	193	123	16	9	12
90,9	90,0	92,7	110	92	42	10	11	8

Tabela A- 16 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 5 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de cor (uH)					
			AB	PFD	Pontos de coleta das amostras			ETA conv
					PFA-1	FLA-1	FLAC	
100,0	100,0	94,6	186	222	52	0	0	10
100,0	92,5	91,1	146	181	64	0	11	13
95,4	93,8	99,2	241	314	69	11	15	2
99,9	99,7	93,5	1455	435	45	2	5	95
83,8	63,9	94,6	277	195	145	45	100	15
85,6	91,3	88,1	160	132	69	23	14	19
86,1	80,9	97,6	382	446	180	53	73	9
99,1	91,3	97,2	322	183	111	3	28	9

Tabela A- 17 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 6 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de cor (uH)					
			AB	PFD	Pontos de coleta das amostras			ETA conv
					PFA-1	FLA-1	FLAC	
90,7	85,8	92,0	226	198	188	21	32	18
77,4	88,9	100,0	217	206	130	49	24	0
100,0	78,6	90,5	220	171	96	0	47	21
77,0	90,6	90,6	191	151	105	44	18	18
81,3	75,0	95,8	144	109	69	27	36	6
64,8	52,3	96,6	88	72	46	31	42	3
100,0	100,0	100,0	133	840	45	0	0	0
100,0	72,5	100,0	120	157	51	0	33	0

Tabela A- 18 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 6 – SEQ 2

Remoção FLA-2 (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de cor (uH)				
		AB	PFD	Pontos de coleta das amostras		ETA conv
				FLA-2		
-2,7	92,0	226	198	232		18
61,3	100,0	217	206	84		0
64,1	90,5	220	171	79		21
83,2	90,6	191	151	32		18
96,5	95,8	144	109	5		6
14,8	96,6	88	72	75		3
100,0	100,0	133	840	0		0
87,5	100,0	120	157	15		0

Tabela A- 19 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 7 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de cor (uH)					
			AB	PFD	Pontos de coleta das amostras			ETA conv
					PFA-1	FLA-1	FLAC	
97,1	100,0	91,2	68	75	22	2	0	6
97,9	74,2	100,0	97	85	51	2	25	0
92,8	77,6	100,0	125	126	73	9	28	0
100,0	100,0	99,1	112	72	55	0	0	1
89,8	100,0	98,4	127	514	30	13	0	2

Tabela A- 20 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 7 – SEQ 2

Remoção FLA-2 (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de cor (uH)			
		AB	PFD	FLA-2	ETA conv
11,8	91,2	68	75	60	6
75,3	100,0	97	85	24	0
55,2	100,0	125	126	56	0
86,6	99,1	112	72	15	1
85,0	98,4	127	514	19	2
64,9	85,1	94	145	33	14
73,7	94,9	99	80	26	5
100,0	96,3	81	80	0	3

Tabela A- 21 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 8 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de cor (uH)					
			AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC	ETA conv
25,5	50,0	85,1	94	145	95	70	47	14
96,0	74,7	94,9	99	80	95	4	25	5
85,2	82,7	96,3	81	80	63	12	14	3
100,0	97,8	100,0	91	72	52	0	2	0
84,1	98,9	92,0	88	112	54	14	1	7
98,9	100,0	100,0	88	69	41	1	0	0
100,0	100,0	100,0	80	50	26	0	0	0
100,0	97,4	97,4	115	89	54	0	3	3

Tabela A- 22 - Valores de cor aparente da carreira de filtração 8 – SEQ 2

Remoção FLA-2 (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de cor (uH)			
		AB	PFD	FLA-2	ETA conv
70,5	92,0	88	112	26	7
96,6	100,0	88	69	3	0
100,0	100,0	80	50	0	0
86,1	97,4	115	89	16	3
54,7	77,8	117	68	53	26
97,7	98,9	88	46	2	1

Tabela A- 23 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 1 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de SST (mg/L)					
			AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC	ETA conv
71,4	42,9	71,4	7,0	4,0	1,0	2,0	4,0	2,0
50,0	50,0	50,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
71,4	42,9	85,7	7,0	4,0	1,0	2,0	4,0	1,0
50,0	50,0	50,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
88,9	88,9	88,9	9,0	5,0	2,0	1,0	1,0	1,0
50,0	50,0	50,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50,0	50,0	50,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Tabela A- 24 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 2 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de SST (mg/L)					
			AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC	ETA conv
83,3	94,4	83,3	18	8	3	1	3	1
66,7	100,0	66,7	3	2	1	0	1	0
44,4	77,8	72,2	18	43	10	4	5	4
80,0	80,0	80,0	5	6	1	1	1	1
93,8	93,8	93,8	16	9	1	1	1	1
85,7	85,7	85,7	7	20	1	1	1	1
33,3	66,7	66,7	3	38	2	1	1	1

Tabela A- 25 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 3 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de SST (mg/L)					ETA conv
			AB	PFD	Pontos de coleta das amostras			
					PFA-1	FLA-1	FLAC	
90,9	97,0	97,0	33	37	10	3	1	1
95,8	95,8	95,8	24	12	11	1	1	1
99,0	100,0	98,0	101	49	6	1		2
100,0	98,0	100,0	102	96	45	0	2	0
100,0	100,0	97,3	37	394	17	0	0	1

Tabela A- 26 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 4 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de SST (mg/L)					ETA conv
			AB	PFD	Pontos de coleta das amostras			
					PFA-1	FLA-1	FLAC	
81,8	90,9	90,9	11	41	3	2	1	1
85,7	85,7	85,7	7	3	1	1	1	1
95,0	95,0	95,0	20	19	7	1	1	1
84,2	68,4	100,0	19	24	8	3	6	0
82,1	82,1	89,3	28	33	8	5	5	3
100,0	93,8	93,8	64	21	9	0	4	4
100,0	100,0	88,9	18	16	6	0	0	2
93,3	93,3	93,3	15	12	5	1	1	1

Tabela A- 27 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 5 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de SST (mg/L)					ETA conv
			AB	PFD	Pontos de coleta das amostras			
					PFA-1	FLA-1	FLAC	
100,0	100,0	100,0	20	23	5	0	0	0
100,0	92,3	100,0	13	15	2	0	1	0
100,0	100,0	100,0	24	39	5	0	0	0
98,7	100,0	97,3	226	52	5	3	0	6
96,6	82,8	100,0	29	17	13	1	5	0
88,2	82,4	94,1	17	13	7	2	3	1
92,3	92,3	100,0	39	60	15	3	3	0
100,0	100,0	100,0	31	20	12	0	0	0

Tabela A- 28 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 6 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de SST (mg/L)					ETA conv
			AB	PFD	Pontos de coleta das amostras			
					PFA-1	FLA-1	FLAC	
100,0	100,0	100,0	21	16	19	0	0	0
86,4	86,4	100,0	22	23	5	3	3	0
100,0	95,5	100,0	22	17	9	0	1	0
92,9	100,0	100,0	14	10	5	1	0	0
100,0	100,0	82,4	17	10	3	0	0	3
90,9	100,0	90,9	11	10	4	1	0	1
100,0	100,0	100,0	3	179	0	0	0	0
100,0	72,7	90,9	11	15	3	0	3	1

Tabela A- 29 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 6 – SEQ 2

Remoção FLA-2 (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de SST (mg/L)			
		AB	PFD	FLA-2	ETA conv
14,3	100,0	21	16	18	0
68,2	100,0	22	23	7	0
100,0	100,0	22	17	0	0
100,0	100,0	14	10	0	0
94,1	82,4	17	10	1	3
63,6	90,9	11	10	4	1
100,0	100,0	3	179	0	0
81,8	90,9	11	15	2	1

Tabela A- 30 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 7 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	Valores de SST (mg/L)					ETA conv
			Pontos de coleta das amostras					
			AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC	
80,0	100,0	100,0	5	3	2	1	0	0
91,7	83,3	100,0	12	10	6	1	2	0
80,0	70,0	100,0	10	10	8	2	3	0
87,5	100,0	100,0	8	5	1	1	0	0
50,0	100,0	100,0	2	37	4	1	0	0

Tabela A- 31 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 7 – SEQ 2

Remoção FLA-2 (%)	Remoção ETA conv (%)	AB	Valores de SST (mg/L)			ETA conv
			Pontos de coleta das amostras			
			PFD	FLA-2		
100,0	100,0	5	3	0	0	0
75,0	100,0	12	10	3	0	0
100,0	100,0	10	10	0	0	0
100,0	100,0	8	5	0	0	0
100,0	100,0	2	37	0	0	0
90,0	100,0	10	22	1	0	0
80,0	40,0	5	1	1	3	3
95,7	95,7	23	13	1	1	1

Tabela A- 32 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 8 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (%)	Remoção FLAC (%)	Remoção ETA conv (%)	AB	PFD	Valores de SST (mg/L)			ETA conv
					Pontos de coleta das amostras			
					PFA-1	FLA-1	FLAC	
90,0	100,0	90,0	10	22	6	2	1	0
0,0	40,0	0,0	5	1	13	5	5	3
95,7	95,7	95,7	23	13	1	1	1	1
92,3	92,3	92,3	13	13	5	1	1	1
-66,7	-33,3	-66,7	3	10	2	0	5	4
100,0	100,0	100,0	9	6	3	1	0	0
100,0	100,0	100,0	6	5	3	0	0	0
66,7	75,0	66,7	12	10	10	1	4	3

Tabela A- 33 - Valores de sólidos suspensos totais da carreira de filtração 8 – SEQ 2

Remoção FLA-2 (%)	Remoção ETA conv (%)	AB	Valores de SST (mg/L)			ETA conv
			Pontos de coleta das amostras			
			PFD	FLA-2		
-233,3	66,7	3	10	1	4	4
33,3	88,9	9	6	1	0	0
16,7	83,3	6	5	1	0	0
16,7	41,7	12	10	7	3	3
75,0	100,0	4	1	0	0	0
75,0	100,0	4	1	0	0	0

Tabela A- 34 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 1 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (Log)	Remoção FLAC (Log)	AB	Valores de coliformes totais (NMP/100 mL)			
			Pontos de coleta das amostras			
			PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC
2,4	2,7	11000	460	1100	43	23
1,7	3,6	11000	11000	1500	230	3
0,0	2,7	1500	4600	1500	1500	3
0,7	2,6	1200	11000	1500	230	3
0,0	2,6	1500	4500	1500	1500	4
0,9	2,6	1200	3500	1200	150	3

Tabela A- 35 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 2 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (Log)	Remoção FLAC (Log)	Valores de coliformes totais (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras				
		AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC
3,6	3,6	11000	11000	11000	3	3
3,6	1,7	11000	11000	11000	3	230
0,8	0,5	4600	11000	11000	750	1500
1,4	3,6	11000	11000	4600	430	3
3,6	3,6	11000	2100	930	3	3
2,4	2,4	11000	11000	390	40	40
3,6	3,6	11000	1500	90	3	3

Tabela A- 36 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 3 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (Log)	Remoção FLAC (Log)	Valores de coliformes totais (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras				
		AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC
1,7	2,1	11000	11000	460	230	90
2,4	2,4	11000	4600	2100	40	40
2,7	1,2	1553	1011	1011	3	94
2,5	2,5	930	1200	70	3	3
1,7	2,1	11000	11000	460	230	90
2,4	2,4	11000	4600	2100	40	40

Tabela A- 37 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 4 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (Log)	Remoção FLAC (Log)	Valores de coliformes totais (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras				
		AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC
3,1	2,4	11000	11000	1500	9,7	47
3,6	3,6	11000	11000	1500	3	3
0,3	-0,3	148	1011	1011	71	299
0,9	0,9	755	791	202	92	89
2,5	1,1	11000	4600	2100	33	914
2,3	1,9	11000	11000	11000	54	127

Tabela A- 38 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 5 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (Log)	Remoção FLAC (Log)	Valores de coliformes totais (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras				
		AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC
1,8	1,5	3762	4120	1415	54	127
2,6	1,9	1178	997	266	3	15
1,7	2,3	1029	253	328	23	5
3,2	3,2	1597	1850	462	1	1

Tabela A- 39 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 6 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (Log)	Remoção FLAC (Log)	Valores de coliformes totais (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras				
		AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC
2,5	2,3	10011	3282	1011	29	56
2,7	2,1	10011	3282	397	20	88
1,2	1,5	10011	2595	1011	602	317
1,0	0,8	1011	1576	318	91	178
1,9	2,5	1510	1274	809	20	5
2,1	1,3	1497	1174	448	12	73

Tabela A- 40 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 6 – SEQ 2

Remoção FLA-2 (Log)	Valores de coliformes totais (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras		
	AB	PFD	FLA-2
1,0	10011	3282	914
1,4	10011	3282	397
1,0	10011	2595	1011
0,8	1011	1576	146
2,1	1510	1274	12
1,8	1497	1174	22

Tabela A- 41 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 7 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (Log)	Remoção FLAC (Log)	Valores de coliformes totais (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras				
		AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC
0,6	1,4	870	1200	1011	244	32
0,3	0,0	534	1500	1011	250	483
0,4	1,4	870	943	1200	344	32
2,4	1,5	1200	1011	792	5	35

Tabela A- 42 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 7 – SEQ 2

Remoção FLA-2 (Log)	Valores de coliformes totais (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras		
	AB	PFD	FLA-2
1,3	870	1200	41
0,0	534	1500	483
1,4	870	943	33
1,6	1200	1011	33
1,2	10011	1011	689
1,6	1500	889	41

Tabela A- 43 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 8 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (Log)	Remoção FLAC (Log)	Valores de coliformes totais (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras				
		AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC
1,3	1,3	10011	1011	689	479	457
1,7	1,5	1500	889	756	32	50
0,6	0,8	228	5493	812	57	34
1,6	2,7	1658	689	260	45	3
3,2	3,2	1658	315	185	1	1
3,3	3,3	2187	364	187	1	1

Tabela A- 44 - Valores de coliformes totais da carreira de filtração 8 – SEQ 2

Remoção FLA-2 (Log)	Valores de coliformes totais (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras		
	AB	PFD	FLA-2
0,7	228	5493	46
1,4	1658	689	67
2,5	1658	315	5
1,4	2187	364	93
1,3	1262	315	60
1,7	220	22	4

Tabela A- 45 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 1 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (Log)	Remoção FLAC (Log)	Valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras				
		AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC
2,7	2,7	11000	230	460	23	23
0,6	2,1	390	1500	150	90	3
1,0	2,7	1500	150	150	150	3
0,6	2,1	390	1500	150	90	3
1,0	2,6	1500	150	150	150	4
0,6	2,1	400	1500	150	100	3

Tabela A- 46 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 2 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (Log)	Remoção FLAC (Log)	Valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras				
		AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC
3,6	3,6	11000	11000	11000	3	3
2,8	1,0	11000	11000	11000	3	230
1,0	0,6	4600	11000	11000	750	1500
1,3	2,7	11000	11000	4600	430	3
3,6	3,6	11000	2100	930	3	3
1,6	1,6	11000	11000	390	40	40
3,6	3,6	11000	1500	90	3	3

Tabela A- 47 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 3 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (Log)	Remoção FLAC (Log)	Valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras				
		AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC
1,7	1,7	4600	11000	210	90	90
3,2	3,2	4600	200	640	3	3
1,9	0,4	150	126	130	2	54
1,6	0,3	133	128	260	3	64

Tabela A- 48 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 4 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (Log)	Remoção FLAC (Log)	Valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras				
		AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC
2,2	1,6	313	299	17	2	7,5
3,7	3,7	4600	4600	930	1	1
1,4	0,9	523	299	222	22	70
1,0	1,0	436	344	223	40	41
2,2	0,7	436	457	58	3	81
3,7	3,2	4600	2100	1200	1	3

Tabela A- 49 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 5 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (Log)	Remoção FLAC (Log)	Valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras				
		AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC
2,6	2,1	397	313	86	1	3
3,0	2,4	914	602	77	1	4
1,9	2,6	378	378	67	5	1
2,1	2,1	115	62	38	1	1

Tabela A- 50 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 6 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (Log)	Remoção FLAC (Log)	Valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras				
		AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC
2,1	1,5	689	477	197	5	20
2,0	1,1	272	268	91	3	23
1,1	2,0	397	206	102	34	4
1,5	1,0	659	272	238	20	66
1,7	2,8	629	756	629	12	1
2,3	1,3	397	167	79	2	19

Tabela A- 51 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 6 – SEQ 2

Remoção FLA-2 (Log)	Valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras		
	AB	PFD	FLA-2
0,7	10011	3282	914
0,5	10011	3282	397
0,8	10011	2595	1011
1,2	1011	1576	146
2,3	1510	1274	12
1,6	1497	1174	22

Tabela A- 52 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 7 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (Log)	Remoção FLAC (Log)	Valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras				
		AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC
0,6	1,1	115	190	105	29	10
1,6	1,0	722	457	228	17	74
0,6	1,1	115	190	105	29	10
2,7	2,7	525	602	37	1	1

Tabela A- 53 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 7 – SEQ 2

Remoção FLA-2 (Log)	Valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras		
	AB	PFD	FLA-2
1,6	115	190	3
0,9	722	457	83
2,1	115	190	< 1
2,7	525	602	< 1
1,1	525	501	38
2,2	689	285	4

Tabela A- 54 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 8 – SEQ 1

Remoção FLA-1 (Log)	Remoção FLAC (Log)	Valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras				
		AB	PFD	PFA-1	FLA-1	FLAC
1,3	1,3	525	501	201	29	24
1,9	0,0					
	2,8	689	285	77	9	1
	0,0					
0,2	0,5	20	369	173	13	6
1,4	2,7	477	99	64	19	1
2,5	2,5	336	197	5	1	1
2,4	2,4	256	144	52	1	1

Tabela A- 55 - Valores de coliformes termotolerantes da carreira de filtração 8 – SEQ 2

<i>Remoção FLA-2 (Log)</i>	<i>Valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) Pontos de coleta das amostras</i>		
	<i>AB</i>	<i>PFD</i>	<i>FLA-2</i>
0,1	20	369	15
1,4	478	99	19
2,5	336	197	1
1,7	256	144	5
2,3	220	95	< 1
1,6	38	19	< 1
0,1	20	369	15
1,4	478	99	19

Tabela A- 56 - Valores de cor aparente e cor verdadeira da água bruta da carreira de filtração 8 – SEQ 1

<i>Cor aparente (uH)</i>	<i>Cor verdadeira (uHD)</i>
94	66
99	67
81	52
91	64
88	60
88	62
80	64
115	47

## APÊNDICE B

## TESTES ESTATÍSTICOS DOS PARÂMETROS ANALISADOS

### B.1- PRIMEIRA CARREIRA DE FILTRAÇÃO – SEQ 1

**Tabela B- 1- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da primeira carreira de filtração**

UNIDADE DE FILTRAÇÃO	N	MEDIA	DP	Z	P
COR					
FLA	9	20,67	9,80	0,566	0,906
FLAC	9	9,11	4,14	0,581	0,888
ETA	9	13,44	7,73	0,594	0,872
TURBIDEZ					
FLA	9	1,35	0,87	0,779	0,579
FLAC	8	0,92	0,55	0,682	0,741
ETA	9	0,95	0,51	0,551	0,922
SST					
FLA	7	0,57	0,98	1,151	0,141
FLAC	7	1,14	1,95	1,151	0,141
ETA	7	0,29	0,76	1,335	0,057
COLIFORMES TOTAIS					
FLA	6	608,83	693,70	0,917	0,370
FLAC	6	6,50	8,09	1,114	0,167
COLIFORMES TERMOTOLERANTES					
FLA	6	100,50	47,18	0,601	0,863
FLAC	6	6,50	8,09	1,114	0,167

**Tabela B- 2- Teste T Student para dados pareados**

Parâmetro / Unidade de filtração	N	MEDIA	DP	P
COR				
FLA	9	20,67	9,80	
ETA	9	13,44	7,73	0,038
FLAC	9	9,11	4,14	
ETA	9	13,44	7,73	0,103
FLA	9	20,67	9,80	
FLAC	9	9,11	4,14	0,007
TURBIDEZ				
FLA	9	1,35	0,87	
ETA	9	0,95	0,51	0,122
FLAC	8	0,92	0,55	
ETA	8	1,00	0,52	0,223
FLA	8	1,49	0,82	
FLAC	8	0,92	0,55	0,033
SST				
FLA	7	0,57	0,98	
ETA	7	0,29	0,76	0,356
FLAC	7	1,14	1,95	
ETA	7	0,29	0,76	0,200
FLA	7	0,57	0,98	
FLAC	7	1,14	1,95	0,172
COLIFORMES TOTAIS				
FLA	6	608,83	693,70	
FLAC	6	6,50	8,09	0,088
COLIFORMES TERMOTOLERANTES				
FLA	6	100,50	47,18	
FLAC	6	6,50	8,09	0,008

## B.2- SEGUNDA CARREIRA DE FILTRAÇÃO – SEQ 1

Tabela B- 3- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da segunda carreira de filtração

UNIDADE DE FILTRAÇÃO	N	MEDIA	DP	Z	P
COR					
FLA	9	29,11	33,89	0,784	0,571
FLAC	9	32,67	32,77	0,777	0,581
ETA	9	21,00	23,70	0,783	0,572
TURBIDEZ					
FLA	9	1,96	2,69	1,024	0,245
FLAC	9	2,65	2,21	1,024	0,245
ETA	9	2,08	2,16	0,949	0,329
SST					
FLA	7	0,57	1,51	1,335	0,057
FLAC	7	1,29	1,98	0,830	0,496
ETA	7	0,57	1,51	1,335	0,057
COLIFORMES TOTAIS					
FLA	7	176,00	297,83	1,033	0,237
FLAC	7	254,57	555,41	0,992	0,279
COLIFORTERMOTOLERANTES					
FLA	7	30,29	37,00	0,902	0,390
FLAC	7	73,14	108,00	0,886	0,413

Tabela B- 4- Teste T Student para dados pareados

Parâmetro / Unidade de filtração	N	MEDIA	DP	P
COR				
FLA	9	29,11	33,89	
ETA	9	21,00	23,70	0,111
FLAC	9	32,67	32,77	
ETA	9	21,00	23,70	0,299
FLA	9	29,11	33,89	
FLAC	9	32,67	32,77	0,782
TURBIDEZ				
FLA	9	1,96	2,69	
ETA	9	2,08	2,16	0,836
FLAC	9	2,65	2,21	
ETA	9	2,08	2,16	0,376
FLA	9	1,96	2,69	
FLAC	9	2,65	2,21	0,370
SST				
FLA	7	0,57	1,51	
ETA	7	0,57	1,51	
FLAC	7	1,29	1,98	
ETA	7	0,57	1,51	0,140
FLA	7	0,57	1,51	
FLAC	7	1,29	1,98	0,140
COLIFORMES TOTAIS				
FLA	7	176,00	297,83	
FLAC	7	254,57	555,41	0,579
COLIFORMES TERMOTOLERANTES				
FLA	7	30,29	37,00	
FLAC	7	73,14	108,00	0,310

## B.3- TERCEIRA CARREIRA DE FILTRAÇÃO – SEQ 1

Tabela B- 5- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da terceira carreira de filtração

UNIDADE DE FILTRAÇÃO	N	MEDIA	DP	Z	P
COR					
FLA	7	16,86	17,87	0,645	0,799
FLAC	6	42,17	31,77	0,440	0,990
ETA	7	26,43	20,33	0,693	0,723
TURBIDEZ					
FLA	7	1,23	1,90	1,111	0,170
FLAC	6	4,00	3,18	0,401	0,997
ETA	7	3,45	2,92	0,481	0,975
SST					
FLA	5	0,60	1,34	1,057	0,214
FLAC	4	0,50	1,00	0,883	0,417
ETA	5	0,40	0,89	1,057	0,214
COLIFORMES TOTAIS					
FLA	4	69,00	108,74	0,710	0,694
FLAC	4	56,75	43,45	0,556	0,917
COLIFORMES TERMOTOLERANTES					
FLA	4	24,50	43,67	0,878	0,425
FLAC	4	52,75	36,47	0,527	0,944

Tabela B- 6- Teste T Student para dados pareados

Parâmetro / Unidade de filtração	N	MEDIA	DP	P
COR				
FLA	7	16,86	17,87	
ETA	7	26,43	20,33	0,033
FLAC	6	42,17	31,77	
ETA	6	29,17	20,81	0,167
FLA	6	19,17	18,40	
FLAC	6	42,17	31,77	0,064
TURBIDEZ				
FLA	7	1,23	1,90	
ETA	7	3,45	2,92	0,031
FLAC	6	4,00	3,18	
ETA	6	2,99	2,91	0,298
FLA	6	1,35	2,06	
FLAC	6	4,00	3,18	0,033
SST				
FLA	5	0,60	1,34	
ETA	5	0,40	0,89	0,815
FLAC	4	0,50	1,00	
ETA	4	0,00	0,00	0,391
FLA	4	0,75	1,50	
FLAC	4	0,50	1,00	0,824
COLIFORMES TOTAIS				
FLA	4	69,00	108,74	
FLAC	4	56,75	43,45	0,814
COLIFORMES TERMOTOLERANTES				
FLA	4	24,50	43,67	
FLAC	4	52,75	36,47	0,184

## B.4- QUARTA CARREIRA DE FILTRAÇÃO – SEQ 1

Tabela B- 7- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da quarta carreira de filtração

UNIDADE DE FILTRAÇÃO	N	MEDIA	DP	Z	P
COR					
FLA	8	19,63	19,17	0,568	0,904
FLAC	8	26,88	19,99	0,457	0,985
ETA	8	19,63	19,82	1,131	0,155
TURBIDEZ					
FLA	8	2,16	2,10	0,732	0,657
FLAC	8	2,72	2,30	0,669	0,763
ETA	8	1,51	1,34	0,667	0,765
SST					
FLA	8	1,25	1,91	1,043	0,227
FLAC	8	1,88	2,64	1,092	0,184
ETA	8	1,25	1,58	0,807	0,532
COLIFORMES TOTAIS					
FLA	6	43,78	34,96	0,413	0,996
FLAC	6	246,50	342,49	0,742	0,640
COLIFORMES TERMOTOLERANTES					
FLA	6	11,33	16,29	0,887	0,411
FLAC	6	33,92	35,51	0,665	0,768

Tabela B- 8- Teste T Student para dados pareados

Parâmetro / Unidade de filtração	N	MEDIA	DP	P
COR				
FLA	8	19,63	19,17	
ETA	8	19,63	19,82	1,000
TURBIDEZ				
FLAC	8	26,88	19,99	
ETA	8	19,63	19,82	0,205
SST				
FLA	8	19,63	19,17	
FLAC	8	26,88	19,99	0,156
TURBIDEZ				
FLA	8	2,16	2,10	
ETA	8	1,51	1,34	0,236
SST				
FLAC	8	2,72	2,30	
ETA	8	1,51	1,34	0,052
SST				
FLA	8	2,16	2,10	
FLAC	8	2,72	2,30	0,248
SST				
FLA	8	1,25	1,91	
ETA	8	1,25	1,58	1,000
SST				
FLAC	8	1,88	2,64	
ETA	8	1,25	1,58	0,493
SST				
FLA	8	1,25	1,91	
FLAC	8	1,88	2,64	0,388
COLIFORMES TOTAIS				
FLA	6	43,78	34,96	
FLAC	6	246,50	342,49	0,207
COLIFORMES TERMOTOLERANTES				
FLA	6	11,33	16,29	
FLAC	6	33,92	35,51	0,152

## B.5- QUINTA CARREIRA DE FILTRAÇÃO – SEQ 1

Tabela B- 9- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da quinta carreira de filtração

UNIDADE DE FILTRAÇÃO	N	MEDIA	DP	Z	P
COR					
FLA	8	17,13	21,22	0,699	0,712
FLAC	8	30,75	36,09	0,831	0,495
ETA	8	21,50	30,11	1,154	0,139
TURBIDEZ					
FLA	8	1,98	2,76	1,211	0,107
FLAC	8	3,42	4,78	1,172	0,128
ETA	8	2,82	4,41	1,318	0,062
SST					
FLA	8	1,13	1,36	0,839	0,482
FLAC	8	1,50	1,93	0,797	0,549
ETA	8	0,88	2,10	1,164	0,133
COLIFORMES TOTAIS					
FLA	4	20,00	24,86	0,506	0,960
FLAC	4	36,75	60,49	0,781	0,576
COLIFORMES TERMOTOLERANTES					
FLA	4	1,25	2,50	0,883	0,417
FLAC	4	2,00	1,83	0,416	0,995

Tabela B- 10- Teste T Student para dados pareados

Parâmetro / Unidade de filtração	N	MEDIA	DP	P
COR				
FLA	8	17,13	21,22	
ETA	8	21,50	30,11	0,771
FLAC	8	30,75	36,09	
ETA	8	21,50	30,11	0,634
FLA	8	17,13	21,22	
FLAC	8	30,75	36,09	0,095
TURBIDEZ				
FLA	8	1,98	2,76	
ETA	8	2,82	4,41	0,681
FLAC	8	3,42	4,78	
ETA	8	2,82	4,41	0,820
FLA	8	1,98	2,76	
FLAC	8	3,42	4,78	0,160
SST				
FLA	8	1,13	1,36	
ETA	8	0,88	2,10	0,685
FLAC	8	1,50	1,93	
ETA	8	0,88	2,10	0,598
FLA	8	1,13	1,36	
FLAC	8	1,50	1,93	0,598
COLIFORMES TOTAIS				
FLA	4	20,00	24,86	
FLAC	4	36,75	60,49	0,458
COLIFORMES TERMOTOLERANTES				
FLA	4	1,25	2,50	
FLAC	4	2,00	1,83	0,704

## B.6- SEXTA CARREIRA DE FILTRAÇÃO – SEQ 1

Tabela B- 11- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da sexta carreira de filtração

UNIDADE DE FILTRAÇÃO	N	MEDIA	DP	Z	P
COR					
FLA	8	21,50	19,89	0,665	0,768
FLAC	8	29,00	14,90	0,579	0,891
ETA	8	8,25	9,18	0,653	0,787
TURBIDEZ					
FLA	8	2,66	2,07	0,602	0,862
FLAC	8	3,36	2,00	0,540	0,932
ETA	8	1,16	1,03	0,812	0,525
SST					
FLA	8	0,50	1,07	1,216	0,104
FLAC	8	0,75	1,39	1,288	0,072
ETA	8	0,50	1,07	1,216	0,104
COLIFORMES TOTAIS					
FLA	6	129,00	233,51	0,975	0,298
FLAC	6	119,50	112,00	0,679	0,745
COLIFORMES TERMOTOLERANTES					
FLA	6	12,67	12,45	0,566	0,906
FLAC	6	22,17	23,30	0,782	0,574

Tabela B- 12- Teste T Student para dados pareados

Parâmetro / Unidade de filtração	N	MEDIA	DP	P
COR				
FLA	8	21,50	19,89	
ETA	8	8,25	9,18	0,130
FLAC	8	29,00	14,90	
ETA	8	8,25	9,18	0,005
FLA	8	21,50	19,89	
FLAC	8	29,00	14,90	0,429
TURBIDEZ				
FLA	8	2,66	2,07	
ETA	8	1,16	1,03	0,090
FLAC	8	3,36	2,00	
ETA	8	1,16	1,03	0,014
FLA	8	2,66	2,07	
FLAC	8	3,36	2,00	0,320
SST				
FLA	8	0,50	1,07	
ETA	8	0,50	1,07	1,000
FLAC	8	0,75	1,39	
ETA	8	0,50	1,07	0,699
FLA	8	0,50	1,07	
FLAC	8	0,75	1,39	0,563
COLIFORMES TOTAIS				
FLA	6	129,00	233,51	
FLAC	6	119,50	112,00	0,874
COLIFORMES TERMOTOLERANTES				
FLA	6	12,67	12,45	
FLAC	6	22,17	23,30	0,420

## B.7- SEXTA CARREIRA DE FILTRAÇÃO – SEQ 2

Tabela B- 13- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da sexta carreira

UNIDADE DE FILTRAÇÃO	N	MEDIA	DP	Z	P
COR					
FLA	8	65,25	75,55	0,783	0,571
ETA	8	8,25	9,18	0,653	0,787
TURBIDEZ					
FLA	8	7,60	7,43	0,703	0,707
ETA	8	1,16	1,03	0,812	0,525
SST					
FLA	8	4,00	6,16	0,730	0,660
ETA	8	0,50	1,07	1,216	0,104
COLIFORMES TOTAIS					
FLA	6	417,00	445,81	0,559	0,913
COLIFORMES TERMOTOLERANTES					
FLA	6	57,67	52,77	0,421	0,994

Tabela B- 14- Teste T Student para dados pareados

Parâmetro / Unidade de filtração	N	MEDIA	DP	P
COR				
FLA	8	65,25	75,55	
ETA	8	8,25	9,18	0,059
TURBIDEZ				
FLA	8	7,60	7,43	
ETA	8	1,16	1,03	0,027
SST				
FLA	8	4,00	6,16	
ETA	8	0,50	1,07	0,172

## B.8- SÉTIMA CARREIRA DE FILTRAÇÃO – SEQ 1

Tabela B- 15- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da sétima carreira de filtração

UNIDADE DE FILTRAÇÃO	N	MEDIA	DP	Z	P
COR					
FLA	5	5,20	5,54	0,712	0,692
FLAC	5	10,60	14,55	0,820	0,512
ETA	5	1,80	2,49	0,599	0,865
TURBIDEZ					
FLA	5	1,75	1,29	0,586	0,883
FLAC	5	2,56	2,08	0,565	0,907
ETA	5	0,55	0,39	0,729	0,663
SST					
FLA	5	0,40	0,89	1,057	0,214
FLAC	5	1,00	1,41	0,806	0,535
ETA	5	0,00	0,00		
COLIFORMES TOTAIS					
FLA	4	210,75	144,61	0,682	0,741
FLAC	4	145,50	225,00	0,877	0,426
COLIFORMES TERMOTOLERANTES					
FLA	4	18,75	13,72	0,545	0,928
FLAC	4	23,75	33,77	0,816	0,518

Tabela B- 16- Teste T Student para dados pareados

Parâmetro / Unidade de filtração	N	MEDIA	DP	P
COR				
FLA	5	5,20	5,54	
ETA	5	1,80	2,49	0,302
COR				
FLAC	5	10,60	14,55	
ETA	5	1,80	2,49	0,294
COR				
FLA	5	5,20	5,54	
FLAC	5	10,60	14,55	0,470
TURBIDEZ				
FLA	5	1,75	1,29	
ETA	5	0,55	0,39	0,061
TURBIDEZ				
FLAC	5	2,56	2,08	
ETA	5	0,55	0,39	0,069
TURBIDEZ				
FLA	5	1,75	1,29	
FLAC	5	2,56	2,08	0,094
SST				
FLA	5	0,40	0,89	
ETA	5	0,00	0,00	0,374
SST				
FLAC	5	1,00	1,41	
ETA	5	0,00	0,00	0,189
SST				
FLA	5	0,40	0,89	
FLAC	5	1,00	1,41	0,208
COLIFORMES TOTAIS				
FLA	4	210,75	144,61	
FLAC	4	145,50	225,00	0,632
COLIFORMES TERMOTOLERANTES				
FLA	4	18,75	13,72	
FLAC	4	23,75	33,77	0,799

## B.8- SÉTIMA CARREIRA DE FILTRAÇÃO – SEQ 2

Tabela B- 17- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da sétima carreira de filtração

UNIDADE DE FILTRAÇÃO	N	MEDIA	DP	Z	P
COR					
FLA	9	36,33	28,76	0,638	0,810
ETA	9	3,44	4,53	0,671	0,759
TURBIDEZ					
FLA	9	3,65	3,50	0,633	0,818
ETA	9	0,47	0,35	0,986	0,285
SST					
FLA	9	1,33	2,35	1,003	0,267
ETA	9	0,33	1,00	1,558	0,016
COLIFORMES TOTAIS					
FLA	6	220,00	290,91	0,974	0,299
COLIFORMES TERMOTOLERANTES					
FLA	6	21,33	33,55	0,892	0,405

Tabela B- 18- Teste T Student para dados pareados

Parâmetro / Unidade de filtração	N	MEDIA	DP	P
COR				
FLA	9	36,33	28,76	
ETA	9	3,44	4,53	0,010
TURBIDEZ				
FLA	9	3,65	3,50	
ETA	9	0,47	0,35	0,019
SST				
FLA	9	1,33	2,35	
ETA	9	0,33	1,00	0,282

## B.8- OITAVA CARREIRA DE FILTRAÇÃO – SEQ 1

Tabela B- 19- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da oitava carreira de filtração

UNIDADE DE FILTRAÇÃO	N	MEDIA	DP	Z	P
COR					
FLA	8	12,63	23,85	0,996	0,275
FLAC	8	11,50	16,84	0,900	0,393
ETA	8	4,00	4,78	0,588	0,880
TURBIDEZ					
FLA	8	1,81	2,49	0,962	0,313
FLAC	8	0,74	1,04	0,971	0,302
ETA	8	0,36	0,31	0,699	0,713
SST					
FLA	8	1,13	1,73	0,789	0,563
FLAC	8	1,88	2,36	0,811	0,526
ETA	8	1,25	1,75	1,095	0,182
COLIFORMES TOTAIS					
FLA	6	102,33	185,96	1,052	0,218
FLAC	6	90,67	180,66	1,035	0,235
COLIFORMES TERMOTOLERANTES					
FLA	6	11,67	11,27	0,448	0,988
FLAC	6	5,17	9,52	0,823	0,508

Tabela B- 20- Teste T Student para dados pareados

Parâmetro / Unidade de filtração	N	MEDIA	DP	P
COR				
FLA	8	12,63	23,85	
ETA	8	4,00	4,78	0,253
FLAC	8	11,50	16,84	
ETA	8	4,00	4,78	0,149
FLA	8	12,63	23,85	
FLAC	8	11,50	16,84	0,811
TURBIDEZ				
FLA	8	1,81	2,49	
ETA	8	0,36	0,31	0,140
FLAC	8	0,74	1,04	
ETA	8	0,36	0,31	0,249
FLA	8	1,81	2,49	
FLAC	8	0,74	1,04	0,294
SST				
FLA	8	1,13	1,73	
ETA	8	1,25	1,75	0,867

Parâmetro / Unidade de filtração	N	MEDIA	DP	P
SST				
FLAC	8	1,88	2,36	
ETA	8	1,25	1,75	0,049
FLA	8	1,13	1,73	
FLAC	8	1,88	2,36	0,351
COLIFORMES TOTAIS				
FLA	6	102,33	185,96	
FLAC	6	90,67	180,66	0,239
TERMOTOLERANTES				
FLA	6	11,67	11,27	
FLAC	6	5,17	9,52	0,064

#### B.9- OITAVA CARREIRA DE FILTRAÇÃO – SEQ 2

Tabela B- 21- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade da oitava carreira de filtração

UNIDADE DE FILTRAÇÃO	N	MEDIA	DP	Z	P
COR					
FLA	6	16,67	20,43	0,608	0,854
ETA	6	6,17	10,07	0,736	0,651
TURBIDEZ					
FLA	6	1,73	1,39	0,634	0,816
ETA	6	0,97	1,07	0,517	0,952
SST					
FLA	6	1,50	2,74	0,994	0,277
ETA	6	1,17	1,83	0,990	0,281
COLIFORMES TOTAIS					
FLA	6	45,83	35,47	0,511	0,957
COLIFORMES TERMOTOLERANTES					
FLA	6	6,67	8,31	0,618	0,839

Tabela B- 22- Teste T Student para dados pareados

Parâmetro / Unidade de filtração	N	MEDIA	DP	P
COR				
FLA	6	16,67	20,43	
ETA	6	6,17	10,07	0,067
TURBIDEZ				
FLA	6	1,73	1,39	
ETA	6	0,97	1,07	0,403
SST				
FLA	6	1,50	2,74	
ETA	6	1,17	1,83	0,732

## B.10- TURBIDEZ BAIXA (TURBIDEZ 1) PARA A SEQ 1

Tabela B- 23- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade

UNIDADE DE FILTRAÇÃO	N	MEDIA	DP	Z	P
COR					
FLA	30	16,17	17,37	0,964	0,310
FLAC	30	15,30	15,08	0,887	0,411
ETA	30	7,60	7,96	1,014	0,255
TURBIDEZ					
FLA	30	1,89	1,80	0,977	0,296
FLAC	29	1,82	1,82	1,101	0,177
ETA	30	0,78	0,69	0,999	0,271
SST					
FLA	28	0,68	1,22	2,062	0,000
FLAC	28	1,21	1,81	2,071	0,000
ETA	28	0,57	1,20	2,481	0,000
COLIFORMES TOTAIS					
FLA	22	267,45	431,22	1,355	0,051
FLAC	22	85,55	144,27	1,461	0,028
COLIFORMES TERMOTOLERANTES					
FLA	22	37,45	46,82	1,417	0,036
FLAC	22	13,55	20,12	1,181	0,123

Tabela B- 24- Teste T Student para dados pareados

Parâmetro / Unidade de filtração	N	MEDIA	DP	P
COR				
FLA	30	16,17	17,37	
ETA	30	7,60	7,96	0,006
FLAC	30	15,30	15,08	
ETA	30	7,60	7,96	0,010
FLA	30	16,17	17,37	
FLAC	30	15,30	15,08	0,790
TURBIDEZ				
FLA	30	1,89	1,80	
ETA	30	0,78	0,69	0,002
FLAC	29	1,82	1,82	
ETA	29	0,79	0,70	0,002
FLA	29	1,95	1,80	
FLAC	29	1,82	1,82	0,732
SST*				
FLA	28	0,68	1,22	
ETA	28	0,57	1,20	0,685
FLAC	28	1,21	1,81	
ETA	28	0,57	1,20	0,031
FLA	28	0,68	1,22	
FLAC	28	1,21	1,81	0,040
COLIFORMES TOTAIS				
FLA	22	267,45	431,22	
FLAC	22	85,55	144,27	0,069
COLIFORMES TERMOTOLERANTES				
FLA	22	37,45	46,82	
FLAC	22	13,55	20,12	0,054

\*Teste Wilcoxon

## B.11- TURBIDEZ BAIXA (TURBIDEZ 1) PARA A SEQ 2

Tabela B- 25- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade

UNIDADE DE FILTRAÇÃO	N	MEDIA	DP	Z	P
COR					
FLA	23	41,26	50,95	1,039	0,231
ETA	23	5,83	7,86	1,195	0,115
TURBIDEZ					
FLA	23	4,52	5,32	1,065	0,206
ETA	23	0,84	0,86	1,077	0,196
SST					
FLA	23	2,30	4,17	1,527	0,019
ETA	23	0,61	1,27	2,238	0,000
COLIFORMES TOTAIS					
FLA	18	227,61	328,72	1,381	0,044
COLIFORMES TERMOTOLERANTES					
FLA	18	28,56	40,71	1,101	0,177

Tabela B- 26- Teste T Student para dados pareados

Parâmetro / Unidade de filtração	N	MEDIA	DP	P
COR				
FLA	23	41,26	50,95	
ETA	23	5,83	7,86	0,002
TURBIDEZ				
FLA	23	4,52	5,32	
ETA	23	0,84	0,86	0,001
SST*				
FLA	23	2,30	4,17	
ETA	23	0,61	1,27	0,064

\*Teste Wilcoxon

## B.12- TURBIDEZ ALTA (TURBIDEZ 2) PARA A SEQ 1

Tabela B- 27- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade

UNIDADE DE FILTRAÇÃO	N	MEDIA	DP	Z	P
COR					
FLA	32	21,06	23,88	1,231	0,096
FLAC	31	32,52	29,66	0,966	0,309
ETA	32	21,97	22,91	1,529	0,019
TURBIDEZ					
FLA	32	1,86	2,32	1,759	0,004
FLAC	31	3,13	3,14	1,279	0,076
ETA	32	2,42	2,86	1,431	0,033
SST					
FLA	28	0,93	1,51	2,163	0,000
FLAC	27	1,41	2,02	1,814	0,003
ETA	28	0,82	1,59	2,179	0,000
COLIFORMES TOTAIS					
FLA	21	88,13	181,87	1,598	0,012
FLAC	21	173,10	364,78	1,649	0,009
COLIFORMES TERMOTOLERANTES					
FLA	21	18,24	29,91	1,765	0,004
FLAC	21	44,50	68,63	1,267	0,081

Tabela B- 28- Teste T Student para dados pareados

Parâmetro / Unidade de filtração	N	MEDIA	DP	P
COR				
FLA	32	21,06	23,88	
ETA	32	21,97	22,91	0,819
FLAC				
ETA	31	32,52	29,66	
FLA	31	22,35	23,18	0,088
FLAC				
FLA	31	21,65	24,04	
FLAC	31	32,52	29,66	0,024
TURBIDEZ*				
FLA	32	1,86	2,32	
ETA	32	2,42	2,86	0,364
FLAC				
ETA	31	3,13	3,14	
FLA	31	2,30	2,82	0,228
FLAC				
FLA	31	1,90	2,35	
FLAC	31	3,13	3,14	0,003
SST*				
FLA	28	0,93	1,51	
ETA	28	0,82	1,59	0,754
FLAC				
ETA	27	1,41	2,02	
FLA	27	0,78	1,60	0,091
FLAC				
FLA	27	0,96	1,53	
FLAC	27	1,41	2,02	0,192
COLIFORMES TOTAIS*				
FLA	21	88,13	181,87	
FLAC	21	173,10	364,78	0,116
COLIFORMES TERMOTOLERANTES				
FLA	21	18,24	29,91	
FLAC	21	44,50	68,63	0,065

\*Teste Wilcoxon

## B.13- TAXA BAIXA (TAXA 1) PARA A SEQ 1

Tabela B- 29- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade

UNIDADE DE FILTRAÇÃO	N	MEDIA	DP	Z	P
COR					
FLA	40	17,48	18,05	1,053	0,217
FLAC	39	22,77	25,48	1,629	0,010
ETA	40	16,68	19,29	1,800	0,003
TURBIDEZ					
FLA	40	1,71	2,03	1,712	0,006
FLAC	38	2,27	2,94	1,650	0,009
ETA	40	1,75	2,55	1,832	0,002
SST					
FLA	36	0,97	1,46	2,147	0,000
FLAC	35	1,49	2,08	2,146	0,000
ETA	36	0,86	1,53	2,443	0,000
COLIFORMES TOTAIS					
FLA	26	187,91	401,17	1,748	0,004
FLAC	26	93,69	197,06	1,619	0,011
COLIFORMES TERMOTOLERANTES					
FLA	26	32,46	47,34	1,384	0,043
FLAC	26	18,94	28,44	1,777	0,004

Tabela B- 30- Teste T Student para dados pareados

Parâmetro / Unidade de filtração	N	MEDIA	DP	P
COR				
FLA	40	17,48	18,05	
ETA	40	16,68	19,29	0,813
FLAC				
ETA	39	22,77	25,48	
FLA	39	16,85	19,51	0,108
FLAC				
FLA	39	17,85	18,13	
FLAC	39	22,77	25,48	0,117
TURBIDEZ*				
FLA	40	1,71	2,03	
ETA	40	1,75	2,55	0,577
FLAC				
ETA	38	2,27	2,94	
FLA	38	1,67	2,51	0,106
FLAC				
FLA	38	1,78	2,06	
FLAC	38	2,27	2,94	0,103
SST*				
FLA	36	0,97	1,46	
ETA	36	0,86	1,53	0,774
FLAC				
ETA	35	1,49	2,08	
FLA	35	0,83	1,54	0,032
FLAC				
FLA	35	1,00	1,48	
FLAC	35	1,49	2,08	0,116
COLIFORMES TOTAIS*				
FLA	26	187,91	401,17	
FLAC	26	93,69	197,06	0,366
COLIFORMES TERMOTOLERANTES*				
FLA	26	32,46	47,34	
FLAC	26	18,94	28,44	0,268

\*Teste Wilcoxon

## B.14- TAXA BAIXA (TAXA 1) PARA A SEQ 2

Tabela B- 31- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade

UNIDADE DE FILTRAÇÃO	N	MEDIA	DP	Z	P
COR					
FLA	6	16,67	20,43	0,608	0,854
ETA	6	6,17	10,07	0,736	0,651
TURBIDEZ					
FLA	6	1,73	1,39	0,634	0,816
ETA	6	0,97	1,07	0,517	0,952
SST					
FLA	6	1,50	2,74	0,994	0,277
ETA	6	1,17	1,83	0,990	0,281
COLIFORMES TOTAIS					
FLA	6	45,83	35,47	0,511	0,957
COLIFORMES TERMOTOLERANTES					
FLA	6	6,67	8,31	0,618	0,839

Tabela B- 32- Teste T Student para dados pareados

Parâmetro / Unidade de filtração	N	MEDIA	DP	P
COR				
FLA	6	16,67	20,43	
ETA	6	6,17	10,07	0,067
TURBIDEZ				
FLA	6	1,73	1,39	
ETA	6	0,97	1,07	0,403
SST				
FLA	6	1,50	2,74	
ETA	6	1,17	1,83	0,732

## B.15- TAXA ALTA (TAXA 2) PARA A SEQ 1

Tabela B- 33- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade

UNIDADE DE FILTRAÇÃO	N	MEDIA	DP	Z	P
COR					
FLA	22	20,91	25,75	0,977	0,295
FLAC	22	26,32	24,54	0,665	0,769
ETA	22	12,00	17,55	1,159	0,136
TURBIDEZ					
FLA	22	2,17	2,16	0,921	0,365
FLAC	22	2,89	2,04	0,649	0,794
ETA	22	1,40	1,60	1,454	0,029
SST					
FLA	20	0,50	1,15	2,095	0,000
FLAC	20	1,00	1,56	1,743	0,005
ETA	20	0,40	1,10	2,203	0,000
COLIFORMES TOTAIS					
FLA	17	167,59	235,11	1,214	0,105
FLAC	17	181,24	364,96	1,289	0,072
COLIFORMES TERMOTOLERANTES					
FLA	17	21,35	25,73	0,858	0,454
FLAC	17	43,53	73,55	1,302	0,067

Tabela B- 34- Teste T Student para dados pareados

Parâmetro / Unidade de filtração	N	MEDIA	DP	P
COR				
FLA	22	20,91	25,75	
ETA	22	12,00	17,55	0,016
FLAC				
ETA	22	12,00	17,55	0,008
FLA	22	20,91	25,75	
FLAC	22	26,32	24,54	0,377
TURBIDEZ				
FLA	22	2,17	2,16	
ETA	22	1,40	1,60	0,064
FLAC				
ETA	22	1,40	1,60	0,002
FLA	22	2,17	2,16	
FLAC	22	2,89	2,04	0,068
SST*				
FLA	20	0,50	1,15	
ETA	20	0,40	1,10	0,683
FLAC				
ETA	20	0,40	1,10	0,102
FLA	20	0,50	1,15	
FLAC	20	1,00	1,56	0,047
COLIFORMES TOTAIS				
FLA	17	167,59	235,11	
FLAC	17	181,24	364,96	0,832
COLIFORMES TERMOTOLERANTES				
FLA	17	21,35	25,73	
FLAC	17	43,53	73,55	0,201

\*Teste Wilcoxon

## B.16- TAXA ALTA (TAXA 2) PARA A SEQ 2

Tabela B- 35- Teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para comprovação de normalidade

UNIDADE DE FILTRAÇÃO	N	MEDIA	DP	Z	P
COR					
FLA	17	49,94	55,97	0,854	0,459
ETA	17	5,71	7,30	1,025	0,244
TURBIDEZ					
FLA	17	5,51	5,87	0,801	0,543
ETA	17	0,79	0,81	1,038	0,232
SST					
FLA	17	2,59	4,61	1,184	0,121
ETA	17	0,41	1,00	1,990	0,001
COLIFORMES TOTAIS					
FLA	12	318,50	373,35	0,940	0,340
COLIFORMES TERMOTOLERANTES					
FLA	12	39,50	46,23	0,850	0,466

Tabela B- 36- Teste T Student para dados pareados

Parâmetro / Unidade de filtração	N	MEDIA	DP	P
COR				
FLA	17	49,94	55,97	
ETA	17	5,71	7,30	0,003
TURBIDEZ				
FLA	17	5,51	5,87	
ETA	17	0,79	0,81	0,002
SST				
FLA	17	2,59	4,61	
ETA	17	0,41	1,00	0,083