

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**UTILIZAÇÃO DE COLUNAS VERTICAIS DE
FILTRAÇÃO EM MANTA E AREIA COMO
PRÉTRATAMENTO DE FILTRO LENTO**

Engº Marcelo Botini Tavares

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia -UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de Conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Edson Pereira Tangerino

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP – Ilha Solteira.

T231u

Tavares, Marcelo Botini.

Utilização de colunas verticais de filtração em manta e areia como pré-tratamento de filtro lento / Marcelo Botini Tavares. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2008.

129 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2008

Orientador: Edson Pereira Tangerino

Bibliografia: p. 109-115

1. Colunas verticais de pré-filtração. 2. Filtração lenta. 3. Tratamento de água. 4. Filtração em múltiplas etapas.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: UTILIZAÇÃO DE COLUNAS VERTICAIS DE FILTRAÇÃO EM MANTA E AREIA COMO PRÉ TRATAMENTO DE FILTRO LENTO

AUTOR: MARCELO BOTINI TAVARES

ORIENTADOR: Prof. Dr. EDSON PEREIRA TANGERINO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em ENGENHARIA CIVIL pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. EDSON PEREIRA TANGERINO

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. TSUNAO MATSUMOTO

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. LUIZ DI BERNARDO

Departamento de Hidráulica e Saneamento / Escola de Engenharia de São Carlos-Usp

Data da realização: 08 de agosto de 2008.



Presidente da Comissão Examinadora
Prof. Dr. EDSON PEREIRA TANGERINO

*À minha família: Assis, meu pai,
Maria da Graça, minha mãe (em memória),
Aline, minha irmã,
Elter, meu irmão,
e Cássia, minha noiva.*

AGRADECIMENTOS

“Deus nos fez perfeitos e não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos. Fazer ou não fazer algo, só depende de nossa vontade e perseverança”.

(Albert Einstein)

Quero em primeiro lugar agradecer a minha mãe Maria da Graça Botini Tavares, que mesmo não estando mais entre nós, foi a razão para eu finalizar esta etapa da minha vida.

Agradeço aos meus familiares, meu pai José de Assis Tavares, meus irmãos Aline Botini Tavares e Elter Botini Tavares, por sempre estarem ao meu lado, sendo pacientes, compreensivos e me auxiliando nas dificuldades encontradas no desenvolvimento deste projeto.

Pessoal do PROSAB 5, Andressa Rodrigues, Fernando Yogi, Gustavo Henrique, Josiela Zanini, Juliana Alencar, Michel Viana, Shaini e Priscila Areripe e os amigos Eduardo Gonçalves e Gilberto da Paz, obrigado por todo apoio no laboratório, na FiME e na contribuição enorme para a finalização deste trabalho. Sem vocês, com certeza não seria possível a realização deste.

Professor Edson Pereira Tangerino, que me acompanhou durante todo esse trajeto, obrigado pela orientação, conselhos, pela idéia do trabalho e por ter me incentivado nesta questão muito importante que é o tratamento de água para abastecimento público.

Aos meus parentes, avós, tios, primos e pessoas que se conformaram com a minha ausência devido ao desenvolvimento deste projeto. Obrigado.

Aos amigos Bim, Andréia, Ronaldo, Tereza, Olavo, Rodolfo, Tchê, Daniel, Clarinha, Bia, Pedro, Dani, Netúlio, Sueila, Lê, Júnior e tantos outros que não caberiam aqui, obrigado pelas festas descontraídas, pela amizade e por todo apoio que me deram tanto nesta fase da vida, quanto na própria vida.

Cássia, minha namorada, obrigado por tudo que fez e ainda faz por mim. Obrigado pelo apoio, pela compreensão, pela paciência, pelo companheirismo e pelo grande amor que sinto por você.

Aos técnicos do laboratório de engenharia, obrigado pelo apoio e atenção.

Aos membros de minha banca de qualificação, Edson Pereira Tangerino, Tsunao Matsumoto e Maurício Augusto Leite, que tornaram aceitável a proposta do trabalho.

Por fim agradeço ao apoio financeiro do CNPq por meio da bolsa DTI (Desenvolvimento Tecnológico Industrial) do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) de número 5, do qual fiz parte.

UTILIZAÇÃO DE COLUNAS VERTICAIS DE FILTRAÇÃO EM MANTA E AREIA COMO PRÉ-TRATAMENTO DE FILTRO LENTO

Marcelo Botini Tavares

RESUMO

A Filtração Lenta é um processo de tratamento de água que tem como principal característica a eficiente remoção de patógenos, algas e cianobactérias, as quais nos últimos anos têm-se desenvolvido muito nos reservatórios de abastecimento de água devido à eutrofização causada principalmente pelas atividades antrópicas. As cianobactérias produzem substâncias tóxicas conhecidas como cianotoxinas, que causam problemas gástricos, dermatológicos e toxicológicos nos humanos, além de problemas nas estações de tratamento de água. Apesar da eficiência da Filtração Lenta na remoção destes organismos, ela possui restrições quanto à área necessária aos filtros lentos, quanto ao processo de limpeza destes e dos pré-filtros de pedregulho quando utilizados no tratamento. Esta pesquisa teve então como objetivo desenvolver uma pré-filtração ao filtro lento, através das Colunas Verticais de Pré-Filtração, que fosse eficiente na remoção de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos e também no procedimento de limpeza, tornando-o mais rápido e menos dispendioso. Este trabalho foi vinculado ao Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) de número 5 do ano de 2007. Para tanto, foi utilizada uma instalação piloto de tratamento de água existente na cidade de Ilha Solteira/SP na qual o processo de tratamento foi o de Filtração em Múltiplas Etapas. Nela foram introduzidas quatro colunas verticais de pré-filtração com taxas diferentes entre si. Foram analisados parâmetros de qualidade de água, o período de desenvolvimento da camada biológica e o tempo de colmatação das unidades filtrantes. Como alguns resultados da pesquisa, foram notificados: a rapidez e facilidade no procedimento de limpeza das colunas, além de necessitarem de limpezas menos frequentes que os pré-filtros de pedregulho; remoção de cerca de 95% de algas e cianobactérias por parte das colunas; remoção satisfatória de turbidez, cor aparente e cor verdadeira, além de necessitarem de uma área menor para sua instalação, devido à sua forma vertical.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de água, Filtração em Múltiplas Etapas, Filtração lenta e Colunas Verticais de Pré-Filtração.

FILTRATION VERTICAL COLUMNS USE AS NON-WOVEN SYNTHETIC FABRICS AND SLOW SAND FILTER PRE-TREATMENT

Marcelo Botini Tavares

ABSTRACT

Slow filtration is a water treatment process that provides an efficient removal of pathogens, algae and cyanobacteria, which in recent years have been developed in a large amount in water reservoirs due to eutrophication, caused by human habits. The cyanobacteria produces toxic substances known as cyanotoxins, which cause gastric, skin and toxic disorders in humans, as well as problems in water treatment plants. Despite the efficiency of slow sand filtration in removing these bodies, it has restrictions on the required area for slow filters, on their cleaning process or rubble pre-filters cleaning when used in treatment. The objective of this research is developing a pre-filter to filter slowly through vertical columns pre-filtration, which would be efficient in the removal of physical, chemical and bacteriological bodies and also in cleaning process, making it faster and less expensive. This work was linked to the Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) of 5th paragraph from the year of 2007. For this, we used an existing pilot plant for water treatment from of Ilha Solteira City - SP in which the process of treatment was Multiple Stages Filtration. Four pre-filtration vertical columns with different rates were introduced. We analyzed parameters of water quality, the period of organic layer development and the filter units clogging time. As some search results have been reported: the speed and ease of the columns cleaning procedure, less requiring of rubble pre-filters frequent cleaning; approximately 95% of algae and cyanobacteria removal by the columns; satisfactory turbidity removal, apparent color and true color, and smaller area required for its installation, because of their vertical shape.

KEY WORDS: Water Treatment, Multiple Stages Filtration, Slow Filtrations, Pre-Filtration Vertical Columns.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 4.1 – Vista geral (1) da estação piloto.	40
Figura 4.2 – Vista geral (2) da estação piloto.	40
Figura 4.3 – Planta baixa do pré-filtro dinâmico.	41
Figura 4.4 – Granulometria do meio filtrante do pré-filtro dinâmico.	42
Figura 4.5 – Granulometria do meio filtrante do pré-filtro vertical de escoamento ascendente (medidas em milímetros).	43
Figura 4.6 – Granulometria do meio filtrantes dos filtros lentos (medidas em milímetros).	44
Figura 4.7 – Coluna de polimento com carvão ativado granular instalada na saída dos filtros lentos (medidas em milímetros).	46
Figura 4.8 – Esquema do aparato experimental com as colunas verticais de pré-filtração e o filtro lento.	47
Figura 4.9 – Reservatório de 100L utilizado para instalação da coluna de 0,50m de altura (medidas em milímetros).	49
Figura 4.10 – Reservatório de 200L utilizado para instalação da coluna de 0,60m de altura (medidas em milímetros).	49
Figura 4.11 – Detalhamento do engate rosqueado das colunas verticais de filtração.	50
Figura 4.12 – Reservatório de 100L com bóia para controle do nível d'água.	51
Figura 4.13 – Reservatório de 200L com bóia para controle do nível d'água.	51
Figura 4.14 – Coluna vertical de filtração e manta não-tecida.	51
Figura 4.15 – Detalhe dos orifícios no tubo interno que capta a água filtrada.	51
Figura 4.16 – Coluna vertical de filtração com a manta não-tecida.	52
Figura 4.17 – Reservatório de 100L com a coluna instalada.	52
Figura 4.18 – Reservatório de 200L com a coluna instalada.	52
Figura 4.19 – Curva granulométrica da areia utilizada nas colunas verticais de pré-filtração.	53
Figura 4.20 – Esquema do funcionamento da coluna vertical de pré-filtração.	55
Figura 4.21 – Registros utilizados no processo de limpeza das colunas verticais de	

pré-filtração 1 e 3.	57
Figura 4.22 – Fluxograma da Etapa experimental 1 e seus respectivos pontos de coleta.	60
Figura 4.23 – Fluxograma da Etapa experimental 2 e seus respectivos pontos de coleta.	63
Figura 5.1 – Taxa de filtração do FL1, FL2 e da CVPF2 nas duas etapas experimentais.	67
Figura 5.2 – Taxa de filtração do PFD, PFVA, CVPF4, CVPF3, CVPF 1, CPs e FL3 nas duas etapas experimentais.	68
Figura 5.3 – Turbidez na água bruta e no efluente do PFD, do PFVA e dos filtros lentos nas etapas 1 e 2.	69
Figura 5.4 – Turbidez na água bruta e no efluente do PFV, do PFVA e das CVPFs nas etapas 1 e 2.	70
Figura 5.5 – Turbidez na água bruta e no efluente do PFD, do PFVA e das colunas de polimento nas etapas 1 e 2.	70
Figura 5.6 – Cor aparente na água bruta e no efluente do PFD, do PFVA e dos filtros lentos nas etapas 1 e 2.	74
Figura 5.7 – Cor aparente na água bruta e no efluente do PFD, do PFVA e das colunas verticais de pré-filtração nas etapas 1 e 2.	74
Figura 5.8 – Cor aparente na água bruta e no efluente do PFD, do PFVA e das colunas de polimento nas etapas 1 e 2.	75
Figura 5.9 – Cor verdadeira na água bruta e no efluente do PFD, do PFVA e dos filtros lentos nas etapas 1 e 2.	78
Figura 5.10 – Cor verdadeira na água bruta e no efluente do PFD, do PFVA e das colunas verticais de pré-filtração na etapas 1 e 2.	78
Figura 5.11 – Cor verdadeira na água bruta e no efluente do PFD, do PFVA e das colunas de polimento nas etapas 1 e 2.	79
Figura 5.12 – Contagem de coliformes totais nas unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.	82
Figura 5.13 – Contagem de E. coli na água bruta e no efluente das unidades filtrantes durante a segunda etapa.	84
Figura 5.14 – Sólidos suspensos totais na água bruta e no efluente das unidades	

filtrantes durante a etapa 1 e 2.	87
Figura 5.15 – Contagem de algas e cianobactérias na água bruta e no efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.	89
Figura 5.16 – Contagem de fitoflagelados na água bruta e no efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.	92
Figura 5.17 – Contagem de diatomáceas na água bruta e no efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.	94
Figura 5.19 – Contagem de algas e cianobactérias, fitoflagelados e diatomáceas na água bruta e no efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.	96
Figura 5.20 – Clorofila-a na água bruta e no efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.	98
Figura 5.21 – Oxigênio dissolvido na água bruta e no efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.	101
Figura 5.22 – Comparação do valor médio de oxigênio dissolvido apresentado pela água bruta e pelo efluente do FL1 e da CP1 nas duas etapas.	102
Figura 5.23 – Comparação do valor médio de oxigênio dissolvido apresentado pela água bruta e pelo efluente do FL2 e da CP2 nas duas etapas.	103
Figura 5.24 – Comparação do valor médio de oxigênio dissolvido apresentado pela água bruta e pelo efluente do FL3 e da CP3 nas duas etapas.	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Qualidade da água para tratamento por meio da filtração lenta sem e com pré-tratamento.	30
Tabela 4.1 – Propriedades das mantas sintéticas não-tecidas.	45
Tabela 4.2 – Granulometria utilizada no filtro lento (camadas no sentido do escoamento).	54
Tabela 4.3 – Parâmetros, métodos e frequência de análise.	58
Tabela 4.4 – Pontos de coleta e parâmetros avaliados na etapa experimental 1.	62
Tabela 4.5 - Taxas de filtração das unidades na etapa experimental 1.	62
Tabela 4.6 – Pontos de coletas e parâmetros avaliados na etapa experimental 2.	64
Tabela 4.7 – Taxas de filtração das unidades na etapa experimental 2.	65
Tabela 5.1 – Temperatura, pH e condutividade da água do Lago do Ipê no período de coleta do experimento.	66
Tabela 5.2 – Valores médios da taxa de filtração das unidades ($m^3/m^2.dia$).	68
Tabela 5.3 – Valores máximo, médio e mínimo de turbidez (uT) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.	71
Tabela 5.4 – Remoção média (%) diária de turbidez nas unidades em relação à água bruta nas etapas 1 e 2.	71
Tabela 5.5 – Valores máximo, médio e mínimo de cor aparente (uH) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.	75
Tabela 5.6 – Remoção média (%) diária de cor aparente nas unidades em relação à água bruta nas etapas 1 e 2.	76
Tabela 5.7 – Valores máximo, médio e mínimo de cor verdadeira (uH) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.	79
Tabela 5.8 – Remoção média (%) diária de cor verdadeira nas unidades em relação à água bruta nas etapas 1 e 2.	80
Tabela 5.9 – Valores máximo, médio e mínimo de coliformes totais (UFC/mL) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.	82
Tabela 5.10 – Remoção média (%) semanal de coliformes totais nas unidades em relação à água bruta nas etapas 1 e 2.	83
Tabela 5.11 – Valores máximo, médio e mínimo de E. coli (UFC/mL) apresentados pela	

água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes na etapa 2.	84
Tabela 5.12 – Valores máximo, médio e mínimo de coliformes totais (UFC/mL) apresentados pela água bruta e pelo efluente das CVPFs e do FL3 após o término da segunda etapa.	85
Tabela 5.13 – Valores máximo, médio e mínimo de sólidos suspensos totais (mg/L) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2 do experimento.	87
Tabela 5.14 – Remoção média (%) semanal de sólidos suspensos totais nas unidades em relação à água bruta nas etapas 1 e 2.	88
Tabela 5.15 – Valores máximo, médio e mínimo da contagem de algas e cianobactérias (cel/mL) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2 do experimento.	90
Tabela 5.16 – Remoção média (%) semanal de algas e cianobactérias nas unidades em relação à água bruta nas etapas 1 e 2.	90
Tabela 5.17 – Valores máximo, médio e mínimo da contagem de fitoflagelados (cel/mL) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2 do experimento.	92
Tabela 5.18 – Remoção média (%) semanal de fitoflagelados nas unidades em relação à água bruta nas etapas 1 e 2.	93
Tabela 5.19 – Valores máximo, médio e mínimo da contagem de diatomáceas (cel/mL) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2 do experimento.	94
Tabela 5.20 Remoção média (%) semanal de diatomáceas nas unidades em relação à água bruta nas etapas 1 e 2.	95
Tabela 5.23 – Valores máximo, médio e mínimo da contagem de algas e cianobactérias, fitoflagelados e diatomáceas (cel/mL) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2 do experimento.	96
Tabela 5.24 Remoção média (%) semanal de algas e cianobactérias, fitoflagelados e diatomáceas nas unidades em relação à água bruta nas etapas 1 e 2.	97
Tabela 5.25 – Valores máximo, médio e mínimo de clorofila-a apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes durante todo o período de funcionamento da estação.	99

Tabela 5.26 – Valores máximo, médio e mínimo de oxigênio dissolvido ($\mu\text{g/L}$) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes durante todo o período de funcionamento.

LISTA DE ABREVIACOES

B – Bomba diafragma
CD – Caixa de distribução
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CL – Clorofila
CN – Caixa de nível constante
CP – Coluna de polimento
CVPF – Coluna Vertical de Pr-Filtração
E. coli – Escherichia Coli
EESC – Escola de Engenharia de São Carlos
ETA – Estação de Tratamento de gua
FiME – Filtração em Múltiplas Etapas
FL – Filtro lento
IET – ndice do Estado Trfico
M. aeruginosa – Microcystis Aeruginosa
NMP – Número mais provável
OD – Oxigênio dissolvido
P – Pontos de coleta
PFD – Pré-filtro dinâmico de pedregulho
PFVA – Pré-filtro de escoamento vertical ascendente
PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
PVC – poli cloreto de vinila
SST – Sólidos Suspensos Totais
TN – Tanque de nível constante
uC – Unidade de cor
UFC – Unidade formadora de colnias
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
uH – Unidade de Hazen

UnB – Universidade de Brasília

UNESP – Universidade Estadual Paulista

USP – Universidade de São Paulo

UPA – Unidade Padrão de Área

uT – Unidade de Turbidez

VMP – Valor máximo permitido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVOS.....	22
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
3.1. FILTRAÇÃO LENTA.....	23
3.1.1. Camada biológica	26
3.1.2. Mecanismos de remoção	28
3.2. FILTRAÇÃO EM MÚLTIPLAS ETAPAS (FiME)	29
3.3. REMOÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS E CIANOTOXINAS NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO COMPLETO E NA FILTRAÇÃO LENTA	33
3.4. A EXPERIÊNCIA DO PROSAB COM A FILTRAÇÃO LENTA	35
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
4.1. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS DE FILTRAÇÃO	39
4.1.1. Sistemas instalados no quarto edital do PROSAB	41
4.1.2. Colunas Verticais de Pré-Filtração	46
4.1.3. Funcionamento das Colunas Verticais de Pré-Filtração.....	54
4.1.4. Remoção e limpeza das Colunas Verticais de Pré-filtração	56
4.2. ETAPAS EXPERIMENTAIS DE FILTRAÇÃO	57
4.2.1. Etapa Experimental 1 – Utilização de dois filtros lentos e de quatro colunas verticais de pré-filtração abastecidos com água bruta do Lago do Ipê.....	59
4.2.2. Etapa Experimental 2 – Utilização de dois filtros lentos e de quatro colunas de pré- filtração abastecidos com água pré-tratada em série pelo pré-filtro dinâmico e pelo pré-filtro vertical ascendente.....	62
5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	66
5.1. TEMPERATURA, CONDUTIVIDADE E pH DA ÁGUA BRUTA	66
5.2. TAXA DE FILTRAÇÃO	66

5.3. TURBIDEZ	69
5.4. COR APARENTE	73
5.5. COR VERDADEIRA	77
5.6. COLIFORMES TOTAIS E ESCHERICHIA COLI	81
5.7. SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST)	86
5.8. CONTAGEM DE ALGAS	88
5.8.1. Algas e cianobactérias	89
5.8.2. Fitoflagelados	91
5.8.3. Diatomáceas	93
5.8.4. Somatório de algas e cianobactérias, fitoflagelados e diatomáceas	95
5.9. CLOROFILA-a	97
5.10. OXIGÊNIO DISSOLVIDO	100
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	105
7. REFERÊNCIAS	109
ANEXOS	116

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das atividades humanas resulta na utilização múltipla dos recursos hídricos, destacando-se o abastecimento público, a irrigação, o uso industrial, a navegação, a recreação e a aquicultura. Nos últimos 10 anos foi constatado no Brasil um acentuado aumento desta utilização, gerando como consequência problemas relacionados à degradação dos mananciais (VERAS, 1999).

Uma das consequência da deterioração de mananciais é a eutrofização causada tanto pelo enriquecimento artificial ou não da água por nutrientes. Estes nutrientes, em geral, fósforo e nitrogênio, são lançados nos corpos hídricos por meio de esgoto doméstico, efluentes líquidos industriais, carreamento de fertilizantes utilizados na agricultura e dejetos oriundos da criação de animais.

A contaminação dos recursos hídricos e dos mananciais de abastecimento público por esses rejeitos tem sido um dos maiores fatores de risco para a saúde humana, abrangendo na maior parte, as regiões onde o saneamento e o abastecimento de água são inadequados. Esta situação é verificada tanto em regiões brasileiras de alta concentração urbana como em áreas rurais (BRANDÃO; AZEVEDO, 2001).

Um ambiente eutrófico, segundo Esteves (1998), apresenta características como transparência limitada, alto teor de nutrientes e matéria orgânica no sedimento e na água, alto potencial para produção de biomassa, perda de biodiversidade e florações de algas, cianobactérias e macrófitas aquáticas.

O crescimento excessivo de microalgas e cianobactérias, segundo Sá et. al (2002), causa na água problemas como odor, turbidez, diminuição do oxigênio dissolvido, assoreamento, e também, toxicidade. Fatores estes que implicam em um maior custo no tratamento da água para abastecimento e em consequências relacionadas à saúde pública.

Estações de Tratamento de Água (ETAs) que tratam água proveniente de mananciais de superfície com probabilidade de ocorrência desses organismos e suas toxinas, podem expor populações por eles abastecidas a sérios males à saúde, tais como danos as células do fígado e até a morte.

Devido aos projetos antigos de ETAs não contemplarem a ocorrência da eutrofização, a procura por mananciais com água de qualidade adequada ao consumo humano, ou que permita um tratamento mais econômico, torna-se cada vez maior. Para atender tal finalidade, estão sendo desenvolvidos sistemas alternativos de tratamento de água.

Um desses sistemas alternativos de tratamento de água é a Filtração Lenta, que segundo Ferraz (2001), é um processo de tratamento que, através da passagem da água por meio granular, possibilita a melhora de suas características químicas, físicas e bacteriológicas, a ponto de torná-la adequada ao consumo humano após desinfecção final.

A Filtração Lenta, segundo Di Bernardo e Dantas (2005), é considerada uma tecnologia apropriada para remoção de algas e suas toxinas. Este sistema de tratamento de água foi desenvolvido a partir da analogia à percolação de águas naturais através do solo, que após

chegarem aos aquíferos, de onde era extraída para consumo, apresentavam características adequadas às exigências estéticas e sanitárias do homem (MURTHA; HELLER; LIBÂNIO, 1997).

O tratamento de água eutrofizada por meio de sistema de tratamento de água de ciclo completo (unidade de mistura rápida, floculadores, decantadores, filtros, unidades de desinfecção e de correção de pH), proporciona um aumento na utilização de produtos químicos, uma redução das carreiras de filtração e da velocidade de sedimentação dos flocos e uma elevação da demanda de cloro na desinfecção, possibilitando a formação de trihalometanos.

A Filtração Lenta apresenta algumas vantagens sobre o tratamento de ciclo completo, destacando-se, segundo Murtha e Heller (1999), Ferraz (2001) e Di Bernardo e Dantas (2005): ausência do emprego de coagulantes; necessidade de pouco ou nenhum maquinário; não requer mão-de-obra especializada; não utiliza água tratada no processo de limpeza e a estação de tratamento tem baixo custo de operação.

Contudo, apesar das vantagens desse sistema de tratamento, existem alguns fatores que limitam o seu uso, tais como a duração e a frequência de limpeza dos filtros, o aspecto físico da água a ser tratada, a área superficial de filtração.

No que diz a respeito à duração do processo de limpeza dos filtros lentos, que é realizada através da raspagem da camada superior de areia, de 1,0 a 3,0cm, seguida da lavagem e recolocação desta areia no filtro, se feita manualmente, segundo (CULLEN; LETTERMAN, apud FERRAZ, 2001), pode consumir até 50 horas por 100m².

A frequência da limpeza depende dos aspectos físicos da água bruta. Se a água bruta apresentar valores de turbidez, cor aparente e sólidos suspensos acima dos indicados para a Filtração Lenta pode ocorrer a rápida colmatação do filtro, ocasionando uma redução na duração das carreiras de filtração, exigindo limpezas frequentes (FERRAZ; PATERNIANI, 2002b).

A água a ser tratada na Filtração Lenta, assim como em qualquer outra tecnologia de tratamento, deve possuir características físicas e biológicas adequadas ao processo de tratamento para torná-lo eficiente. Segundo Cezar et al. (2003), para a Filtração Lenta, a água bruta deve apresentar, como exemplo, turbidez abaixo de 10uT.

Para tornar a água bruta compatível com esse sistema de tratamento, são utilizados os pré-filtros de pedregulho, os quais possuem procedimentos de limpeza dispendiosos em relação a tempo e custo.

Comparando-se com a mesma vazão a ser tratada, a Filtração Lenta e outras tecnologias de tratamento de água, verifica-se que a área superficial do filtro lento, devido à baixa taxa de filtração utilizada (de 3,0 a 6,0m³/m².d), necessita ser maior do que a das outras tecnologias, o que pode não ser possível dependendo do local destinado à instalação da ETA.

O aperfeiçoamento deste sistema de tratamento de água torna-se cada vez mais necessário, visto que no mundo, e principalmente no Brasil, existem comunidades de pequeno e médio porte, residentes longe das metrópoles, a serem abastecidas com água que atenda aos padrões de potabilidade.

Para tal finalidade, foram desenvolvidas nesta pesquisa as Colunas Verticais de Pré-filtração (CVPF) como pré-tratamento ao filtro lento numa instalação cujo tratamento realizado foi o de Filtração em Múltiplas Etapas (FiME). As CVPFs tiveram como função fazer um pré-tratamento da água bruta por meio da própria filtração lenta, além de tornar mais rápida e simples a limpeza de um pré-filtro.

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo inovar tecnologicamente o pré-tratamento para o filtro lento por meio do estudo da influência de alguns parâmetros de projeto e operação. O procedimento de pré-filtração, realizado pelas Colunas Verticais de Pré-filtração, teve como intuito proporcionar as seguintes vantagens:

- Aumentar a área efetiva de filtração do filtro lento, proporcionando um aumento no volume de água tratada por área horizontal;
- Tornar mais rápida a limpeza do sistema de pré-tratamento; e
- Promover reinício de operação mais rápido após a limpeza, através da utilização de uma Coluna Vertical de Pré-filtração maturada em um recipiente a par da estação de tratamento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os tópicos abordados neste capítulo objetivam fazer uma explanação sobre os principais assuntos que serviram de base para elaboração da metodologia e discussão do resultado. Os tópicos são: a Filtração Lenta, a Filtração em Múltiplas Etapas, a remoção de cianobactérias e cianotoxinas nas estações de tratamento e a experiência do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) nesta questão.

3.1. FILTRAÇÃO LENTA

A filtração como processo de tratamento de água foi provavelmente criada pelo homem, pelo resultado da observação da limpeza da água subterrânea atribuída à passagem da mesma pelo solo, tendo-se notícia que desde o século XVI, a filtração como método de clarificação da água, já encontrava-se difundida (PATERNIANI; CONCEIÇÃO, 2004).

A produção contínua e segura de água potável necessita da filtração. Segundo Veras (1999), a filtração consiste na passagem da água através de um meio granular com a finalidade de remover impurezas físicas, químicas e biológicas, podendo ser rápida ou lenta, dependendo da taxa de filtração.

Segundo Di Bernardo, Brandão e Heller (1999), os filtros rápidos funcionam com taxas de filtração entre 120,0 e 600,0m³/m².d enquanto os filtros lentos operam com taxas geralmente inferiores a 6,0m³/m².d.

John Gibbs, em 1804, foi o primeiro a construir filtros de areia na Escócia, porém não eram destinados ao abastecimento público. Somente em 1828, segundo Costa (1980) e Hespanhol (1969), que os filtros de areia foram utilizados para abastecimento público com o objetivo de reduzir apenas a turbidez da água pelo mecanismo físico de retenção de partículas.

Segundo Paterniani e Conceição (2004), a eficiência da filtração lenta em remover micro-organismos foi comprovada em 1892 nas cidades alemãs de Hamburgo e Altona em decorrência de uma epidemia de cólera ocorrida. Nesta ocasião Altona, que possuía filtros lentos, teve um número muito reduzido de mortes em relação à Hamburgo, na qual o tratamento consistia apenas de sedimentação.

Por ser um processo de purificação eficiente, a filtração lenta difundiu-se muito rapidamente pela Europa e América. Segundo Veras (1999), até o final do século XIX a filtração lenta permaneceu como sendo o único processo de tratamento de água. Entretanto, sua expansão foi freada pelo desenvolvimento de outras técnicas de tratamento (MENDES et al., 2006).

Processos como a coagulação química, juntamente com a necessidade de grandes áreas de implantação, tempo de limpeza e a limitação da turbidez, cor verdadeira e teor de sólidos suspensos da água bruta também colaboraram para este declínio (GALVIS; LATORRE; VISSCHER, 1997).

Contudo, durante as três últimas décadas, devido à eficiente remoção de patógenos e toxinas na filtração lenta, houve um ressurgimento de interesse para a aplicação deste sistema de tratamento

de água (MENDES et al., 2006) e com isto, surgiram também várias pesquisas voltadas para a solução dos problemas relacionados a esta forma de tratamento.

Avanços têm sido feitos nos métodos de pré-tratamento para superar os problemas com a qualidade da água bruta no que se refere aos parâmetros físicos, tendo como exemplo, a Filtração em Múltiplas Etapas (FiME) (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999), a qual será detalhada no item 3.2.

Ferraz e Paterniani (2002b) através de estudos realizados com mantas não-tecidas substituindo parte da camada suporte dos filtros lentos, concluíram que a eficiência de remoção de impurezas não foi influenciada por esta substituição e que a taxa de filtração de $3,0\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ apresentou maior eficiência de remoção de impurezas e uma maior carreira de filtração em relação as outras taxas de $6,0$ e $9,0\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$.

Ferraz e Paterniani (2002b) verificaram ainda que as mantas empregadas eram fáceis de limpar utilizando-se jatos de água e que a unidade de pré-filtração utilizada, demonstrou ser eficiente na redução de turbidez e cor aparente da água bruta, beneficiando a duração das carreiras de filtração dos filtros lentos para a taxa de filtração de $3,0\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$.

Murtha e Heller (1999) avaliaram a eficiência da filtração lenta em areia segundo a profundidade do leito filtrante por meio de quatro filtros lentos e concluíram que a remoção de sólidos e bactérias predominou nos $30,0\text{cm}$ iniciais do leito filtrante. Esta remoção foi verificada para coliformes totais, *Escherichia coli* (*E. coli*), turbidez e cor aparente.

Paterniani e Conceição (2004) através de estudo realizado com pré-tratamento da água para a filtração lenta concluíram que com o uso de pré-filtros houve redução da ordem de 90% de turbidez, cor aparente e coliformes totais, tendo os filtros lentos apresentado em seqüência, reduções de 99,9% destes coliformes.

3.1.1. Camada biológica

A percolação da água pelos vazios do meio filtrante de um filtro lento resulta no contato das impurezas presentes na água com a superfície dos grãos. A matéria orgânica presente na água sofre processos de degradação química e biológica, sendo reduzida a formas mais simples e permanecendo como material inerte na camada superficial do filtro lento.

O resultado da baixa taxa de filtração, com a qual o filtro lento opera, é um longo período de detenção da água acima do meio e no próprio meio, tendo como consequência o desenvolvimento de intensa atividade biológica nas camadas mais superficiais do meio filtrante, formando-se na interface água/areia um filme biológico chamado *schmutzdecke* (SÁ, 2006).

Esse biofilme, ou camada biológica, é constituído de várias espécies microbianas, como por exemplo, as bactérias, as algas e os protozoários, que estão sujeitas a complexas interações biológicas, como simbiose, competição por espaço ou por recursos comuns (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Segundo Varesche (1989), esse biofilme pode também conter material inerte como argila, e minerais precipitados como o manganês e o ferro.

O *schmutzdecke* é formado durante um intervalo de tempo chamado período de amadurecimento ou de maturação do filtro lento, que a depender da quantidade de nutrientes presentes na água bruta, dos parâmetros de operação, e da temperatura (SÁ, 2006), pode demorar desde alguns dias até semanas para se formar. Apenas após este período, o filtro se encontra em condições para produzir água tratada de qualidade adequada para consumo humano.

Outro fator que determina o grau de desenvolvimento microbiológico no filtro lento é a luminosidade. De acordo com o trabalho de Campos et al. (2002), em que foram estudados dois filtros lentos – um recebendo incidência de luz e outro não – foram apresentados diferentes graus de atividade biológica, ainda que alimentados pela mesma água bruta.

As algas presentes nos filtros lentos são de fundamental importância no desenvolvimento da atividade biológica destes, isto porque se reproduzem absorvendo gás carbônico, nitratos e fosfatos. Este processo libera oxigênio, o qual permite a oxidação de impurezas orgânicas e compostos nitrogenados que formam nitratos, os quais são facilmente assimilados por elas (SÁ, 2006).

Por outro lado, segundo Di Bernardo e Dantas (2005), elevadas concentrações de algas na água afluente aos filtros, podem causar uma rápida obstrução do meio filtrante, resultando na diminuição da carreira de filtração e no aumento da frequência de limpeza do filtro, o que proporciona aumento de custo de manutenção e operação. A eficiência de remoção de algas depende da sua concentração na água bruta, do seu tamanho e da espécie.

Outra consequência, ainda segundo Di Bernardo e Dantas (2005) e Brito et al. (2005), é a diminuição da qualidade da água filtrada devido ao desenvolvimento inadequado do *schmutzdecke*. Assim para garantir a eficiência da filtração lenta ou de qualquer outra tecnologia de tratamento, é fundamental que as características da água sejam compatíveis com a tecnologia selecionada.

3.1.2. Mecanismos de remoção

Os mecanismos responsáveis pela remoção das partículas no filtro lento podem ser dividido em três grupos: transporte, aderência e processos microbiológicos. O mecanismo que conduz a partícula em direção ao grão de areia é o de transporte; o que opera para manter as partículas em contato com a superfície dos grãos de areia é o de aderência e os mecanismos microbiológicos são os responsáveis pela oxidação da matéria orgânica (VERAS, 1999; SÁ, 2006).

Os mecanismos de transporte são influenciados pelas características físicas do afluente, características do meio filtrante e por parâmetros de operação como a taxa de filtração e a técnica e frequência da raspagem do filme biológico (SÁ, 2006). Dentre esses mecanismos, destacam-se: ação física de coar, sedimentação, interceptação, força centrífuga e força inercial e difusão.

Com relação à aderência, sabe-se que as principais forças atuantes entre as partículas e os grãos de areia são as forças de *Van Der Waals*, que possuem origem elétrica e causam sua repulsão ou atração (HESPANHOL, 1987). O grão de areia tem carga inicialmente negativa, e atrai materiais de carga positiva como os flocos de hidróxido de ferro ou alumínio, entre outros. Como as bactérias possuem carga elétrica negativa, elas não se aderem aos grãos.

Com o tempo, o grão de areia torna-se saturado de partículas com carga positiva aderidas em sua superfície, e, assim, provoca uma reversão de sua carga, possibilitando a aderência de, por exemplo, bactérias, nitratos e fosfatos, que apresentam carga negativa (HAARHOF; CLEASBY apud SÁ, 2006).

Os processos principais de oxidação da matéria orgânica são de natureza bioquímica segundo Veras (1999). Com o amadurecimento do filtro lento desenvolve-se um ecossistema no qual a matéria orgânica contida na água é utilizada como alimento por meio da oxidação química. Esta atividade biológica decresce gradualmente com a profundidade.

À medida que os organismos presentes no sistema vão morrendo, os produtos de sua decomposição são utilizados por outros organismos situados abaixo do meio filtrante, assim, grande parte da matéria orgânica biodegradável é gradualmente convertida em água, gás carbônico e sais inorgânicos (COSTA, 1980).

3.2. FILTRAÇÃO EM MÚLTIPLAS ETAPAS (FiME)

Em decorrência da ausência de coagulante na filtração lenta, a água a ser filtrada deve possuir características apropriadas a este tipo de tratamento. Por isso, segundo Di Bernardo, Brandão e Heller (1999), a filtração lenta deve ser precedida por unidades de pré-tratamento, geralmente constituídas por pré-filtros de pedregulho.

O princípio básico da FiME é o de cada etapa condicionar seu efluente de forma adequada para ser submetido a unidade posterior de tratamento sem sobrecarregá-la, impedindo assim, uma colmatção freqüente de seu meio granular e assegurando um efluente com características compatíveis com este processo de tratamento (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Na Tabela 3.1 são apresentados limites de qualidade da água bruta propostos por Di Bernardo, Brandão e Heller (1999) para aplicabilidade de alguns arranjos de tratamento baseados na filtração lenta.

Tabela 3.1 – Qualidade da água para tratamento por meio da filtração lenta sem e com pré-tratamento.

Características da água bruta	Filtração lenta	Pré-filtração dinâmica + filtração lenta	Pré-filtração dinâmica + pré-filtração em pedregulho + filtração lenta
Turbidez (uT)	100% < 25	100% < 50	100% < 200
	95% < 10	95% < 25	95% < 100
Cor verdadeira (uH)	100% < 10	100% < 25	100% < 25
	95% < 5	95% < 10	95% < 10
Sólidos suspensos totais (mg/L)	100% < 25	100% < 50	100% < 200
	95% < 10	95% < 25	95% < 100
Coliformes totais (NMP/100mL)	100% < 1000	100% < 10000	100% < 20000
	95% < 500	95% < 5000	95% < 10000
Coliformes fecais (NMP/100mL)	100% < 500	100% < 5000	100% < 10000
	95% < 250	95% < 1000	95% < 5000
Concentração de algas (UPA/mL)	100% < 500	100% < 1500	100% < 5000
	95% < 250	95% < 1000	95% < 500

Fonte: Di Bernardo, Brandão e Heller (1999).

Água bruta fora dos limites estabelecidos para filtração lenta pode ainda ser tratada por esse processo, desde que seja submetida a um pré-tratamento. Segundo Tangerino e Di Bernardo (2005) as características da água bruta e a qualidade do efluente de uma FiME possuem relação

direta entre si. As etapas que compreendem a FiME são a pré-filtração dinâmica, a pré-filtração grosseira e a filtração lenta.

A pré-filtração dinâmica é a primeira etapa do pré-tratamento. Nela ocorre principalmente a remoção de sólidos grosseiros. A unidade de tratamento desta etapa é o pré-filtro dinâmico de pedregulho (PFD). Ele possui um leito composto de camadas de material granular de composição granulométrica decrescente no sentido do escoamento e trabalha com taxas variando de 12,0 a 48,0m³/m².d (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999).

Na presença contínua de valores elevados de sólidos suspensos na água bruta, a camada do meio granular fica obstruída, o que provoca uma resistência ao escoamento da água no meio (perda de carga), acarretando a diminuição da taxa de filtração e necessitando então, a limpeza do pré-filtro, a qual é realizada por meio de descargas de fundo e rastelando-se a primeira camada de pedregulho.

Da comparação realizada entre a pré-filtração em pedregulho horizontal e vertical, segundo Di Bernardo e Dantas (2005), para diferentes taxas de filtração, a segunda teve resultado superior, não somente em termos de eficiência de remoção de impurezas, como também na facilidade de operação e manutenção.

A pré-filtração com pedregulho e escoamento vertical recebe o efluente do PFD e é a segunda etapa da FiME. Geralmente estes filtros são operados com taxas entre 12,0 a 48,0m³/m².d (VERAS, 1999). Nesta modalidade de pré-filtração duas variantes se apresentam, a descendente

(configuração em série) e a ascendente (configuração em série e em camadas) realizada pelo pré-filtro de escoamento vertical ascendente - PFVA.

No caso da pré-filtração ascendente em camadas, o processo ocorre em uma única unidade onde o material filtrante é composto de subcamadas de pedregulho decrescente no sentido do escoamento. Na pré-filtração em série, cada camada filtrante é disposta em compartimentos separados, o que ocupa uma maior área de instalação da unidade.

Di Bernardo e Collazos (1990) por meio de pesquisas comparativas realizadas com pré-filtros em pedregulho com escoamento descendente e ascendente, concluíram que a pré-filtração ascendente apresentou resultados mais eficientes em relação a qualidade da água filtrada e da manutenção do filtro.

Em estudo na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), Di Bernardo (1993) utilizando a pré-filtração ascendente seguida pela filtração lenta, obteve as seguintes conclusões:

- quando a qualidade do afluente permanece praticamente constante, a eficiência de remoção de turbidez, cor aparente, ferro total, sólidos totais e coliformes totais aumenta com o tempo de funcionamento;
- variações repentinas da qualidade da água bruta causam variações simultâneas da qualidade afluente do pré-filtro ascendente, configurando uma pequena capacidade dessas unidades em absorver tais “picos”;
- com taxas de até $36,0\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$ no pré-filtro e de até $6,0\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ no filtro lento, o sistema tem capacidade para produzir um efluente final com turbidez consistentemente menor que 5uT para turbidez afluente abaixo de 100uT ; e

- a comunidade biótica presente no pré-filtro e no filtro lento é bastante variada, sendo mais diversificada neste último, incluindo cerca de 50 gêneros de algas e diversos protozoários entre outros.

A perda de carga no PFVA aumenta com o tempo de funcionamento e quando atinge um valor previamente fixado (em geral da ordem de 40,0 a 60,0cm), a unidade deve ser retirada de operação para limpeza, a qual geralmente é feita por meio de enchimento dos filtros com água bruta e posterior execução de descarga de fundo (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

3.3. REMOÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS E CIANOTOXINAS NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO COMPLETO E NA FILTRAÇÃO LENTA

A presença de algas e cianobactérias na água bruta afluenta às estações de tratamento pode causar problemas operacionais em várias etapas, tais como: dificuldade de coagulação e floculação, baixa eficiência do processo de sedimentação, colmatação dos filtros e aumento da necessidade de produtos para a desinfecção.

Como consequência desses problemas operacionais, verifica-se, geralmente, a redução na eficiência dos processos de tratamento e o surgimento de problemas na água tratada, tais como geração de odor e sabor, formação de trihalometanos, corrosão de unidades do sistema de abastecimento e problemas relacionados com toxinas.

O tratamento de ciclo completo, muito utilizado no Brasil, tem-se demonstrado pouco eficiente na remoção da fração dissolvida das cianotoxinas e das cianobactérias, e para que seja eficiente na remoção de células viáveis, exige um bom controle operacional.

No campo do tratamento sem coagulação química, os poucos estudos realizados (SÁ et al., 2002, DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999) sugerem que a filtração lenta é uma opção promissora no que tange a remoção tanto de células viáveis quanto de cianotoxinas. Além disso, é uma tecnologia bastante adequada à realidade de pequenas e médias comunidades pela facilidade e baixo custo de operação.

No trabalho desenvolvido por Sá et al. (2002), que avaliou a remoção de células viáveis de *Microcystis aeruginosa* (*M. aeruginosa*) e de microcistina dissolvida na água utilizando a filtração lenta, foi observada nas condições estudadas, uma eficiente remoção de células (superior a 99%) e de microcistina dissolvida.

No entanto, os autores recomendam a realização de novos estudos para a melhoria de parâmetros de projeto e operação, além da avaliação do comportamento dos filtros lentos na remoção de outras cianobactérias e cianotoxinas. Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), nos filtros lentos a remoção de toxinas produzidas por *M. aeruginosa* pode superar 80%.

O processo de tratamento da água constituído por filtração lenta é geralmente recomendado para águas de mananciais não ultrapassando 10uT de turbidez e 5 µg/L de clorofila-*a* (CEZAR et al., 2003). Um aumento excessivo dessas impurezas pode provocar curtas carreiras de filtração e comprometer a operação dessa tecnologia.

3.4. A EXPERIÊNCIA DO PROSAB COM A FILTRAÇÃO LENTA

O Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) tem por objetivo apoiar o desenvolvimento de pesquisas e o aperfeiçoamento de tecnologias nas áreas de águas de abastecimento, águas residuárias e resíduos sólidos que sejam de fácil aplicabilidade, baixo custo de implantação, operação e manutenção e que resultem na melhoria das condições de vida da população brasileira, especialmente as menos favorecidas.

No que diz respeito ao Tema 1, relacionado à Água, no último edital o PROSAB trabalhou com problemas associados à eutrofização e à presença de microcontaminantes orgânicos nos mananciais, os quais preocupam diversos profissionais que atuam na área de tratamento de água para abastecimento público.

Essa preocupação deve-se as dificuldades operacionais e aos potenciais riscos à saúde humana ocasionados pela presença destes contaminantes na água, os quais necessitam ser reduzidos com tecnologia adequada a concentrações compatíveis com o padrão de potabilidade. Entretanto, constata-se que são poucos os serviços de saneamento capacitados para lidar com tais problemas, sendo necessário, portanto, aprofundar o conhecimento técnico-científico sobre o assunto.

Os editais que tiveram projetos relacionados com a filtração lenta foram o Edital 1 e 4 realizados respectivamente nos anos de 1996 e 2004. No Edital 1 as instituições envolvidas estudaram sistemas de tratamento de água por Filtração em Múltiplas Etapas. Das entidades envolvidas, a Universidade de Brasília (UnB) voltou-se ao problema da remoção da algas da água bruta, e a

Universidade de São Paulo (EESC/USP) objetivou a remoção de impurezas variando o arranjo físico da instalação piloto para o abastecimento de parâmetros de projeto.

No Edital 4, os projetos desenvolvidos pela rede cooperativa do Tema 1 foram complementares e integrados entre si, o que permitiu comparar as diferentes técnicas quanto à eficiência, custo, facilidade de implantação, operação e manutenção. O tema esteve relacionado ao estudo das cianobactérias e cianotoxinas e métodos alternativos de tratamento de águas com a presença de tais organismos.

Entre esses processos estavam, a dupla filtração, oxidação e adsorção (em conjunto), filtração lenta, sedimentação e carvão ativado em pó (em conjunto) e a FiME. As universidades participantes foram: Universidade de São Paulo (EESC-USP), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade de Brasília (UnB) e Universidade Estadual Paulista (UNESP).

No ano de 1996, as universidades participantes do primeiro edital, obtiveram no geral os seguintes resultados:

- A instalação tipo FiME operando com taxas (em $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$) de 24 a 48 para o pré-filtro dinâmico, de 8 a 16 para o pré-filtro ascendente em pedregulho e de 3 a 4 para o filtro lento, é capaz de reduzir: a turbidez da água bruta de valores da ordem de 250 a 300uT para valores inferiores a 5uT; o teor de sólidos suspensos totais (SST) de até 96mg/L para valores inferiores a 5mg/L; a cor aparente de até 2660uC para valores inferiores a 100uC

e o NMP/100mL de coliformes fecais de até 10000 para valores inferiores a 100, (VERAS, 1999);

- O pré-filtro dinâmico operando com taxa de 36 m³/m².d e o pré-filtro ascendente com taxa variando de 12 a 18m³/m².d, são capazes de remover coliformes totais e fecais da ordem de 80% e 90%, respectivamente (MELLO, 1998, SOUZA JÚNIOR, 1999); e
- Os pré-filtros são capazes de reduzir significativamente (de 50 a 80%) o teor de algas em água com alta concentração (MELLO, 1998, SOUZA JÚNIOR, 1999).

As universidades participantes do quarto edital obtiveram em geral, os seguintes resultados:

- Quando se utiliza carvão ativado granular e manta não-tecida nos filtros lentos, a porcentagem de remoção de turbidez e cor verdadeira nestes, aumentam significativamente (Mendes et al., 2006);
- A FiME utilizada pela UNESP/FEIS apresentou uma remoção de algas próxima de 98%; e
- Com relação a remoção de clorofila-*a* pelos filtros lentos da UnB, verificou-se que os parâmetros de projetos analisados (diâmetro efetivo, taxa de filtração, espessura da camada filtrante e concentração de *M. aeruginosa*) que apresentaram maior porcentagem de remoção em cada caso pesquisado foram: diâmetro efetivo de 0,22mm; espessura da camada de filtração de 1,10m, taxa de filtração de 2,0m³/m².d e em relação a concentração de *M. aeruginosa*, verificou-se a necessidade de pré-tratamento para concentrações muito elevadas (da ordem de 10⁶cel/mL) (SÁ, 2006).

A partir dos estudos realizados sobre a filtração lenta, verifica-se a sua eficiência, juntamente com os pré-filtros, no tratamento de água em que a remoção de algas, cianobactérias e patógenos

se faz necessária. Com isto avanços tecnológicos têm sido desenvolvidos a fim de aumentarem esta remoção e facilitar a operação da FiME.

As colunas verticais de pré-filtração foram desenvolvidas como um pré-tratamento ao filtro lento, objetivando uma maior remoção de parâmetros, trabalhando com uma área de filtração maior verticalmente e apresentando um procedimento de limpeza rápido, por meio do engate rápido, e de fácil realização.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item é contemplada a metodologia para desenvolvimento das etapas experimentais, as unidades existentes na estação de tratamento, o experimento desenvolvido e os métodos analíticos para medir os parâmetros de qualidade da água, tais como, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, sólidos suspensos e coliformes totais e fecais.

4.1. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS DE FILTRAÇÃO

Para desenvolvimento do trabalho foi utilizada – com modificações – a instalação piloto de tratamento de água montada no Bairro do Ipê em Ilha Solteira/SP pela UNESP/FEIS no desenvolvimento do quarto edital do PROSAB. Nesta estação o processo de tratamento utilizado foi a FiME. As Figuras 4.1 e 4.2 apresentam fotografias da estação na cidade de Ilha Solteira/SP, nas quais aparecem o PFD, o PFVA, os filtros lentos (FLs) e as colunas verticais de pré-filtração (CVPF).



Figura 4.1 – Vista geral (1) da estação piloto.



Figura 4.2 – Vista geral (2) da estação piloto.

4.1.1. Sistemas instalados no quarto edital do PROSAB

Do aparato utilizado no PROSAB 4 pela UNESP de Ilha Solteira/SP, foram utilizadas nesta pesquisa as seguintes unidades de filtração: o PFD, o PFVA, os dois filtros lentos com carvão ativado granular e mantas não-tecidas e as duas colunas de polimento (CP) de carvão ativado granular instaladas na seqüência dos filtros lentos.

O PFD foi feito com chapa metálica com 0,75m x 1,50m de dimensão em planta por 1,00m de altura. O pedregulho utilizado possuía granulometria decrescente no sentido do escoamento. A captação de água filtrada foi feita por meio de uma tubulação ($\varnothing 50\text{mm}$) com orifícios, localizada no fundo do filtro. As Figuras 4.3 e 4.4 apresentam detalhes do PFD.

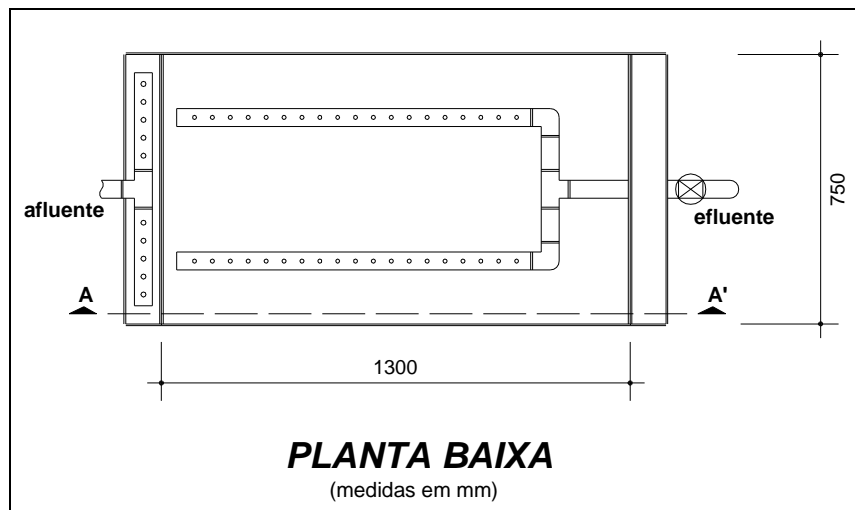


Figura 4.3 – Planta baixa do pré-filtro dinâmico.

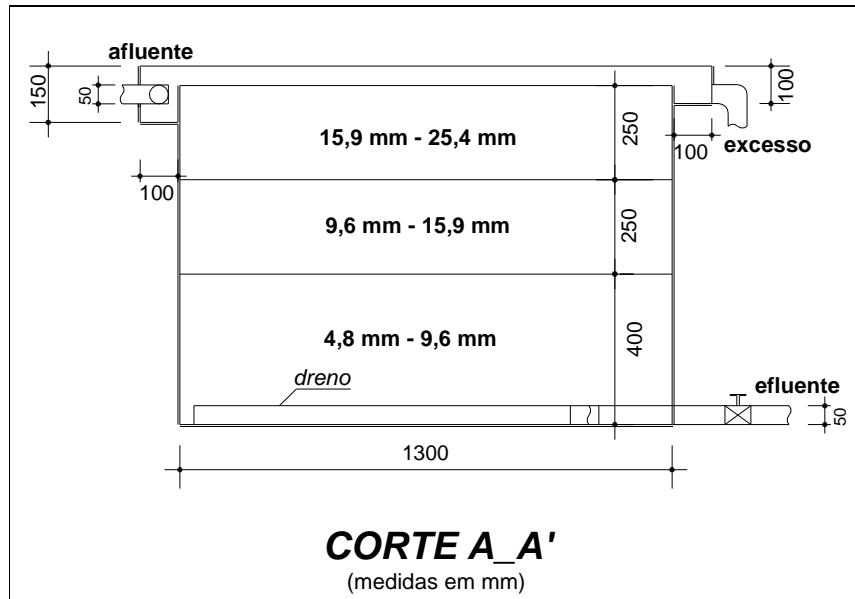


Figura 4.4 – Granulometria do meio filtrante do pré-filtro dinâmico.

O PFVA também foi construído com chapa metálica. Ele possuía forma cilíndrica, com diâmetro de 0,80m e altura de 2,95m. O material filtrante foi distribuído em quatro subcamadas de pedregulho, com granulometria decrescente no sentido do escoamento. A granulometria do meio filtrante do PFVA está apresentada na Figura 4.5.

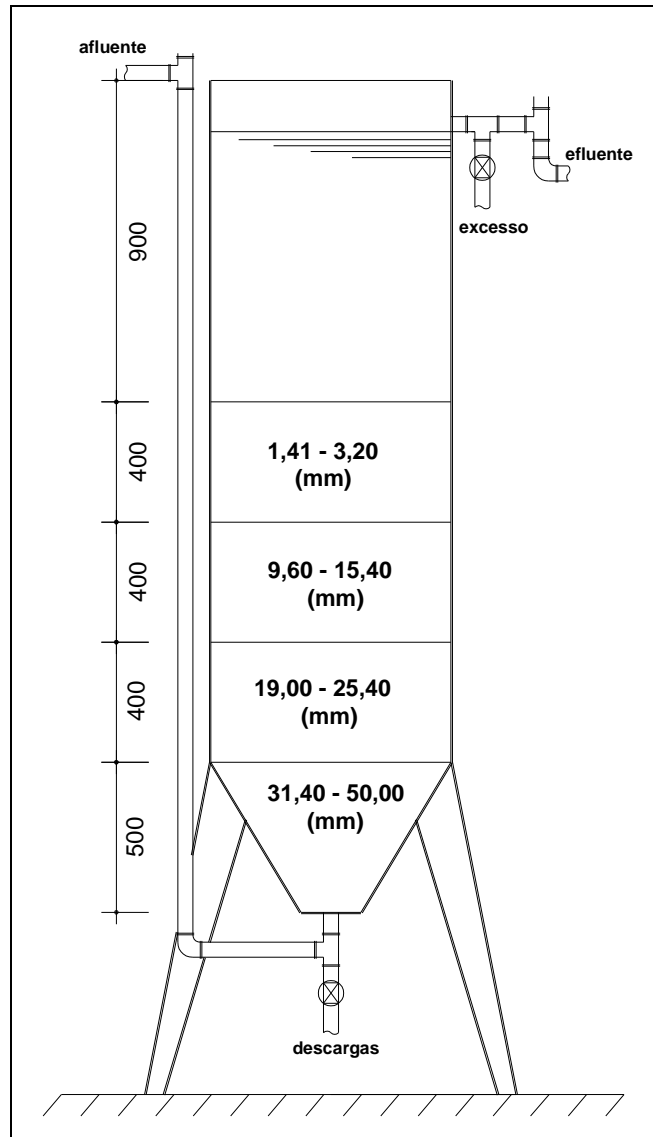


Figura 4.5 – Granulometria do meio filtrante do pré-filtro vertical de escoamento ascendente (medidas em milímetros).

Os filtros lentos possuíam as mesmas dimensões do PFVA ($\phi 0,80\text{m}$ e altura de $2,95\text{m}$). O meio filtrante utilizado está apresentado na Figura 4.6.

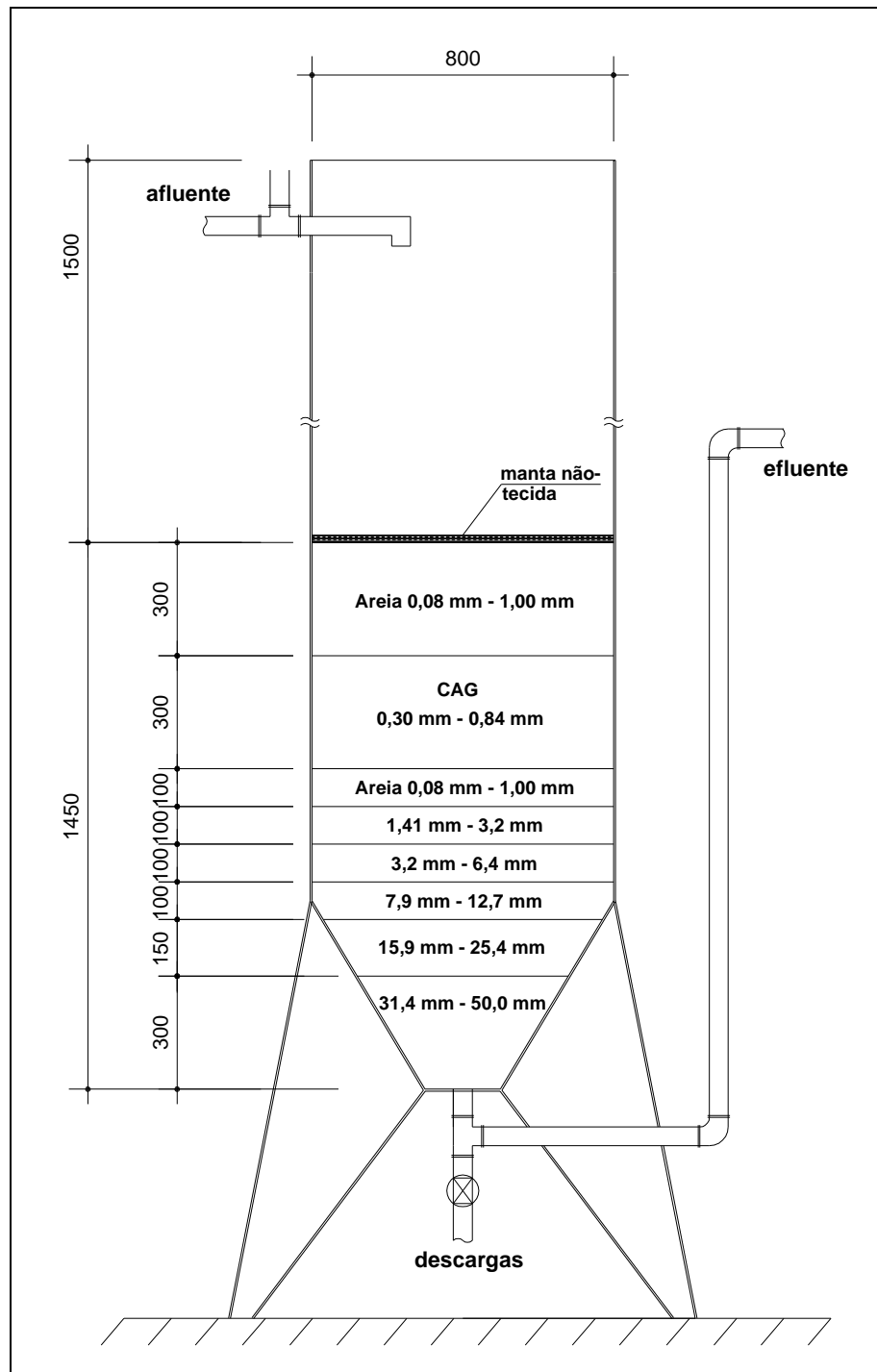


Figura 4.6 – Granulometria do meio filtrantes dos filtros lentos (medidas em milímetros).

Acima do leito filtrante de areia foi disposta uma manta sintética não-tecida, cujo emprego foi idealizado para facilitar a limpeza dos mesmos, por meio da remoção e lavagem da manta e remoção, lavagem e recolocação da camada superior de areia (MENDES et al., 2005). As principais propriedades das mantas sintéticas não-tecidas são apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Propriedades das mantas sintéticas não-tecidas.

Propriedade	Faixa de variação
Espessura (mm)	0,40 – 20,0
Porosidade	0,56 – 0,99
Diâmetro médio das fibras (μm)	27 – 100
Massa específica da manta (g/m^3)	0,02 – 0,40
Superfície específica (m^2/m^3)	1100 – 36000
Condutividade hidráulica (mm/s)	0,27 – 47

Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005).

Pesquisadores brasileiros, entre eles Di Bernardo, Paterniani e Graham (1990) e Ferraz e Paterniani (2002a), realizaram investigações experimentais, empregando essas mantas na filtração lenta. Os resultados das pesquisas apontaram para uma maior duração das carreiras de filtração, facilidade de limpeza das mantas, maior eficiência de remoção de impurezas e uso de maiores taxas de filtração.

As colunas de polimento foram construídas com tubo de PVC com diâmetro de 150mm. Seu meio filtrante de carvão ativado granular possuía 1,00m de espessura e o diâmetro dos grãos variaram de 0,30 a 0,84mm. O esquema de montagem destas colunas está apresentado na Figura 4.7.

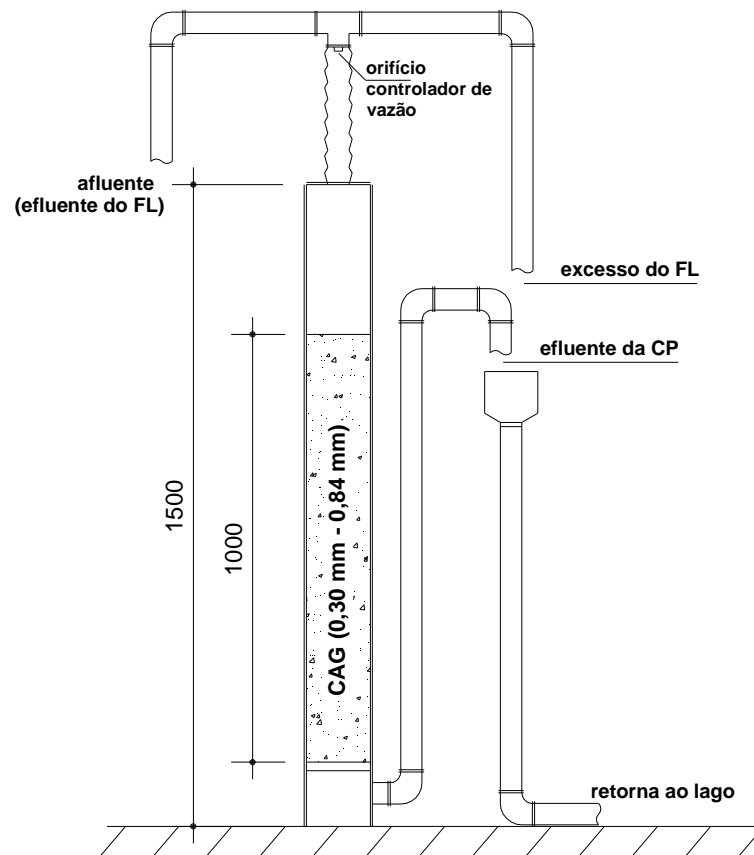


Figura 4.7 – Coluna de polimento com carvão ativado granular instalada na saída dos filtros lentos (medidas em milímetros).

4.1.2. Colunas Verticais de Pré-Filtração

O aparato experimental com as colunas verticais de pré-filtração como pré-tratamento do filtro lento foi constituído de reservatórios para acomodação das colunas, caixas de nível constante (CNs), um filtro lento e uma coluna de polimento com carvão ativado granular. A Figura 4.8 apresenta o esquema das colunas verticais de pré-filtração.

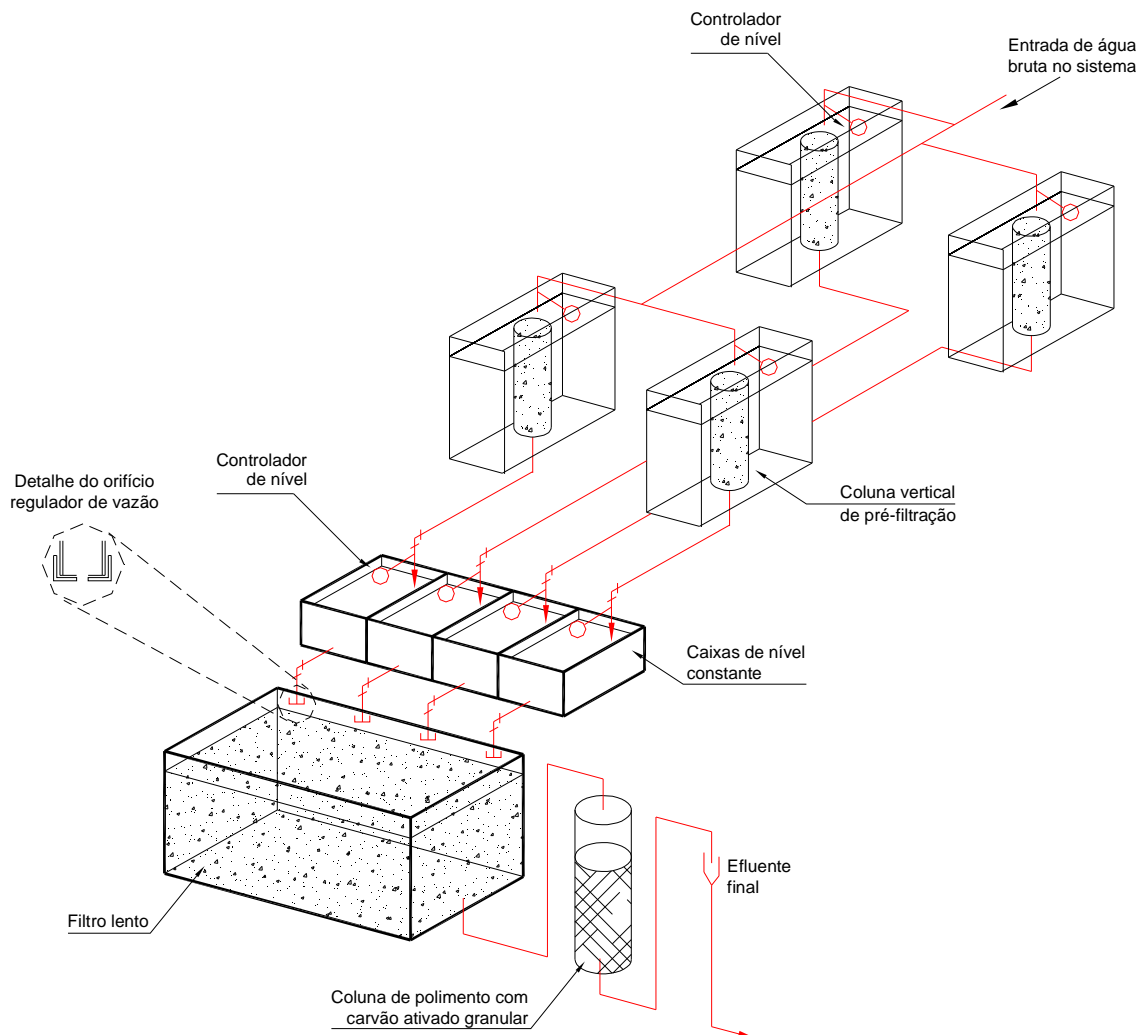


Figura 4.8 – Esquema do aparato experimental com as colunas verticais de pré-filtração e o filtro lento.

Na entrada dos reservatórios das colunas e das caixas de nível constante foi instalado um dispositivo de controle de nível com bóia. A função da bóia nos reservatórios foi de manter a carga constante nas colunas verticais de filtração e de controlar a vazão nas caixas de nível constante, juntamente com o orifício regularizador de vazão apresentado em detalhe na Figura 4.8.

As colunas verticais de filtração foram construídas com dois tubos de PVC concêntricos com diâmetros externo e interno de 150 e 32mm respectivamente. O tubo interno era perfurado e o externo possuía aberturas para passagem da água, ambos envoltos por manta não-tecida. Duas colunas possuíam 0,50m de altura e as outras duas 0,60m. Os reservatórios utilizados para a instalação das colunas possuíam 100 e 200L.

A disposição das colunas nos reservatórios está apresentada esquematicamente nas Figuras 4.9 e 4.10 e o dispositivo de engate rosqueado instalado na parte inferior de cada coluna vertical de pré-filtração na Figura 4.11.

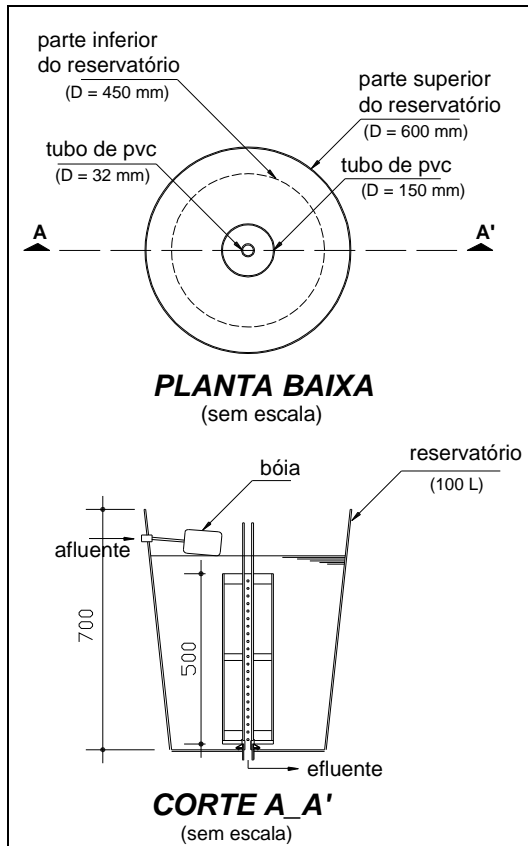


Figura 4.9 – Reservatório de 100L utilizado para instalação da coluna de 0,50m de altura (medidas em milímetros).

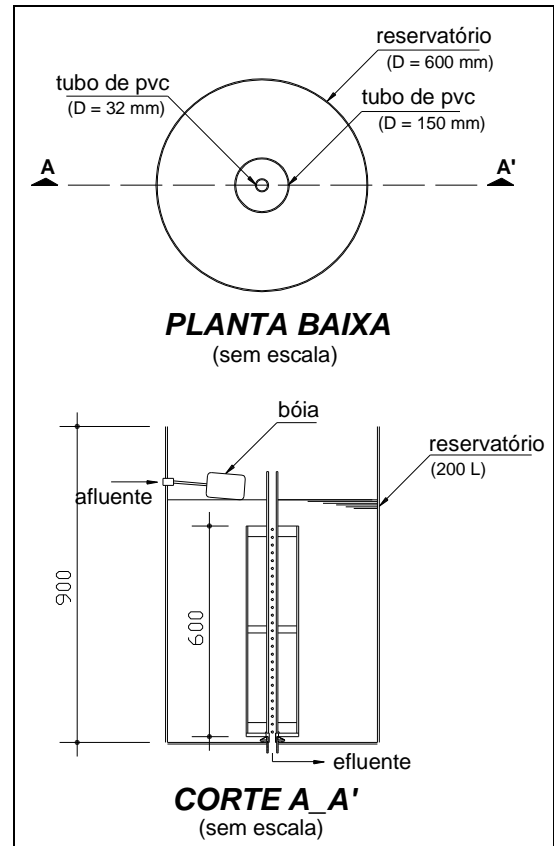


Figura 4.10 – Reservatório de 200L utilizado para instalação da coluna de 0,60m de altura (medidas em milímetros).

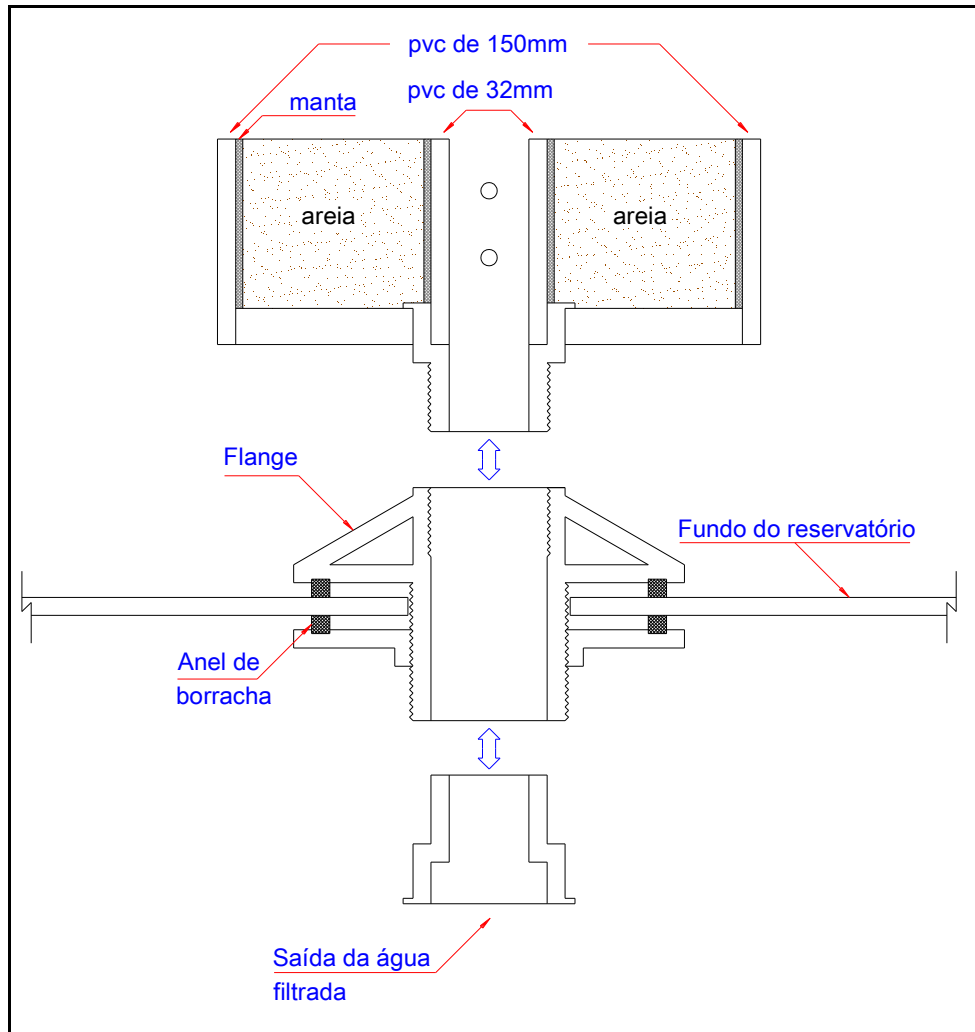


Figura 4.11 – Detalhamento do engate rosqueado das colunas verticais de filtração.

As Figuras 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 e 4.18 apresentam os reservatórios e as colunas verticais de pré-filtração na fase construtiva.



Figura 4.12 – Reservatório de 100L com bóia para controle do nível d'água.



Figura 4.13 – Reservatório de 200L com bóia para controle do nível d'água.



Figura 4.14 – Coluna vertical de filtração e manta não-tecida.



Figura 4.15 – Detalhe dos orifícios no tubo interno que capta a água filtrada.



Figura 4.16 – Coluna vertical de filtração com a manta não-tecida.



Figura 4.17 – Reservatório de 100L com a coluna instalada.



Figura 4.18 – Reservatório de 200L com a coluna instalada.

As colunas foram preenchidas com areia de granulometria adequada para filtração lenta, tendo como características: diâmetro de 0,08mm a 1,00mm, tamanho efetivo de 0,28mm e coeficiente de desuniformidade de 2,0 a 3,0. A curva granulométrica da areia utilizada está apresentada na Figura 4.19.

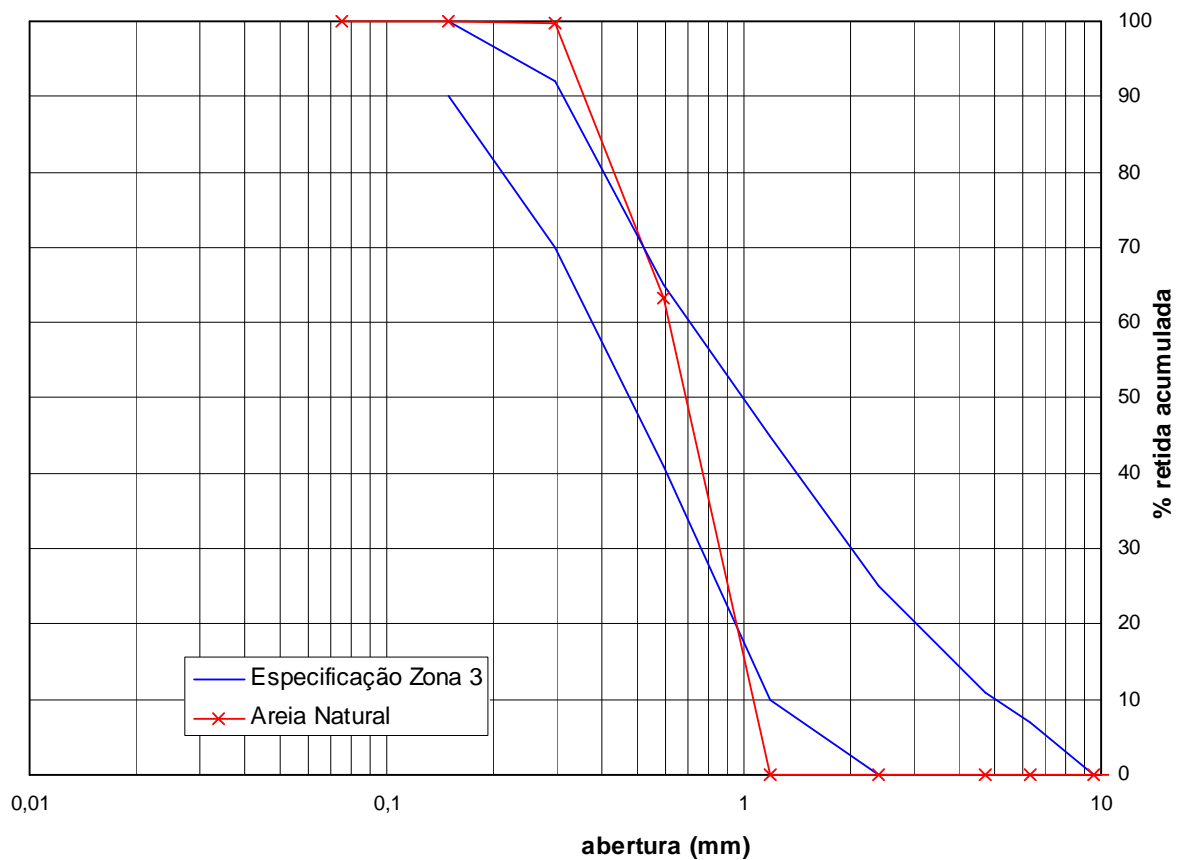


Figura 4.19 – Curva granulométrica da areia utilizada nas colunas verticais de pré-filtração.

O filtro lento que recebeu o efluente das colunas verticais de pré-filtração, foi construído com chapa metálica nas mesmas dimensões do PFD (0,75 x 1,50 x 1,00m). Sua granulometria está apresentada na Tabela 4.2. As caixas de nível constante foram feitas com reservatórios de 15L e

possuíam bóia na entrada para manter o nível de água constante nas colunas e um orifício controlador de vazão na saída.

Tabela 4.2 – Granulometria utilizada no filtro lento (camadas no sentido do escoamento).

Número da camada	Granulometria (mm)	Espessura da camada (cm)
1	0,08 a 1,00	60,0
2	1,40 a 3,20	5,0
3	3,20 a 6,40	5,0
4	7,90 a 25,40	5,0
5	31,40 a 50,00	10,0

4.1.3. Funcionamento das Colunas Verticais de Pré-Filtração

A Figura 4.20 apresenta um esquema da passagem da água, representada pelas setas, através do reservatório onde uma das colunas verticais de pré-filtração foi instalada. Verifica-se que a água é filtrada numa maior quantidade pela parte lateral da coluna (radialmente).

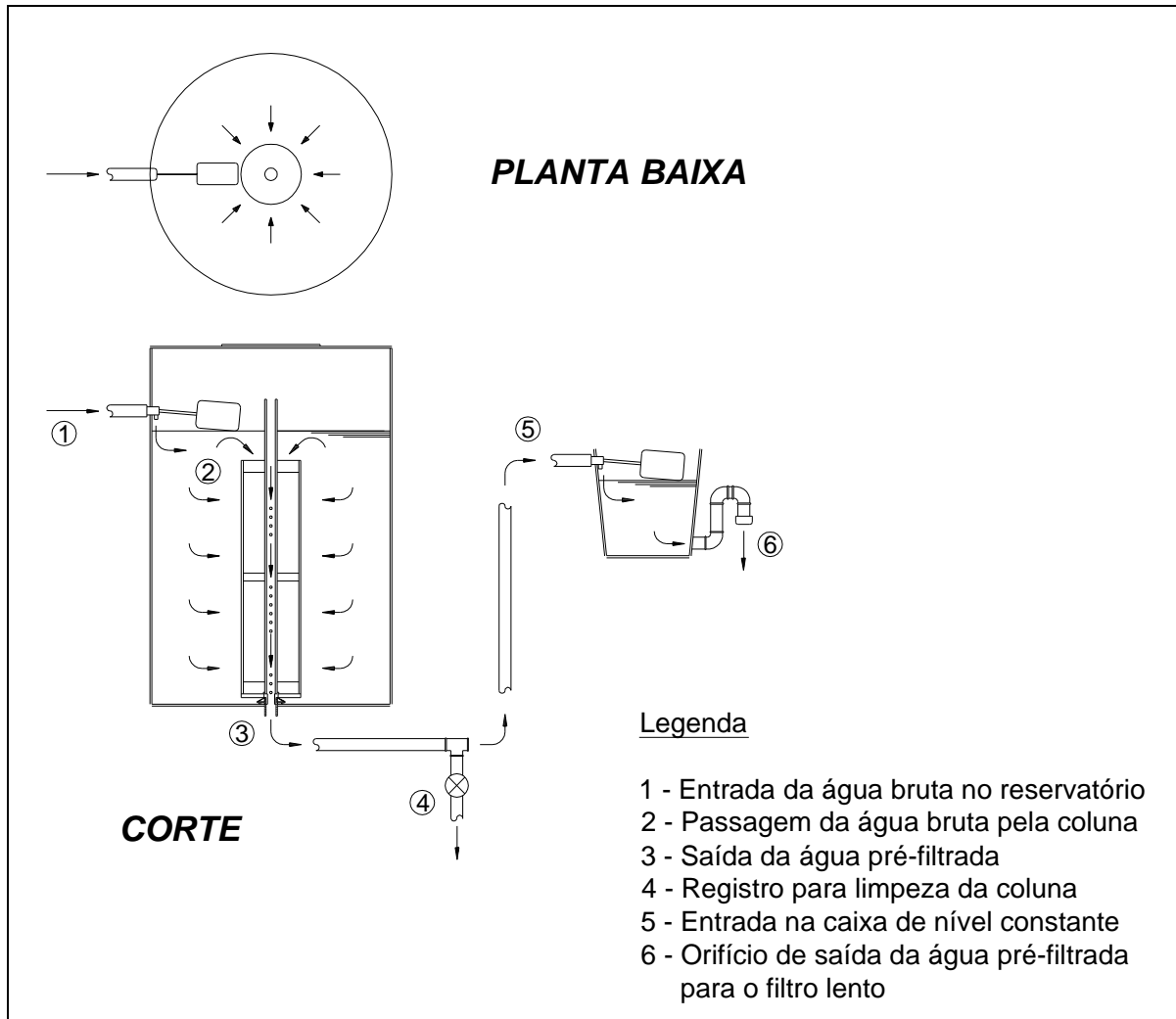


Figura 4.20 – Esquema do funcionamento da coluna vertical de pré-filtração.

No ponto 1 da Figura 4.20 se dá a entrada da água no reservatório da coluna através da bóia de controle. Esta água poderá ser água bruta ou pré-tratada pelo PFD e PFVA, a depender da etapa experimental. No Ponto 2, a água fica dentro do reservatório e de acordo com a taxa de filtração adotada é filtrada pela coluna, passando pela manta, pela areia e por outra camada de manta.

A água filtrada é captada pela tubulação central de 32mm de diâmetro e levada para a caixa de nível constante (ponto 5) através da saída da coluna, ponto 3, onde foi instalado o engate

rosqueado. O registro instalado no ponto 4 da Figura 4.20 foi utilizado no esvaziamento do reservatório e na operação de limpeza das colunas.

A caixa de nível constante teve como finalidade controlar a taxa de filtração de cada coluna, por meio de orifício (ponto 6), sendo que para cada coluna, a altura das caixas de nível e de suas respectivas saídas foram diferentes. O efluente das CNs seguia para o filtro lento e depois deste, para a coluna de polimento.

4.1.4. Remoção e limpeza das Colunas Verticais de Pré-filtração

A operação de limpeza da coluna consta da retirada dela do reservatório e da colocação de uma outra coluna no lugar. Este procedimento exige que a coluna a ser repostada já tenha a camada biológica desenvolvida. Para isso ela é colocada num reservatório especial, não pertencente à seqüência de tratamento da estação, num período adequado para este desenvolvimento antes da retirada da coluna colmatada.

A limpeza da coluna retirada consta da remoção e lavagem da areia – utilizando-se um tanque – e da manta. Após isto, é feita a recolocação da manta e da areia e a instalação da coluna no reservatório especial para a camada biológica se desenvolver para a próxima limpeza do sistema, ou seja, a coluna recém lavada não retorna de imediato ao sistema de tratamento.

Ao colocar a coluna maturada no lugar da removida, deve-se fazer uma operação com o registro – ponto 4 na Figura 4.20 – que consta de sua abertura para que a água não filtrada presente na

tubulação seja eliminada. A Figura 4.21 apresenta os registros para execução do procedimento de limpeza das colunas CVPF1 e CVPF3.



Figura 4.21 – Registros utilizados no processo de limpeza das colunas verticais de pré-filtração 1 e 3.

4.2. ETAPAS EXPERIMENTAIS DE FILTRAÇÃO

Nas etapas experimentais, a eficiência do processo de filtração foi baseada no monitoramento da água afluyente e da efluente dos filtros lentos e das colunas verticais de pré-filtração. Os parâmetros de qualidade de água monitorados, os métodos de determinação utilizados e a frequência de análise estão apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Parâmetros, métodos e frequência de análise.

ITEM	PARÂMETRO	MÉTODO	FREQUÊNCIA DE ANÁLISE
(01)	pH	<i>Electrometric</i> (APHA, AWWA, WEF, 1998) n° 4.500-H+ B	diária
(02)	Temperatura (°C)	<i>Temperature</i> (APHA, AWWA, WEF, 1998) n° 2550	diária
(03)	Cor aparente (uH)	<i>Spectrophotometric-Multi-Wavelength</i> (APHA, AWWA, WEF, 1998) n° 2120-D	diária
(04)	Turbidez (uT)	<i>Nephelometric</i> (APHA, AWWA, WEF, 1998) n° 2130-A	diária
(05)	Cor verdadeira (uH)	<i>Spectrophotometric-Multi-Wavelength</i> (APHA, AWWA, WEF, 1998) n° 2120-D (utilização de membrana 0,45µm)	1 x semana
(06)	Oxigênio dissolvido (mg/L de oxigênio)	<i>Winkler</i> (CETESB, 1973)	1 x semana
(07)	Sólidos suspensos totais (mg/L)	<i>Total Suspended Solids Dried at 103-105°C</i> (APHA, AWWA, WEF, 1998) n° 2540-D (utilização de membrana 1,20µm)	1 x semana
(08)	Coliformes totais (UFC/mL)	<i>Membrane Filter Technique for Member of the Coliform Group</i> (APHA, AWWA, WEF, 1998) n° 9222-B (Sistema Petrifilm)	1 x semana
(09)	<i>Escherichia. coli</i> (UFC/mL)	<i>Membrane Filter Technique for Member of the Coliform Group</i> (APHA, AWWA, WEF, 1998) n° 9222-D (Sistema Petrifilm)	1 x semana
(10)	Condutividade (µ ⁵ /cm)	<i>Conductivity</i> (APHA, AWWA, WEF, 1998) n° 2510-B	1 x semana
(11)	Clorofila-a (µg/L)	Espectrofotométrico com extração preliminar do pigmento utilizando-se etanol 80% a quente sem maceração (NUSCH, 1980)	Quinzenal

Medições diárias de vazão (12) utilizando-se proveta e cronômetro, e contagem semanais de algas (13) por meio da Câmara *Sedgwick Rafter* e microscópio trinocular (ampliação de 40x) também foram realizadas.

O trabalho foi dividido em duas etapas experimentais, as quais foram realizadas na estação piloto instalada no Bairro do Ipê na cidade de Ilha Solteira/SP. Os itens 4.2.1 e 4.2.2 descrevem respectivamente as etapas 1 e 2 do projeto.

4.2.1. Etapa Experimental 1 – Utilização de dois filtros lentos e de quatro colunas verticais de pré-filtração abastecidos com água bruta do Lago do Ipê

Esta etapa envolveu atividades de montagem das colunas, preparação da areia, preenchimento das colunas, preparação da vidraria e insumos, e treinamento da equipe da UNESP/FEIS participante do PROSAB 5 para realização das análises. Foi desenvolvida em dez meses, sendo que a carreira de filtração ocorreu nos meses de junho (final do mês) a setembro (início do mês) de 2007, tendo duração aproximada de 60 dias.

Esse período para a carreira foi determinado por questões relacionadas ao tempo de duração da pesquisa realizada, sendo que, em aproximadamente 15 dias (DI BERNARDO; DANTAS, 2005) a camada biológica se forma, a depender da água bruta, da luminosidade e da temperatura ambiente. A etapa experimental 1 contemplou as coletas de número 1 à 65.

A Figura 4.22 apresenta o fluxograma da Etapa experimental 1 e seus respectivos pontos de coleta representados pela letra “P”.

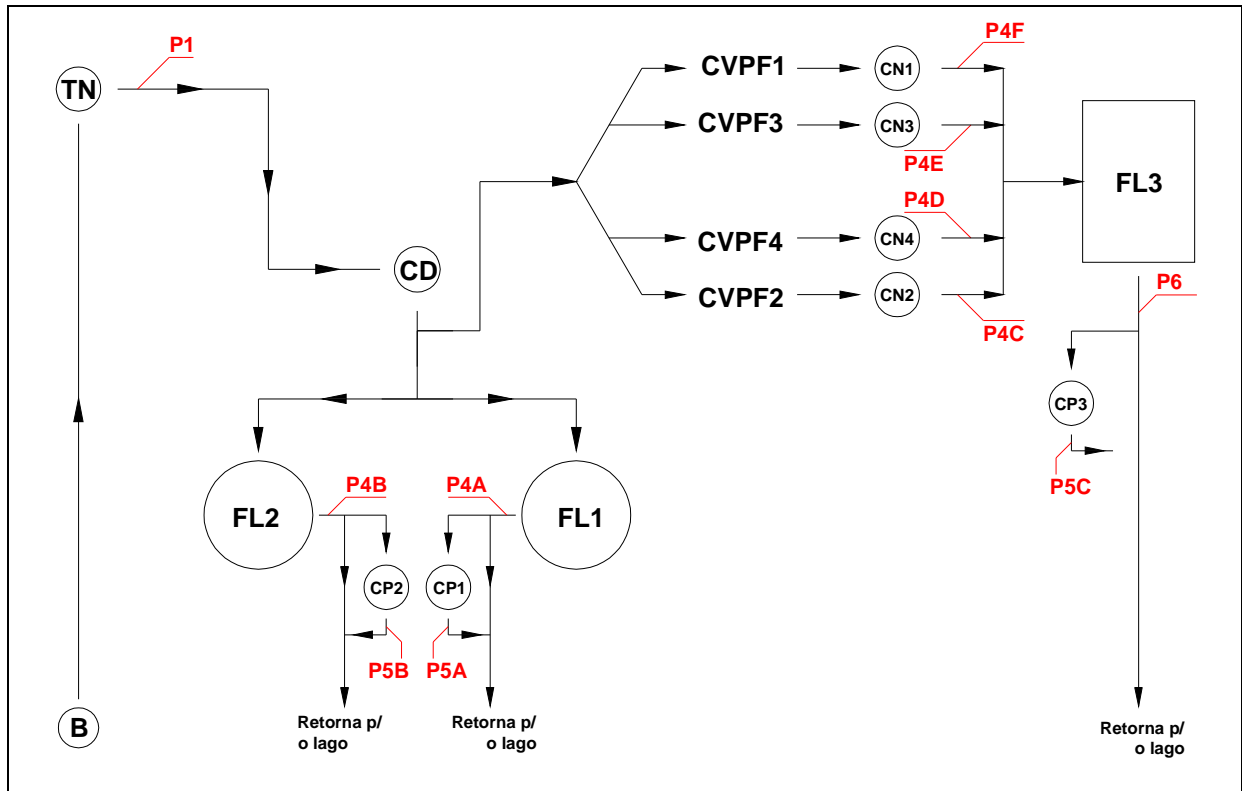


Figura 4.22 – Fluxograma da Etapa experimental 1 e seus respectivos pontos de coleta.

Sendo:

B – Bomba diafragma – succiona água bruta do lago;

TN – Tanque de nível constante

CD – Caixa de distribuição;

FL – Filtro lento;

CVPF – Coluna vertical de pré-filtração

CN – Caixa de nível constante; e

CP – coluna de polimento com carvão ativado granular.

Os pontos de coleta (P) são:

- P1 - água bruta;
- P4A - efluente do FL1;
- P4B - efluente do FL2;
- P4C - efluente da CVPF2;
- P4D - efluente da CVPF4;
- P4E - efluente da CVPF3;
- P4F - efluente da CVPF1;
- P6 - efluente de FL3;
- P5A - efluente da CP1;
- P5B - efluente da CP2; e
- P5C - efluente da CP3.

Nesta etapa os parâmetros de qualidade de água foram avaliados na saída dos filtros lentos e na saída das colunas verticais de pré-filtração, além da comparação entre os valores obtidos para a água bruta e os valores obtidos nas colunas de polimento (remoção global).

Os parâmetros avaliados relacionados à operação do sistema foram: o período de amadurecimento dos filtros lentos e das colunas verticais de pré-filtração e a necessidade ou não de limpeza das unidades de filtração (colmatação). Estes fatores possuem influência direta na qualidade da água filtrada pela estação.

Os pontos de coleta e os parâmetros avaliados estão descritos na Tabela 4.4 (relacionados aos números da Tabela 4.3). As taxas de filtração aplicadas às unidades de filtração estão apresentadas na Tabela 4.5.

Tabela 4.4 – Pontos de coleta e parâmetros avaliados na etapa experimental 1.

PONTOS DE COLETA	PARÂMETROS ANALISADOS
P1	01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12 e 13
P4A e P4B	03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 11, 12 e 13
P4C, P4D, P4E e P4F	03, 04, 05, 07, 08, 09, 11, 12 e 13
P6	03, 04, 05, 06 e 12
P5A, P5B e P5C	03, 04, 05, 06 e 12

Tabela 4.5 - Taxas de filtração das unidades na etapa experimental 1.

Unidades	Taxa de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$)
FL1 e FL2	3,00
CVPF2	3,00
CVPF4	1,50
CVPF3	0,75
CVPF1	0,38
CP	8,0
FL3	5,65

O controle para a limpeza das unidades filtrantes (PFD, PFVA, FL, CVPF e CP) foi realizado de acordo com a constante queda das vazões verificada em sua tomada diária ocasionada pela colmatagem do meio filtrante.

4.2.2. Etapa Experimental 2 – Utilização de dois filtros lentos e de quatro colunas de pré-filtração abastecidos com água pré-tratada em série pelo pré-filtro dinâmico e pelo pré-filtro vertical ascendente

Esta etapa ocorreu logo após o término da Etapa Experimental 1. Os parâmetros de qualidade de água foram analisados por meio de coletas realizadas no efluente dos pré-filtros, dos filtros lentos e das colunas verticais de pré-filtração. A remoção global e a necessidade de limpeza das unidades filtrantes também foram verificadas nesta etapa.

Na Figura 4.23 é apresentado o fluxograma da etapa experimental 2 juntamente com os pontos de coleta.

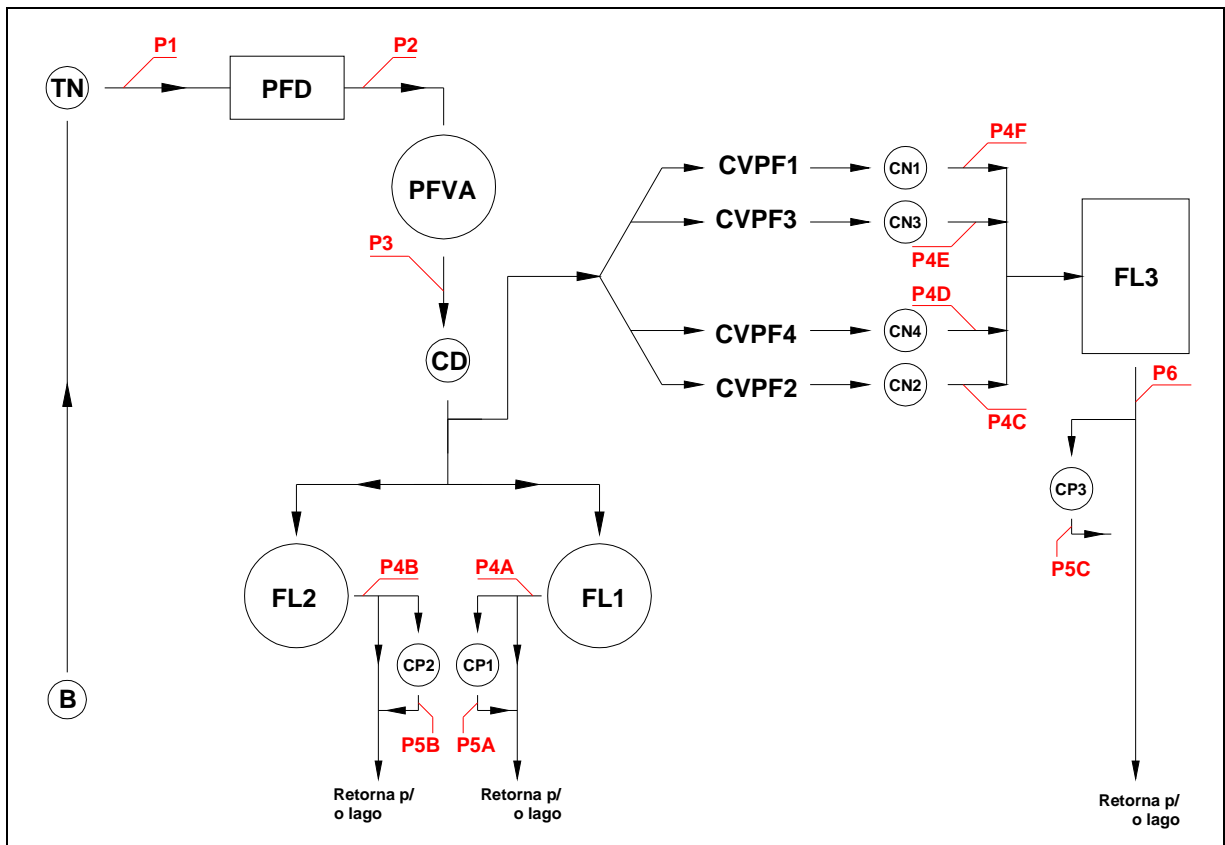


Figura 4.23 – Fluxograma da Etapa experimental 2 e seus respectivos pontos de coleta.

Sendo:

PFD – Pré-filtro dinâmico; e

PFVA – Pré-filtro vertical ascendente.

Os pontos de coleta (P):

P2 – efluente do PFD e

P3 – efluente do PFVA.

As demais unidades e pontos de coleta são os mesmos da etapa experimental 1 apresentados na Figura 4.24.

Nesta etapa a água bruta afluente ao PFD foi a mesma que abasteceu a instalação na Etapa Experimental 1 – água do Lago do Ipê. Após sofrer o primeiro pré-tratamento a água passava pelo PFVA (segundo pré-tratamento) e em seguida seguia por meio da caixa de distribuição para as unidades de filtração lenta e por fim para as colunas de polimento.

Os pontos de coleta e os parâmetros analisados estão apresentados na Tabela 4.6 e as taxas de filtração, na Tabela 4.7.

Tabela 4.6 – Pontos de coletas e parâmetros avaliados na etapa experimental 2.

PONTOS DE COLETA	PARÂMETROS ANALISADOS
P1	01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12 e 13
P2 e P3	03, 04, 05, 07, 08, 09, 11, 12 e 13
P4A e P4B	03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 11, 12 e 13
P4C, P4D, P4E e P4F	03, 04, 05, 07, 08, 09, 11, 12 e 13
P6	03, 04, 05, 06 e 12
P5A, P5B e P5C	03, 04, 05, 06 e 12

Tabela 4.7 – Taxas de filtração das unidades na etapa experimental 2.

Unidades	Taxa de filtração (m³/m².d)
FL1 e FL2	3,00
CVPF2	3,00
CVPF4	1,50
CVPF3	0,75
CVPF1	0,38
CP	8,0
FL3	5,65
PFD	12,0
PFVA	11,0

A carreira nesta etapa também teve duração de aproximadamente 60 dias, nos quais os filtros lentos e as colunas verticais de pré-filtração operaram com as mesmas taxas de filtração da etapa experimental 1. O PFD foi operado com taxa de aproximadamente 12,0m³/m².d e o PFVA com taxa de 11,0m³/m².d. A etapa dois contemplou as coletas de número 66 à 121.

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O presente capítulo foi dividido em dez itens, cada um contemplando a apresentação e discussão dos parâmetros avaliados nas etapas experimentais. As discussões dos resultados e conclusões objetivaram verificar a eficiência das colunas verticais de pré-filtração, com o intuito de tornar mais adequada à água pré-tratada para o filtro lento.

5.1. TEMPERATURA, CONDUTIVIDADE E pH DA ÁGUA BRUTA

A água coletada no Lago do Ipê nas duas etapas experimentais apresentou valores de temperatura, condutividade e pH conforme a Tabela 5.1. Os dados referentes às análises estão no Anexo 1 e 2.

Tabela 5.1 – Temperatura, pH e condutividade da água do Lago do Ipê no período de coleta do experimento.

Etapa Experimental	Parâmetro	Faixa de variação	Média
Etapa 1 (coleta 1 à 65)	pH	6,09 – 7,50	6,68
	Temperatura (°C)	16,5 – 26,5	23,1
	Condutividade (μ^5/cm)	550,00 – 673,00	605,83
Etapa 2 (coleta 66 à 121)	pH	6,42 – 8,54	7,02
	Temperatura (°C)	23,0 – 30,0	23,1
	Condutividade (μ^5/cm)	718,0 – 804,0	757,63

5.2. TAXA DE FILTRAÇÃO

As taxas de filtração foram determinadas e controladas conforme as Tabelas 4.5 e 4.7. As medições diárias de vazão foram realizadas com cronômetro e provetas de 100 e 1000mL. As

Figuras 5.1 e 5.2 apresentam as taxas de filtração das unidades filtrantes e, a Tabela 5.2 apresenta os valores médios das medições em cada unidade durante as etapas 1 e 2 do experimento. Nos Anexos 3 e 4 estão os valores mensurados diariamente pelas unidades.

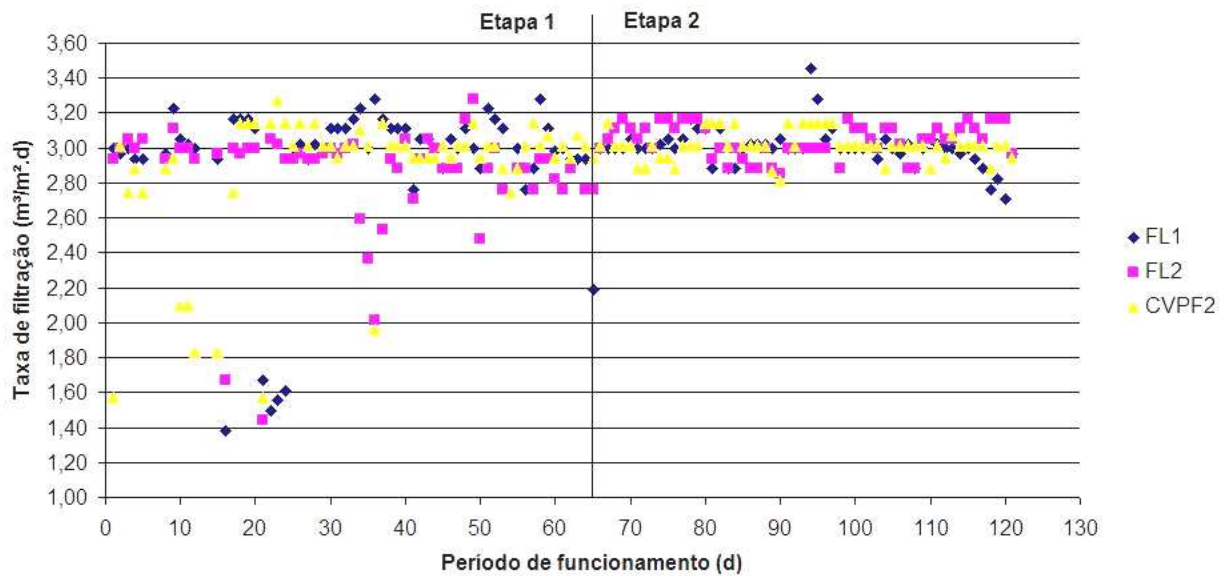


Figura 5.1 – Taxa de filtração do FL1, FL2 e da CVPF2 nas duas etapas experimentais.

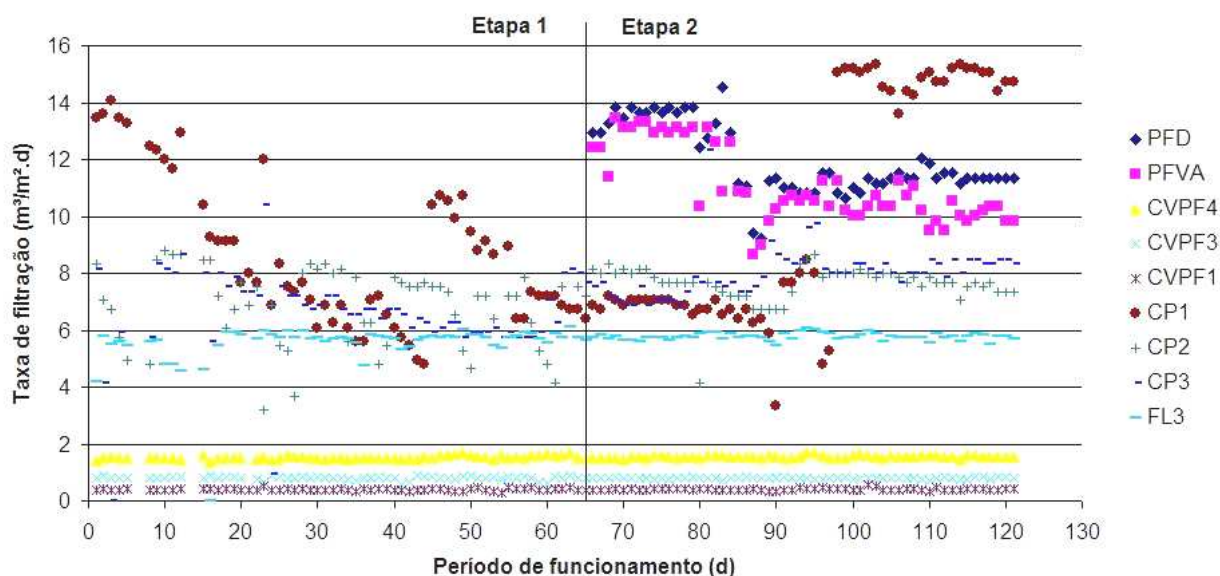


Figura 5.2 – Taxa de filtração do PFD, PFVA, CVPF4, CVPF3, CVPF 1, CPs e FL3 nas duas etapas experimentais.

Tabela 5.2 – Valores médios da taxa de filtração das unidades ($m^3/m^2 \cdot dia$).

Unidades	Taxas de trabalho	Etapa 1	Etapa 2
PFD	12,00	-	11,93
PFVA	11,00	-	11,09
FL1	3,00	2,90	3,00
FL2	3,00	2,86	3,04
CVPF2	3,00	2,87	3,01
CVPF4	1,50	1,53	1,55
CVPF3	0,75	0,80	0,79
CVPF1	0,38	0,40	0,41
CP1	8,00	8,56	10,22
CP2	8,00	6,84	7,63
CP3	8,00	6,70	8,02
FL3	5,65	5,62	5,77

As taxas para as unidades de filtração lenta, para as colunas verticais de pré-filtração e para as colunas de polimento ficaram em média dentro dos valores propostos tendo como consideração, a dificuldade de se regular as vazões das colunas verticais de filtração por trabalharem com taxas baixas e pelo controle ser feito por meio de orifícios. O PFD e o PFVA trabalharam com vazão excedente e também apresentaram taxas médias próximas das propostas.

5.3. TURBIDEZ

A turbidez é um parâmetro comumente usado na verificação da eficiência da filtração lenta, e, juntamente com as análises bacteriológicas, fornece informações sobre o grau de maturidade das unidades filtrantes (SÁ, 2006). Os resultados de turbidez obtidos durante o período de funcionamento da estação estão apresentados nas Figuras 5.3, 5.4 e 5.5, nas quais os valores da água bruta e dos efluentes do PFD e PFVA se repetem. Os dados referentes às coletas estão nos Anexos 5 e 6.

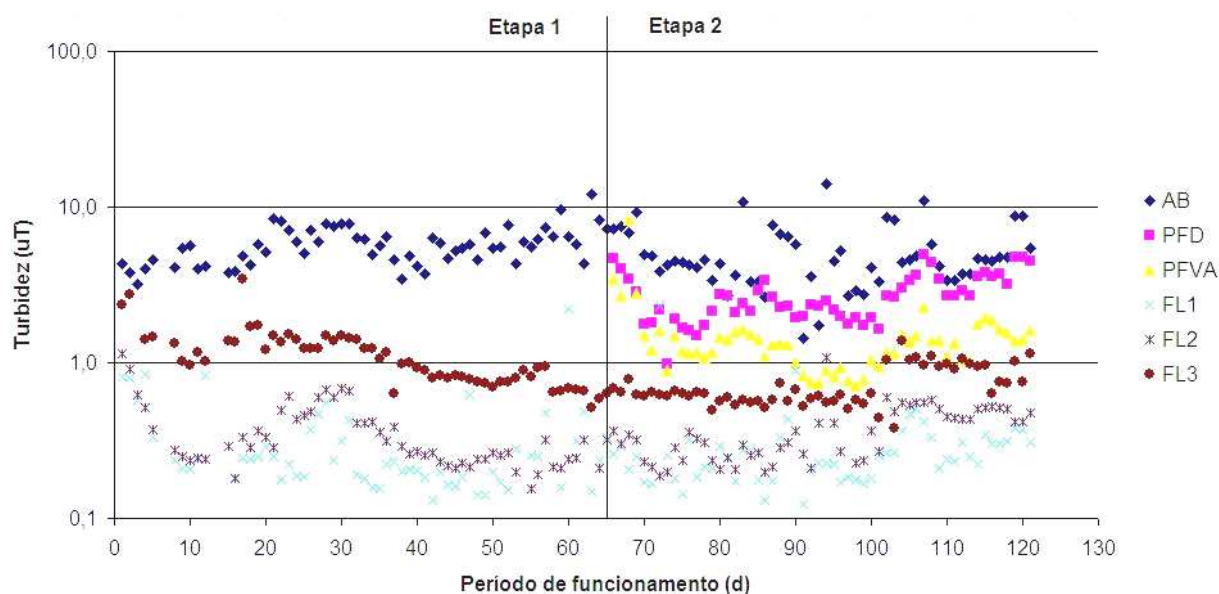


Figura 5.3 – Turbidez na água bruta e no efluente do PFD, do PFVA e dos filtros lentos nas etapas 1 e 2.

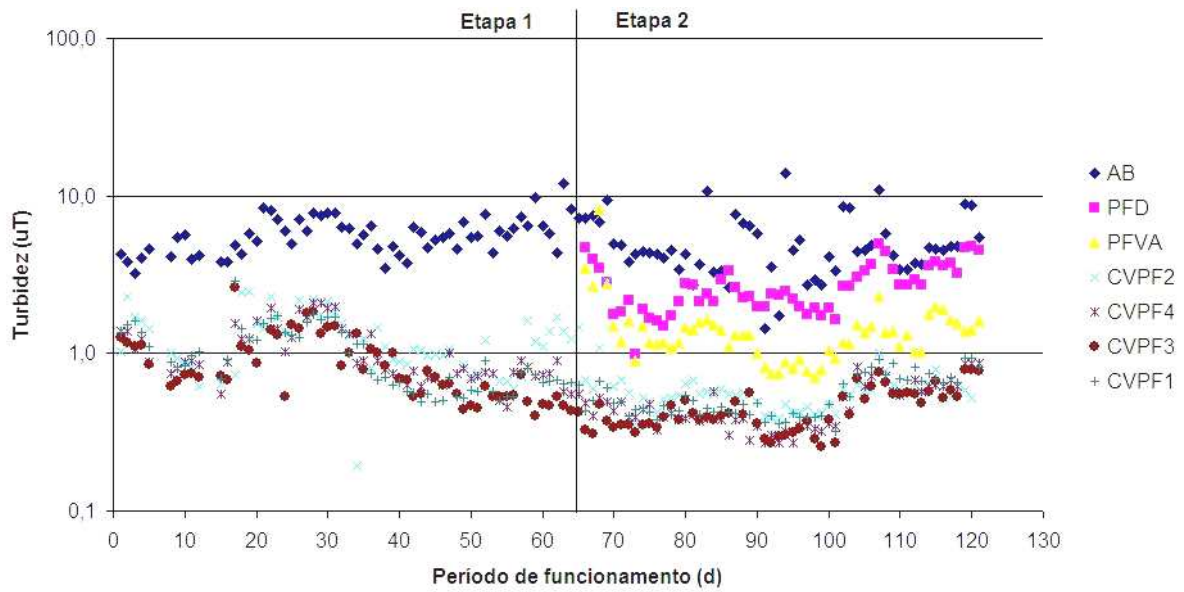


Figura 5.4 – Turbidez na água bruta e no efluente do PFV, do PFVA e das CVPFs nas etapas 1 e 2.

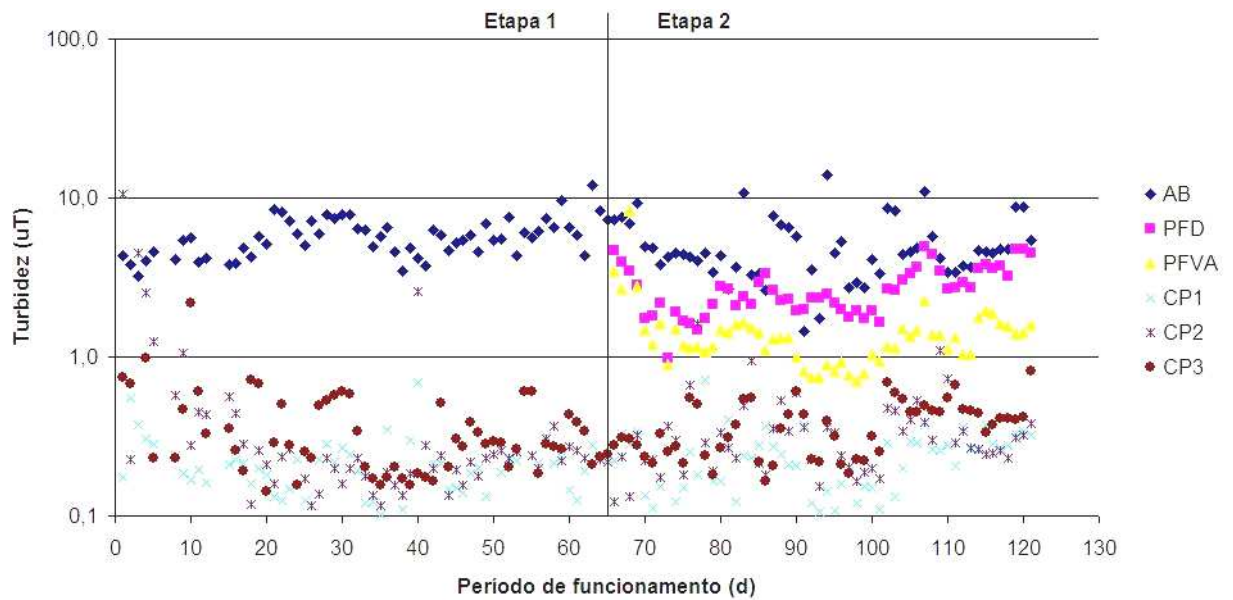


Figura 5.5 – Turbidez na água bruta e no efluente do PFD, do PFVA e das colunas de polimento nas etapas 1 e 2.

Na Tabela 5.3 estão apresentados os valores máximo, médio e mínimo de turbidez no efluente das unidades filtrantes na etapa 1 e 2 e na Tabela 5.4 estão apresentadas as médias de remoção diária em relação à água bruta de cada unidade.

Tabela 5.3 – Valores máximo, médio e mínimo de turbidez (uT) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.

PONTO	Etapa 1			Etapa 2		
	máx.	méd.	mín.	máx.	méd.	mín.
AB	12	6	3	14	5	1,4
PFD	-	-	-	5	3	0,98
PFVA	-	-	-	8	1,5	0,70
FL1	2	0,33	0,13	2	0,30	0,12
FL2	1,1	0,36	0,16	1,1	0,37	0,19
CVPF2	3	1,3	0,19	3	0,61	0,36
CVPF4	2	1,0	0,46	0,87	0,48	0,27
CVPF3	3	0,87	0,40	0,79	0,45	0,26
CVPF1	3	0,99	0,49	0,94	0,55	0,32
CP1	0,69	0,22	0,10	0,72	0,24	0,11
CP2	11	0,59	0,09	1,6	0,36	0,12
CP3	2	0,38	0,14	0,81	0,38	0,17
FL3	3	1,1	0,52	1,4	0,72	0,38

Tabela 5.4 – Remoção média (%) diária de turbidez nas unidades em relação à água bruta nas etapas 1 e 2.

PONTO	Média de remoção diária (%)	
	Etapa 1	Etapa 2
PFD	-	43,8%
PFVA	-	70,4%
FL1	93,8%	93,2%
FL2	93,3%	92,0%
CVPF2	77,4%	86,9%
CVPF4	81,4%	89,4%
CVPF3	83,7%	90,0%

Tabela 5.4 – continuação.

PONTO	Média de remoção diária (%)	
	Etapa 1	Etapa 2
CVPF1	81,7%	87,8%
CP1	95,9%	94,4%
CP2	92,9%	91,9%
CP3	93,0%	91,6%
FL3	78,7%	83,7%

Verifica-se que na primeira etapa as colunas tiveram remoção de turbidez menor que a dos filtros lentos, porém seus valores médios e ficaram abaixo do valor máximo permitido (VMP) recomendado pela Portaria N°518 do Ministério da Saúde, que é de 2,0uT (BRASIL, 2004). Ressalta-se que todas as unidades tiveram valores mínimos próximos à zero.

Na Figura 5.4, pode-se observar que, o comportamento dos valores de turbidez no efluente das colunas verticais de pré-filtração foi similar entre si. Quando comparados com o efluente dos filtros lentos, constatou-se um período mais longo de amadurecimento nas colunas, destacando-se que elas eram recém construídas e os filtros lentos já haviam operado por dois anos. A remoção global foi maior que 91%.

A discrepância entre o valor da turbidez efluente às colunas e efluente ao FL3 deve-se ao fato de que a areia da primeira camada do FL3 não se encontrava limpa, fato observado ao longo do período de coleta e corrigido por meio da retirada e lavagem desta areia, sendo importante notificar que não foi interrompida a operação da estação.

Na segunda etapa experimental o PFD e o PFVA, em funcionamento, removeram em média, 44% e 70% da turbidez, respectivamente, o que ocasionou uma relativa queda nos valores médios apresentados na água efluente aos filtros lentos (abaixo de 0,40uT) e às colunas (abaixo de 0,61uT), confirmando assim suas funções na FiME. A taxa de filtração das colunas verticais que apresentou o melhor resultado médio (0,45uT) foi a de 0,75m³/m².dia.

Comparando-se a porcentagem de remoção média diária de turbidez entre as duas etapas, nota-se que os filtros lentos não tiveram alterações significativas, tanto no aumento quanto na redução. As colunas verticais de pré-filtração, ao contrário, apresentaram um aumento significativo na remoção, cerca de 9% em média para todas as unidades.

5.4. COR APARENTE

A cor aparente variou conforme a turbidez no período de coleta. As Figuras 5.6, 5.7 e 5.8 apresentam a sua remoção nas unidades filtrantes no período de funcionamento da estação. Os valores da água bruta e dos efluentes do PFD e PFVA se repetem nas figuras. Os dados referentes às coletas estão nos Anexos 7 e 8.

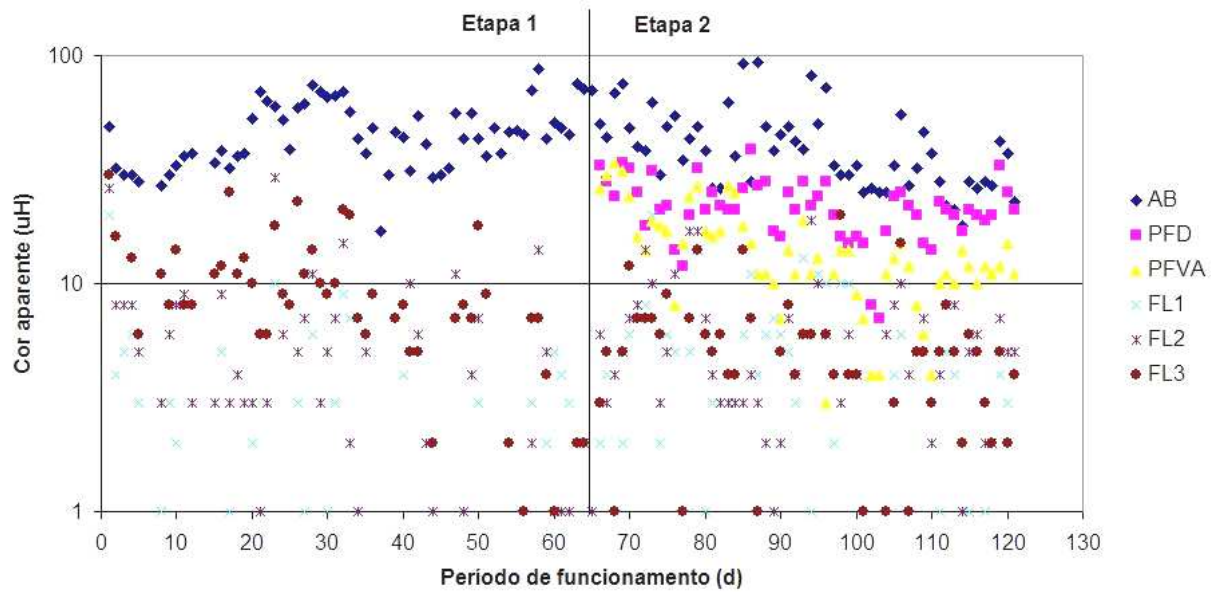


Figura 5.6 – Cor aparente na água bruta e no efluente do PFD, do PFVA e dos filtros lentos nas etapas 1 e 2.

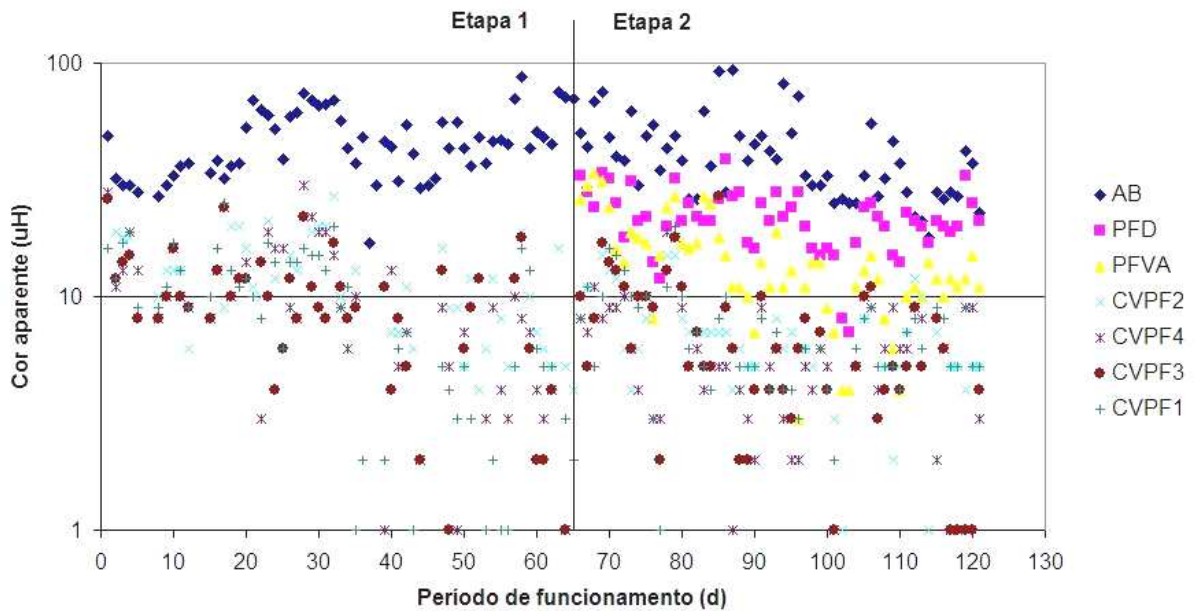


Figura 5.7 – Cor aparente na água bruta e no efluente do PFD, do PFVA e das colunas verticais de pré-filtração nas etapas 1 e 2.

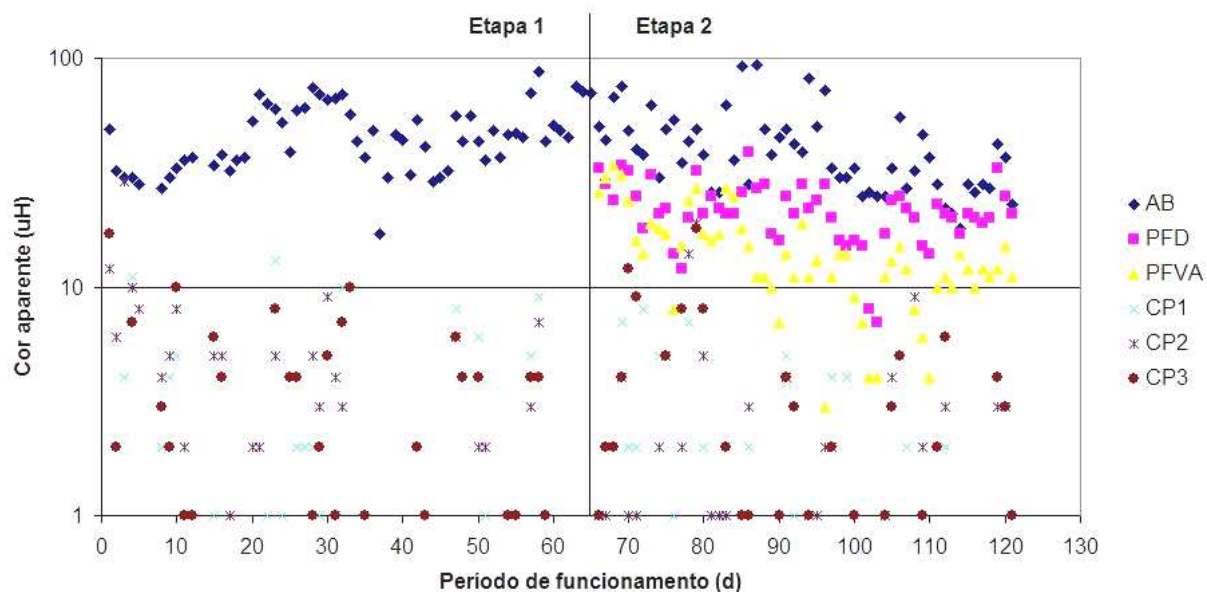


Figura 5.8 – Cor aparente na água bruta e no efluente do PFD, do PFVA e das colunas de polimento nas etapas 1 e 2.

Na Tabela 5.5 estão apresentados os valores máximo, médio e mínimo de cor aparente no efluente das unidades filtrantes na etapa 1 e 2 e na Tabela 5.5 estão apresentadas as médias de remoção diária em relação à água bruta de cada unidade.

Tabela 5.5 – Valores máximo, médio e mínimo de cor aparente (uH) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.

PONTO	Etapa 1			Etapa 2		
	máx.	méd.	mín.	máx.	méd.	mín.
AB	87	47	17	93	41	18
PFD				39	22	7
PFVA				34	14	3
FL1	20	3	< 1	20	4	< 1
FL2	29	5	< 1	19	6	< 1
CVPF2	27	11	< 1	15	7	< 1
CVPF4	30	9	< 1	19	6	< 1

Tabela 5.5 – continuação.

PONTO	Etapa 1			Etapa 2		
	máx.	méd.	mín.	máx.	méd.	mín.
CVPF3	26	8	< 1	27	7	< 1
CVPF1	25	8	< 1	20	7	< 1
CP1	17	2	< 1	8	1	< 1
CP2	29	3	< 1	19	2	< 1
CP3	17	2	< 1	18	2	< 1
FL3	30	8	< 1	20	5	< 1

Tabela 5.6 – Remoção média (%) diária de cor aparente nas unidades em relação à água bruta nas etapas 1 e 2.

PONTO	Média de remoção diária (%)	
	Etapa 1	Etapa 2
PFD	-	42,6%
PFVA	-	62,3%
FL1	94,5%	90,5%
FL2	89,7%	85,9%
CVPF2	76,3%	82,0%
CVPF4	80,1%	84,8%
CVPF3	81,9%	83,9%
CVPF1	81,3%	82,7%
CP1	95,9%	96,4%
CP2	95,5%	95,7%
CP3	95,5%	95,2%
FL3	81,7%	86,8%

Na primeira etapa, verifica-se que em relação à cor aparente, as CVPFs apresentaram uma remoção média menor que os filtros lentos, porém estes valores juntamente ficaram abaixo do VMP recomendado pela Portaria N°518 do Ministério da Saúde. Ressalta-se que todas as unidades tiveram valores mínimos menores que 1.

A remoção global de cor aparente na instalação foi maior que 95% nas duas etapas, indicando uma grande eficiência da utilização do carvão ativado granular na remoção de cor aparente. O valor médio de cor obtido no efluente do FL3 na etapa 1, maior que o das colunas, foi ocasionado pelo mesmo fato que o valor de turbidez, tendo sido posteriormente resolvido com a lavagem da areia e apresentando valor médio de remoção de 86,8% na etapa 2.

Na segunda etapa, as CVPFs também apresentaram remoção de cor aparente menor que os filtros lentos, nos quais foi verificada uma queda na porcentagem de remoção de 94,5% para 90,5% para FL1 e de 89,7% para 85,9% para FL2. Em compensação todas as CVPFs sofreram aumento no valor da remoção de cor aparente. As porcentagens foram de 81,3% para 82,7% para CVPF1, de 76,3% para 82,0% para CVPF2, de 81,9% para 83,9% para CVPF3 e de 80,1% para 84,8% para CVPF4.

5.5. COR VERDADEIRA

As Figuras 5.9, 5.10 e 5.11 apresentam a variação de cor verdadeira no efluente das unidades filtrantes no período de funcionamento. Os valores da água bruta e dos efluentes do PFD e PFVA se repetem nas figuras. Os dados referentes às coletas estão nos Anexos 9 e 10.

Na Tabela 5.7 estão apresentados os valores máximo, médio e mínimo de cor verdadeira no efluente das unidades filtrantes na etapa 1 e 2 e na Tabela 5.8 estão apresentadas as médias de remoção diária em relação à água bruta de cada unidade.

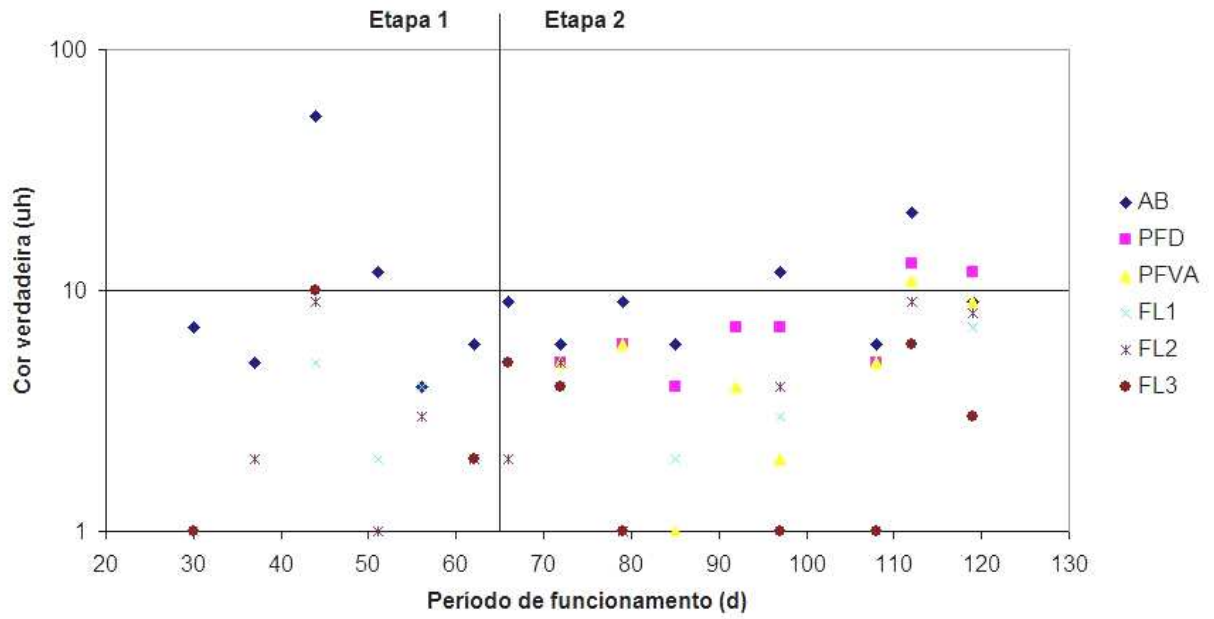


Figura 5.9 – Cor verdadeira na água bruta e no efluente do PFD, do PFVA e dos filtros lentos nas etapas 1 e 2.

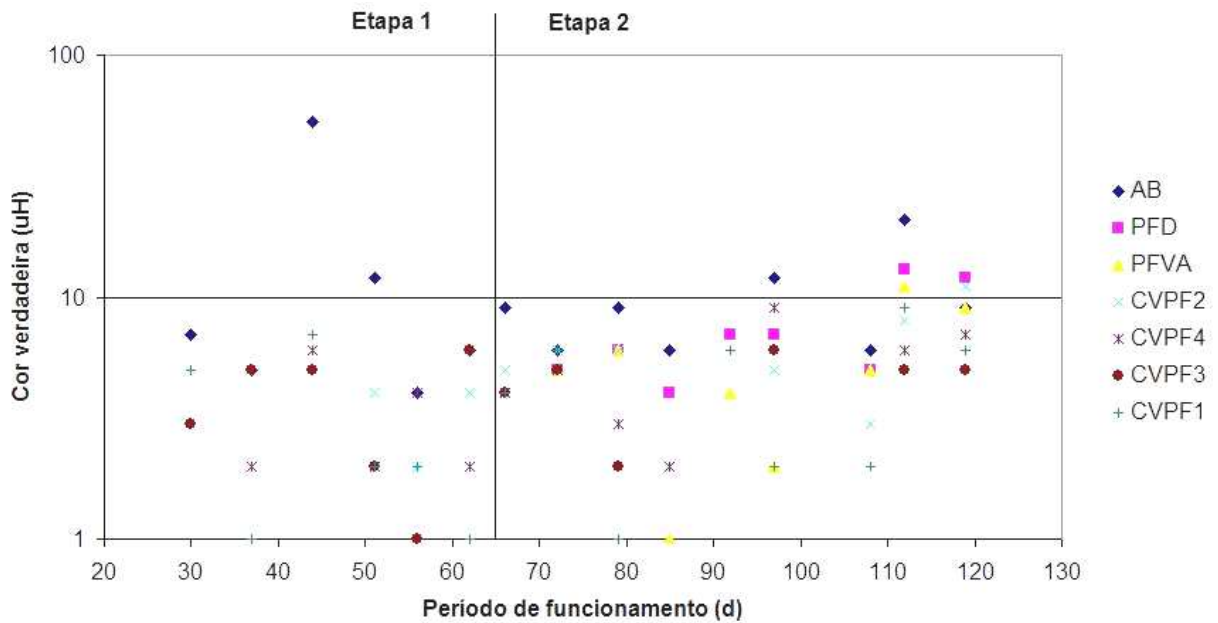


Figura 5.10 – Cor verdadeira na água bruta e no efluente do PFD, do PFVA e das colunas verticais de pré-filtração na etapas 1 e 2.

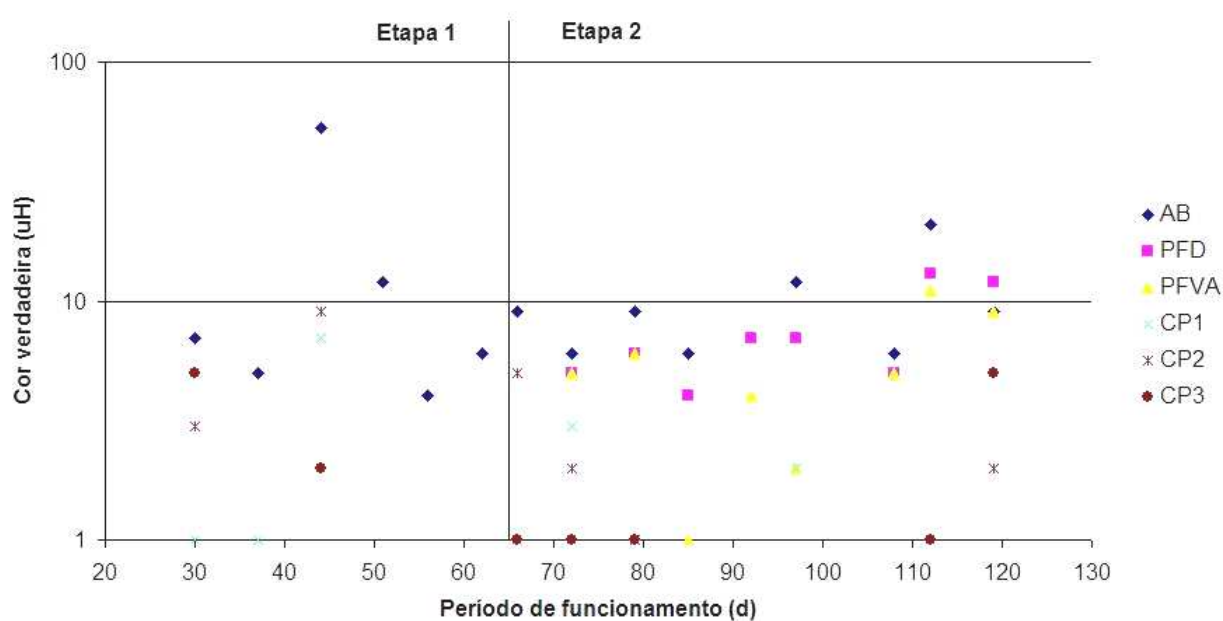


Figura 5.11 – Cor verdadeira na água bruta e no efluente do PFD, do PFVA e das colunas de polimento nas etapas 1 e 2.

Tabela 5.7 – Valores máximo, médio e mínimo de cor verdadeira (uH) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.

PONTO	Etapa 1			Etapa 2		
	máx.	méd.	mín.	máx.	méd.	mín.
AB	53	15	4	21	10	6
PFD				13	8	4
PFVA				15	7	1
FL1	5	2	< 1	7	3	< 1
FL2	9	3	< 1	9	5	< 1
CVPF2	6	3	< 1	11	6	< 1
CVPF4	6	3	< 1	9	5	< 1
CVPF3	6	4	1	6	5	< 1
CVPF1	7	3	1	9	5	< 1
CP1	7	3	< 1	3	1	< 1
CP2	9	4	< 1	5	2	< 1
CP3	5	4	< 1	5	2	< 1
FL3	10	4	< 1	6	3	< 1

Tabela 5.8 – Remoção média (%) diária de cor verdadeira nas unidades em relação à água bruta nas etapas 1 e 2.

PONTO	Média de remoção diária (%)	
	Etapa 1	Etapa 2
PFD	-	79,1%
PFVA	-	59,9%
FL1	71,0%	72,4%
FL2	71,1%	68,7%
CVPF2	66,4%	47,3%
CVPF4	66,4%	58,2%
CVPF3	51,0%	69,0%
CVPF1	68,7%	65,0%
CP1	90,5%	91,4%
CP2	85,0%	89,0%
CP3	85,0%	89,0%
FL3	86,7%	75,5%

Na primeira etapa, a remoção de cor verdadeira nos filtros lentos e nas colunas verticais de pré-filtração ficou na faixa dos 70% para os FLs e 63% para as CVPFs, verificando-se um declínio deste valor no início da segunda etapa experimental. A remoção global, medida no efluente das colunas de polimento em relação a água bruta, ficou em torno de 85%.

Na segunda etapa experimental a remoção de cor verdadeira nos filtros lentos ficou em torno de 72% (FL1) e 69% (FL2). As colunas verticais de pré-filtração tiveram uma baixa remoção média, apresentando valores de 47% a 70%. As duas menores taxas foram as que obtiveram melhores resultados (69 e 65%, respectivamente para 0,75 e 0,38m³/m².d), entretanto a remoção média do FL3 ficou em torno de 76% e a remoção global em torno de 90%.

Analisando-se as duas etapas experimentais verificou-se uma queda na eficiência das unidades na segunda etapa. Esta diminuição foi causada pelo aumento nos valores médios de cor verdadeira nos efluentes dos filtros lentos e das colunas verticais de pré-filtração nesta etapa. Provavelmente, estes valores tenham sido gerados também, devido à mudança do equipamento utilizado para se fazer as leituras.

5.6. COLIFORMES TOTAIS E ESCHERICHIA COLI

A capacidade de remoção de coliformes totais e *E. coli* nas unidades de filtração lenta é utilizada tanto para identificação do período de amadurecimento, como também para indicação do desempenho geral destas unidades ao longo da operação. Os valores relativos à contagem de coliformes totais nas duas etapas experimentais (Anexo 11) estão apresentados na Figura 5.12.

Na Tabela 5.9 estão apresentados os valores máximo, médio e mínimo de coliformes totais no efluente das unidades filtrantes na etapa 1 e 2 e na Tabela 5.10 estão apresentadas as médias semanais de remoção em relação à água bruta de cada unidade.

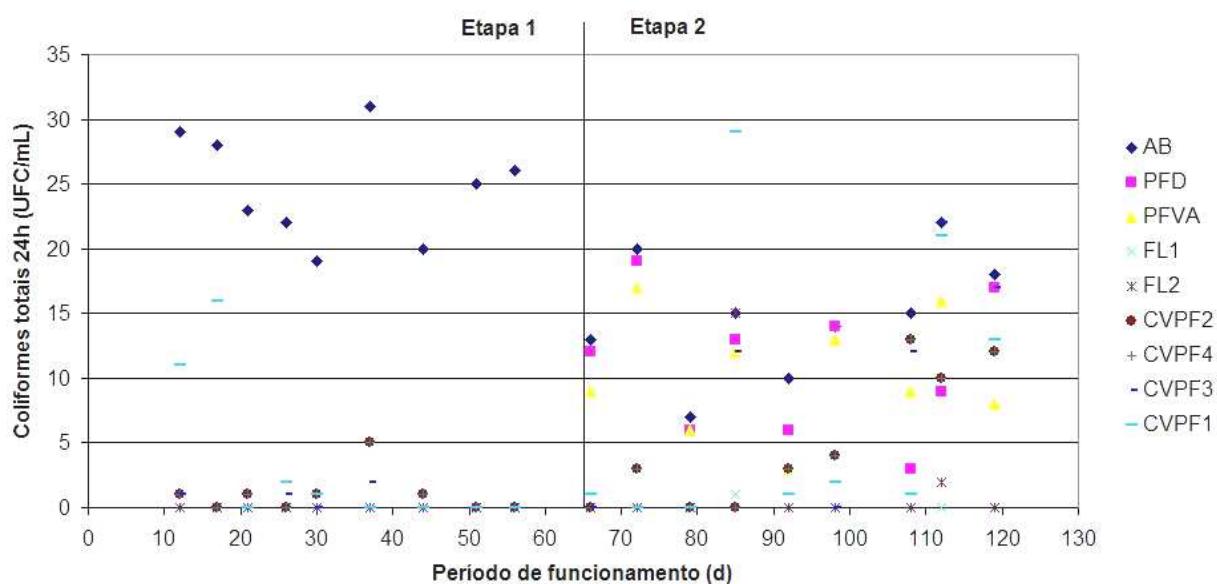


Figura 5.12 – Contagem de coliformes totais nas unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.

Tabela 5.9 – Valores máximo, médio e mínimo de coliformes totais (UFC/mL) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.

PONTO	Etapa 1			Etapa 2		
	máx.	méd.	mín.	máx.	méd.	mín.
AB	31	25	19	22	15	7
PFD				19	11	3
PFVA				17	10	3
FL1	0	0	0	1	0	0
FL2	0	0	0	15	2	0
CVPF2	5	1	0	13	5	0
CVPF4	31	13	0	17	6	0
CVPF3	16	2	0	22	7	0
CVPF1	16	3	0	29	8	0

Tabela 5.10 – Remoção média (%) semanal de coliformes totais nas unidades em relação à água bruta nas etapas 1 e 2.

PONTO	Média de remoção semanal (%)	
	Etapa 1	Etapa 2
PFD		25,0%
PFVA		31,1%
FL1	100,0%	99,3%
FL2	100,0%	87,9%
CVPF2	96,2%	69,7%
CVPF4	51,1%	68,1%
CVPF3	92,0%	59,5%
CVPF1	87,8%	55,6%

Na primeira etapa, os filtros lentos apresentaram remoção média de 100% cada. As colunas CVPF2 e CVPF3 tiveram médias acima de 90%, entretanto a CF4 obteve uma remoção muito baixa em relação às outras unidades, abaixo de 50%. Isto pode ter sido ocasionado por falhas na coleta e/ou análise, uma vez que a CVPF2 trabalhava com a maior taxa, 3,0m³/m².d, e obteve a maior remoção entre as colunas.

Na segunda etapa, a eficiência das colunas caiu bruscamente em relação à primeira etapa, sendo observado que por muitas vezes os valores encontrados nos efluentes destas unidades foram maiores que o da água bruta para a mesma coleta. Os pré-filtros removeram em torno de 30% de coliformes totais.

No que diz respeito à contagem de *E. coli*, na primeira etapa não foi detectada a presença na água bruta e nos efluentes das unidades filtrantes. A contagem de *E. coli* na segunda etapa está apresentada na Figura 5.13 e os valores respectivos no Anexo 12. Na Tabela 5.11 estão

apresentados os valores máximo, médio e mínimo de coliformes totais no efluente das unidades filtrantes na etapa 1 e 2.

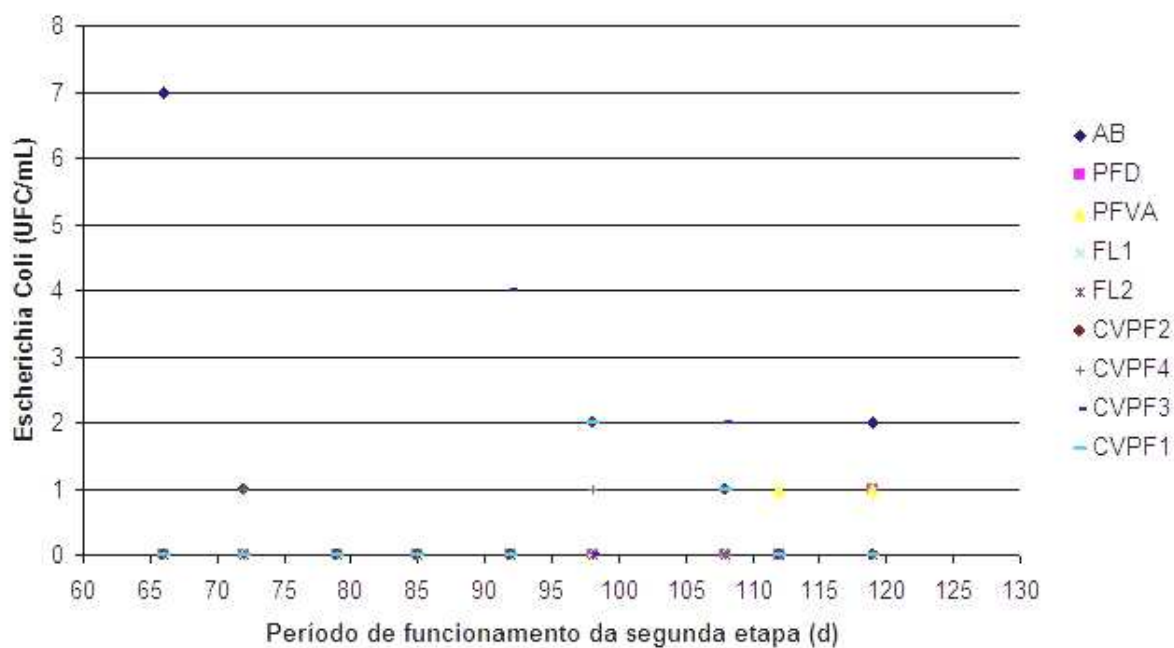


Figura 5.13 – Contagem de *E. coli* na água bruta e no efluente das unidades filtrantes durante a segunda etapa.

Tabela 5.11 – Valores máximo, médio e mínimo de *E. coli* (UFC/mL) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes na etapa 2.

PONTO	Etapa 2		
	máx.	méd.	mín.
AB	7,0	1,0	0,0
PFD	1,0	0,2	0,0
PFVA	1,0	0,4	0,0
FL1	0,0	0,0	0,0
FL2	0,0	0,0	0,0
CVPF2	2,0	0,4	0,0
CVPF4	1,0	0,2	0,0

Tabela 5.11 – continuação.

PONTO	Etapa 2		
	máx.	méd.	mín.
CVPF3	4,0	0,8	0,0
CVPF1	2,0	0,3	0,0

A remoção de *E. coli* pelos filtros lentos foi de 100% e nas colunas a remoção foi maior do que a de coliformes totais em termos relativos, visto que a presença de coliformes totais foi maior que a de *E. coli*. Os valores de remoção foram respectivamente, 67%, 56%, 20% e 78% para CVPF1, CVPF2, CVPF3 e CVPF4.

Em decorrência dos valores de remoção de coliformes totais e *E. coli* pelas colunas verticais de pré-filtração não terem sido satisfatórios, realizou-se ao final da segunda etapa quatro análises do efluente do FL3, obtendo-se os valores apresentados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Valores máximo, médio e mínimo de coliformes totais (UFC/mL) apresentados pela água bruta e pelo efluente das CVPFs e do FL3 após o término da segunda etapa.

PONTO	máx.	méd.	mín.	Remoção média semanal(%)
AB	32,0	23,5	15,0	-
CVPF2	26,0	18,0	11,0	23
CVPF4	16,0	12,5	8,0	47
CVPF3	15,0	11,3	7,0	52
CVPF1	31,0	15,3	5,0	35
FL3	3,0	1,8	1,0	93

A partir destes últimos resultados (Tabela 5.12) verificou-se que a eficiência das colunas como pré-tratamento ao filtro lento faz com que este reduza significativamente o número de coliformes

totais, cerca de 93%, e cerca de 100% de *E. coli*. Tendo em visto o número reduzido de coletas em relação ao período de funcionamento do projeto, cerca de 120 dias.

5.7. SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST)

A água bruta utilizada apresentou na primeira etapa teor de SST entre 0,600 e 15,000mg/L, tendo sido obtidos dois valores muito acima deste intervalo, os quais foram descartados na análise dos dados. Na segunda etapa a variação ocorreu entre 0,800 e 21,000mg/L, tendo sido obtido um valor acima deste intervalo, sendo também desconsiderado.

A Figura 5.14 apresenta os dados coletados durante as duas etapas experimentais (Anexo 13) e a Tabela 5.13, os valores máximo, médio e mínimo de sólidos suspensos apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes no período de funcionamento. Na Tabela 5.14 estão apresentadas as médias semanais de remoção de SST de cada unidade em relação à água bruta.

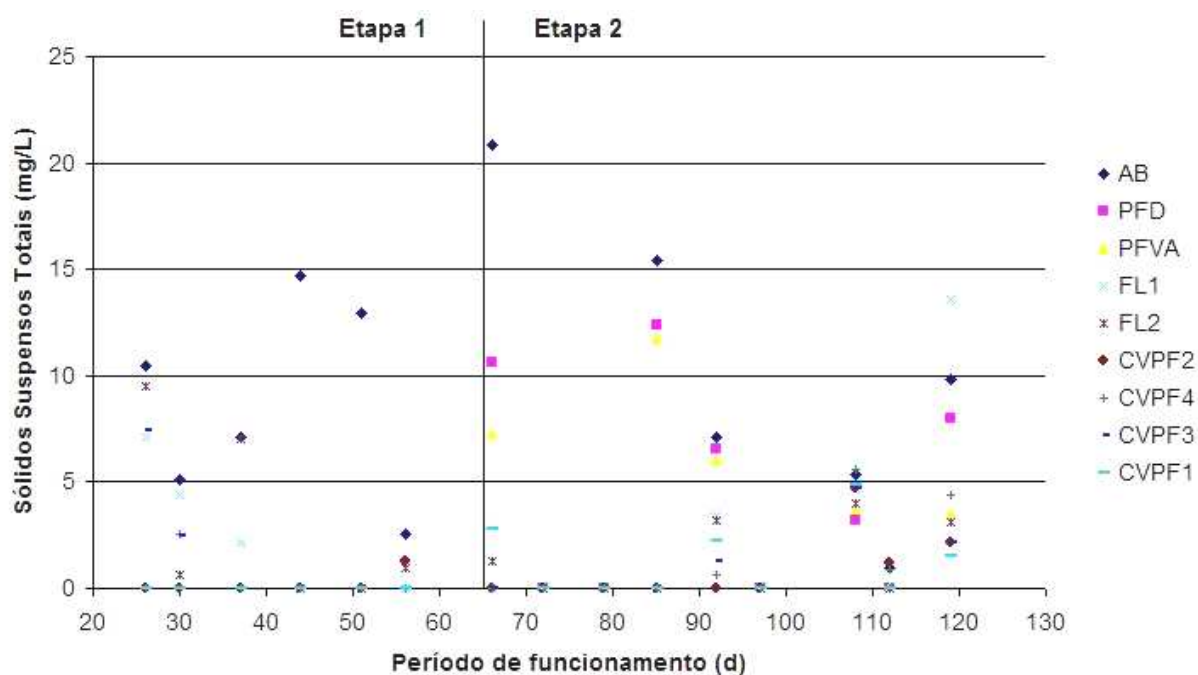


Figura 5.14 – Sólidos suspensos totais na água bruta e no efluente das unidades filtrantes durante a etapa 1 e 2.

Tabela 5.13 – Valores máximo, médio e mínimo de sólidos suspensos totais (mg/L) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2 do experimento.

PONTO	Etapa 1			Etapa 2		
	máx.	méd.	mín.	máx.	méd.	mín.
AB	14,7	8,8	2,6	20,8	6,6	0,0
PFD				12,4	4,5	0,0
PFVA				11,8	3,6	0,0
FL1	7,1	2,3	0,0	13,6	2,4	0,0
FL2	9,5	3,0	0,0	4,0	1,3	0,0
CVPF2	1,3	0,2	0,0	4,7	0,9	0,0
CVPF4	2,6	0,4	0,0	5,6	1,3	0,0
CVPF3	7,5	1,7	0,0	4,7	0,9	0,0
CVPF1	0,0	0,0	0,0	4,9	1,3	0,0

Tabela 5.14 – Remoção média (%) semanal de sólidos suspensos totais nas unidades em relação à água bruta nas etapas 1 e 2.

PONTO	Média de remoção semanal (%)	
	Etapa 1	Etapa 2
PFD		39,2%
PFVA		49,5%
FL1	69,2%	54,2%
FL2	60,1%	73,7%
CVPF2	91,9%	61,2%
CVPF4	91,7%	58,8%
CVPF3	80,0%	78,6%
CVPF1	100,0%	74,6%

Na primeira etapa as colunas obtiveram uma porcentagem de remoção semanal relativamente alta, sendo que a coluna CVPF1, com taxa de $0,38\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, foi a que apresentou melhor remoção média, próxima de 100%. Em relação aos filtros lentos 1 e 2, a remoção foi menor que a das colunas, respectivamente 69% e 60% para FL1 e FL2.

Na segunda etapa experimental os pré-filtros de pedregulho apresentaram uma remoção inferior às colunas, mesmo tendo sido constatada uma relativa queda nas unidades de filtração lenta com relação à primeira etapa. As colunas verticais de filtração apresentaram remoção abaixo de 80%, sendo a CVPF1 e CVPF3 as que apresentaram resultados mais satisfatórios.

5.8. CONTAGEM DE ALGAS

Neste projeto foram encontradas na água do lago do Ipê em maior quantidade algas e cianobactérias, fitoflagelados e diatomáceas. Os itens a seguir estão divididos pela contagem e

remoção de cada um destes organismos no período de coleta referente às duas etapas experimentais.

5.8.1. Algas e cianobactérias

A Figura 5.15 apresenta a contagem de algas e cianobactérias na água bruta e no efluente das unidades de filtração durante as duas etapas experimentais, os dados coletados estão no Anexo 14. A Tabela 5.15 apresenta os valores máximo, médio e mínimo da contagem no efluente das unidades e na Tabela 5.16, as médias semanais de remoção.

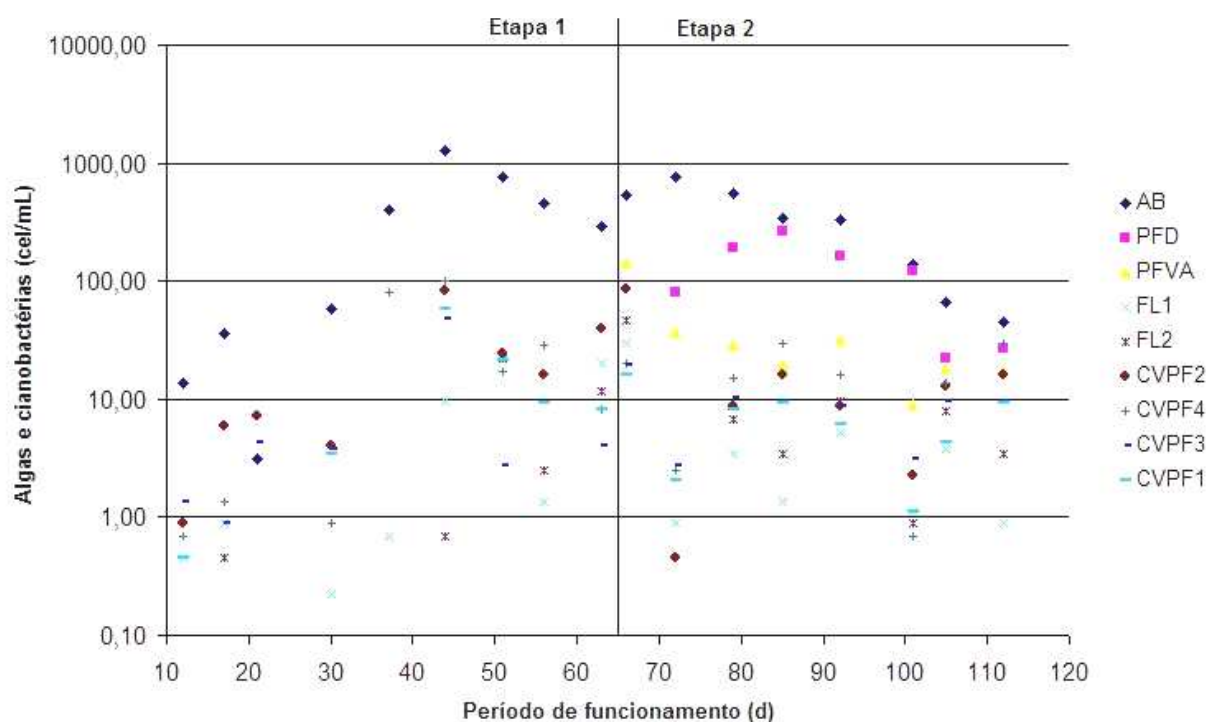


Figura 5.15 – Contagem de algas e cianobactérias na água bruta e no efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.

Tabela 5.15 – Valores máximo, médio e mínimo da contagem de algas e cianobactérias (cel/mL) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2 do experimento.

PONTO	Etapa 1			Etapa 2		
	máx.	méd.	mín.	máx.	méd.	mín.
AB	1259,5	366,2	3,2	774,7	348,2	45,2
PFD				264,9	109,1	0,0
PFVA				144,1	38,3	9,0
FL1	21,3	6,9	0,2	29,9	5,8	0,9
FL2	21,9	4,6	0,0	47,1	9,9	0,0
CVPF2	82,8	20,1	0,0	86,0	18,9	0,5
CVPF4	100,9	29,8	0,7	29,9	16,0	0,7
CVPF3	47,5	8,2	0,0	19,7	9,1	2,7
CVPF1	57,9	12,6	0,0	16,3	7,1	1,1

Tabela 5.16 – Remoção média (%) semanal de algas e cianobactérias nas unidades em relação à água bruta nas etapas 1 e 2.

PONTO	Média de remoção semanal (%)	
	Etapa 1	Etapa 2
PFD		49,7%
PFVA		84,3%
FL1	97,8%	97,9%
FL2	98,9%	95,8%
CVPF2	68,4%	89,8%
CVPF4	93,8%	86,6%
CVPF3	82,0%	93,9%
CVPF1	97,3%	95,4%

Na primeira etapa os filtros lentos, FL1 e FL2, apresentaram respectivamente remoção média de 98% e 99% aproximadamente. As colunas variaram de 68% a 97%, sendo que as taxas que apresentaram melhores resultados, 94% e 97% respectivamente, foram as de 0,38 e $0,75\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, ou seja, as menores taxas estudadas no projeto.

Na segunda etapa, a crescente remoção de cianobactérias na FiME pode ser verificada através dos pré-filtros de pedregulho os quais apresentaram remoção média de 50% (PFD) e 84% (PFVA). Constatou-se um aumento na porcentagem de remoção média da CVPF2 e CVPF3, as quais apresentaram valores próximos a 90%. O PFD apresentou um valor médio na contagem de algas e cianobactérias relativamente alto se relacionado ao do PFVA; isto porque foi apresentado um valor acima do da água bruta no mesmo dia de coleta.

5.8.2. Fitoflagelados

A Figura 5.16 apresenta a contagem de fitoflagelados na água bruta e no efluente das unidades de filtração durante as duas etapas experimentais, os dados coletados estão no Anexo 15. A Tabela 5.17 apresenta os valores máximo, médio e mínimo da contagem no efluente das unidades e na Tabela 5.18, as médias semanais de remoção.

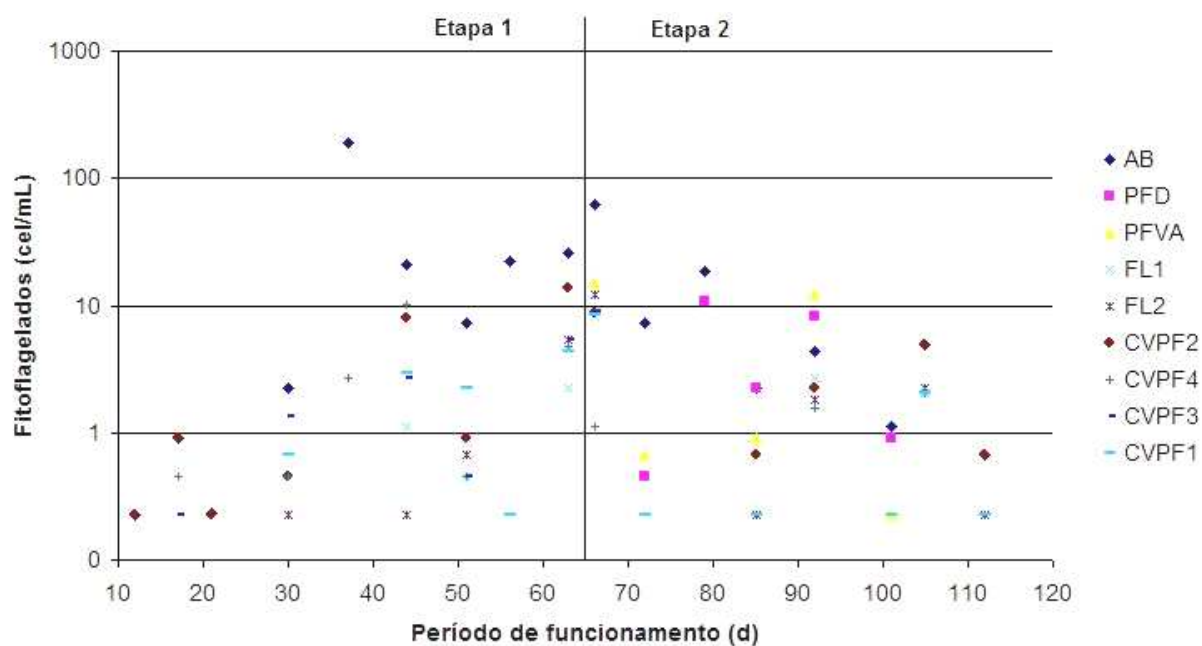


Figura 5.16 – Contagem de fitoflagelados na água bruta e no efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.

Tabela 5.17 – Valores máximo, médio e mínimo da contagem de fitoflagelados (cel/mL) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2 do experimento.

PONTO	Etapa 1			Etapa 2		
	máx.	méd.	mín.	máx.	méd.	mín.
AB	190,0	29,9	0,2	62,9	12,8	0,7
PFD				10,9	3,2	0,0
PFVA				15,2	3,6	0,0
FL1	2,3	0,5	0,0	8,1	1,6	0,0
FL2	5,4	0,8	0,0	12,0	2,1	0,0
CVPF2	13,6	2,7	0,0	8,8	2,2	0,0
CVPF4	10,2	2,4	0,0	2,0	0,6	0,0
CVPF3	5,4	1,1	0,0	9,0	1,2	0,0
CVPF1	4,3	1,3	0,0	8,6	1,4	0,0

Tabela 5.18 – Remoção média (%) semanal de fitoflagelados nas unidades em relação à água bruta nas etapas 1 e 2.

PONTO	Média de remoção semanal (%)	
	Etapa 1	Etapa 2
PFD		13,3%
PFVA		37,9%
FL1	95,6%	80,5%
FL2	94,0%	81,3%
CVPF2	53,0%	62,9%
CVPF4	81,8%	86,7%
CVPF3	84,3%	93,1%
CVPF1	86,7%	84,9%

Na primeira etapa, as colunas verticais de pré-filtração com as menores taxas (CVPF1 e CVPF3) foram as que apresentaram resultados mais satisfatórios na remoção de fitoflagelados, cerca de 85% cada. Os filtros lentos para estes organismos tiveram uma remoção de cerca de 95%.

Na segunda etapa as CVPFs apresentaram um relativo aumento na remoção, enquanto o valor do efluente dos filtros lentos decaíram em cerca de 15% para FL1 e 13% para FL2 em relação ao valor da primeira etapa. Os pré-filtros de pedregulho apresentaram uma remoção média semanal muito inferior ao apresentado pelas colunas verticais, sendo assim possível verificar que a maior parcela da remoção foi realizada pelas colunas.

5.8.3. Diatomáceas

A Figura 5.17 apresenta a contagem de diatomáceas na água bruta e no efluente das unidades de filtração durante todo o período de funcionamento, os dados coletados estão no Anexo 16. A

Tabela 5.19 apresenta os valores máximo, médio e mínimo da contagem no efluente das unidades e na Tabela 5.20, as médias semanais de remoção de diatomáceas.

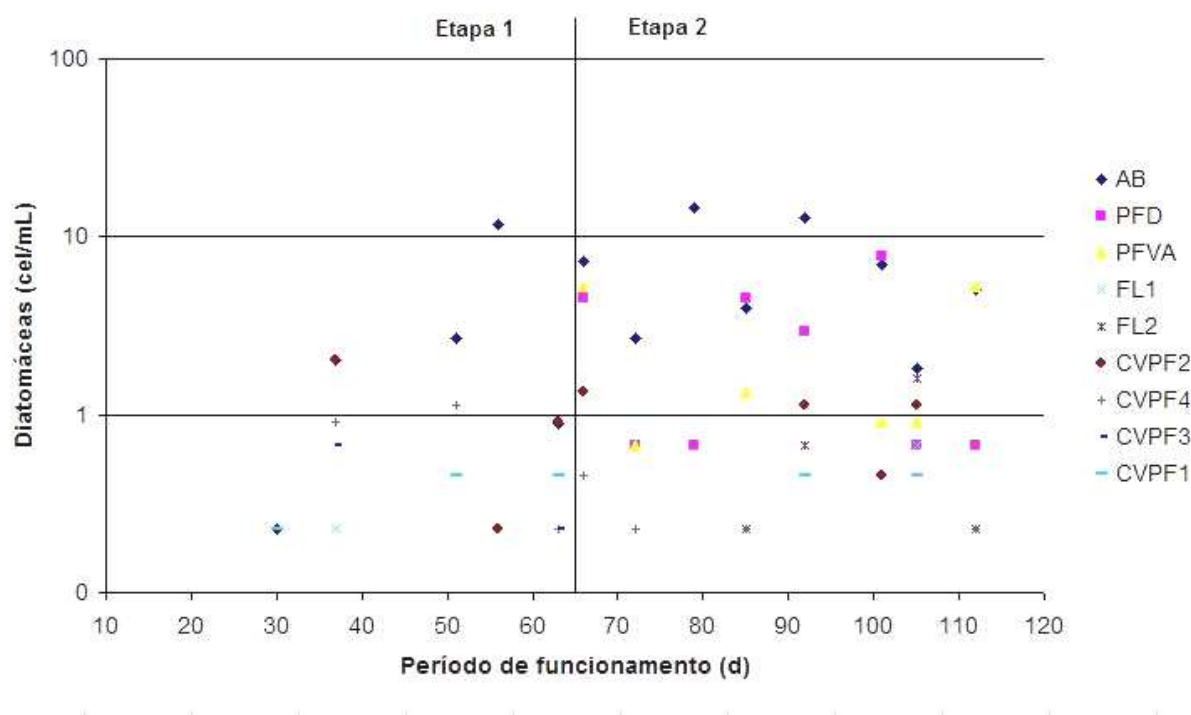


Figura 5.17 – Contagem de diatomáceas na água bruta e no efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.

Tabela 5.19 – Valores máximo, médio e mínimo da contagem de diatomáceas (cel/mL) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2 do experimento.

PONTO	Etapa 1			Etapa 2		
	máx.	méd.	mín.	máx.	méd.	mín.
AB	11,8	2,0	0,0	14,5	6,9	1,8
PFD				7,7	2,8	0,7
PFVA				5,2	1,8	0,0
FL1	0,2	0,0	0,0	1,1	0,2	0,0
FL2	0,0	0,0	0,0	1,6	0,3	0,0

Tabela 5.19 – continuação.

PONTO	Etapa 1			Etapa 2		
	máx.	méd.	mín.	máx.	méd.	mín.
CVPF2	2,0	0,4	0,0	1,4	0,5	0,0
CVPF4	1,1	0,3	0,0	0,5	0,1	0,0
CVPF3	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
CVPF1	0,5	0,1	0,0	0,5	0,1	0,0

Tabela 5.20 Remoção média (%) semanal de diatomáceas nas unidades em relação à água bruta nas etapas 1 e 2.

PONTO	Média de remoção diária (%)	
	Etapa 1	Etapa 2
PFD		51,4%
PFVA		62,8%
FL1	97,2%	94,2%
FL2	100,0%	87,1%
CVPF2	59,6%	87,9%
CVPF4	77,8%	96,9%
CVPF3	88,4%	100,0%
CVPF1	66,6%	96,4%

Na primeira etapa as colunas com melhor desempenho em relação a remoção de diatomáceas foram as colunas de taxas 0,75 e 1,50m³/m².d. Na segunda todas as CVPFs apresentaram uma elevação nos valores de remoção, sendo que algumas alcançaram valores maiores que os filtros lentos.

5.8.4. Somatório de algas e cianobactérias, fitoflagelados e diatomáceas

Para se obter uma remoção média geral de todos os organismos estudados (algas e cianobactérias, fitoflagelados e diatomáceas) em cada unidade de filtração analisada foi realizado o somatório

dos mesmos em cada etapa experimental – dados no Anexo 17 – obtendo-se a Figura 5.18. Na Tabela 5.21 estão apresentados os valores máximo, médio e mínimo da contagem geral e na Tabela 5.24 a remoção média semanal de cada unidade.

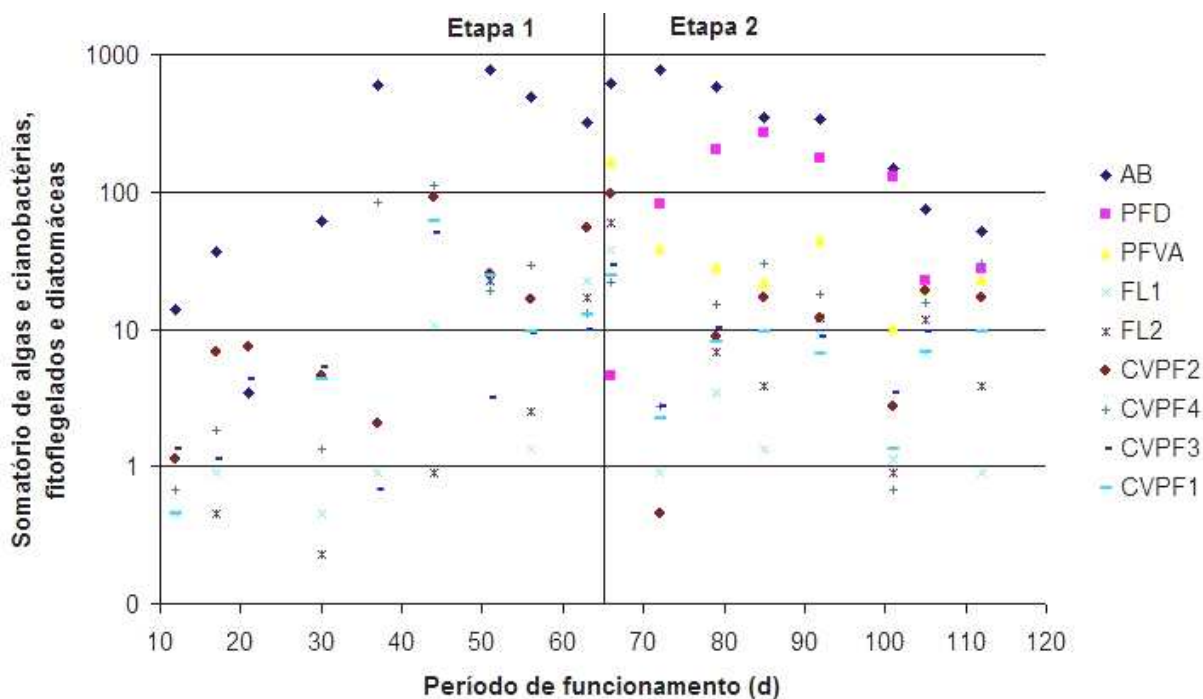


Figura 5.19 – Contagem de algas e cianobactérias, fitoflagelados e diatomáceas na água bruta e no efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.

Tabela 5.23 – Valores máximo, médio e mínimo da contagem de algas e cianobactérias, fitoflagelados e diatomáceas (cel/mL) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2 do experimento.

PONTO	Etapa 1			Etapa 2		
	máx.	méd.	mín.	máx.	méd.	mín.
AB	1280,3	398,1	3,4	784,6	367,9	50,9
PFD				271,7	114,7	4,5
PFVA				164,5	43,7	10,2
FL1	22,6	7,4	0,5	38,0	7,7	0,9

Tabela 5.23 – continuação.

PONTO	Etapa 1			Etapa 2		
	máx.	méd.	mín.	máx.	méd.	mín.
FL2	22,6	5,5	0,0	59,0	12,3	0,0
CVPF2	90,7	23,1	1,1	96,2	21,6	0,5
CVPF4	111,1	32,4	0,7	30,1	16,7	0,7
CVPF3	50,2	9,5	0,7	28,7	10,3	2,7
CVPF1	60,9	14,0	0,0	24,9	8,6	1,4

Tabela 5.24 Remoção média (%) semanal de algas e cianobactérias, fitoflagelados e diatomáceas nas unidades em relação à água bruta nas etapas 1 e 2.

PONTO	Média de remoção semanal (%)	
	Etapa 1	Etapa 2
PFD		56,5%
PFVA		83,2%
FL1	99,0%	97,3%
FL2	99,1%	95,1%
CVPF2	93,7%	89,2%
CVPF4	94,3%	87,4%
CVPF3	97,2%	94,3%
CVPF1	96,8%	95,1%

Na primeira etapa, quando somadas as quantidades de organismos verificados e a sua remoção pelas unidades de filtração, fica evidente a eficiência das colunas verticais de pré-filtração mesmo tendo apresentado valores menores que os filtros lentos. As colunas CVPF1 e 3 foram as que apresentaram melhores resultados. Na segunda etapa houve uma queda na remoção por parte da CVPF2 e 4, contudo as demais continuaram apresentando valores acima de 90%.

5.9. CLOROFILA-a

A clorofila-*a* é um dos parâmetros que monitora o desenvolvimento de algas no interior dos filtros lentos e, no caso, das colunas verticais de pré-filtração também. Ele determina o estado trófico da água residuária em estudo, ou seja: oligotrófico (pouca quantidade de algas), mesotrófico (quantidade intermediária) ou eutrófico (algas em grande quantidade).

Os valores de clorofila-*a* na água bruta e nos efluentes das unidades de filtração estão apresentados na Figura 5.20 e no Anexo 18. Os valores máximo, médio e mínimo estão na Tabela 5.25.

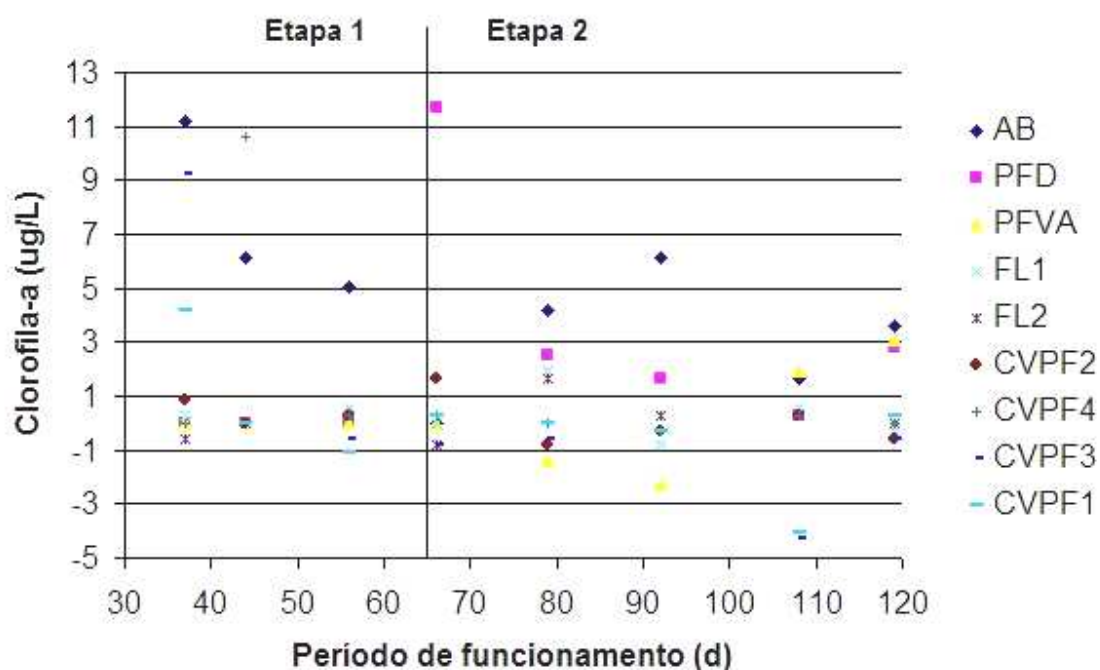


Figura 5.20 – Clorofila-*a* na água bruta e no efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.

Tabela 5.25 – Valores máximo, médio e mínimo de clorofila-*a* apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes durante todo o período de funcionamento da estação.

PONTO	Etapa 1 e 2		
	máx.	méd.	mín.
AB	11,160	5,421	1,674
PFD	11,718	3,794	0,279
PFVA	3,069	0,349	< 0
FL1	1,953	0,279	< 0
FL2	1,674	0,140	< 0
CVPF2	1,674	0,174	< 0
CVPF4	10,602	1,395	< 0
CVPF3	9,207	0,265	< 0
CVPF1	4,185	-0,087	< 0

Verifica-se que durante o período de coleta, a clorofila-*a* na água bruta apresentou uma média aritmética de cerca de 5,421µg/L, considerando que foram obtidos e desconsiderados dois valores muito acima deste. Os filtros lentos apresentaram médias de 0,279µg/L e 0,140µg/L, respectivamente para FL1 e FL2. As colunas verticais de pré-filtração apresentaram valores médios variados, mas todos abaixo do valor da água bruta.

Segundo o site da CETESB (www.cetesb.sp.gov.br) o estado trófico de um corpo d'água é determinado pelo Índice do Estado Trófico (IET), o qual relaciona a concentração de fósforo total e a concentração de clorofila-*a* do corpo d'água em estudo. Contudo existem intervalos para cada uma destas concentrações que resultam no IET. Para reservatórios a classificação é feita da seguinte maneira: oligotrófico – $0,74 < CL \leq 1,31\text{mg.m}^{-3}$; mesotrófico – $1,31 < CL \leq 2,96\text{mg.m}^{-3}$; e eutrófico – $2,96 < CL \leq 4,70\text{mg.m}^{-3}$.

Se o IET dependesse apenas da concentração de clorofila-*a*, neste projeto a água bruta e o efluente da coluna CVPF4 seriam considerados eutrofizados. O efluente dos filtros lentos e das demais CVPFs seria considerado oligotrófico. Contudo sabe-se que por não haver pontos de descarga de dejetos no lago do Ipê e pela desativação do pesque-pague existente próximo a ele, a concentração de fósforo não deve ser alta a ponto de que o IET fique dentro do valor determinado para ambiente eutrófico.

5.10. OXIGÊNIO DISSOLVIDO

Este parâmetro foi analisado relacionando o afluente e o efluente das colunas de polimento a fim de se obter uma perspectiva da utilização do carvão ativado granular como polimento final no tratamento de água pela filtração lenta. Na Figura 5.21 e no Anexo 19 estão apresentados os valores de oxigênio dissolvido nas unidades em análise durante o período de coleta.

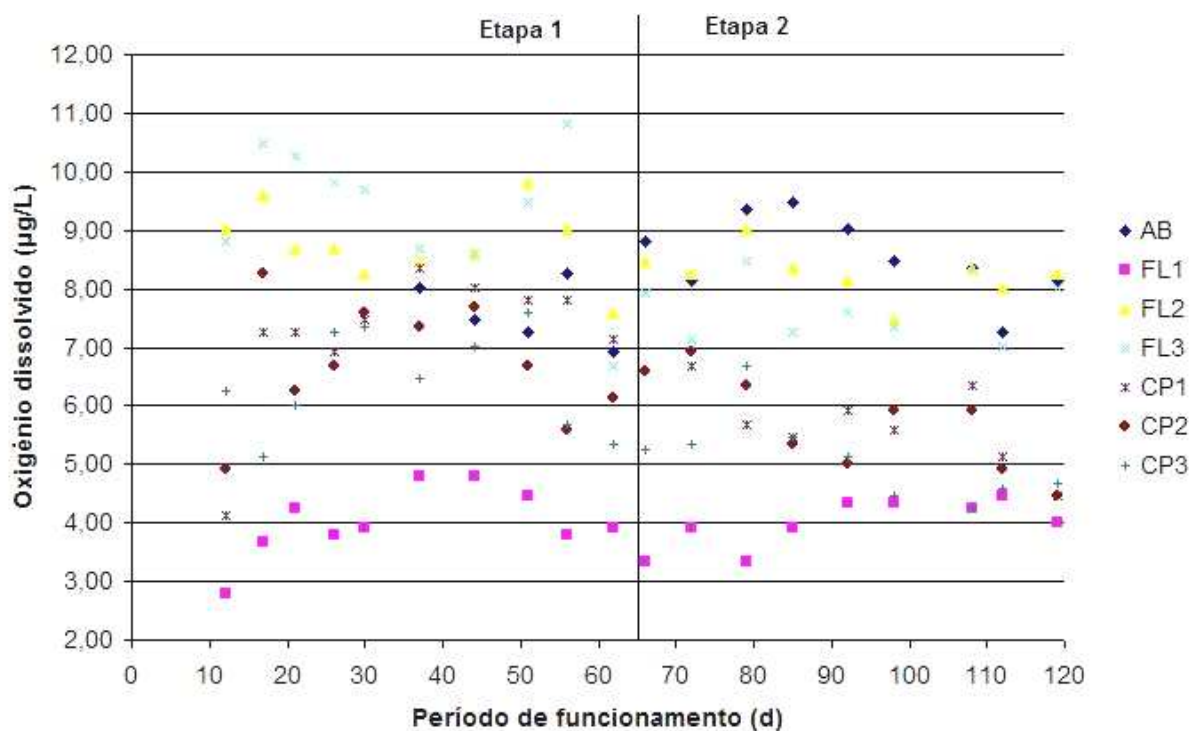


Figura 5.21 – Oxigênio dissolvido na água bruta e no efluente das unidades filtrantes nas etapas 1 e 2.

Na Tabela 5.26 estão apresentados os valores máximo, médio e mínimo de oxigênio dissolvido em cada unidade. Como existem três colunas de polimento, existem três caminhos para se verificar: AB → FL1 → CP1; AB → FL2 → CP2; e AB → FL3 → CP3, sendo assim estão apresentados nas Figuras 5.22, 5.23 e 5.24 os valores médios relacionados a estes caminhos, respectivamente.

Tabela 5.26 – Valores máximo, médio e mínimo de oxigênio dissolvido ($\mu\text{g/L}$) apresentados pela água bruta e pelo efluente das unidades filtrantes durante todo o período de funcionamento.

PONTO	Etapa 1			Etapa 2		
	máx.	méd.	mín.	máx.	méd.	mín.
AB	8,25	7,58	6,91	9,48	8,56	7,25
FL1	4,79	4,01	2,79	4,46	3,99	3,35
FL2	9,81	8,78	7,58	9,03	8,26	7,47
FL3	10,82	9,33	6,69	8,47	7,68	7,02
CP1	8,37	7,22	4,13	6,69	5,03	0,00
CP2	8,25	6,71	4,90	6,91	5,71	4,46
CP3	7,58	6,41	5,13	6,69	5,09	4,24

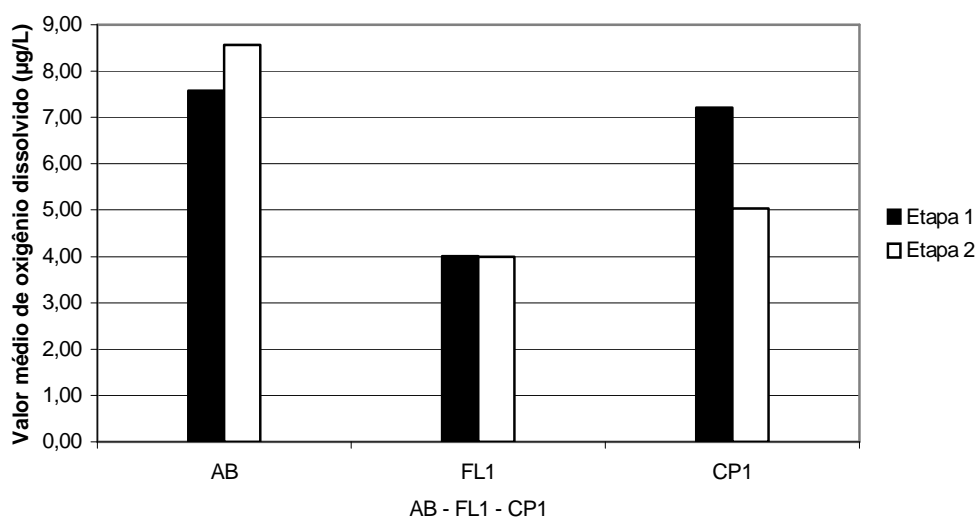


Figura 5.22 – Comparação do valor médio de oxigênio dissolvido apresentado pela água bruta e pelo efluente do FL1 e da CP1 nas duas etapas.

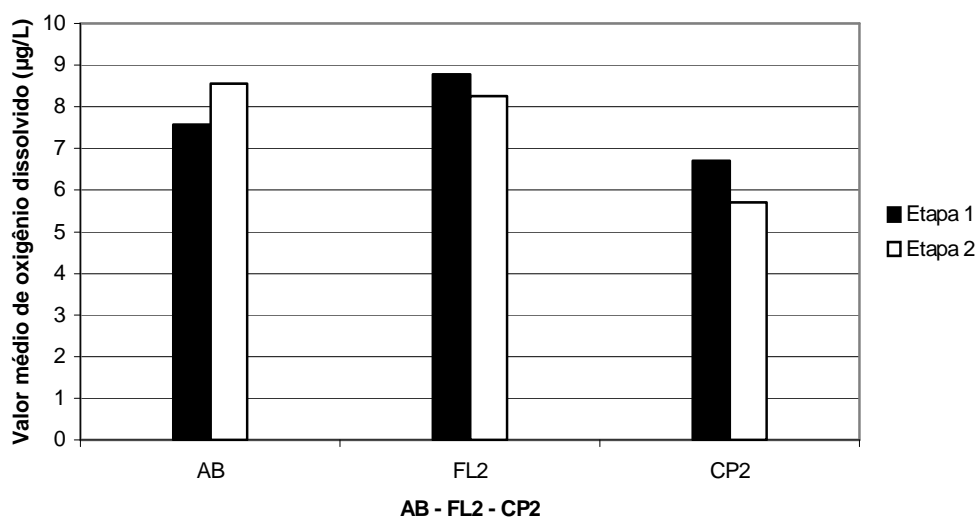


Figura 5.23 – Comparação do valor médio de oxigênio dissolvido apresentado pela água bruta e pelo efluente do FL2 e da CP2 nas duas etapas.

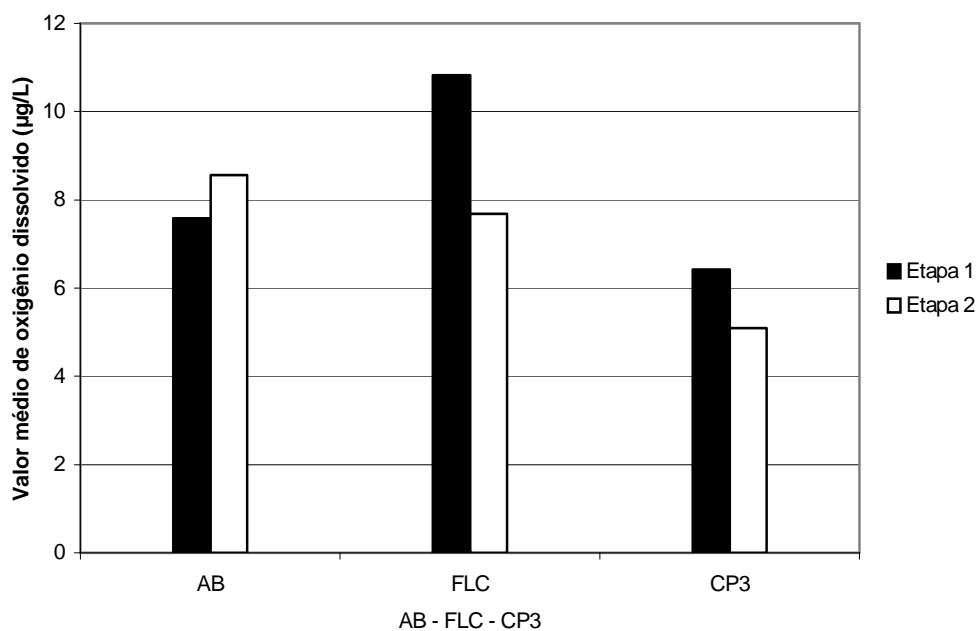


Figura 5.24 – Comparação do valor médio de oxigênio dissolvido apresentado pela água bruta e pelo efluente do FL3 e da CP3 nas duas etapas.

A matéria orgânica presente na água bruta é degradada em parte nos leitos cultivados e em parte no *schmutzdecke*, espera-se então que o teor de oxigênio dissolvido no efluente seja baixo (LONDE; PATERNIANI, 2003). Observa-se pela Figura 5.22 que em média o efluente do FL1 apresentou um valor de OD mais baixo do que a água bruta nas duas etapas, confirmando a teoria de funcionamento do filtro lento.

O efluente do FL2 e do FL3 na primeira etapa apresentou valores médios de OD acima do apresentado pela água bruta. Isto pode ter sido ocasionado por falhas na coleta do material, por diferenças na entrada da água nos filtros – o que pode ter proporcionado uma maior aeração – ou mesmo por erro de análise laboratorial. Na segunda etapa, estes valores ficaram abaixo do apresentado pela água bruta.

O efluente da CP1 sofreu um aumento na concentração de OD em relação ao efluente do FL1 tanto na primeira quanto na segunda etapa. Nas colunas de polimento CP2 e CP3 o valor médio de OD foi menor que o valor apresentado pelo FL2 e pelo FL3 em ambas as etapas. Isto ocorreu provavelmente em função de ter sido constatada a presença de algas na parte superior da camada superficial do carvão ativado granular.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A eficiência do sistema de pré-tratamento pelas colunas verticais foi constatada por meio da realização dos ensaios laboratoriais e da facilidade no procedimento de limpeza, sugerindo assim uma eficiente troca dos pré-filtros de pedregulho pelas colunas no tratamento de água através de uma estação tipo FiME.

No que diz respeito à limpeza, a remoção das colunas verticais de pré-filtração dos respectivos reservatórios por meio do engate rosqueado e a lavagem da areia e da manta utilizando-se jato de água e um reservatório demonstrou ser um procedimento mais rápido e mais eficiente que o realizado para limpeza dos pré-filtros de pedregulho, além de necessitarem de uma frequência menor de limpeza, proporcionando um retorno de produção de água tratada mais eficiente.

Com relação à remoção de turbidez os filtros lentos apresentaram remoção média diária praticamente igual entre si, em torno de 93%, com uma elevação na remoção logo nos 10 primeiros dias de coleta. As colunas verticais apresentaram uma crescente remoção ao longo de todo o período do experimento, porém só foi constatado um acentuado aumento após 35 dias do início. As menores taxas, 0,38 e 0,75m³/m².d., foram as que apresentaram melhores resultados de remoção de turbidez.

Os filtros lentos obtiveram um melhor desempenho do que as colunas verticais de pré-filtração na remoção de cor aparente na primeira etapa experimental, contudo, na segunda etapa houve queda na remoção dos filtros e elevação na das colunas verticais, tornando as médias nesta etapa muito próximas uma das outras nestas unidades, em torno de 85%. As taxas de filtração aplicadas às

colunas verticais tiveram pouca influencia na remoção deste parâmetro. O carvão ativado granular nas colunas de polimento proporcionou remoção global acima de 95% com relação à água bruta;

A remoção de cor verdadeira pelas unidades de filtração lenta variou muito entre as duas etapas experimentais, ocorrendo uma brusca queda na segunda etapa em todas estas unidades. Ao contrário, as colunas de polimento apresentaram elevação na remoção de cor verdadeira na transição entre as etapas, proporcionando, na última delas, remoção média global acima de 89%.

Tanto os filtros lentos quanto as colunas verticais de pré-filtração não apresentaram remoção satisfatória de coliformes totais. Isto pode ter ocorrido devido a erros nas análises e/ou leitura, contaminação nas coletas ou mesmo a formação de caminhos preferenciais no meio filtrante. A remoção de *E. coli* se procedeu da mesma forma que a de coliformes totais, contudo, quando analisado o efluente do filtro lento instalado após as colunas verticais este apresentou melhores resultados na remoção do que os filtros lentos abastecidos com água pré-tratada pelos pré-filtros de pedregulho.

Com relação à remoção de sólidos suspensos totais, as colunas verticais de pré-filtração apresentaram resultados mais satisfatórios que os filtros lentos e os pré-filtros de pedregulho durante o período de funcionamento da instalação piloto, verificando assim a eficiência do aparato na remoção deste parâmetro.

A remoção de diatomáceas, fitoflagelados, algas e cianobactérias foi eficiente tanto por parte dos filtros lentos quanto das colunas de pré-filtração. As colunas na primeira etapa atingiram remoção

média semanal de cerca de 95%, sendo assim configuradas como grandes removedoras de patógenos funcionando como pré-tratamento ao filtro lento. Os filtros lentos apresentaram remoção de cerca de 100% e 96% respectivamente na primeira e segunda etapa experimental.

Considerando o valor médio de clorofila-*a* verificado na água bruta (5,421µg/L) durante todo o período de coleta, verificou-se que a remoção nos filtros lentos e nas colunas de pré-filtração foi semelhante à remoção de algas e cianobactérias presentes. na água bruta.

Relacionando a remoção média de cada parâmetro analisado por cada taxa aplicada nas colunas verticais de filtração, constata-se que a maior eficiência foi a da coluna de menor taxa aplicada (0,38m³/m².dia), ficando em seqüência as taxas de 0,75, 1,50 e 3,00m³/m².dia.

Tendo em vista os dados e conclusões obtidas no trabalho, recomenda-se:

- Verificar se as diferenças entre os valores de remoção de alguns parâmetros analisados pelas colunas verticais de pré-filtração foram ocasionadas por características construtivas das colunas (tamanho, área efetiva de filtração, quantidade de orifícios nos tubos que coletam água filtrada);
- Aplicar cianobactérias e cianotoxinas nas colunas verticais de pré-filtração para avaliar a eficiência desta inovação tecnológica na remoção destes organismos e suas toxinas em quantidades elevadas;

- Avaliar a eficiência na remoção de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos de colunas verticais de filtração de maior porte, utilizando um material mais resistente que o poli cloreto de vinila (*pvc*), num mesmo reservatório.

7. REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods examination of water and wastewater**. 20.ed. Washington: APHA, 1998. 1 CD – ROM.

BRANDÃO, C. C. S.; AZEVEDO, S. M. F. O. **Cianobactérias tóxicas**: impactos na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano. Brasília: Ministério da Saúde, Funasa, 2001. 70p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria 518 do Ministério da Saúde de 2004. **Normas e padrão de potabilidade das águas destinadas ao consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

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. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, 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, p. 4543 – 4551, 2002.

COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO E DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS - CETESB. **Operação e Manutenção de E.T.A.** São Paulo: CETESB, 1973. v.2.

COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO E DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS. **Rios e reservatórios – Índices**. [s.l.:s.n., 2000?]. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iva_iet.asp>. Acesso em: 10 mar. 2008.

CEZAR, M. C. M.; ÁLVAREZ, C. M.; CARDOSO, L. O. D.; PIRES, V. A. C. ; BRANDÃO, C. S. Aplicação da filtração lenta e filtração direta ascendente no tratamento de águas com baixa turbidez e presença de algas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, 2003, Joinville. **Anais...** Joinville: ABES, 2003.

COSTA, R. H. **Estudos comparativos da eficiência de filtros lentos de areia convencional e de fluxo ascendente**. 1980. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1980.

CULLEN, T. R.; LETTERMAN, R. D. The effect of slow sand filter maintenance on water quality. **Journal of the American Water Works Association**, New York, v.77, n.12, p.48-55, 1985.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1993. v. 1. p. 481.

DI BERNARDO, L.; COLLAZOS, A. P. Comparação entre a pré-filtração em pedregulho e areia grossa com fluxo ascendente e fluxo descendente como pré-tratamento da filtração lenta. In:

SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 4, 1990, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: [s.n], 1990.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2.ed. São Carlos: RIMA, 2005. v.2, 792p.

DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. **Tratamento de água de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. Rio de Janeiro: ABES, 1999, 114p.

DI BERNARDO, L.; PATERNIANI, J. E. S.; GRAHAM, N. J. D. Investigação experimental sobre o desempenho de mantas sintéticas na filtração lenta. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, 22, 1990, San Juan. **Congreso...** San Juan: [s.n], 1990.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

FERRAZ, C. F. **Influência da redução da espessura da camada suporte na eficiência da filtração lenta com uso de mantas sintéticas não tecidas para águas de abastecimento**. 2001. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

FERRAZ, C. F.; PATERNIANI, J. E. S. Eficiência da filtração lenta em areia e manta não tecida no tratamento de águas de abastecimento para pequenas comunidades. In: CONGRESSO

INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2002, Porto Alegre
Anais... Porto Alegre: [s.n.], 2002a.

FERRAZ, C. F.; PATERNIANI, J. E. S. Redução da espessura da camada suporte através da substituição por mantas não-tecidas na filtração lenta de águas de abastecimento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.7, n. 1, p. 8-15, 2002b.

GALVIS, G.; LATORRE, J. ; VISSCHER, J. T. **Filtración en múltiples etapas, tecnología innovativa para el tratamiento de água.** [s.l.: s.n.], 1997. (Serie Documentos Técnicos).

HAARHOFF, J. ; CLEASBY, J. L. Biological and physical mechanisms in slow sand filtration. In: LONGSDON G. S. (Ed.). **Slow sand filtration.** New York: ASCE, 1991. p. 19-68.

HESPANHOL, I. **Investigação sobre o comportamento e aplicabilidade de filtros lentos do Brasil.** 1969. 163 f. Tese (Doutorado em Higiene e Saúde Pública) – Faculdade de Higiene e Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1969.

HESPANHOL, I. Filtração lenta. In: AZEVEDO NETTO, J. M. (Ed.). **Técnicas de abastecimento de água.** São Paulo: Cetesb, 1987. 2v. p. 941.

LONDE, L. R. ; PATERNIANI, J. E. S. Filtração lenta para reutilização de água em irrigação. **Irriga**, Botucatu, v.8, n.1, p. 10-20, 2003.

MELLO, O. M. T. **Avaliação do desempenho da filtração em múltiplas etapas no tratamento de águas com elevadas concentrações de algas.** 1998. 136 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

MENDES, C. G. N. et al. Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. In: PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO – PROSAB 4. Belo Horizonte: UFMG, 2006. p. 237-274.

MURTHA, N. A.; HELLER, L. Avaliação da eficiência da filtração lenta em areia segundo a profundidade do leito filtrante. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: [s.n], 1999.

MURTHA, N. A.; HELLER, L.; LIBÂNIO, M. A filtração lenta em areia como alternativa tecnológica para o tratamento de águas de abastecimento no Brasil. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, 1997, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: [s.n], 1997.

NUSCH, E. A. Comparison of different methods for chlorophyll and phacopigment determination. **Arch. Hydrobiol. Beih.**, Stuttgart, v. 14, p. 14-36, 1980.

PATERNIANI, J. E. S.; CONCEIÇÃO, C. H. Z. Eficiência da pré-filtração e filtração lenta no tratamento de água para pequenas comunidades. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.1, n. 1, p. 17-24, 2004.

SÁ, J. C. **Influência das características da camada filtrante e da taxa de filtração na eficiência de remoção de *Microcystis aeruginosa* e Microcistina na filtração lenta em areia.** 2006. 173 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SÁ, J. C.; OLIVEIRA, A. C. P.; AZEVEDO, S. M. F. O.; BRANDÃO, C. C. S. Remoção de *Microcystis Aeruginosa* pelo processo de filtração lenta. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28, 2002, Cancun. **Anais...** Cancun: [s.n.], 2002. p. 01-09.

SOUZA JÚNIOR, W. A. **Filtração em múltiplas etapas aplicada ao tratamento de águas com presença de algas:** avaliação de variáveis operacionais. 134f. 1999. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

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

VARESCHE, M. B. A. **Estudo sobre a interferência de algas no sistema de filtração lenta em areia.** 1989. 417 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

VERAS, L. R. V. **Tratamento de água superficial por meio de diferentes alternativas da tecnologia de filtração em múltiplas etapas.** 243 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

ANEXOS

ANEXO 1 – Valores verificados de temperatura e pH da água bruta nas etapas 1 e 2 do experimento.

ETAPA 1			ETAPA 1			ETAPA 2			ETAPA 2		
Nº da Coleta	Água Bruta (AB)		Nº da Coleta	Água Bruta (AB)		Nº da Coleta	Água Bruta (AB)		Nº da Coleta	Água Bruta (AB)	
	Temp. (°C)	pH		Temp. (°C)	pH		Temp. (°C)	pH		Temp. (°C)	pH
1	25,0	6,43	40	23,0	6,51	66	25,0	6,87	101	24,0	6,83
2	24,5	6,41	41	23,5	6,87	67	24,0	6,90	102	24,5	7,00
3	25,0	6,44	42	22,5	6,48	68	23,5	6,89	103	24,5	6,76
4	22,0	6,39	43	24,0	6,56	69	24,0	6,91	104	30,0	6,82
5	20,5	6,33	44	24,5	6,70	70	29,0	7,06	105	28,0	6,83
8	22,5	6,38	45	24,5	6,60	71	29,5	6,89	106	25,0	6,78
9	23,5	6,36	46	24,5	6,55	72	30,0	7,10	107	23,0	7,11
10	20,5	6,28	47	24,5	6,56	73	24,0	6,90	108	23,5	6,92
11	21,0	6,19	48	24,0	6,73	74	25,0	6,89	109	30,0	8,32
12	22,0	6,14	49	24,5	6,40	75	25,0	6,42	110	30,0	8,54
15	26,5	6,67	50	22,5	6,87	76	25,0	6,55	111	30,0	8,34
16	24,5	6,40	51	24,0	6,79	77	24,5	6,75	112	28,0	6,79
17	18,0	6,09	52	25,0	6,54	78	24,5	6,78	113	29,0	6,78
18	21,5	6,26	53	24,5	7,00	79	24,5	7,01	114	29,0	6,93
19	22,5	7,05	54	24,5	6,78	80	23,0	7,30	115	29,0	6,82
20	24,5	7,07	55	24,5	6,81	81	24,0	8,48	116	28,0	6,91
21	22,0	7,40	56	25,0	6,90	82	24,0	7,18	117	28,0	6,78
22	21,0	7,50	57	24,0	7,02	83	24,0	7,22	118	28,0	6,78
23	24,0	7,03	58	24,5	6,68	84	27,0	7,30	119	27,0	6,89
24	24,5	7,50	59	24,0	6,44	85	28,0	6,58	120	28,0	6,86
25	21,5	7,22	60	25,5	6,81	86	28,5	6,83	121	27,0	6,91
26	22,0	7,12	61	23,5	6,60	87	28,0	7,66			
27	16,5	6,84	62	24,5	6,70	88	27,5	7,20			
28	19,0	6,19	63	24,5	6,88	89	27,5	6,83			
29	16,5	6,50	64	24,5	6,33	90	28,0	6,80			
30	22,0	6,77	65	24,5	6,70	91	29,0	7,01			
31	21,0	6,62				92	26,0	6,75			
32	22,0	6,80				93	29,0	6,88			
33	22,5	6,93				94	27,0	7,01			
34	24,5	6,85				95	29,0	6,98			
35	23,5	6,72				96	28,0	7,15			
36	24,5	6,68				97	29,0	6,79			
37	22,5	6,69				98	30,0	7,13			
38	24,5	6,66				99	29,0	6,71			
39	24,5	6,56				100	25,0	6,89			

ANEXO 2 – Valores de condutividade apresentados pela água bruta nas etapas 1 e 2 do experimento.

Etapa	Nº da Coleta	Água Bruta (AB)
		Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Etapa 1	17	574
	21	550
	26	623
	30	620
	37	673
	44	609
	51	586
	56	588
62	627	
Etapa 2	72	720
	79	718
	85	750
	92	771
	98	784
	108	750
	112	804
119	764	

ANEXO 3 – Taxas de filtração (m³/m²/dia) apresentadas pelas unidades na etapa 1 do experimento.

Nº da Coleta	Unidades Filtrantes - Etapa 1												
	AB	PFD	PFVA	FL1	FL2	CVPF2	CVPF4	CVPF3	CVFFF1	CP1	CP2	CP3	FL3
1	-			3,00	2,94	1,57	1,42	0,78	0,39	13,44	8,32	8,16	4,17
2	-			2,97	3,00	3,01	1,49	0,90	0,41	13,60	7,04	4,16	5,80
3	-			3,00	3,05	2,75	1,55	0,80	0,39	14,08	6,72	-	5,49
4	-			2,94	3,00	2,88	1,50	0,80	0,39	13,44	5,76	5,92	5,58
5	-			2,94	3,05	2,75	1,49	0,78	0,43	13,28	4,96	5,44	5,45
8	-			2,97	2,94	2,88	1,49	0,82	0,39	12,48	4,80	5,76	5,58
9	-			3,23	3,11	2,95	1,49	0,82	0,38	12,32	8,48	8,32	5,63
10	-			3,05	3,00	2,09	1,50	0,82	0,39	12,00	8,80	8,16	4,81
11	-			3,02	3,00	2,09	1,49	0,85	0,39	11,68	8,64	8,00	4,82
12	-			3,00	2,94	1,83	1,47	0,86	0,41	12,96	8,64	8,64	4,57
15	-			2,94	2,97	1,83	1,58	0,78	0,41	10,40	8,48	8,00	4,61
16	-			1,38	1,67		1,36	0,88	0,42	9,28	8,48	5,60	-
17	-			3,17	3,00	2,75	1,52	0,82	0,38	9,12	7,20	8,00	5,46
18	-			3,17	2,97	3,14	1,52	0,85	0,41	9,12	6,08	7,52	5,92
19	-			3,17	3,00	3,14	1,50	0,85	0,42	9,12	6,72	7,84	5,91
20	-			3,11	3,00	3,14	1,50	0,80	0,38	7,68	7,68	7,36	5,83
21	-			1,67	1,44	1,57			0,35	8,00	6,88	7,36	
22	-			1,50	3,05	3,14	1,44	0,75	0,38	7,68	7,52	7,20	5,71
23	-			1,56	3,02	3,27	1,55	0,64	0,52	12,00	3,20	10,40	5,99
24	-			1,61	2,94	3,14	1,44	0,88	0,39	6,88	6,88	0,96	5,85
25	-			3,00	2,94	3,01	1,52	0,83	0,39	8,32	5,44	7,52	5,76
26	-			3,02	2,97	3,14	1,60	0,80	0,43	7,52	5,28	7,20	5,97
27	-			2,94	2,94	3,01	1,55	0,80	0,39	7,36	3,68	7,20	5,76
28	-			3,02	2,94	3,14	1,55	0,85	0,43	7,68	8,00	6,88	5,97
29	-			3,00	2,97	3,01	1,52	0,80	0,38	7,04	8,32	6,72	5,71
30	-			3,11	3,00	3,01	1,50	0,86	0,38	6,08	8,16	6,88	5,76
31	-			3,11	2,97	2,95	1,46	0,82	0,39	6,88	8,32	7,20	5,61
32	-			3,11	3,00	3,01	1,50	0,82	0,38	6,24	8,00	7,20	5,71
33	-			3,17	3,02	3,01	1,50	0,80	0,42	6,88	8,16	6,72	5,73
34	-			3,23	2,59	3,10	1,46	0,77	0,38	6,08	5,60	6,56	5,71
36	-			3,28	2,02	1,96	1,52	0,82	0,43	5,60	6,24	6,72	4,73
37	-			3,17	2,53	3,14	1,49	0,80	0,39	7,04	6,24	6,72	5,82
38	-			3,11	2,94	3,01	1,52	0,83	0,42	7,20	4,80	6,40	5,78
39	-			3,11	2,88	3,01	1,52	0,80	0,43	6,56	5,44	6,72	5,76
40	-			3,11	3,05	3,01	1,50	0,82	0,38	6,08	7,84	6,72	5,71
41	-			2,76	2,71	2,95	1,46	0,56	0,35	5,76	7,68	6,56	5,31
42	-			3,05	2,94	2,95	1,49	0,67	0,31	5,44	7,52	6,08	5,42
43	-			3,05	3,05	2,95	1,44	0,88	0,39	4,96	7,52	6,40	5,66
44	-			3,00	3,00	2,95	1,54	0,85	0,39	4,80	7,68	6,24	5,72
45	-			2,88	2,88	3,01	1,52	0,83	0,43	10,40	7,52	5,92	5,79
46	-			3,05	2,88	2,95	1,60	0,80	0,42	10,72	7,52	6,08	5,76
47	-			3,00	2,88	3,01	1,60	0,80	0,39	10,56	7,36	6,24	5,80
48	-			3,11	3,17	3,01	1,63	0,74	0,34	9,92	6,56	6,24	5,72
49	-			3,00	3,28	3,14	1,68	0,86	0,33	10,72	5,28	5,76	6,01
50	-			2,88	2,48	2,95	1,58	0,88	0,43	9,44	4,64	5,92	5,84
51	-			3,23	2,88	3,01	1,57	0,82	0,46	8,80	7,20	5,92	5,85
52	-			3,17	3,00	3,01	1,54	0,78	0,39	9,12	7,20	5,92	5,72
53	-			3,11	2,76	2,88	1,44	0,83	0,33	8,64	6,40	6,08	5,48
54	-					2,75	1,60	0,75	0,26			5,76	5,36
55	-			3,00	2,88	2,88	1,52	0,85	0,48	8,96	7,20	5,92	5,73
56	-			2,76	2,88	3,01	1,54	0,80	0,45	6,40	7,20	5,76	5,79
57	-			2,88	2,76	3,14	1,52	0,85	0,42	6,40	7,84	5,76	5,93
58	-			3,28	2,94	3,01	1,60	0,82	0,46	7,36	6,24	5,76	5,89
59	-			3,11	2,94	3,08	1,60	0,64	0,39	7,20	5,28	5,92	5,71
60	-			2,98	2,82	2,95	1,63	0,61	0,38	7,20	4,80	7,04	5,57
61	-			3,00	2,76	3,01	1,62	0,83	0,43	7,20	4,16	6,24	5,89
62	-			2,94	2,88	2,95	1,58	0,82	0,41	6,88	7,52	8,00	5,75
63	-			2,94		3,08	1,68	0,88	0,46	6,72		8,16	6,09
64	-			2,94	2,76	3,01	1,52	0,80	0,39	6,72	7,52	8,00	5,72
65	-			2,19	2,76	2,95	1,49	0,82	0,39	6,40	7,20	7,68	5,64

ANEXO 4 – Taxas de filtração (m³/m².dia) apresentadas pelas unidades na etapa 2 do experimento.

Nº da Coleta	Pontos de Coleta (Unidades Filtrantes)											
	PFD	PFVA	FL1	FL2	CVPF2	CVPF4	CVPF3	CVFFF1	CP1	CP2	CP3	FL3
66	12,94	12,44	3,00	3,00	3,01	1,52	0,80	0,39	6,88	8,16	7,52	5,72
67	12,94	12,44	3,00	3,05	3,14	1,52	0,80	0,39	6,72	8,00	7,68	5,85
68	13,29	11,40	3,00	3,11	3,01	1,49	0,82	0,39	7,20	8,32	7,20	5,71
69	13,82	13,48	3,00	3,17	3,01	1,52	0,83	0,43	7,04	8,00	7,04	5,79
70	13,47	13,13	3,05	3,11	3,01	1,47	0,78	0,39	6,88	8,16	6,88	5,66
71	13,82	13,13	3,00	3,05	2,88	1,54	0,80	0,43	7,04	8,00	6,88	5,65
72	13,65	13,31	3,00	3,11	2,88	1,54	0,78	0,39	7,04	8,16	7,52	5,59
73	13,65	13,31	3,00	3,00	3,01	1,52	0,80	0,39	7,04	8,16	6,88	5,72
74	13,82	12,96	3,02	3,17	2,95	1,60	0,75	0,43	7,04	7,84	7,04	5,73
75	13,65	13,13	3,05	3,17	2,95	1,58	0,80	0,42	7,04	7,68	7,04	5,75
76	13,82	12,96	3,00	3,11	2,88	1,57	0,77	0,43	7,04	7,68	7,04	5,65
77	13,65	13,13	3,05	3,17	3,01	1,52	0,80	0,42	6,88	7,68	6,88	5,75
78	13,82	12,96	3,17	3,17	3,01	1,55	0,80	0,41	6,88	7,68	7,36	5,77
79	13,82	13,13	3,11	3,17	3,01	1,54	0,83	0,38	6,56	7,68	7,84	5,76
80	12,41	10,37	3,11	3,11	3,14	1,52	0,78	0,45	6,72	4,16	7,68	5,89
81	12,76	13,13	2,88	2,94	3,14	1,58	0,82	0,41	6,72	7,68	12,32	5,95
82	13,29	12,61	3,11	3,00	3,14	1,58	0,80	0,39	7,04	7,52	7,68	5,92
83	14,53	10,89	2,88	2,88	3,01	1,58	0,72	0,37	6,56	7,36	7,52	5,68
84	12,94	12,61	2,88	3,00	3,14	1,57	0,80	0,39	6,72	7,20	7,68	5,90
85	11,17	10,89	3,00	2,94	3,01	1,55	0,78	0,39	6,40	7,20	7,36	5,74
86	11,08	10,80	3,02	2,88	3,01	1,54	0,83	0,39	6,72	7,20	7,36	5,77
87	9,39	8,64	3,02	2,88	3,01	1,54	0,82	0,43	6,24	6,72	7,52	5,79
88	9,22	8,99	3,02	3,00	3,01	1,52	0,80	0,39	6,40	6,72	7,84	5,72
89	11,25	9,85	3,00	2,88	2,87	1,60	0,80	0,34	5,87	6,72	9,12	5,61
90	11,34	10,28	3,05	2,85	2,81	1,54	0,80	0,32	3,36	6,72	8,64	5,48
91	10,99	10,54	3,00	3,00	3,14	1,52	0,83	0,39	7,68	6,72	8,48	5,89
92	10,99	10,71	3,00	3,00	3,01	1,52	0,78	0,39	7,68	7,36	8,32	5,71
93	10,81	10,54	3,00	3,00	3,14	1,57	0,80	0,46	8,00	8,32	8,48	5,97
94	10,81	10,71	3,46	3,00	3,14	1,68	0,80	0,43	8,48	8,48	9,60	6,05
95	10,81	10,54	3,28	3,00	3,14	1,68	0,77	0,45	8,00	8,64	9,76	6,03
96	11,52	11,23	3,05	3,00	3,14	1,58	0,77	0,46	4,80	7,84	8,16	5,95
97	11,52	10,37	3,11		3,14	1,52	0,80	0,42	5,28	8,00	8,00	5,88
98	10,81	11,23	3,00	2,88	3,01	1,50	0,78	0,41	15,04	8,00	8,00	5,70
99	10,63	10,20	3,00	3,17	3,01	1,50	0,83	0,41	15,20	8,00	8,00	5,75
100	10,99	10,02	3,00	3,11	3,01	1,60	0,74	0,38	15,20	8,00	8,32	5,73
101	10,81	10,02	3,00	3,11	3,01	1,63	0,80	0,38	15,04	8,16	8,32	5,82
102	11,34	10,37	3,05	3,05	3,01	1,60	0,80	0,56	15,20	8,00	8,16	5,97
103	11,17	10,71	2,94	3,00	3,01	1,57	0,80	0,51	15,36	7,84	8,00	5,89
104	11,17	10,37	3,05	3,11	2,88	1,50	0,80	0,39	14,56	8,00	8,32	5,58
105	11,34	10,37	3,00	3,11	3,01	1,58	0,80	0,39	14,40	8,00	8,00	5,79
106	11,52	11,23	2,97	3,02	3,01	1,55	0,80	0,39	13,60	7,84	7,68	5,76
107	11,34	10,71	3,02	2,88	3,01	1,54	0,80	0,41	14,40	7,68	8,00	5,75
108	11,34	11,06	2,88	2,88	3,01	1,54	0,80	0,41	14,24	7,84	8,00	5,75
109	12,05	10,20	3,00	3,05	3,01	1,62	0,74	0,37	14,88	7,52	8,00	5,73
110	11,87	9,50	3,05	3,05	2,88	1,61	0,72	0,33	15,04	7,84	8,48	5,54
111	11,34	9,85	3,02	3,11	3,01	1,60	0,80	0,48	14,72	7,68	8,32	5,90
112	11,52	9,50	3,00	3,05	2,95	1,57	0,83	0,39	14,72	7,68	7,84	5,74
113	11,52	10,54	3,00	3,05	3,08	1,54	0,82	0,38	15,20	7,68	8,48	5,81
114	11,17	10,02	2,97	3,11	3,01	1,44	0,77	0,37	15,36	7,04	8,00	5,59
115	11,34	9,85	3,00	3,17	3,01	1,60	0,75	0,45	15,20	7,52	8,48	5,81
116	11,34	10,02	2,94	3,11	3,01	1,58	0,85	0,43	15,20	7,68	8,48	5,87
117	11,34	10,20	2,88	3,05	3,01	1,57	0,83	0,43	15,04	7,52	8,32	5,84
118	11,34	10,37	2,70	3,17	2,00	1,54	0,74	0,35	15,04	7,60	0,32	5,51
119	11,34	10,37	2,82	3,17	3,01	1,54	0,83	0,39	14,40	7,36	8,48	5,77
120	11,34	9,85	2,71	3,17	3,01	1,55	0,83	0,41	14,72	7,36	8,48	5,80
121	11,34	9,85	2,97	2,97	2,95	1,54	0,78	0,43	14,72	7,36	8,32	5,70

ANEXO 5 – Turbidez (uT) verificada na água bruta e no efluente das unidades na etapa 1 do experimento.

Nº da Coleta	Pontos de Coleta (Unidades Filtrantes)												
	AB	PFD	PFVA	FL1	FL2	CVPF2	CVPF4	CVPF3	CVPF1	CP1	CP2	CP3	FL3
1	4,3			0,81	1,1	1,0	1,4	1,3	1,4	0,18	11	0,75	2,3
2	3,8			0,80	0,91	2,3	1,4	1,2	1,5	0,56	0,23	0,68	2,8
3	3,2			0,58	0,62	1,7	1,1	1,1	1,6	0,37	4,5	-	-
4	4,0			0,84	0,51	1,6	1,2	1,1	1,4	0,30	2,5	0,99	1,4
5	4,6			0,33	0,38	1,4	0,88	0,84	1,1	0,28	1,3	0,23	1,5
8	4,1			0,24	0,27	1,0	0,75	0,61	0,88	0,24	0,57	0,23	1,3
9	5,4			0,21	0,25	0,93	0,80	0,67	0,83	0,18	1,1	0,47	1,0
10	5,7			0,21	0,24	0,87	0,88	0,73	0,84	0,17	0,28	2,2	0,96
11	4,0			0,24	0,24	0,82	0,90	0,75	0,98	0,19	0,45	0,60	1,2
12	4,2			0,83	0,24	0,62	0,85	0,70	1,0	0,16	0,43	0,33	1,0
15	3,8			0,29	0,29	0,64	0,56	0,72	0,69	0,21	0,57	0,35	1,4
16	3,9			0,18	0,18	-	0,88	0,68	0,91	0,23	0,44	0,26	1,4
17	4,9			0,24	0,33	0,73	1,6	2,6	2,9	0,21	0,28	0,19	3,4
18	4,3			0,24	0,29	2,4	1,2	1,1	1,5	0,16	0,12	0,71	1,7
19	5,7			0,25	0,36	2,5	1,2	1,0	1,3	0,20	0,26	0,68	1,7
20	5,2			0,29	0,33	1,5	1,6	0,86	1,2	0,18	0,21	0,14	1,2
21	8,5			0,25	0,28	1,4	-	-	1,6	0,13	0,16	0,29	1,5
22	8,1			0,18	0,50	2,3	2,0	1,4	1,7	0,13	0,24	0,50	1,4
23	7,1			0,22	0,61	1,7	1,5	1,3	1,8	0,15	0,26	0,28	1,5
24	6,0			0,19	0,43	1,4	1,0	0,54	1,4	0,23	0,09	0,16	1,4
25	5,0			0,19	0,45	1,5	1,3	1,5	1,3	0,13	0,17	0,25	1,2
26	7,1			0,37	0,49	2,2	1,9	1,4	1,3	0,12	0,12	0,23	1,2
27	6,0			0,47	0,60	1,7	1,7	1,8	1,6	0,23	0,14	0,49	1,2
28	7,9			0,55	0,67	2,2	2,1	1,9	1,8	0,28	0,23	0,53	1,5
29	7,5			0,23	0,60	1,8	2,1	1,3	1,6	0,22	0,20	0,57	1,4
30	7,8			0,31	0,68	2,1	1,9	1,5	1,7	0,27	0,16	0,60	1,5
31	7,8			0,42	0,66	1,8	2,0	1,5	1,7	0,24	0,20	0,59	1,4
32	6,4			0,19	0,41	1,5	1,4	0,84	1,4	0,19	0,23	0,34	1,4
33	6,2			0,18	0,41	1,3	1,3	1,0	1,00	0,12	0,18	0,20	1,2
34	5,0			0,16	0,42	0,19	0,86	1,3	1,1	0,12	0,13	0,17	1,2
35	5,7			0,15	0,36	1,2	0,91	0,79	1,2	0,10	0,12	0,16	1,1
36	6,5			0,22	0,31	0,81	1,3	1,1	0,75	0,35	0,19	0,17	1,2
37	4,6			0,23	0,39	1,5	0,90	1,0	0,68	0,21	0,16	0,20	0,63
38	3,5			0,20	0,29	1,1	0,79	0,83	0,71	0,11	0,14	0,17	0,99
39	4,8			0,21	0,26	0,92	0,75	1,0	0,63	0,30	0,18	0,16	1,00
40	4,2			0,20	0,27	0,88	0,69	0,69	0,65	0,69	2,60	0,18	0,93
41	3,7			0,18	0,26	0,86	0,63	0,67	0,57	0,18	0,28	0,17	0,89
42	6,3			0,13	0,27	1,1	0,77	0,53	0,56	0,22	0,20	0,17	0,80
43	5,9			0,20	0,23	1,1	0,62	0,55	0,49	0,21	0,24	0,51	0,83
44	4,7			0,16	0,22	0,97	0,71	0,78	0,55	0,15	0,14	0,20	0,80
45	5,2			0,16	0,21	0,98	0,69	0,70	0,49	0,15	0,20	0,31	0,82
46	5,5			0,19	0,23	0,97	0,63	0,63	0,50	0,14	0,16	0,27	0,81
47	5,8			0,63	0,21	1,1	1,00	0,64	0,70	0,18	0,22	0,39	0,78
48	4,6			0,14	0,24	0,74	0,75	0,55	0,53	0,20	0,18	0,33	0,75
49	6,9			0,14	0,24	0,84	0,80	0,44	0,52	0,13	0,23	0,28	0,73
50	5,4			0,20	0,27	0,72	0,69	0,47	0,58	0,29	0,24	0,29	0,70
51	5,5			0,17	0,25	0,74	0,72	0,45	0,57	0,19	0,26	0,29	0,75
52	7,6			0,15	0,27	1,2	0,76	0,62	0,89	0,23	0,23	0,20	0,75
53	4,3			0,28	0,20	0,56	0,75	0,54	0,57	0,22	0,25	0,26	0,80
54	6,0			-	-	0,67	0,50	0,53	0,50	-	-	0,60	0,90
55	5,6			0,25	0,16	0,66	0,46	0,53	0,53	0,24	0,24	0,61	0,82
56	6,2			0,25	0,19	0,60	0,76	0,54	0,53	0,21	0,20	0,18	0,93
57	7,4			0,47	0,32	0,72	0,90	0,74	0,77	0,32	0,31	0,28	0,94
58	6,5			0,21	0,21	1,6	0,82	0,49	0,81	0,22	0,37	0,27	0,65
59	9,7			0,16	0,21	1,2	0,72	0,40	0,73	0,23	0,22	0,26	0,65
60	6,5			2,2	0,24	1,1	0,73	0,47	0,66	0,15	0,27	0,43	0,68
61	5,8			0,31	0,25	1,4	0,74	0,47	0,67	0,12	0,26	0,39	0,67
62	4,4			0,48	0,32	1,7	0,89	0,53	0,68	0,19	0,23	0,34	0,66
63	12			0,15	-	1,4	0,58	0,47	0,64	0,28	-	0,21	0,52
64	8,3			0,23	0,21	1,2	0,55	0,44	0,65	0,24	0,23	0,24	0,59
65	7,2			0,33	0,32	1,5	0,55	0,43	0,63	0,23	0,22	0,25	0,63

ANEXO 6 – Turbidez (uT) verificada na água bruta e no efluente das unidades na etapa 2 do experimento.

Nº da Coleta	Pontos de Coleta (Unidades Filtrantes)												
	AB	PFD	PFVA	FL1	FL2	CVPF2	CVPF4	CVPF3	CVPF1	CP1	CP2	CP3	FL3
66	7,2	4,7	3,5	0,26	0,37	0,68	0,48	0,33	0,44	0,22	0,12	0,28	0,69
67	7,6	4,0	2,7	0,29	0,30	0,60	0,40	0,31	0,50	0,33	0,24	0,31	0,65
68	6,9	3,5	8,3	0,21	0,35	1,1	0,52	0,47	0,67	0,28	0,13	0,30	0,78
69	9,3	2,8	2,8	0,25	0,32	2,9	0,50	0,38	0,60	0,34	0,32	0,28	0,62
70	4,9	1,8	1,5	0,17	0,23	0,61	0,43	0,34	0,48	0,14	0,22	0,23	0,61
71	4,8	1,8	1,2	0,17	0,21	0,68	0,50	0,35	0,50	0,11	0,23	0,21	0,64
72	3,8	2,2	1,6	2,3	0,19	0,56	0,40	0,36	0,40	0,15	0,17	0,33	0,62
73	4,3	0,98	0,89	0,26	0,20	0,36	0,40	0,31	0,44	0,27	0,37	0,26	0,61
74	4,5	1,9	1,5	0,18	0,28	0,53	0,44	0,35	0,45	0,12	0,30	0,27	0,66
75	4,4	1,7	1,2	0,14	0,24	0,49	0,47	0,36	0,43	0,15	0,18	0,21	0,64
76	4,3	1,6	1,1	0,32	0,36	0,43	0,33	0,34	0,38	0,25	0,66	0,55	0,61
77	4,1	1,5	1,2	0,18	0,33	0,51	0,40	0,40	0,47	0,18	1,63	0,50	0,65
78	4,5	1,8	1,1	0,22	0,31	0,52	0,42	0,47	0,41	0,72	0,29	0,24	0,63
79	3,4	2,1	1,2	0,21	0,24	0,54	0,38	0,38	0,43	0,17	0,19	0,18	0,49
80	4,3	2,8	1,5	0,29	0,21	0,64	0,39	0,51	0,55	0,16	0,34	0,27	0,56
81	2,7	2,7	1,4	0,25	0,25	0,68	0,41	0,42	0,50	0,40	0,27	0,31	0,60
82	3,7	2,1	1,6	0,17	0,21	0,55	0,38	0,38	0,41	0,12	0,23	0,38	0,53
83	11	2,4	1,6	0,28	0,30	0,57	0,38	0,40	0,45	0,24	0,49	0,54	0,57
84	3,3	2,1	1,5	0,27	0,26	0,55	0,58	0,38	0,42	0,23	0,95	0,55	0,55
85	3,3	2,9	1,4	0,18	0,26	0,60	0,38	0,40	0,46	0,28	0,21	0,22	0,57
86	2,6	3,4	1,1	0,13	0,20	0,55	0,31	0,42	0,42	0,37	0,18	0,17	0,52
87	7,7	2,6	1,3	0,17	0,21	0,54	0,38	0,49	0,42	0,28	0,35	0,21	0,58
88	6,7	2,3	1,3	0,33	0,29	0,56	0,38	0,41	0,47	0,25	0,54	0,35	0,74
89	6,5	2,3	1,3	0,43	0,31	0,56	0,28	0,56	0,41	0,21	0,34	0,43	0,57
90	5,8	2,0	1,0	0,89	0,37	0,50	0,34	0,36	0,48	0,21	0,59	0,60	0,68
91	1,4	2,0	0,82	0,12	0,26	0,40	0,27	0,29	0,36	0,38	0,36	0,43	0,52
92	3,6	2,4	0,75	0,20	0,21	0,40	0,30	0,27	0,40	0,12	0,23	0,23	0,58
93	1,7	2,3	0,74	0,23	0,41	0,39	0,27	0,30	0,36	0,11	0,15	0,22	0,61
94	14	2,5	0,89	0,23	1,1	0,47	0,32	0,31	0,37	0,14	0,36	0,40	0,56
95	4,5	2,2	0,81	0,22	0,41	0,42	0,27	0,32	0,42	0,11	0,33	0,31	0,57
96	5,3	2,0	0,92	0,17	0,27	0,43	0,34	0,34	0,39	0,16	0,24	0,21	0,62
97	2,7	1,8	0,77	0,18	-	0,46	0,34	0,37	0,39	0,19	0,20	0,19	0,51
98	2,9	1,9	0,70	0,18	0,23	0,41	0,33	0,29	0,40	0,12	0,17	0,23	0,57
99	2,7	1,8	0,78	0,17	0,23	0,41	0,32	0,26	0,40	0,15	0,19	0,22	0,54
100	4,1	1,9	1,0	0,18	0,36	0,48	0,36	0,38	0,48	0,15	0,20	0,32	0,63
101	3,3	1,7	0,94	0,25	0,27	0,41	0,34	0,27	0,32	0,11	0,17	0,25	0,44
102	8,6	2,7	1,2	0,27	0,60	0,60	0,54	0,53	0,64	0,29	0,48	0,70	1,0
103	8,3	2,7	1,1	0,26	0,48	0,54	0,43	0,41	0,53	0,13	0,46	0,60	0,38
104	4,4	3,0	1,5	0,36	0,55	0,63	0,82	0,69	0,75	0,20	0,34	0,54	1,4
105	4,6	3,4	1,4	0,46	0,53	0,58	0,62	0,52	0,75	0,29	0,40	0,45	1,0
106	4,9	3,7	1,5	0,50	0,55	0,58	0,72	0,62	0,81	0,29	0,53	0,45	1,1
107	11	5,0	2,3	0,42	0,56	1,00	0,77	0,75	0,92	0,38	0,39	0,50	0,96
108	5,7	4,5	1,4	0,33	0,57	0,77	0,72	0,65	0,73	0,26	0,30	0,46	1,1
109	4,2	3,4	1,4	0,21	0,50	0,63	0,58	0,56	0,86	0,26	1,1	0,45	0,94
110	3,4	2,7	1,1	0,24	0,45	0,59	0,55	0,55	0,69	0,28	0,72	0,55	0,98
111	3,4	2,7	1,3	0,23	0,44	0,56	0,57	0,56	0,68	0,21	0,29	0,66	0,91
112	3,7	2,9	1,0	0,31	0,43	0,64	0,67	0,55	0,82	0,36	0,34	0,46	1,1
113	3,7	2,7	1,0	0,25	0,43	0,56	0,57	0,48	0,67	0,26	0,27	0,46	0,99
114	4,7	3,6	1,8	0,22	0,51	0,64	0,62	0,57	0,74	0,26	0,26	0,44	0,94
115	4,6	3,8	2,0	0,35	0,52	0,79	0,63	0,66	0,69	0,37	0,24	0,33	0,96
116	4,5	3,6	1,9	0,30	0,52	0,51	0,61	0,53	0,65	0,28	0,25	0,37	0,64
117	4,8	3,7	1,6	0,30	0,51	0,53	0,68	0,59	0,70	0,27	0,26	0,41	0,75
118	4,8	3,2	1,6	0,31	0,50	0,56	0,62	0,53	0,66	0,28	0,23	0,41	0,74
119	8,8	4,7	1,4	0,38	0,41	0,59	0,87	0,79	0,94	0,33	0,31	0,40	1,01
120	8,7	4,8	1,4	0,37	0,42	0,52	0,87	0,79	0,93	0,34	0,32	0,42	0,76
121	5,4	4,5	1,6	0,31	0,48	0,77	0,86	0,78	0,82	0,32	0,38	0,81	1,14

ANEXO 7 – Cor aparente (uH) verificada na água bruta e no efluente das unidades na etapa 1 do experimento.

Nº da Coleta	Pontos de Coleta (Unidades Filtrantes)												
	AB	PFD	PFVA	FL1	FL2	CVPF2	CVPF4	CVPF3	CVPF1	CPI	CP2	CP3	FL3
1	49			20	26	27	28	26	16	17	12	17	30
2	32			4	8	19	11	12	12	0	6	2	16
3	30			5	8	18	13	14	17	4	29	-	-
4	30			6	8	18	19	15	19	11	10	7	13
5	28			3	5	13	13	8	9	0	8	0	6
8	27			1	3	10	8	8	9	2	4	3	11
9	30			3	6	13	10	10	11	4	5	2	8
10	33			2	8	13	16	16	17	5	8	10	14
11	36			8	9	13	10	10	13	1	2	1	8
12	37			3	3	6	9	9	9	0	0	1	8
15	34			0	3	8	8	8	10	1	5	6	11
16	38			5	9	-	13	13	16	5	5	4	12
17	32			1	3	9	24	24	25	1	1	0	25
18	36			0	4	20	10	10	13	0	0	0	11
19	37			0	3	20	12	12	11	0	0	0	13
20	53			2	3	16	14	12	12	0	2	0	10
21	69			0	1	11	-	-	10	2	2	0	6
22	63			0	3	10	3	14	8	1	0	0	6
23	60			10	29	21	19	10	17	13	5	8	18
24	52			9	6	12	16	4	14	1	0	0	9
25	39			0	0	6	16	6	6	0	0	4	8
26	59			3	5	15	9	12	14	2	0	4	23
27	61			1	7	13	8	8	14	2	0	0	11
28	74			6	11	22	30	22	16	2	5	1	14
29	69			3	3	19	22	11	15	1	3	2	10
30	66			1	5	20	19	9	15	0	9	5	9
31	67			3	7	20	19	8	13	1	4	1	10
32	69			9	15	27	15	17	20	10	3	7	21
33	57			7	2	10	9	11	9	0	0	10	20
34	43			0	1	8	6	8	11	0	0	0	7
35	37			0	5	13	10	9	1	0	0	1	6
36	48			0	0	0	0	0	2	0	0	0	9
37	17			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	30			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	46			0	0	0	1	11	2	0	0	0	7
40	44			4	0	7	13	4	0	0	0	0	8
41	31			0	10	7	5	8	6	0	0	0	5
42	54			0	6	11	7	5	7	0	0	2	5
43	41			0	2	6	0	0	1	0	0	1	0
44	29			0	1	0	2	2	0	0	0	0	2
45	30			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	32			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	56			7	11	16	9	13	5	8	6	6	7
48	43			0	1	9	5	1	4	0	0	4	8
49	56			0	4	9	1	0	3	0	0	0	7
50	43			3	7	5	7	6	5	6	2	4	18
51	36			0	0	12	0	9	3	1	2	0	9
52	48			0	0	4	0	12	0	0	0	0	0
53	37			0	0	6	3	0	1	0	0	0	0
54	46			-	-	12	9	0	2	-	-	1	2
55	47			0	0	8	4	0	1	0	0	1	0
56	45			0	0	5	3	0	1	0	0	0	1
57	70			3	2	12	10	12	5	5	3	4	7
58	87			7	14	19	8	18	16	9	7	4	7
59	43			2	5	10	7	6	13	0	0	1	4
60	51			5	1	7	4	2	6	0	0	0	1
61	48			4	1	6	3	2	5	0	0	0	0
62	45			3	1	5	4	4	5	0	0	0	0
63	75			0	-	16	0	0	0	0	-	0	2
64	71			2	2	5	1	1	3	0	0	0	2
65	70			1	1	4	0	0	2	0	0	0	0

ANEXO 8 – Cor aparente (uH) verificada na água bruta e no efluente das unidades na etapa 2 do experimento.

Nº da Coleta	Pontos de Coleta (Unidades Filtrantes)												
	AB	PF2	PFVA	FL1	FL2	CVPF2	CVPF4	CVPF3	CVPF1	CP1	CP2	CP3	FL3
66	50	33	26	2	6	10	8	10	8	0	1	1	3
67	44	28	30	4	3	11	7	5	11	1	1	2	5
68	68	24	34	0	4	11	11	8	5	0	0	2	1
69	75	34	31	2	5	15	8	17	10	7	4	4	5
70	48	32	24	6	7	13	9	14	16	2	1	12	12
71	40	25	16	7	8	12	9	13	15	2	1	9	7
72	38	18	14	8	14	6	10	11	13	8	0	0	7
73	62	31	19	20	10	4	6	6	10	0	0	0	7
74	30	21	18	2	3	6	4	10	9	5	2	0	6
75	49	22	17	6	5	8	10	10	10	5	5	5	9
76	54	14	8	5	11	9	3	9	3	1	0	0	0
77	35	12	15	0	0	3	3	2	1	0	2	8	1
78	43	20	24	5	17	15	19	13	11	7	14	0	7
79	49	32	27	14	0	17	15	18	20	0	19	18	14
80	38	21	17	1	7	8	9	11	10	2	5	8	6
81	26	25	16	3	4	7	5	5	6	1	1	0	5
82	26	22	17	0	3	7	6	7	7	0	1	0	6
83	62	21	27	0	3	7	4	5	5	0	1	2	4
84	36	21	25	0	3	7	5	5	4	0	0	0	4
85	92	26	18	6	3	7	5	27	8	0	0	1	14
86	28	39	15	11	4	7	5	9	10	2	3	1	7
87	93	27	11	4	3	4	1	6	0	0	0	0	1
88	49	28	11	6	2	6	4	2	5	0	0	0	0
89	38	17	10	7	1	5	3	2	5	0	0	0	0
90	45	16	7	6	2	5	2	4	5	0	0	1	5
91	49	25	14	5	7	10	9	10	8	5	4	4	8
92	42	21	11	3	4	5	5	4	4	1	0	3	4
93	39	28	19	13	6	8	6	6	7	0	0	0	6
94	82	22	11	1	19	6	3	4	4	0	1	1	6
95	50	24	13	11	10	7	2	3	4	0	1	0	0
96	72	28	3	10	6	6	2	6	3	0	2	0	6
97	33	20	11	2	-	6	5	8	6	4	2	2	4
98	30	16	14	10	3	5	4	0	0	0	0	0	20
99	30	15	14	10	6	6	6	7	6	4	0	0	4
100	33	16	9	0	4	5	5	4	4	0	0	1	4
101	25	15	7	0	0	3	1	1	2	<1	<1	0	1
102	26	8	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
103	25	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
104	25	17	11	0	6	5	5	5	6	1	1	1	1
105	33	24	13	4	8	8	10	10	8	4	4	3	3
106	55	25	15	6	10	11	9	11	9	5	0	5	15
107	27	22	12	0	4	3	4	3	5	2	0	0	1
108	32	20	8	0	5	5	6	4	5	0	9	0	5
109	46	15	6	0	7	2	9	5	5	0	2	1	5
110	37	14	4	0	2	5	6	4	4	0	0	0	3
111	28	23	10	1	4	7	6	5	7	0	0	2	5
112	22	21	11	5	8	12	9	9	8	2	3	6	8
113	21	20	10	4	8	10	8	5	6	0	0	0	5
114	18	17	14	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
115	28	21	12	1	5	7	2	8	9	0	0	0	6
116	26	20	10	0	6	6	6	6	8	0	0	0	5
117	28	19	12	1	2	5	1	1	5	0	0	0	3
118	27	20	11	0	2	5	1	1	5	0	0	0	2
119	42	33	12	4	7	4	9	1	9	3	3	4	5
120	37	25	15	3	5	5	9	1	5	3	3	3	2
121	23	21	11	0	5	5	3	4	5	0	0	1	4

ANEXO 9 – Cor verdadeira (uH) verificada na água bruta e no efluente das unidades na etapa 1 do experimento.

Coleta	Pontos de Coleta (Unidades Filtrantes)												
	AB	PFD	PFVA	FL1	FL2	CVPF2	CVPF4	CVPF3	CVPF1	CP1	CP2	CP3	FL3
30	7			1	0	0	0	3	5	1	3	5	1
37	5			0	2	2	2	5	1	1	0	<1	<1
44	53			5	9	6	6	5	7	7	9	2	10
51	12			2	1	4	2	2	2	-	-	-	-
56	4			4	3	2	4	1	2	<1	<1	<1	<1
62	6			2	2	4	2	6	1	<1	<1	<1	2

ANEXO 10 – Cor verdadeira (uH) verificada na água bruta e no efluente das unidades na etapa 2 do experimento.

Coleta	Pontos de Coleta (Unidades Filtrantes)												
	AB	PFD	PFVA	FL1	FL2	CVPF2	CVPF4	CVPF3	CVPF1	CP1	CP2	CP3	FL3
66	9	-	-	0	2	5	4	4	4	1	5	1	5
72	6	5	5	4	5	6	5	5	6	3	2	1	4
79	9	6	6	0	1	6	3	2	1	0	1	1	1
85	6	4	1	2	<1	<1	2	<1	<1	<1	<1	<1	<1
92	<1	7	4	<1	<1	<1	<1	<1	6	<1	<1	<1	<1
97	12	7	2	3	4	5	9	6	2	2	0	0	1
108	6	5	5	1	<1	3	<1	<1	2	<1	<1	<1	1
112	21	13	11	6	9	8	6	5	9	<1	0	1	6
119	9	12	9	7	8	11	7	5	6	0	2	5	3

ANEXO 11 – Coliformes totais verificados na água bruta e no efluente das unidades na etapa 1 e 2 do experimento.

Contagem de Coliformes Totais (24h) - Etapa 1										
Etapa	Coleta	Pontos de Coleta (Unidades Filtrantes)								
		AB	PFD	PFVA	FL1	FL2	CVPF2	CVPF4	CVPF3	CVPF1
Etapa 1	12	29			0	0	1	3	1	11
	17	28			0	0	0	31	16	16
	21	23			0	0	1	0	0	0
	26	22			0	0	0	6	1	2
	30	19			0	0	1	1	0	1
	37	31			0	0	5	27	2	0
	44	20			0	0	1	11	0	0
	51	25			0	0	0	14	0	0
	56	26			0	0	0	23	0	0
Etapa 2	66	13	12	9	0	0	0	4	0	1
	72	20	19	17	0	0	3	7	0	0
	79	7	6	6	0	0	0	0	0	0
	85	15	13	12	1	15	0	0	12	29
	92	10	6	3	0	0	3	1	1	1
	98	14	14	13	0	0	4	1	0	2
	108	15	3	9	0	0	13	9	12	1
	112	22	9	16	0	2	10	17	22	21
	119	18	17	8	0	0	12	12	17	13

ANEXO 12 – E. coli verificada na água bruta e no efluente das unidades na etapa 2 do experimento.

Coleta	Pontos de Coleta (Unidades Filtrantes)								
	AB	PFD	PFVA	FL1	FL2	CVPF2	CVPF4	CVPF3	CVPF1
66	7	-	-	0	0	0	0	0	0
72	0	-	-	0	0	1	1	0	0
79	0	-	-	0	0	0	0	0	0
85	0	-	-	0	0	0	0	0	0
92	0	0	0	0	0	0	0	4	0
98	0	0	0	0	0	2	1	0	2
108	0	0	0	0	0	1	0	2	1
112	0	0	1	0	0	0	0	0	0
119	2	1	1	0	0	0	0	-	0

ANEXO 13 – Sólidos suspensos totais verificados na água bruta e no efluente das unidades nas etapas 1 e 2 do experimento.

Sólidos Suspensos (mg/L)										
Etapa	Coleta	Pontos de Coleta (Unidades Filtrantes)								
		AE	PFD	PFVA	FL1	FL2	CVPF2	CVPF4	CVPF3	CVPF1
Etapa 1	21									
	26	10,4500			7,0968	9,4771	0,0000	0,0000	7,4675	0,0000
	30	5,1250			4,4025	0,6452	0,0000	2,5641	2,5000	-
	37	7,0968			2,1944	7,0056	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	44	14,6675			0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	51	12,9032			0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	56	2,5806			0,0000	0,9677	1,2579	0,0000	0,0000	0,0000
Etapa 2	66	20,8075	10,6560	7,2450	0,0000	1,2539	0,0000	0,0000	0,0000	2,8125
	72	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	79	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	85	15,3760	12,3780	11,7500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	92	7,1450	6,5400	6,1020	3,4483	3,1646	0,0000	0,6211	1,2500	2,2436
	97	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	108	5,3125	3,2051	3,7618	4,6875	4,0000	4,6875	5,5901	4,7468	4,8780
	112	0,9820	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,2000	0,8650	0,0000	0,0000
	119	9,8337	7,9618	3,5032	13,6076	3,1546	2,1875	4,4304	2,1341	1,5337

ANEXO 14 – Contagem de algas verdes e cianobactérias na água bruta e no efluente das unidades nas etapas 1 e 2 do experimento.

Etapa	Coleta	Algas Verdes e cianobactérias (cél./mL)								
		AB	PFD	PFVA	FL1	FL2	CVPF2	CVPF4	CVPF3	CVPF1
Etapa 1	12	13,57			0,45	0,00	0,90	0,68	1,36	0,45
	17	36,20			0,90	0,45	5,88	1,36	0,90	0,00
	21	3,17			-	-	7,20	-	4,30	-
	26	-			-	-	-	-	-	-
	30	59,05			0,23	0,00	4,07	0,90	3,85	3,39
	37	403,62			0,68	0,00	0,00	80,09	0,00	0,00
	44	1259,50			9,73	0,68	82,81	100,90	47,51	57,92
	51	774,66			21,27	21,95	24,66	17,42	2,71	21,49
	56	456,56			1,36	2,49	16,06	28,73	9,28	9,28
63	289,59			20,36	11,54	39,37	8,14	4,07	8,14	
Etapa 2	66	538,46	0,00	144,12	29,86	47,06	85,97	20,14	19,68	16,29
	72	774,66	80,09	36,88	0,90	0,00	0,45	2,49	2,71	2,04
	79	550,68	193,89	28,28	3,39	6,79	8,82	14,93	10,18	8,14
	85	343,89	264,93	19,46	1,36	3,39	16,06	29,86	9,50	9,28
	92	325,79	163,57	32,13	5,20	9,50	8,60	16,29	8,82	6,11
	101	139,82	121,04	9,05	1,13	0,90	2,26	0,68	3,17	1,13
	105	66,97	21,95	18,55	3,85	7,92	12,90	13,57	9,50	4,30
	112	45,25	27,15	17,87	0,90	3,39	16,06	29,86	9,50	9,28

ANEXO 15 – Contagem de fitoflagelados na água bruta e no efluente das unidades nas etapas 1 e 2 do experimento.

Etapa	Coleta	Fitoflagelado (cél./mL)								
		AB	PFD	PFVA	FL1	FL2	CVPF2	CVPF4	CVPF3	CVPF1
Etapa 1	12	0,23			0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00
	17	0,90			0,00	0,00	0,90	0,45	0,23	0,00
	21	0,23			-	-	0,23	-	0,00	-
	26	-			-	-	-	-	-	-
	30	2,26			0,23	0,23	0,45	0,45	1,36	0,68
	37	190,04			0,00	0,00	0,00	2,71	0,00	0,00
	44	20,81			1,13	0,23	7,92	10,18	2,71	2,94
	51	7,24			0,45	0,68	0,90	0,45	0,45	2,26
	56	22,17			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
63	25,57			2,26	5,43	13,57	4,75	5,43	4,30	
Etapa 2	66	62,90	-	15,16	8,14	11,99	8,82	1,13	9,05	8,60
	72	7,24	0,45	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
	79	18,78	10,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	85	2,26	2,26	0,90	0,00	0,23	0,68	0,00	0,00	0,23
	92	4,30	8,14	11,99	2,71	1,81	2,26	1,58	0,00	0,00
	101	1,13	0,90	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,23
	105	4,98	0,00	0,00	2,04	2,26	4,98	2,04	0,00	2,04
	112	0,68	0,00	0,00	0,00	0,23	0,68	0,00	0,00	0,23

ANEXO 16 – Contagem de fitoflagelados na água bruta e no efluente das unidades nas etapas 1 e 2 do experimento.

Etapa	Coleta	Diatomáceas (cél./mL)								
		AB	PFD	PFVA	FL1	FL2	CVPF2	CVPF4	CVPF3	CVPF1
Etapa 1	12	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	17	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	21	0,00			-	-	0,00	-	0,00	-
	26	-			-	-	-	-	-	-
	30	0,23			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
	37	2,05			0,23	0,00	2,04	0,90	0,68	0,00
	44	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	51	2,71			0,00	0,00	0,00	1,13	0,00	0,45
	56	11,76			0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00
63	0,90			0,00	0,00	0,90	0,23	0,23	0,45	
Etapa 2	66	7,24	4,52	5,20	0,00	0,00	1,36	0,45	0,00	0,00
	72	2,71	0,68	0,68	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00
	79	14,48	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	85	4,00	4,52	1,36	0,00	0,23	0,00	0,23	0,00	0,00
	92	12,90	2,94	0,00	1,13	0,68	1,13	0,00	0,00	0,45
	101	7,00	7,69	0,90	0,00	0,00	0,45	0,00	0,00	0,00
	105	1,81	0,68	0,90	0,68	1,58	1,13	0,00	0,00	0,45
	112	5,00	0,68	5,20	0,00	0,23	0,00	0,23	0,00	0,00

ANEXO 17 – Contagem de algas verdes e cianobactérias, fitoflagelados e diatomáceas na água bruta e no efluente das unidades nas etapas 1 e 2 do experimento.

Etapa	Coleta	Algas verdes e cianobactérias, fitoflagelados e diatomáceas (cel/mL)								
		AB	PFD	PFVA	FL1	FL2	CVPF2	CVPF4	CVPF3	CVPF1
Etapa 1	12	13,80	0,00	0,00	0,45	0,00	1,13	0,68	1,36	0,45
	17	37,10	0,00	0,00	0,90	0,45	6,79	1,81	1,13	0,00
	21	3,40	0,00	0,00	-	-	7,43	-	4,30	-
	26	-	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-
	30	61,54	0,00	0,00	0,45	0,23	4,52	1,36	5,20	4,30
	37	595,71	0,00	0,00	0,90	0,00	2,04	83,71	0,68	0,00
	44	1280,31	0,00	0,00	10,86	0,90	90,72	111,09	50,23	60,86
	51	784,61	0,00	0,00	21,72	22,62	25,57	19,00	3,17	24,21
	56	490,50	0,00	0,00	1,36	2,49	16,29	28,73	9,28	9,50
63	316,06	0,00	0,00	22,62	16,97	53,85	13,12	9,73	12,90	
Etapa 2	66	608,60	4,52	164,48	38,01	59,05	96,15	21,72	28,73	24,89
	72	784,61	81,22	38,24	0,90	0,00	0,45	2,71	2,71	2,26
	79	583,94	205,43	28,28	3,39	6,79	8,82	14,93	10,18	8,14
	85	350,15	271,72	21,72	1,36	3,85	16,74	30,09	9,50	9,50
	92	342,99	174,66	44,12	9,05	11,99	11,99	17,87	8,82	6,56
	101	147,95	129,64	10,18	1,13	0,90	2,71	0,68	3,39	1,36
	105	73,76	22,62	19,46	6,56	11,76	19,00	15,61	9,50	6,79
	112	50,93	27,83	23,08	0,90	3,85	16,74	30,09	9,50	9,50

ANEXO 18 – Clorofila-a na água bruta e no efluente das unidades nas etapas experimentais 1 e 2.

Etapa	Coleta	Clorofila-a (µg/L)								
		AB	PFD	PFVA	FL1	FL2	CVPF2	CVPF4	CVPF3	CVPF1
Etapa 1	37	11,160	-	-	0,279	-0,558	0,837	0,000	9,207	4,185
	44	6,138	-	-	0,000	0,000	0,000	10,602	0,000	0,000
	56	5,022	-	-	0,558	0,279	0,279	0,279	-0,553	-1,116
Etapa 2	66	-	11,718	-	0,000	-0,837	1,674	0,279	-0,837	0,279
	79	4,185	2,511	-1,395	1,953	1,674	-0,837	0,000	-0,553	0,000
	92	6,138	1,674	-2,232	-0,837	0,279	-0,279	-0,279	-0,279	-0,279
	108	1,674	0,279	1,953	0,558	0,279	0,279	0,279	-4,297	-4,046
	119	3,627	2,790	3,069	-0,279	0,000	-0,558	0,000	-0,553	0,279

ANEXO 19 – Oxigênio dissolvido na água bruta e no efluente das unidades nas etapas experimentais 1 e 2.

Etapa	ColetaOxigênio dissolvido (µg/L).....						
		AB	FL1	FL2	FL3	CP1	CP2	CP3
Etapa 1	12		2,79	9,03	8,81	4,13	4,90	6,24
	17		3,68	9,59	10,48	7,25	8,25	5,13
	21		4,24	8,70	10,26	7,25	6,24	6,02
	26		3,79	8,70	9,81	6,92	6,69	7,24
	30		3,90	8,25	9,70	7,47	7,58	7,36
	37	8,03	4,79	8,48	8,70	8,37	7,36	6,46
	44	7,47	4,79	8,59	8,59	8,03	7,69	7,02
	51	7,25	4,46	9,81	9,48	7,81	6,69	7,58
	56	0,25	3,79	9,03	10,02	7,01	5,57	5,00
62	6,91	3,90	7,58	6,69	7,14	6,13	5,35	
Etapa 2	66	8,81	3,35	8,48	7,92	0,00	6,58	5,24
	72	8,14	3,90	8,25	7,14	6,69	6,91	5,35
	79	9,37	3,35	9,03	8,47	5,69	6,35	6,69
	85	9,48	3,90	8,36	7,25	5,46	5,35	5,46
	92	9,03	4,35	8,14	7,58	5,91	5,02	5,13
	98	8,48	4,35	7,47	7,36	5,57	5,91	4,46
	108	8,36	4,24	8,36	8,36	6,35	5,91	4,24
	112	7,25	4,46	8,03	7,02	5,13	4,90	4,57
119	8,14	4,01	8,25	8,03	4,46	4,46	4,68	