Campus de São Carlos

**REMOÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS
NA DUPLA FILTRAÇÃO COM FILTRO
ASCENDENTE DE PEDREGULHO**

BIANCA DIEILE DA SILVA BENINI

ORIENTADOR: PROF. TIT. LUIZ DI BERNARDO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 16 / 05 / 03

Ass.:

REMOÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS NA DUPLA FILTRAÇÃO COM FILTRO ASCENDENTE DE PEDREGULHO

Bianca Dieile da Silva Benini

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

ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Di Bernardo

DEDALUS - Acervo - EESC

31100043475

São Carlos
2003

✓

Class.	TESE
Cult.	0718
Tombo	T101/03
Syno	1314900

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

B467r

Benini, Bianca Dieile da Silva

Remoção de substâncias húmicas na dupla filtração
com filtro ascendente de pedregulho / Bianca Dieile da
Silva Benini. -- São Carlos, 2003.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2003.

Área: Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Di Bernardo.

1. Tratamento de água para abastecimento.
2. Remoção de substâncias húmicas. 3. Filtro
ascendente de pedregulho. 4. Dupla filtração.
- I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Bacharel **BIANCA DIEILE DA SILVA BENINI**

Dissertação defendida e julgada em 25-04-2003 perante a Comissão Julgadora:

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

APROVADA

Prof. Dra. **ENY MARIA VIEIRA**
(Instituto de Química de São Carlos/USP)

APROVADA

Prof. Dr. **VALTER LÚCIO DE PÁDUA**
(Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG)

Aprovada

Prof. Associada **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia (Hidráulica e Saneamento) e
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

*À minha família pelo apoio
e ao Gui
pelos sonhos.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Luiz Di Bernardo pela oportunidade, confiança e ensinamentos. Obrigada pela orientação precisa e oportuna nos momentos de dúvida.

À Professora Eny e ao Professor Valter pela atenciosa correção e preciosas sugestões para melhoria deste trabalho.

Aos meus pais e irmãos, pelo amor, apoio e incentivo.

Ao Guilherme pela incrível capacidade de mesmo tão longe caminhar ao meu lado, sem o qual a vida não seria tão colorida.

À Engenheira Giovana Wiecheteck pela imprecindível ajuda, ensinamento e companheirismo na realização do trabalho experimental.

Ao Chico por sua disposição em sempre nos ajudar a solucionar problemas e aos técnicos Júlio, Cidinha e Paulo pela ajuda e orientação no laboratório.

À Engenheira Cristina Paschoalato pela simpática ajuda nos problemas analíticos.

Aos meus amigos engenheiros Marcelo De Júlio, Guilherme Maia, Sérgio Brasil, Sérgio Luís, Alisson e Marcelo Eustáquio este período não teria sido tão divertido sem vocês.

Às meninas de casa, que me receberam tão bem: Thaís, Dedê, Nádia, Simone e Élide. E a agregada Simone.

À CnPq pela concessão da bolsa de estudo.

A FINEP pelos recursos financeiros concedidos ao PROSAB 3 do qual este trabalho faz parte.

Obrigada a todos que colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE ABREVIADURAS E SIGLAS.....	iv
LISTA DE SÍMBOLOS.....	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	3
3. REVISÃO DA LITERATURA	4
3.1 Substâncias Húmicas.....	4
3.1.1 Definição e características.....	4
3.1.2 Influência das substâncias húmicas no tratamento de água.....	6
3.1.3 Processos de remoção de substâncias húmicas.....	7
3.1.3.1 Coagulação das substâncias húmicas.....	8
3.2 Filtração.....	12
3.2.1 Filtração ascendente.....	12
3.2.2 Filtração em pedregulho.....	20
3.3 Dupla filtração.....	22
3.4 Considerações finais.....	27
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
4.1 Considerações Iniciais.....	29

4.2 - 1º Etapa – Extração e caracterização das substâncias húmicas.....	30
4.3 - 2º Etapa – Ensaio de laboratório.....	35
4.3.1 Fase 1 – Variação da cor verdadeira em relação ao pH.....	35
4.3.2 Fase 2 – Escolha da granulometria da areia para os FLAs e otimização da coagulação.....	37
4.3.3 Fase 3 – Escolha dos parâmetros de mistura rápida.....	38
4.4 3º Etapa – Ensaio na instalação piloto.....	39
4.4.1 Descrição da instalação piloto.....	39
4.4.1.1 Recalque da água bruta.....	40
4.4.1.2 Água de estudo.....	40
4.4.1.3 Regularização da vazão da água bruta.....	40
4.4.1.4 Mistura rápida e coagulação química.....	45
4.4.2 Sistema de filtração.....	49
4.4.2.1 Filtro ascendente de pedregulho (FAP).....	49
4.4.2.2 Filtro rápido descendente (FRD).....	49
4.4.3 Piezômetros.....	50
4.4.4 Turbidímetros de escoamento contínuo.....	50
4.4.5 Controle e ajuste das taxas de filtração.....	51
4.4.6 Descargas de fundo no filtro ascendente de pedregulho.....	51
4.4.7 Encerramento da carreiras de filtração.....	52
4.4.8 Lavagem dos filtros.....	53
4.4.9 Parâmetros de controle.....	53
5 . RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
5.1 – 1º Etapa – Extração das substâncias húmicas.....	55
5.2 – 2º Etapa – Ensaio de laboratório.....	55
5.2.1 Fase 1- Variação da cor verdadeira em função do pH.....	55
5.2.2 Fase2 – Escolha da granulometria da areia dos filtros de laboratório de areia (FLAs)e otimização da coagulação.....	56
5.2.3 Fase 3 – Escolha dos parâmetros de mistura rápida.....	59
5.3 – 3º Etapa – Ensaio na instalação piloto.....	62
5.3.1 Água de estudo.....	62
5.3.2 Regularização e distribuição da vazão.....	62
5.3.3 Mistura rápida e coagulação química.....	63
5.3.4 Desempenho do sistema de dupla filtração.....	64

5.3.4.1 Pré-ensaio.....	64
5.3.4.2 Filtro ascendente de pedregulho (FAP).....	64
5.3.4.3 Filtro Rápido Descendente (FRD).....	65
5.3.5 Produção efetiva.....	65
5.3.6 Parâmetros controlados.....	71
6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	73
ANEXO A	77
ANEXO B	78
ANEXO C.....	79
ANEXO D : Valores do controle de vazão.....	84
ANEXO E: PRÉ-ENSAIO.....	91
ANEXO F: ENSAIO 1.....	98
ANEXO G: ENSAIO 2.....	105
ANEXO H: ENSAIO 3.....	112
ANEXO I: ENSAIO 4.....	119
ANEXO J: ENSAIO 5.....	126
ANEXO L: ENSAIO 6.....	134
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	141

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Fluxograma de alternativas de pré-tratamento utilizando filtros em pedregulho....	21
FIGURA 2: Turbidez da água bruta e dos efluentes dos filtros FDAP-2(filtro direto ascendente de pedregulho) e FRD-2. Taxa de filtração no FDAP-2=187 a 189 m ³ /m ² .dia e no FRD-2= 237 a 245 m ³ /m ² .dia. DSA = 4,5 mg/L e pH de coagulação de 6,32 a 6,52.....	26
FIGURA 3: Perda de carga no meio filtrante em função do tempo de funcionamento dos filtros FDAP-2 e FRD-2. Taxa de filtração no FDAP-2=187 a 189 m ³ /m ² .dia e no FRD-2= 237 a 245 m ³ /m ² .dia DSA = 4,5 mg/L e pH de coagulação de 6,32 a 6,52.....	26
FIGURA 4 : Fluxograma geral dos ensaios experimentais.....	29
FIGURA 5 : Fluxograma das etapas de extração das substâncias húmicas.....	30
FIGURA 6: Pacotes de substâncias húmicas em banho de HCl.....	31
FIGURA 7: Espectro na região de IV para a amostra de SHs.....	34
FIGURA 8: Foto do equipamento de jarteste e filtros de laboratório de areia.....	39
FIGURA 9:Esquema de captação e distribuição de água na instalação piloto	41
FIGURA 10: Vista externa da instalação piloto.....	41
FIGURA 11 : Esquema da instalação piloto.....	43
FIGURA 12: Esquema do sistema de dupla filtração.....	44
FIGURA 13: Caixa para adição de extrato de substância húmica e ácido clorídrico.....	45
FIGURA 14: Caixa para regularização da vazão.....	45
FIGURA 15: Caixa de mistura rápida e desenho esquemático.....	46
FIGURA 16 : Curva granulométrica do FRD	50
FIGURA 17 : Turbidímetros de escoamento contínuo HACH 1720C.....	51
FIGURA 18: Curvas de variação da cor verdadeira em função da absorvância e variação do pH ...	56
FIGURA 19: Valores de cor aparente remanescente dos efluentes dos FLAs nos tempos de filtração de 10, 20, 30 e 40 minutos para areia tipo 1.....	57
FIGURA 20: Valores de cor aparente remanescente dos efluentes dos FLAs nos tempos de filtração de 10, 20, 30 e 40 minutos para areia tipo 2.....	58
FIGURA 21: Valores de cor aparente remanescente dos efluentes dos FLAs nos tempos de filtração de 10, 20, 30 e 40 minutos para areia tipo 3.....	58
FIGURA 22: Valores de cor aparente remanescente aos FLAs nos tempos de filtração de 10, 20, 30 e 40 minutos (DSA=20 mg/L).....	59
FIGURA 23: Valores de cor aparente remanescente dos efluentes dos FLAs utilizando-se gradiente de velocidade de 500 s ⁻¹ . (DSA=20mg/l e pH≈5,1).....	60

FIGURA 24: - Valores de cor aparente remanescente dos efluentes dos FLAs utilizando-se gradiente de velocidade de 750 s^{-1} . (DSA=20mg/l e $\text{pH} \approx 5,1$).....	60
FIGURA 25: Valores de cor aparente remanescente dos efluentes dos FLAs utilizando-se gradiente de velocidade de 1000 s^{-1} . (DSA=20mg/l e $\text{pH} \approx 5,1$).....	61
FIGURA 26: Valores de cor aparente remanescente dos efluentes dos FLAs após 30 min.....	61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Características das camadas suporte e areia utilizadas por TEIXEIRA (1986).....	15
TABELA 2: Características das camadas suporte e areia utilizadas por FERNANDES (1987).....	17
TABELA 3: Resultados gerais obtidos no ensaio 2 de MEGDA (1999), com taxa de filtração de 36 m ³ /m ² .dia no FAP e FRD com taxa de 250 m ³ /m ² .dia.....	25
TABELA 4: Composição elementar das SHs e razões atômicas dos elementos.....	32
TABELA 5 : Bandas de absorção na região do IV observadas no espectro da amostra de SHs.....	34
TABELA 6: Parâmetros analisados, pontos de amostragem, métodos e equipamentos utilizados nos ensaios de laboratório.....	35
TABELA 7 : Valores iniciais de pH para as amostras de água com cor verdadeira variando de 10 a 120 uH.....	37
TABELA 8 : Faixa granulométrica para cada tipo de areia utilizada nos FLAs.....	38
TABELA 9 : Concentrações de alumínio utilizadas nos ensaios 1, 2, 3, 4 e 5.....	48
TABELA 10: Características e espessura da camada filtrante do FAP.....	49
TABELA 11: Parâmetros de controle, frequência, pontos de amostragem, método e equipamento utilizados nos ensaios da instalação piloto.....	54
TABELA 12: Características da água de estudo utilizada nos ensaios de laboratório.....	57
TABELA 13: Produção efetiva do sistema de dupla filtração.....	68
TABELA 14: Resumo dos resultados obtidos nos ensaios realizados na instalação piloto.....	69
TABELA 15: Remoção de COD e redução de absorvância (254nm) em porcentagem nos efluentes do FAP e FRD.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍGLAS

CD: coeficiente de desuniformidade
CEAT: Centro Empresarial de Alta Tecnologia
CMR: caixa de mistura rápida
CNC: caixa de nível constante
COD: carbono orgânico dissolvido
DSA: dosagem de sulfato de alumínio
DFI: descarga de fundo intermediária
DFI_c: descarga de fundo intermediária por cor
DFI_{pc}: descarga de fundo intermediária por perda de carga
EESC-USP: Escola de Engenharia de São Carlos- Universidade de São Paulo
ES: Espírito Santo
ETA: Estação de Tratamento de água
ETASC: ETA 1 de São Carlos
FAAG: filtro ascendente de areia grossa
FAP: filtro ascendente de pedregulho
FAP: filtro ascendente de pedregulho
FDAD: filtro direto ascendente de pedregulho
FLA: filtro de laboratório de areia
FRD: filtro rápido descendente
Lv_t: lavagem por transpasse
Lv_{pc}: lavagem por perda de carga
m/v: massa/volume
N: normal
nm: nanômetros
NMP: número mais provável
pH: potencial hidrogeniônico
PR: Paraná
RMN: ressonância magnética nuclear
SESP: Fundação Serviços de Saúde Pública
SHs: substâncias húmicas
UFC: unidade formadora de colônia
uH: unidade Hazen

USEPA: United States Environmental Protection Agency

uT: unidade de turbidez

UV/VIS/IV: ultra-violeta/visível/infra-vermelho

UV: ultra-violeta

LISTA DE SÍMBOLOS

#: abertura

AgNO₃: nitrato de prata

Al: alumínio

C: carbono

D: Daltons

F⁻: fluoreto

G: gradiente de velocidade

H: hidrogênio

HCl: ácido clorídrico

KBr: brometo de potássio

KOH: hidróxido de potássio

N: nitrogênio

NaOH: hidróxido de sódio

OH⁻: íon hidroxila

PO₄⁻³: íon fosfato

Pt-Co: platinato cobalto

S: enxofre

SO₄⁻²: íon sulfato

RESUMO

BENINI, B. D. S. (2003). *Remoção de substâncias húmicas na dupla filtração com filtro ascendente de pedregulho*. São Carlos, 2003. 147 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o comportamento de um sistema de dupla filtração, utilizando filtro ascendente de pedregulho seguido de filtro rápido descendente na remoção de substâncias húmicas. A parte experimental foi realizada em uma instalação piloto, que utilizou como afluente água do Ribeirão Feijão na qual foi adicionado extrato de substâncias húmicas, previamente extraído de solo turfoso por meio de extração alcalina, para que a cor verdadeira da água de estudo resultasse entre 90 e 110 uH. As condições de coagulação, como gradiente de velocidade, dosagem e pH, foram definidos em ensaios com jarreste. As taxas utilizadas no filtro ascendente em pedregulho foram de 80 e 120 m³/m².dia e no sistema de filtração rápida descendente de 80, 120, 150, 180, 220 e 240 m³/m².dia.. As carreiras tiveram duração máxima de 72 horas. A utilização do critério de realização de Descargas de Fundos Intermediárias (DFIs), quando o efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP) atingisse valor 50 uH, não permitiu aumento da cor no efluente final. O sistema de dupla filtração estudado foi eficiente na remoção de cor, atingindo diversas vezes remoção completa; outros parâmetros relativos à concentração de substâncias húmicas, como absorvância (254 nm) e Carbono Orgânico Dissolvido (COD), foram removidos entre 89,1 a 93,6% e 27,5 a 48,5%, respectivamente.

Palavras-chave: tratamento de águas de abastecimento, filtração direta ascendente em pedregulho, dupla filtração, filtração rápida descendente, remoção de substâncias húmicas.

ABSTRACT

BENINI, B. D. S. (2003). Removal of Humic Substances in Double Filtration System Using an Upflow Gravel Filter. São Carlos, 2003. 147 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The present work was carried out to evaluate the removal of humic substances in a double filtration system, comprising an upflow gravel prefilter followed by a rapid down flow filter. Raw water was abstracted from the influent tank to the municipal water treatment Plant 2. Humic substances were extracted from peat through alkaline process. The concentrated solution was pumped to raw water in order to obtain true colour of 90 – 110 Hu in the influent to the pilot plant. Filtration rates studied were as follows: 80 and 120 m³/m².day in the upflow filter; 80, 120, 150, 180, 220 e 240 m³/m².day in the down flow filter. Maximum filter run length was fixed in 72 hours. Intermediate down flushes in the upflow filter were performed during the run when the effluent colour reached 50 Hu. It is concluded that the system performed efficiently to remove colour; in most part of the effluent colour remained below 1 Hu. Absorbance (254 nm) removal resulted high (between 89,1 % and 93,6 %) Dissolved organic carbon resulted satisfactory (27,5 % to 48,5 %).

Keywords: drinking water treatment, double filtration; upflow gravel filtration; downflow rapid filtration; humic substances.

1 - INTRODUÇÃO

A água é uma necessidade vital e várias atividades humanas dependem dela. As águas superficiais têm servido de fonte de abastecimento de água potável em vários países. Pelo fato de possuírem quantidade apreciável de sólidos suspensos e material dissolvido, estas águas requerem um tratamento para atenderem aos limites máximos do padrão de potabilidade descrito na Portaria 1469/2000 (BRASIL, 2000).

Atualmente, um dos grandes desafios para o tratamento de água é a remoção de materiais orgânicos dissolvidos, que se apresentam na forma de macromoléculas e atribuem cor à água. Estes compostos, na maioria substâncias húmicas, quando em contato com oxidantes fortes, como o cloro, sofrem reações e podem formar subprodutos indesejáveis à saúde. Sua remoção é importante tanto sob o aspecto estético como sanitário (HESSE *et al.*, 1999; VOLK *et al.*, 2000).

A coagulação seguida da flotação e filtração, pode ser a técnica mais viável para remoção de cor em grandes estações de tratamento, segundo RATNAWEERA (1999). A tecnologia mais utilizada no Brasil é o tratamento de ciclo completo, composto de unidade de mistura rápida, floculação, sedimentação e filtração (IBGE, 2002).

No entanto, as estações de tratamento de água em ciclo completo necessitam de mão de obra especializada, mecanização de processos, proximidade dos fornecedores de produtos químicos e elevado custo operacional. Além disso, os flocos formados apresentam baixa velocidade de sedimentação e exigem decantadores enormes. Tecnologias alternativas, como a filtração direta ascendente seguida de filtração rápida descendente têm sido estudadas, esta combinação compõe o sistema de dupla filtração.

Esta tecnologia tem sido capaz de produzir água potável com menor custo e apresenta vantagens operacionais em relação ao tratamento com ciclo completo. Vários trabalhos têm sido desenvolvidos na Escola de Engenharia de São Carlos, com a utilização da dupla filtração, obtendo-se avanços para a melhoria da operação destes sistemas, como a introdução de descargas de fundo intermediárias e procedimentos de lavagem mais eficientes (MEGDA, 1999; GUSMÃO, 2001 e KURODA, 2002). Mas ainda há muito que desenvolver, principalmente no que se refere às características do material filtrante e da qualidade da água.

Neste trabalho utilizou-se uma instalação piloto de dupla filtração com filtro ascendente de pedregulho e filtro descendente de areia. A água bruta utilizada para os ensaios experimentais era proveniente de manancial superficial (Ribeirão do Feijão – São Carlos) com adição de extrato de substâncias húmicas para obtenção de cor verdadeira entre 90 e 110 uH.

2 . OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi estudar o desempenho de um sistema de dupla filtração composto de filtro ascendente de pedregulho, operado com taxas de filtração de 80 e 120 m³/m² .dia, e filtro rápido descendente, com taxas de filtração de 80, 120, 150, 180 e 240 m³/m² .dia, na remoção de substâncias húmicas de água com cor verdadeira entre 90 e 110 uH.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão bibliográfica enfoca aspectos relacionados com a natureza das substâncias húmicas, coagulação com sulfato de alumínio, características da tecnologia de tratamento de água utilizada e estudos correlatos. Estes tópicos foram escolhidos baseados na sua importância para elucidação de observações e dúvidas encontrados no trabalho.

3.1 - Substâncias Húmicas (SHs)

3.1.1 – Definição e características

As substâncias húmicas têm sido definidas de maneira bastante diversificada por suas múltiplas características e heterogeneidade. Não há, entretanto, consenso a respeito de como defini-las.

TOLEDO (1973) afirma que as substâncias húmicas constituem a parte da matéria orgânica presente no solo, solúvel em álcalis. O'MÉLIA, *et al*, 1999 afirmam que elas possuem propriedades típicas de um polieletrólito aniônico fraco, peso molecular de algumas centenas de Daltons (D) ou mais e possuem grupos funcionais fracos, carboxílicos e fenólicos.

A caracterização das substâncias húmicas é bastante complicada, devido a sua natureza química heterogênea e instável. As substâncias húmicas apresentam estrutura heterogênea bem como sua reatividade química e bioquímica suas características mudam conforme a fonte, tipo de extração e época do ano (HESSE *et al*. 1999).

A classificação baseada na solubilidade é a mais adotada por ser mais prática e consensual. Segundo VIK & EIKEBROKK (1989), a separação entre ácidos húmicos e fúlvicos,

principais constituintes das substâncias húmicas, é feita precipitando-se o ácido húmico em meio ácido (pH igual a 1). BENSCHOTEN & EDZWALD (1990) afirmam que ácidos fúlvicos aquáticos são materiais que permanecem solúveis em solução de pH maiores ou igual a 2 e adsorvidos por resinas não polares e ácidos húmicos, são insolúveis em pH menor que 2. Ácidos fúlvicos são encontrados em maior quantidade em compostos orgânicos naturais da água (EDWALD & TOBIASON, 1999).

Como mencionado anteriormente, o ácido húmico é menos solúvel do que o ácido fúlvico. A menor quantidade de ácidos carboxílicos no ácido húmico diminui a sua solubilidade, por isso há de 5 a 25 vezes mais ácidos fúlvicos do que ácidos húmicos nas águas superficiais. Outro fator é o tamanho das moléculas de ácido húmico. Há mais grupos fenólicos nos ácidos húmicos do que nos ácidos fúlvicos e há mais ligações insaturadas, responsáveis pela cor, nas moléculas de ácidos húmicos, além de possuírem cadeias maiores de ácidos graxos, o que explicaria sua maior hidrofobicidade (VIK & EIKEBROKK, 1989).

Substâncias húmicas são originárias da decomposição de resíduos de animais e vegetais (HEESE *et al*, 1999; NARKIS & REBHUN, 1977). A sua formação pode ocorrer no solo e em ambientes aquáticos por processos diferentes e possui variáveis envolvidas. Sabe-se que é oriunda da matéria orgânica que após várias transformações, permanece no solo ou no sedimento, consistindo uma mistura heterogênea, polifuncional e com diferentes graus de polimerização. No primeiro estágio, a decomposição é realizada por microrganismos e no segundo estágio, a síntese ocorre por suas reações de condensação ou de polimerização.

As substâncias húmicas devem ser caracterizadas baseando-se em dois principais aspectos químicos: reatividade e estrutura, levando em conta sua composição heterogênea e instabilidade.

Diferentes métodos são utilizados para descrição da composição das substâncias húmicas, porém todos indiretos. Alguns parâmetros para medidas indiretas da concentração de substâncias húmicas são Carbono Orgânico Dissolvido (COD) e análise elementar. Parâmetros espectrais como absorvância UV/VIS/IR (ultra-violeta/visível/infra-vermelho) fornecem informações sobre estrutura e grupos funcionais. Pode-se ainda fazer o isolamento e fracionamento por meio de membranas filtrantes ou cromatografia gasosa e análise de cada

fração obtida. As frações com alto peso molecular têm apresentado grandes relações com os valores de absorvância a 254 nm (HESSE *et al.*, 1999).

Análises feitas por SCHNITZER apud BOTTERO & BERSILLON (1989) com espectroscopia RMN (Ressonância Magnética Nuclear) revelam que a matéria orgânica dissolvida contém cerca de 50% de grupos aromáticos-COOH, aproximadamente 20 % de ligações de carbono com OH fenólico, polissacarídeos, proteínas e ácidos graxos. São encontrados grupos funcionais como: carboxílicos, fenólicos, alcoólicos, quinonos, metaxílicos, carbonílicos, grupos contendo nitrogênio e grupos aromáticos diversos.

TOLEDO (1973) encontrou frações de ácido húmico oriundo da região amazônica com massa molecular média de 16.500 D e para ácido fúlvico um valor médio de 850 D. Este valor pode mudar dependendo da origem das substâncias húmicas, do grau de polimerização e do método de análise que deve ser padronizados para todas as amostras.

3.1.2 - Influência das substâncias húmicas no tratamento de água

A presença de substâncias húmicas no tratamento de água pode interferir na qualidade do efluente final devido à:

- Forte reatividade com halogênios, gerando elevado consumo de cloro no tratamento de águas para consumo humano e produção de vários compostos orgânicos halogenados, voláteis e não voláteis, alguns com propriedades mutagênicas e potencialmente cancerígenas (DALSASSO, 1999; HESSE *et al.*, 1999 e VOLK *et al.*, 2000). A produção destes produtos é diretamente proporcional à quantidade de carbono aromático das substâncias orgânicas presentes na água (SINGER, 1999).
- Possível complexação com metais, tornando-os mais solúveis e de difícil remoção, ou uma possível complexação com coagulantes metálicos, induzindo a precipitação da matéria húmica durante a clarificação (DALSASSO, 1999).

SCHNITZER, M. In Interactions of Soils Minerals With Natural Organics and Microbes; Huang, P.M.; Schnitzer, M., Eds: Special Publication nº17, Madison, WI, 1986; pp.1-64.

A forte capacidade de complexação das substâncias húmicas com íons metálicos pode promover a corrosão de tubulações de ferro e cobre em sistemas de distribuição (BROO *et al*, 1999). Este processo ocorre devido a densidade negativa de cargas presente nas substâncias húmicas que podem atrair íons metálicos carregados positivamente.

- Significante capacidade de adsorção em sólidos como carvão ativado, alumina e também em colóides minerais, podendo alterar o rendimento do processo de coagulação/floculação pela quantidade de moléculas adsorvidas (DALSASSO, 1999);
- Possibilidade de combinação com micropoluentes orgânicos, incluindo alguns pesticidas, tornando-os mais solúveis em águas naturais (DALSASSO, 1999);
- Promoção de ambiente favorável para o desenvolvimento de diversas bactérias, incluindo coliformes, nas redes de distribuição (VOLK *et al.*, 2000);
- Produção de cor e possíveis alterações no sabor e odor na água (EIKEBROKK, 1999).

3.1.3 - Processos de remoção de substâncias húmicas

Vários métodos podem ser utilizados para remoção de substâncias húmicas em processos de tratamento de água, como coagulação, oxidação, adsorção em carvão ativado e filtração em membrana. A escolha mais adequada da técnica depende de vários fatores como a natureza das substâncias húmicas, temperatura, custos e mão-de-obra disponível.

Por apresentarem grandes moléculas, as substâncias húmicas em água podem ser separadas através de membranas filtrantes (ODEGAARD *et al.*, 1999). As cargas negativas permitem a separação através de troca iônica e sua adsorção em carvão ativado ou óxidos metálicos. A adsorção das substâncias húmicas diminui com o aumento do pH (O'MÉLIA *et al*, 1999). Ainda podem ser oxidadas por ozônio, peróxido de hidrogênio e cloro, embora apresentem riscos sanitários pela formação de subprodutos indesejados.

Para a escolha do processo de remoção deve-se considerar que substâncias húmicas são polieletrólitos aniônicos e o grau de ionização depende do pH da solução em que se encontram (NARKIS & REBHUN, 1977). Apresentam características semelhantes aos colóides, o que permite serem removidas por meio de coagulação seguida da separação dos flocos formados, seja por filtração ou flotação. A coagulação é o processo mais utilizado e um dos mais econômicos (RATNAWEERA *et al.*, 1999).

3.1.3.1 - Coagulação das substâncias húmicas

BENSCHOTEN & EDZWALD (1990) definem a coagulação do ácido fúlvico como a transformação a partir do material dissolvido para uma fase sólida capaz de ser separada. A separação da fase sólida é feita por filtração ou flotação, quando o sólido apresenta baixa velocidade de sedimentação.

O processo é realizado adicionando-se cátions, geralmente metálicos, em soluções ricas em colóides, com superfície rica em cargas negativas. A interação entre as espécies proporciona a aglomeração das partículas. No caso do uso de metais como coagulante, o número de coordenação (número de ligantes que o metal pode possuir) influencia no processo e depende do tipo e concentração dos íons presentes. Ânions inorgânicos (OH^- , SO_4^{2-} , F^- e PO_4^{3-}) encontrados em mananciais, formam complexos com o Al (alumínio) ou o Fe (ferro), quando estes são utilizados como coagulante. As reações de complexação são importantes nos processos de coagulação pois a formação de precipitados depende destes ânions (BENSCHOTEN & EDZWALD, 1990).

Os ácidos húmicos e fúlvicos, como sistemas coloidais, têm suas partículas protegidas por duas camadas elétricas, portanto qualquer consideração acerca de suas interações com íons metálicos deve levar em conta a presença das mesmas (TOLEDO, 1973). Como as substâncias húmicas são consideradas verdadeiras dispersões de macromoléculas negativamente carregadas, um eletrólito rico em cátions irá neutralizar as cargas da dupla camada elétrica e, ao atingir a eletroneutralidade, as partículas coloidais encontram-se instáveis e propensas à coagulação.

Segundo SANTOS (1978) que estudou a coagulação de substâncias húmicas com sulfato de alumínio, os sais de sódio de ácidos húmicos e fúlvicos, caracterizados como polieletrólitos

aniônicos, reagem com os polieletrólitos catiônicos, íons metálicos e sulfato de alumínio através dos grupos fenólicos e carboxílicos. As interações entre estes componentes das substâncias húmicas e os íons metálicos são descritas como: troca iônica, adsorção superficial, quelação, complexação, coagulação e peptização. Dentre estes, os mais importantes são: complexação, quelação e reações de troca iônica. É necessário, também, considerar a coagulação e a adsorção.

Os ácidos húmicos e fúlvicos reagem quimicamente com flocculantes catiônicos, principalmente através da neutralização de cargas. A interação entre polieletrólitos com cargas opostas geralmente resulta em uma forte aglomeração das partículas resultando na precipitação (NARKIS & REBHUN, 1977).

A coagulação das substâncias húmicas depende, basicamente, das condições de pH; da dosagem de coagulante e da concentração e natureza das substâncias húmicas, como hidrofobicidade e peso molecular. A coagulação das substâncias húmicas ocorre devido a dois mecanismos, adsorção nos precipitados de hidróxido e complexação entre as espécies do coagulante e as substâncias húmicas (AMIRTHARAJAH *et al.*, 1993).

EDWARDS & AMIRTHARAJAH (1985) propõem dois mecanismos nos quais a substância húmica é removida durante a coagulação. Os mecanismos são a neutralização-precipitação com espécies catiônicas e adsorção em sólidos inorgânicos e orgânicos. Em pH abaixo de 5,75, o mecanismo seria predominantemente de neutralização de cargas e precipitação.

Segundo O'MÉLIA *et al.* (1999), na prática, a dosagem ótima de coagulante é escolhida a partir do valor de COD para a maioria das águas superficiais. Há uma relação estequiométrica entre a concentração de COD e a dosagem de coagulante e esta relação depende do tipo da substância húmica existente, do tipo de coagulante e das condições de solução como pH, dureza e temperatura. Por causa destes fatores ensaios preliminares em jarreste são fundamentais.

Ácidos húmicos e fúlvicos com alta concentração de ácidos causada por grupos carboxílicos e fenólicos, portanto grupos com alta densidade de cargas, são mais difíceis de serem removidos através da coagulação no mecanismo de neutralização de cargas do que ácidos com densidade de carga menor (OWEN *et al.*, 1995).

Cátions divalentes que conferem dureza à água podem complexar-se com as substâncias húmicas e reduzir a sua carga negativa, podendo resultar em uma redução da dosagem de coagulante. O aumento do pH promove desprotonação das substâncias húmicas (aumentando as espécies carregadas negativamente) e diminuição das cargas positivas dos coagulantes metálicos. Isto pode causar um aumento na dosagem de coagulante. Em pH neutro a especiação de espécies de alumínio carregadas positivamente diminui com o aumento da temperatura, o que resulta em alta dosagem quando se tem temperatura elevada (O'MÉLIA *et al.*, 1999). A viscosidade também pode alterar os mecanismos de transporte das espécies. A constante de hidrólise também é alterada pela temperatura, seu aumento pode aumentar a solubilidade das espécies de alumínio.

A coagulação resulta na aglomeração de substâncias húmicas preferencialmente de alto peso molecular, após um processo de separação destes flocos, reduz mais a absorvância do que o COD (OWEN *et al.*, 1995). VOLK *et al.* (2000) estudaram dez tipos diferentes de águas superficiais com diferentes concentrações de COD e alcalinidade. Este estudo mostrou que os tipos de coagulante e de tratamento aplicado na água influenciam no pH ótimo que ficou entre 5,6 e 7,1 utilizando sulfato de alumínio como coagulante, embora afirme que para precipitação das substâncias húmicas os melhores valores de pH ficaram entre 5,0 e 6,0. AMIRTHARAJAH *et al.* (1993) afirma que o pH ótimo para coagulação de substâncias húmicas está em torno de 5,0 com a dosagem de cloreto férrico na faixa entre 4,0 a 6,0 mg/L para água com baixa turbidez e carbono orgânico da ordem de 40 mg C/L.

Com a diminuição do pH, as cargas dos grupos ácidos diminuem porque são convertidos em formas não-ionizadas. Isto é possível em águas com baixa alcalinidade (OWEN *et al.*, 1995). Em águas com esta característica, a remoção de substâncias húmicas foi maior em valores de pH menores (BENSCHOTEN & EDWALD, 1990).

Uma grande parte do alumínio aparece com carga positiva em pH=5,5 e estas espécies podem facilmente formar complexos com as cargas negativas das substâncias húmicas. Em baixos valores de pH, o mecanismo de coagulação mais provável é a neutralização de cargas, já que a dosagem adicionada geralmente não é suficiente para precipitar hidróxido de alumínio (SALTNES *et al.*, 2002). De acordo com BENSCHOTEN & EDWALD (1990) a temperatura

também influencia na coagulação mudando as constantes de hidrólise e solubilidade dos sais de alumínio.

VOLK *et al.* (2000) estudaram amostras contendo diferentes concentrações de COD e diferentes valores de alcalinidade, verificando melhor remoção de COD em águas com maiores concentrações de COD e diminuição da remoção com o aumento da alcalinidade.

O tratamento de águas superficiais com sulfato de alumínio tem sido utilizado a pelo menos uma centena de anos em todo o mundo (SRINIVASAN *et al.*, 1999). O sulfato de alumínio é facilmente hidrolisado (NARKIS & REBHUN, 1977). TOLEDO *et al.* (1982) e NARKIS & REBHUN (1977) obtiveram resultados que sugerem uma relação estequiométrica com o íon alumínio, na forma de sulfato de alumínio, e as substâncias húmicas. Os íons trivalentes, com maior densidade de cargas, demonstram ser mais eficientes na coagulação do que íons divalentes e monovalentes.

O controle da dosagem de sulfato de alumínio é importante para evitar altas concentrações de alumínio residual no efluente da estação de tratamento de água. O alumínio não apresenta toxicidade aguda, mas a exposição crônica está relacionada com distúrbios neurológicos e interferências na absorção de fósforo, por isso é necessário respeitar os limites impostos por agências de controle. No Brasil o limite é de 0,2 mg/L segundo a Portaria 1469/2000 (BRASIL, 2000). Nos Estados Unidos a USEPA (United States Environmental Protection Agency) os limites encontram-se entre 0,05 a 0,2 mg/L dependendo da água bruta. Na Suíça, o valor máximo permitido é de 0,1 mg/L. No Canadá, de acordo com a Ontário Ministry of Environmental, o limite permissível é 0,1 mg/L segundo SRINIVASAN *et al.* (1999).

SRINIVASAN *et al.* (1999) estudaram a água do Rio Denver e Burlington e encontraram 75 a 90% do alumínio total dissolvido ligado a compostos orgânicos. Estas porcentagens diminuíram para 45 e 67% nas águas tratadas. O alumínio estava presente em maior quantidade na forma particulada. A presença de alumínio, em águas de abastecimento, deve-se principalmente à adição de sulfato de alumínio como coagulante em baixos valores de pH de coagulação. Além do pH, a temperatura e a tecnologia de tratamento empregada são fatores que influenciam no alumínio residual. O alumínio é praticamente insolúvel na faixa de pH de 6,5 a 8,5, sua solubilidade aumenta em presença de complexantes e em valores de pH

maiores que 8,5 e menores que 6,0. SALTNES *et al.* (2002) afirmam que o residual de alumínio em efluentes de filtros convencionais é geralmente maior com baixas dosagens do que em altas dosagens de sulfato de alumínio dependendo do valor do pH adotado.

3.2 - Filtração

Neste tópico será abordado os vários tipos de filtração e suas aplicações. A sedimentação e a floculação não estão aqui relacionadas por não fazerem parte da tecnologia de dupla filtração utilizada neste trabalho.

A filtração consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais presentes na água que escoam através de um meio poroso. Em geral, a filtração é o processo final de remoção de impurezas realizado em uma estação de tratamento de água e, portanto, principal responsável pela produção de água compatível com os padrões de potabilidade (DI BERNARDO, 1993).

A retenção de impurezas na filtração é considerada como resultado de dois mecanismos distintos, porém complementares: transporte e aderência. Em primeiro lugar, as partículas devem aproximar-se das superfícies dos grãos e, posteriormente, devem permanecer aderidas a estes, de modo a resistir às forças de cisalhamento resultantes das características hidrodinâmicas do escoamento ao longo do meio filtrante. A partícula pode ser transportada para o meio filtrante por um ou mais mecanismos físicos, como difusão, interceptação, sedimentação, impacto inercial e ação hidrodinâmica. Em nenhum deles a natureza química da partícula é considerada. A etapa de aderência, por outro lado, é afetada pelas características químicas e físico-químicas, tais como pH, tipo e concentração de íons na água, natureza, dosagem do coagulante e superfície dos grãos do meio filtrante (DI BERNARDO, 1993).

3.2.1 - Filtração Ascendente

A filtração direta ascendente consiste, basicamente, na passagem da água coagulada com sentido ascendente por um filtro sem floculação, decantação ou flotação prévias. A dosagem de coagulante necessária é bem menor do que quando se tem a decantação, pois não há necessidade de se formar flocos sedimentáveis. A floculação ocorre na camada de maior granulometria, onde fica retida grande parte das impurezas (MEGDA, 1999).

Na filtração ascendente, o sentido do escoamento no meio filtrante coincide com o da diminuição do tamanho dos vazios intergranulares, resultando em uma condição favorável ao processo, pois todo o meio filtrante é efetivo na retenção de impurezas. A capacidade de armazenamento do meio filtrante é utilizada ao máximo, razão pela qual resulta: i) efluente de melhor qualidade; ii) carreiras de filtração mais longas; iii) melhor distribuição da perda de carga; iv) possibilidade do uso de taxas de filtração maiores em relação aos filtros de escoamento descendente com camadas simples (CRUZ VELEZ, 1993). Com relação a qualidade do efluente final e o uso de taxas de filtração maiores, deve-se considerar sempre a qualidade da água a ser tratada e suas variações.

A filtração direta ascendente foi utilizada pela primeira vez na cidade de Greenock na Escócia, embora a idéia não fosse nova. Logo esta experiência foi feita na cidade de Richmond nos Estados Unidos em 1832, porém foi abandonada por apresentar dificuldades na limpeza dos filtros (HAMAN & McKINNEY, 1968). Na Europa, no século XX, houve novo impulso para o uso desta tecnologia quando os russos desenvolveram os “clarificadores de contato”. A clarificação por contato representou grande avanço, pois a coagulação e clarificação foram combinadas em um único processo pela adição de um coagulante químico à água bruta antes de passar pelo filtro de areia no sentido ascendente (ISAAC, 1997).

A partir destas experiências, foram reconhecidas algumas vantagens do tratamento com filtração direta ascendente, tais como utilização de menores dosagens de coagulante e menor taxa de crescimento de perda de carga refletindo na maior duração das carreiras de filtração.

Houve, ainda pelos soviéticos, o desenvolvimento dos filtros AKX nos quais a água coagulada é introduzida simultaneamente pelo topo (escoamento descendente) e pelo fundo (escoamento ascendente), com coleta de água filtrada no interior da camada de areia por meio de bocais. Estes filtros possuíam altura da camada de areia da ordem de 1,6 m. O escoamento era no sentido ascendente com taxa de filtração de 180 a 210 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e no sentido descendente com taxas de filtração de 120 a 150 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. Um problema apresentado por este sistema era a freqüente obstrução dos bocais.

Os holandeses desenvolveram outro tipo de filtro, que consistia em utilizar uma malha de placas verticais paralelas que conferiam resistência ao movimento dos grãos durante a

filtração, por efeito de arco, chamado de filtro “Immedium”. Dados referentes a este tipo de filtração indicam bons resultados para taxas de filtração de 300 a 600 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, dependendo da qualidade da água a ser filtrada.

No Brasil, a tecnologia de filtração ascendente foi aplicada pela primeira vez pela Fundação Serviços de Saúde Pública (SESP) nas cidades de Colatina (ES) e Ponta Grossa (PR). Vários estudos foram realizados na EESC-USP (Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo) para aprimoramento desta técnica desde meados dos anos 80, dentre os quais destacam-se os de MENDES (1985), TEIXEIRA (1986), PATERNIANI (1986), DI BERNARDO & YATSUGAFU (1987), FERNANDES (1987), CRUZ VELEZ (1993), LARA PINTO (1994) e ISAAC (1997).

Para otimização do processo de filtração ascendente MENDES (1985) estudou a redução de dosagem do coagulante em uma instalação piloto composta de dois filtros ascendentes em paralelo, com taxas entre 120 e 240 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. Aplicando em um dos filtros água coagulada no mecanismo da varredura e no outro com redução da dosagem de sulfato de alumínio em 25, 50 e 70%. O pesquisador concluiu que:

- O desempenho dos filtros foi melhor com menores dosagens;
- As durações das carreiras foram inversamente proporcionais a dosagem de sulfato de alumínio nas dosagens estudadas;
- A filtração direta ascendente (FDA) apresentava grande eficiência na remoção de sólidos suspensos;
- As dosagens de coagulante poderiam ser reduzidas a 25% das utilizadas para mesma água em tratamento convencional.

TEIXEIRA (1986) estudou a influência das características da camada suporte e da areia no processo de FDA, com a operação de três filtros pilotos em paralelo que possuíam a mesma espessura total de 2,4 m (TABELA 1). Concluiu-se que:

- A utilização de camadas de areia de 2,0, 1,6 e 1,2 m de espessura, com camada suporte de , respectivamente, 0,40, 0,80 e 1,20 m, levou à produção de água com baixos valores de turbidez, da ordem de 0,1 a 0,2 uT;

- Os maiores valores de perda de carga por retenção de impureza ocorreram na interface entre a camada de areia e suporte e na porção imediatamente superior a esta;
- As taxas de aumento das perdas de carga foram menores nos filtros com camadas suporte maiores;

Observou também a relação entre turbidez e número mais provável (NMP) de microrganismos, concluindo que é necessário manter a turbidez do efluente filtrado sempre abaixo de 1 uT. Com o menor aumento da perda de carga em camadas suporte maiores, pode-se sugerir o estudo com filtros de granulometria maior.

TABELA 1: Características das camadas suporte e areia utilizadas por TEIXEIRA (1986).

Filtro	Camada Suporte		Camada de Areia			
	Espessura (cm)	Tamanho (mm)	Espessura (cm)	Tamanho (mm)	Tamanho efetivo (mm)	Coefficiente de desuniformidade
F1	10,0	31,7 – 25,4	200	0,59 a 1,68	0,85	1,6
	7,5	25,4 – 15,9				
	7,5	15,9 – 9,5				
	7,5	9,5 – 4,8				
	7,5	4,8 – 2,0				
	Total=40					
F2	15,0	31,7 – 25,4	160	0,59 a 1,68	0,85	1,6
	15,0	25,4 – 15,9				
	15,0	15,9 – 9,5				
	17,5	9,5 – 4,8				
	17,5	4,8 – 2,0				
	Total=80					
F3	20,0	31,7 – 25,4	120	0,59 a 1,68	0,85	1,6
	20,0	25,4 – 15,9				
	20,0	15,9 – 9,5				
	30,0	9,5 – 4,8				
	30,0	4,8 – 2,0				
	Total=120					

Fonte: TEIXEIRA (1986)

PATERNIANI (1986) investigou o efeito da realização de 1, 2, 4, 6 e 8 descargas de fundo intermediárias (DFIs) na qualidade bacteriológica da água filtrada durante a carreira de filtração com uma mesma taxa de filtração de 200 m³/m².dia. A ocorrência de bolha de ar após as DFIs causavam perturbações no meio granular prejudicando a qualidade do efluente quanto

ao NMP de coliformes totais e turbidez. Este fenômeno era seguido da liberação de grande parte de flocos do meio filtrante diminuindo a perda de carga. Observou que quanto mais freqüente e próximas (no início da carreira de filtração) fossem executadas as DFIs, melhores seriam os resultados.

DI BERNARDO & YATSUGAFU (1987) estudaram a influência do número de DFIs na eficiência da FDA, com dois filtros piloto, um com execução de DFIs e outro sem. Utilizaram as taxas de filtração de 160, 200, 240 e 280 m³/m².dia com água coagulada na ETASC (ETA I São Carlos). As principais conclusões foram:

- A execução de um número maior de DFIs (até 16) atenua os picos de turbidez posteriores às DFIs;
- Deterioração da qualidade bacteriológica da água logo após a execução das DFIs, principalmente se a carreira estivesse próxima do final;
- A qualidade do efluente não foi influenciada pela taxa de filtração;
- Quanto maior o número de DFIs maior a duração da carreira de filtração;
- As DFIs possibilitaram atenuar picos de turbidez do afluente.

Os problemas relativos à ruptura do meio filtrante na interface areia fina-pedregulho e os picos de turbidez continuavam. FERNANDES (1987) tentou resolver estes problemas utilizando uma interface em que a areia penetrava no pedregulho (TABELA 2) e várias maneiras de executar as DFIs. Utilizou dosagens de sulfato de alumínio determinadas por meio da passagem de água coagulada por filtro de papel Whatman 40. Baseado nos dados obtidos, observou que:

- A inversão da camada de pedregulho de tamanho maior, sobre a de pedregulho mais fino, conduz a obtenção de melhores resultados;
- Os picos de turbidez foram amenizados para valores sempre inferiores a 1 uT e a ruptura da interface ocorreu apenas com taxas mais altas (240 e 280 m³/m².dia).

CRUZ VELEZ (1993) desenvolveu seu trabalho em uma instalação piloto constituída de três filtros, contendo camada de areia e operando em paralelo. Foram utilizadas as taxas de filtração compreendidas entre 160 e 480 m³/m².dia. Os efluentes dos sistemas ficaram sempre

dentro dos padrões de potabilidade independente da taxa de filtração adotada, comprovando que não havia a necessidade da areia estar totalmente estratificada na filtração direta ascendente para taxas até $480 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. Foi comprovado que o período de amadurecimento é proporcional às taxas adotadas e à dosagem de coagulante.

TABELA 2: Características das camadas suporte e areia utilizadas por FERNANDES (1987).

Filtro	Camada Suporte		Camada de Areia			
	Espessura (cm)	Tamanho (mm)	Espessura (cm)	Tamanho (mm)	Tamanho efetivo (mm)	Coefficiente de desuniformidade
F1	15,0	31,7 – 25,4	160	0,59 a 1,68	0,85	1,6
	15,0	25,4 – 15,9				
	15,0	15,9 – 9,5				
	17,5	9,5 – 4,8				
	17,5	4,8 – 2,4				
	Total=80					
F2	10,0	31,7 – 25,4	160	0,59 a 1,68	0,85	1,6
	10,0	25,4 – 15,9				
	10,0	15,9 – 9,5				
	15,0	9,5 – 4,8				
	20,0	4,8 – 2,4				
	15,0	9,5 – 4,8				
	Total=80					
F3	7,5	31,7 – 25,4	160	0,59 a 1,68	0,85	1,6
	7,5	25,4 – 15,9				
	10,0	15,9 – 9,5				
	12,5	9,5 – 4,8				
	20,0	4,8 – 2,4				
	12,5	9,5 – 4,8				
	10,0	15,9 – 9,5				
	Total=80					

Fonte : FERNANDES (1987)

Nesta mesma instalação piloto LARA PINTO (1994) estudou a influência das DFIs com aplicação de água na interface, em três filtros em paralelo com areia e pedregulho de mesmas características granulométricas e concluiu que:

- Após o período de amadurecimento, a filtração direta ascendente produziu efluentes de boa qualidade, mesmo quando ocorreram oscilações da turbidez afluente;
- Em todos os ensaios, devido à recuperação de carga, a execução de descargas de fundo intermediárias proporcionou aumento significativo nas durações das carreiras de filtração, sem prejuízo à qualidade do efluente;
- Para todas as taxas de filtração acima de $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ a realização de descargas de fundo no final da carreira de filtração, após a perda de carga limite ter sido atingida, proporcionou uma recuperação da carga hidráulica, acarretando carreiras com maior duração que a do filtro com duas descargas;
- Não foi observada ruptura na interface nem tendência ao transpasse, comprovando a eficiência do meio filtrante adotado;
- A remoção de microrganismos mesmo após as descargas de fundo garantiu a qualidade sanitária do efluente.

No trabalho realizado por ISAAC (1997) foi estudada a influência da disposição inicial da areia na eficiência da filtração direta ascendente, para isto foram monitorados 6 filtros com meio filtrante de mesma granulometria ($2,00-0,59 \text{ mm}$; $D_{10}=0,8 \text{ mm}$; $CD=1,5$) e espessura da camada $1,95 \text{ m}$ com camada suporte com espessura de $0,60 \text{ m}$ e tamanho dos grãos de $2,4$ a $31,7 \text{ mm}$, mas com diferentes graus de misturas. Os filtros foram operados em paralelo, com e sem a execução de descargas de fundo intermediárias, com taxas de filtração entre 200 e $520 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$. A água bruta teve turbidez sempre inferior a 30 uT e cor aparente abaixo de 120 uH . Com relação à disposição inicial da areia nos filtros, quanto a mistura e estratificação, concluiu-se:

- Houve uma grande mistura dos grãos causada pela lavagem com ar e água independente da sua disposição inicial, com frações crescentes dos grãos menores da porção inferior até a porção superior da camada, mas com diferença entre os filtros e não chegando a mistura total,;

- A perda de carga inicial no leito fixo foi maior para o meio granular disposto inicialmente estratificado do que nos outros, embora a porosidade média seja praticamente a mesma;
- A velocidade mínima de fluidificação observada nos meios granulares, parcialmente misturados, é maior do que a velocidade de fluidificação dos grãos de areia menores (280 m/d), devido ao efeito de obstrução por parte dos grãos de tamanho maior;
- Para a taxa de filtração de até 520 m³/m².dia e para a granulometria adotada não ocorre fluidificação;
- Após atingir a condição de fluidificação total, a perda de carga em todos os meios granulares iguala-se, independentemente da disposição inicial, sendo numericamente igual ao peso da camada submersa.

Com relação à influência da disposição inicial dos grãos no processo de filtração ascendente:

- Após o período de amadurecimento, em termos de turbidez e cor aparente, a água encontrou-se dentro dos padrões de potabilidade para todas as taxas estudadas;
- A disposição inicial dos grãos influencia a perda de carga no meio filtrante limpo e a taxa de aumento da perda de carga devido à retenção de impurezas;
- A maior retenção de impurezas ocorre, principalmente, na porção inferior da camada de areia;
- A disposição mais adequada para o tratamento é a totalmente estratificada.

DI BERNARDO & ISAAC (2001) relataram dificuldades na aplicação da FDA como:

- Restrições à qualidade da água bruta;
- Risco de fluidificação dos grãos no topo do meio filtrante dependendo da taxa e da granulometria utilizada;
- Ocorrência de ruptura em planos transversais da camada de areia devido a retenção de impurezas e aumento da perda de carga;
- Elevado consumo de água para lavagem;
- Risco de contaminação por causa da saída comum de água de lavagem e água filtrada.

3.2.2 - Filtração em pedregulho

O filtro constituído de grãos maiores apresenta vantagens quanto a limpeza e a capacidade de retenção de sólidos, porém por apresentar granulometria maior, pode produzir efluente fora dos padrões de potabilidade. Por isso se apresenta como boa opção para o pré-tratamento seguido de outro filtro, para produção de água com qualidade satisfatória ao abastecimento público. A combinação de unidades de filtração tem se mostrado técnica e economicamente viável, resultando em água que atende aos padrões de potabilidade (CRUZ VELEZ, 1993).

A eficiência da filtração depende das etapas anteriores, principalmente da coagulação. O uso cada vez maior de alternativas de pré-tratamento, como a filtração em pedregulho, é uma opção com o fim de reduzir o teor de sólidos suspensos da água bruta, atenuar picos de turbidez, compatibilizando as características da água àquelas normalmente desejáveis para a filtração rápida.

Dentre as tecnologias que empregam pedregulho como meio filtrante destaca-se a pré-filtração dinâmica e a pré-filtração com escoamento vertical ou horizontal, que podem ser precedidas da coagulação química ou não. Na FIGURA 1 encontra-se um fluxograma mostrando as alternativas para o uso de pré-tratamento com pedregulho.

FIGURA 1: Fluxograma de alternativas de pré-tratamento utilizando filtros em pedregulho.

Fonte: Adaptado de DI BERNARDO *et al.* (1999).

Segundo WEGELIN *et al.* (1996), a remoção de sólidos suspensos em filtros de pedregulho é um processo complexo que inclui sedimentação, adsorção, atividades biológicas e atividades bioquímicas no caso de filtração lenta. Segundo GALVIS *et al.* (1996) há uma considerável redução de coliformes totais e fecais em filtros de pedregulho. Na opinião de WEGELIN *et al.* (1996), o principal mecanismo de transporte na filtração em pedregulho é a sedimentação.

A filtração em pedregulho tem sido empregada em condições diversas de pré-tratamento apresentando resultados satisfatórios em vários países, incluindo o Brasil. Dentre as várias alternativas de filtros em pedregulho, a filtração vertical com escoamento ascendente apresenta vantagens sobre as outras concepções pela maior capacidade de retenção de sólidos no fundo do filtro, de onde podem ser mais facilmente removidos através da execução de descargas de fundo, além de resultar em duração de carreiras mais prolongadas (KURODA,2002).

Além destas vantagens, GALVIS *et al.* (1996) afirmam que o escoamento ascendente melhora o comportamento hidráulico, ajuda a evitar zonas mortas e resulta em uma melhor homogeneização e um melhor processo de tratamento.

CRUZ VELEZ *et al.* (1998) avaliaram, em um sistema de pré-filtro dinâmico seguido de filtro ascendente em pedregulho, o efeito da dosagem de coagulante com valores de pH de coagulação para otimização da remoção da matéria orgânica dissolvida (pH de $5,7 \pm 0,1$) e material em suspensão (pH de $6,4 \pm 0,1$). Foram obtidos efluentes com turbidez abaixo de 5 uT nas 65 primeiras horas com taxa de filtração de $24 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

AHSAN *et al.* (1996) estudaram alternativas para pré-tratamento de água com turbidez de 200 uT e cor verdadeira de 80 uH. Os pesquisadores utilizaram a filtração direta em pedregulho com escoamento horizontal e a pré-filtração em pedregulho com escoamento horizontal. A filtração direta de pedregulho com escoamento horizontal era composta de uma unidade com 8 m de comprimento constituída de dois compartimentos, o primeiro com 4 a 5 m de comprimento e pedregulho de 5 a 25 mm e o segundo de 3 a 4 m de comprimento e pedregulho de 8 a 13 mm, sob taxas de filtração de 120 a $168 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. O sistema mostrou-se capaz de produzir água com qualidade compatível para o tratamento final, ou seja turbidez menor que 5 uT e produziu carreiras de duração razoável (3-5 dias).

WEGELIN *et al.* (1996) estudaram um sistema de filtração já existente composto por pré-filtros de pedregulho com escoamento horizontal e filtros lentos. O sistema não funcionava adequadamente devido aos altos valores de turbidez da água do manancial utilizado (150 a 1300 uT). Foram realizados estudos em instalação piloto relativos a adaptação das unidades de pré-filtros horizontais da instalação já existente em filtros ascendentes de pedregulho recebendo água coagulada. Observaram que o sistema constituído de filtro ascendente de pedregulho produzia água de qualidade condizente com os padrões de potabilidade mesmo com os altos valores de turbidez do afluente.

3.3 - Dupla Filtração

A dupla filtração é um sistema constituído por duas unidades de filtração em série, sendo um filtro com escoamento ascendente que recebe água coagulada no mecanismo de

neutralização de cargas, seguido de um filtro de escoamento descendente, cuja finalidade é reter impurezas presentes no efluente do primeiro. Como o efluente do filtro ascendente não necessita apresentar turbidez inferior a 1 uT, em relação aos filtros sem pós-tratamento, a espessura da camada de areia pode ser menor já a granulometria e a taxa de filtração podem ser maiores. Evidentemente que tais unidades devem ser projetadas de modo a possibilitar a realização de descargas de fundo intermediárias com a introdução de água na interface pedregulho-areia.

Na utilização de pré-filtros de pedregulho para posterior tratamento com filtros rápidos, há redução de 50% nas dosagens requeridas de coagulantes e diminuições significativas no volume de lodos produzidos em relação ao tratamento que utiliza sedimentação como pré-tratamento (GALVIS *et al*, 1996).

Estudos mostram o grande potencial na utilização da dupla filtração para tratamento das águas superficiais brasileiras. Na UnB (Universidade de Brasília) estudos foram feitos com água de baixa turbidez e com presença de algas. Há necessidade ainda de estudos para otimização dos meios filtrantes e da metodologia de lavagem (AMARAL *et al.*, 2001; RISSOLI *et al.*, 2000).

Vários trabalhos têm sido desenvolvidos na EESC-USP com a utilização da dupla filtração. MEGDA (1999) estudou a aplicação da filtração direta ascendente em pedregulho como pré-tratamento à filtração rápida descendente, utilizando taxas de filtração no filtro ascendente entre 12 e 115 m³/m².dia e no filtro descendente de 250 m³/m².dia com a água bruta apresentando turbidez entre 6 e 71 uT. O filtro ascendente de pedregulho (FAP) era composto de 4 camadas de 30 cm cada com as seguintes granulometrias: 1º Camada: 31,7 a 19,1mm; 2º Camada: 15,9 a 9,6mm; 3º Camada: 9,6 a 4,8mm e 4º Camada: 4,8 a 2,4 mm. O filtro rápido descendente (FRD) era composto por camada única de areia de 70 cm de espessura com grãos de 1,41 a 0,42 mm, D₁₀ = 0,54mm e D₆₀ = 0,85 e CD = 1,57. A pesquisadora obteve resultados satisfatórios (ver TABELA 3) com relação à eficiência do sistema. Não foram executadas DFIs durante os ensaios. Suas principais conclusões foram:

- A filtração ascendente em pedregulho demonstrou capacidade de absorver picos de turbidez para água bruta com valores compreendidos entre 6 e 71 uT;
- A eficiência global do sistema com relação à remoção de partículas entre 1 e 40µm não mudou com a alteração das taxas de filtração do filtro ascendente de pedregulho;

- As taxas estudadas tanto no filtro ascendente de pedregulho quanto no filtro descendente de areia não influenciaram a eficiência de remoção de turbidez, cor aparente, coliformes totais e fecais no efluente final;
- A duração da carreira de filtração, tanto no FAP quanto no FRD, foi influenciada pela taxa de filtração empregada no FAP;
- A eficiência global da instalação de dupla filtração foi relativamente alta quanto à remoção de turbidez, cor aparente, ferro e coliformes.

GUSMÃO (2001) estudou a pré-filtração em pedregulho e em areia grossa para tratamento de água superficial natural com valores baixos de cor e turbidez, variando-se as taxas de filtração e o número das descargas de fundo intermediárias. As taxas utilizadas no filtro ascendente em pedregulho foram de 80 a 190 m³/m².dia, no filtro ascendente de areia grossa 200 a 360 m³/m².dia e no filtro descendente de 115 a 480 m³/m².dia. Nas FIGURAS 2 e 3 estão resultados típicos de turbidez e perda de carga dos ensaios no filtro ascendente de pedregulho com 2 DFIs. Destacam-se a seguir algumas conclusões desse trabalho:

- Os resultados de alguns valores de potencial zeta sugerem que a coagulação tenha ocorrido, de forma predominante, no mecanismo de adsorção, com neutralização parcial de carga;
- Houve grande concentração de flocos no efluente do FAP quando não foram feitas descargas de fundo. Nos ensaios em que foram realizadas descargas de fundo não foi constatado o desprendimento de flocos, sob taxas de filtração de 80 e 110 m³/m².dia;
- Mostrou-se a necessidade de tratamento complementar para garantir a produção de água condizente com o padrão de potabilidade com as taxas de 80, 110 e 190 m³/m².dia, mesmo com a execução de descargas de fundo;
- A execução de descargas de fundo intermediárias possibilitou redução média da ordem de 90% no valor da perda de carga, devido à retenção de impurezas no meio granular.

TABELA 3: Resultados gerais obtidos no ensaio 2 de MEGDA (1999), com taxa de filtração de 36 m³/m².dia no FAP e FRD com taxa de 250 m³/m².dia.

Parâmetro	Água Bruta	Efluente do FAP	Efluente do FRD
Turbidez (uT)	6,80 a 11,80	0,73 a 4,30	0,21 a 0,71
Cor Aparente (uH)	75 a 130	10 a 35	4 a 30
Cor Verdadeira (uH)	18 a 24	1 a 9	1 a 2
pH	7,15 a 7,55	7,02 a 7,32	6,81 a 7,26
Ferro Total (mg/L)	0,14 a 0,60	0,06 a 0,14	0,02 a 0,03
Manganês Total (mg/L)	0,05 a 0,20	0,03 a 0,06	0,016 a 0,025
Coliformes Totais (NMP/100mL)	1095 a 8164	14,8 a 253,4	2 a 7,8
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	11 a 45	<1 a 2	<1 a 1
Carbono Orgânico Total (mg/L)	4,892 a 7,707	2,379 a 3,517	0,672 a 2,237

Fonte : MEGDA (1999)

SALDANHA (2002) avaliou uma estação real de dupla filtração e identificou vários problemas operacionais que comprometiam a eficiência da estação. Dentre estes problemas, destacando-se: operação inadequada, disposição não estratificada do meio filtrante no filtro ascendente, falta de areia no filtro descendente, falta de critérios para lavagem, altas dosagens de coagulante e mistura ineficiente. Estes problemas faziam com que a qualidade do efluente final da estação muitas vezes não atingisse os padrões de potabilidade e acarretasse menor produção efetiva da água.

KURODA (2002) avaliou um sistema de dupla filtração composto de FAP e FRD com as mesmas características do sistema proposto para este trabalho para remoção de partículas suspensas, variando as taxas de filtração no FAP de 60 a 240 m³/m².dia e no FRD de 100 a 240 m³/m².dia com e sem descargas de fundo intermediárias no filtro ascendente de pedregulho. A água bruta foi proveniente de um manancial superficial com pH entre 6,5 a 7,5 e valores de turbidez compreendidos entre 8,5 e 21 uT.

FIGURA 2: Turbidez da água bruta e dos efluentes dos filtros FDAP-2 (filtro direto ascendente de pedregulho) e FRD-2 (filtro rápido descendente). Taxa de filtração no FDAP-2=187 a 189 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e no FRD-2= 237 a 245 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. DSA = 4,5 mg/L e pH de coagulação de 6,32 a 6,52. Fonte : GUSMÃO, 2001.

FIGURA 3: Perda de carga no meio filtrante em função do tempo de funcionamento dos filtros FDAP-2 e FRD-2. Taxa de filtração no FDAP-2=187 a 189 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e no FRD-2= 237 a 245 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ DSA = 4,5 mg/L e pH de coagulação de 6,32 a 6,52. Fonte : GUSMÃO, 2001.

A execução de DFIs foi fundamental para evitar a ocorrência de fenômenos como a ruptura do meio filtrante do filtro ascendente na camada de menores grãos no topo. O

procedimento para a execução das DFIs também foi avaliado, concluindo-se que o método mais eficiente foi o esvaziamento total do filtro, método adotado neste trabalho. Foi simulado um pico de turbidez de 380 uT, sendo o sistema capaz de continuar produzindo efluente de boa qualidade. As principais conclusões desse trabalho foram:

- O desempenho do sistema de dupla filtração, com relação à qualidade dos efluentes produzidos e duração das carreiras, é fortemente influenciado pelos efeitos dos fenômenos observados no FAP.
- Foi observada a ocorrência de desprendimento de flocos em todas as taxas de filtração empregadas;
- O método de descarga de fundo intermediária com o esvaziamento total do filtro apresentou melhor eficiência na recuperação de carga hidráulica do que o método em que o esvaziamento vai apenas até o topo do meio filtrante.

KURODA (2002) utilizando FLAs para controle da coagulação concluiu que uso de filtros de laboratório de areia (FLA) se mostrou eficiente para determinação de condições de coagulação química. A determinação das condições de coagulação em função da qualidade do filtrado de filtro de laboratório de areia resultou, para alguns ensaios, em água coagulada valores negativos de potencial zeta. Este fato indica que a escolha dos parâmetros de coagulação não deve ser baseada somente na medida do potencial zeta.

3.4 - Considerações Finais

Baseado na revisão da literatura relativa à remoção de impurezas em águas com cor elevada e baixa turbidez exige a construção de decantadores com baixa velocidade de sedimentação sendo necessárias grandes áreas. A filtração lenta apresenta baixos valores de remoção de cor quando realizada sem oxidação. A flotação é uma alternativa viável, porém com grandes custos operacionais. Diante destas dificuldades a dupla filtração mostra-se um processo potencialmente eficiente na remoção de cor e turbidez para águas com estas características. Apresenta também vantagens por atenuar as limitações características da filtração ascendente apresentadas por DI BERNARDO & ISAAC (2001).

Como o melhor mecanismo de coagulação para a dupla filtração é o de neutralização de cargas, utiliza-se assim menor quantidade de coagulante, o que possibilita diminuir a quantidade de lodo produzida. Tanto o lodo quanto a água de lavagem de filtros produzidos apresentam alta concentração de alumínio no caso da utilização de sulfato de alumínio e o descarte deve ser levado em consideração nos custos de produção. Por apresentar menor quantidade de lodo por litro de água produzida o processo se mostra coerente com a tendência de buscar alternativas menos poluentes. A operação é um aspecto também favorável na dupla filtração considerando em conta o baixo grau de especialização dos profissionais que trabalham nas estações de tratamento de água brasileiras. Desde que treinados os operadores podem realizar os procedimentos relativos à operação de uma dupla filtração sem grandes dificuldades.

Por estas vantagens a dupla filtração mostra-se como um tratamento seguro e de baixo custo podendo tratar com eficiência diversos tipos de mananciais, como os que apresentam picos de turbidez (KURODA, 2002). Mais estudos devem ser realizados para explorar todas as suas potencialidades e é neste contexto que este trabalho se encaixa buscando novas utilizações para esta tecnologia. Pesquisas realizadas na EESC-USP (MEGDA, 1999; GUSMÃO, 2001; SALDANHA, 2002; KURODA, 2002) e na UnB (AMARAL *et al.* 2001; RISSOLI *et al.* 2000) têm mostrado a versatilidade da tecnologia de dupla filtração para tratamento de águas e apresentado resultados satisfatórios.

A remoção de substâncias húmicas é muito importante para evitar a formação de compostos halogenados potencialmente prejudiciais à saúde. A preocupação atual com a presença de compostos halogenados em águas de abastecimento é crescente no mundo, refletindo na definição de limites máximos adotados em vários países, inclusive no Brasil (BRASIL, 2000). A prevenção de modo a não permitir a sua formação retirando os compostos orgânicos dissolvidos antes da cloração deve ser realizada de maneira eficiente e segura para reduzir os riscos sanitários da água até a sua distribuição.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Considerações iniciais

Neste capítulo são descritos os ensaios de laboratório e os ensaios realizados na instalação piloto. A FIGURA 4 apresenta o fluxograma com as etapas em que os ensaios foram realizados.

FIGURA 4 : Fluxograma geral dos ensaios experimentais.

4.2 - 1ª Etapa - Extração e caracterização de Substâncias Húmicas

Na FIGURA 5 está apresentado um fluxograma da extração das substâncias húmicas. As substâncias húmicas foram extraídas de solo turfoso coletado próximo ao Rio Mogi-Guaçu, no município de Luís Antônio (SP). A turfa foi seca à temperatura ambiente, triturada e peneirada (# 2 mm). As extrações foram feitas com soluções de NaOH na concentração de 0,5 mol/L, por 4 horas com agitação mecânica e na proporção turfa/extrator 1:20 (m/v), como recomendado por ROCHA *et al.* (2000). Após a extração, deixava-se a solução em repouso por 48 horas para sedimentação dos sólidos. O sobrenadante foi colocado em embalagens feitas com papel celofane e amarrado com elástico para submeter à diálise em água proveniente do poço da EESC-USP, com adição de ácido clorídrico (HCl 1%) até $\text{pH} \leq 2$, a qual era substituída 3 vezes ao dia, durante 2 dias. Na Figura 6 é mostrado os pacotes de papel celofane com as substâncias húmicas. Para a eliminação de cloretos, o extrato de substâncias húmicas foi transferido para a diálise em água do poço da EESC-USP, até que o teste negativo com solução de nitrato de prata (AgNO_3) apresentasse negativo.

FIGURA 5 : Fluxograma das etapas de extração das substâncias húmicas.

FIGURA 6: Pacotes de substâncias húmicas em banho de HCl.

A caracterização das substâncias húmicas foi feita por (CAMPOS, 2001) utilizando turfa coletada no mesmo local e utilizando o mesmo método de extração sendo modificado apenas o extrator alcalino, utilizado-se KOH (hidróxido de potássio). Segundo ROSA *et al.* (2000) o tipo de extrator não influencia nos grupos funcionais existentes na estrutura dos ácidos apenas no rendimento e quantidade de impurezas.

A análise química elementar do material foi feita utilizando-se um aparelho CHNS-O da marca Fisons, EA 1108. As porcentagens dos elementos carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N) e enxofre (S) foram obtidas diretamente e o elemento oxigênio (O) foi obtido por diferença.

O espectrômetro de infra-vermelho (IV) por transformada de Fourier utilizado foi o da marca Bomem MB-102. Para análise foram feitas pastilhas do material liofilizado na proporção de 1 - 100 (1mg de amostra e 100 mg de KBr). Foram realizadas 16 varreduras com 4 cm^{-1} de resolução nos espectros obtidos. As características das substâncias húmicas segundo CAMPOS (2001) são:

A composição elementar em relação a porcentagem de carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N) e oxigênio (O) das SHs e a razão atômica dos elementos são apresentadas na TABELA 4.

TABELA 4- Composição elementar das SHs e razões atômicas dos elementos.

Massa %				Razões atômicas		
C	H	N	O*	H/C	O/C	C/N
44,34	3,95	1,50	50,21	1,07	0,85	34,5

*A porcentagem de O foi calculada por diferença

Fonte: CAMPOS (2001)

Observa-se na TABELA 9 que as SHs extraídas possuem alta concentração de C e O e baixas de H e N. Verifica-se também que o valor da razão H/C encontrado é próximo de 1. Este valor demonstra que as SHs extraídas são originadas mais provavelmente da degradação de plantas vasculares do que de algas ou de matéria orgânica proveniente da degradação bacteriológica (BOURBONNIERE & MEYERS, 1978).

BELZIRE *et al.* (1997) acreditam que o valor da razão H/C possa dar informações a respeito do grau de maturidade das SHs. Este valor encontrado (1,07) sugere que essas SHs possuem grande quantidade de anéis aromáticos condensados, caracterizando um material em estágio avançado de humificação. O autor fez uma comparação das razões elementares de SHs extraídas de diferentes origens e mostrou que uma alta razão O/C pode resultar de um material com alta concentração de grupamentos alquil-O e grupamentos de ácidos carboxílicos. Assim o valor encontrado (0,85) para a razão O/C é relativamente alto, quando comparado com valores encontrados na literatura, o que comprova que essas SHs possuem grandes concentrações desses grupamentos carbônicos e carboxílicos.

A alta razão C/N (34,5), mostrada na TABELA 5 esta de acordo com os resultados discutidos para a razão H/C. Razões de C/N acima de 20 sugerem que o material é proveniente da degradação de plantas vasculares (MEYERS & ISHIWATARI, 1993).

Os espectros de infra-vermelho (IV) de SHs apresentam poucas bandas largas, e por isso podem parecer relativamente simples, entretanto esta simplicidade é mais aparente do que real, já que, estas bandas largas são a sobreposição das bandas de absorção dos constituintes individuais da mistura heterogênea de grupamentos que constituem as SHs. A FIGURA 6 apresenta o espectro de IV da amostra de SH.

Observa-se no espectro uma banda larga na região de 3.400 cm^{-1} devido ao estiramento OH. Essa banda está mais próxima da região característica de OH de álcoois e fenóis que de ácidos carboxílicos. As bandas na região de $\sim 2.900\text{ cm}^{-1}$ também é bastante comum em espectros de SHs. Essas bandas são atribuídas ao estiramento simétrico de C-H (-CH, -CH₂, -CH₃) dos grupos metil e/ou metileno alifáticos.

Na região de $\sim 1.600\text{ cm}^{-1}$ observa-se uma banda que indica o caráter aromático da molécula. Isto por que estas bandas são atribuídas ao estiramento C=C do anel, isto é, as vibrações de anel aromático conjugado com C=O e/ou COO⁻. Também podem ser devido ao estiramento anti-simétrico do grupo carboxilato e ao estiramento C=O do grupo COOH, devido ao hidrogênio ligado a grupo OH em posição orto, como no ácido salicílico.

Entre 1.370 e 1.440 cm^{-1} notam-se bandas devido a grupos C-H alifáticos, deformação O-H e/ou estiramento simétrico do COO⁻ de ácidos carboxílicos. Na região entre 1.100 e 950 cm^{-1} observam-se bandas que podem ser atribuídas a estiramento C-O de álcoois e/ou fenóis e/ou carboidratos ou também podem estar relacionadas a impurezas provenientes de silicatos (Si-O).

Comparando o espectro obtido com os espectros encontrados na literatura para SH, observa-se que as bandas encontradas estão na mesma faixa de absorção (MIKKI *et al.*, 1997; DAVIS *et al.*, 1999), mesmo sendo os dados encontrados na literatura correspondentes as SH fracionadas em ácidos húmicos e fúlvicos, e depois de sofrerem processos de purificação mais específicos. A TABELA 5 lista as bandas de absorção na região do IV observadas no espectro de SHs.

FIGURA 7: Espectro na região de IV para a amostra de SHs.

TABELA 5 : Bandas de absorção na região do IV observadas no espectro da amostra de SHs.

Frequência (cm ⁻¹)	Atribuições
3.400	H, ligado a OH
2.920-2.850	C-H alifáticos
1.580	C=C, aromáticos
1.370-1.440	C-H alifáticos, OH álcoois e ácidos
1.100-950	C-O de álcoois e/ou fenóis e /ou carboidratos, Si-O

4.3 - 2ª Etapa – Ensaios de Laboratório

A coleta, a conservação e a determinação dos parâmetros físicos e químicos foram feitas de acordo com a American Public Health Association - APHA (1998). Os principais parâmetros analisados, os pontos de amostragem e os métodos e equipamentos utilizados estão apresentados na TABELA 4. A temperatura da água para todos os ensaios de laboratório foi mantida a $20 \pm 1^\circ\text{C}$. A água era mantida nesta temperatura com água previamente gelada ou aquecida com ebulidor.

TABELA 6: Parâmetros analisados, pontos de amostragem, métodos e equipamentos utilizados nos ensaios de laboratório.

Parâmetro	Amostra	Método	Equipamento
Turbidez (uT)	AE e efluentes dos FLAs	Nefelométrico	Turbidímetro de bancada HACH
Cor aparente (uH)	AE e efluentes dos FLAs	Espectrofotométrico ($\lambda = 455 \text{ nm}$)	Espectrofotômetro DR 4000 (HACH)
Cor verdadeira (uH)	AE	Espectrofotométrico ($\lambda = 455 \text{ nm}$)	Espectrofotômetro DR 4000 (HACH)
pH	AC, AE	Potenciométrico	Potenciômetro de bancada 420 A (Orion)
Temperatura ($^\circ\text{C}$)	AE	Leitura direta	Termômetro de mercúrio

AB = água bruta; AE = água de estudo, AC = água coagulada; FLA= Filtro de laboratório de areia

Um volume de 40 mL de água foi filtrado em membrana com poro de $0,45 \mu\text{m}$ para a realização das leituras de cor verdadeira. Para isto foi utilizada uma bomba a vácuo para a filtração.

4.3.1 - Fase 1 – Variação da cor verdadeira em relação ao pH

As substâncias húmicas não são moléculas com estruturas definidas, mas um grupo dinâmico de compostos heterogêneos os quais são complexos em sua constituição estrutural e mudam constantemente. Estas variações podem ser causadas por vários fatores como

temperatura, interações com elementos presentes em solução e variação nos valores de pH, dentre outros. Por estas razões foi feito o estudo da variação do efeito do pH sobre a cor verdadeira.

A partir da “solução-mãe” de extrato de substância húmica, foi preparada uma solução-padrão de cor conhecida equivalente a 500 uH, da qual partiram todas as amostras. Esta solução-padrão foi diluída até que se obtivessem soluções com diferentes valores de cor verdadeira (5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 100 e 120 uH). O pH das amostras foram ajustados para 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 e 7,0; e foi feita a leitura para os valores de absorvância no DR-4000 correspondentes ao melhor comprimento de onda do pico de absorção. Os valores obtidos para cada cor verdadeira e pH foram utilizados para traçar as curvas que relacionam absorvância com cor verdadeira em função do pH.

Uma solução-padrão de hexacloroplatinato de potássio com cor verdadeira de 500 mg/L Pt-Co foi preparada utilizando-se o método recomendado pela APHA (1998). Para as leituras de cor foi utilizado espectrofotômetro UV (DR 4000 – HACH) e para se obter o pico de melhor absorção foi feita a varredura de 400 a 700 nm, obtendo-se o pico em 455 nm. A partir desta solução-padrão foram feitas várias diluições obtendo-se águas de cor verdadeira de: 0, 5, 10, 20, 40, 80 e 100 uH para a curva de calibração de 0 a 100 uH e de 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400 e 500 uH para a curva de calibração de 50 a 500 uH.

Preparou-se uma solução-padrão com cor verdadeira conhecida de 500 uH com água destilada e extrato de substâncias húmicas. Com esta solução, foram diluídas amostras de 100 ml com cor verdadeira de 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100 e 120 uH. A leitura de pH foi feita com potenciômetro digital (Orion) para cada amostra preparada, conforme TABELA 7.

Para as leituras no DR 4000 foi necessária uma quantidade de 25 ml de amostra, portanto as amostras foram divididas em dois volumes com 50 ml cada. Como o valor do pH das amostras estava próximo de 6,5, optou-se por fazer os ensaios para as amostras com valor de pH igual e menores que 6,5 utilizando-se um volume de amostra de 50 ml para cada cor. O outro volume de amostra (50 ml) foi reservado para valor de pH = 7,0.

TABELA 7 – Valores iniciais de pH para as amostras de água com cor verdadeira variando de 10 a 120 uH.

Cor verdadeira (uH)	pH
10	6,49
15	6,51
20	6,32
30	6,52
50	6,32
75	6,49
100	6,60
120	6,69

O ajuste de pH foi feito com solução de HCl (0,07 M) para acidificar as amostras e solução de NaOH (0,019 M) para alcalinizar as amostras quando fosse necessário. Observou-se que ocorria variação de pH com volume inferior a 2 ml de solução de HCl e/ou NaOH, portanto não causando diluição da amostra. Para a obtenção das curvas de variação de cor com o pH foram feitas as leituras de absorvância no DR 4000, no comprimento de onda = 455 nm.

4.3.2 - Fase 2 – Escolha da granulometria da areia para os filtro de laboratório de areia (FLAs) e otimização coagulação

A determinação das condições de coagulação (dosagem de coagulante, pH de coagulação e gradiente médio de velocidade) teve como objetivo fazer com que a água de estudo fosse coagulada, de forma dominante, no mecanismo de adsorção e neutralização de carga, o qual é considerado ideal quando a água coagulada será submetida à filtração direta (AMIRTARAJAH, 1989).

Nesta fase, foram realizados ensaios em jarreste e filtração em filtros de laboratório de areia (ver FIGURA 8), com a água de estudo, variando-se as dosagens do coagulante e os valores de pH de coagulação, para a escolha da faixa granulométrica da areia para os filtros de laboratório.

Nos ensaios para a escolha do tipo de areia fixou-se o tempo de mistura rápida em 25 s e o gradiente de velocidade em 1000 s^{-1} , valores utilizados por KURODA (2002). Para cada ensaio utilizou-se uma faixa granulométrica diferente, conforme apresentado na TABELA 8. A escolha da areia foi feita com base nos resultados em que cor aparente e turbidez remanescentes apresentaram valores menores. Buscou-se manter as taxas dos FLAs entre 80 e $100 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. Utilizou-se sulfato de alumínio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ como coagulante.

TABELA 8 : Faixa granulométrica para cada tipo de areia utilizada nos FLAs.

Tipo	Faixa granulométrica (mm)
1	0,30 a 0,59
2	0,42 a 0,84
3	0,59 a 1,41

4.3.3- Fase 3 - Ensaios para escolha dos parâmetros de mistura rápida

Foram feitos ensaios em jarteste e filtros de laboratório de areia, variando-se o tempo de mistura rápida (15, 20, 25, 30, 35 e 40 s) e o gradiente de velocidade (500, 750 e 1000 s^{-1}). De posse dos valores de cor aparente remanescente foi possível selecionar o gradiente de velocidade para o qual observou-se menor influência do tempo de agitação na mistura rápida, já que na instalação piloto o tempo de mistura rápida apresenta variação dependendo da taxa de filtração a ser utilizada.

FIGURA 8: Foto do equipamento de jarteste e filtros de laboratório de areia.

4.4 - 3º Etapa - Ensaios na Instalação Piloto

4.4.1 - Descrição da instalação piloto

Na FIGURA 9 tem-se um esquema da captação e distribuição da água utilizada na instalação piloto.

A instalação piloto, cuja vista externa está na FIGURA 10 foi montada nas dependências na ETA 2 de São Carlos, localizada no distrito industrial da cidade – CEAT (Centro Empresarial de Alta Tecnologia). Era constituída basicamente de:

Sistema de recalque de água bruta; caixa de nível constante; sistema de distribuição de vazão por meio de “CAP” com orifícios; câmara de mistura rápida; tanques com agitador e bombas dosadoras; quadro de piezômetros; rotâmetros para controle de vazão; sistema de dupla

filtração com filtro ascendente de pedregulho e filtro rápido descendente de areia uniforme (FIGURA 12); sistema de lavagem de filtros com ar e água contendo reservatório para armazenamento de água, bomba centrífuga, compressor de ar e rotâmetro para controle da vazão de ar; sistema de aplicação de substâncias húmicas, acidificante e coagulante. Para preparação e dosagem das soluções utilizadas foram utilizados tanques providos de bomba dosadora por pulsos, motoredutor, “*dumper*” e agitador. Um esquema com os principais itens da instalação piloto está na FIGURA 11.

4.4.1.1 - Recalque da água bruta

O recalque da água bruta do reservatório de sucção foi feita por meio de uma bomba centrífuga instalada no reservatório de água bruta, era bombeada uma vazão da ordem de 1000 L/h. Na tubulação havia um registro de esfera, para retorno de parcela da água recalçada e um rotâmetro para ajustes da vazão. A água chegava em uma caixa de nível constante (CNC) responsável por manter a altura da lâmina de água sem grandes variações, não influenciando assim a vazão.

4.4.1.2 - Água de estudo

No presente trabalho a água utilizada para os ensaios de laboratório e na instalação piloto foi proveniente do Ribeirão Feijão, um dos mananciais que abastece a cidade de São Carlos. Na água bruta foi adicionado extrato de substância húmica até obtenção de cor verdadeira entre 90 e 110 uH. Os ensaios na instalação piloto foram realizados no período de estiagem quando a água apresenta na grande maioria do tempo turbidez < 15 uT.

4.4.1.3 - Regularização da vazão da água bruta

Para amenizar as variações de vazão bombeada de água bruta causada principalmente pela variação de nível no reservatório de sucção, foi instalada uma caixa de nível constante (FIGURA 14). Esta caixa possuía um extravasor que mantinha o nível constante. Esta caixa possuía ainda um “CAP” com carga hidráulica variável para ajustes na vazão.

FIGURA 9: Esquema de captação e distribuição de água na instalação piloto

FIGURA 10: Vista externa da instalação piloto.

Na saída da caixa de nível constante foi adaptada uma caixa para adição e homogeneização de substância húmica, esta caixa tinha um agitador para homogeneização (ver FIGURA 13).

Após esta caixa de homogeneização a água recebia acidulante (FIGURA 13) e era encaminhada para a caixa de mistura rápida (CMR) (FIGURA 15) onde recebia o coagulante. A CMR possuía um agitador e um sensor que enviava sinal para o tacômetro digital para registro do gradiente de velocidade. A área de mistura rápida da CMR possuía as mesmas dimensões do jarro do jarteste com capacidade de 2 L, isto possibilitava a reprodução dos resultados obtidos no jarteste na instalação piloto.

FIGURA 11: Esquema da instalação piloto.

FIGURA 13: Caixa para adição de extrato de substância húmica e ácido clorídrico

FIGURA 14: Caixa de regularização da vazão.

4.4.1.4 Mistura Rápida e coagulação química

Após receber acidulante na tubulação anterior a caixa de mistura rápida a água recebia sulfato de alumínio com a concentração de 6000 mg de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O/L}$ na caixa de mistura rápida por meio de bombona. A agitação era feita através de agitador com palheta plana que funcionava continuamente com rotação da ordem de 380 rpm ($G=750 \text{ s}^{-1}$). O tempo de mistura ficou entre 20 e 30 s para as vazões utilizadas. A distribuição para os filtros foi feita por meio de CAPs com orifícios. A eq. (1) foi utilizada para a determinação do diâmetro dos orifícios dos CAPs utilizados:

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (1)$$

Onde: Q = vazão (m^3/s)

$C_d = 0,61$ (coeficiente de descarga)

A = área do orifício (m^2)

g = aceleração da gravidade (m/s^2)

h = altura da lâmina acima do orifício (m)

FIGURA 15: Caixa de mistura rápida e desenho esquemático (AC: água coagulada; FAP: filtro ascendente de pedregulho; FAAG: filtro ascendente de areia grossa).

Foram utilizados CAPs com orifícios com os seguintes diâmetros: 4,1 mm para taxa de filtração de $80 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e de 4,6 mm para a taxa de filtração de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ no filtro ascendente.

O sulfato de alumínio foi produzido pela Hell Química S/A e apresentava massa específica de $1332,6 \text{ g/L}$, determinada a partir de teste de densidade feito em laboratório. A

partir da massa específica a concentração foi obtida com os dados fornecidos pelo fabricante, apresentados no ANEXO A .

As dosagens de coagulante foram calculadas utilizando-se as eq. (2, 3, 4 e 5) segundo GUSMÃO (2001):

$$D_{SOC} = \frac{Q_{bd} * C_{se}}{Q_{bd} + Q_{ab}} \quad (2)$$

$$D_{SA} = D_{SOC} (C_{SA} / M_{SOC}) \quad (3)$$

$$D_{(Al_2O_3)} = k_1 D_{SA} \quad (4)$$

$$D_{Al(III)} = k_2 D_{SA} \quad (5)$$

Em que:

D_{SOC} = dosagem do coagulante (mg solução comercial /L);

D_{SA} = dosagem do coagulante (mg $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14,3 H_2O$ /L);

$D_{(Al_2O_3)}$ = dosagem do coagulante (mg Al_2O_3 /L);

$D_{Al(III)}$ = dosagem do coagulante (mg Al (III)/L);

Q_{bd} = vazão da bomba dosadora (L/h);

Q_{ab} = vazão da água bruta (L/h);

C_{se} = concentração da solução estoque (mg solução comercial / L da solução estoque);

C_{sa} = concentração do sulfato de alumínio comercial sólido (g $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14,3 H_2O$ / L);

M_{soc} = massa específica da solução comercial (g solução comercial / L da solução comercial);

K_1 = relação entre as massas moleculares de Al_2O_3 e $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14,3 H_2O$;

K_2 = relação entre as massas moleculares de Al(III) e $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14,3 H_2O$.

Por exemplo, no ensaio 5, com taxas de filtração média de $120 m^3/m^2.dia$ no FAP e de $180 m^3/m^2.dia$ no FRD e dosagem de sulfato de alumínio de 8,0 mg/L, tem-se:

$$D_{SA} = D_{SOC} (C_{SA} / M_{SOC}) \quad (3)$$

$$D_{soc} = 17,56$$

$$17,56 = \frac{Qbd.6000}{Qbd + 240,84(*)} ; Qbd = 0,71 \text{ L/h} \quad (2)$$

(*) vazão total considerando o sistema paralelo em funcionamento.

TABELA 9 : Concentrações de alumínio utilizadas nos ensaios 1, 2, 3, 4 e 5.

D _{SOC} (mg/L)	Al ₂ (SO ₄) ₃ .14,3 H ₂ O (mg/L)	Al ₂ O ₃ (mg/L)	Al (III) (mg/L)
17,56	8	1,36	0,73

Para a preparação de solução estoque de ácido clorídrico foi feita a diluição de ácido clorídrico p.a . (para análise) da marca MERK com título de 37%.

A concentração da solução estoque foi de 0,07 M, concentração utilizada para ajuste do pH nos ensaios de laboratório e para sua preparação foi utilizada a eq. (6):

$$M = m/M.V \quad (6)$$

Onde:

M: molaridade (M)

m: massa (g)

M: massa molar (g)

V: volume

O gradiente de velocidade médio foi escolhido baseado em ensaios em jarteste levando em conta o tempo de mistura observado na instalação piloto conforme descrito na Etapa 1.

Foram feitos ensaios para a otimização da dosagem e do pH de coagulação em jarteste e confirmados antes de cada ensaio na instalação piloto. Durante os ensaios na instalação piloto a água coagulada era filtrada em um FLA acoplado na saída do extravasor de água coagulada.

Este monitoramento foi importante para detectar problemas nas bombas dosadoras como entrada de ar nas mangueiras.

4.4.2 - Sistema de filtração

O sistema de dupla filtração era constituído por filtro ascendente de pedregulho e filtro rápido descendente de acrílico transparente (FIGURA 12). Apresentam placas de fundo com orifícios. O FAP teve diâmetros interno e externo de 141 mm e 153 mm respectivamente. O FRD apresenta diâmetro interno de 92 mm e externo de 100 mm.

4.4.2.1 - Filtro ascendente de pedregulho (FAP)

O filtro ascendente de pedregulho tinha o meio granular constituído de 4 subcamadas de pedregulho com tamanhos decrescentes no sentido do escoamento cujas características são apresentadas na TABELA 10:

TABELA 10: Características e espessura da camada filtrante do FAP.

Tamanho dos grãos (mm)	Espessura da Subcamada (cm)
19,1 a 31,7	30
9,6 a 15,9	30
4,8 a 9,6	30
2,4 a 4,8	30

4.4.2.2 - Filtro Rápido Descendente (FRD)

O filtro descendente possui placa perfurada no fundo, sobre a qual estará disposta uma tela metálica, de modo que o material filtrante foi disposto diretamente sobre a mesma. O meio filtrante era constituído unicamente de areia, a qual possuía as seguintes características: espessura da camada: 0,7 m; tamanho dos grãos = 0,30 a 1,41 mm; tamanho efetivo = 0,42 a 0,45; coeficiente de desuniformidade = 1,7; coeficiente de esfericidade = 0,75 a 0,80. A curva granulométrica é apresentada na FIGURA 16.

FIGURA 16 : Curva granulométrica do FRD (KURODA, 2002).

4.4.3 - Piezômetros

Para medidas das perdas de carga nas camadas dos meios filtrantes foram instaladas tomadas para medidas de pressão constituídas de mangueiras com 5 mm de diâmetro. Os quadros foram devidamente graduados para leitura. No FAP foram instaladas cinco tomadas piezométricas e no FRD quatro tomadas.

4.4.4 - Turbidímetros de escoamento contínuo

A turbidez foi utilizada como critério para o fim de carreira quando ocorria transpasse no FRD, ou seja, quando a turbidez do efluente atingisse 1 uT, o filtro seria retirado para lavagem. Para este controle o sistema foi provido de derivações nos efluentes dos filtros e na água bruta que alimentavam os turbidímetros de escoamento contínuo. Os turbidímetros utilizados foram modelo 1720 C da HACH conforme mostrado na FIGURA 17. Os dados eram enviados para um computador através de uma placa de aquisição de dados com intervalos de cerca de 5 min. A vazão dos turbidímetros era controlada por meio de pinças nas tubulações e eram mantidas entre 15 e 45 L/h.

Antes dos ensaios os turbidímetros foram calibrados conforme procedimento descrito no manual do equipamento, utilizando padrões preparados a partir de solução de formazina com turbidez de 4000 uT.

FIGURA 17 : Turbidímetros de escoamento contínuo HACH 1720C.

4.4.5 - Controle e ajustes das taxas de filtração

A vazão afluyente do FRD era medida por meio de um rotâmetro e ajustada por meio de um registro de agulha, adaptado à tubulação de desvio.

As taxas eram controladas a cada 1 hora com medidas volumétricas de vazão realizadas com proveta e cronômetro. As medidas foram feitas nas tubulações de desvio de água pré-filtrada, de saídas dos turbidímetros de escoamento contínuo e do efluente filtrado.

4.4.6 - Descarga de fundo no filtro ascendente de pedregulho

As descargas de fundo no FAP foram feitas com o esvaziamento total do filtro, a taxa média de aplicação era da ordem de 800 e 1200 m³/m².d com duração de 1 a 1,5 min, sempre

que fosse atingida a perda de carga limite de 0,5 m antecedendo a lavagem, ou ainda nas DFIs. Nos ensaios foi utilizado como um dos critérios de descarga o valor de cor aparente do FAP, quando a cor aparente do afluente do filtro ascendente atingisse valor maior ou igual a 50 uH, era realizada DFI.

Outro critério foi utilizado com base na perda de carga de acordo com os resultados obtidos por KURODA *et al.* (2001). Foram definidas 5 DFIs que eram calculadas através da soma de valores de perda de carga por meio da eq. (7). Este valor era calculado, baseando-se no valor da perda de carga do meio granular limpo, número de DFIs e valor limite de perda de carga no meio granular previsto, seguindo o procedimento:

- a) Média-se a perda de carga no meio granular limpo (H_0);
- b) Subtraía-se o valor da perda de carga inicial da perda de carga limite prevista (0,5m)
- c) Dividia-se o valor obtido por (N+1), sendo N o número de DFIs previstas, resultando o valor de acréscimo de perda de carga entre DFIs:

$$\Delta H_{DFI} = \frac{0,5 - H_0}{6} \quad (7)$$

As DFIs eram realizadas de acordo com o seguinte procedimento:

1. Suspensão da operação de filtração do FRD;
2. Desvio da água coagulada do SDF;
3. Fechamento das tomadas piezométricas;
4. Execução da DF abrindo-se o registro de esfera para a taxa de aplicação de 800 a 1000 m³/m².dia até o esvaziamento total do filtro, com duração de 1 a 1,5 min.;
5. Encaminhamento de água coagulada ao FAP;
6. Continuação da operação de filtração do FRD;
7. Abertura das tomadas piezométricas.

4.4.7 - Encerramento das carreiras de filtração

O encerramento das carreiras de filtração era definido quando:

- a) atingisse a perda de carga limite no meio granular , de 2,10 m no FRD e de 0,50 m no FAP ou;
- b) a turbidez do efluente do filtro descendente extrapolasse 1 uT;
- c) ou atingisse 72 horas de funcionamento (critério não utilizado no pré-ensaio).

4.4.8 - Lavagem dos filtros

O sistema de lavagem era composto de bomba centrífuga, reservatório para água de lavagem. A água de lavagem era água tratada pela ETA 2 de São Carlos sem cloro. A regulação da taxa de introdução da água de lavagem do filtro foi feita por meio de um registro de esfera.

O sistema de aplicação de ar era composto por motocompressor de ar, tubulação provida de rotâmetro e ramificações para os filtros, o ajuste da vazão era feito através de um registro de agulha. A distribuição de ar dentro dos filtros era efetuada por um tubo de cobre com orifícios.

A lavagem do FAP era feita inicialmente com uma descarga de fundo (DF), enchia-se o filtro com água de lavagem e introduzia-se simultaneamente ar, com taxa de aplicação da ordem de 10 L/s.m^2 , e água com velocidade ascensional de 0,5 m/min, durante 5 min. Em seguida a lavagem era feita com velocidade ascensional da água de 1,4 m/min sem a introdução de ar, por 5 min ou tempo suficiente para que a turbidez do efluente resultasse inferior a 5 uT.

4.4.9 - Parâmetros de controle

Na instalação piloto foram realizadas quase todas as análises com exceção dos coliformes totais e fecais, alumínio residual e COD que foram realizados no Laboratório de Saneamento do EESC-USP. Na TABELA 11 estão os parâmetros e a frequência com a quais foram monitorados:

TABELA 11 – Parâmetros de controle, frequência, pontos de amostragem, método e equipamentos utilizados nos ensaios na instalação piloto.

Parâmetro	Frequência	Amostra	Método	Equipamento
Turbidez (uT)	Contínuo	AB, efluentes do FAP e FRD	Nefelométrico	Turbidímetro de escoamento contínuo (1720 C – HACH)
Cor aparente (uH)	2 em 2 horas	AB, AE, efluentes do FAP e FRD	Espectrofotométrico ($\lambda = 455 \text{ nm}$)	Espectrofotômetro DR 4000 (HACH)
Cor verdadeira (uH)	2 em 2 horas	AB, AE	Espectrofotométrico ($\lambda = 455 \text{ nm}$)	Espectrofotômetro DR 4000 (HACH)
pH	2 em 2 horas	AC, AE, AB	Potenciométrico	Potenciômetro de bancada 420 A (Orion)
Temperatura (°C)	2 em 2 horas	AE	Leitura direta	Termômetro de mercúrio
Alcalinidade Total (mg/L CaCO_3)	6 em 6 horas	AB, AE, efluentes do FAP e FRD	Titulação potenciométrica	Bureta digital e potenciômetro de bancada
Alumínio (mg/L)	1/dia	AB, AE, efluente do FRD	Absorção atômica	Absorção atômica Forno de grafite
Absorvância 254 nm	6 em 6 horas	AB, AE, efluentes do FAP e FRD	Espectrofotométrico ($\lambda = 254 \text{ nm}$)	Espectrofotômetro DR 4000 (HACH)
Carbono orgânico dissolvido (mg/L)	1/dia	AB, AE, efluentes do FAP e FRD	Analizador de gás infravermelho	<i>Total Organic Carbon Analyser 5000 A</i> (Schimadzu)

AB = água bruta; AE = água de estudo, AC = água coagulada.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentados os resultados relativos aos ensaios de laboratório e os resultados dos ensaios na instalação piloto.

Nos ANEXOS de B a L estão as planilhas e gráficos referentes aos resultados dos ensaios de laboratório e as planilhas de acompanhamento dos experimentos na instalação piloto.

5.1 - 1º Etapa : Extração das substâncias húmicas

O procedimento de extração de substâncias húmicas foi repetido até que o volume obtido fosse suficiente para a realização de todos os ensaios na instalação piloto.

5.2 - 2º Etapa : Ensaios de Laboratório

5.2.1 - Fase 1 – Variação de cor verdadeira em função do pH

No ANEXO B são apresentados os valores de absorvância das amostras com diferentes valores de pH e cor verdadeira, a partir destes dados foi possível obter o gráfico da FIGURA 18 com as curvas de variação.

Pode-se observar que houve pequenas variações nos valores de absorvância entre as amostras. Na FIGURA 18 estão apresentadas as curvas de pH para as amostras com a absorvância em função da cor.

Para minimizar os efeitos destas variações as leituras de cor sempre foram acompanhados pelos valores de pH correspondentes.

FIGURA 18: Curvas de variação da cor verdadeira em função da absorvância e do pH ($\lambda = 455 \text{ nm}$).

5.2.2 - Fase 2 – Escolha da granulometria da areia para os filtro de laboratório de areia (FLAs) e otimização coagulação

Para todos os ensaios de laboratório foi preparada uma água de estudo utilizando-se a água bruta do Ribeirão do Feijão, com adição de extrato de substâncias húmicas. A água de estudo apresenta as características mostradas na TABELA 12. Para a obtenção da cor verdadeira foram adicionados cerca de 1mL de extrato de substâncias húmicas por litro de água bruta.

Nos ensaios para a escolha do tipo de areia fixou-se o tempo de mistura rápida em 25 s e o gradiente de velocidade médio de 1000 s^{-1} , valores utilizados por KURODA (2002). Após a mistura rápida Para cada ensaio utilizou-se uma faixa granulométrica diferente. A escolha da areia foi feita com base nos resultados em que cor aparente e turbidez remanescentes que apresentaram valores menores, este procedimento foi validado depois com os ensaios na

instalação piloto, pois a ordem de grandeza da cor aparente remanescente e turbidez foi a mesma. Utilizou-se sulfato de alumínio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ como coagulante.

TABELA 12: Características da água de estudo utilizada nos ensaios de laboratório.

Parâmetros	Valor
Turbidez (uT)	11
Cor Aparente (uH)	160
Cor Verdadeira (uH)	95
Temperatura (° C)	20,0
pH	7,2

Os resultados destes ensaios estão apresentados nas FIGURAS 19 a 21.

a) Resultados do ensaio com a areia Tipo 1 (0,30 a 0,59mm).

FIGURA 19: Valores de cor aparente remanescente dos efluentes dos FLAs nos tempos de filtração de 10, 20, 30 e 40 minutos com areia tipo 1, DAS=20 mg/L e pH=5,1±0,1.

a) Resultados do ensaio com a areia Tipo 2 (0,42 a 0,84mm).

FIGURA 20: Valores de cor aparente remanescente dos efluentes dos FLAs nos tempos de filtração de 10, 20, 30 e 40 minutos com areia tipo 2.

c) Resultados do ensaio com a areia Tipo 3 (0,59 a 1,41mm)

FIGURA 21: Valores de cor aparente remanescente dos efluentes dos FLAs nos tempos de filtração de 10, 20, 30 e 40 minutos com areia tipo 3.

Os resultados obtidos indicaram que a melhor remoção de cor foi com a utilização de areia tipo 1 (0,30 a 0,59 mm). Com estes ensaios, escolheu-se a melhor dosagem de sulfato de alumínio (DSA) = 20 mg/L para ser utilizada na determinação do pH. Após a definição da areia a ser utilizada e a escolha da dosagem de sulfato de alumínio, foram realizados ensaios para a otimização do pH de coagulação, variando-se a dosagem de HCl (0,07M). Os resultados obtidos estão apresentados na FIGURA 22.

Os resultados obtidos com areia tipo 1 e dosagem de coagulante de 20 mg/L indicaram que o valor de pH de coagulação para melhor remoção de cor ficou próximo a $5,16 \pm 0,10$. Tanto os valores de dosagens como o valor de pH foram confirmados por meio de FLA acoplado à saída da derivação de água coagulada na instalação piloto antes do início dos ensaios.

FIGURA 22: Valores de cor aparente remanescente dos efluentes dos FLAs nos tempos de filtração de 10, 20, 30 e 40 minutos (DSA=20 mg/L).

5.2.3 - Fase 3 – Escolha dos parâmetros de mistura rápida

Com a dosagem de coagulante ($20 \pm 0,2$ mg/L) e o valor de pH ($5,16 \pm 0,10$) definido, foram realizados ensaios para a obtenção de um gradiente de velocidade médio (G) que não apresentasse variações significativas na eficiência de remoção, mesmo variando-se o tempo de mistura rápida. Isto porque na instalação piloto o tempo de mistura mudava conforme as taxas de filtração utilizadas. Nesta fase dos ensaios de laboratório variou-se o gradiente de velocidade em 500, 750 e 1000 s^{-1} e o tempo de mistura rápida em 15, 20, 25, 30 e 35 s, os resultados estão apresentados nas FIGURAS 23 a 25.

FIGURA 23: Valores de cor aparente remanescente dos efluentes dos FLAs utilizando-se gradiente de velocidade de 500 s^{-1} . (DSA= $20 \pm 0,2 \text{ mg/l}$ e $\text{pH} \approx 5,1 \pm 0,1$)

FIGURA 24: - Valores de cor aparente remanescente dos efluentes dos FLAs utilizando-se gradiente de velocidade de 750 s^{-1} . (DSA= $20 \pm 0,2 \text{ mg/l}$ e $\text{pH} \approx 5,1 \pm 0,1$)

FIGURA 25: Valores de cor aparente remanescente dos efluentes dos FLAs utilizando-se gradiente de velocidade de 1000 s^{-1} . (DSA= $20 \pm 0,2 \text{ mg/l}$ e $\text{pH} \approx 5,1 \pm 0,1$).

Pra melhor visualização dos resultados foi plotado os resultados referentes a 30 min de filtração na FIGURA 26.

FIGURA 26: Valores de cor aparente remanescente dos efluentes dos FLAs após 30 min de filtração. (DSA= $20 \pm 0,2 \text{ mg/l}$ e $\text{pH} \approx 5,1 \pm 0,1$).

Com base nos resultados obtidos com areia tipo 1, dosagem de sulfato de alumínio de $20 \pm 0,2$ mg/L e $\text{pH} \approx 5,1 \pm 0,1$, o gradiente de velocidade que proporcionou maior remoção de cor aparente e que não teve sua eficiência influenciada pelo tempo de mistura rápida, foi de 750 s^{-1} .

5.3 - 3ª Etapa: Ensaios na instalação piloto

5.3.1 - Água de estudo

Esta água apresentou as seguintes características durante o período de trabalho:

- ♦ Turbidez: 8,8 a 49 uT
- ♦ Cor Verdadeira: 10 a 51 uH
- ♦ Cor Aparente: 80 a 407 uH
- ♦ COD: 1,957 a 6,002
- ♦ Alcalinidade: 6,82 a 12,32 mg/L CaCO_3
- ♦ pH: 6,2 a 6,9
- ♦ Absorvância (254nm): 0,045 a 0,150 cm^{-1}
- ♦ Temperatura: 17 a 26 °C.

5.3.2 - Regularização e distribuição de vazão

No decorrer dos ensaios foram realizadas leituras volumétricas para controle da vazão e foram calculadas as respectivas taxas, os dados estão mostrados no ANEXO D. Os resultados demonstraram que a vazão do FAP não variou muito o que comprova a eficiência do sistema de distribuição por “CAP”. Os resultados referentes às taxas do FRD mostraram uma maior variação e sempre para maior vazão, estes resultados ressaltam a pouca precisão do sistema de controle que era composto por um rotâmetro, um registro de esfera e de um registro de agulha. Também foram observadas variações decorrentes de acúmulo de impurezas e flocos nas mangueiras principalmente nos pontos de saída dos turbidímetros de água bruta e pré-filtrada..

5.3.3 - Mistura Rápida e Coagulação Química

Para as vazões utilizadas, considerando o sistema de FAAG (filtro ascendente de areia grossa) que funcionou em paralelo durante os ensaios, o tempo de mistura rápida variou de 20 a 30 s, o gradiente de velocidade foi controlado com um sensor que indicava a rotação da palheta em um tacômetro digital. Houve pequenas variações causadas pelo desgaste da correia de borracha do agitador e quando isto acontecia era realizada a troca da correia.

A solução estoque de sulfato de alumínio foi preparada com a concentração de 6000 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$. A dosagem de sulfato de alumínio utilizada foi de 8 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ para todos ensaios, com exceção do ensaio 6 que foi utilizada a dosagem de 10 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$, valor oriundo de ensaio prévio em jarteste. O ácido clorídrico da solução dosada foi preparado com a concentração de 0,07 M. As soluções foram preparadas em recipiente separado homogeneizado e depois colocadas nas bombonas.

As condições de coagulação definidas por meio de ensaios em jarteste foram reproduzidas na instalação piloto. Durante o ensaio foram realizados ensaios com FLA acoplado ao extravasor de água coagulada, este método de controle foi eficiente para acompanhamento da dosagem de coagulante e pH de coagulação, pois qualquer mudança alterava a eficiência na remoção de cor e turbidez observada no efluente do FLA.

A água apresentou baixos valores de alcalinidade (6,82 a 12,32 mg/L CaCO_3) sendo necessárias baixas dosagens de ácido clorídrico para ajuste do pH. Segundo OWEN et al. (1995), águas assim apresentam melhores valores de remoção de substâncias húmicas com menores valores de pH, isto ocorre porque, com valores menores de pH, os grupos ácidos são convertidos em formas não ionizáveis. VOLK et al. (2000) afirmam que a eficiência na remoção de COD diminui com o aumento da alcalinidade, este fator provavelmente influenciou no bom desempenho do sistema.

Para os ensaios realizados no presente trabalho, o pH de coagulação que apresentou maior eficiência na remoção de cor e turbidez foi de $5,0 \pm 0,1$, este valor variou de 4,7 a 5,9 durante os ensaios. Maiores variações ocorreram por problemas na dosagem de ácido clorídrico como entrada de ar na mangueira da bomba. Valor que se enquadra na faixa citada por outros autores

(MENDES, 1985; EDWARDS & AMIRTHARAJAH, 1985; VOLK *et al.*, 2000). Segundo EDWARDS & AMIRTHARAJAH (1985) neste pH o mecanismo de coagulação predominante é o de neutralização de cargas.

5.3.4 - Desempenho do Sistema de Dupla Filtração

5.3.4.1 - Pré-ensaio

Inicialmente, foi feito um pré-ensaio para avaliar o comportamento dos filtros e os critérios de DFIs. Neste pré-ensaio o número de DFIs foi fixado em 5 e o critério de fim da carreira foi definido pela perda de carga máxima admissível no FAP. A carreira durou 100 horas e o filtro rápido descendente precisou ser lavado 6 vezes, sendo que 4 delas por transpasse. O transpasse comprometeu a qualidade final do efluente devendo portanto ser evitado. Observou-se que toda vez que o efluente do FAP atingia cor aparente com valores maiores ou iguais a 50 uH, havia comprometimento da qualidade do efluente do FRD. Por este motivo foi adotado outro critério para execução de DFIs nos outros ensaios, o de execução de DFI quando a cor aparente do FAP atingisse 50 uH.

Com a realização de 5 DFIs não houve ruptura no meio filtrante. Os dados referentes ao pré-ensaio estão no ANEXO E. Os dados de turbidez foram obtidos por meio de um turbidímetro de bancada HACH e não foram realizadas análises referentes a COD e absorvância (254 nm).

5.3.4.2 – Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP)

O filtro ascendente teve bom desempenho, produzindo na maioria do tempo efluente com turbidez menor que 5 uT, embora tenha sido observado carregamento dos flocos em todos os ensaios após cerca de 24 horas de funcionamento, independente das taxas utilizadas. Este fenômeno era interrompido com a execução de DFIs, embora voltasse depois de um breve intervalo de tempo, este tempo dependia da taxa utilizada, das condições de coagulação e do afluente. O carregamento de flocos foi acompanhado pelo aumento dos valores de turbidez e cor aparente. O carregamento talvez fosse evitado com uma maior espessura do meio, ou adoção de granulometria menor no meio filtrante. Os outros fenômenos relatados por KURODA (2002)

como desprendimento de flocos, fissuras no meio filtrante e ruptura não foram observados, provavelmente pela execução de um número maior de DFIs.

No ensaio 1 não houve DFI causada pelo aumento no valor de cor aparente no efluente do FAP, resultando em um número menor de DFIs e refletindo no valor alto de produção efetiva.

A maior retenção de impurezas ocorreu na camada inferior de maior granulometria, conforme mostrado nas FIGURAS E1, F1, G1, H1, I1, J1 e L1 segundo os valores de perda de carga. Isto já era esperado conforme o trabalho de KURODA (2002) em que o filtro apresentou comportamento semelhante e nos estudos de ISAAC (1997) na camada suporte dos filtros de areia.

A duração das carreiras nos ensaios foi definida pelo critério de tempo máximo de 72 horas. Isso porque a recuperação de perda de carga depois das DFIs foi representativa e nunca atingiu a perda de carga máxima de 0,5 m. Apenas no pré-ensaio em que se fixou o número de DFIs em 5 e não houve limite de tempo, a carreira durou 100 horas e atingiu a perda de carga máxima.

5.3.4.3 –Filtro Rápido Descendente (FRD)

O filtro rápido descendente foi capaz de absorver picos de cor aparente de até 50 uH, não ocorrendo transpasse de turbidez. A duração das carreiras sofreu influência das taxas utilizadas no FAP, quando a taxa do FAP de 80 m³/m².dia a carreira de menor duração foi de 66 horas. Na taxa de 120 m³/m².dia a carreira de menor duração foi de 70 horas. A taxa utilizada no FRD também influenciou na duração das carreiras, embora a tendência esperada de quanto maior a taxa menor a duração da carreira só foi observada quando a taxa do FAP foi de 120 m³/m².dia e as taxas do FRD foram maiores (120, 180 e 240 m³/m².dia).

5.3.5 - Produção Efetiva

Para todos os ensaios foi calculada a produção efetiva de água filtrada, considerando principalmente o fato de que a carreira era, na maioria das vezes, interrompida em 72 horas de

funcionamento, não chegando a atingir a perda de carga prevista (0,50 m). O cálculo da produção efetiva foi feito a partir da equação:

$$PE = PT - V_{FAP} - DF_{final} - DF_{is} - (N^{\circ} \text{ de Lavagens FRD} \times TL_{FRD} \times DL_{FRD} \times Nf)$$

Em que:

PE = produção efetiva de água filtrada (m^3/m^2)

PT = produção total de água filtrada (m^3/m^2)

V FAP = consumo de água utilizada para as lavagens do FAP (m^3/m^2)

DF_{final} = consumo de água utilizada para a descarga de fundo final (m^3/m^2)

DF_{is} = consumo de água utilizada para as descargas de fundo intermediárias (m^3/m^2)

N^o de Lavagens FRD = número de lavagens do FRD (m^3/m^2)

TL_{FRD} = taxa de aplicação de água para lavagem do FRD (m^3/m^2min)

DL = duração da lavagem (min)

Nf = número de filtros descendentes

Sendo:

- PT = TF x DF em que: TF = taxa de filtração e DF = duração da carreira de filtração
- V FAP = NL_{FAP} x TL_{FAP} x DL_{FAP} x ($\Delta H_{final} \text{ FAP} / \Delta H_{prevista} \text{ FAP}$) em que: NL_{FAP} = número de lavagens executadas no FAP; TL_{FAP} = taxa de aplicação de água para lavagem do FAP; DL_{FAP} = duração da lavagem do FAP; $\Delta H_{final} \text{ FAP}$ = perda de carga final no FAP; $\Delta H_{prevista} \text{ FAP}$ = perda de carga prevista no FAP (0,50 m)
- DF_{is} = N^o DF_{isFAP} x TDF x DDF em que: N^o DF_{isFAP} = número de DF_{is} executadas no FAP; TDF = taxa de descarga de fundo; DDF = duração da descarga de fundo
- DF_{final} = TDF x DDF x ($\Delta H_{final} \text{ FAP} / \Delta H_{prevista} \text{ FAP}$)
- N^o de Lavagens FRD = NL_{FRD} + ($\Delta H_{final} \text{ FRD} / \Delta H_{prevista} \text{ FRD}$) em que: NL_{FRD} = número de lavagens executadas no FRD; $\Delta H_{final} \text{ FRD}$ = perda de carga final no FRD; $\Delta H_{prevista} \text{ FRD}$ = perda de carga prevista no FRD (2,10 m)
- Nf = (TF_{FAP} x A_{FAP}) / (TF_{FRD} x A_{FRD}) em que: TF_{FAP} = taxa de filtração do FAP; A_{FAP} = área do FAP; TF_{FRD} = taxa de filtração do FRD; A_{FRD} = área do FRD.

Considerando os seguintes dados para o cálculo da produção efetiva:

$\Delta H_{\text{prevista FAP}} = 0,50 \text{ m}$; $\Delta H_{\text{prevista FRD}} = 2,10 \text{ m}$; $TL_{\text{FAP}} (+ar) = 720 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ dia}$, $T = 5 \text{ min}$; $TL_{\text{FAP}} (\text{só água}) = 864 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ dia}$ $T = 5 \text{ min}$; $TDF = 1000 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ dia}$; $DDF = 1,25 \text{ min}$; $TL_{\text{FRD}} = 864 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ dia}$; $DL_{\text{FRD}} = 7 \text{ min}$; $A_{\text{FAP}} = 0,0156 \text{ m}^2$; $A_{\text{FRD}} = 0,00656 \text{ m}^2$

Para o Ensaio 1; com taxas de $120 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ dia}$ no FAP e $240 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ dia}$ no FRD, tem-se:

$PT = 120 \times 3 = 360 \text{ m}^3 / \text{m}^2$; $V_{\text{FAP}} = 1 \times (720 \times 0,0035 + 864 \times 0,0035) \times (0,644) = 3,56 \text{ m}^3 / \text{m}^2$;
 $DFis = 10,644 \times 1000 \times 0,00087 = 9,24 \text{ m}^3 / \text{m}^2$; $N^{\circ} \text{ de Lavagens FRD} = 2,74$; $Nf = (120 \times 0,0156) / (240 \times 0,00656) = 1,19$, tem-se:

$$PE = 360 - 3,56 - 9,24 - (2,74 \times 864 \times 0,0049 \times 1,19)$$

$$PE = 333,25 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ (92,50\% de eficiência)}$$

Foi calculada a produção efetiva dos filtros, cujos resultados estão na TABELA 13.

Os ensaios com a taxa de filtração no FAP de $80 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ dia}$ tiveram menor número de descargas de fundo intermediárias. No entanto a produção efetiva foi da mesma ordem de grandeza do que a produção efetiva do sistema utilizando taxa de filtração no FAP de $120 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ dia}$. O menor índice de produção efetiva foi utilizando taxa de filtração no FAP e no FRD de $120 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ dia}$, demonstrando que a taxa de filtração no FRD pode ser maior, conforme comprovado pelos ensaios seguintes. O melhor resultado de produção efetiva foi para a taxa de $80 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ dia}$ no FAP e de $150 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ dia}$ no FRD demonstrando que a taxa utilizada no FRD pode ser bem maior que a do FAP.

Os dados de produção efetiva referentes aos ensaios na instalação piloto são fundamentais para estudo de viabilidade de produção e custos, bem como para otimização das taxas utilizadas nos filtros FAP e FRD. Deve-se ainda a qualidade da água tratada e o lodo produzido.

A produção efetiva do sistema mostra a inviabilidade de executar muitas DFIs, pelo alto consumo de água nesta operação. Estes valores podem ser comparados à produção efetiva de outras tecnologias utilizando a mesma água.

TABELA 13: Produção efetiva do sistema de dupla filtração.

Ensaio	1	2	3	4	5	6
Taxa FAP($\text{m}^3/\text{m}^2\text{dia}$)	80	80	80	120	120	120
Taxa FRD ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{dia}$)	80	120	150	120	180	240
Tempo de Funcionamento (h)	72	72	72	72	72	72
Nº DFIs	4,476	5,196	4,256	9,344	11,248	10,644
Nº Lav. FAP	0,476	0,196	0,256	0,344	0,248	0,644
Nº Lav. FRD	1,13	0,983	0,81	1,17	1,74	2,74
Prod. Total (m^3/m^2)	240	240	240	360	360	360
Prod Real (m^3/m^2)	220.24	227.00	229.48	308.93	336.13	329.99
Prod. Efetiva (%)	91.77	94.58	95.62	85.81	93.37	91.66

Apresenta-se na TABELA 14 um resumo com os parâmetro de controle dos Ensaio realizados na instalação piloto.

TABELA 14: Resumo dos resultados obtidos nos ensaios realizados na instalação piloto.

ENSAIO	1				2				3			
Taxas	FAP=80m/d e FRD 80 m/d				FAP=80 m/d e FRD=120m/d				FAP=80 m/d e FRD=150m/d			
Condições de coagulação	DSA= 8mg/L pH= 4,67 a 5,06 temperatura= 23,0 a 26,0 °C				DSA= 8mg/L pH= 4,86 a 5,06 temperatura= 17,0 a 20,5 °C				DSA= 8mg/L pH= 4,80 a 5,13 temperatura= 20,5 a 24,0 °C			
Parâmetros	AB	AE	FAP	FRD	AB	AE	FAP	FRD	AB	AE	FAP	FRD
pH	6,7 a 6,9	6,6 a 6,9	-	-	6,2 a 6,5	6,1 a 6,7	-	-	6,2 a 6,7	6,4 a 6,8	-	-
Turbidez (uT)	12 a 21	-	0,02 a 5,1	0,01 a 0,63	9,8 a 22		0,09 a 5,8	0,01 a 0,13	11 a 18	-	0,11 a 7,5	0,01 a 0,27
Cor Verdadeira (uH)	18 a 28	85 a 116	-	-	14 a 33	76 a 119	-	-	15 a 23	86 a 113	-	-
Cor Aparente (uH)	119 a 146	201 a 247	≤1 a 50	≤1 a 5	90 a 133	183 a 242	≤1 a 53	≤1 a 1	114 a 153	196 a 231	≤1 a 50	≤1 a 7
COD (mg/L)	1,957 a 2,442	2,572 a 3,885	1,722 a 2,292	1,803 a 2,274	2,577 a 3,335	3,989 a 4,566	1,992 a 2,880	1,963 a 3,397	-	-	-	-
Absorvância 254nm	0,063 a 0,078	0,177 a 0,211	0,008 a 0,028	0,009 a 0,023	0,064 a 0,102	0,181 a 0,209	0,010 a 0,026	0,009 a 0,022	0,059 a 0,073	0,172 a 0,205	0,010 a 0,043	0,007 a 0,051
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	7,04 a 12,32	8,36 a 12,10	-	-	6,82 a 9,24	7,26 a 10,78	-	-	8,14 a 10,12	8,36 a 10,34	-	-

TABELA 14 (continuação): Resumo dos resultados obtidos nos ensaios realizados na instalação piloto.

ENSAIO	4				5				6			
Taxas	FAP=120 m/d e FRD=120 m/d				FAP=120m/d e FRD=180 m/d				FAP=120m/d e FRD=240m/d			
Condições de coagulação	DSA= 8mg/L pH= 4,91 a 5,11 temperatura= 19,0 a 22,5 °C				DSA= 8mg/L pH= 4,90 a 5,05 temperatura= 19,0 a 22,5 °C				DSA= 10mg/L pH= 4,80 a 5,07 temperatura= 18,5 a 22,0 °C			
Parâmetros	AB	AE	FAP	FRD	AB	AE	FAP	FRD	AB	AE	FAP	FRD
pH	-	6,3 a 7,3	-	-	6,4 a 6,8	6,3 a 6,8	-	-	6,3 a 6,9	6,2 a 7,1	-	-
Turbidez (uT)	9,9 a 15	-	0,01 a 6,6	0,01 a 1,0	9,8 a 16	-	0,19 a 6,9	0,01 a 1,0	8,8 a 49	-	0,19 a 6,1	0,01 a 0,36
Cor Verdadeira (uH)	10 a 26	78 a 121	-	-	21 a 33	83 a 120	-	-	12 a 51	81 a 133	-	-
Cor Aparente (uH)	88 a 127	178 a 210	≤1 a 54	≤1 a 5	95 a 128	174 a 226	≤1 a 50	≤1 a 16	80 a 407	179 a >500	3 a 50	≤1 a 12
COD (mg/L)	2,316 a 3,077	4,088 a 4,628	2,048 a 2,680	2,043 a 2,855	2,642 a 3,234	4,246 a 5,039	2,302 a 4,489	2,498 a 4,469	2,591 a 6,002	3,013 a 6,766	2,429 a 4,668	2,377 a 4,411
Absorvância 254nm	0,051 a 0,077	0,174 a 0,203	0,006 a 0,019	0,006 a 0,033	0,066 a 0,081	0,164 a 0,208	0,010 a 0,021	0,009 a 0,024	0,045 a 0,150	0,144 a 0,253	0,010 a 0,043	0,007 a 0,051
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	7,04 a 10,78	7,04 a 11,44	-	-	7,7 a 11,0	7,46 a 11,44	-	-	6,38 a 10,56	7,26 a 10,58	-	-

5.3.6 – Parâmetros controlados

a) Turbidez

A turbidez do efluente do FAP ficou na mais que 95 % do tempo dos ensaios inferior a 5uT, valor considerado adequado para o tratamento complementar com o FRD. A taxa de filtração influenciou pouco nos valores de turbidez do efluente do FAP, para a taxa de 80 m³/m².d os valores foram em média menores do que os valores de turbidez quando a taxa foi de 120 m³/m².d. Para o efluente do FRD os valores sempre ficaram abaixo de 1 uT, mostrando que o tratamento foi eficiente para produção de água dentro dos padrões de potabilidade do que refere-se a este parâmetro.

b) Cor Aparente

As DFIs foram realizadas sempre que o efluente do FAP atingisse cor aparente de valor igual ou maior que 50 uH, isso garantiu que o FRD produzisse efluente com valores de cor baixos, muitas vezes não detectável pelo método utilizado. A remoção de cor foi total durante vários períodos, o efluente final do FRD apresentou valores maiores nos períodos de amadurecimento dos filtros. TOLEDO *et al.* (1982) utilizando-se de sulfato de alumínio obteve valores de remoção de cor aparente da ordem de 51,1%, mas suas amostras eram apenas coaguladas, floculadas e decantadas.

EIKEBROKK (1999) apresenta para condições similares como valores típicos de remoção de 75-90% e 40-70% para cor e COD, respectivamente. Na remoção de cor o sistema proposto neste trabalho possibilitou melhores resultados, o que não aconteceu na remoção de COD.

c) Carbono Orgânico Dissolvido e absorvância

A remoção de COD e de absorvância está relacionadas na TABELA 15. Os valores de redução de absorvância entre os efluentes dos filtros ascendente e descendente ficaram bem próximos, mostrando que a principal etapa para redução de absorvância ocorre na etapa de coagulação seguida da filtração.

Houve maior remoção de absorvância (254 nm) do que em valores de COD, resultado similar ao encontrado por OWEN *et al.* (1995) que ressalta que as moléculas de maior tamanho são removidas preferencialmente no processo de coagulação. Pois é sabido que moléculas maiores possuem mais

centros de absorção, portanto possuem uma relação mais direta com a absorção (254 nm). VOLK *et al.* (2000) afirmam que a remoção de COD em águas contendo valores de COD maiores do que 4 mg/L, através de coagulação com sulfato de alumínio é de cerca de 55 %. Baseado em dados de espectros de RMN demonstra que os compostos contendo carbonos aromáticos foram preferencialmente removidos. O que foi comprovado pelos altos valores na redução da absorvância, já que os centros produtores de espectros que podem ser lidos neste comprimento de onda são na sua maioria aromáticos.

TABELA 15: Remoção de COD e redução de absorvância (254nm) em porcentagem nos efluentes do FAP e FRD.

	Ensaio	1	2	3	4	5	6	Média
Abs (254nm)	Efl. FAP	94,4	92,3	93,1	92,9	91,7	87,5	90,7
	Efl. FRD	93,5	92,3	93,6	93,3	92,5	89,1	91,6
COD (mg/L)	Efl. FAP	38,1	48,8	36,7	46,4	34,9	22,0	34,4
	Efl. FRD	38,1	48,4	38,9	48,5	37,5	27,5	37,8

d) Alumínio Residual

Foram feitas duas medidas de alumínio na água bruta, na água de estudo e no efluente final . Observou-se que há acréscimo na concentração de alumínio da água bruta para a água de estudo, indicando que há alumínio no extrato de substâncias húmicas que foi adicionado à água. Isso pode ter ocorrido devido à grande capacidade de complexação das substâncias húmicas com metais, sendo estes carregados junto no processo de extração. O efluente final apresentou concentrações acima de 0,2 mg/L não cumprindo assim os padrões de potabilidade vigentes (BRASIL, 2000). Este resultado pode ter sido devido ao pH de coagulação relativamente baixo ($5,0 \pm 0,1$) ou as dosagens de sulfato de alumínio.

6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos nos ensaios realizados, pode-se concluir que:

■ A eficiência do sistema de dupla filtração utilizando filtro ascendente de pedregulho para remoção de substância húmicas foi satisfatória. A cor aparente do efluente final alcançou remoção completa na maior parte do tempo dos ensaios, outros parâmetros relativos à concentração de substâncias húmicas, como absorvância (254 nm) e Carbono Orgânico Dissolvido (COD), foram removidos entre 89,1 a 93,6% e 27,5 a 48,5, respectivamente.

■ O tratamento de água com cor verdadeira relativamente elevada é viável por meio da dupla filtração utilizando filtro ascendente de pedregulho e filtro rápido ascendente com os meios filtrantes utilizados neste trabalho.

■ O ensaio em que a taxa do filtro ascendente de pedregulho foi de $80 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia}$ e do filtro rápido descendente foi de $150 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia}$ foi o que apresentou maior produção efetiva (95,6 %). Isso se deve ao baixo número de DFIs.

■ A realização de descargas de fundo intermediárias quando cor aparente do efluente do filtro ascendente de pedregulho atingiu o valor de 50 uH ou maior garantiu que os valores de cor aparente do efluente final permanecessem baixos, muitas vezes atingindo valores não detectáveis. A execução de descargas de fundo intermediárias no filtro ascendente de pedregulho evitou a ocorrência de transpasse de turbidez no efluente do filtro rápido descendente.

■ Utilizando os critérios adotados, o número de descargas de fundo intermediárias foram diretamente relacionadas com as taxas adotadas no FAP, para a taxa de $80 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia}$ foram necessárias no máximo 5 DFIs e para taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia}$ foram realizadas até 11 DFIs, ou seja praticamente o

dobro de DFIs foram executadas aumentando a taxa em 50%. Disso conclui-se que maior taxa implica em produção de água com pior qualidade no FAP ocasionando maior número de DFIs.

■ Houve carreamento de flocos no efluente do filtro ascendente de pedregulho FAP para todas as taxas estudadas, mesmo assim a qualidade do efluente final não ficou comprometida, mostrando a eficiência do filtro rápido descendente como tratamento final.

■ Os ensaios realizados no laboratório foram reproduzidos na instalação piloto mantendo a ordem de grandeza de eficiência na remoção de cor. Mostrando como aqueles ensaios podem economizar tempo e custos para realização de experimentos em maiores escalas.

■ A utilização de filtros de laboratório de areia com granulometria adotada de acordo com o critério utilizado nos ensaios de laboratório para determinação das condições de coagulação química no laboratório e posteriormente para controle do processo na instalação piloto foi fundamental pois a cor não é retida nos filtros de papel.

■ Os resultados de COD e de absorvância, indicadores de remoção de substâncias húmicas, mostraram pequena variação entre os valores dos efluentes dos filtros ascendente de pedregulho e rápido descendente, indicando que a remoção de cor ocorre decorrente do processo de coagulação.

■ A granulometria adotada no filtro ascendente de pedregulho foi adequada para as condições dos ensaios realizados, pois não houve rupturas nem fissuras no meio filtrante, quando realizadas DFIs.

As seguintes recomendações são decorrentes do trabalho realizado:

■ Otimização da produção efetiva de água variando o pH de coagulação para evitar a ocorrência de valores altos de alumínio residual.

■ O uso de diferentes coagulantes como cloreto de poli-alumínio, polímeros e cloreto férrico;

■ O uso de oxidantes para remoção de cor juntamente com o processo de dupla filtração, entre eles, o ozônio e o peróxido de hidrogênio;

- Estudo de outras características nos meios filtrantes.
- Estudo para águas com diferentes características das já estudadas.

ANEXOS

ANEXO A

TABELA A1 – Massa específica e concentração de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ à temperatura de 20 a 24° C.

Massa específica (kg/L)	Concentração (g/L)	Massa específica (kg/L)	Concentração (g/L)
1,005	11,6	1,175	319,6
1,010	19,7	1,180	330,4
1,015	27,4	1,185	340,1
1,020	35,7	1,190	349,9
1,025	43,6	1,195	360,9
1,030	52,0	1,200	372,0
1,035	60,0	1,205	382,6
1,040	68,6	1,210	393,3
1,045	76,8	1,215	404,0
1,050	85,6	1,220	414,8
1,055	93,9	1,225	426,3
1,060	102,8	1,230	437,9
1,065	111,3	1,235	448,3
1,070	119,8	1,240	458,8
1,075	129,0	1,245	470,6
1,080	138,2	1,250	482,5
1,085	147,0	1,255	493,9
1,090	155,9	1,260	505,3
1,095	164,8	1,265	516,8
1,100	173,8	1,270	528,3
1,105	182,9	1,275	540,6
1,110	192,0	1,280	553,0
1,115	201,3	1,285	564,1
1,120	210,6	1,290	575,3
1,125	220,5	1,295	587,9
1,130	230,5	1,300	600,6
1,135	239,5	1,305	613,4
1,140	240,5	1,310	626,2
1,145	258,8	1,315	637,8
1,150	269,1	1,320	649,4
1,155	279,5	1,325	662,5
1,160	290,0	1,330	675,6
1,165	299,4	1,335	688,2
1,170	308,9	1,340	700,8

Fonte: NHEEL QUÍMICA LTDA – Rio Claro (SP)

ANEXO B

Tabela B1 – Valores de absorvância para as amostras com diferentes valores de pH e cor verdadeira ($\lambda = 455 \text{ nm}$).

pH = 4,5 $\pm$ 0,1		pH = 5,0 $\pm$ 0,1	
Cor verdadeira (uH)	Absorvância (cm ⁻¹)	Cor verdadeira (uH)	Absorvância (cm ⁻¹)
10	0,009	10	0,009
15	0,012	15	0,012
20	0,016	20	0,014
30	0,024	30	0,022
50	0,038	50	0,036
75	0,053	75	0,050
100	0,066	100	0,066
120	0,076	120	0,077
pH = 5,5 $\pm$ 0,1		pH = 6,0 $\pm$ 0,1	
Cor verdadeira (uH)	Absorvância (cm ⁻¹)	Cor verdadeira (uH)	Absorvância (cm ⁻¹)
10	0,006	10	0,009
15	0,008	15	0,011
20	0,011	20	0,015
30	0,018	30	0,022
50	0,033	50	0,037
75	0,049	75	0,054
100	0,063	100	0,071
120	0,075	120	0,094
pH = 6,5 $\pm$ 0,1		pH = 7,0 $\pm$ 0,1	
Cor verdadeira (uH)	Absorvância (cm ⁻¹)	Cor verdadeira (uH)	Absorvância (cm ⁻¹)
10	0,007	10	0,008
15	0,010	15	0,011
20	0,014	20	0,014
30	0,022	30	0,022
50	0,037	50	0,035
75	0,055	75	0,053
100	0,072	100	0,073
120	0,088	120	0,087

ANEXO C

1 – Areia Tipo 1 (0,30 - 0,59mm)

TABELA C1 – Cor aparente do efluente dos FLA's com areia tipo 1, $G = 1000 \text{ s}^{-1}$ e $t = 25 \text{ s}$.

Frasco	Dosagem Sulfato de Alumínio (mg/L)	pH de coagulação	Cor Aparente Água Filtrada (uH)			
			Tempo de Filtração (min)			
			10	20	30	40
1	5,0	6,87	130	130	135	133
2	10,0	6,86	54	35	36	34
3	15,0	6,85	3	≤ 1	6	≤ 1
4	20,0	6,82	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
5	25,0	6,63	19	4	≤ 1	≤ 1
6	30,0	6,43	45	52	52	38

TABELA C2 – Turbidez do efluente dos FLA's com areia tipo 1, $G = 1000 \text{ s}^{-1}$ e $t = 25 \text{ s}$.

Frasco	Dosagem Sulfato de Alumínio (mg/L)	pH de coagulação	Turbidez da Água Filtrada (uT)			
			Tempo de Filtração (min)			
			10	20	30	40
1	5,0	6,87	7,7	7,9	7,9	7,7
2	10,0	6,86	2,8	1,9	1,8	1,7
3	15,0	6,85	0,5	0,3	0,3	0,2
4	20,0	6,82	0,3	0,3	0,2	0,2
5	25,0	6,63	1,3	0,4	0,2	0,2
6	30,0	6,43	3,2	3,2	2,9	2,0

2 - Areia Tipo 2 (0,42 – 0,84 mm)

TABELA C3 – Cor aparente do efluente dos FLA's com areia tipo 2, $G = 1000 \text{ s}^{-1}$ e $t = 25 \text{ s}$.

Frasco	Dosagem Sulfato de Alumínio (mg/L)	pH de coagulação	Cor Aparente Água Filtrada (uH)			
			Tempo de Filtração (min)			
			10	20	30	40
1	5,0	6,99	143	148	145	148
2	10,0	6,84	63	61	61	61
3	15,0	6,85	6	6	9	10
4	20,0	6,70	2	4	6	7
5	25,0	6,63	19	6	6	6
6	30,0	6,45	69	59	48	53

TABELA C4 – Turbidez do efluente dos FLA's com areia tipo 2, $G = 1000 \text{ s}^{-1}$ e $t = 25 \text{ s}$.

Frasco	Dosagem Sulfato de Alumínio (mg/L)	pH de coagulação	Turbidez da Água Filtrada (uT)			
			Tempo de Filtração (min)			
			10	20	30	40
1	5,0	6,99	8,7	8,8	8,3	8,2
2	10,0	6,84	2,8	3,0	3,0	2,7
3	15,0	6,85	0,6	0,3	0,4	0,3
4	20,0	6,70	0,3	0,3	0,2	0,2
5	25,0	6,63	1,1	0,3	0,2	0,2
6	30,0	6,45	4,2	3,2	2,4	2,4

3 - Areia Tipo 3 (0,59 – 1,41 mm)

TABELA C5 – Cor aparente do efluente dos FLA's com areia tipo 3, $G = 1000 \text{ s}^{-1}$ e $t = 25 \text{ s}$.

Frasco	Dosagem Sulfato de Alumínio (mg/L)	pH de coagulação	Cor Aparente Água Filtrada (uH)			
			Tempo de Filtração (min)			
			10	20	30	40
1	5,0	6,87	153	142	141	143
2	10,0	6,82	76	72	71	71
3	15,0	6,84	18	10	7	6
4	20,0	6,75	10	3	2	≤ 1
5	25,0	6,57	53	12	5	3
6	30,0	6,36	112	96	90	81

TABELA C6 – Turbidez do efluente dos FLA's com areia tipo 3, $G = 1000 \text{ s}^{-1}$ e $t = 25 \text{ s}$.

Frasco	Dosagem Sulfato de Alumínio (mg/L)	pH de coagulação	Turbidez da Água Filtrada (uT)			
			Tempo de Filtração (min)			
			10	20	30	40
1	5,0	6,87	9,3	8,5	8,4	8,5
2	10,0	6,82	3,6	3,5	3,6	3,5
3	15,0	6,84	1,0	0,7	0,5	0,5
4	20,0	6,75	0,7	0,3	0,4	0,3
5	25,0	6,57	3,0	0,8	0,5	0,3
6	30,0	6,36	6,8	5,8	5,4	4,6

4 – Otimização do pH com dosagem de 20 mg/L.

TABELA C7 – Cor aparente do efluente dos FLA's com areia tipo 1, $G = 1000 \text{ s}^{-1}$ e $t = 25 \text{ s}$ em função do pH.

Frasco	pH de coagulação	Cor Aparente (uH)			
		Tempo de Filtração (min)			
		10	20	30	40
1	6,48	23	21	21	13
2	5,93	76	83	97	99
3	5,49	16	17	19	16
4	5,16	2	5	4	1
5	4,71	5	6	7	4
6	4,40	6	8	6	4

5 – Gradiente de velocidade médio de mistura rápida 500 s^{-1} TABELA C8 – Cor aparente do efluente dos FLA's com areia tipo 1, gradiente de velocidade médio de 500 s^{-1} DSA=20 mg/L em função do tempo de mistura rápida.

Frasco	Tempo de mistura (s)	Cor Aparente (uH)			
		Tempo de Filtração (min)			
		10	20	30	40
1	15	4	2	3	2
2	20	3	2	2	2
3	25	2	2	3	2
4	30	3	2	3	2
5	35	6	3	3	2
6	40	3	2	2	2

6 – Gradiente de velocidade médio de mistura rápida de 750 s^{-1} TABELA C9 –Cor aparente do efluente dos FLA's com areia tipo 1, gradiente de velocidade médio de 750 s^{-1} DSA=20 mg/L em função do tempo de mistura rápida.

Frasco	Tempo de mistura (s)	Cor Aparente (uH)			
		Tempo de Filtração (min)			
		10	20	30	40
1	15	2	1	1	1
2	20	3	1	1	1
3	25	3	2	1	1
4	30	2	1	1	1
5	35	3	1	1	1
6	40	4	1	1	1

7 – Gradiente de velocidade médio de mistura rápida de 1000 s^{-1} .TABELA C10 –Cor aparente do efluente dos FLA's com areia tipo 1, gradiente de velocidade médio de 1000 s^{-1} DSA=20 mg/L em função do tempo de mistura rápida.

Frasco	Tempo de mistura (s)	Cor Aparente (uH)			
		Tempo de Filtração (min)			
		10	20	30	40
1	15	5	2	1	1
2	20	2	2	1	1
3	25	4	2	1	2
4	30	2	2	1	1
5	35	2	2	1	1
6	40	2	2	1	1

ANEXO D: Valores do controle de vazão

Tabela D1 – Vazões e taxas no pré-ensaio com taxas previstas no FAP=120 m³/m².d e no FRD = 230 m³/m².dia.

TF (h)	FAP		FRD		TF (h)	FAP		FRD		TF (h)	FAP		FRD	
	Vazão	Taxa	Vazão	Taxa		Vazão	Taxa	Vazão	Taxa		Vazão	Taxa	Vazão	Taxa
	(L/h)	(m/d)	(L/h)	(m/d)		(L/h)	(m/d)	(L/h)	(m/d)		(L/h)	(m/d)	(L/h)	(m/d)
0	75,50	116,15	63,03	230,60	31	77,11	118,63	59,35	217,13	62	78,22	120,34	73,14	267,59
1	79,98	123,05	65,27	238,79	32	76,99	118,45	60,07	219,77	63	79,81	122,78	65,19	238,50
2	80,67	124,11	64,35	235,43	33	80,56	123,94	63,73	233,16	64	79,42	122,18	64,24	235,02
3	88,48	136,12	61,02	223,24	34	80,05	123,15	63,35	231,77	65	80,14	123,29	65,88	241,02
4	75,71	116,48	58,13	212,67	35	78,79	121,22	62,05	227,01	66	80,44	123,75	67,56	247,17
5	74,06	113,94	57,93	211,94	36	77,17	118,72	60,90	222,80	67	80,32	123,57	68,39	250,21
6	77,14	118,68	62,04	226,98	37	75,19	115,68	59,97	219,40	68	76,81	118,17	64,58	236,27
7	78,69	121,06	63,95	233,96	38	78,16	120,25	63,69	233,01	69	73,85	113,62	63,24	231,37
8	80,74	124,22	65,81	240,77	39	76,27	117,34	63,43	232,06	70	74,58	114,74	63,23	231,33
9	80,24	123,45	61,92	226,54	40	76,88	118,28	64,02	234,22	71	72,04	110,83	60,72	222,15
10	79,96	123,02	62,29	227,89	41	78,14	120,22	65,75	240,55	72	74,71	114,94	62,97	230,38
11	79,85	122,85	62,57	228,91	42	75,40	116,00	58,98	215,78	73	76,10	117,08	64,31	235,28
12	79,46	122,25	62,22	227,63	43	76,62	117,88	61,82	226,17	74	80,79	124,29	68,98	252,37
13	80,40	123,69	63,21	231,26	44	74,78	115,05	60,69	222,04	75	79,92	122,95	63,00	230,49
14	80,07	123,18	62,98	230,41	45	76,84	118,22	63,70	233,05	76	79,71	122,63	62,99	230,45
15	79,65	122,54	62,42	228,37	46	75,06	115,48	62,20	227,56	77	81,42	125,26	64,24	235,02
16	78,67	121,03	61,43	224,74	47	73,99	113,83	57,62	210,80	78	80,05	123,15	65,04	237,95
17	78,21	120,32	60,80	222,44	48	74,66	114,86	58,06	212,41	79	80,66	124,09	63,62	232,76
18	78,56	120,86	61,42	224,71	49	79,15	121,77	63,58	232,61	80	80,81	124,32	64,32	235,32
19	79,41	122,17	62,09	227,16	50	78,62	120,95	63,50	232,32	81	72,68	111,82	57,24	209,41
20	78,90	121,38	61,89	226,43	51	68,27	105,03	53,13	194,38	82	78,55	120,85	63,23	231,33
21	79,43	122,20	62,15	227,38	52	65,64	100,98	56,15	205,43	83	78,03	120,05	62,49	228,62
22	79,34	122,06	62,59	228,99	53	67,05	103,15	57,75	211,28	84	81,52	125,42	65,73	240,48
23	79,46	122,25	63,61	232,72	54	67,20	103,38	58,02	212,27	85	80,13	123,28	61,64	225,51
24	79,84	122,83	64,73	236,82	55	67,65	104,08	58,61	214,43	86	80,11	123,25	62,49	228,62
25	79,88	122,89	63,45	232,13	56	67,62	104,03	58,61	214,43	87	79,73	122,66	62,41	228,33
26	80,08	123,20	63,38	231,88	57	67,08	103,20	58,29	213,26	88	79,71	122,63	62,87	230,01
27	79,40	122,15	63,95	233,96	58	67,16	103,32	58,41	213,70	89	77,32	118,95	63,50	232,32
28	79,98	123,05	66,05	241,65	59	67,26	103,48	58,59	214,35	90	79,36	122,09	65,38	239,20
29	80,43	123,74	64,04	234,29	60	66,55	102,38	59,76	218,63	91	77,63	119,43	65,59	239,96
30	79,69	122,60	62,83	229,87	61	66,05	101,62	59,89	219,11	93	77,29	118,91	67,92	248,49
Média												118,64		228,69
Máximo												136,12		267,59
Mínimo												100,99		205,43

Tabela D2 – Vazões e taxas no ensaio 1 com taxas previstas no FAP=80 m³/m².d e no FRD = 80 m³/m².d.

TF (h)	FAP		FRD		TF (h)	FAP		FRD	
	Vazão (L/h)	Taxa (m/d)	Vazão (L/h)	Taxa (m/d)		Vazão (L/h)	Taxa (m/d)	Vazão (L/h)	Taxa (m/d)
0	54,34	83,60	23,90	87,44	36	53,50	82,31	23,95	87,62
1	53,58	82,43	24,19	88,50	37	53,57	82,42	24,22	88,61
2	52,58	80,89	24,71	90,40	38	54,46	83,78	24,79	90,70
3	52,38	80,58	22,73	83,16	39	55,01	84,63	23,43	85,72
4	53,33	82,05	23,32	85,32	40	53,80	82,77	23,33	85,35
5	54,07	83,18	23,81	87,11	41	54,42	83,72	23,72	86,78
6	54,39	83,68	23,56	86,20	42	53,74	82,68	24,40	89,27
7	53,71	82,63	23,56	86,20	43	54,96	84,55	25,07	91,72
8	55,35	85,15	24,82	90,80	44	55,43	85,28	22,17	81,11
9	54,20	83,38	24,40	89,27	45	55,95	86,08	22,64	82,83
10	56,29	86,60	24,22	88,61	46	53,12	81,72	22,25	81,40
11	54,45	83,77	23,08	84,44	47	52,79	81,22	23,58	86,27
12	55,43	85,28	23,30	85,24	48	57,30	88,15	23,90	87,44
13	55,68	85,66	23,34	85,39	49	54,39	83,68	25,15	92,01
14	53,20	81,85	22,90	83,78	50	56,30	86,62	25,31	92,60
15	52,62	80,95	23,74	86,85	51	54,16	83,32	23,45	85,79
16	53,02	81,57	24,01	87,84	52	54,19	83,37	23,61	86,38
17	53,49	82,29	23,92	87,51	53	54,12	83,26	23,84	87,22
18	53,26	81,94	24,18	88,46	54	53,03	81,58	23,35	85,43
19	55,04	84,68	25,58	93,59	55	50,69	77,98	22,00	80,49
20	54,89	84,45	25,25	92,38	56	50,32	77,42	22,35	81,77
21	54,33	83,58	24,60	90,00	57	53,27	81,95	26,00	95,12
22	51,62	79,42	24,56	89,85	58	52,68	81,05	22,86	83,63
23	52,69	81,06	23,60	86,34	59	52,45	80,69	24,13	88,28
24	54,28	83,51	24,51	89,67	60	52,97	81,49	26,11	95,52
25	54,06	83,17	25,41	92,96	61	53,64	82,52	22,87	83,67
26	53,86	82,86	24,36	89,12	62	53,01	81,55	22,32	81,66
27	54,21	83,40	25,91	94,79	63	52,98	81,51	23,04	84,29
28	54,14	83,29	27,00	98,78	64	53,86	82,86	24,31	88,94
29	56,19	86,45	25,19	92,16	65	53,57	82,42	23,80	87,07
30	54,11	83,25	24,81	90,77	67	55,30	85,08	27,44	100,39
31	52,71	81,09	24,66	90,22	68	54,81	84,32	24,15	88,35
32	52,95	81,46	23,95	87,62	69	53,17	81,80	23,90	87,44
33	53,15	81,77	24,35	89,09	70	55,15	84,85	24,59	89,96
34	52,88	81,35	24,58	89,93	71	54,99	84,60	25,23	92,30
35	52,53	80,82	24,93	91,21	72	55,35	85,15	26,38	96,51
Média							81,51		87,77
Máximo							80,15		100,39
Mínimo							77,42		80,49

Tabela D3 – Vazões e taxas no ensaio 2 com taxas previstas no FAP=80 m³/m².d e no FRD = 120 m³/m².d.

TF (h)	FAP		FRD		TF (h)	FAP		FRD	
	Vazão	Taxa	Vazão	Taxa		Vazão	Taxa	Vazão	Taxa
	(L/h)	(m/d)	(L/h)	(m/d)		(L/h)	(m/d)	(L/h)	(m/d)
0,0	44,26	68,09	36,75	134,45	37,0	54,16	83,32	40,41	147,84
1,0	53,81	82,78	35,22	128,85	38,0	52,34	80,52	36,61	133,94
2,0	50,76	78,09	33,35	122,01	39,0	52,37	80,57	37,74	138,07
3,0	47,94	73,75	33,15	121,28	40,0	52,47	80,72	34,29	125,45
4,0	52,56	80,86	34,67	126,84	41,0	50,84	78,22	33,39	122,16
5,0	52,06	80,09	34,29	125,45	42,0	50,29	77,37	35,31	129,18
6,0	52,79	81,22	34,82	127,39	43,0	54,31	83,55	33,47	122,45
7,0	52,38	80,58	34,39	125,82	44,0	52,28	80,43	34,47	126,11
8,0	51,22	78,80	33,40	122,20	45,0	52,77	81,18	36,32	132,88
9,0	52,64	80,98	34,81	127,35	46,0	52,51	80,78	36,63	134,01
10,0	52,73	81,12	34,67	126,84	47,0	53,52	82,34	38,68	141,51
11,0	52,44	80,68	34,93	127,79	48,0	53,60	82,46	35,49	129,84
12,0	52,37	80,57	34,63	126,70	49,0	52,79	81,22	34,98	127,98
13,0	52,92	81,42	35,07	128,30	50,0	51,62	79,42	36,32	132,88
14,0	51,38	79,05	35,07	128,30	51,0	52,15	80,23	38,00	139,02
15,0	50,89	78,29	34,49	126,18	52,0	52,30	80,46	38,64	141,37
16,0	51,82	79,72	35,02	128,12	53,0	53,01	81,55	35,91	131,38
17,0	52,45	80,69	35,12	128,49	54,0	54,23	83,43	35,45	129,70
18,0	53,16	81,78	32,07	117,33	55,0	51,56	79,32	33,38	122,12
19,0	52,59	80,91	35,84	131,12	56,0	52,30	80,46	34,00	124,39
20,0	52,45	80,69	35,93	131,45	57,0	53,64	82,52	34,70	126,95
21,0	50,85	78,23	35,95	131,52	58,0	52,61	80,94	34,60	126,59
22,0	53,86	82,86	38,16	139,61	59,0	52,56	80,86	34,57	126,48
23,0	51,18	78,74	38,57	141,11	60,0	51,20	78,77	33,49	122,52
24,0	53,01	81,55	36,97	135,26	61,0	51,60	79,38	33,94	124,17
25,0	53,56	82,40	35,52	129,95	62,0	50,20	77,23	33,59	122,89
26,0	55,19	84,91	36,25	132,62	63,0	51,25	78,85	35,48	129,80
27,0	47,73	73,43	33,25	121,65	64,0	51,85	79,77	36,31	132,84
28,0	53,14	81,75	34,14	124,90	65,0	51,80	79,69	36,69	134,23
29,0	53,60	82,46	34,58	126,51	66,0	52,66	81,02	33,53	122,67
30,0	53,24	81,91	34,40	125,85	67,0	49,98	76,89	32,82	120,07
31,0	52,79	81,22	34,25	125,30	68,0	51,98	79,97	35,35	129,33
32,0	52,25	80,38	34,11	124,79	69,0	52,35	80,54	35,12	128,49
33,0	54,34	83,60	35,35	129,33	70,0	51,06	78,55	35,03	128,16
34,0	52,28	80,43	35,49	129,84	71,0	52,14	80,22	35,44	129,66
35,0	53,10	81,69	37,78	138,22	72,0	51,47	79,18	33,96	124,24
36,0	51,98	79,97	37,86	138,51	Média		80,24		129,02
					Máximo		84,91		147,84
					Mínimo		68,09		117,33

Tabela D4 – Vazões e taxas no ensaio 3 com taxas previstas no FAP=80 m³/m².d e no FRD = 150 m³/m².d.

TF (h)	FAP		FRD		TF (h)	FAP		FRD	
	Vazão	Taxa	Vazão	Taxa		Vazão	Taxa	Vazão	Taxa
	(L/h)	(m/d)	(L/h)	(m/d)		(L/h)	(m/d)	(L/h)	(m/d)
0	53,20	81,85	44,80	163,90	37	51,71	79,55	41,54	151,98
1	53,04	81,60	43,50	159,15	38	52,70	81,08	43,02	157,39
2	52,86	81,32	43,49	159,11	39	52,65	81,00	42,96	157,17
3	54,61	84,02	45,15	165,18	40	53,08	81,66	44,05	161,16
4	53,43	82,20	42,62	155,93	41	53,80	82,77	44,82	163,98
5	54,55	83,92	43,51	159,18	42	53,12	81,72	44,51	162,84
6	53,07	81,65	42,50	155,49	43	53,39	82,14	43,79	160,21
7	52,99	81,52	42,79	156,55	44	53,38	82,12	44,37	162,33
8	53,29	81,98	43,00	157,32	45	53,05	81,62	42,50	155,49
9	53,49	82,29	42,83	156,70	46	53,04	81,60	37,31	136,50
10	52,79	81,22	42,71	156,26	47	53,84	82,83	43,92	160,68
11	53,00	81,54	43,19	158,01	48	51,67	79,49	43,07	157,57
12	52,95	81,46	43,64	159,66	49	52,06	80,09	43,65	159,70
13	52,67	81,03	42,83	156,70	50	51,51	79,25	42,07	153,91
14	52,42	80,65	43,50	159,15	51	51,65	79,46	42,63	155,96
15	53,05	81,62	42,50	155,49	52	52,36	80,55	43,21	158,09
16	51,37	79,03	41,25	150,91	53	53,97	83,03	45,09	164,96
17	51,40	79,08	41,29	151,06	54	53,14	81,75	44,95	164,45
18	52,50	80,77	42,05	153,84	55	53,50	82,31	45,65	167,01
19	54,42	83,72	43,47	159,04	56	51,72	79,57	44,62	163,24
20	53,93	82,97	43,27	158,30	57	52,13	80,20	42,81	156,62
21	54,89	84,45	43,74	160,02	58	53,19	81,83	44,55	162,99
22	54,58	83,97	43,53	159,26	59	52,35	80,54	42,09	153,99
23	52,73	81,12	42,72	156,29	60	52,51	80,78	42,96	157,17
24	51,64	79,45	43,09	157,65	61	51,91	79,86	42,56	155,71
25	53,53	82,35	45,71	167,23	62	51,43	79,12	42,71	156,26
26	53,08	81,66	45,53	166,57	63	51,00	78,46	42,49	155,45
27	53,68	82,58	47,01	171,99	64	51,10	78,62	43,16	157,90
28	52,95	81,46	46,45	169,94	65	50,22	77,26	42,44	155,27
29	54,77	84,26	44,32	162,15	66	50,91	78,32	43,35	158,60
31	52,57	80,88	41,40	151,46	67	53,20	81,85	45,34	165,88
32	52,26	80,40	41,76	152,78	68	53,46	82,25	44,17	161,60
33	51,57	79,34	42,13	154,13	69	52,18	80,28	43,08	157,61
34	51,76	79,63	41,36	151,32	70	50,95	78,38	42,80	156,59
35	51,97	79,95	41,65	152,38	71	52,50	80,77	44,38	162,37
36	51,93	79,89	41,69	152,52	72	53,06	81,63	45,04	164,78
Média							81,12		158,42
Máximo							84,45		171,99
Mínimo							77,26		136,5

Tabela D5 – Vazões e taxas no ensaio 4 com taxas previstas no FAP=120 m³/m².d e no FRD = 120 m³/m².d.

TF (h)	FAP		FRD		TF (h)	FAP		FRD	
	Vazão	Taxa	Vazão	Taxa		Vazão	Taxa	Vazão	Taxa
	(L/h)	(m/d)	(L/h)	(m/d)		(L/h)	(m/d)	(L/h)	(m/d)
0,0	82,78	127,35	38,39	140,45	36,0	78,47	120,72	31,01	113,45
1,0	80,04	123,14	35,61	130,28	37,0	79,60	122,46	37,05	135,55
2,0	76,61	117,86	32,80	120,00	38,0	81,02	124,65	34,83	127,43
3,0	76,05	117,00	33,01	120,77	39,0	82,56	127,02	35,46	129,73
4,0	76,25	117,31	33,29	121,79	40,0	85,87	132,11	31,47	115,13
5,7	79,76	122,71	35,14	128,56	41,0	82,22	126,49	37,13	135,84
6,0	80,65	124,08	36,01	131,74	42,0	81,37	125,18	36,23	132,55
7,0	81,75	125,77	36,82	134,71	43,0	81,60	125,54	36,83	134,74
8,0	81,43	125,28	37,67	137,82	44,0	81,90	126,00	36,16	132,29
9,0	82,10	126,31	38,33	140,23	45,0	81,68	125,66	36,38	133,10
10,0	83,86	129,02	36,18	132,37	46,0	77,54	119,29	33,49	122,52
11,0	81,72	125,72	36,14	132,22	47,0	77,52	119,26	33,98	124,32
12,0	81,31	125,09	35,17	128,67	48,0	78,54	120,83	34,17	125,01
13,0	80,55	123,92	35,55	130,06	49,0	85,85	132,08	30,45	111,40
14,0	75,82	116,65	34,12	124,83	50,0	79,94	122,98	38,02	139,10
15,0	78,73	121,12	33,12	121,17	51,0	81,79	125,83	39,36	144,00
16,0	80,31	123,55	34,19	125,09	52,0	82,30	126,62	35,97	131,60
17,0	81,62	125,57	33,84	123,80	53,0	78,74	121,14	33,15	121,28
18,0	83,13	127,89	37,60	137,56	54,0	84,31	129,71	38,24	139,90
19,0	81,26	125,02	36,68	134,20	55,0	82,14	126,37	36,46	133,39
20,0	81,35	125,15	35,12	128,49	56,0	81,69	125,68	36,31	132,84
21,0	79,30	122,00	34,59	126,55	57,0	81,69	125,68	36,22	132,51
22,0	77,34	118,98	31,75	116,16	58,0	80,23	123,43	35,70	130,61
22,5	80,83	124,35	36,52	133,61	59,0	83,39	128,29	36,26	132,66
23,5	82,83	127,43	33,10	121,10	60,0	82,09	126,29	34,70	126,95
24,0	80,91	124,48	35,45	129,70	61,0	82,11	126,32	35,00	128,05
25,0	81,45	125,31	36,57	133,79	62,0	77,17	118,72	31,12	113,85
26,0	80,62	124,03	35,52	129,95	63,0	80,01	123,09	34,63	126,70
27,0	93,10	143,23	37,32	136,54	64,0	80,76	124,25	33,56	122,78
28,0	79,09	121,68	35,24	128,93	65,0	82,66	127,17	34,51	126,26
29,0	80,27	123,49	34,76	127,17	66,0	80,19	123,37	33,20	121,46
30,0	83,33	128,20	38,77	141,84	67,0	80,51	123,86	34,94	127,83
31,0	80,72	124,18	34,69	126,91	68,0	82,28	126,58	39,14	143,20
32,0	79,21	121,86	33,29	121,79	69,0	86,47	133,03	36,82	134,71
33,0	78,93	121,43	31,73	116,09	70,0	79,18	121,82	38,65	141,40
34,0	79,90	122,92	34,97	127,94	71,0	83,23	128,05	41,61	152,23
35,0	80,12	123,26	33,90	124,02	72,0	82,58	127,05	35,74	130,76
Média							124,66		129,38
Máximo							143,23		136,54
Mínimo							116,65		124,83

Tabela D6 – Vazões e taxas no ensaio 5 com taxas previstas no FAP=120 m³/m².d e no FRD = 180 m³/m².d.

TF (h)	FAP		FRD		TF (h)	FAP		FRD	
	Vazão (L/h)	Taxa (m/d)	Vazão (L/h)	Taxa (m/d)		Vazão (L/h)	Taxa (m/d)	Vazão (L/h)	Taxa (m/d)
0,0	80,62	124,03	53,82	196,90	37,0	79,65	122,54	53,69	196,43
1,0	79,11	121,71	51,83	189,62	38,0	77,77	119,65	54,04	197,71
2,0	77,81	119,71	50,36	184,24	39,0	78,17	120,26	51,02	186,66
3,0	81,07	124,72	50,22	183,73	40,0	80,03	123,12	52,51	192,11
4,0	76,53	117,74	49,01	179,30	41,0	79,77	122,72	52,64	192,59
5,7	78,63	120,97	51,84	189,66	42,0	78,49	120,75	51,87	189,77
6,0	79,03	121,58	53,76	196,68	43,0	79,59	122,45	53,38	195,29
7,0	71,83	110,51	52,82	193,24	44,0	79,89	122,91	52,29	191,30
8,0	68,12	104,80	49,92	182,63	45,0	76,17	117,18	49,26	180,22
9,0	77,23	118,82	49,74	181,98	46,0	78,24	120,37	52,16	190,83
10,0	78,26	120,40	51,30	187,68	47,0	80,61	124,02	54,28	198,59
11,0	79,42	122,18	53,44	195,51	48,0	80,19	123,37	54,60	199,76
12,0	78,87	121,34	51,88	189,80	49,0	79,85	122,85	55,05	201,40
13,0	81,08	124,74	54,28	198,59	50,0	79,65	122,54	54,85	200,67
14,0	80,76	124,25	53,21	194,67	51,0	81,08	124,74	54,93	200,96
15,0	80,52	123,88	54,27	198,55	52,0	80,34	123,60	52,58	192,37
16,0	89,38	137,51	60,42	221,05	53,0	79,85	122,85	54,85	200,67
17,0	80,40	123,69	52,97	193,79	54,0	79,27	121,95	52,21	191,01
18,0	79,59	122,45	52,28	191,27	55,0	79,97	123,03	54,84	200,63
19,0	80,30	123,54	52,42	191,78	56,0	79,87	122,88	57,52	210,44
20,0	77,87	119,80	51,65	188,96	57,0	80,18	123,35	52,79	193,13
21,0	80,69	124,14	55,10	201,59	58,0	78,94	121,45	52,48	192,00
22,0	78,81	121,25	54,54	199,54	59,0	76,79	118,14	52,17	190,87
23,0	78,61	120,94	52,63	192,55	60,0	80,59	123,98	52,97	193,79
24,0	79,43	122,20	54,19	198,26	61,0	80,28	123,51	53,75	196,65
25,0	79,60	122,46	53,80	196,83	62,0	80,10	123,23	51,86	189,73
26,0	80,55	123,92	52,69	192,77	63,0	79,99	123,06	52,43	191,82
27,0	76,50	117,69	48,43	177,18	64,0	80,74	124,22	53,65	196,28
28,0	79,30	122,00	54,41	199,06	65,0	81,69	125,68	53,32	195,07
29,0	79,72	122,65	52,18	190,90	66,0	81,25	125,00	52,50	192,07
30,0	79,22	121,88	52,94	193,68	67,0	81,20	124,92	53,24	194,78
31,0	78,73	121,12	53,52	195,80	68,0	80,06	123,17	53,74	196,61
32,0	80,26	123,48	54,07	197,82	69,0	77,70	119,54	50,63	185,23
33,0	78,89	121,37	52,12	190,68	70,0	80,22	123,42	50,91	186,26
34,0	79,69	122,60	53,07	194,16	71,0	80,59	123,98	54,62	199,83
35,0	79,03	121,58	52,95	193,72	72,0	79,25	121,92	53,91	197,23
36,0	78,76	121,17	52,13	190,72	Média		122,07		193,64
					Máximo		137,51		182,63
					Mínimo		104,80		221,05

Tabela D7 – Vazões e taxas no ensaio 6 com taxas previstas no FAP=120 m³/m².d e no FRD = 240 m³/m².d.

TF (h)	FAP		FRD		TF (h)	FAP		FRD	
	Vazão (L/h)	Taxa (m/d)	Vazão (L/h)	Taxa (m/d)		Vazão (L/h)	Taxa (m/d)	Vazão (L/h)	Taxa (m/d)
0	78,23	120,35	67,99	248,74	37	80,56	123,94	69,06	252,66
1	78,91	121,40	39,05	142,87	38	79,72	122,65	69,28	253,46
2	79,80	122,77	37,34	136,61	39	79,67	122,57	65,21	238,57
3	78,67	121,03	66,10	241,83	40	78,31	120,48	64,27	235,13
4	79,86	122,86	66,95	244,94	41	77,81	119,71	64,33	235,35
5	78,16	120,25	66,82	244,46	42	77,56	119,32	64,83	237,18
6	80,62	124,03	69,02	252,51	43	77,98	119,97	66,12	241,90
7	80,74	124,22	69,14	252,95	45	77,37	119,03	66,04	241,61
8	76,53	117,74	35,28	129,07	46	78,43	120,66	67,65	247,50
9	78,35	120,54	37,12	135,80	47	78,99	121,52	68,76	251,56
10	75,55	116,23	34,52	126,29	48	80,54	123,91	71,07	260,01
11	79,15	121,77	38,36	140,34	49	78,49	120,75	61,71	225,77
12	80,90	124,46	71,37	261,11	50	91,59	140,91	68,64	251,12
13	79,93	122,97	69,03	252,55	51	91,19	140,29	69,18	253,10
14	78,16	120,25	67,97	248,67	52	80,61	124,02	68,64	251,12
15	75,43	116,05	70,43	257,67	53	80,98	124,58	69,49	254,23
16	78,32	120,49	67,26	246,07	54	79,44	122,22	63,41	231,99
17	77,46	119,17	66,72	244,10	55	81,38	125,20	69,28	253,46
18	82,23	126,51	68,00	248,78	56	77,89	119,83	66,25	242,38
20	77,28	118,89			57	77,12	118,65	65,69	240,33
22	76,97	118,42	63,33	231,70	58	77,20	118,77	66,12	241,90
23	75,79	116,60	63,03	230,60	59	79,42	122,18	69,00	252,44
24	80,59	123,98	72,28	264,44	60	75,37	115,95	67,49	246,91
25	77,53	119,28	65,55	239,82	61	79,23	121,89	67,31	246,26
26	75,83	116,66	66,91	244,79	62	78,42	120,65	67,15	245,67
27	77,48	119,20	66,56	243,51	63	65,21	100,32	55,35	202,50
28	76,90	118,31	65,75	240,55	64	80,38	123,66	70,52	258,00
29	77,54	119,29	67,06	245,34	65	79,81	122,78	67,80	248,05
30	74,68	114,89	64,01	234,18	66	77,29	118,91	66,04	241,61
31	80,15	123,31	70,29	257,16	67	77,52	119,26	66,75	244,21
32	80,71	124,17	69,75	255,18	68	76,79	118,14	66,85	244,57
33	80,40	123,69	67,43	246,70	69	77,69	119,52	67,83	248,16
34	80,18	123,35	67,60	247,32	70	77,29	118,91	70,52	258,00
35	82,04	126,22	69,49	254,23	71	79,81	122,78	66,04	241,61
36	79,62	122,49	68,25	249,70	72	77,81	119,71	67,83	248,16
Média							121,22		245,03
Máximo							140,91		251,12
Mínimo							100,32		202,50

ANEXO E: PRÉ-ENSAIO

TABELA E1 – Valores de perda de carga no pré-ensaio com taxa de filtração média de 120 m³/m².d no FAP e de 220 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Filtro Rápido Descendente (FRD)								Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP)									
	Nível Piezométrico (cm)				Perda de Carga (cm)				Nível Piezométrico (cm)					Perda de Carga (cm)				
	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P0	P1	P2	P3	P4	P1-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P0
0,0	12,9	38,1	55,0	71,8	25,2	16,9	16,8	58,9	44,8	46,9	47,3	47,3	47,3	2,1	0,4	0,0	0,0	2,5
1,0	13,0	40,8	59,5	83,2	27,8	18,7	23,7	70,2	44,8	47,7	49,0	49,0	49,2	2,9	1,3	0,0	0,2	4,4
2,0	13,0	40,3	59,0	85,1	27,3	18,7	26,1	72,1	44,8	48,5	50,4	50,4	50,4	3,7	1,9	0,0	0,0	5,6
3,0	12,9	40,2	59,0	88,8	27,3	18,8	29,8	75,9	44,8	49,0	51,2	51,3	51,3	4,2	2,3	0,1	0,0	6,5
4,0	12,8	40,4	59,2	89,8	27,6	18,8	30,6	77,0	44,8	49,5	52,0	52,1	52,1	4,7	2,6	0,1	0,0	7,3
4,8	12,8	40,9	60,3	92,6	28,1	19,4	32,3	79,8	44,8	50,1	52,8	52,9	52,9	5,3	2,8	0,1	0,0	8,1
5,0	12,8	40,7	59,9	94,4	27,9	19,2	34,5	81,6	44,8	48,3	49,1	49,1	49,1	3,5	0,8	0,0	0,0	4,3
6,0	12,8	41,7	60,6	98,9	28,9	18,9	38,3	86,1	44,8		50,1	50,1	50,1			0,0	0,0	5,3
7,0	12,8	41,6	61,6	100,3	28,8	20,0	38,7	87,5	44,8		51,0	51,0	51,1			0,0	0,1	6,3
8,0	12,8	41,8	62,1	103,0	29,0	20,3	40,9	90,2	44,8		52,2	52,2	52,3			0,0	0,1	7,5
9,0	12,7	40,5	60,0	101,7	27,8	19,5	41,7	89,0	44,8		53,3	53,7	53,7			0,4	0,0	8,9
10,0	12,7	40,7	60,4	104,5	28,0	19,7	44,1	91,8	44,8		54,3	54,4	54,4			0,1	0,0	9,6
11,0	12,7	41,0	61,0	109,5	28,3	20,0	48,5	96,8	44,8		55,5	55,8	55,8			0,3	0,0	11,0
12,0	12,7	41,0	61,0	113,0	28,3	20,0	52,0	100,3	44,8		56,2	56,6	56,6			0,4	0,0	11,8
13,0	12,7	41,2	61,6	120,2	28,5	20,4	58,6	107,5	44,8		57,4	57,6	57,6			0,2	0,0	12,8
14,0	12,7	40,7	61,4	124,6	28,0	20,7	63,2	111,9	44,8		58,2	58,4	58,5			0,2	0,1	13,7
15,0	12,7	40,5	61,5	129,0	27,8	21,0	67,5	116,3	44,8	44,8	59,1	59,4	59,4	0,0	14,6	0,3	0,0	14,6
15,6	12,7	40,3	61,9	134,0	27,6	21,6	72,1	121,3	44,8	45,0	60,1	60,4	60,6	0,2	15,4	0,3	0,2	15,8
16,0	12,7	40,2	61,9	138,0	27,5	21,7	76,1	125,3	44,8		51,4	51,5	51,5			0,1	0,0	6,7
17,0	12,7	40,6	62,7	140,6	27,9	22,1	77,9	127,9	44,8		53,4	53,4	53,4			0,0	0,0	8,6
18,0	12,8	40,2	62,3	142,1	27,4	22,1	79,8	129,3	44,8		54,8	54,9	54,9			0,1	0,0	10,1
19,0	12,8	40,0	61,8	144,0	27,2	21,8	82,2	131,2	44,8		56,0	56,1	56,1			0,1	0,0	11,3
20,0	12,8	39,8	61,8	146,5	27,0	22,0	84,7	133,7	44,8		57,0	57,2	57,2			0,2	0,0	12,4
21,0	12,8	39,8	62,0	150,7	27,0	22,2	88,7	137,9	44,8		58,2	58,4	58,5			0,2	0,1	13,7
22,0	12,8	40,0	62,7	154,7	27,2	22,7	92,0	141,9	44,8		59,1	59,2	59,3			0,1	0,1	14,5
23,0	12,8	40,8	64,6	162,7	28,0	23,8	98,1	149,9	44,8	45,3	60,2	60,3	60,4	0,5	15,0	0,1	0,1	15,6
24,0	12,8	41,9	67,2	172,6	29,1	25,3	105,4	159,8	44,8	45,9	61,7	61,9	61,9	1,1	16,0	0,2	0,0	17,1
25,0	12,8	41,8	67,4	174,7	29,0	25,6	107,3	161,9	44,8	46,3	62,7	63,0	63,1	1,5	16,7	0,3	0,1	18,3
26,0	12,8	42,6	69,3	183,1	29,8	26,7	113,8	170,3	44,8	46,8	63,6	64,0	64,0	2,0	17,2	0,4	0,0	19,2
27,0	12,8	43,8	72,0	191,7	31,0	28,2	119,7	178,9	44,8	47,3	64,7	65,0	65,0	2,5	17,7	0,3	0,0	20,2
28,0	12,8	45,4	75,1	201,3	32,6	29,7	126,2	188,5	44,8	47,9	65,6	65,9	66,0	3,1	18,0	0,3	0,1	21,2
29,0	12,8	45,7	76,1	207,5	32,9	30,4	131,4	194,7	44,8	48,7	67,3	67,6	67,6	3,9	18,9	0,3	0,0	22,8
30,0	12,8	46,1	77,2	211,0	33,3	31,1	133,8	198,2	44,8	49,0	67,8	68,2	68,2	4,2	19,2	0,4	0,0	23,4
30,3	12,8	46,3	77,5	212,6	33,5	31,2	135,1	199,8	44,8	49,2	68,1	68,5	68,5	4,4	19,3	0,4	0,0	23,7
31,0	12,7	44,6	74,7	215,0	31,9	30,1	140,3	202,3	44,8		54,1	54,2	54,2			0,1	0,0	9,4
31,5	12,7	46,1	77,6	222,7	33,4	31,5	145,1	210,0						0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
32,0	12,8	41,1	59,6	79,6	28,3	18,5	20,0	66,8	44,8		55,4	55,5	55,5			0,1	0,0	10,7
33,0	12,6	41,2	59,8	82,5	28,6	18,6	22,7	69,9	44,8		56,7	56,8	56,9			0,1	0,1	12,1
34,0	12,6	41,4	60,3	87,2	28,8	18,9	26,9	74,6	44,8	44,8	58,0	58,0	58,0	0,0	13,2	0,0	0,0	13,2
35,0	12,6	41,7	60,7	92,5	29,1	19,0	31,8	79,9	44,8	45,5	59,0	59,1	59,1	0,7	13,6	0,1	0,0	14,3
36,0	12,6	41,8	61,0	98,9	29,2	19,2	37,9	86,3	44,8	46,1	60,0	60,1	60,1	1,3	14,0	0,1	0,0	15,3

TABELA E1 (continuação) – Valores de perda de carga no pré-ensaio com taxa de filtração média de 120 m³/m².d no FAP e de 220 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Filtro Rápido Descendente (FRD)								Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP)									
	Nível Piezométrico (cm)				Perda de Carga (cm)				Nível Piezométrico (cm)					Perda de Carga (cm)				
	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P0	P1	P2	P3	P4	P1-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P0
37,0	12,6	42,6	63,0	109,9	30,0	20,4	46,9	97,3	44,8	47,0	61,3	61,4	61,4	2,2	14,4	0,1	0,0	16,6
38,0	12,6	42,6	63,4	114,9	30,0	20,8	51,5	102,3	44,8	47,4	61,9	62,0	62,1	2,6	14,6	0,1	0,1	17,3
39,0	12,6	42,5	63,8	121,3	29,9	21,3	57,5	108,7	44,8	47,9	62,8	62,9	63,1	3,1	15,0	0,1	0,2	18,3
40,0	12,6	42,5	64,6	129,5	29,9	22,1	64,9	116,9	44,8	48,5	64,1	64,3	64,4	3,7	15,8	0,2	0,1	19,6
41,0	12,7	42,5	64,9	134,7	29,8	22,4	69,8	122,0	44,8	48,9	64,9	65,1	65,2	4,1	16,2	0,2	0,1	20,4
42,0	12,7	42,6	64,8	143,7	29,9	22,2	78,9	131,0	44,8	49,7	66,3	66,5	66,6	4,9	16,8	0,2	0,1	21,8
43,0	12,7	40,7	63,4	145,3	28,0	22,7	81,9	132,6	44,8	50,5	67,6	67,5	68,1	5,7	17,0	-0,1	0,6	23,3
44,0	12,7	42,0	66,1	157,4	29,3	24,1	91,3	144,7	44,8	51,3	68,8	69,1	69,3	6,5	17,8	0,3	0,2	24,5
45,0	12,7	43,3	69,2	169,0	30,6	25,9	99,8	156,3	44,8	52,1	69,9	70,2	70,4	7,3	18,1	0,3	0,2	25,6
46,0	12,7	44,4	70,5	178,7	31,7	26,1	108,2	166,0	44,8	53,0	71,0	71,3	71,6	8,2	18,3	0,3	0,3	26,8
47,0	12,7	44,9	75,0	191,5	32,2	30,1	116,5	178,8	44,8	54,2	72,5	72,8	78,0	9,4	18,6	0,3	5,2	33,2
48,0	12,8	36,0	52,2	73,5	23,2	16,2	21,3	60,7	44,8	54,7	58	57,7	57,7	9,9	3,0	0,1	0,0	12,9
49,0	13,0	37,5	54,7	80,5	24,5	17,2	25,8	67,5	44,8	55,7	59,3	59,4	59,5	10,9	3,7	0,1	0,1	14,7
50,0	13,0	38,2	56,1	88,3	25,2	17,9	32,2	75,3	44,8	57,2	61,1	61,2	61,2	12,4	4,0	0,1	0,0	16,4
51,0	13,0	38,4	56,5	93,5	25,4	18,1	37,0	80,5	44,8	57,7	62,1	62,1	62,2	12,9	4,4	0,0	0,1	17,4
52,0	12,8	34,9	51,9	91,3	22,1	17,0	39,4	78,5	44,8	56,9	61,1	61,2	61,2	12,1	4,3	0,1	0,0	16,4
53,0	12,8	35,5	51,9	96,1	22,7	16,4	44,2	83,3	44,8	57,3	61,9	62,0	62,0	12,5	4,7	0,1	0,0	17,2
54,0	12,7	35,4	52,2	101,8	22,7	16,8	49,6	89,1	44,8	57,9	63,7	63,9	64,0	13,1	6,0	0,2	0,1	19,2
55,0	12,6	35,5	52,7	110,0	22,9	17,2	57,3	97,4	44,8	58,5	63,9	64,0	64,2	13,7	5,5	0,1	0,2	19,4
56,0	12,6	35,5	53,3	116,3	22,9	17,8	63,0	103,7	44,8	59,3	64,8	65,0	65,0	14,5	5,7	0,2	0,0	20,2
57,0	12,6	35,6	54,0	123,5	23,0	18,4	69,5	110,9	44,8	60,0	65,6	65,9	66,0	15,2	5,9	0,3	0,1	21,2
58,0	12,6	36,0	55,3	131,9	23,4	19,3	76,6	119,3	44,8	60,5	66,7	66,9	67,0	15,7	6,4	0,2	0,1	22,2
59,0	12,7	37,4	58,4	145,0	24,7	21,0	86,6	132,3	44,8	61,2	67,5	67,9	68,0	16,4	6,7	0,4	0,1	23,2
60,0	12,6	38,1	60,1	155,0	25,5	22,0	94,9	142,4	44,8	62,0	68,7	69,0	69,1	17,2	7,0	0,3	0,1	24,3
61,0	12,8	44,5	71,7	189,7	31,7	27,2	118,0	176,9	44,8	64,8	72,0	72,3	72,5	20,0	7,5	0,3	0,2	27,7
61,5	12,8	44,8	72,4	197,4	32,0	27,6	125,0	184,6										
62,0	12,8	38,9	56,6	75,4	26,1	17,7	18,8	62,6	44,8	65,1	72,8	73,1	73,2	20,3	8,0	0,3	0,1	28,4
63,0	12,8	39,1	57,3	84,9	26,3	18,2	27,6	72,1	44,8	66,3	74,5	74,8	74,9	21,5	8,5	0,3	0,1	30,1
64,0	12,8	38,3	56,9	93,2	25,5	18,6	36,3	80,4	44,8	67,0	75,4	75,9	76,0	22,2	8,9	0,5	0,1	31,2
65,0	12,8	39,2	59,9	104,9	26,4	20,7	45,0	92,1	44,8	67,7	76,6	77,0	77,1	22,9	9,3	0,4	0,1	32,3
66,0	12,8	40,4	63,3	120,3	27,6	22,9	57,0	107,5	44,8	68,8	78,1	78,5	78,6	24,0	9,7	0,4	0,1	33,8
67,0	12,8	41,4	65,7	131,3	28,6	24,3	65,6	118,5	44,8	69,6	79,2	79,6	79,7	24,8	10,0	0,4	0,1	34,9
68,0	12,7	41,8	67,1	140,9	29,1	25,3	73,8	128,2	44,8	70,4	80,4	80,4	80,4	25,6	10,0	0,0	0,0	35,6
69,0	12,7	43,2	69,9	152,4	30,5	26,7	82,5	139,7	44,8	71,2	81,5	81,8	82,0	26,4	10,6	0,3	0,2	37,2
69,3									44,8	71,7	82,0	82,5	82,8	26,9	10,8	0,5	0,3	38,0
69,6									44,8	72,0	82,5	83,0	83,2	27,2	11,0	0,5	0,2	38,4
70,0	12,7	40,0	58,9	82,1	27,3	18,9	23,2	69,4	44,8	72,2	82,7	83,2	83,4	27,4	11,0	0,5	0,2	38,6
70,4	12,7	40,5	59,7	90,3	27,8	19,2	30,6	77,6	44,8	73,1	83,7	84,3	84,4	28,3	11,2	0,6	0,1	39,6
71,0	12,6	34,4	58,1	94,5	21,8	23,7	36,4	81,9	44,8	53,0	55,1	55,2	55,2	8,2	2,2	0,1	0,0	10,4
72,0	12,6	39,2	57,8	97,7	26,6	18,6	39,9	85,1	44,8	53,8	56,4	56,5	56,5	9,0	2,7	0,1	0,0	11,7

TABELA E1 (continuação) – Valores de perda de carga no pré-ensaio com taxa de filtração média de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FAP e de $220 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Filtro Rápido Descendente (FRD)								Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP)									
	Nível Piezométrico (cm)				Perda de Carga (cm)				Nível Piezométrico (cm)					Perda de Carga (cm)				
	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P0	P1	P2	P3	P4	P1-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P0
73,0	12,5	38,9	57,5	103,1	26,4	18,6	45,6	90,6	44,8	55,6	58,9	59,1	59,2	10,8	3,5	0,2	0,1	14,4
74,0	12,5	40,7	60,8	113,0	28,2	20,1	52,2	100,5	44,8	56,2	59,7	59,9	60,0	11,4	3,7	0,2	0,1	15,2
75,0	12,5	38,5	57,7	112,9	26,0	19,2	55,2	100,4	44,8	56,8	60,7	60,8	60,8	12,0	4,0	0,1	0,0	16,0
76,0	12,4	38,6	58,3	120,5	26,2	19,7	62,2	108,1	44,8	57,7	62,1	62,2	62,2	12,9	4,5	0,1	0,0	17,4
77,0	12,4	38,9	59,7	128,5	26,5	20,8	68,8	116,1	44,8	58,1	63,2	63,5	63,5	13,3	5,4	0,3	0,0	18,7
78,0	12,4	39,5	61,3	137,7	27,1	21,8	76,4	125,3	44,8	59,1	64,0	64,2	64,2	14,3	5,1	0,2	0,0	19,4
79,0	12,4	39,4	61,8	145,7	27,0	22,4	83,9	133,3	44,8	59,9	65,4	65,5	65,5	15,1	5,6	0,1	0,0	20,7
80,0	12,4	40,0	63,3	152,5	27,6	23,3	89,2	140,1	44,8	60,6	66,4	66,6	66,6	15,8	6,0	0,2	0,0	21,8
81,0	12,4	40,9	65,6	165,0	28,5	24,7	99,4	152,6	44,8	61,7	68,0	68,3	68,3	16,9	6,6	0,3	0,0	23,5
82,0	12,4	41,4	66,8	171,4	29,0	25,4	104,6	159,0	44,8	62,5	69,0	69,4	69,5	17,7	6,9	0,4	0,1	24,7
83,0	12,4	41,8	68,1	179,0	29,4	26,3	110,9	166,6	44,8	63,2	70,0	70,3	70,5	18,4	7,1	0,3	0,2	25,7
84,0	12,4	42,4	69,8	189,3	30,0	27,4	119,5	176,9	44,8	64,2	71,3	71,6	71,9	19,4	7,4	0,3	0,3	27,1
85,0	12,6	35,8	53,5	79,0	23,2	17,7	25,5	66,4	44,8	65,2	72,5	73,0	73,1	20,4	7,8	0,5	0,1	28,3
86,0	12,7	36,0	54,1	93,5	23,3	18,1	39,4	80,8	44,8	66,1	73,8	74,2	74,3	21,3	8,1	0,4	0,1	29,5
87,0	12,6	36,0	55,4	107,9	23,4	19,4	52,5	95,3	44,8	66,9	74,9	75,3	75,4	22,1	8,4	0,4	0,1	30,6
88,0	12,6	36,2	57,1	122,8	23,6	20,9	65,7	110,2	44,8	67,6	75,7	76,1	76,3	22,8	8,5	0,4	0,2	31,5
89,0	12,6	37,2	59,8	140,2	24,6	22,6	80,4	127,6	44,8	69,1	77,8	78,3	78,4	24,3	9,2	0,5	0,1	33,6
90,0	12,6	38,0	61,9	170,2	25,4	23,9	108,3	157,6	44,8	70,4	81,0	81,5	81,7	25,6	11,1	0,5	0,2	36,9
91,0	12,6	39,4	64,9	192,6	26,8	25,5	127,7	180,0	44,8	72,2	81,9	82,4	82,6	27,4	10,2	0,5	0,2	37,8
92,0	12,6	40,8	68,4	222,4	28,2	27,6	154,0	209,8	44,8	73,2	83,1	83,7	83,9	28,4	10,5	0,6	0,2	39,1
93,0	12,8	34,4	53,4	85,5	21,6	19,0	32,1	72,7	44,8	74,0	84,0	84,5	84,6	29,2	10,5	0,5	0,1	39,8
94,0	12,7	33,8	53,2	110,7	21,1	19,4	57,5	98,0	44,8	74,8	85,0	85,7	86,0	30,0	10,9	0,7	0,3	41,2
95,0	12,7	35,1	58,0	143,6	22,4	22,9	85,6	130,9	44,8	76,0	86,5	87,1	87,3	31,2	11,1	0,6	0,2	42,5
96,0	12,7	35,7	60,2	169,4	23,0	24,5	109,2	156,7	44,8	76,5	87,5	88,2	88,7	31,7	11,7	0,7	0,5	43,9
97,0	12,7	36,2	64,9	192,6	23,5	28,7	127,7	179,9	44,8	77,5	88,7	89,3	89,4	32,7	11,8	0,6	0,1	44,6
98,0	12,7	40,8	68,4	222,4	28,1	27,6	154,0	210,0	44,8	78,6	90,3	91,1	91,3	33,8	12,5	0,8	0,2	46,5
98,5	12,7	33,3	53,3	87,0	20,6	20,0	33,7	74,3	44,8	79,4	91,0	91,5	91,8	34,6	12,1	0,5	0,3	47,0
99,0	12,7	36,0	54,1	93,5	23,3	18,1	39,4	80,8	44,8	80,3	92,1	92,7	93,0	35,5	12,4	0,6	0,3	48,2
100,0	12,6	36,0	55,4	107,9	23,4	19,4	52,5	95,3	44,8	81,0	93,4	94,0	94,5	36,2	13,0	0,6	0,5	50,0

TABELA E2 – Valores de cor aparente e verdadeira e pH do pré-ensaio com taxa de filtração média de 120 m³/m².d no FAP e de 220 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Temp (°C)	Cor Aparente (uH)			Cor Verdadeira (uH)	pH	
		AE	FAP	FRD	AE	AE	AC
1	16,0	194	8	≤ 1	110		5,6
3	15,5	177	2	≤ 1	102	7,3	5,8
5	15,0	173	15	≤ 1	93	6,9	5,9
7	15,0	175	7	≤ 1	98	6,6	5,6
9	14,5	168	10	1	90	6,7	5,7
11	14,5	178	37	1	117	6,7	5,5
13	14,5	194	56	2	108	7,0	5,6
15	16,0	210	67	≤ 1	115	6,6	5,6
17	16,5	190	11	3	97	6,9	5,6
19	17,5	193	15	≤ 1	108	7,3	5,5
21	17,0	175	35	5	88	6,8	5,4
23	16,0	179	47	≤ 1	98	6,8	5,4
25	15,5	179	56	≤ 1	102	6,9	5,6
27	15,0	173	73	5	109	7,0	5,6
29	14,0	154	74	7	84	6,8	5,5
31	13,5	163	11	4	91	7,2	5,6
33	13,5	163	22	2	86	7,2	5,6
35	13,0	167	40	1	89	6,6	5,4
37	13,5	193	57	1	98	6,8	5,4
39	15,0	204	65	3	103	6,5	5,4
41	17,0	197	87	≤ 1	103	6,9	5,3
43	17,5	211	85	≤ 1	116	7,0	5,5
45	17,0	192	88	3	102	7,2	5,4
47	16,0	188	13	4	98	7,3	5,6
49	16,0	196	16	≤ 1	96	7,0	5,6

TABELA E2 (continuação) – Valores de cor aparente e verdadeira no pré-ensaio com taxa de filtração média de 120 m³/m².d no FAP e de 220 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Temp (°C)	Cor Aparente (uH)			Cor Verdadeira (uH)	pH	
		AE	FAP	FRD	AE	AE	AC
51	16,0	172	36	≤ 1	94	7,0	5,7
53	16,0	184	29	≤ 1	103	7,0	5,7
55	16,0	180	34	≤ 1	99	6,9	5,7
57	16,0	192	52	≤ 1	100	7,0	5,7
59	16,0	189	67	≤ 1	97	6,9	5,7
61	17,0	199	141	2	108	6,9	5,5
63	16,5	191	89	≤ 1	100	7,3	5,5
65	17,0	189	95	5	96	7,1	5,6
67	17,0	184	98	2	91	7,3	5,5
69	16,0	193	97	3	108	6,9	5,6
71	16,0	200	4	≤ 1	104	6,8	5,6
73	16,0	185	23	1	94	7,1	5,6
75	16,0	190	48	5	105	7,0	5,5
77	16,0	181	58	≤ 1	93	7,0	5,6
79	16,0	187	74	2	104	7,1	5,6
81	16,0	189	81	1	101	7,4	5,5
83	17,0	197	82	6	94	7,2	5,6
85	17,0	191	93	2	109	7,3	5,7
87	18,0	197	100	1	101	7,2	5,6
89	18,5	215	113	≤ 1	107	7,1	5,9
91	19,0	216	108	7	107	7,0	5,5
93	19,0	207	127	≤ 1	113	7,2	5,3
95	18,0	198	86	≤ 1	87	7,0	5,6
97	18,0	204	115	2	110	6,7	5,6
99	18,0	195	110	≤ 1	105	6,6	5,6

TABELA E3: Dados de pH, turbidez, cor verdadeira, cor aparente, carbono orgânico dissolvido, absorvância, e alcalinidade para o pré-ensaio.

	Água Bruta	Água de Estudo	Efluente do FAP	Efluente do FRD
pH	-	6,5 a 7,4	-	-
Turbidez (uT)	9,9 a 15	-	0,7 a 11	0,2 a 1,0
Cor Verdadeira (uH)	-	84 a 117	-	-
Cor Aparente (uH)	-	-	2 a 141	7 a ≤ 1
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	9,9 a 23,1	-	-	-
Taxas de filtração: FAP= 120m/d e FRD =220m/d Coagulação química: DSA= $8,0 \pm 0,2$ mg/L pH de coagulação = 5,3 a 5,9 temperatura= 13,0 a 19,0 °C

FIGURA E1 : Variação dos valores de perda de carga do pré-ensaio em função do tempo de funcionamento.

FIGURA E2: Variação de turbidez em função do tempo de funcionamento.

FIGURA E2: Variação da cor no pré-ensaio em função do tempo de funcionamento.

ANEXO F: ENSAIO 1

TABELA F1 – Valores de perda de carga no Ensaio 1 com taxa de filtração média de $80 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FAP e de $80 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Filtro Rápido Descendente (FRD)								Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP)									
	Nível Piezométrico (cm)				Perda de Carga (cm)				Nível Piezométrico (cm)					Perda de Carga (cm)				
	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P0	P1	P2	P3	P4	P1-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P0
0,0	11,8	19,3	23,7	28,7	7,5	4,4	5,0	16,9	45,1	46,0	46,4	46,5	46,6	0,9	0,4	0,1	0,1	1,5
1,0	11,8	19,9	24,7	31,5	8,1	4,8	6,8	19,7	45,1	46,2	46,9	47,0	47,0	1,1	0,7	0,1	0,0	1,9
2,0	11,8	20,4	25,4	34,4	8,6	5,0	9,0	22,6	45,1	46,5	47,3	47,4	47,4	1,4	0,8	0,1	0,0	2,3
3,0	11,8	19,7	24,4	33,1	7,9	4,7	8,7	21,3	45,1	46,5	47,5	47,6	47,6	1,4	1,0	0,1	0,0	2,5
4,0	11,8	19,8	24,6	33,9	8,0	4,8	9,3	22,1	45,0	46,6	47,7	47,8	47,8	1,6	1,1	0,1	0,0	2,8
5,0	11,8	19,9	24,8	34,5	8,1	4,9	9,7	22,7	45,0	46,7	48,0	48,2	48,2	1,7	1,3	0,2	0,0	3,2
6,0	11,8	20,0	24,9	35,0	8,2	4,9	10,1	23,2	45,0	46,7	48,4	48,5	48,5	1,7	1,7	0,1	0,0	3,5
7,0	11,8	20,1	25,0	35,6	8,3	4,9	10,6	23,8	45,0	46,8	48,8	49,0	49,0	1,8	2,0	0,2	0,0	4,0
8,0	11,7	20,2	25,2	36,2	8,5	5,0	11,0	24,5	45,0	47,1	49,4	49,5	49,5	2,1	2,3	0,1	0,0	4,5
9,0	11,7	20,4	25,5	37,1	8,7	5,1	11,6	25,4	45,0	47,3	49,8	50,0	50,0	2,3	2,5	0,2	0,0	5,0
10,0	11,7	20,0	24,9	36,6	8,3	4,9	11,7	24,9	45,0	47,8	50,7	50,9	50,9	2,8	2,9	0,2	0,0	5,9
11,0	11,7	20,0	24,9	37,0	8,3	4,9	12,1	25,3	45,0	48,0	51,1	51,3	51,3	3,0	3,1	0,2	0,0	6,3
12,0	11,7	20,0	25,0	38,0	8,3	5,0	13,0	26,3	45,0	48,5	51,9	52,1	52,1	3,5	3,4	0,2	0,0	7,1
13,0	11,7	20,1	25,1	39,3	8,4	5,0	14,2	27,6	44,9	49,1	52,9	53,2	53,2	4,2	3,8	0,3	0,0	8,3
14,0	11,7	20,3	25,5	41,3	8,6	5,2	15,8	29,6	44,9	47,0	48,0	48,1	48,1	2,1	1,0	0,1	0,0	3,2
15,0	11,7	20,7	26,1	44,5	9,0	5,4	18,4	32,8	44,9	47,5	48,9	49,0	49,0	2,6	1,4	0,1	0,0	4,1
16,0	11,7	20,8	26,3	47,2	9,1	5,5	20,9	35,5	44,9	47,9	49,7	49,8	49,8	3,0	1,8	0,1	0,0	4,9
17,0	11,7	20,8	26,2	49,3	9,1	5,4	23,1	37,6	44,9	48,3	50,4	50,4	50,4	3,4	2,1	0,0	0,0	5,5
18,0	11,7	20,7	26,2	51,0	9,0	5,5	24,8	39,3	45,0	48,8	51,2	51,4	51,4	3,8	2,4	0,2	0,0	6,4
19,0	11,8	20,7	26,2	53,2	8,9	5,5	27,0	41,4	45,1	49,2	52,0	52,1	52,1	4,1	2,8	0,1	0,0	7,0
20,0	11,8	20,5	25,8	54,6	8,7	5,3	28,8	42,8	45,2	49,6	52,9	53,0	53,1	4,4	3,3	0,1	0,1	7,9
21,0	11,8	20,4	25,7	56,0	8,6	5,3	30,3	44,2	45,2	50,1	53,6	53,8	53,8	4,9	3,5	0,2	0,0	8,6
22,0	11,8	20,5	25,8	58,0	8,7	5,3	32,2	46,2	45,1	50,6	54,4	54,7	54,7	5,5	3,8	0,3	0,0	9,6
23,0	11,8	20,1	25,2	58,8	8,3	5,1	33,6	47,0	45,1	51,2	55,6	55,8	55,8	6,1	4,4	0,2	0,0	10,7
24,0	11,8	20,1	25,3	60,5	8,3	5,2	35,2	48,7	45,1	51,8	56,5	56,8	56,9	6,7	4,7	0,3	0,1	11,8
25,0	11,8	20,3	25,5	62,4	8,5	5,2	36,9	50,6	45,1	52,5	57,6	57,8	57,8	7,4	5,1	0,2	0,0	12,7
26,0	11,8	19,9	24,9	62,4	8,1	5,0	37,5	50,6	45,1	53,2	58,5	58,8	58,8	8,1	5,3	0,3	0,0	13,7
27,0	11,8	20,3	25,6	65,3	8,5	5,3	39,7	53,5	45,0	53,7	59,5	59,9	60,0	8,7	5,8	0,4	0,1	15,0
28,0	11,8	21,0	26,6	69,1	9,2	5,6	42,5	57,3	45,0	54,3	60,4	60,7	60,7	9,3	6,1	0,3	0,0	15,7
28,5	11,8	20,5	25,9	68,8	8,7	5,4	42,9	57,0	45,0	54,7	61,2	61,6	61,6	9,7	6,5	0,4	0,0	16,6
29,0	11,8	21,0	26,7	71,3	9,2	5,7	44,6	59,5	44,9	47,6	48,7	48,8	48,8	2,7	1,1	0,1	0,0	3,9
30,0	11,8	20,3	25,7	73,5	8,5	5,4	47,8	61,7	45,0	48,3	50,0	50,1	50,2	3,3	1,7	0,1	0,1	5,2
31,0	11,8	20,5	25,9	77,7	8,7	5,4	51,8	65,9	45,0	49,1	51,3	51,4	51,4	4,1	2,2	0,1	0,0	6,4
32,0	11,8	20,5	26,0	81,3	8,7	5,5	55,3	69,5	45,0	49,8	52,6	52,7	52,7	4,8	2,8	0,1	0,0	7,7
33,0	11,8	20,8	26,4	85,0	9,0	5,6	58,6	73,2	45,0	50,3	53,5	53,6	53,6	5,3	3,2	0,1	0,0	8,6
34,0	11,8	21,0	26,8	87,2	9,2	5,8	60,4	75,4	45,0	50,7	54,3	54,4	54,4	5,7	3,6	0,1	0,0	9,4
35,0	11,8	21,1	27,0	91,8	9,3	5,9	64,8	80,0	45,0	51,3	55,5	55,7	55,7	6,3	4,2	0,2	0,0	10,7
36,0	11,7	20,8	26,4	93,7	9,1	5,6	67,3	82,0	45,0	52,1	56,6	56,7	56,7	7,1	4,5	0,1	0,0	11,7

TABELA F1 (continuação) – Valores de perda de carga no Ensaio 1 com taxa de filtração média de 80 m³/m².d no FAP e de 80 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Filtro Rápido Descendente (FRD)								Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP)									
	Nível Piezométrico (cm)				Perda de Carga (cm)				Nível Piezométrico (cm)					Perda de Carga (cm)				
	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P0	P1	P2	P3	P4	P1-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P0
37,0	11,7	20,9	26,6	97,0	9,2	5,7	70,4	85,3	45,0	52,7	57,5	57,7	57,7	7,7	4,8	0,2	0,0	12,7
38,0	11,7	20,9	26,7	100,5	9,2	5,8	73,8	88,8	44,9	53,5	58,7	59,2	59,2	8,6	5,2	0,5	0,0	14,3
39,0	11,7	20,4	25,9	101,8	8,7	5,5	75,9	90,1	44,9	54,4	60,0	60,3	60,3	9,5	5,6	0,3	0,0	15,4
40,0	11,7	20,6	26,2	105,5	8,9	5,6	79,3	93,8	44,9	55,0	61,0	61,3	61,3	10,1	6,0	0,3	0,0	16,4
41,0	11,7	20,8	26,5	109,0	9,1	5,7	82,5	97,3	44,9	55,9	62,2	63,5	63,6	11,0	6,3	1,3	0,1	18,7
42,0	11,7	20,8	26,5	112,2	9,1	5,7	85,7	100,5	45,0	56,8	63,6	64,0	64,0	11,8	6,8	0,4	0,0	19,0
43,0	11,8	20,9	26,7	114,8	9,1	5,8	88,1	103,0	45,1	57,6	64,7	65,2	65,2	12,5	7,1	0,5	0,0	20,1
44,0	11,7	19,4	24,3	108,7	7,7	4,9	84,4	97,0	45,1	58,5	66,1	66,5	66,6	13,4	7,6	0,4	0,1	21,5
45,0	11,8	19,5	24,5	114,1	7,7	5,0	89,6	102,3	45,1	59,5	67,4	67,8	67,8	14,4	7,9	0,4	0,0	22,7
46,0	11,8	19,6	24,6	117,8	7,8	5,0	93,2	106,0	45,1	60,7	68,9	69,4	69,5	15,6	8,2	0,5	0,1	24,4
47,0	11,7	20,2	25,6	123,5	8,5	5,4	97,9	111,8	45,1	49,4	51,2	51,3	51,3	4,3	1,8	0,1	0,0	6,2
48,0	11,8	20,1	25,4	135,6	8,3	5,3	110,2	123,8	45,1	51,1	54,0	54,2	54,2	6,0	2,9	0,2	0,0	9,1
49,0	11,8	20,2	25,6	141,6	8,4	5,4	116,0	129,8	45,1	52,0	55,4	55,5	55,5	6,9	3,4	0,1	0,0	10,4
50,0	11,8	20,3	25,7	147,1	8,5	5,4	121,4	135,3	45,1	52,9	56,8	57,0	57,0	7,8	3,9	0,2	0,0	11,9
51,0	11,7	19,4	24,3	147,0	7,7	4,9	122,7	135,3	45,1	53,9	58,2	58,4	58,4	8,8	4,3	0,2	0,0	13,3
52,0	11,7	19,6	24,6	155,5	7,9	5,0	130,9	143,8	45,0	54,8	59,6	59,8	59,8	9,8	4,8	0,2	0,0	14,8
53,0	11,7	19,7	24,8	162,0	8,0	5,1	137,2	150,3	45,0	55,7	60,1	60,3	60,4	10,7	4,4	0,2	0,1	15,4
54,0	11,7	19,9	25,2	169,2	8,2	5,3	144,0	157,5	45,0	56,8	62,6	63,2	63,2	11,8	5,8	0,6	0,0	18,2
55,0	11,7	20,0	25,2	173,4	8,3	5,2	148,2	161,7	45,0	57,5	63,5	63,7	63,8	12,5	6,0	0,2	0,1	18,8
56,0	11,7	20,1	25,5	179,3	8,4	5,4	153,8	167,6	45,0	58,5	65,0	65,2	65,3	13,5	6,5	0,2	0,1	20,3
57,0	11,7	21,2	27,1	189,1	9,5	5,9	162,0	177,4	45,0	59,6	66,4	66,7	66,7	14,6	6,8	0,3	0,0	21,7
58,0	11,6	20,0	25,3	179,1	8,4	5,3	153,8	167,5	44,9	60,5	67,6	67,9	68,0	15,6	7,1	0,3	0,1	23,1
59,0	11,7	20,6	26,3	190,2	8,9	5,7	163,9	178,5	45,0	61,3	68,7	69,2	69,3	16,3	7,4	0,5	0,1	24,3
60,0	11,7	21,3	27,5	198,4	9,6	6,2	170,9	186,7	44,9	62,2	70,1	70,5	70,6	17,3	7,9	0,4	0,1	25,7
61,0	11,6	20,0	25,3	188,3	8,4	5,3	163,0	176,7	45,0	63,1	71,6	72,0	72,2	18,1	8,5	0,4	0,2	27,2
62,0	11,7	20,2	25,6	199,1	8,5	5,4	173,5	187,4	45,0	64,1	72,9	73,3	73,4	19,1	8,8	0,4	0,1	28,4
63,0	11,7	20,5	26,1	205,0	8,8	5,6	178,9	193,3	44,9	65,0	74,4	74,8	74,9	20,1	9,4	0,4	0,1	30,0
64,0	11,7	20,6	26,3	209,2	8,9	5,7	182,9	197,5	44,9	65,9	75,4	75,9	76,0	21,0	9,5	0,5	0,1	31,1
64,9	11,7	20,8	26,6	214,2	9,1	5,8	187,6	202,5	44,9	66,7	76,5	77,0	77,2	21,8	9,8	0,5	0,2	32,3
66,0	11,7	21,2	27,3	223,6	9,5	6,1	196,3	211,9	45,0	52,6	55,2	55,3	55,3	7,6	2,6	0,1	0,0	10,3
67,0	11,9	20,6	25,1	32,6	8,7	4,5	7,5	20,7	45,1	54,4	57,6	57,8	57,8	9,3	3,2	0,2	0,0	12,7
68,0	11,8	20,7	24,8	31,9	8,9	4,1	7,1	20,1	45,1	55,9	60,0	60,1	60,1	10,8	4,1	0,1	0,0	15,0
69,0	11,8	19,7	24,8	33,5	7,9	5,1	8,7	21,7	45,1	57,6	62,3	62,4	62,4	12,5	4,7	0,1	0,0	17,3
70,0	11,8	19,7	25,0	35,1	7,9	5,3	10,1	23,3	45,1	59,1	64,4	64,6	64,6	14,0	5,3	0,2	0,0	19,5
71,0	11,8	19,7	25,0	36,6	7,9	5,3	11,6	24,8	45,1	60,7	66,5	66,7	66,8	15,6	5,8	0,2	0,1	21,7
72,0	11,8	19,8	25,1	38,4	8,0	5,3	13,3	26,6	45,1	62,2	68,6	68,8	68,9	17,1	6,4	0,2	0,1	23,8

TABELA F2 – Valores de cor aparente e verdadeira e pH no Ensaio I com taxa de filtração média de 80 m³/m².d no FAP e de 80 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Temp (°C)	Cor Aparente (uH)				Cor Verdadeira (uH)		pH		
		AB	AE	FAP	FRD	AB	AE	AB	AE	AC
0	25,5	131	225	12	5	24	114	6,9	6,9	4,9
1	25,5	133	220	11	≤ 1	18	92	6,9	6,9	4,8
3	25,0		231	3	≤ 1		101		6,7	4,7
5	24,5		224	3	≤ 1		96		6,8	4,7
7	24,5	146	224	3	≤ 1	26	102	6,8	6,8	4,8
9	24,0		229	2	≤ 1		98		6,8	4,9
11	24,0		214	5	≤ 1		92		6,8	4,9
13	23,5	131	201	7	≤ 1	23	94	6,8	6,9	4,9
15	23,0		205	15	≤ 1		85		6,6	4,9
17	23,0		207	10	≤ 1		95		6,7	4,9
19	24,0	134	205	8	≤ 1	21	90	6,8	6,9	5,0
21	25,0		225	6	≤ 1		99		6,8	5,0
23	25,0		221	4	≤ 1		115		6,8	4,9
25	26,0	127	205	8	≤ 1	28	103	6,9	6,9	4,9
27	26,0		209	8	≤ 1		91		6,8	4,9
29	25,0		211	20	≤ 1		96		6,8	5,0
31	25,0	128	209	12	≤ 1	18	89	6,9	6,8	5,0
33	24,5		247	7	≤ 1		113		6,8	5,0
35	24,0		227	10	≤ 1		116		6,9	5,0
37	22,5	131	205	10	≤ 1	20	98	6,9	6,9	5,1
39	23,0		208	12	≤ 1		103		6,9	5,1
41	23,0		204	17	≤ 1		94		6,9	5,1
43	24,0	141	209	16	≤ 1	26	98	6,9	6,9	5,0
45	25,0		212	30	≤ 1		88		6,9	5,0
47	25,5		210	16	≤ 1		111		6,9	4,9
49	25,5	144	217	11	≤ 1	19	95	6,9	6,8	5,0
51	26,0		214	9	≤ 1		103		6,8	5,0
53	25,0		209	12	≤ 1		104		6,9	5,0
55	14,0	119	208	14	≤ 1	23	95	6,9	6,9	5,0
57	24,5		211	24	1		95		6,8	4,9
59	24,0		210	30	≤ 1		97		6,9	5,0
61	23,5	126	211	35	≤ 1	22	96	6,8	6,8	5,0
63	23,0		209	39	≤ 1		97		6,8	5,0
65	23,0		211	20	≤ 1		98		6,8	5,0
67	24,0	135	218	17	≤ 1	23	97	6,8	6,8	5,0
69	24,5		216	11	≤ 1		92		6,9	5,0
71	25,5		216	12	≤ 1		114		6,8	4,9
72	25,5	125	202	16	≤ 1	20	89	6,7	6,8	4,9

TABELA F3 – Valores de alcalinidade e absorvância no Ensaio 1 com taxa de filtração média de 80 m³/m².d no FAP e de 80 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Alcalinidade(mg CaCO ₃ /L)		ABS(254nm)					
	AE	AB	AE	AB	FAP	FRD	%Rem. FAP	%Rem. FRD
0	10,78	9,46	0,211	0,073	0,028	0,021	86,7	90,0
1	9,02	9,02	0,190	0,070	0,012	0,013	93,7	93,2
7	9,24	7,04	0,184	0,078	0,013	0,011	92,9	94,0
13	8,36	8,14	0,177	0,074	0,011	0,010	93,8	94,4
19	9,68	9,90	0,180	0,069	0,008	0,010	95,6	94,4
25	8,58	10,12	0,184	0,067	0,009	0,009	95,1	95,1
31	8,80	7,70	0,185	0,068	0,011	0,016	94,1	91,4
37	8,80	9,02	0,182	0,063	0,009	0,016	95,1	91,2
43	11,22	12,32	0,177	0,077	0,008	0,009	95,5	94,9
49	9,46	12,32	0,197	0,068	0,014	0,023	92,9	88,3
55	12,10	9,46	0,193	0,071	0,009	0,011	95,3	94,3
61	11,00	10,12	0,193	0,071	0,010	0,010	94,8	94,8
67	9,24	8,36	0,185	0,066	0,011	0,009	94,1	95,1
72	9,90	8,80	0,181	0,069	0,011	0,010	93,9	94,5

TABELA F4 – Valores de COD do Ensaio 1 com taxa de filtração média de 80 m³/m².d no FAP e de 80 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	COD (mg/L)									
	AE	Desvio padrão	AB	Desvio padrão	FAP	desvio	FRD	Desvio padrão	% Rem. FAP	% Remoção
0	3,460	0,073	2,086	0,043	2,710	0,101	2,274	0,027	21,7	34,3
1	2,572	0,092	2,411	0,055	1,722	0,044	2,205	0,085	33,0	14,3
25	3,458	0,069	2,442	0,041	2,002	0,022	1,940	0,030	42,1	43,9
49	3,338	0,091	1,957	0,041	2,133	0,032	1,983	0,062	36,1	40,6
72	3,885	0,069	2,332	0,061	2,292	0,056	1,803	0,113	41,0	53,6

TABELA F5: Dados de pH, turbidez, cor verdadeira, cor aparente, carbono orgânico dissolvido, absorvância, e alcalinidade para Ensaio 1.

Parâmetros	Água Bruta	Água de Estudo	Efluente do FAP	Efluente do FRD
pH	6,7 a 6,9	6,6 a 6,9	-	-
Turbidez (uT)	12 a 21	-	0,02 a 5,1	0,01 a 0,63
Cor Verdadeira (uH)	18 a 28	85 a 116	-	-
Cor Aparente (uH)	119 a 146	201 a 247	≤1 a 50	≤1 a 5
COD (mg/L)	1,957 a 2,442	2,572 a 3,885	1,722 a 2,292	1,803 a 2,274
Absorvância 254 nm	0,063 a 0,078	0,177 a 0,211	0,008 a 0,028	0,009 a 0,023
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	7,04 a 12,32	8,36 a 12,10	-	-
Alumínio (mg/L)	0,222	0,432	-	0,244
Taxas de filtração: FAP 80m/d e FRD 80 m/d Coagulação química: DAS = $8 \pm 0,2$ mg/L <p>pH= 4,7 a 5,1 temperatura= 23,0 a 26,0 °C</p>

FIGURA F1: Perda de carga do FAP no ensaio 1 em função do tempo de funcionamento e das camadas do meio filtrante.

FIGURA F2: Perda de carga no ensaio 1 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA F3: Variação da turbidez no Ensaio 1 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA F4 : Cor aparente do ensaio 1 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA F5 : COD do ensaio 1 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA F6 : Absorvância (254 nm) do ensaio 1 em função do tempo de funcionamento.

ANEXO G: ENSAIO 2

TABELA G1 – Valores de perda de carga do Ensaio 2 com taxa de filtração média de 80 m³/m².d no FAP e de 120 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Filtro Rápido Descendente (FRD)								Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP)									
	Nível Piezométrico (cm)				Perda de Carga (cm)				Nível Piezométrico (cm)					Perda de Carga (cm)				
	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P0	P1	P2	P3	P4	P1-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P0
0,0	12,0	25,5	36,4	48,9	13,5	10,9	12,5	36,9	44,8	45,8	46,2	46,2	46,2	1,0	0,4	0,0	0,0	1,4
1,0	12,0	24,1	33,9	46,6	12,1	9,8	12,7	34,6	44,7	45,9	46,3	46,3	46,3	1,2	0,4	0,0	0,0	1,6
2,0	12,0	23,8	33,4	46,9	11,8	9,6	13,5	34,9	44,8	46,3	47,1	47,2	47,2	1,5	0,8	0,1	0,0	2,4
3,0	12,0	23,8	33,4	47,6	11,8	9,6	14,2	35,6	44,8	46,5	47,4	47,5	47,6	1,7	0,9	0,1	0,1	2,8
4,0	11,9	23,9	33,7	48,8	12,0	9,8	15,1	36,9	44,8	46,6	47,7	47,8	47,8	1,8	1,1	0,1	0,0	3,0
5,0	12,0	23,9	33,7	49,5	11,9	9,8	15,8	37,5	44,8	46,8	48,1	48,3	48,3	2,0	1,3	0,2	0,0	3,5
6,0	11,9	23,8	33,6	49,7	11,9	9,8	16,1	37,8	44,8	47,0	48,6	48,8	48,8	2,2	1,6	0,2	0,0	4,0
7,0	11,9	23,8	33,5	50,2	11,9	9,7	16,7	38,3	44,8	47,3	49,2	49,4	49,4	2,5	1,9	0,2	0,0	4,6
8,0	11,9	23,3	32,8	49,5	11,4	9,5	16,7	37,6	44,8	47,6	49,8	50,0	50,0	2,8	2,2	0,2	0,0	5,2
9,0	11,9	23,9	33,8	51,6	12,0	9,9	17,8	39,7	44,8	48,0	50,4	50,5	50,5	3,2	2,4	0,1	0,0	5,7
10,0	11,9	24,0	34,0	52,0	12,1	10,0	18,0	40,1	44,8	48,3	51,1	51,2	51,2	3,5	2,8	0,1	0,0	6,4
11,0	11,9	24,0	34,0	52,8	12,1	10,0	18,8	40,9	44,8	48,8	51,9	52,0	52,1	4,0	3,1	0,1	0,1	7,3
12,0	11,9	24,0	34,0	53,2	12,1	10,0	19,2	41,3	44,8	49,4	52,8	53,0	53,0	4,6	3,4	0,2	0,0	8,2
13,0	11,9	24,3	34,5	55,2	12,4	10,2	20,7	43,3	44,8	47,0	47,9	47,9	47,9	2,2	0,9	0,0	0,0	3,1
14,0	11,9	24,4	34,8	56,4	12,5	10,4	21,6	44,5	44,8	47,3	48,5	48,5	48,5	2,5	1,2	0,0	0,0	3,7
15,0	11,9	24,4	34,8	57,3	12,5	10,4	22,5	45,4	44,8	47,5	49,1	49,2	49,2	2,7	1,6	0,1	0,0	4,4
16,0	11,9	24,5	34,9	57,9	12,6	10,4	23,0	46,0	44,8	47,8	49,6	49,7	49,7	3,0	1,8	0,1	0,0	4,9
17,0	11,9	24,5	35,0	58,9	12,6	10,5	23,9	47,0	44,7	48,2	50,2	50,3	50,3	3,5	2,0	0,1	0,0	5,6
18,0	11,8	23,3	32,8	55,5	11,5	9,5	22,7	43,7	44,8	48,7	51,0	51,1	51,1	3,9	2,3	0,1	0,0	6,3
19,0	11,9	24,6	35,1	60,5	12,7	10,5	25,4	48,6	44,8	49,0	51,7	51,9	51,9	4,2	2,7	0,2	0,0	7,1
20,0	11,9	24,8	35,5	61,6	12,9	10,7	26,1	49,7	44,8	49,4	52,3	52,5	52,5	4,6	2,9	0,2	0,0	7,7
21,0	11,9	24,9	35,7	62,5	13,0	10,8	26,8	50,6	44,8	49,7	53,1	53,2	53,2	4,9	3,4	0,1	0,0	8,4
22,0	11,9	25,6	37,1	65,5	13,7	11,5	28,4	53,6	44,7	50,6	54,0	54,2	54,2	5,9	3,4	0,2	0,0	9,5
23,0	11,9	25,9	37,5	67,4	14,0	11,6	29,9	55,5	44,7	50,9	54,8	55,0	55,0	6,2	3,9	0,2	0,0	10,3
24,0	11,9	24,9	35,7	66,5	13,0	10,8	30,8	54,6	44,8	51,5	55,7	55,9	55,9	6,7	4,2	0,2	0,0	11,1
25,0	11,9	24,5	34,8	67,0	12,6	10,3	32,2	55,1	44,8	52,0	56,5	56,7	56,7	7,2	4,5	0,2	0,0	11,9
26,0	11,9	24,4	34,8	69,0	12,5	10,4	34,2	57,1	44,8	47,0	48,8	48,8	48,8	2,2	1,8	0,0	0,0	4,0
27,0	11,9	23,7	33,6	69,0	11,8	9,9	35,4	57,1	44,8	47,3	49,5	49,5	49,6	2,5	2,2	0,0	0,1	4,8
28,0	11,9	23,8	33,7	71,0	11,9	9,9	37,3	59,1	44,8	47,5	50,3	50,4	50,4	2,7	2,8	0,1	0,0	5,6
29,0	11,9	23,8	33,6	72,3	11,9	9,8	38,7	60,4	44,8	49,0	51,0	51,1	51,1	4,2	2,0	0,1	0,0	6,3
30,0	11,9	23,8	33,8	74,1	11,9	10,0	40,3	62,2	44,8	49,4	51,8	51,9	51,9	4,6	2,4	0,1	0,0	7,1
31,0	11,9	23,9	34,0	75,4	12,0	10,1	41,4	63,5	44,8	49,8	52,0	52,5	52,5	5,0	2,2	0,5	0,0	7,7
32,0	11,9	24,0	34,2	76,9	12,1	10,2	42,7	65,0	44,8	50,3	53,2	53,3	53,3	5,5	2,9	0,1	0,0	8,5
33,0	11,9	24,6	35,2	79,8	12,7	10,6	44,6	67,9	44,8	50,7	53,9	54,1	54,1	5,9	3,2	0,2	0,0	9,3
34,0	11,9	24,6	35,1	80,8	12,7	10,5	45,7	68,9	44,8	51,2	54,5	54,7	54,7	6,4	3,3	0,2	0,0	9,9
35,0	11,9	25,4	36,7	86,4	13,5	11,3	49,7	74,5	44,8	51,7	55,5	55,6	55,6	6,9	3,8	0,1	0,0	10,8
36,0	11,9	25,4	36,7	88,8	13,5	11,3	52,1	76,9	44,8	52,2	56,1	56,3	56,3	7,4	3,9	0,2	0,0	11,5

TABELA G1 (continuação) – Valores de perda de carga do Ensaio 2 com taxa de filtração média de 80 m³/m².d no FAP e de 120 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Filtro Rápido Descendente (FRD)								Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP)									
	Nível Piezométrico (cm)				Perda de Carga (cm)				Nível Piezométrico (cm)					Perda de Carga (cm)				
	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P0	P1	P2	P3	P4	P1-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P0
37,0	11,9	26,3	38,3	96,1	14,4	12,0	57,8	84,2	44,8	52,7	57,0	57,1	57,1	7,9	4,3	0,1	0,0	12,3
38,0	11,8	25,3	36,5	97,0	13,5	11,2	60,5	85,2	44,8	53,3	57,8	58,1	58,1	8,5	4,5	0,3	0,0	13,3
39,0	11,9	25,7	37,7	104,5	13,8	12,0	66,8	92,6	44,7	53,9	58,7	58,9	59,0	9,2	4,8	0,2	0,1	14,3
40,0	11,8	24,7	35,9	102,3	12,9	11,2	66,4	90,5	44,7	48,0	49,0	49,1	49,1	3,3	1,0	0,1	0,0	4,4
41,0	11,8	24,5	35,7	105,6	12,7	11,2	69,9	93,8	44,7	48,5	50,0	50,0	50,0	3,8	1,5	0,0	0,0	5,3
42,0	11,8	25,1	36,7	111,1	13,3	11,6	74,4	99,3	44,7	49,0	50,8	50,9	50,9	4,3	1,8	0,1	0,0	6,2
43,0	11,8	24,7	36,0	110,9	12,9	11,3	74,9	99,1	44,7	49,4	51,5	51,6	51,6	4,7	2,1	0,1	0,0	6,9
44,0	11,8	24,9	36,3	113,3	13,1	11,4	77,0	101,5	44,7	49,8	52,3	52,3	52,3	5,1	2,5	0,0	0,0	7,6
45,0	11,8	25,3	37,0	117,6	13,5	11,7	80,6	105,8	44,7	50,5	53,1	53,2	53,2	5,8	2,6	0,1	0,0	8,5
46,0	11,8	25,3	37,2	120,3	13,5	11,9	83,1	108,5	44,7	51,0	53,9	54,1	54,1	6,3	2,9	0,2	0,0	9,4
47,0	11,8	25,9	38,3	125,5	14,1	12,4	87,2	113,7	44,8	51,5	54,8	55,0	55,0	6,7	3,3	0,2	0,0	10,2
48,0	11,8	24,4	35,5	119,2	12,6	11,1	83,7	107,4	44,8	52,1	55,7	55,9	55,9	7,3	3,6	0,2	0,0	11,1
49,0	11,9	24,2	35,7	125,5	12,3	11,5	89,8	113,6	44,8	52,5	56,4	56,7	56,7	7,7	3,9	0,3	0,0	11,9
50,0	11,9	24,8	36,1	130,2	12,9	11,3	94,1	118,3	44,8	53,2	57,4	57,7	57,7	8,4	4,2	0,3	0,0	12,9
51,0	11,9	24,8	37,7	135,1	12,9	12,9	97,4	123,2	44,8	53,7	58,3	58,5	58,5	8,9	4,6	0,2	0,0	13,7
52,0	11,9	25,0	38,7	142,7	13,1	13,7	104,0	130,8	44,9	54,4	59,1	59,4	59,4	9,5	4,7	0,3	0,0	14,5
53,0	11,9	23,7	36,7	139,4	11,8	13,0	102,7	127,5	44,9	55,0	59,9	60,3	60,3	10,1	4,9	0,4	0,0	15,4
54,0	11,9	23,1	36,0	141,0	11,2	12,9	105,0	129,1	44,9	48,6	49,8	49,8	49,8	3,7	1,2	0,0	0,0	4,9
55,0	11,9	23,2	36,3	147,3	11,3	13,1	111,0	135,4	44,9	49,3	50,9	51,0	51,0	4,4	1,6	0,1	0,0	6,1
56,0	11,9	23,3	36,3	151,0	11,4	13,0	114,7	139,1	44,9	49,6	51,6	51,7	51,7	4,7	2,0	0,1	0,0	6,8
57,0	11,9	23,4	36,6	156,2	11,5	13,2	119,6	144,3	44,8	50,3	52,6	52,7	52,7	5,5	2,3	0,1	0,0	7,9
58,0	11,9	23,5	36,9	159,0	11,6	13,4	122,1	147,1	44,8	50,7	53,1	53,3	53,3	5,9	2,4	0,2	0,0	8,5
59,0	11,9	23,7	37,3	164,3	11,8	13,6	127,0	152,4	44,8	51,3	54,0	54,1	54,1	6,5	2,7	0,1	0,0	9,3
60,0	11,9	23,5	37,0	166,3	11,6	13,5	129,3	154,4	44,8	51,7	54,8	54,9	54,9	6,9	3,1	0,1	0,0	10,1
61,0	11,9	23,8	37,9	172,6	11,9	14,1	134,7	160,7	44,8	52,3	55,6	55,7	55,7	7,5	3,3	0,1	0,0	10,9
62,0	11,9	24,0	38,7	178,5	12,1	14,7	139,8	166,6	44,8	52,7	56,4	56,5	56,5	7,9	3,7	0,1	0,0	11,7
63,0	11,9	24,6	40,3	187,3	12,7	15,7	147,0	175,4	44,8	53,3	57,2	57,4	57,4	8,5	3,9	0,2	0,0	12,6
64,0	11,9	24,7	41,0	192,0	12,8	16,3	151,0	180,1	44,8	53,7	57,7	57,9	57,9	8,9	4,0	0,2	0,0	13,1
65,0	11,9	25,0	42,2	199,2	13,1	17,2	157,0	187,3	44,8	54,3	58,7	58,9	58,9	9,5	4,4	0,2	0,0	14,1
66,0	11,8	23,5	39,6	189,4	11,7	16,1	149,8	177,6	44,8	48,3	49,4	49,5	49,5	3,5	1,1	0,1	0,0	4,7
67,0	11,8	24,2	41,1	202,9	12,4	16,9	161,8	191,1	44,8	48,9	50,3	50,4	50,4	4,1	1,4	0,1	0,0	5,6
68,0	11,8	24,8	42,6	212,4	13,0	17,8	169,8	200,6	44,8	49,5	51,1	51,3	51,3	4,7	1,6	0,2	0,0	6,5
69,0	11,8	24,3	41,5	211,0	12,5	17,2	169,5	199,2	44,8	50,1	52,0	52,1	52,1	5,3	1,9	0,1	0,0	7,3
70,0	11,8	24,4	41,8	217,5	12,6	17,4	175,7	205,7	44,9	50,5	52,9	53,0	53,0	5,6	2,4	0,1	0,0	8,1
71,0	11,8	24,2	41,2	218,8	12,4	17,0	177,6	207,0	44,9	51,2	53,8	53,9	53,9	6,3	2,6	0,1	0,0	9,0
72,0	11,9	23,7	41,3	218,4	11,8	17,6	177,1	206,5	44,9	51,7	54,6	54,7	54,7	6,8	2,9	0,1	0,0	9,8

TABELA G2 – Valores de cor aparente e verdadeira e pH do Ensaio 2 com taxa de filtração média de 80 m³/m².d no FAP e de 120 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Temp. (°C)	Cor Aparente (uH)				Cor Verdadeira (uH)		pH		
		AB	AE	FAP	FRD	AB	AE	AB	AE	AC
0	19,5	127	203	7	8	33	97	6,3	6,3	5,0
1	19,0	123	204	≤ 1	≤ 1	14	76	6,2	6,2	4,9
3	19,0		204	≤ 1	≤ 1		88		6,1	5,0
5	19,0		216	≤ 1	≤ 1		96		6,4	5,0
7	19,0	128	218	2	≤ 1	28	110	6,4	6,3	5,0
9	19,0		209	≤ 1	≤ 1		87		6,3	5,0
11	19,0		224	≤ 1	≤ 1		119		6,4	4,9
13	18,5	133	199	1	≤ 1	18	87	6,5	6,4	5,0
15	18,5		212	≤ 1	≤ 1		107		6,2	5,0
17	18,0		193	3	≤ 1		100		6,5	5,1
19	18,0	111	202	1	≤ 1	29	109	6,5	6,4	5,0
21	18,0		199	3	≤ 1		92		6,4	5,0
23	18,0		204	17	≤ 1		99		6,5	5,0
25	18,5	130	212	52	≤ 1	25	109	6,4	6,5	5,0
27	19,0		242	5	≤ 1		97		6,6	5,1
29	19,0		220	2	≤ 1		115		6,5	5,1
31	19,0	113	198	1	≤ 1	20	88	6,4	6,5	5,0
33	18,5		190	≤ 1	≤ 1		88		6,3	4,9
35	18,0		200	22	≤ 1		95		6,5	5,1
37	17,5	103	189	46	≤ 1	23	99	6,3	6,3	5,0
39	17,0		194	53	≤ 1		90		6,3	5,0
41	17,0		190	4	≤ 1		96		6,3	5,0
43	17,0	107	193	1	≤ 1	16	90	6,4	6,4	4,9
45	17,0		186	3	≤ 1		91		6,1	4,9
47	18,0		203	19	≤ 1		105		6,5	5,0
49	18,5	128	201	29	≤ 1	21	95	6,4	6,6	5,0
51	19,0		210	44	≤ 1		106		6,5	5,0
53	20,0		201	50	≤ 1		95		6,5	5,0
55	20,5	110	201	5	≤ 1	20	96	6,5	6,5	5,0
57	20,0		189	3	≤ 1		106		6,7	5,0
59	19,5		191	8	≤ 1		106		6,4	5,0
61	19,0	98	183	25	≤ 1	19	98	6,5	6,4	5,1
63	18,0		189	35	≤ 1		94		6,4	5,0
65	18,0		183	50	≤ 1		104		6,5	5,0
67	18,0	90	185	3	≤ 1	16	93	6,3	6,5	5,1
69	18,5		187	1	≤ 1		94		6,5	5,0
71	19,0		193	13	≤ 1		118		6,5	5,0
72	20,0	97	174	16	≤ 1	25	88	6,5	6,6	5,0

TABELA G3 – Valores de alcalinidade e absorvância do Ensaio 2 com taxa de filtração média de $80 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FAP e de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Alcalinidade (mg CaCO_3/L)		ABS(254nm)					
	AE	AB	AE	AB	FAP	FRD	%Rem. FAP	%Rem.FRD
0	8,14	8,80	0,202	0,093	0,025	0,017	87,6	91,6
1	7,26	6,82	0,197	0,102	0,022	0,011	88,8	94,4
7	10,78	9,24	0,209	0,088	0,026	0,014	87,6	93,3
13	8,58	8,58	0,188	0,073	0,014	0,014	92,6	92,6
19	9,02	7,26	0,200	0,086	0,015	0,022	92,5	89,0
25	7,92	7,26	0,203	0,087	0,016	0,018	92,1	91,1
31	10,34	9,24	0,182	0,076	0,014	0,014	92,3	92,3
37	10,78	7,70	0,196	0,075	0,015	0,015	92,3	92,3
43	9,02	8,80	0,185	0,064	0,010	0,009	94,6	95,1
49	9,02	8,80	0,198	0,073	0,020	0,015	89,9	92,4
55	8,80	8,80	0,202	0,072	0,018	0,019	91,1	90,6
61	9,68	8,14	0,191	0,067		0,011	100,0	94,2
67	8,36	8,36	0,194	0,070	0,014	0,022	92,8	88,7
72	10,12	9,24	0,181	0,078	0,012	0,012	93,4	93,4

TABELA G4 – Valores de COD do Ensaio 2 com taxa de filtração média de $80 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FAP e de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	COD (mg/L)							
	AE	Desvio padrão	AB	Desvio padrão	FAP	Desvio padrão	FRD	Desvio padrão
0	4,566	0,050	3,335	0,090	2,880	0,055	3,397	0,039
1	4,432	0,021	3,097	0,050	2,525	0,055	2,507	0,063
25	4,957	0,014	3,040	0,083	2,510	0,064	2,568	0,056
49	3,989	0,036	2,819	0,062	2,046	0,066	1,963	0,000
72	4,356	0,288	2,577	0,068	1,992	0,041	2,130	0,134

TABELA G5: Dados de pH, turbidez, cor verdadeira, cor aparente, carbono orgânico dissolvido, absorvância, e alcalinidade para Ensaio 2.

Parâmetros	Água Bruta	Água de Estudo	Efluente do FAP	Efluente do FRD
pH	6,2 a 6,5	6,1 a 6,7	-	-
Turbidez (uT)	9,8 a 23	-	0,09 a 5,8	0,01 a 0,13
Cor Verdadeira (uH)	14 a 33	76 a 119	-	-
Cor Aparente (uH)	90 a 133	183 a 242	≤1 a 53	≤1 a 1
COD (mg/L)	2,577 a 3,335	3,989 a 4,566	1,992 a 2,880	1,963 a 3,397
Absorvância 254nm	0,064 a 0,102	0,181 a 0,209	0,010 a 0,026	0,009 a 0,022
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	6,82 a 9,24	7,26 a 10,78	-	-
Coliformes Totais (NMP/100mL)	2595	-	-	6.3
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	292	-	-	zero
Alumínio (mg/L)	0,225	0,395	-	0,260

Taxas de filtração: FAP=80 m/d e FRD=120 m/d

Coagulação química: DSA= $8 \pm 0,2$ mg/L

pH= 4,9 a 5,1

temperatura= 17,0 a 20,5 °C

FIGURA G1: Perda de carga do FAP no ensaio 2 em função do tempo de funcionamento e das camadas do meio filtrante.

FIGURA G2: Perda de carga no ensaio 2 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA G3: Variação da turbidez no Ensaio 2 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA G4 : Cor aparente do ensaio 2 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA G5 : COD do ensaio 2 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA G6 : Absorvância (254 nm) do ensaio 2 em função do tempo de funcionamento.

ANEXO H: ENSAIO 3

TABELA H1 – Valores de perda de carga do Ensaio 3 com taxa de filtração média de 80 m³/m².d no FAP e de 150 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Filtro Rápido Descendente (FRD)								Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP)									
	Nível Piezométrico (cm)				Perda de Carga (cm)				Nível Piezométrico (cm)					Perda de Carga (cm)				
	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P0	P1	P2	P3	P4	P1-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P0
0,0	12,6	30,2	40,5	52,7	17,6	10,3	12,2	40,1	45,0	46,2	46,6	46,6	46,7	1,2	0,4	0,0	0,1	1,7
1,0	12,3	28,1	37,6	53,0	15,8	9,5	15,4	40,7	45,0	46,4	47,0	47,1	47,1	1,4	0,6	0,1	0,0	2,1
2,0	12,3	28,1	37,7	55,5	15,8	9,6	17,8	43,2	44,9	46,6	47,3	47,4	47,4	1,7	0,7	0,1	0,0	2,5
3,0	12,3	28,0	37,5	57,4	15,7	9,5	19,9	45,1	45,0	46,8	47,8	47,9	47,9	1,8	1,0	0,1	0,0	2,9
4,0	12,3	27,6	36,9	58,0	15,3	9,3	21,1	45,7	45,0	47,0	48,2	48,3	48,3	2,0	1,2	0,1	0,0	3,3
5,0	12,3	27,8	37,4	60,3	15,5	9,6	22,9	48,0	44,9	47,1	48,5	48,6	48,6	2,2	1,4	0,1	0,0	3,7
6,0	12,3	28,1	37,9	62,5	15,8	9,8	24,6	50,2	44,9	47,3	49,0	49,1	49,1	2,4	1,7	0,1	0,0	4,2
7,0	12,3	28,2	38,1	64,7	15,9	9,9	26,6	52,4	44,9	47,6	49,5	49,6	49,6	2,7	1,9	0,1	0,0	4,7
8,0	12,2	28,5	38,5	66,8	16,3	10,0	28,3	54,6	44,9	48,0	50,1	50,2	50,2	3,1	2,1	0,1	0,0	5,3
9,0	12,2	28,4	38,5	67,8	16,2	10,1	29,3	55,6	44,9	48,3	50,7	50,8	50,8	3,4	2,4	0,1	0,0	5,9
10,0	12,2	29,0	39,4	70,2	16,8	10,4	30,8	58,0	44,9	48,7	51,4	51,5	51,5	3,8	2,7	0,1	0,0	6,6
11,0	12,2	29,1	39,6	70,9	16,9	10,5	31,3	58,7	44,9	49,1	51,9	52,0	52,0	4,2	2,8	0,1	0,0	7,1
12,0	12,2	29,3	39,9	72,2	17,1	10,6	32,3	60,0	44,9	49,6	52,7	52,8	52,8	4,7	3,1	0,1	0,0	7,9
13,0	12,2	28,9	39,3	72,7	16,7	10,4	33,4	60,5	44,8	46,9	47,6	47,7	47,7	2,1	0,7	0,1	0,0	2,9
14,0	12,2	29,1	39,7	74,2	16,9	10,6	34,5	62,0	44,8	47,2	48,2	48,3	48,3	2,4	1,0	0,1	0,0	3,5
15,0	12,2	28,9	39,5	74,8	16,7	10,6	35,3	62,6	44,9	47,4	48,7	48,8	48,8	2,5	1,3	0,1	0,0	3,9
16,0	12,1	29,0	39,5	75,9	16,9	10,5	36,4	63,8	44,8	47,7	49,3	49,3	49,3	2,9	1,6	0,0	0,0	4,5
17,0	12,1	29,0	39,6	76,6	16,9	10,6	37,0	64,5	44,9	48,0	49,7	49,8	49,8	3,1	1,7	0,1	0,0	4,9
18,0	12,1	29,0	39,6	77,3	16,9	10,6	37,7	65,2	44,9	48,3	50,4	50,5	50,5	3,4	2,1	0,1	0,0	5,6
19,0	12,1	29,2	39,9	78,5	17,1	10,7	38,6	66,4	45,0	48,7	51,1	51,2	51,2	3,7	2,4	0,1	0,0	6,2
20,0	12,1	28,9	39,4	78,2	16,8	9,6	39,7	66,1	45,1	49,1	51,7	51,8	51,8	4,0	2,6	0,1	0,0	6,7
21,0	12,1	28,3	38,5	76,9	16,2	9,7	38,9	64,8	45,0	49,5	52,3	52,4	52,4	4,5	2,8	0,1	0,0	7,4
22,0	12,1	28,1	38,0	76,5	16,0	9,8	38,6	64,4	45,0	49,9	52,9	53,1	53,1	4,9	3,0	0,2	0,0	8,1
23,0	12,1	28,0	37,9	76,8	15,9	10,5	38,3	64,7	45,0	50,3	53,7	53,9	53,9	5,3	3,4	0,2	0,0	8,9
24,0	12,1	28,3	38,5	78,6	16,2	10,5	39,8	66,5	45,0	50,9	53,3	53,6	53,6	5,9	2,4	0,3	0,0	8,6
25,0	12,1	28,5	38,8	80,0	16,4	10,9	40,6	67,9	45,0	51,4	55,2	55,4	55,4	6,4	3,8	0,2	0,0	10,4
26,0	12,2	28,9	39,4	82,3	16,7	10,6	42,8	70,1	45,0	51,9	55,8	56,1	56,1	6,9	3,9	0,3	0,0	11,1
27,0	12,2	29,0	39,5	84,0	16,8	10,5	44,5	71,8	45,0	52,4	56,6	56,8	56,8	7,4	4,2	0,2	0,0	11,8
28,0	12,2	29,0	39,5	86,3	16,8	8,9	48,4	74,1	45,0	53,0	57,4	57,6	57,7	8,0	4,4	0,2	0,1	12,7
29,0	12,1	27,9	37,9	85,2	15,8	11,1	46,2	73,1	45,0	53,3	57,9	58,2	58,3	8,3	4,6	0,3	0,1	13,3
30,0	12,1	28,6	39,0	90,3	16,5	7,1	54,6	78,2	45,0	53,6	58,4	58,6	58,7	8,6	4,8	0,2	0,1	13,7
30,7	12,1	26,5	35,7	85,2	14,4	11,0	47,7	73,1	45,0	47,8	48,8	48,8	48,9	2,8	1,0	0,0	0,1	3,9
31,5	12,0	27,6	37,5	90,5	15,6	9,9	53,0	78,5	44,9	48,0	49,2	49,3	49,3	3,1	1,2	0,1	0,0	4,4
32,0	12,1	28,0	38,1	93,7	15,9	10,1	55,6	81,6	44,9	48,4	50,0	50,0	50,1	3,5	1,6	0,0	0,1	5,2
33,0	12,1	28,1	38,3	95,5	16,0	10,2	57,2	83,4	44,9	48,7	50,6	50,7	50,7	3,8	1,9	0,1	0,0	5,8
34,0	12,1	28,1	38,3	96,7	16,0	10,2	58,4	84,6	44,9	49,2	51,3	51,4	51,4	4,3	2,1	0,1	0,0	6,5
35,0	12,1	28,3	38,6	98,2	16,2	10,3	59,6	86,1	44,9	49,6	52,1	52,2	52,2	4,7	2,5	0,1	0,0	7,3
36,0	12,1	28,4	38,8	99,9	16,3	10,4	61,1	87,8	44,9	50,0	52,8	52,8	52,9	5,1	2,8	0,0	0,1	8,0

TABELA H1 (continuação) – Valores de perda de carga do Ensaio 3 com taxa de filtração média de $80 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FAP e de $150 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Filtro Rápido Descendente (FRD)								Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP)									
	Nível Piezométrico (cm)				Perda de Carga (cm)				Nível Piezométrico (cm)					Perda de Carga (cm)				
	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P0	P1	P2	P3	P4	P1-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P0
37,0	12,1	28,5	39,0	101,2	16,4	10,5	62,2	89,1	44,9	50,5	53,5	53,6	53,6	5,6	3,0	0,1	0,0	8,7
38,0	12,1	28,6	39,2	102,8	16,5	10,6	63,6	90,7	44,9	50,8	54,3	54,4	54,4	5,9	3,5	0,1	0,0	9,5
39,0	12,0	28,8	39,5	104,5	16,8	10,7	65,0	92,5	44,9	51,4	55,0	55,0	55,0	6,5	3,6	0,0	0,0	10,1
40,0	12,0	28,9	39,7	106,2	16,9	10,8	66,5	94,2	44,9	51,8	55,7	55,7	55,7	6,9	3,9	0,0	0,0	10,8
41,0	12,0	28,9	39,8	108,1	16,9	10,9	68,3	96,1	44,9	52,3	56,3	56,4	56,4	7,4	4,0	0,1	0,0	11,5
42,0	12,0	28,9	39,8	110,3	16,9	10,9	70,5	98,3	44,9	52,9	57,1	57,3	57,3	8,0	4,2	0,2	0,0	12,4
43,0	12,1	28,9	39,9	112,6	16,8	11,0	72,7	100,5	44,9	53,6	58,0	58,2	58,3	8,7	4,4	0,2	0,1	13,4
44,0	12,1	29,0	40,3	115,9	16,9	11,3	75,6	103,8	45,0	54,2	57,8	59,1	59,1	9,2	3,6	1,3	0,0	14,1
45,0	12,1	27,9	38,6	114,8	15,8	10,7	76,2	102,7	45,0	54,6	59,4	59,7	59,7	9,6	4,8	0,3	0,0	14,7
46,0	12,0	25,2	34,5	105,2	13,2	9,3	70,7	93,2	45,0	48,3	49,4	49,5	49,5	3,3	1,1	0,1	0,0	4,5
47,0	12,1	27,8	38,5	120,3	15,7	10,7	81,8	108,2	45,0	48,8	50,3	50,4	50,4	3,8	1,5	0,1	0,0	5,4
48,0	12,1	27,8	38,7	123,3	15,7	10,9	84,6	111,2	45,0	49,3	51,1	51,2	51,2	4,3	1,8	0,1	0,0	6,2
49,0	12,1	27,7	38,4	124,2	15,6	10,7	85,8	112,1	45,1	49,8	52,0	52,1	52,1	4,7	2,2	0,1	0,0	7,0
50,0	12,1	27,4	38,1	125,0	15,3	10,7	86,9	112,9	45,1	50,2	52,7	52,8	52,8	5,1	2,5	0,1	0,0	7,7
51,0	12,1	27,5	38,2	127,0	15,4	10,7	88,8	114,9	45,0	50,7	53,4	53,6	53,6	5,7	2,7	0,2	0,0	8,6
52,0	12,1	27,5	38,2	128,4	15,4	10,7	90,2	116,3	45,0	51,0	54,0	54,2	54,2	6,0	3,0	0,2	0,0	9,2
53,0	12,1	27,8	38,7	131,5	15,7	10,9	92,8	119,4	45,0	51,5	54,8	54,9	55,0	6,5	3,3	0,1	0,1	10,0
54,0	12,1	28,3	39,6	135,4	16,2	11,3	95,8	123,3	45,0	52,1	55,6	55,8	55,9	7,1	3,5	0,2	0,1	10,9
55,0	12,1	28,6	40,2	137,6	16,5	11,6	97,4	125,5	45,0	52,5	56,2	56,3	56,4	7,5	3,7	0,1	0,1	11,4
56,0	12,1	28,9	40,7	140,0	16,8	11,8	99,3	127,9	45,0	52,9	56,8	57,0	57,0	7,9	3,9	0,2	0,0	12,0
57,0	12,0	28,1	39,8	137,8	16,1	11,7	98,0	125,8	44,9	53,4	57,5	57,8	57,9	8,5	4,1	0,3	0,1	13,0
58,0	12,0	28,6	39,9	143,7	16,6	11,3	103,8	131,7	44,9	54,0	58,4	58,6	58,7	9,1	4,4	0,2	0,1	13,8
59,0	12,0	27,9	40,2	143,1	15,9	12,3	102,9	131,1	44,9	54,4	59,0	59,2	59,3	9,5	4,6	0,2	0,1	14,4
60,0	12,0	28,0	40,7	147,4	16,0	12,7	106,7	135,4	44,9	54,9	59,7	60,0	60,1	10,0	4,8	0,3	0,1	15,2
61,0	12,0	28,0	41,3	152,0	16,0	13,3	110,7	140,0	44,9	48,3	49,4	49,4	49,4	3,4	1,1	0,0	0,0	4,5
62,0	12,0	28,4	42,0	157,8	16,4	13,6	115,8	145,8	45,0	49,0	50,4	50,4	50,5	4,0	1,4	0,0	0,1	5,5
63,0	12,0	28,4	42,0	160,0	16,4	13,6	118,0	148,0	44,9	51,0	51,1	51,1	51,1	6,1	0,1	0,0	0,0	6,2
64,0	12,0	28,6	42,3	164,8	16,6	13,7	122,5	152,8	44,9	49,6	51,6	51,7	51,7	4,7	2,0	0,1	0,0	6,8
65,0	12,0	28,7	42,7	167,8	16,7	14,0	125,1	155,8	44,9	50,1	52,3	52,4	52,4	5,2	2,2	0,1	0,0	7,5
66,0	12,0	29,0	43,1	170,5	17,0	14,1	127,4	158,5	44,9	50,6	53,0	53,2	53,2	5,7	2,4	0,2	0,0	8,3
67,0	12,0	29,0	43,1	172,0	17,0	14,1	128,9	160,0	44,9	51,1	53,8	53,9	53,9	6,2	2,7	0,1	0,0	9,0
68,0	12,0	28,3	41,9	169,3	16,3	13,6	127,4	157,3	45,0	51,5	54,6	54,8	54,8	6,5	3,1	0,2	0,0	9,8
69,0	12,0	28,3	41,8	170,4	16,3	13,5	128,6	158,4	44,9	52,1	55,3	55,4	55,4	7,2	3,2	0,1	0,0	10,5
70,0	12,0	28,7	42,7	175,5	16,7	14,0	132,8	163,5	44,9	52,8	56,2	56,3	56,3	7,9	3,4	0,1	0,0	11,4
71,0	12,0	29,0	43,4	177,6	17,0	14,4	134,2	165,6	44,9	53,2	56,8	57,0	57,1	8,3	3,6	0,2	0,1	12,2
72,0	12,1	29,4	44,3	182,3	17,3	14,9	138,0	170,2	44,9	53,7	57,5	57,7	57,7	8,8	3,8	0,2	0,0	12,8

TABELA H2 – Valores de cor aparente e verdadeira e pH do Ensaio 3 com taxa de filtração média de 80 m³/m².d no FAP e de 150 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Temp (°C)	Cor Aparente (uH)				Cor Verdadeira (uH)		pH		
		AB	AE	FAP	FRD	AB	AE	AB	AE	AC
0	22,0	123	206	16	7	20	106	6,4	6,4	5,0
1	22,0	114	212	22	2	18	105	6,2	6,4	5,0
3	22,5		228	4	≤ 1		118		6,6	5,0
5	22,0		205	6	≤ 1		97		6,8	5,0
7	21,5	130	196	4	≤ 1	22	88	6,4	6,6	5,1
9	21,0		214	4	≤ 1		101		6,7	5,1
11	21,0		231	1	≤ 1		115		6,5	5,1
13	21,0	140	218	3	≤ 1	16	86	6,6	6,4	5,1
15	21,0		226	1	≤ 1		86		6,5	5,1
17	20,5		229	4	≤ 1		120		6,4	5,0
19	21,0	123	205	4	3	20	95	6,7	6,4	5,1
21	22,0		207	1	≤ 1		105		6,5	5,0
23	22,5		219	3	1		99		6,6	5,0
25	22,5	127	202	16	≤ 1	18	99	6,6	6,5	5,0
27	23,0		211	35	≤ 1		99		6,5	4,9
29	22,5		221	47	≤ 1		97		6,5	5,0
29,7				57	≤ 1					
31	22,0	133	214	12	≤ 1	19	103	6,5	6,4	5,1
33	22,0		217	1	≤ 1		88		6,7	4,9
35	21,5		213	1	≤ 1		90		6,4	5,0
37	21,5	122	200	3	≤ 1	19	108	6,5	6,4	5,0
39	21,0		208	4	≤ 1		103		6,7	5,0
41	21,0		207	28	≤ 1		110		6,6	5,0
43	21,5	132	207	34	≤ 1	19	95	6,6	6,5	5,0
45	22,0		209	54	≤ 1		92		6,6	5,0
47	22,5		202	7	≤ 1		94		6,6	5,0
49	23,5	131	205	1	≤ 1	21	100	6,6	6,5	5,0
51	24,0		221	4	1		96		6,6	5,0
53	23,0		218	5	≤ 1		108		6,6	5,0
55	22,5	131	209	17	≤ 1	19	105	6,6	6,6	5,0
57	22,0		231	30	≤ 1		101		6,7	4,9
59	22,0		230	43	≤ 1		95		6,8	5,0
60				55	≤ 1					
61	22,0	153	230	5	≤ 1	19	99	6,6	6,6	5,1
63	22,0		221	1	≤ 1		94		6,5	5,1
65	22,0		221	1	≤ 1		110		6,6	5,0
67	22,0	130	205	2	≤ 1	15	90	6,6	6,5	5,0
69	22,0		211	4	≤ 1		91		6,4	4,8
71	21,0		214	15	≤ 1		87		6,5	4,9
72	21,0	123	222	35	≤ 1	23	113	6,5	6,5	4,8

TABELA H3 – Valores de alcalinidade e absorvância do Ensaio 3 com taxa de filtração média de 80 m³/m².d no FAP e de 150 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)		Absorvância (254nm)					
	AE	AB	AE	AB	FAP	FRD	%Rem. FAP	%Rem. FRD
0	9,24	8,36	0,194	0,064	0,029	0,033	85,1	83,0
1	8,36	8,58	0,203	0,064	0,009	0,007	95,6	96,6
7	9,68	10,12	0,177	0,073	0,009	0,010	94,9	94,4
13	9,90	9,90	0,173	0,061	0,017	0,008	90,2	95,4
19	9,24	9,24	0,184	0,062	0,014	0,013	92,4	92,9
25	10,34	8,58	0,199	0,068	0,013	0,012	93,5	94,0
31	8,80	8,58	0,191	0,061	0,015	0,017	92,1	91,1
37	8,58	8,36	0,202	0,067	0,015	0,015	92,6	92,6
43	10,12	8,36	0,178	0,059	0,011	0,009	93,8	94,9
49	8,80	8,14	0,183	0,059	0,012	0,009	93,4	95,1
55	9,90	8,14	0,187	0,066	0,012	0,011	93,6	94,1
61	9,90	8,36	0,180	0,065	0,013	0,010	92,8	94,4
67	10,12	9,02	0,172	0,060	0,012	0,010	93,0	94,2
72	9,20	9,20	0,205	0,065	0,015	0,026	92,7	87,3

TABELA H4 – Valores de COD do Ensaio 3 com taxa de filtração média de 80 m³/m².d no FAP e de 150 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	COD (mg/L)									
	AE	Desvio padrão	AB	Desvio padrão	FAP	Desvio padrão	FRD	Desvio padrão	%Rem. FAP	%Rem. FRD
0	4,160	0,032	2,571	0,024	3,553	0,074	3,029	0,062	14,6	27,2
1	3,979	0,062	2,483	0,041	1,909	0,098	2,042	0,760	52,0	48,7
25	3,464	0,050	2,914	0,048	1,897	0,032	2,103	0,100	45,2	39,3
49	2,808	0,031	3,239	0,059	2,153	0,075	1,965	0,066	23,3	30,0
72	3,161	0,061	2,422	0,077	2,338	0,009	1,973	0,027	26,0	37,6

TABELA H5 : Dados de pH, turbidez, cor verdadeira, cor aparente, carbono orgânico dissolvido, absorvância, e alcalinidade para Ensaio 3.

Parâmetros	Água Bruta	Água de Estudo	Efluente do FAP	Efluente do FRD
pH	6,2 a 6,7	6,4 a 6,8	-	-
Turbidez (uT)	11 a 18	-	0,11 a 7,5	0,01 a 0,27
Cor Verdadeira (uH)	15 a 23	86 a 113	-	-
Cor Aparente (uH)	114 a 153	196 a 231	≤1 a 50	≤1 a 7
COD (mg/L)	2,422 a 3,239	2,808 a 4,160	1,897 a 3,553	1,965 a 3,029
Absorvância 254nm	0,059 a 0,073	0,172 a 0,205	0,010 a 0,043	0,007 a 0,051
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	8,14 a 10,12	8,36 a 10,34	-	-
Coliformes Totais (NMP/100mL)	10462 a 17329	-	-	3,1 a 35
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	259 a 435	-	-	zero
Taxas de filtração: FAP=80 m/d e FRD=150m/d Coagulação química: DSA= 8,0 ± 0,2 mg/L <p>pH= 4,8 a 5,1 temperatura= 20,5 a 24,0 °C</p>

FIGURA H1: Perda de carga do FAP no ensaio 3 em função do tempo de funcionamento e das camadas do meio filtrante.

FIGURA H2: Perda de carga no ensaio 3 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA H3: Variação da turbidez no Ensaio 3 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA H4 : Cor aparente do ensaio 3 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA H5 : COD do ensaio 3 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA H6 : Absorvância (254 nm) do ensaio 3 em função do tempo de funcionamento.

ANEXO I: ENSAIO 4

TABELA II – Valores de perda de carga do Ensaio 4 com taxa de filtração média de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FAP e de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Filtro Rápido Descendente (FRD)								Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP)									
	Nível Piezométrico (cm)				Perda de Carga (cm)				Nível Piezométrico (cm)					Perda de Carga (cm)				
	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P0	P1	P2	P3	P4	P1-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P0
0,0	12,1	26,2	36,7	44,0	14,1	10,5	7,3	31,9	45,1	47,0	47,7	47,8	47,8	1,9	0,7	0,1	0,0	2,7
1,0	12,1	26,0	35,5	44,0	13,9	9,5	8,5	31,9	45,1	47,3	48,2	48,3	48,3	2,2	0,9	0,1	0,0	3,2
2,0	12,1	26,0	35,5	44,8	13,9	9,5	9,3	32,7	45,1	47,7	49,0	49,2	49,2	2,6	1,3	0,2	0,0	4,1
3,0	12,1	26,0	35,5	45,5	13,9	9,5	10,0	33,4	45,1	48,1	49,8	50,0	50,0	3,0	1,7	0,2	0,0	4,9
4,0	12,0	26,0	35,6	46,2	14,0	9,6	10,6	34,2	45,1	48,7	50,7	51,0	51,0	3,6	2,0	0,3	0,0	5,9
5,0	12,0	25,4	34,8	45,5	13,4	9,4	10,7	33,5	45,0	49,3	51,5	51,8	51,8	4,3	2,2	0,3	0,0	6,8
6,0	12,0	25,9	35,6	46,9	13,9	9,7	11,3	34,9	45,0	49,8	52,5	52,9	52,9	4,8	2,7	0,4	0,0	7,9
7,0	12,0	26,5	36,6	48,9	14,5	10,1	12,3	36,9	45,0	48,3	49,6	49,7	49,7	3,3	1,3	0,1	0,0	4,7
8,0	12,0	26,5	36,6	49,4	14,5	10,1	12,8	37,4	45,0	48,9	50,5	50,6	50,6	3,9	1,6	0,1	0,0	5,6
9,0	12,0	26,6	36,8	50,1	14,6	10,2	13,3	38,1	45,0	49,5	51,5	51,7	51,7	4,5	2,0	0,2	0,0	6,7
10,0	11,9	26,0	35,8	49,1	14,1	9,8	13,3	37,2	45,0	50,0	52,5	52,7	52,7	5,0	2,5	0,2	0,0	7,7
11,0	11,9	26,1	36,0	49,8	14,2	9,9	13,8	37,9	45,0	50,7	53,5	53,7	53,7	5,7	2,8	0,2	0,0	8,7
12,0	11,9	26,2	36,2	50,7	14,3	10,0	14,5	38,8	45,0	51,5	54,7	54,9	54,9	6,5	3,2	0,2	0,0	9,9
13,0	11,9	26,2	36,3	52,0	14,3	10,1	15,7	40,1	45,0	52,2	55,7	56,0	56,0	7,2	3,5	0,3	0,0	11,0
14,0	11,9	26,4	36,7	54,4	14,5	10,3	17,7	42,5	45,0	53,0	56,7	57,0	57,1	8,0	3,7	0,3	0,1	12,1
15,0	11,9	26,6	37,0	57,1	14,7	10,4	20,1	45,2	45,0	53,7	57,7	58,0	58,0	8,7	4,0	0,3	0,0	13,0
16,0	11,9	26,5	36,8	59,0	14,6	10,3	22,2	47,1	44,9	49,5	51,0	51,0	51,0	4,6	1,5	0,0	0,0	6,1
17,0	11,9	26,6	36,9	61,0	14,7	10,3	24,1	49,1	44,9	50,3	52,0	52,2	52,2	5,4	1,7	0,2	0,0	7,3
18,0	11,9	26,8	37,3	62,6	14,9	10,5	25,3	50,7	44,9	51,1	53,4	53,6	53,6	6,2	2,3	0,2	0,0	8,7
19,0	12,0	26,7	37,1	63,5	14,7	10,4	26,4	51,5	45,0	51,9	54,6	54,7	54,7	6,9	2,7	0,1	0,0	9,7
20,0	11,9	25,7	35,7	62,7	13,8	10,0	27,0	50,8	45,0	52,7	55,9	56,0	56,1	7,7	3,2	0,1	0,1	11,1
21,0	11,9	25,7	35,5	64,7	13,8	9,8	29,2	52,8	45,2	53,5	56,8	57,1	57,1	8,3	3,3	0,3	0,0	11,9
22,0	11,9	24,8	34,0	63,2	12,9	9,2	29,2	51,3	45,0	54,2	58,0	58,2	58,2	9,2	3,8	0,2	0,0	13,2
22,5	12,0	26,2	36,3	70,1	14,2	10,1	33,8	58,1	45,0	54,7	58,8	59,1	59,2	9,7	4,1	0,3	0,1	14,2
23,0	12,0	25,8	35,7	70,5	13,8	9,9	34,8	58,5	44,9	49,3	50,4	50,5	50,6	4,4	1,1	0,1	0,1	5,7
24,0	11,9	25,5	35,1	71,5	13,6	9,6	36,4	59,6	45,1	50,2	52,0	52,1	52,1	5,1	1,8	0,1	0,0	7,0
25,0	12,0	25,4	35,1	73,0	13,4	9,7	37,9	61,0	45,1	50,8	53,1	53,2	53,2	5,7	2,3	0,1	0,0	8,1
26,0	12,0	25,6	35,4	75,4	13,6	9,8	40,0	63,4	45,1	51,8	54,4	54,8	54,9	6,7	2,6	0,4	0,1	9,8
27,0	12,0	25,7	35,5	77,5	13,7	9,8	42,0	65,5	45,1	52,6	55,6	55,8	55,9	7,5	3,0	0,2	0,1	10,8
28,0	12,0	25,7	35,7	79,5	13,7	10,0	43,8	67,5	45,0	53,2	56,7	57,0	57,0	8,2	3,5	0,3	0,0	12,0
29,0	Entrada de ar na bomba de água bruta								45,0	53,8	57,7	57,9	58,0	8,8	3,9	0,2	0,1	13,0
30,0	12,0	26,4	36,8	86,5	14,4	10,4	49,7	74,5	45,0	54,7	58,7	59,0	59,0	9,7	4,0	0,3	0,0	14,0
31,0	11,9	25,1	34,9	84,5	13,2	9,8	49,6	72,6	45,0	50,3	51,7	51,8	51,9	5,3	1,4	0,1	0,1	6,9
32,0	11,9	25,4	35,1	88,4	13,5	9,7	53,3	76,5	45,0	51,3	53,2	53,3	53,3	6,3	1,9	0,1	0,0	8,3
33,0	11,9	25,5	35,4	90,6	13,6	9,9	55,2	78,7	45,0	52,4	54,8	55,0	55,0	7,4	2,4	0,2	0,0	10,0
34,0	11,9	26,4	37,0	97,5	14,5	10,6	60,5	85,6	45,0	53,1	56,0	56,2	56,2	8,1	2,9	0,2	0,0	11,2
35,0	11,9	25,4	35,5	96,0	13,5	10,1	60,5	84,1	45,0	48,8	56,0	56,4	56,4	3,8	7,2	0,4	0,0	11,4
36,0	11,9	25,9	36,7	101,5	14,0	10,8	64,8	89,6	45,0	49,8	58,5	58,7	58,8	4,8	8,7	0,2	0,1	13,8

TABELA II (continuação) – Valores de perda de carga do Ensaio 4 com taxa de filtração média de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FAP e de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Filtro Rápido Descendente (FRD)								Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP)									
	Nível Piezométrico (cm)				Perda de Carga (cm)				Nível Piezométrico (cm)					Perda de Carga (cm)				
	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P0	P1	P2	P3	P4	P1-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P0
37,0	11,9	26,9	39,0	108,0	15,0	12,1	69,0	96,1	45,0	55,3	59,2	59,5	59,5	10,3	3,9	0,3	0,0	14,5
38,0	11,9	25,6	37,4	106,5	13,7	11,8	69,1	94,6	45,0	51,3	53,0	53,1	53,2	6,3	1,7	0,1	0,1	8,2
39,0	11,9	25,7	37,6	110,1	13,8	11,9	72,5	98,2	45,0	52,1	54,3	54,4	54,4	7,1	2,2	0,1	0,0	9,4
40,0	11,7	23,4	33,5	97,0	11,7	10,1	63,5	85,3	45,0	53,1	55,6	55,9	55,9	8,1	2,5	0,3	0,0	10,9
41,0	11,9	26,8	40,0	120,3	14,9	13,2	80,3	108,4	45,0	53,7	56,7	57,0	57,0	8,7	3,0	0,3	0,0	12,0
42,0	11,9	26,3	39,9	120,4	14,4	13,6	80,5	108,5	45,0	54,6	58,0	58,3	58,3	9,6	3,4	0,3	0,0	13,3
43,0	11,9	26,4	40,3	124,5	14,5	13,9	84,2	112,6	45,1	55,5	59,2	59,5	59,5	10,4	3,7	0,3	0,0	14,4
44,0	11,9	26,1	41,7	126,1	14,2	15,6	84,4	114,2	45,1	56,3	60,3	60,6	60,7	11,2	4,0	0,3	0,1	15,6
45,0	11,9	26,1	42,4	130,0	14,2	16,3	87,6	118,1	45,1	51,1	52,6	52,7	52,7	6,0	1,5	0,1	0,0	7,6
46,0	11,9	26,1	42,4	133,0	14,2	16,3	90,6	121,1	45,1	52,2	54,4	54,5	54,5	7,1	2,2	0,1	0,0	9,4
47,0	11,9	26,1	42,4	134,6	14,2	16,3	92,2	122,7	45,1	53,0	55,4	55,5	55,5	7,9	2,4	0,1	0,0	10,4
48,0	12,0	26,0	42,7	137,4	14,0	16,7	94,7	125,4	45,1	54,2	57,2	57,4	57,4	9,1	3,0	0,2	0,0	12,3
49,0	11,9	24,0	39,1	124,8	12,1	15,1	85,7	112,9	45,1	55,1	58,5	58,7	58,7	10,0	3,4	0,2	0,0	13,6
50,0	11,9	26,0	44,1	145,8	14,1	18,1	101,7	133,9	45,1	56,0	59,8	60,0	60,1	10,9	3,8	0,2	0,1	15,0
51,0	12,0	26,5	46,2	150,3	14,5	19,7	104,1	138,3	45,1	56,9	60,9	61,2	61,3	11,8	4,0	0,3	0,1	16,2
52,0	12,0	27,7	49,5	158,3	15,7	21,8	108,8	146,3	45,0	51,3	52,9	53,0	53,0	6,3	1,6	0,1	0,0	8,0
53,0	11,9	24,9	40,9	138,7	13,0	16,0	97,8	126,8	45,0	52,3	54,4	54,6	54,6	7,3	2,1	0,2	0,0	9,6
54,0	11,9	26,1	47,0	162,0	14,2	20,9	115,0	150,1	45,0	52,0	53,8	53,9	53,9	7,0	1,8	0,1	0,0	8,9
55,0	11,9	25,7	47,2	163,0	13,8	21,5	115,8	151,1	45,0	53,1	55,5	55,7	55,7	8,1	2,4	0,2	0,0	10,7
56,0	11,9	25,7	47,7	167,5	13,8	22,0	119,8	155,6	45,0	54,0	57,0	57,3	57,3	9,0	3,0	0,3	0,0	12,3
57,0	11,9	25,7	48,2	171,3	13,8	22,5	123,1	159,4	45,0	55,0	58,5	58,8	58,8	10,0	3,5	0,3	0,0	13,8
58,0	11,9	25,8	49,0	175,4	13,9	23,2	126,4	163,5	45,0	55,8	59,7	60,0	60,0	10,8	3,9	0,3	0,0	15,0
58,8	11,9	25,9	49,6	178,0	14,0	23,7	128,4	166,1	45,0	56,3	60,5	60,8	60,8	11,3	4,2	0,3	0,0	15,8
59,0	11,8	25,7	49,5	177,8	13,9	23,8	128,3	166,0	44,9	50,9	52,3	52,4	52,4	6,0	1,4	0,1	0,0	7,5
60,0	11,8	25,3	48,7	178,4	13,5	23,4	129,7	166,6	45,0	52,3	54,2	54,4	54,4	7,3	1,9	0,2	0,0	9,4
61,0	11,8	25,4	49,1	183,5	13,6	23,7	134,4	171,7	45,0	53,2	55,7	55,8	55,8	8,2	2,5	0,1	0,0	10,8
62,0	11,8	25,7	50,0	189,2	13,9	24,3	139,2	177,4	45,0	54,2	56,0	56,2	56,2	9,2	1,8	0,2	0,0	11,2
63,0	11,8	26,3	52,2	197,8	14,5	25,9	145,6	186,0	44,9	55,1	58,4	58,6	58,6	10,2	3,3	0,2	0,0	13,7
64,0	11,8	25,5	50,5	193,5	13,7	25,0	143,0	181,7	45,0	56,0	60,0	60,3	60,3	11,0	4,0	0,3	0,0	15,3
65,0	11,8	26,1	52,6	201,5	14,3	26,5	148,9	189,7	45,0	57,2	61,1	61,3	61,3	12,2	3,9	0,2	0,0	16,3
66,0	11,8	26,5	53,8	202,1	14,7	27,3	148,3	190,3	44,9	51,8	53,5	53,6	53,7	6,9	1,7	0,1	0,1	8,8
67,0	11,9	26,3	52,8	205,0	14,4	26,5	152,2	193,1	44,9	52,8	55,0	55,1	55,1	7,9	2,2	0,1	0,0	10,2
68,0	11,9	27,3	55,3	218,2	15,4	28,0	162,9	206,3	45,0	53,9	56,5	56,7	56,7	8,9	2,6	0,2	0,0	11,7
69,0	11,9	26,4	53,4	213,0	14,5	27,0	159,6	201,1	45,0	54,8	57,9	58,2	58,2	9,8	3,1	0,3	0,0	13,2
70,0	12,0	27,0	55,5	222,3	15,0	28,5	166,8	210,3	45,1	55,7	59,2	59,5	59,6	10,6	3,5	0,3	0,1	14,5
71,0	12,0	25,9	35,6	48,2	13,9	9,7	12,6	36,2	45,1	56,8	60,7	61,0	61,0	11,7	3,9	0,3	0,0	15,9
72,0	11,9	23,6	31,7	47,5	11,7	8,1	15,8	35,6	45,1	57,7	62,0	62,3	62,3	12,6	4,3	0,3	0,0	17,2

TABELA I2 – Valores de cor aparente e verdadeira e pH do Ensaio 4 com taxa de filtração média de 120 m³/m².d no FAP e de 120 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Temp. (°C)	Cor Aparente(uH)				Cor Verdadeira (uH)		pH		
		AB	AE	FAP	FRD	AB	AE	AB	AE	AC
0,0	21,5	88	188	6	8	12	82	6,2	6,4	5,0
1,0	22,0	93	196	1	≤ 1	10	78	6,6	6,5	4,9
3,0	22,0		205	5	≤ 1		92		6,3	5,0
5,0	21,0		204	3	≤ 1		107		6,5	4,9
7,0	20,5	94	194	3	≤ 1	18	96	6,3	6,7	5,0
9,0	20,5		188	4	≤ 1		102		6,3	4,9
11,0	20,5		203	7	≤ 1		115		6,5	4,9
13,0	20,0	102	186	32	≤ 1	23	105	6,3	6,3	5,0
15,0	20,0		187	54	≤ 1		92		6,4	5,0
17,0	19,0		202	6	≤ 1		104		6,4	5,0
19,0	19,5	127	208	18	2	25	98	6,3	6,4	5,0
21,0	20,5		206	36	3		96		6,5	5,0
22,5				52						
23,0	21,5		210	25	4		106		6,7	5,0
25,0	22,0	114	209	6	≤ 1	25	120	6,4	6,5	5,0
27,0	22,0		190	17	≤ 1		87		6,4	4,9
29,0	21,0		181	32	≤ 1		90		6,4	5,0
30,0				67						
31,0	21,0	105	185	9	≤ 1	24	103	6,4	6,5	5,0
33,0	21,0		199	14	≤ 1		86		6,5	5,1
35,0	20,5		210	36	≤ 1		121		6,5	5,1
37,0	20,5	100	197	50	≤ 1	20	102	6,4	6,4	5,0
39,0	20,0		198	14	≤ 1		101		6,5	5,1
41,0	20,0		193	32	≤ 1		106		6,5	5,1
43,0	20,5	109	182	44	≤ 1	22	92	6,5	6,5	5,1
44,0				51						
45,0	21,0		189	7	≤ 1		85		6,5	5,0
47,0	22,0		206	18	≤ 1		116		6,4	4,9
49,0	22,5	96	182	31	1	26	90	6,5	6,4	5,0
51,0	22,0		186	51	1		92		7,3	5,0
53,0	21,5		178	6	≤ 1		89		6,4	5,0
55,0	21,0	89	185	19	≤ 1	21	99	6,3	6,5	5,1
57,0	21,0		204	39	≤ 1		102		6,5	5,0
58,8				51	≤ 1					
59,0	21,0		202	19	≤ 1		106		6,7	5,1
61,0	20,0	126	193	16	≤ 1	21	105	6,4	6,5	5,0
63,0	20,0		196	33	≤ 1		103		6,4	5,0
65,0	20,0		193	52	≤ 1		105		6,4	5,1
67,0	20,5	121	207	9	≤ 1	21	98	6,4	6,5	5,0
69,0	21,5		209	29	≤ 1		109		6,5	5,0
71,0	22,0		201	42	≤ 1		108		6,4	5,0
72,0	22,5	126	190	51	≤ 1	22	103	6,5	6,6	5,0

TABELA I3 – Valores de alcalinidade e absorvância do Ensaio 4 com taxa de filtração média de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FAP e de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Alcalinidade (mg CaCO_3/L)		ABS(254nm)					
	AE	AB	AE	AB	FAP	FRD	%Rem. FAP	%Rem. FRD
0	11,44	8,58	0,184	0,077	0,020	0,033	89,1	82,1
1	8,80	9,02	0,174	0,074	0,018	0,017	89,7	90,2
7	11,22	10,12	0,176	0,051	0,009	0,015	94,9	91,5
13	9,90	7,04	0,177	0,052	0,006	0,006	96,6	96,6
19	10,12	7,92	0,180	0,062	0,019	0,010	89,4	94,4
25	7,92	9,68	0,203	0,069	0,007	0,015	96,6	92,6
31	10,78	10,78	0,183	0,068	0,013	0,014	92,9	92,3
37	7,04	9,24	0,183	0,060	0,019	0,011	89,6	94,0
43	9,90	8,36	0,174	0,067	0,011	0,014	93,7	92,0
49	7,92	7,70	0,175	0,070	0,010	0,018	94,3	89,7
55	10,72	9,02	0,197	0,071	0,019	0,009	90,4	95,4
61	10,78	7,70	0,183	0,062	0,008	0,007	95,6	96,2
67	9,46	10,78	0,191	0,066	0,017	0,010	91,1	94,8
72	10,12	9,24	0,190	0,069	0,013	0,012	93,2	93,7

TABELA I4 – Valores de COD do Ensaio 4 com taxa de filtração média de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FAP e de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	COD (mg/L)								%Rem. FAP	%Rem. FRD
	AE	Desvio padrão	AB	Desvio padrão	FAP	Desvio padrão	FRD	Desvio padrão		
0	4,628	0,080	2,983	0,148	2,634	0,042	2,855	0,051	43,086	38,3
1	4,229	0,089	3,077	0,123	2,680	0,067	2,440	0,086	36,628	42,3
25	4,176	0,023	2,316	0,048	2,298	0,080	2,043	0,123	44,971	51,1
49	4,088	0,081	2,471	0,008	2,048	0,145	2,131	0,081	49,902	47,9
72	4,526	0,126	2,761	0,028	2,073	0,081	2,145	0,055	54,198	52,6

TABELA I5 : Dados de pH, turbidez, cor verdadeira, cor aparente, carbono orgânico dissolvido, absorvância, e alcalinidade para Ensaio 4.

Parâmetros	Água Bruta	Água de Estudo	Efluente do FAP	Efluente do FRD
pH	-	6,3 a 7,3	-	-
Turbidez (uT)	9,9 a 16	-	0,01 a 6,6	0,01 a 1,0
Cor Verdadeira (uH)	10 a 26	78 a 121	-	-
Cor Aparente (uH)	88 a 127	178 a 210	≤1 a 54	≤1 a 5
COD (mg/L)	2,316 a 3,077	4,088 a 4,628	2,048 a 2,680	2,043 a 2,855
Absorvância 254 nm	0,051 a 0,077	0,174 a 0,203	0,006 a 0,019	0,006 a 0,033
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	7,04 a 10,78	7,04 a 11,44	-	-
Taxas de filtração: FAP=120 m/d e FRD=120 m/d Coagulação química: DSA= 8,0 ± 0,2 mg/L pH= 4,9 a 5,1 temperatura= 19,0 a 22,5 °C

FIGURA II: Perda de carga do FAP no ensaio 4 em função do tempo de funcionamento e das camadas do meio filtrante.

FIGURA I2: Perda de carga no ensaio 4 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA I3: Variação da turbidez no Ensaio 4 em função do tempo de funcionamento .

FIGURA I4 : Cor aparente do ensaio 4 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA I5 : COD do ensaio 4 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA I6 : Absorvância (254 nm) do ensaio 4 em função do tempo de funcionamento.

ANEXO J: ENSAIO 5

TABELA J1 – Valores de perda de carga do Ensaio 5 com taxa de filtração média de 120 m³/m².d no FAP e de 180 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Filtro Rápido Descendente (FRD)								Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP)									
	Nível Piezométrico (cm)				Perda de Carga (cm)				Nível Piezométrico (cm)					Perda de Carga (cm)				
	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P0	P1	P2	P3	P4	P1-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P0
0,0	12,5	29,8	41,6	53,5	17,3	11,8	11,9	41,0	45,0	46,6	47,2	47,3	47,4	1,6	0,7	0,1	0,1	2,4
1,0	12,5	30,7	43,3	58,9	18,2	12,6	15,6	46,4	45,0	47,3	48,3	48,4	48,8	2,3	1,1	0,1	0,4	3,8
2,0	12,4	30,7	43,5	61,2	18,3	12,8	17,7	48,8	45,0	47,7	49,1	49,3	49,3	2,7	1,6	0,2	0,0	4,3
3,0	12,4	30,7	43,4	62,0	18,3	12,7	18,6	49,6	45,0	48,2	49,9	50,1	50,2	3,2	1,9	0,2	0,1	5,2
4,0	12,4	31,1	44,1	64,1	18,7	13,0	20,0	51,7	45,0	48,8	50,9	51,1	51,4	3,8	2,3	0,2	0,3	6,4
5,5	12,4	30,9	43,8	65,0	18,5	12,9	21,2	52,6	45,0	49,7	51,5	51,6	51,6	4,7	1,9	0,1	0,0	6,6
6,0	12,4	32,3	46,2	69,6	19,9	13,9	23,4	57,2	45,0	50,6	52,2	52,3	52,3	5,6	1,7	0,1	0,0	7,3
6,8	12,3	30,1	42,8	64,8	17,8	12,7	22,0	52,5	45,0	50,5	53,1	53,2	53,2	5,5	2,7	0,1	0,0	8,2
7,0	12,3	31,7	45,2	69,3	19,4	13,5	24,1	57,0	44,9	48,2	49,3	49,4	49,7	3,3	1,2	0,1	0,3	4,8
8,0	12,3	32,5	46,5	72,3	20,2	14,0	25,8	60,0	44,8	48,6	50,0	50,1	50,1	3,8	1,5	0,1	0,0	5,3
9,0	12,3	32,0	45,7	72,0	19,7	13,7	26,3	59,7	44,9	49,7	51,8	51,9	51,9	4,8	2,2	0,1	0,0	7,0
10,0	12,3	32,1	46,0	73,4	19,8	13,9	27,4	61,1	44,9	50,3	52,7	52,8	52,8	5,4	2,5	0,1	0,0	7,9
11,0	12,3	32,3	46,3	75,0	20,0	14,0	28,7	62,7	44,9	51,2	54,1	54,4	54,4	6,3	3,2	0,3	0,0	9,5
12,0	12,3	32,4	46,5	75,8	20,1	14,1	29,3	63,5	44,9	51,9	55,1	55,2	55,2	7,0	3,3	0,1	0,0	10,3
13,0	12,3	32,9	47,3	78,5	20,6	14,4	31,2	66,2	44,9	52,5	56,0	56,2	56,3	7,6	3,7	0,2	0,1	11,4
14,0	12,3	32,7	47,0	80,3	20,4	14,3	33,3	68,0	44,9	53,5	57,4	57,7	57,7	8,6	4,2	0,3	0,0	12,8
15,0	12,3	33,3	47,9	85,3	21,0	14,6	37,4	73,0	44,9	54,3	58,7	58,8	58,9	9,4	4,5	0,1	0,1	14,0
16,0	12,3	32,1	46,1	86,2	19,8	14,0	40,1	73,9	44,9	55,1	59,8	60,0	60,0	10,2	4,9	0,2	0,0	15,1
17,0	12,3	32,8	47,1	91,1	20,5	14,3	44,0	78,8	44,9	50,6	52,1	52,2	52,3	5,7	1,6	0,1	0,1	7,4
18,0	12,4	33,0	47,4	93,0	20,6	14,4	45,6	80,6	44,9	51,3	53,3	53,4	53,4	6,4	2,1	0,1	0,0	8,5
19,0	12,4	32,5	46,7	93,7	20,1	14,2	47,0	81,3	44,9	52,1	54,5	54,7	54,7	7,2	2,6	0,2	0,0	9,8
20,0	12,4	32,9	47,2	97,3	20,5	14,3	50,1	84,9	44,9	53,1	56,0	56,3	56,4	8,2	3,2	0,3	0,1	11,5
21,0	12,4	33,0	47,6	100,7	20,6	14,6	53,1	88,3	45,0	54,0	57,4	57,7	57,7	9,0	3,7	0,3	0,0	12,7
22,0	12,5	32,9	47,4	103,5	20,4	14,5	56,1	91,0	45,1	55,1	58,8	59,1	59,2	10,0	4,0	0,3	0,1	14,1
23,0	12,4	31,9	45,8	104,8	19,5	13,9	59,0	92,4	45,1	56,1	60,4	60,7	60,8	11,0	4,6	0,3	0,1	15,7
24,0	12,5	31,9	46,2	110,9	19,4	14,3	64,7	98,4	45,1	57,0	61,7	62,0	62,1	11,9	5,0	0,3	0,1	17,0
24,7	12,5	31,0	44,9	111,0	18,5	13,9	66,1	98,5	45,1	57,4	62,4	62,8	63,0	12,3	5,4	0,4	0,2	17,9
25,0	12,4	31,0	44,9	113,7	18,6	13,9	68,8	101,3	45,1	50,8	52,2	52,3	52,4	5,7	1,5	0,1	0,1	7,3
26,0	12,4	31,5	45,9	118,9	19,1	14,4	73,0	106,5	45,1	52,0	54,0	54,2	54,2	6,9	2,2	0,2	0,0	9,1
27,0	12,4	30,8	44,8	119,2	18,4	14,0	74,4	106,8	45,1	53,0	55,7	55,9	55,9	7,9	2,9	0,2	0,0	10,8
28,0	12,4	32,0	47,0	127,2	19,6	15,0	80,2	114,8	45,0	53,9	57,2	57,4	57,4	8,9	3,5	0,2	0,0	12,4
29,0	12,4	32,4	48,2	131,6	20,0	15,8	83,4	119,2	45,0	55,0	58,6	58,8	58,8	10,0	3,8	0,2	0,0	13,8
30,0	12,4	31,8	47,5	132,5	19,4	15,7	85,0	120,1	45,0	55,7	59,5	59,8	59,8	10,7	4,1	0,3	0,0	14,8
31,0	12,4	32,3	49,6	140,3	19,9	17,3	90,7	127,9	45,0	56,4	60,7	60,8	61,0	11,4	4,4	0,1	0,2	16,0
31,8	12,4	32,9	51,3	146,5	20,5	18,4	95,2	134,1	45,0	57,1	61,7	61,8	62,0	12,1	4,7	0,1	0,2	17,0
32,0	12,5	34,1	53,8	154,2	21,6	19,7	100,4	141,7	45,0	50,5	51,8	51,9	51,9	5,5	1,4	0,1	0,0	6,9
33,0	12,3	32,0	50,1	148,6	19,7	18,1	98,5	136,3	45,0	51,7	53,6	53,8	53,9	6,7	2,1	0,2	0,1	8,9
34,0	12,3	32,4	51,0	155,2	20,1	18,6	104,2	142,9	45,0	53,1	55,5	55,7	55,8	8,1	2,6	0,2	0,1	10,8
35,0	12,3	32,7	51,7	159,0	20,4	19,0	107,3	146,7	45,0	53,8	56,6	56,8	56,9	8,8	3,0	0,2	0,1	11,9
36,0	12,3	32,2	51,7	164,1	19,9	19,5	112,4	151,8	45,0	54,9	58,0	58,3	58,3	9,9	3,4	0,3	0,0	13,3

TABELA J1 (continuação) – Valores de perda de carga do Ensaio 5 com taxa de filtração média de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FAP e de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Filtro Rápido Descendente (FRD)								Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP)									
	Nível Piezométrico (cm)				Perda de Carga (cm)				Nível Piezométrico (cm)					Perda de Carga (cm)				
	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P0	P1	P2	P3	P4	P1-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P0
37,0	12,3	33,2	53,9	169,2	20,9	20,7	115,3	156,9	45,0	55,4	58,8	59,1	59,1	10,4	3,7	0,3	0,0	14,1
38,0	12,3	34,0	55,9	175,9	21,7	21,9	120,0	163,6	45,0	56,2	60,1	60,3	60,3	11,2	4,1	0,2	0,0	15,3
39,0	12,3	33,5	55,5	179,4	21,2	22,0	123,9	167,1	45,0	52,3	54,1	54,2	54,2	7,3	1,9	0,1	0,0	9,2
40,0	12,3	33,3	55,0	180,1	21,0	21,7	125,1	167,8	45,0	53,0	55,0	55,2	55,2	8,0	2,2	0,2	0,0	10,2
41,0	12,3	34,0	56,6	185,5	21,7	22,6	128,9	173,2	45,0	-	54,2	54,4	54,4	-	-	0,2	0,0	9,4
42,0	12,3	33,8	56,5	189,5	21,5	22,7	133,0	177,2	45,0	54,5	57,5	57,7	57,7	9,5	3,2	0,2	0,0	12,7
43,0	12,4	34,3	57,9	195,6	21,9	23,6	137,7	183,2	45,0	55,5	58,8	59,2	59,2	10,5	3,7	0,4	0,0	14,2
44,0	12,3	33,2	56,0	192,0	20,9	22,8	136,0	179,7	45,0	52,8	53,7	53,7	53,8	7,8	0,9	0,0	0,1	8,8
45,0	12,3	33,2	56,0	196,5	20,9	22,8	140,5	184,2	45,0	53,2	55,3	55,3	55,3	8,2	2,1	0,0	0,0	10,3
46,0	12,3	33,2	56,5	201,0	20,9	23,3	144,5	188,7	45,0	54,2	56,8	56,9	57,0	9,2	2,7	0,1	0,1	12,0
47,0	12,3	32,9	56,3	203,2	20,6	23,4	146,9	190,9	45,0	55,6	58,8	59,0	59,1	10,6	3,4	0,2	0,1	14,1
48,0	12,3	33,2	57,2	208,5	20,9	24,0	151,3	196,2	45,1	56,3	59,8	60,0	60,1	11,2	3,7	0,2	0,1	15,0
49,0	12,4	33,7	58,5	224,5	21,3	24,8	166,0	212,1	45,1	57,4	61,2	61,4	61,5	12,3	4,0	0,2	0,1	16,4
50,0	12,5	30,6	39,9	59,5	18,1	9,3	19,6	47,0	45,1	52,5	54,3	54,4	54,5	7,4	1,9	0,1	0,1	9,4
51,0	12,5	30,4	43,1	61,4	17,9	12,7	18,3	48,9	45,1	53,8	55,3	55,5	55,5	8,7	1,7	0,2	0,0	10,4
52,0	12,4	30,3	43,1	64,0	17,9	12,8	20,9	51,6	45,0	54,9	57,8	58,1	58,1	9,9	3,2	0,3	0,0	13,1
53,0	12,4	31,0	44,3	70,4	18,6	13,3	26,1	58,0	45,0	55,9	59,4	59,6	59,6	10,9	3,7	0,2	0,0	14,6
54,0	12,4	30,5	43,5	74,1	18,1	13,0	30,6	61,7	45,0	56,6	60,3	60,5	60,5	11,6	3,9	0,2	0,0	15,5
54,7	12,3	30,0	42,7	72,7	17,7	12,7	30,0	60,4	45,0	57,2	61,2	61,4	61,5	12,2	4,2	0,2	0,1	16,5
55,0	12,3	31,0	44,5	83,5	18,7	13,5	39,0	71,2	45,0	51,5	53,1	53,2	53,3	6,5	1,7	0,1	0,1	8,3
56,0	12,4	32,2	46,5	90,7	19,8	14,3	44,2	78,3	45,0	52,8	54,9	55,0	55,0	7,8	2,2	0,1	0,0	10,0
57,0	12,3	30,6	43,8	89,2	18,3	13,2	45,4	76,9	45,0	53,8	56,2	56,3	56,3	8,8	2,5	0,1	0,0	11,3
58,0	12,3	31,3	45,0	96,3	19,0	13,7	51,3	84,0	45,0	54,9	57,9	58,1	58,1	9,9	3,2	0,2	0,0	13,1
59,0	12,3	31,8	46,0	103,1	19,5	14,2	57,1	90,8	45,0	55,6	59,2	59,3	59,3	10,6	3,7	0,1	0,0	14,3
59,7	12,3	30,9	44,9	104,8	18,6	14,0	59,9	92,5	45,0	56,4	60,3	60,4	60,4	11,4	4,0	0,1	0,0	15,4
60,0	12,3	30,4	44,3	104,3	18,1	13,9	60,0	92,0	45,0	51,7	53,1	53,2	53,2	6,7	1,5	0,1	0,0	8,2
61,0	12,3	31,3	45,9	114,0	19,0	14,6	68,1	101,7	45,0	52,8	54,7	54,8	54,8	7,8	2,0	0,1	0,0	9,8
62,0	12,3	30,7	45,1	116,3	18,4	14,4	71,2	104,0	45,0	54,2	56,7	56,9	56,9	9,2	2,7	0,2	0,0	11,9
63,0	12,3	31,0	46,1	122,8	18,7	15,1	76,7	110,5	45,0	55,3	58,2	58,4	58,4	10,3	3,1	0,2	0,0	13,4
64,0	12,3	31,4	47,8	130,4	19,1	16,4	82,6	118,1	45,0	56,3	59,8	60,0	60,0	11,3	3,7	0,2	0,0	15,0
64,5	12,3	31,6	48,4	132,9	19,3	16,8	84,5	120,6	45,0	56,5	60,1	60,3	60,3	11,5	3,8	0,2	0,0	15,3
65,0	12,2	30,7	47,1	132,8	18,5	16,4	85,7	120,6	44,9	52,5	54,1	54,2	54,2	7,6	1,7	0,1	0,0	9,3
66,0	12,2	30,9	47,6	138,8	18,7	16,7	91,2	126,6	45,0	53,8	55,9	56,0	56,0	8,8	2,2	0,1	0,0	11,0
67,0	12,3	30,8	47,8	143,0	18,5	17,0	95,2	130,7	45,0	54,7	57,3	57,4	57,4	9,7	2,7	0,1	0,0	12,4
68,0	12,3	30,9	48,5	150,0	18,6	17,6	101,5	137,7	45,2	56,2	59,2	59,4	59,4	11,0	3,2	0,2	0,0	14,2
69,0	12,3	31,1	49,4	153,6	18,8	18,3	104,2	141,3	45,2	57,2	60,5	60,7	60,7	12,0	3,5	0,2	0,0	15,5
69,5	12,3	31,6	51,0	160,6	19,3	19,4	109,6	148,3	45,1	57,9	61,5	61,8	61,8	12,8	3,9	0,3	0,0	16,7
70,0	12,3	30,9	49,6	157,0	18,6	18,7	107,4	144,7	45,1	52,3	53,3	53,7	53,7	7,2	1,4	0,4	0,0	8,6
71,0	12,3	31,0	50,3	165,0	18,7	19,3	114,7	152,7	45,1	53,6	55,4	55,5	55,5	8,5	1,9	0,1	0,0	10,4
72,0	12,3	30,8	50,0	168,2	18,5	19,2	118,2	155,9	45,1	54,9	57,3	57,5	57,5	9,8	2,6	0,2	0,0	12,4

TABELA J2 – Valores de cor aparente e verdadeira e pH do Ensaio 5 com taxa de filtração média de 120 m³/m².d no FAP e de 180 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Temp (°C)	Cor Aparente (uH)				Cor Verdadeira (uH)		pH		
		AB	AE	FAP	FRD	AB	AE	AB	AE	AC
0,0	22,0	120	194	25	16	27	95	6,6	6,7	5,0
1,0	22,5		202	7	≤ 1		102		6,5	5,0
3,0	22,0		206	6	≤ 1		95		6,7	5,0
5,0	21,5		185	11	1		98		6,5	5,0
6,0		95				33		6,5		
7,0	21,0		174	8	≤ 1		83		6,5	5,0
9,0	20,0		221	3	≤ 1		119		6,8	5,0
11,0	19,5		191	1	≤ 1		86		6,4	5,0
12,0		107				24		6,5		
13,0	19,5		189	16	≤ 1		91		6,3	4,9
15,0	19,5		194	40	≤ 1		105		6,7	5,0
16,0				53						
17,0	19,0		187	1	≤ 1		91		6,7	5,0
18,0		106				23		6,6		
19,0	20,0		190	9	≤ 1		107		6,4	4,9
21,0	21,0		218	27	1		98		6,5	4,9
23,0	22,0		218	42	≤ 1		111		6,6	5,0
24,0		118				25		6,4		
24,7				56						
25,0	22,0		203	10	≤ 1		92		6,6	5,0
27,0	22,0		202	7	≤ 1		91		6,8	4,9
29,0	21,0		199	31	≤ 1		110		6,6	5,0
30,0		95		22				6,6		
31,0	21,0		186	46	≤ 1		91		6,5	5,0
31,8				51						
33,0	20,5		187	1	≤ 1		87		6,8	5,0
35,0	20,0		207	23	≤ 1		120		6,8	5,0
36,0		96				23		6,6		
37,0	20,0		187	44	≤ 1		106		6,6	5,0
38,0				50						
39,0	20,0		178	4	≤ 1		85		6,5	5,0
41,0	19,5		180	20	≤ 1		90		6,5	5,1
42,0		128				27		6,6		
43,0	20,0		222	57	3		112		6,6	5,0
45,0	21,5		216	13	≤ 1		110		6,6	4,9
47,0	22,0		226	37	1		117		6,5	5,0
48,0		128				27		6,6		
49,0	22,5		216	53	1		110		6,6	5,0
51,0	22,5		185	11	2		85		6,5	5,0
53,0	21,5		197	30	≤ 1		93		6,8	5,0
54,0		122				22		6,6		
54,7				52						

TABELA J2 (continuação) – Valores de cor aparente e verdadeira e pH do Ensaio 5 com taxa de filtração média de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FAP e de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Temp (°C)	Cor Aparente (uH)				Cor Verdadeira (uH)		pH		
		AB	AE	FAP	FRD	AB	AE	AB	AE	AC
55,0	21,0		198	15	≤ 1		97		6,5	5,0
57,0	21,0		196	16	1		93		6,6	5,0
59,0	20,5		201	34	≤ 1		95		6,7	5,0
59,7				53						
60,0		100				27		6,5		
61,0	20,0		195	12	≤ 1		100		6,5	5,0
63,0	20,0		195	32	≤ 1		96		6,6	5,0
64,5				52						
65,0	20,0		193	28	≤ 1		106		6,6	5,0
66,0		96				25		6,5		
67,0	21,0		193	24	≤ 1		111		6,6	5,0
69,0	21,0		212	45	≤ 1		101		6,8	5,0
69,5				54						
71,0	21,0		209	13	≤ 1		96		6,6	5,0
72,0	21,5	115	202	18	≤ 1	21	107	6,8	6,5	5,0

TABELA J3 – Valores de alcalinidade e absorvância do Ensaio 5 com taxa de filtração média de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FAP e de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Alcalinidade (mg CaCO_3/L)		Absorvância (254nm)					
	AE	AB	AE	AB	FAP	FRD	Rem. FAP	Rem. Tt
0	7,46	7,7	0,18	0,081	0,014	0,012	92,2	93,3
6	9,02	11	0,164	0,075	0,015	0,024	90,9	85,4
12	9,24	10,34	0,181	0,074	0,017	0,014	90,6	92,3
18	10,56	9,9	0,192	0,07	0,01	0,009	94,8	95,3
24	9,24	9,9	0,183	0,075	0,015	0,015	91,8	91,8
30	11,44	9,02	0,179	0,068	0,016	0,014	91,1	92,2
36	9,02	8,58	0,201	0,073	0,015	0,017	92,5	91,5
42	9,9	8,14	0,208	0,076	0,018	0,012	91,3	94,2
48	9,46	7,7	0,197	0,077	0,014	0,014	92,9	92,9
54	9,9	10,34	0,182	0,066	0,015	0,012	91,8	93,4
60	9,68	9,9	0,195	0,073	0,021	0,012	89,2	93,8
66	9,68	11,22	0,198	0,069	0,016	0,013	91,9	93,4
72	9,68	9,46	0,194	0,068	0,018	0,013	90,7	93,3

TABELA J4 – Valores de COD do Ensaio 5 com taxa de filtração média de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FAP e de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	COD									
	AE	Desvio padrão	AB	Desvio padrão	FAP	Desvio padrão	FRD	Desvio padrão	Rem. FAP	%Remoção
0	4,246	0,075	3,234	0,063	4,489	0,083	4,469	0,091		
1	5,039	0,158	3,110	0,062	3,179	0,090	2,750	0,158	36,91	45,4
25	4,457	0,102	2,689	0,075	3,766	0,031	3,462	0,260	15,50	22,3
49	4,247	0,030	2,980	0,116	2,537	0,460	2,560	0,050	40,26	39,7
72	4,337	0,086	2,642	0,078	2,302	0,029	2,498	0,052	46,92	42,4

TABELA J5: Dados de pH, turbidez, cor verdadeira, cor aparente, carbono orgânico dissolvido, absorvância, e alcalinidade para Ensaio 5.

Parâmetros	Água Bruta	Água de Estudo	Efluente do FAP	Efluente do FRD
pH	6,4 a 6,8	6,3 a 6,8	-	-
Turbidez (uT)	9,8 a 15,6	-	0,19 a 6,9	0,01 a 1,0
Cor Verdadeira (uH)	21 a 33	83 a 120	-	-
Cor Aparente (uH)	95 a 128	174 a 226	≤1 a 50	≤1 a 16
COD (mg/L)	2,642 a 3,234	4,246 a 5,039	2,302 a 4,489	2,498 a 4,469
Absorvância 254 nm	0,066 a 0,081	0,164 a 0,208	0,010 a 0,021	0,009 a 0,024
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	7,7 a 11,0	7,46 a 11,44	-	-
Taxas de filtração: FAP=120m/d e FRD=180 m/d Coagulação química: DSA= 8,0 ± 0,2 mg/L <p style="margin-left: 40px;">pH= 4,9 a 5,1</p> <p style="margin-left: 40px;">temperatura= 19,0 a 22,5 °C</p>

FIGURA J1: Perda de carga do FAP no ensaio 1 em função do tempo de funcionamento e das camadas do meio filtrante.

FIGURA J2: Perda de carga no ensaio 5 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA J3: Variação da turbidez no Ensaio 5 em função do tempo de funcionamento .

FIGURA J4 : Cor aparente do ensaio 5 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA J5 : COD do ensaio 5 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA J6 : Absorvância (254 nm) do ensaio 5 em função do tempo de funcionamento.

ANEXO L: ENSAIO 6

TABELA L1 – Valores de perda de carga do Ensaio 6 com taxa de filtração média de 120 m³/m².d no FAP e de 240 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Filtro Rápido Descendente (FRD)								Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP)									
	Nível Piezométrico (cm)				Perda de Carga (cm)				Nível Piezométrico (cm)					Perda de Carga (cm)				
	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P0	P1	P2	P3	P4	P1-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P0
0,0	12,6	32,9	47,4	66,0	20,3	14,5	18,6	53,4	45,0	47,4	48,0	48,0	48,0	2,4	0,6	0,0	0,0	3,0
1,0	12,9	38,1	56,2	82,8	25,2	18,1	26,6	69,9	45,0	48,2	49,1	49,2	49,2	3,2	0,9	0,1	0,0	4,2
2,0	12,7	37,2	54,8	83,4	24,5	17,6	28,6	70,7	45,0	48,7	50,2	50,3	50,4	3,7	1,5	0,1	0,1	5,4
3,0	12,7	37,2	54,8	85,1	24,5	17,6	30,3	72,4	45,0	49,1	51,0	51,1	51,2	4,1	1,9	0,1	0,1	6,2
4,0	12,7	37,1	54,8	86,6	24,4	17,7	31,8	73,9	45,0	49,7	52,0	52,1	52,2	4,7	2,3	0,1	0,1	7,2
4,6	12,7	37,2	54,9	87,0	24,5	17,7	32,1	74,3	45,0	50,2	52,8	52,9	52,9	5,2	2,6	0,1	0,0	7,9
5,0	12,7	37,7	55,9	91,5	25,0	18,2	35,6	78,8	45,0	49,3	50,5	50,7	50,7	4,3	1,2	0,2	0,0	5,7
6,0	12,7	37,8	56,1	93,3	25,1	18,3	37,2	80,6	45,0	49,8	51,4	51,6	51,7	4,8	1,6	0,2	0,1	6,7
7,0	12,7	37,8	56,1	96,0	25,1	18,3	39,9	83,3	45,0	50,5	52,6	52,7	52,7	5,5	2,1	0,1	0,0	7,7
8,0	12,8	38,0	56,5	97,7	25,2	18,5	41,2	84,9	45,0	51,2	53,8	54,0	54,0	6,2	2,6	0,2	0,0	9,0
9,0	12,8	38,0	56,6	99,8	25,2	18,6	43,2	87,0	45,0	51,6	55,0	55,2	55,2	6,6	3,4	0,2	0,0	10,2
10,0	12,8	38,2	56,9	102,1	25,4	18,7	45,2	89,3	45,0	53,0	56,4	56,5	56,6	8,0	3,4	0,1	0,1	11,6
11,0	12,8	38,4	57,2	105,5	25,6	18,8	48,3	92,7	45,0	54,0	57,8	57,9	57,9	9,0	3,8	0,1	0,0	12,9
12,0	12,8	38,5	57,5	109,1	25,7	19,0	51,6	96,3	45,0	54,8	58,7	58,9	59,0	9,8	3,9	0,2	0,1	14,0
13,0	12,7	37,4	55,9	110,7	24,7	18,5	54,8	98,0	45,1	55,7	59,8	60,1	60,1	10,6	4,1	0,3	0,0	15,0
13,7	12,7	37,4	56,2	114,2	24,7	18,8	58,0	101,5	45,1	56,0	60,4	60,7	60,8	10,9	4,4	0,3	0,1	15,7
14,0	12,8	38,1	57,5	117,8	25,3	19,4	60,3	105,0	45,1	52,0	53,4	53,5	53,5	6,9	1,4	0,1	0,0	8,4
15,0	12,7	37,2	56,0	118,9	24,5	18,8	62,9	106,2	45,1	52,2	54,5	54,5	54,5	7,1	2,3	0,0	0,0	9,4
16,0	12,7	36,3	54,5	119,0	23,6	18,2	64,5	106,3	45,1	53,6	55,8	55,9	56,0	8,5	2,2	0,1	0,1	10,9
17,0	12,7	36,5	54,9	122,0	23,8	18,4	67,1	109,3	45,1	54,5	58,1	58,5	58,5	9,4	3,6	0,4	0,0	13,4
18,0	12,7	35,4	53,1	121,2	22,7	17,7	68,1	108,5	45,1	55,6	59,8	60,0	60,0	10,5	4,2	0,2	0,0	14,9
19,0	12,7	35,6	53,8	126,8	22,9	18,2	73,0	114,1	45,1	56,7	61,3	61,5	61,6	11,6	4,6	0,2	0,1	16,5
20,0	12,7	35,0	55,0	133,2	22,3	20,0	78,2	120,5	45,1	57,8	62,6	62,8	62,9	12,7	4,8	0,2	0,1	17,8
21,0	12,6	35,1	54,2	135,1	22,5	19,1	80,9	122,5	45,1	58,5	64,1	64,2	64,2	13,4	5,6	0,1	0,0	19,1
22,0	12,6	35,5	55,4	144,8	22,9	19,9	89,4	132,2	45,0	53,2	55,5	55,6	55,6	8,2	2,3	0,1	0,0	10,6
23,0	3º Descarga de Fundo Intermediária								45,0	54,2	57,1	57,3	57,3	9,2	2,9	0,2	0,0	12,3
24,0	12,5	37,0	58,3	147,5	24,5	21,3	89,2	135,0	45,0	55,1	58,4	58,6	58,7	10,1	3,3	0,2	0,1	13,7
25,0	12,5	37,3	58,8	158,0	24,8	21,5	99,2	145,5	45,0	56,0	59,1	60,0	60,0	11,0	3,1	0,9	0,0	15,0
26,0	12,6	37,6	59,8	165,7	25,0	22,2	105,9	153,1	45,0	57,1	61,5	61,5	61,5	12,1	4,4	0,0	0,0	16,5
27,0	12,6	38,1	61,5	176,5	25,5	23,4	115,0	163,9	45,0	58,1	62,9	63,0	63,0	13,1	4,8	0,1	0,0	18,0
28,0	12,6	38,6	62,9	184,5	26,0	24,3	121,6	171,9	45,0	58,8	63,9	64,2	64,2	13,8	5,1	0,3	0,0	19,2
29,0	12,6	39,1	64,4	193,0	26,5	25,3	128,6	180,4	45,0	59,8	65,5	65,7	65,8	14,8	5,7	0,2	0,1	20,8
30,0	12,6	39,6	65,7	199,3	27,0	26,1	133,6	186,7	45,0	60,4	66,4	66,7	66,8	15,4	6,0	0,3	0,1	21,8
30,3	12,6	39,9	66,2	201,5	27,3	26,3	135,3	188,9	45,0	60,7	66,7	67,0	67,1	15,7	6,0	0,3	0,1	22,1
31,0	12,6	39,2	65,0	201,0	26,6	25,8	136,0	188,4	44,8	54,3	56,5	56,5	56,5	9,5	2,2	0,0	0,0	11,7
32,0	12,6	39,3	65,6	207,8	26,7	26,3	142,2	195,2	44,8	56,2	59,1	59,3	59,3	11,4	2,9	0,2	0,0	14,5
33,0	12,5	39,0	64,8	212,1	26,5	25,8	147,3	199,6	44,8	57,6	61,1	61,3	61,3	12,8	3,5	0,2	0,0	16,5
34,0	12,5	39,2	65,1	218,5	26,7	25,9	153,4	206,0	44,8	58,3	62,3	62,5	62,5	13,5	4,0	0,2	0,0	17,7
34,5	12,5	39,5	66,0	222,5	27,0	26,5	156,5	210,0	Lavagem do FRD						0,0	0,0	0,0	
35,0	12,6	38,5	56,3	74,8	25,9	17,8	18,5	62,2	44,8	59,4	63,7	63,9	63,9	14,6	4,3	0,2	0,0	19,1

TABELA L1 (continuação) – Valores de perda de carga do Ensaio 6 com taxa de filtração média de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FAP e de $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Filtro Rápido Descendente (FRD)								Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP)									
	Nível Piezométrico (cm)				Perda de Carga (cm)				Nível Piezométrico (cm)					Perda de Carga (cm)				
	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P0	P1	P2	P3	P4	P1-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P0
36,0	12,5	38,2	56,1	81,0	25,7	17,9	24,9	68,5	44,8	60,5	65,4	65,6	65,6	15,7	4,9	0,2	0,0	20,8
37,0	12,5	38,3	56,4	87,3	25,8	18,1	30,9	74,8	44,8	61,1	66,4	66,5	66,6	16,3	5,3	0,1	0,1	21,8
38,0	12,5	38,6	57,9	101,5	26,1	19,3	43,6	89,0	44,9	62,5	68,2	68,4	68,5	17,6	5,7	0,2	0,1	23,6
39,0	12,4	36,9	55,1	99,0	24,5	18,2	43,9	86,6	44,9	55,8	58,4	58,5	58,5	10,9	2,6	0,1	0,0	13,6
40,0	12,4	37,0	55,3	103,3	24,6	18,3	48,0	90,9	44,9	57,7	61,3	61,4	61,4	12,8	3,6	0,1	0,0	16,5
41,0	12,5	37,0	55,5	108,2	24,5	18,5	52,7	95,7	44,9	59,3	63,5	63,6	63,6	14,4	4,2	0,1	0,0	18,7
42,0	12,5	37,2	56,2	114,7	24,7	19,0	58,5	102,2	44,9	60,5	65,0	65,4	65,5	15,6	4,5	0,4	0,1	20,6
43,0	12,5	37,6	57,7	124,1	25,1	20,1	66,4	111,6	44,9	61,5	66,9	67,0	67,1	16,6	5,4	0,1	0,1	22,2
44,0	12,5	37,8	58,8	131,5	25,3	21,0	72,7	119,0	44,9	62,3	68,2	68,3	68,4	17,4	5,9	0,1	0,1	23,5
45,0	12,3	32,9	50,3	115,2	20,6	17,4	64,9	102,9	44,9	56,8	59,6	59,8	59,8	11,9	2,8	0,2	0,0	14,9
46,0	12,3	35,8	55,2	131,0	23,5	19,4	75,8	118,7	44,9	57,8	61,0	61,2	61,2	12,9	3,2	0,2	0,0	16,3
47,0	12,4	38,7	61,0	149,5	26,3	22,3	88,5	137,1	44,9	59,3	63,3	63,5	63,5	14,4	4,0	0,2	0,0	18,6
48,0	12,5	38,9	61,9	154,5	26,4	23,0	92,6	142,0	45,0	60,1	64,3	64,5	64,5	15,1	4,2	0,2	0,0	19,5
48,6	12,4	36,8	58,2	147,2	24,4	21,4	89,0	134,8	44,8	60,6	65,3	65,5	65,5	15,8	4,7	0,2	0,0	20,7
49,0	12,3	35,2	55,7	143,3	22,9	20,5	87,6	131,0	44,8	51,9	57,6	57,7	57,7	7,1	5,7	0,1	0,0	12,9
50,0	12,4	38,2	61,4	164,2	25,8	23,2	102,8	151,8	44,8	54,3	60,3	60,5	60,5	9,5	6,0	0,2	0,0	15,7
51,0	12,4	38,8	62,6	169,8	26,4	23,8	107,2	157,4	44,9	56,2	61,7	61,9	61,9	11,3	5,5	0,2	0,0	17,0
52,0	12,4	38,8	63,2	174,2	26,4	24,4	111,0	161,8	44,9	57,4	63,1	63,3	63,3	12,5	5,7	0,2	0,0	18,4
53,0	12,4	39,0	64,2	180,0	26,6	25,2	115,8	167,6	44,9	58,4	64,5	64,8	64,8	13,5	6,1	0,3	0,0	19,9
54,0	12,4	37,3	61,3	176,6	24,9	24,0	115,3	164,2	44,8	55,3	57,7	57,8	57,8	10,5	2,4	0,1	0,0	13,0
55,0	12,4	39,3	65,2	192,1	26,9	25,9	126,9	179,7	44,8	56,9	60,0	60,2	60,2	12,1	3,1	0,2	0,0	15,4
56,0	12,4	39,4	65,8	197,0	27,0	26,4	131,2	184,6	44,8	58,0	61,5	61,7	61,7	13,2	3,5	0,2	0,0	16,9
57,0	12,5	39,7	67,0	203,8	27,2	27,3	136,8	191,3	44,8	59,1	63,2	63,3	63,3	14,3	4,1	0,1	0,0	18,5
58,0	12,4	40,2	68,7	210,8	27,8	28,5	142,1	198,4	44,8	60,3	64,7	65,0	65,0	15,5	4,4	0,3	0,0	20,2
59,0	12,4	41,1	70,6	218,8	28,7	29,5	148,2	206,4	44,8	55,8	58,3	58,5	58,5	11,0	2,5	0,2	0,0	13,7
59,5	12,4	41,8	72,0	224,4	29,4	30,2	152,4	212,0	Lavagem do FRD									
60,0	12,5	37,2	56,8	79,2	24,7	19,6	22,4	66,7	44,9	58,3	61,5	61,6	61,6	13,4	3,2	0,1	0,0	16,7
61,0	12,5	37,1	51,7	83,3	24,6	14,6	31,6	70,8	44,9	59,6	63,6	63,7	63,7	14,7	4,0	0,1	0,0	18,8
62,0	12,4	34,1	53,0	84,6	21,7	18,9	31,6	72,2	44,9	61,3	65,9	66,0	66,0	16,4	4,6	0,1	0,0	21,1
63,0	10ª Descarga de Fundo Intermediária								44,9	62,0	66,9	67,1	67,2	17,1	4,9	0,2	0,1	22,3
64,0	12,5	36,9	56,6	104,1	24,4	19,7	47,5	91,6	44,9	58,5	61,7	61,9	61,9	13,6	3,2	0,2	0,0	17,0
65,0	12,5	35,9	54,9	106,5	23,4	19,0	51,6	94,0	44,9	60,8	64,8	65,0	65,0	15,9	4,0	0,2	0,0	20,1
66,0	12,5	36,3	55,6	112,3	23,8	19,3	56,7	99,8	44,9	62,1	65,3	66,8	66,8	17,2	3,2	1,5	0,0	21,9
67,0	12,5	36,5	55,9	120,1	24,0	19,4	64,2	107,6	44,9	63,3	68,6	68,8	68,8	18,4	5,3	0,2	0,0	23,9
68,0	12,5	36,6	56,4	129,5	24,1	19,8	73,1	117,0	44,9	64,6	70,3	70,4	70,5	19,7	5,7	0,1	0,1	25,6
69,0	12,5	36,7	56,9	139,8	24,2	20,2	82,9	127,3	44,9	65,7	72,0	73,4	73,5	20,8	6,3	1,4	0,1	28,6
70,0	12,5	37,0	57,3	147,3	24,5	20,3	90,0	134,8	44,9	66,3	73,1	74,2	75,1	21,4	6,8	1,1	0,9	30,2
71,0	12,5	37,2	57,7	158,1	24,7	20,5	100,4	145,6	44,9	66,7	74,0	75,3	76,3	21,8	7,3	1,3	1,0	31,4
72,0	12,5	37,5	58,3	167,9	25,0	20,8	109,6	155,4	44,9	67,3	74,9	76,1	77,1	22,4	7,6	1,2	1,0	32,2

TABELA L2 – Valores de cor aparente e verdadeira e pH do Ensaio 6 com taxa de filtração média de 120 m³/m².d no FAP e de 240 m³/m².d no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Temp. (°C)	Cor Aparente (uH)				Cor Verdadeira (uH)		pH		
		AB	AE	FAP	FRD	AB	AE	AB	AE	AC
0	20	81	185	-	-	13	92	6,4	6,4	5,0
1	19,5	89	197	4	≤ 1	12	96	6,3	6,6	5,0
3	19	-	202	4	≤ 1	-	112	6,6	6,8	5,0
5	19	-	182	7	≤ 1	-	93	6,7	6,9	5,0
7	19	85	192	3	≤ 1	18	109	6,6	6,6	5,1
9	18,5	-	179	3	≤ 1	-	95	7,0	7,1	5,1
11	19	-	201	19	≤ 1	-	93	6,8	7,0	5,0
13	20	117	221	38	≤ 1	17	114	6,6	6,8	4,9
15	21,5	-	205	3	≤ 1	-	91	6,4	6,7	4,8
17	22	-	200	7	≤ 1	-	109	6,5	6,5	4,9
19	22	91	197	26	3	-	109	6,5	6,4	4,9
21	21	-	168	49	12	-	85	6,5	6,4	4,9
23	20	-	201	9	5	-	113	6,4	6,5	5,0
25	19,5	80	190	14	≤ 1	-	76	6,4	6,4	5,0
27	19,5	-	210	37	≤ 1	-	128	6,3	6,5	5,0
29	19,5	-	184	45	≤ 1	-	104	6,6	6,4	5,0
30,3	-	-	-	50	-	-	-	-	-	5,0
31	19,5	80	185	7	≤ 1	20	94	6,3	6,4	5,0
33	19,5	-	186	11	≤ 1	-	93	6,6	6,5	5,0
35	19,5	-	192	37	≤ 1	-	122	6,9	6,8	5,0
37	19,5	210	294	33	≤ 1	26	87	6,3	6,5	4,9
38	-	-	-	89	-	-	-	-	-	-
39	20	-	329	3	≤ 1	-	97	6,5	6,4	4,9
41	20	-	366	26	≤ 1	-	133	6,5	6,4	4,9
43	20	235	340	33	≤ 1	27	112	6,5	6,3	4,9
45	20	-	337	10	1	-	106	6,6	6,4	5,0
47	19,5	-	321	23	3	-	109	6,5	6,4	4,9
48,6	-	-	-	55	-	-	-	-	-	-
49	19	238	308	7	≤ 1	29	103	6,5	6,7	5,0
51	18,5	-	300	16	≤ 1	-	89	6,5	6,7	5,0
53	18,5	-	307	50	1	-	115	6,6	6,4	5,0
55	18,5	220	293	3	≤ 1	31	104	6,4	6,7	5,0
57	18,5	-	283	38	≤ 1	-	88	6,6	6,5	5,0
58	-	-	-	56	-	-	-	-	-	-
59	18,5	-	354	13	≤ 1	-	114	6,5	6,4	5,0
61	19	407	455	33	1	51	120	6,4	6,3	4,9
63	19	-	>500	58	≤ 1	-	108	6,3	6,2	4,8
65	20	-	304	10	1	-	108	6,5	6,6	5,0
67	20	215	281	28	≤ 1	32	103	6,3	6,4	4,9
69	19,5	-	259	48	1	-	81	6,3	6,4	5,0
72	-	200	-	-	-	35	-	-	-	-

TABELA L3 – Valores de alcalinidade e absorvância do Ensaio 6 com taxa de filtração média de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FAP e de $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	Alcalinidade (mg CaCO_3/L)		ABS(254nm)					
	AE	AB	AE	AB	FAP	FRD	%Rem. FAP	%Rem. FRD
0	10,56	9,68	0,182	0,053				
1	10,34	10,56	0,183	0,045	0,014	0,007	92,35	96,17
7	10,58	9,68	0,183	0,054	0,018	0,016	90,16	91,26
13	9,24	7,92	0,191	0,054	0,024	0,013	87,43	93,19
19			0,189	0,057	0,025	0,022	86,77	88,36
25	9,90	7,26	0,144	0,058	0,014	0,008	90,28	94,44
31	8,80	8,14	0,179	0,059	0,010	0,020	94,41	88,83
37	8,62	7,26	0,204	0,097	0,035	0,017	82,84	91,67
43			0,225	0,095	0,026	0,016	88,44	92,89
49	8,80	6,60	0,207	0,099	0,020	0,020	90,34	90,34
55	9,90	7,92	0,200	0,102	0,022	0,026	89,00	87,00
61	8,14	8,58	0,253	0,150	0,042	0,030	83,40	88,14
67	7,70	7,04	0,220	0,143	0,043	0,051	80,45	76,82
72	7,26	6,38	0,198	0,141	0,036	0,041	81,82	79,29

TABELA L4 – Valores de COD do Ensaio 6 com taxa de filtração média de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FAP e de $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no FRD em função do Tempo de Funcionamento (TF).

TF (h)	COD (mg/L)								
	AE	Desvio padrão	AB	Desvio padrão	FAP	Desvio padrão	FRD	Desvio padrão	%Rem FAP % Rem. FRD
0	4,145		2,923	0,137					
1	3,013	0,096	2,929	0,104	2,429	0,063	2,377	0,046	19,383 21,1
13	4,682	0,098	2,591	0,110	3,100	0,276	2,666	0,044	33,789 43,1
37	5,375	0,185	4,026	0,073	4,668	0,119	4,411	0,161	13,153 17,9
49	4,681	0,085	3,801	0,020	4,097	0,088	3,733	0,045	12,476 20,3
61	6,766	0,137	6,002	0,014	3,810	0,051	3,470	0,057	43,689 48,7
69	4,265	0,047	4,976	0,135	3,872	0,040	3,951	0,055	9,215 7,4

TABELA L5: Dados de pH, turbidez, cor verdadeira, cor aparente, carbono orgânico dissolvido, absorvância, e alcalinidade para Ensaio 6.

Parâmetros	Água Bruta	Água de Estudo	Efluente do FAP	Efluente do FRD
pH	6,3 a 6,9	6,2 a 7,1	-	-
Turbidez (uT)	8,8 a 49	-	0,19 a 6,1	0,01 a 0,36
Cor Verdadeira (uH)	12 a 51	81 a 133	-	-
Cor Aparente (uH)	80 a 407	179 a >500	3 a 50	≤1 a 12
COD (mg/L)	2,591 a 6,002	3,013 a 6,766	2,429 a 4,668	2,377 a 4,411
Absorvância 254nm	0,045 a 0,150	0,144 a 0,253	0,010 a 0,043	0,007 a 0,051
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	6,38 a 10,56	7,26 a 10,58	-	-
Taxas de filtração: FAP=120m/d e FRD=240m/d Coagulação química: DSA= 10,0 ± 0,2 mg/L pH de coagulação = 4,8 a 5,1 temperatura= 18,5 a 22,0 °C

FIGURA L1: Perda de carga do FAP no ensaio 1 em função do tempo de funcionamento e das camadas do meio filtrante.

FIGURA L2: Perda de carga no ensaio 6 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA L3: Variação da turbidez no Ensaio 6 em função do tempo de funcionamento .

FIGURA L4 : Cor aparente do ensaio 6 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA L5 : COD do ensaio 6 em função do tempo de funcionamento.

FIGURA L : Absorvância (254 nm) do ensaio 6 em função do tempo de funcionamento.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHSAN, T.; ALAERTS, G.J.; BUITEMAN, J.P. (1996) Direct horizontal-flow roughing filtration. Part I : optimization of process parameters. J Water SRT – Aqua, v. 45, nº 5, p. 262-271.

AMARAL, S.F. *et al.* (2001) Filtração ascendente em pedregulho seguida de filtração descendente em areia (dupla filtração) aplicada para o tratamento de águas com presença de algas. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. *Anais* . João Pessoa, PR.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th edition, Washington, USA.

AMIRTARAJAH, A. (1989). The mechanisms of coagulation. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE COAGULAÇÃO E FILTRAÇÃO DIRETA. São Carlos, Brasil, 1989. *Anais*. São Carlos, EESC – USP. V.1, p.1-19.

AMIRTARAJAH, A. & MILLS, K.J. Rapid-Mix Design for Mechanisms of Alum Coagulation. Journal American Water Works Association, v.74, n.4, p.120.

AMIRTARAJAH, A.; DENNET, K.E.; STUDSTILL, A. (1993) Ferric chloride coagulation for removal of dissolved organic matter and trihalomethane precursors. *Water Science and Technology*. Vol.27. nº 11. p. 113-121.

BELZILE, N. JOLY, H. A.; LI, H. (1997) Characterization of humic substances extracted from Canadian lake sediments. *Can. J. Spectrosc.*, v. 75, p.14-27.

BENSCHOTEN, J.E.V. & EDZWALD J. K. (1990) Chemical aspects of coagulation using aluminium salts – II. Coagulation of fulvic acid using alum and polyaluminum chloride. *Water Research* Vol.24, nº 12, p. 1527-1535

BOURBONNIERE, R. A.& MEYERS, P. A. (1978) Characterization of sedimentary humic matter by elemental and spectroscopic methods. *Can. J. Spectrosc.*, v. 23, p.35-41.

BOTTERO, J.Y. & BERSILLON, J.L. (1989) Aluminum and iron (III) chemistry some implications for organic substance removal .In *Aquatic humic substances: Influence on fate and treatment of pollutants*. Ed. Suffet, I.H. & MacCarthy, P. USA, 1989.

BRASIL. Leis, etc. (2000). Ministério da Saúde. Portaria nº 1469 de 29 de Dezembro de 2000. Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade.

BROO, A.E.; BERGHULT, B.; HEDBERG, T. (1999) Drinking Water Distribution – The Effect of Natural Organic Matter (NOM) on the Corrosion of Iron and Copper. *Water Science and Tecnology*. Vol.40 nº9 p.17-24

CAMPOS, S.X. (2001) Influência do tamanho das substâncias húmicas na coagulação, floculação e sedimentação em tratamento de água . Relatório 1 do processo de Doutorado nº 00/07 865-7 FAPESP

CRUZ VELEZ, C.H. (1993) *Filtração Direta Ascendente com Alta Taxa*. São Carlos. 220p. Dissertação (mestrado)– Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CRUZ VELEZ, C.H.; GALVIS, G.; VISSCHER, J.T.; DIBERNARDO, L.; ALAERTS, G. (1998). Otimización de sistemas de potabilización com filtración rápida: La filtración gruesa dinámica y la clarificación com filtración gruesa ascendente, una alternativa factible. / Apresentado à Conferência Internacional Agua y Sustentabilidad, Cali, 1998/

DALSASSO, R.L. (1999) *Pré-ozonização de Águas contendo Agrotóxicos, Seguida de Filtração Direta*. Florianópolis. 135p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

DAVIS, W. M.; ERICKSON, C. L.; JOHNSTON, C. T.; DELFINO, J. J.; PORTER, J. E. (1999) Quantitative fourier transform infrared spectroscopic investigation of humic substance functional group composition. *Chemosphere*, v. 38, p.2913-2928.

DI BERNARDO, L. (1993) *Métodos e Técnicas de tratamento de água*. Rio de Janeiro, ABES. Vol.1 e 2.

DI BERNARDO, L., BRANDÃO, C.C.S.; HELLER, L. (1999). Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas, Rio de Janeiro, ABES.

DI BERNARDO, L. & ISAAC, R.L. (2001). Upflow Direct Filtration – A Review. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN RAPID GRANULAR FILTRATION IN WATER AND WASTEWATER TREATMENT. London, 2001. *Anais*. UK

DI BERNARDO, L. & YATSUGAFU, P.H. (1987). Estudos sobre a influência da taxa de filtração, do NMP de coliformes totais do afluente e do número de descargas de fundo intermediárias na qualidade do efluente de sistemas de filtração direta ascendente. / Apresentado ao 14 ° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, 1987/

EDWARDS, G. & AMIRTHARAJAH, A. (1985) Removing color caused by humic acids. *Journal American Water Works Association*, v.77, n.3, p.50-57, Mar.

EDWALD, J.K. & TOBIASON, J.E. (1999) Enhanced coagulation: us requirements and a broader view. *Water Science and Tecnology*, nº9, Vol.40 p.63-70

EIKEBROKK, B. (1999) Coagulation-Direct Filtration of Soft, Low Alkalinity Humic Waters. *Water Science and Tecnology*. Vol 40, nº9, p. 55-62.

FERNANDES , L.C. (1987). *Influência das características da camada suporte e dos métodos de realização de descargas de fundo intermediárias no desempenho de sistemas de filtração direta*

ascendente. São Carlos. 297 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

GALVIS, G; LATORRE, J.; OCHOA, A .E.; VISSCHER, J.T. (1996). Comparison of horizontal and upflow roughing filtration. In: *Advances in slow sand filtration and alternative biological filtration*. John Wiley & Sons. United Kingdom.

GUSMÃO,P.T.R. (2001) . *Utilização de Filtração Direta Ascendente como Pré-Tratamento para Tratamento de Água de Abastecimento*. São Carlos, 335p. Tese de doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

HAMAN, C.L. & McKINNEY, R.E. (1968). Upflow filtration process. *Journal of the American Water Works Association*, v.60,n.9,p.1023-1039, Sept.

HESSE, S.; KLEISER, G.; FRIMMEL, F.H. (1999) Characterization of Refractory Organic Substances (ROS) in Water Treatment. *Water Science and Technology*. Vol.40, nº9 p.1-7.

IBGE (2002) Distritos, total e abastecidos, com tratamento de água, por tipo de tratamento, segundo as grandes regiões, unidades da federação, regiões metropolitanas e municípios das capitais, 2000. <http://www.ibge.gov.br> Esta tecnologia tem sido capaz de produzir água potável com menor custo e vantagens operacionais.

ISAAC, R.L. (1997) *Influência da disposição inicial dos grãos da areia na eficiência da filtração direta ascendente*. São Carlos. 174p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

KURODA, E.K. (2002) *Avaliação da filtração direta ascendente em pedregulho como pré-tratamento em sistemas de dupla filtração*. São Carlos. 217 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LARA PINTO, D.M.C.P. (1994). *Influência das descargas de fundo intermediárias na filtração direta ascendente de alta taxa*. São Carlos. 194 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos , Universidade de São Paulo.

MEGDA, C.R. (1999) *Filtração Direta Ascendente em Pedregulho como Pré-tratamento à Filtração Rápida Descendente*. São Carlos. 167 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos , Universidade de São Paulo.

MENDES, C.G.N. (1985). *Estudo das influências das dosagens de produtos químicos na filtração direta ascendente*. São Carlos. 117 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos , Universidade de São Paulo.

MEYERS , P.A.; ISHIWATARI, R. (1993) Lacustrine organic geochemistry: an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. *Org. Geochem.*, v. 20, p.867-900.

MIKKI, V.; SENESI, N.; HANNINEN, K. (1997) Characterization of humic materials formed by composting of domestic and industrial biowastes. *Chemosphere*, v.34, p.1639-1651.

NARKIS, N. & REBHUN,M. (1977) Stoichiometric Relationship between humic and fulvic acids and flocculants. *Journal AWWA*. Jun. p. 325 – 328.

ODEGAARD, H.; EIKEBROKK, B.; STORHAUG, R. (1999) Processes for the Removal of Humic Substances From Water – an Overview Based on Norwegian Experiences. *Water Science and Technology*. Vol 40, nº9, p.37-46

O,MÉLIA, C.R.; BECKER, W.C.; AU, K.K. (1999) *Water Science and Tecnologia*. Vol.40, nº9, p.47-54

OWEN, D.M.; AMY, G.L.; CHOWDHURY, Z.K.;PAODE, R.; MCCOY,G.; VISCOSIL,K. (1995) NOM characterization and treatability , *Journal AWWA*

PATERNIANI, J.E.S. (1986). *Estudo da influência da descarga de fundo na eficiência da remoção de microrganismos em sistemas de filtração direta ascendente*. São Carlos. 139 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

RATNAWEERA, H.; GJESSING, E.; OUG, E. (1999) Influence of Physical-Chemical Characteristics of Natural Organic Matter (NOM) on Coagulation Properties: an Analysis of Eight Norwegian Water Sources. *Water Science and Technology* Vol.40 nº4-5, p.89-95.

RISSOLI, M.C.M.C.; CARVALHO, R. P. M. ; BRANDÃO, C.C.S. (2000) Efeito da coagulação química na (pré) filtração em pedregulho de águas com presença de algas, e seu potencial como pré-tratamento para filtração rápida descendente. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. *Anais*. Rio de Janeiro.

ROSA, A . H.; ROCHA,J.; FURLAN, M. (2000) Substâncias Húmicas de Turfa: Estudo dos parâmetros que influenciam no processo de extração alcalina. *Química Nova*, vº 23, nº4, p. 472 – 476.

SALDANHA, J.R. (2002) *Avaliação de uma instalação de dupla filtração em escala real*. São Carlos. 223 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SALTNES, T; EIKEBROKK,B. ODEGAARD,H.,(2002). Coagulation optimization for NOM removal by direct filtration in clay aggregate filters. *Journal of Water Supply: Research and technology – AQUA*

SANTOS, A. (1978) Ácido húmico e ácido fúlvico no sedimento de dois lagos na Amazônia Central. São Carlos. 138p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos.

SINGER, P.C. (1999) Humic Substances as Precursors for Potentially Harmful Disinfection By-Products, *Water Science and Technology* Vol.40 nº9 p.25-30

SRINIVASAN,P.T.; VIRARAGHAVAN,T.; SUBRAMANIAN,K.S. (1999) Aluminium in Drinking Water: An Overview. *Water S.A.* Vol.25. Nº1.Jan.

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

TOLEDO, A.P.P. (1973) Contribuição ao estudo físico-químico de ácido húmico extraído de sedimento. São Paulo. 137p. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo.

TOLEDO, A. P. P.; CAMPOS, J.R. ; SANTOS, A. (1982) Substâncias Húmicas da Amazônia. III – Interações de ácido húmico em dispersão com sulfato de alumínio. Anais do XVIII Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitária Y Ambiental. Panamá

VIK, E.A.; EIKEBROKK, B. (1989) Coagulation process for removal of humic substances from drinking water .In Aquatic humic substances: Influence on fate and treatment of pollutants. Ed. Suffet, I.H. & MacCarthy, P. USA, 1989.

VOLK, C. *et al.* (2000) Impact of Enhanced and Optimized Coagulation on Removal of Organic Matter and Its Biodegradable Fraction in Drinking Water. *Water Reserch*. Vol.34. nº12 p.3247-3257.

WEGELIN , M. ; INGALLINELLA, A.M.; STECCA, L.M. (1996). Filtración gruesa ascendente en manto de grava – Reabilitación de la etapa previa a los filtros lentos de la planta potabilizadora de Tarata, Bolivia. / Apresentado à Conferencia Internacional Sobre Mejoramiento De La Calidad del Agua, Cali, 1996/.