

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 26/6/2000

Ass.: *Elson*

**EMPREGO DA FILTRAÇÃO ASCENDENTE EM
PEDREGULHO PARA PÓS-TRATAMENTO DE
EFLUENTE DE REATOR ANAERÓBIO DE
LEITO EXPANDIDO TRATANDO ESGOTOS
SANITÁRIOS**



Guilherme Antonio Finazzi

DEDALUS - Acervo - EESC



31100008627

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

São Carlos

2000

Class.	TESE-EESC
Cutt.	2209
Tombo	0137/00

311 00008627

S/S 1084432

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

F491e Finazzi, Guilherme Antonio
Emprego da filtração ascendente em pedregulho para
pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio de
leito expandido tratando esgotos sanitários /
Guilherme Antonio Finazzi. -- São Carlos, 2000.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.

Área: Hidráulica e Saneamento.

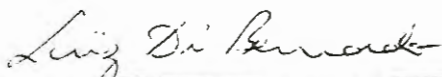
Orientador: Prof. Dr. Luiz Di Bernardo.

1. Filtros de pedregulho.
 2. Tratamento anaeróbio.
 3. Esgoto sanitário.
 4. Reator de leito expandido.
- I. Título.

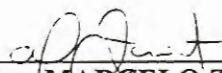
FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Bacharel **GUILHERME ANTONIO FINAZZI**

Dissertação defendida e aprovada em 19-05-2000
pela Comissão Julgadora:




Prof. Titular **LUIZ DI BERNARDO (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **MARCELO ZAIAT**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **BERNARDO ARANTES DO NASCIMENTO TEIXEIRA**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)



Prof. Associado **EDUARDO CLETO PIRES**
Coordenador da Programa de Pós-Graduação
em Hidráulica e Saneamento



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

*Ao meu pai.
pelo seu imenso carinho*

AGRADECIMENTOS

A todos que, direta ou indiretamente, me auxiliaram na execução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Luiz Di Bernardo, pela orientação que me foi prestada.

Aos professores Wânia da Conceição Moreira, Ivani Aparecida Carlos e Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira, pela oportunidade que me deram aceitando preencher as cartas de recomendação.

Aos professores do Departamento, pela formação adquirida.

Ao técnico Francisco Carlos Bergamin, pela construção e montagem da instalação dos filtros de pedregulho.

Aos técnicos do Laboratório de Saneamento, Maria Aparecida Peres Viudes, Paulo Fragiácomo e Júlio César Trofino, pelo auxílio em parte da fase experimental.

A Eloísa Pozzi Gianotti, pela realização da microscopia das descargas de fundo.

A todos os funcionários do Departamento, pela amizade e prestação de serviços.

Ao Neyson e Margarida, que muito contribuíram na parte experimental e na elaboração desse texto.

Aos amigos Válder, Neyson, Margarida, Renata, Hélio, Jeanette, Regina, Paulo S. Scalize, Eraldo, Paulo Tadeu e Lucy pela amizade e apoio durante a elaboração dessa dissertação.

Aos funcionários dos Serviços de Transporte e Limpeza, pelo transporte de material e pela amizade.

Ao Prof. Dr. Eugênio Foresti, pela administração da verba destinada ao projeto.

Ao PROSAB, pela oportunidade da realização desse trabalho.

Ao CNPq, pela bolsa concedida.

A Celso, meu pai (*in memoriam*), Marina, minha mãe, minha família e Priscila, minha noiva, pelo incentivo, carinho e apoio para que tudo fosse possível.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xx
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xxii
RESUMO.....	xxiii
<i>ABSTRACT</i>	xxiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	6
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
3.1 <u>Biotecnologia anaeróbia</u>	7
3.2- <u>Reator de Leito Expandido</u>	11
3.3- <u>Filtração em Pedregulho</u>	17
3.4- <u>Mecanismos de tratamento em filtros de pedregulho</u>	19
3.4.1- Mecanismos de Transporte.....	19
3.4.2- Mecanismos de Aderência.....	20
3.5- <u>Filtros de pedregulho utilizados no pós-tratamento de esgoto sanitário</u>	23
3.6- <u>Classificação dos filtros de pedregulho</u>	26
3.7- <u>Filtro de Pedregulho com Escoamento Ascendente</u>	26
3.8- <u>A experiência da EESC - USP na pesquisa de filtros de pedregulho</u>	29
4- MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
4.1- <u>Generalidades</u>	42
4.2- <u>Descrição do sistema de tratamento do esgoto sanitário</u>	42
4.3- <u>Operação do RALEx e dos filtros de pedregulho</u>	48
4.4- <u>Caracterização do esgoto armazenado na caixa de 1000 litros</u>	50
4.5- <u>Coleta, análise e exames das amostras</u>	50
4.6- <u>Ensaio hidrodinâmico</u>	52
4.7- <u>Microscopia das descargas de fundo</u>	52
5- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
5.1- <u>Perfil 24 horas do esgoto armazenado na caixa de 1000 litros</u>	53
5.2- <u>Operação dos filtros de pedregulho</u>	60
5.1.1- Fases de operação.....	60

5.1.2- Sólidos Sedimentáveis (SS).....	67
5.1.3- Sólidos suspensos totais (SST).....	68
5.1.4- Sólidos suspensos fixos (SSF).....	71
5.1.5- Sólidos suspensos voláteis (SSV).....	73
5.1.6- Sólidos totais (ST).....	77
5.1.7- Sólidos totais fixos (STF).....	79
5.1.8- Sólidos totais voláteis (STV).....	82
5.1.9- DQO.....	84
5.1.10- DBO total.....	87
5.1.11- Relação DBO/DQO.....	90
5.1.12- pH e Alcalinidade total.....	90
5.1.13- Nitrogênio total.....	96
5.1.14- Nitrogênio amoniacal.....	98
5.1.15- Nitrito e nitrato.....	101
5.1.16- Fosfato total.....	103
5.1.17- Coliformes totais e coliformes fecais.....	105
5.1.18- Perda de carga nos filtros.....	108
5.3- <u>Ensaio hidrodinâmico</u>	109
5.4- <u>Microscopia das descargas de fundo</u>	111
6- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	115
7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
ANEXO A.....	122
ANEXO B.....	144
ANEXO C.....	162
ANEXO D.....	179
ANEXO E.....	199
ANEXO F.....	203
ANEXO G.....	206

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1: Etapas da digestão anaeróbia.....	8
FIGURA 4.1: Esquema do sistema de tratamento de esgoto sanitário através de reator anaeróbio de leito expandido.....	43
FIGURA 4.2: Esquema do Reator Anaeróbio de Leito Expandido em corte. Dimensões dadas em metros.....	44
FIGURA 4.3: Esquema da estrutura de sustentação e dos filtros de pedregulho.....	45
FIGURA 4.4: Fotografia do sistema experimental utilizado.....	46
FIGURA 4.5: Fotografia da caixa armazenadora de esgoto e da bomba MARK XD1 utilizada.....	46
FIGURA 4.6: Fotografia da caixa de distribuição e registros de agulha utilizados no controle de vazão de entrada dos filtros.....	46
FIGURA 4.7: Fotografia dos filtros de pedregulho de escoamento ascendente empregados.....	47
FIGURA 4.8: Fotografia da parte inferior dos filtros mostrando a canalização de distribuição do esgoto sanitário, as válvulas e as mangueiras de descarte das descargas de fundo.....	47
FIGURA 4.9: Esquema de uma carreira completa de filtração em função da perda de carga no meio granular dos filtros de pedregulho na fase 1.....	49
FIGURA 4.10: Esquema de uma carreira completa de filtração em função da perda de carga no meio granular dos filtros de pedregulho nas fases 2 e 3.....	49
FIGURA 5.1: Temperatura (°C) do efluente do RALEx e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.....	53
FIGURA 5.2: pH do efluente do RALEx e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.....	54
FIGURA 5.3: Turbidez (UT) do efluente do RALEx e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.....	54
FIGURA 5.4: Alcalinidade total (mg CaCO ₃ /L) do efluente do RALEx e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.....	55
FIGURA 5.5: Alcalinidade parcial - AP e alcalinidade intermediária - AI (mg CaCO ₃ /L) do efluente do RALEx e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.....	55
FIGURA 5.6: Ácidos voláteis (mg HAC/L) do efluente do RALEx e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.....	56

FIGURA 5.7: DQO bruta (mg O ₂ /L) do efluente do RALEx e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.....	56
FIGURA 5.8: DQO filtrada (mg O ₂ /L) do efluente do RALEx e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.....	57
FIGURA 5.9: Nitrogênio total (mg/L) do efluente do RALEx e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.....	57
FIGURA 5.10: Nitrogênio amoniacal (mg/L) do efluente do RALEx e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.....	58
FIGURA 5.11: Sólidos totais (mg/L) do efluente do RALEx e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.....	58
FIGURA 5.12: Sólidos suspensos totais (mg/L) do efluente do RALEx e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.....	59
FIGURA 5.13a: Sólidos suspensos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 09/08/1999 a 06/09/1999 (1a. fase de operação).....	70
FIGURA 5.13b: Sólidos suspensos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 07/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação).....	70
FIGURA 5.14: Sólidos suspensos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999.....	70
FIGURA 5.15: Sólidos suspensos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999.....	71
FIGURA 5.16a: Sólidos suspensos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 09/08/1999 a 06/09/1999 (1a. fase de operação).....	72
FIGURA 5.16b: Sólidos suspensos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 07/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação).....	72
FIGURA 5.17: Sólidos suspensos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999.....	73
FIGURA 5.18: Sólidos suspensos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999.....	73
FIGURA 5.19a: Sólidos suspensos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 09/08/1999 a 06/09/1999 (1a. fase de operação).....	74

FIGURA 5.19b: Sólidos suspensos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 07/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação).....	75
FIGURA 5.20: Sólidos suspensos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999.....	75
FIGURA 5.21: Sólidos suspensos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999.....	75
FIGURA 5.22a: Sólidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d -período de 09/08/1999 a 06/09/1999 (1a. fase de operação).....	78
FIGURA 5.22b: Sólidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d -período de 07/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação).....	78
FIGURA 5.23: Sólidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999.....	78
FIGURA 5.24: Sólidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999.....	79
FIGURA 5.25a: Sólidos totais fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 09/08/1999 a 06/09/1999 (1a. fase de operação).....	80
FIGURA 5.25b: Sólidos totais fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 07/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação).....	81
FIGURA 5.26: Sólidos totais fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999.....	81
FIGURA 5.27: Sólidos totais fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999.....	81
FIGURA 5.28a: Sólidos totais voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 09/08/1999 a 06/09/1999 (1a. fase de operação).....	83
FIGURA 5.28b: Sólidos totais voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 07/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação).....	83
FIGURA 5.29: Sólidos totais voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999.....	83

FIGURA 5.30: Sólidos totais voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999.....	84
FIGURA 5.31a: DQO (mgO ₂ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d – período de 09/08/1999 a 02/09/1999 (1a. fase de operação).....	85
FIGURA 5.31b: DQO (mgO ₂ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d – período de 06/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação).....	85
FIGURA 5.32: DQO (mgO ₂ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d – período de 04/10/1999 a 09/11/1999.....	86
FIGURA 5.33: DQO (mgO ₂ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999.....	87
FIGURA 5.34: DBO (mgO ₂ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d – período de 09/08/1999 a 02/09/1999 (1a. fase de operação).....	89
FIGURA 5.35: DBO (mgO ₂ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d – período de 04/10/1999 a 09/11/1999.....	89
FIGURA 5.36: DBO (mgO ₂ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d – período de 09/11/1999 a 09/12/1999.....	89
FIGURA 5.37a: pH do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 09/08/1999 a 25/08/1999 (1a. fase de operação).....	91
FIGURA 5.37b: pH do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 26/08/1999 a 14/09/1999 (1a. fase de operação).....	91
FIGURA 5.37c: pH do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 15/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação).....	92
FIGURA 5.38: pH do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	93
FIGURA 5.39: pH do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	94
FIGURA 5.40a: Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 09/08/1999 a 25/08/1999 (1a. fase de operação).....	95
FIGURA 5.40b: Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 26/08/1999 a 14/09/1999 (1a. fase de operação).....	95
FIGURA 5.40c: Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 15/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação).....	95
FIGURA 5.41: Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	96

FIGURA 5.42: Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999.....	96
FIGURA 5.43: Nitrogênio total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 09/08/1999 a 04/10/1999 - 1a. fase de operação.....	97
FIGURA 5.44: Nitrogênio total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999.....	98
FIGURA 5.45: Nitrogênio total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999.....	98
FIGURA 5.46: Nitrogênio amoniacal (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999.....	99
FIGURA 5.47: Nitrogênio amoniacal (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999.....	99
FIGURA 5.48: Nitrito (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999.....	101
FIGURA 5.49: Nitrito (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999.....	102
FIGURA 5.50: Nitrato (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999.....	102
FIGURA 5.51: Nitrato (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999.....	103
FIGURA 5.52: Fosfato Total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 09/08/1999 a 04/10/1999 - 1a. fase de operação.....	104
FIGURA 5.53: Fosfato total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999.....	105
FIGURA 5.54: Fosfato total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999.....	105
FIGURA 5.55: Coliformes totais [(NMP/100 mL) x 0,001]do afluente e efluentes dos filtros -taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 09/08/1999 a 04/10/1999 - 1a. fase de operação.....	106
FIGURA 5.56: Coliformes totais [(NMP/100 mL) x 0,001]do afluente e efluentes dos filtros -taxa de 120 m ³ /m ² d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999.....	107
FIGURA 5.57: Coliformes totais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos filtros -taxa de 170 m ³ /m ² d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999.....	107

FIGURA 5.58: Coliformes fecais [(NMP/100 mL) x 0,001]do afluente e efluentes dos filtros -taxa de 72 m ³ /m ² d - período de 09/08/1999 a 04/10/1999 - 1a. fase de operação.....	107
FIGURA 5.59: Coliformes fecais [(NMP/100 mL) x 0,001]do afluente e efluentes dos filtros -taxa de 120 m ³ /m ² d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999.....	108
FIGURA 5.60: Coliformes fecais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos filtros -taxa de 170 m ³ /m ² d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999.....	108
FIGURA 5.61: Ensaio hidrodinâmico dos filtros com aplicação de azul de metileno na forma de pulso e leitura da absorbância em 650 nm.....	110
FIGURA 5.62: Microscopia em contraste de fase da descarga de fundo do FA1. No detalhe é mostrado um microrganismo filamentosos.....	111
FIGURA 5.63: Microscopia em contraste de fase da descarga de fundo do FA1. No detalhe é mostrado um microrganismo com grânulos.....	111
FIGURA 5.64: Microscopia em contraste de fase da descarga de fundo do FA1. No detalhe é mostrada uma célula em forma de espirilo.....	113
FIGURA 5.65: Microscopia em contraste de fase da descarga de fundo do FA1. No detalhe é mostrado uma bactéria anaeróbia.....	113
FIGURA 5.66:Microscopia em contraste de fase da descarga de fundo do FA3. Observam-se diversos bacilos, inclusive bacilos curvos.....	113
FIGURA E.1: Absorbância de azul de metileno na faixa de comprimento de onda de 300 a 800 nm.....	202
FIGURA G.1a: Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros - taxa de filtração de 72 m ³ /m ² d - período de 09/08/1999 a 27/08/1999 (1a. fase de operação).....	207
FIGURA G.1b: Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros - taxa de filtração de 72 m ³ /m ² d - período de 28/08/1999 a 15/09/1999 (1a. fase de operação).....	207
FIGURA G.1c: Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros - taxa de filtração de 72 m ³ /m ² d - período de 16/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação).....	207
FIGURA G.2a: Perda de carga (cm) no meio granular do FA1 - taxa de filtração de 120 m ³ /m ² d - período de 04/10/1999 a 20/10/1999 (1a. Carreira do FA1).....	208
FIGURA G.2b: Perda de carga (cm) no meio granular do FA1 - taxa de filtração de 120 m ³ /m ² d - período de 20/10/1999 a 09/11/1999 (2a. Carreira do FA1).....	208
FIGURA G.3a: Perda de carga (cm) no meio granular do FA2 - taxa de filtração de 120 m ³ /m ² d - período de 04/10/1999 a 20/10/1999 (1a. e 2a. Carreiras do FA2).....	209

FIGURA G.3b: Perda de carga (cm) no meio granular do FA2 - taxa de filtração de 120 m ³ /m ² d - período de 20/10/1999 a 09/11/1999 (3a., 4a. e início da 5a. Carreira do FA2).....	209
FIGURA G.4a: Perda de carga (cm) no meio granular do FA3 - taxa de filtração de 120 m ³ /m ² d - período de 04/10/1999 a 19/10/1999 (1a., 2a. e 3a. Carreiras do FA3).....	210
FIGURA G.4b: Perda de carga (cm) no meio granular do FA3 - taxa de filtração de 120 m ³ /m ² d - período de 20/10/1999 a 09/11/1999 (4a., 5a., 6a. e início da 7a. Carreira do FA3).....	210
FIGURA G.5a: Perda de carga (cm) no meio granular do FA1 - taxa de filtração de 170 m ³ /m ² d - período de 09/11/1999 a 22/11/1999 (1a. Carreira do FA1).....	211
FIGURA G.5b: Perda de carga (cm) no meio granular do FA1 - taxa de filtração de 170 m ³ /m ² d - período de 22/11/1999 a 09/12/1999 (2a. Carreira do FA1).....	211
FIGURA G.6: Perda de carga (cm) no meio granular do FA2 - taxa de filtração de 170 m ³ /m ² d - período de 09/11/1999 a 26/11/1999.....	212
FIGURA G.7: Perda de carga (cm) no meio granular do FA3 - taxa de filtração de 170 m ³ /m ² d - período de 09/11/1999 a 23/11/1999.....	212

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1: Condições de operação do Reator Anaeróbio de Leito Expandido operado por MENDONÇA.....	13
TABELA 3.2: Condições e dias de operação do RALEx para as fases 1, 2 e 3.....	13
TABELA 3.3: Caracterização do Esgoto Sanitário utilizado por MENDONÇA (1999) durante 24 horas.....	14
TABELA 3.4: Valores máximos, médios, mínimos para o afluente e efluente do RALEx.....	15
TABELA 3.5: Classificação dos filtros anaeróbios conforme a taxa de filtração utilizada.....	24
TABELA 3.6: Características do meio granular utilizado por CLARKE et al.....	27
TABELA 3.7: Características do afluente e do efluente do filtro da pesquisa de NOUR.....	30
TABELA 3.8: Granulometria e espessura de camada filtrante do pré-filtro de pedregulho com escoamento ascendente para as diferentes fases experimentais do estudo de RUGNO.....	32
TABELA 3.9: Características do meio filtrante para o estudo de pré-filtros da pesquisa de POCASANGRE.....	34
TABELA 3.10: Composição genérica das divisões de algas classificadas durante o estudo de AGGIO.....	37
TABELA 3.11: Caracterização dos meios granulares nas unidades de pré-filtração vertical com escoamento ascendente utilizadas por FAZOLO.....	39
TABELA 4.1: Características do meio filtrante das unidades de filtração empregadas.....	47
TABELA 4.2: Programação da operação dos filtros de pedregulho.....	48
TABELA 4.3: Parâmetros laboratoriais avaliados, frequência e método de análise das amostras do afluente e dos efluentes dos filtros.....	51
TABELA 5.1: Resumo estatístico da operação dos filtros de pedregulho.....	62
TABELA 5.2: Amostras das descargas de fundo analisadas.....	66
TABELA 5.3: Valores máximos, médios e mínimos de sólidos sedimentáveis (nL/L) do afluente e dos efluentes dos filtros nas fases 1, 2 e 3.....	68
TABELA 5.4: Eficiências de remoção de SST, SSF e SSV.....	76
TABELA 5.5: Taxa média de Carregamento Orgânico aplicada nos filtros e eficiências médias de remoção de DQO nas três fases experimentais.....	87

TABELA 5.6: Eficiências médias de remoção de nitrogênio total e de nitrogênio amoniacal.....	100
TABELA A.1: pH do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação)	123
TABELA A.2: Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação).....	124
TABELA A.3: Sólidos sedimentáveis (mL/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação).....	126
TABELA A.4: Sólidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação).....	128
TABELA A.5: Sólidos totais fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação).....	129
TABELA A.6: Sólidos totais voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação).....	130
TABELA A.7: Sólidos suspensos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação).....	131
TABELA A.8: Sólidos suspensos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação).....	132
TABELA A.9: Sólidos suspensos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação).....	133
TABELA A.10: DQO (mgO ₂ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação).....	134
TABELA A.11: Nitrogênio total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação).....	135
TABELA A.12: Fosfato total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação).....	135
TABELA A.13: DBO (mgO ₂ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação).....	136
TABELA A.14: Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros - taxa de filtração de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação).....	136
TABELA A.15: Coliformes totais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação).....	139
TABELA A.16: Coliformes fecais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação).....	139

TABELA A.17: Sólidos dissolvidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação).....	140
TABELA A.18: Sólidos dissolvidos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação).....	141
TABELA A.19: Sólidos dissolvidos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação).....	142
TABELA A.20: Relação DBO/DQO do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d (1a. fase de operação).....	143
TABELA B.1: pH do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	145
TABELA B.2: Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	146
TABELA B.3: Sólidos sedimentáveis (mL/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	146
TABELA B.4: Sólidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	147
TABELA B.5: Sólidos totais fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	147
TABELA B.6: Sólidos totais voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	148
TABELA B.7: Sólidos suspensos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	149
TABELA B.8: Sólidos suspensos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	149
TABELA B.9: Sólidos suspensos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	150
TABELA B.10: DQO (mgO ₂ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	151
TABELA B.11: Nitrogênio total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	151
TABELA B.12: Nitrogênio amoniacal (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	152
TABELA B.13: Fosfato total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	152
TABELA B.14: DBO (mgO ₂ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	152

TABELA B.15: Nitrito (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	153
TABELA B.16: Nitrato (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	153
TABELA B.17: Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros - taxa de filtração de 120 m ³ /m ² d.....	153
TABELA B.18: Coliformes totais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	158
TABELA B.19: Coliformes fecais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	159
TABELA B.20: Sólidos dissolvidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	159
TABELA B.21: Sólidos dissolvidos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	160
TABELA B.22: Sólidos dissolvidos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	160
TABELA B.23: Relação DBO/DQO do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m ³ /m ² d.....	161
TABELA C.1: pH do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	163
TABELA C.2: Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	163
TABELA C.3: Sólidos sedimentáveis (mL/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	164
TABELA C.4: Sólidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	165
TABELA C.5: Sólidos totais fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	165
TABELA C.6: Sólidos totais voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	166
TABELA C.7: Sólidos suspensos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	167
TABELA C.8: Sólidos suspensos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	167
TABELA C.9: Sólidos suspensos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	168

TABELA C.10: DQO (mgO ₂ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	169
TABELA C.11: Nitrogênio total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	169
TABELA C.12: Nitrogênio amoniacal (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	170
TABELA C.13: Fosfato total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	170
TABELA C.14: DBO (mgO ₂ /L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	170
TABELA C.15: Nitrito (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	171
TABELA C.16: Nitrato (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	171
TABELA C.17: Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros - taxa de filtração de 170 m ³ /m ² d.....	171
TABELA C.18: Coliformes totais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	176
TABELA C.19: Coliformes fecais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	176
TABELA C.20: Sólidos dissolvidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	176
TABELA C.21: Sólidos dissolvidos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	177
TABELA C.22: Sólidos dissolvidos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	178
TABELA C.23: Relação DBO/DQO do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m ³ /m ² d.....	178
TABELA D.1: pH das amostras das descargas de fundo dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d.....	180
TABELA D.2: Alcalinidade total (mg CaCO ₃ /L) das amostras das descargas de fundo dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d.....	181
TABELA D.3: Sólidos Sedimentáveis (mL/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.....	182

TABELA D.4: Sólidos totais (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.....	183
TABELA D.5: Sólidos totais fixos (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.....	184
TABELA D.6: Sólidos totais voláteis (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.....	185
TABELA D.7: Sólidos suspensos totais (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.....	186
TABELA D.8: Sólidos suspensos fixos (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.....	187
TABELA D.9: Sólidos suspensos voláteis (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.....	188
TABELA D.10: DQO (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.....	189
TABELA D.11: Nitrogênio total (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.....	190
TABELA D.12: Fosfato total (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.....	191
TABELA D.13: DBO (mg/L) das amostras das descargas de fundo dos filtros - taxa de 72 m ³ /m ² d.....	192
TABELA D.14: Sólidos dissolvidos totais (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.....	193
TABELA D.15: Sólidos dissolvidos fixos (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.....	194
TABELA D.16: Sólidos dissolvidos voláteis (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.....	195
TABELA D.17: Zinco (mg/L) das amostras das descargas de fundo dos filtros. - fases 2 e 3.....	196
TABELA D.18: Chumbo (mg/L) das amostras das descargas de fundo dos filtros. - fases 2 e 3.....	196
TABELA D.19: Cádmio (mg/L) das amostras das descargas de fundo dos filtros. - fases 2 e 3.....	196
TABELA D.20: Níquel (mg/L) das amostras das descargas de fundo dos filtros. - fases 2 e 3.....	197

TABELA D.21: Ferro (mg/L) das amostras das descargas de fundo dos filtros. - fases 2 e 3.....	197
TABELA D.22: Manganês (mg/L) das amostras das descargas de fundo dos filtros. - fases 2 e 3.....	197
TABELA D.23: Cobre (mg/L) das amostras das descargas de fundo dos filtros. - fases 2 e 3.....	198
TABELA D.24 Cromo (mg/L) das amostras das descargas de fundo dos filtros. - fases 2 e 3.....	198
TABELA E.1: Absorbâncias do azul de metileno em comprimento de onda de 650 nm no ensaio hidrodinâmico. O TDH das unidades foi de 36 minutos.....	201
TABELA F.1: Resumo estatístico das amostras do perfil 24 horas realizado na caixa de armazenamento.....	204

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABR	- Anaerobic Baffled Reactor
AI	- Alcalinidade Intermediária
AP	- Alcalinidade Parcial
CAG	- Carvão Ativado Granular
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	- Demanda Bioquímica de Oxigênio
DF1	- Descarga de Fundo do FA1
DF2	- Descarga de Fundo do FA2
DF3	- Descarga de Fundo do FA3
DP	- Desvio padrão
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
ETA	- Estação de Tratamento de Água
ETE	- Estação de Tratamento de Esgoto
FA1	- Filtro Ascendente 1
FA2	- Filtro Ascendente 2
FA3	- Filtro Ascendente 3
FPAC	- Filtro de Pedregulho de Escoamento Ascendente em Camadas
FPAS	- Filtro de Pedregulho de Escoamento Ascendente em Série
FPH	- Filtro de Pedregulho com Escoamento Horizontal
FPHS	- Filtro de Pedregulho com Escoamento Horizontal em Série
NBR	- Norma Brasileira Registrada
NMP	- Número Mais Provável
NTK	- Nitrogênio Total Kjeldahl
PBT	- Polibutireno Teretraftalato
PFD1	- Pré-Filtro Dinâmico 1
PFD2	- Pré-Filtro Dinâmico 2
PFPA	- Pré-Filtro de Pedregulho com Escoamento Ascendente
pH	- Potencial Hidrogeniônico
PNRH	- Política Nacional de Recursos Hídricos
RALEx	- Reator Anaeróbio de Leito Expandido
SPFPAS	- Sistema de Pré-Filtro de Pedregulho com Escoamento Ascendente em Série
SS	- Sólidos Sedimentáveis

ST	- Sólidos Totais
STF	- Sólidos Totais Fixos
STV	- Sólidos Totais Voláteis
SST	- Sólidos Suspensos Totais
SSF	- Sólidos Suspensos Fixos
SSV	- Sólidos Suspensos Voláteis
TCO	- Taxa de Carregamento Orgânico
TDH	- Tempo de Detenção Hidráulica
UASB	- Upflow Anaerobic Sludge Blanket

LISTA DE SÍMBOLOS

CV	- Coeficiente de variação
n	- número de amostras
Q_A	- vazão de afluente
Q_R	- vazão de recirculação
Q_R/Q_A	- razão de recirculação
TO	- tempo de operação
x	- média
σ	- Desvio padrão

RESUMO

FINAZZI, G. A. (2000) *Emprego da filtração ascendente em pedregulho para pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio de leito expandido tratando esgotos sanitários*. São Carlos, 2000. 212 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Neste trabalho foi realizado o pós-tratamento de esgoto sanitário através da filtração em pedregulho. O esgoto usado foi o efluente de um reator anaeróbio de leito expandido (RALEX). O sistema operacional era formado por três filtros, compostos por colunas de acrílico de 91,4 mm de diâmetro interno, com fundo cônico de 5,0 cm de altura. Possuíam cada uma altura total de 2,19 m e volume útil de 8,5 litros. O pós-tratamento do esgoto efetuado através da passagem do esgoto em pedregulho removeu principalmente material particulado, sendo que a remoção de sólidos sedimentáveis ocorreu em grande extensão, comprovando que o principal processo de tratamento de filtros de pedregulho é a remoção de sólidos, ou seja, é a melhoria das características físicas da água residuária. Foram observadas eficiências médias de remoção de DQO de 48,8% na operação com taxa de filtração de 72 m³/m²d; eficiência de 35% na operação com taxa de 120 m³/m²d; e eficiência de 50% na operação com taxa de 170 m³/m²d.

Palavras-chave: filtros de pedregulho, tratamento anaeróbio, esgoto sanitário, reator de leito expandido.

ABSTRACT

FINAZZI, G. A. (2000) *The upflow roughing filtration utilised in post-treatment of Fluidised Bed Anaerobic Reactor effluent*. São Carlos, 2000. 212 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

In this research pilot plant studies were carried out to investigate the performance of roughing filters in the post-treatment of sanitary wastewater. It has been used the effluent of a Fluidised Bed Anaerobic Reactor. The operational system was composed by three filters, constituted by columns of 91,4 mm of internal diameter, with conical basis of 5,0 cm in height. Each one had a total height of 2,19 m and volume of 8,5 liters. The treatment of the wastewater by the filters removed a great amount of particulate material, specially sedimentable solids. This fact comproves that the principal process of treatment of these units is solids removal, that means physical characteristics improvement. It has been observed COD removal percentages of 48,8% in the operation of the units with rate of 72 m³/m²d; 35% with rate of 120 m³/m²d; and 50% with rate of m³/m²d.

Keywords: roughing filters, anaerobic treatment, sanitary wastewater, fluidised bed reactor.

1- INTRODUÇÃO

A preocupação crescente com a poluição de mananciais de água doce, tanto no que diz respeito à fauna e flora aquáticas, quanto na provisão de água para os mais diversos usos que o homem faz dela, tem levado o ser humano a procurar tratar seus despejos. A poluição de águas superficiais com esgotos sanitários, entre outros fatores, prejudica o tratamento de água para abastecimento, indispensável para o uso doméstico e industrial. As águas residuárias possuem grande quantidade de matéria orgânica, que se decompõe na água causando não só a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido, impedindo a vida aeróbia na água, como estimula o crescimento de organismos patogênicos e/ou organismos que produzam compostos tóxicos ao homem, tornando o processo de produção de água potável mais caro.

Para promover o tratamento desses despejos, há a necessidade da utilização não só das operações físico-químicas e/ou biológicas utilizadas no cotidiano da Engenharia Sanitária (ação técnica), como também de uma política para controlar as emissões poluidoras (ação jurídico-administrativa), baseada na gestão dos recursos hídricos existentes na bacia em questão.

Segundo COLAS (1973), dois dos princípios essenciais para se firmar uma política racional e econômica de luta contra a poluição são:

- 1) a classificação dos rios em quatro ou cinco categorias, de acordo com o uso que se faz da água e com as características físico-químicas e biológicas dos mesmos;
- 2) a imposição ao emissor da água residuária dos limites máximos de parâmetros poluidores do rio, levando-se em conta a capacidade de autodepuração do mesmo e o débito que é causado em suas características biológicas, e não a composição do efluente que será rejeitado.

O Brasil criou, em 1981, a Política Nacional do Meio Ambiente, como primeira tentativa de estabelecer sua política ambiental. Para regulamentar esse conjunto de leis, foi estabelecido que o CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente - firmasse normas e critérios de padrões de qualidade ambiental e controlasse a qualidade do meio ambiente de acordo com o uso racional dos recursos ambientais. A Resolução CONAMA número 20, de 1986, e o Decreto número 8468, de setembro de 1976, estabelecem que o lançamento de efluentes em corpos d'água deve obedecer a padrões de emissão pré-determinados e aos padrões de qualidade dos corpos d'água superficiais. Embora a Resolução CONAMA devesse ser obedecida preferencialmente, o Estado de São Paulo

obedece ao Decreto número 8468, instituído anteriormente à referida Resolução. Desse modo, um dado despejo pode ser considerado poluído pela Resolução CONAMA sem que o Decreto nº 8468 o considere, e vice-versa. Portanto, para considerar uma água poluída, convém saber qual a legislação utilizada para avaliar a poluição.

Na atualidade, o controle da poluição visa a proteção máxima dos mananciais, baseada no chamado “desenvolvimento sustentável”, definido como sendo o “desenvolvimento que satisfaça as necessidades das presentes gerações sem comprometer a capacidade das futuras gerações em satisfazer suas próprias necessidades” (Relatório BRUNDTLAND/WCED, 1987, citado em trabalho do BANCO ASIÁTICO DE DESENVOLVIMENTO, 1990). Com o propósito de inserir sua política no contexto do “desenvolvimento sustentável”, o Brasil criou a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), em 1997, prevendo o "uso múltiplo dos recursos hídricos", e a Lei dos Crimes Ambientais, de 1998, que impõe penas previstas para quem “causar poluição hídrica que torne necessária a interrupção do abastecimento público de água de uma comunidade” ou “quem deixar de adotar, quando assim exigir a autoridade competente, medidas de precaução em caso de risco de dano ambiental grave ou irreversível”.

Assim, para emitir um dado efluente de origem doméstica (esgoto sanitário), é preciso que ele atenda aos padrões de emissão regulamentados pelo CONAMA e que esteja de acordo com toda a legislação vigente, ou seja, há a necessidade de se realizar um tratamento desse efluente. Existem duas formas de tratamento: tratamento físico-químico ou tratamento biológico. Quando se utilizam processos biológicos, pode-se optar por processos aeróbios (que ocorrem na presença de oxigênio) e anaeróbios (que ocorrem na ausência de oxigênio). Alguns exemplos de reatores anaeróbios são: tanque séptico, digestor anaeróbio de contato, filtro anaeróbio, lagoa anaeróbia, reator anaeróbio de leito fluidizado e leito expandido, reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) e reator anaeróbio compartimentado (METCALF & EDDY, 1991).

“Dependendo da carga orgânica que se lança, os esgotos provocam a total degradação do ambiente (solo, água e ar) ou, em outros casos, o meio demonstra ter condições de receber e de decompor os poluentes até alcançar-se um nível que não causa problemas ou alterações acentuadas que prejudiquem o ecossistema local e circunvizinho. Em outras palavras, o tratamento biológico de esgotos é um fenômeno que pode ocorrer naturalmente no solo ou na água, desde que predominem condições apropriadas” (CAMPOS, 1994). O tratamento biológico de águas residuárias realizado comumente em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE)

fundamenta-se na aplicação de processos e operações unitárias com a função de reter os microrganismos presentes no esgoto para que possam decompô-lo até níveis adequados de lançamento.

“Reatores biológicos com recheio são unidades que dispõem de meio suporte, constituído por materiais, peças ou acessórios geralmente inertes, em cuja superfície ocorrem a fixação e o desenvolvimento de biofilme e em cujos interstícios também proliferam microrganismos que podem se agrupar nas mais diferentes maneiras” (CAMPOS, 1990).

Conforme informa CAMPOS (1990), para manter os microrganismos que tratam do esgoto confinados em um reator anaeróbio não convencional, é preciso que a concepção e operação do mesmo seja apoiada nos conceitos abaixo:

- 1- Retenção de microrganismos nos interstícios existentes no material suporte que constitui parte de um reator anaeróbio. Nesse caso são incluídos os filtros anaeróbios.
- 2- Produção de uma região no reator com elevada concentração de microrganismos ativos que obrigatoriamente é atravessada (e misturada) pelo fluxo ascendente dos despejos a serem tratados. Esse princípio é explorado nos reatores de manta de lodo (UASB).
- 3- Imobilização de microrganismos através de sua aderência a superfícies fixas ou à superfície de material particulado móvel. Os reatores de leito expandido (ou fluidificado) fundamentam-se nesse princípio.

“O reator de leito fluidificado é um reator não convencional, contendo um “leito” com partículas inertes de pequenas dimensões, que é submetido a fluxo ascendente suficiente para provocar a sua expansão.

“Essas partículas oferecem grande superfície específica para a fixação de microrganismos, ao mesmo tempo que sua densidade, sendo maior que a dos próprios microrganismos, possibilita a aplicação de cargas hidráulicas relativamente grandes sem grande perda dos mesmos através do arrasto pelo afluente.

“A fina camada biológica que se desenvolve em torno das partículas permite boa difusão do substrato para as camadas mais profundas desta película, sendo reduzida ao mínimo, ou mesmo não existindo camadas inativas, a exemplo do que ocorre em filtros biológicos. A

independência entre partículas, por sua vez, evita diminuição da superfície específica e entupimentos no decorrer do tempo.

“As pesquisas efetuadas em reatores de leito expandido levam a conclusões que confirmam a grande vantagem de esses reatores permitirem o tratamento de despejos com altas e também baixas concentrações de DBO, empregando-se tempo de detenção hidráulico da ordem de apenas poucas horas, e mesmo em alguns casos, de minutos, em função da elevada quantidade de biomassa que se encontra retida no leito” (CAMPOS, 1994).

Em resumo, o objetivo do tratamento de esgotos é a remoção de sólidos, degradação biológica de compostos carbonáceos, redução das concentrações de nitrogênio e de fósforo e remoção de organismos patogênicos.

A remoção de sólidos grosseiros pode ser realizada por meio de grades, sedimentação ou flotação. Quando é realizada a degradação biológica dos compostos carbonáceos (tratamento secundário), as bactérias que efetuam o tratamento se reproduzem e têm sua massa total aumentada em função da quantidade de matéria orgânica degradada, contribuindo assim para o teor de sólidos presentes no esgoto (matéria orgânica particulada). Após essa fase, os sólidos produzidos devem ser removidos em unidades específicas para esse fim e, posteriormente, são submetidos a adensamento, digestão, secagem e disposição adequada.

Portanto, para promover o tratamento de águas residuárias, há a necessidade de se realizar estudos-piloto, a fim de escolher a alternativa que melhor se adequar ao caso. Uma única etapa de tratamento de águas residuárias dificilmente remove poluentes o suficiente para que não haja prejuízo aos mananciais receptores desse despejo.

Nesse contexto, procura-se obter um tratamento mais eficaz, a partir do uso de mais de uma alternativa em conjunto. A associação de processos biológicos com processos físico-químicos permite a remoção conjunta da matéria orgânica solúvel e da matéria orgânica particulada, produzindo um efluente de melhor qualidade que uma alternativa isolada. Baseando-se nisso, escolheu-se a forma de tratamento através de um Reator de Leito Expandido seguido de filtros de pedregulho para ser pesquisada nesse trabalho.

A filtração é uma operação imprescindível no tratamento de águas de abastecimento, pois conforme relata DI BERNARDO (1993), somente através da filtração se removem, quase totalmente, as partículas coloidais, suspensas e microrganismos em geral. A utilização de filtros de pedregulho no pré-tratamento de água de abastecimento tem como objetivo principal a remoção

de sólidos suspensos. Em alguns casos, o uso da filtração em pedregulho aliada à filtração lenta em areia ou à filtração direta é suficiente para que se alcance a qualidade da água condizente com Padrão de Potabilidade exigido pela legislação vigente. Assim,, é possível a produção de água potável sem a necessidade de tratamento em ciclo completo (tratamento convencional).

2- OBJETIVOS

Neste trabalho foi estudado o pós-tratamento do efluente de reator anaeróbio de leito expandido que trata esgotos sanitários, utilizando-se filtros de pedregulho com escoamento ascendente, visando a avaliação da eficiência dos filtros em termos de:

- 1) Remoção de sólidos suspensos, como objetivo principal;
- 2) Influência da taxa de filtração aplicada;
- 3) Influência da constituição granulométrica;
- 4) Eficiência do tratamento biológico que ocorre nessas unidades.

3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1- Biotecnologia anaeróbia.

Os processos anaeróbios de tratamento de águas residuárias possuem muitas vantagens sobre os processos aeróbios, dentre elas: menores custos de operação, manutenção, energia e disposição do lodo, possibilidade de aplicação de carga volumétrica de 5 a 10 vezes maior, síntese de biomassa de 5 a 20% da biomassa aeróbia, além de requererem quantidade menor de nutrientes (5 a 20% da necessidade aeróbia) e menor área de implantação. Algumas desvantagens são: partida demorada do reator, odores mais intensos que os dos processos aeróbios (SPEECE, 1996; COLLINS et al., 1998).

A digestão anaeróbia.

Na atual concepção da digestão anaeróbia, o processo apresenta quatro estágios, como mostra a figura 3.1. Nesses estágios são envolvidas bactérias fermentativas, bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio (H_2), bactérias acetogênicas consumidoras de H_2 ou bactérias homoacetogênicas, microrganismos metanogênicos redutores de gás carbônico (CO_2) e microrganismos metanogênicos acetoclásticos (NOVAES, 1986).

Na primeira fase, as bactérias fermentativas hidrolisam a matéria orgânica complexa a compostos simples como açúcares, aminoácidos, peptídeos e outros. Na segunda fase, a acetogênese, ocorre a formação de H_2 , CO_2 , acetato e ácidos orgânicos de cadeia longa. Tanto na hidrólise como na acetogênese, a bactéria fermentativa depende do substrato e de condições ambientais adequadas para chegar aos produtos finais do seu metabolismo.

A pressão parcial de H_2 desempenha um papel fundamental nessas fases. Sendo mantida a pressão parcial de H_2 em níveis baixos, a formação de acetato, CO_2 e H_2 é termodinamicamente favorável. Quando o sistema é mantido a pressões parciais elevadas de H_2 , apenas a formação de produtos como etanol, propionato, butirato e outros ácidos orgânicos ocorre. Essa particularidade é notada quando um sistema anaeróbio está submetido a uma sobrecarga hidráulica ou orgânica.

As espécies de bactérias fermentativas encontradas em ecossistemas anaeróbios são de famílias de Streptococcaceae e Enterobacteriaceae e dos gêneros de *Bacteroides*, *Clostridium*, *Butyrivibrio*, *Eubacterium*, *Bifidobacterium* e *Lactobacillus*.

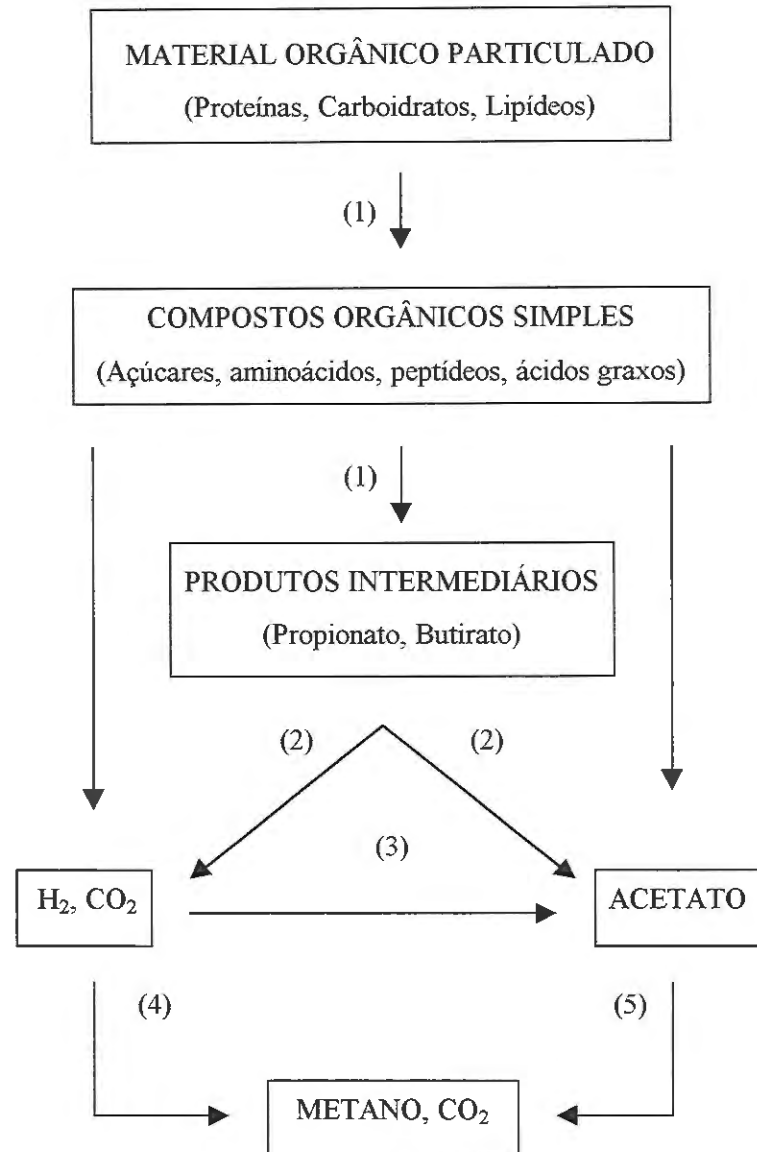


FIGURA 3.1: Etapas da digestão anaeróbia. Os números indicam as sub-etapas da digestão, realizada por microrganismos (1) Fermentativos, (2), acetogênicos produtores de hidrogênio, (3), acetogênicos consumidores de hidrogênio, (4) Metanogênicos redutores de CO_2 e (5) Metanogênicos acetoclásticos.

Fonte: Adaptado de Gujer et al., 1983 e de Novaes, 1986.

As bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio, além de converterem os ácidos orgânicos a CO_2 , H_2 e acetato, convertem, também, o propionato, os ácidos graxos saturados de

cadeias longas e os ácidos aromáticos a acetato e CO_2 . No caso dos ácidos graxos de cadeias longas, essas conversões são realizadas por mais de uma espécie de bactérias acetogênicas.

O grupo das bactérias homoacetogênicas tem papel fundamental na produção de acetato a partir de H_2 e CO_2 . Os gêneros das bactérias homoacetogênicas até agora identificados em lodo de esgoto são: *Clostridium aceticum* e *Acetobacterium woodii*.

Os microrganismos metanogênicos formam um grupo especial de microrganismos de diferentes espécies que obtêm energia através da formação de metano. Os metanogênicos são estritamente anaeróbios e apresentam características exclusivas de produzirem substâncias gasosas a partir do acetato e hidrogênio na ausência completa de luz. A produção de metano é considerada a fase mais importante da digestão anaeróbia, pois a quantidade de metano produzida é proporcional à quantidade de matéria orgânica degradada. Por isso, as melhores condições operacionais para um sistema anaeróbio são definidas como sendo as condições ambientais favoráveis para o crescimento deste tipo de microrganismo. São elas: pH entre 6,8 e 7,2, fontes de carbono específicas e nutrientes, como nitrogênio e enxofre. O acetato é mencionado como o principal precursor de metano em diversos ecossistemas anaeróbios, porém o monóxido de carbono também pode ser usado como substrato pelas metanogênicos.

As diferentes espécies de metanogênicos apresentam características idênticas somente na dupla capacidade de oxidação do hidrogênio com a concomitante redução de CO_2 . Os microrganismos metanogênicos são agrupados de acordo com o tipo de substrato utilizado para produzir metano. A maioria das espécies de metanogênicos usa o H_2 e CO_2 , e somente três tipos de metanogênicos utilizam o acetato: *Methanotrix soehngenii* (utiliza apenas acetato), *Methanosarcina sp* e *Methanococcus mazei*. *Methanosarcina sp* é o gênero que pode utilizar acetato, H_2 , CO_2 , metanol e metilaminas. As espécies do gênero *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter*, *Methanococcus*, *Methanomicrobium*, *Methanogenium* e *Methanospirillum* fazem uso do formiato como substrato.

Nesse ambiente, participam também as bactérias redutoras de sulfato. Essas bactérias são encontradas em associações com bactérias metanogênicas em ambiente anaeróbio, produzindo acetato, H_2 e sulfetos, que são usados pelas bactérias metanogênicas. Na ausência de sulfato, a bactéria redutora de sulfato pode ser considerada como bactéria acetogênica, que atua em associação sintrófica com a metanogênica, contribuindo com a metanogênese ou pode agir de modo adverso, quando existir competição por nutrientes.

Fatores que afetam a digestão anaeróbia.

Vários fatores ambientais tem importantes influências na digestão anaeróbia: temperatura, pH, alcalinidade, nutrientes e compostos tóxicos ou inibidores. Segundo HENZE e HARREMÕES (1983), cada um destes fatores tem atuação característica no processo, a saber:

1) *Temperatura:*

A faixa de temperatura mais comum de operação em processos de digestão anaeróbia está entre 30 e 40 °C (faixa pertencente aos microrganismos mesofílicos). Outras investigações mostraram que a operação entre 10 e 45 °C apresentam mudanças na microbiota participante do processo. Na faixa de 50 a 70 °C (microrganismos termofílicos) a produção de metano aumenta dependendo das características do substrato, apresentando geralmente uma eficiência 25 a 50% maior que a 35 °C.

Van HANDEEL & LETTINGA (1994), *apud* NOUR (1996), analisando dados existentes na literatura a respeito da influência da temperatura dentro da faixa mesofílica, chegaram às seguintes conclusões:

- na faixa de 30 a 40 °C obtém-se a taxa máxima da digestão anaeróbia;
- para temperaturas abaixo de 30 °C, a taxa máxima de digestão anaeróbia decresce a uma taxa de 11% por grau centígrado.

Por essa relação, tem-se que a 20 e 25 °C a taxa máxima de digestão diminui, indicando um decaimento bastante acentuado na eficiência de digestão anaeróbia. A digestão dos sólidos sedimentados de esgoto sanitário bruto diminui marcadamente com a temperatura, devido provavelmente a uma baixa taxa de hidrólise, de modo que grande parte das partículas sólidas e macromoléculas permaneceu intacta. A digestão anaeróbia é um processo de bom desempenho em regiões tropicais e subtropicais, onde a temperatura do esgoto sanitário normalmente está acima de 18 °C.

2) *pH:*

A faixa ótima para as bactérias metanogênicas situa-se entre 6,8 e 7,2. Para as bactérias produtoras de ácidos esta faixa está entre 5 e 6. Como a produção de metano é a etapa limitante, a faixa operacional para os processos que utilizam a digestão anaeróbia situa-se entre 6,8 e 7,2,

controlada pelo valor da alcalinidade, que atua neutralizando os ácidos voláteis produzido nas etapas acidogênicas e acetogênicas.

3) *Nutrientes:*

Segundo HENZE e HARREMÕES (1983), na digestão anaeróbia a relação DQO/N/P que descreve as necessidades nutricionais para um metabolismo eficiente da matéria orgânica presente, pode ser resumida para DQO/N em virtude da maior importância da quantidade de nitrogênio presente. Segundo os autores, vários trabalhos recomendam a relação DQO/N mantida na faixa de 200 a 300/7, a despeito da relação teórica ser 350/7. SPEECE & McCARTY apud HENZE e HARREMÕES (1983) sugeriram que a relação N/P utilizada seria de ordem de 7/1. Utilizando os resultados acima, pode-se deduzir uma relação DQO/N/P de ordem de 200 a 300/7/1.

4) *Toxicidade e inibição:*

Amônia e sulfeto aparecem como os principais compostos causadores de toxicidade. Os valores de 0,1 g/L (pH= 6,85) para sulfeto e 0,2 a 1,0 g/L (pH maior que 7,6) para amônia são as concentrações máximas que não produzem inibição ao processo com populações não adaptadas de microrganismos. Ácidos graxos voláteis também são considerados tóxicos ao processo, pois um aumento excessivo em sua concentração, com conseqüente consumo de alcalinidade presente, produz um desequilíbrio entre as várias etapas do processo, prejudicando o sintrofismo bacteriano que caracteriza o metabolismo anaeróbio.

3.2- Reator de Leito Expandido.

Os reatores de leito expandido ou fluidificado apresentam uma série de aspectos positivos frente às demais alternativas de tratamento anaeróbio. Entre os pontos positivos são destacados os seguintes (ATKINSON et al., 1981; CAMPOS, 1999):

a) aparentemente não há limitação física em relação ao rendimento do processo biológico. A ocorrência de problemas relacionados com a perda de biomassa por arraste, por exemplo, parece ser minimizada;

b) o sistema permite a retenção de elevada concentração de biomassa, que reflete em grande eficiência na conversão de substratos orgânicos biodegradáveis, e dispensa a utilização de unidades especiais para sedimentação, por exemplo;

c) a produção global do processo pode ser controlada através de análise e conhecimento das características de difusão do biofilme;

d) a operação com taxas de aplicação superficial maiores é possível com a adição de mais material suporte no interior do reator, pois há facilidade de introduzir material novo ao leito e de remover lodo gerado;

e) custo de implantação reduzido em comparação com outras alternativas, devido à pequena área necessária e volumes menores para tratar a mesma vazão de águas residuárias;

f) a espessura do biofilme facilita a difusão do substrato pelo seu interior, possibilitando a assimilação do mesmo por todas as bactérias presentes no grânulo;

g) a movimentação do leito suporte evita problemas de colmatação;

h) esses reatores podem ser operados com tempos de detenção hidráulica de poucas horas, por apresentarem concentração de biomassa que pode alcançar até 40 g/L.

As desvantagens do processo são:

a) É indispensável que haja recirculação do efluente;

b) o consumo de energia elétrica é maior do que o consumo de outros reatores anaeróbios mais simples;

c) existem poucos reatores operando em escala real que podem servir como base para novos projetos.

MENDONÇA (1999) estudou a partida do Reator Anaeróbio de Leito Expandido (RALEx) utilizado nesse trabalho. O autor pesquisou o material suporte que melhor se adaptasse ao sistema, e concluiu que, entre as partículas de poliamida, polibutireno tereftalato (PBT) e carvão ativado granular (CAG), o CAG é o que apresenta melhor capacidade de imobilizar microrganismos, bem como dificuldade de ser arrastado devido ao emprego de velocidades elevadas.

Nas tabelas 3.1 e 3.2 podem-se observar as características operacionais sumarizadas para a partida do RALEx.

TABELA 3.1: Condições de operação do Reator Anaeróbio de Leito Expandido operado por MENDONÇA.

Tempo de operação (dia)	Tempo de detenção hidráulica do reator θ_H (h)	Velocidade ascensional do líquido (m/h)	Razão de recirculação	Carga Orgânica Volumétrica (kg DQO/ m ³ .d)
0-148	7,0-3,2	19,8-10,5	2,63-0,85	1,81-9,37
149-198	3,2	10,5	0,85	4,86-11,31
200-240	3,2	10,5	0,85	3,50-10,74

Fonte: Mendonça (1999).

TABELA 3.2: Condições e dias de operação do RALEx para as fases 1, 2 e 3.

FASES	TO (dia)	Q_A (m ³ .h ⁻¹)	Q_R (m ³ .h ⁻¹)	Q_R/Q_A	θ_H (h)	V_{ASC} (m.h ⁻¹)
Fase 1	0-14	8,31	12,5 a 21,20	1,50 a 2,55	3,85	4,70 a 16,70
	15-17	-	12,10	-	-	6,85
	18-22	5,30	12,10	2,28	6,04	9,85
	23-29	4,60	12,10	2,63	6,96	9,45
	30-38	6,60	14,50	2,20	4,85	11,94
	39-45	-	14,50	-	-	8,21
	46-58	6,60	14,50	2,20	4,85	11,94
	59-67	-	14,50	-	-	8,21
	68-76	6,60	12,50	1,89	4,85	10,81
	77-85	9,00	12,50	1,39	3,56	12,17
	86-102	-	12,50	-	-	7,07
	103-119	10,00	25,00	2,5	3,2	19,81
	120-134	10,00	15,00	1,5	3,2	14,50
135-148	10,00	8,50	0,85	3,2	10,47	
Fase 2	149-192	10,00	8,50	0,85	3,2	10,47
	193-199	-	8,50	-	-	4,81
Fase 3	200-240	10,00	8,50	0,85	3,2	10,47

TO: tempo de operação; Q_A : vazão de afluente; Q_R : vazão de recirculação; Q_R/Q_A : razão de recirculação.

Fonte: Mendonça, 1999.

Composição do Esgoto Sanitário.

O reator foi operado com esgoto sanitário proveniente da bacia do córrego do Tijuco Preto da cidade de São Carlos-SP, cuja composição está descrita na Tabela 3.3. Na tabela 3.4, o autor descreve todos os parâmetros avaliados em cada fase experimental.

TABELA 3.3: Caracterização do Esgoto Sanitário utilizado por MENDONÇA (1999) durante 24 horas.

Parâmetro	Faixa	Valor médio
Temperatura (°C)	24-28	26
pH	6-7	-
Alcalinidade total (mg CaCO ₃ / L)	50-185	111
Alcalinidade parcial (mg CaCO ₃ / L)	25-115	74
Alcalinidade intermediária (mg CaCO ₃ / L)	5-75	40
Ácidos voláteis (mg CaCO ₃ / L)	14-75	49
DQO bruta (mg O ₂ / L)	58-1724	749
DQO filtrada (mg O ₂ / L)	25-877	294
Sólidos totais (mg/ L)	71-829	416
Sólidos totais fixos (mg/ L)	18-246	122
Sólidos totais voláteis (mg/ L)	35-723	293
Sólidos suspensos totais (mg/ L)	26-368	152
Sólidos suspensos fixos (mg/ L)	3-81	23
Sólidos suspensos voláteis (mg/ L)	21-316	130
NTK (mg/ L)	39-111	-
N-amoniaco (mg/ L)	28-64	-
Fósforo (mg/ L)	4-31	15

Fonte: adaptado de Mendonça (1999).

TABELA 3.4: Valores máximos, médios, mínimos para o afluente e efluente do RALEx.

Parâmetro	Afluente - fase 1	Efluente - fase 1	Afluente - fase 2	Efluente - fase 2	Afluente - fase 3	Efluente - fase 3
pH	máx. 7,90 mín. 6,90	máx. 7,70 mín. 6,60	máx. 7,50 mín. 7,10	máx. 7,20 mín. 6,80	máx. 7,30 mín. 6,95	máx. 7,20 mín. 6,90
Alcalinidade total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	máx. 458 méd. 220 mín. 66	máx. 371 méd. 173 mín. 59	máx. 465 méd. 233 mín. 180	máx. 220 méd. 174 mín. 130	máx. 242 méd. 200 mín. 170	máx. 211 méd. 150 mín. 108
Alcalinidade parcial (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	máx. 361 méd. 152 mín. 41	máx. 231 méd. 114 mín. 48	máx. 335 méd. 156 mín. 105	máx. 130 méd. 112 mín. 95	máx. 185 méd. 136 mín. 113	máx. 134 méd. 104 mín. 82
Alcalinidade intermediária (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	máx. 149 méd. 70 mín. 17	máx. 149 méd. 63 mín. 8	máx. 130 méd. 77 mín. 55	máx. 90 méd. 62 mín. 30	máx. 82 méd. 64 mín. 46	máx. 77 méd. 46 mín. 26
DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	máx. 1442 méd. 966 mín. 425	máx. 838 méd. 400 mín. 218	máx. 1724 méd. 1233 mín. 785	máx. 657 méd. 411 mín. 252	máx. 881 méd. 738 mín. 466	máx. 311 méd. 207 mín. 118
DBO (mg O ₂ .L ⁻¹)	máx. 620 méd. 395 mín. 165	máx. 242 méd. 161 mín. 94	máx. 882 méd. 576 mín. 357	máx. 302 méd. 210 mín. 142	máx. 532 méd. 447 mín. 353	máx. 163 méd. 109 mín. 56
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	máx. 932 méd. 701 mín. 410	máx. 726 méd. 418 mín. 208	máx. 860 méd. 694 mín. 601	máx. 518 méd. 346 mín. 163	máx. 720 méd. 621 mín. 452	máx. 377 méd. 289 mín. 183
Sólidos totais voláteis (mg.L ⁻¹)	máx. 837 méd. 524 mín. 257	máx. 451 méd. 24 5mín. 101	máx. 638 méd. 503 mín. 324	máx. 366 méd. 231 mín. 77	máx. 577 méd. 432 mín. 271	máx. 246 méd. 162 mín. 65

TABELA 3.4 (Cont.): Valores máximos, médios, mínimos para o afluente e efluente do RALEx.

Parâmetro	Afluente - fase 1	Efluente - fase 1	Afluente - fase 2	Efluente - fase 2	Afluente - fase 3	Efluente - fase 3
Sólidos suspensos totais (mg.L ⁻¹)	máx. 639 méd. 362 mín. 163	máx. 451 méd. 190 mín. 40	máx. 586 méd. 358 mín. 240	máx. 132 méd. 75 mín. 31	máx. 524 méd. 301 mín. 152	máx. 124 méd. 66 mín. 28
Sólidos suspensos voláteis (mg.L ⁻¹)	máx. 551 méd. 296 mín. 150	máx. 320 méd. 115 mín. 24	máx. 516 méd. 310 mín. 212	máx. 125 méd. 62 mín. 31	máx. 428 méd. 257 mín. 130	máx. 107 méd. 52 mín. 22
Sólidos sedimentá- veis (ml.L ⁻¹)	máx. 16 méd. 8 mín. 2	máx. 6 méd. 2 mín. 0,1	máx. 10 méd. 7 mín. 4,0	máx. 2 méd. 0,4 mín. 0,1	máx. 16 méd. 6 mín. 3	máx. 6 méd. 0,5 mín. 0,1
Nitrogênio total Kjeldahl (mg.L ⁻¹)	máx. 111 méd. 82 mín. 39	máx. 56 méd. 45 mín. 34	máx. 111 méd. 83 mín. 66	máx. 48 méd. 41 mín. 31	máx. 87 méd. 69 mín. 55	máx. 36 méd. 30 mín. 26
Nitrogênio amoniacal (mg.L ⁻¹)	máx. 64 méd. 53 mín. 28	máx. 39 méd. 35 mín. 27	máx. 50 méd. 47 mín. 45	máx. 40 méd. 36 mín. 29	máx. 47 méd. 43 mín. 38	máx. 29 méd. 24 mín. 21
Nitrogênio orgânico (mg.L ⁻¹)	máx. 47 méd. 30 mín. 11	máx. 31 méd. 12 mín. 4	máx. 66 méd. 36 mín. 19	máx. 8 méd. 6 mín. 2	máx. 40 méd. 26 mín. 17	máx. 14 méd. 6 mín. 3
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	máx. 24 méd. 21 mín. 18	máx. 20 méd. 18 mín. 14	máx. 24 méd. 21 mín. 17	máx. 18 méd. 16 mín. 11	máx. 21 méd. 18 mín. 13	máx. 16 méd. 11 mín. 6

Fonte: Mendonça, 1999.

O autor partiu o reator sem inoculação, atingindo o regime de equilíbrio dinâmico aparente no 202º dia de operação, quando então o efluente passou a apresentar valores médios de 207 mg de O₂/L de DQO total e 28 mg/L de SST. Depois da implantação de uma unidade de desarenação na fase 3, o autor observou que o reator passou a apresentar maior estabilidade de operação. MENDONÇA estabeleceu como melhores critérios de operação a velocidade ascensional 10,5 m/h, o tempo de detenção hidráulico de 3,2 horas e a taxa de recirculação de 0,85, e verificou que a manutenção desses parâmetros operacionais evitou o carreamento de sólidos suspensos no efluente e aumentou progressivamente a eficiência do tratamento. As remoções médias encontradas nas diversas fases foram:

Fase 1: 57% de DQO; 40% de ST; 58% de SST; 75% de SS;

Fase 2: 66% de DQO; 40% de ST; 77% de SST; 94% de SS;

Fase 3: 71% de DQO; 52% de ST; 75% de SST; 92% de SS.

3.3- Filtração em Pedregulho.

Os filtros de pedregulho são unidades utilizadas no pré-tratamento de água de abastecimento em países em desenvolvimento, e usualmente possuem material de tamanhos diferentes que decrescem no sentido do escoamento. Segundo WEGELIN (1996), são unidades formadas basicamente por um leito de pedregulho de tamanho de 4 a 25 mm encerrado num tanque ou coluna de dimensões menores que as dimensões de um filtro anaeróbio e taxa de aplicação entre 0,3 m/h a 1,5 m/h. Sua grande importância se revela na grande remoção de sólidos suspensos, principalmente devido à sua ação de filtração.

Histórico.

Os filtros de pedregulho são utilizados desde a Idade Média. Numerosos castelos e fortes foram construídos na Europa durante essa época. Eles foram freqüentemente localizados em pontos estratégicos, difíceis de serem conquistados e também de serem abastecidos de água. Durante períodos de guerra, as pessoas que procuravam proteção nos castelos dependiam da água da chuva coletada no quintal e armazenada numa cisterna. Nesta área extensivamente utilizada, não era possível evitar a poluição da água causada pelo homem e pelos animais.

Provavelmente um dos primeiros filtros de pedregulho usados para tratar águas superficiais foi uma instalação encontrada no castelo de Hohentrins, localizado no topo de uma

pequena montanha no vale do rio Rhine, Alpes suíços. Para se tratar a água, um fardo de pedregulhos foi instalado na entrada da cisterna do castelo. Assim, antes de ser armazenada na cisterna, a água coletada da chuva era filtrada por um meio granular constituído de pedregulhos.

Em 1804, John Gibb construiu a primeira planta de filtração de água para abastecimento público em Paisley, Escócia. Para tratar água de rio, John Gibb desenhou e construiu um filtro de pedregulho antes da ETA. A água bruta pré-tratada era bombeada para um lugar 16 pés mais alto que o rio, de onde ela escoaria por gravidade para a ETA. A água escoava na direção horizontal para um tanque de sedimentação e depois para dois compartimentos contendo pedregulho grosso ou muito fino e areia como material filtrante respectivamente. Muitas outras ETAs na Inglaterra seguiram o exemplo de Paisley e aplicaram a filtração em pedregulho e a filtração lenta em areia.

Outro exemplo de aplicação de filtros de pedregulho são os filtros batizados como “Puech-Chabal”, construídos na França em 1899 para tratar parte da água que abastecia a cidade de Paris. O tratamento da água consistia na sua passagem por uma série de filtros e cascatas. A água fluía através de seis filtros, sendo que os quatro primeiros eram filtros de pedregulho. As cascatas eram utilizadas para aerar a água entre as etapas de filtração.

Depois de certo tempo, os filtros de pedregulho foram convertidos em filtros rápidos ou mecânicos. A coagulação, combinada com a sedimentação, foi introduzida como um método de pré-tratamento e, mais recentemente, a filtração direta substituiu a tecnologia da pré-filtração.

A Universidade de Dar es Salaam, Tanzânia, iniciou testes de laboratório com pré-filtros de pedregulho em 1980. As investigações com filtros de escoamento vertical revelaram carreiras de filtração de apenas alguns dias. Subseqüentemente, a concepção de filtro com escoamento horizontal foi desenvolvida e testada com um canal de 15 m de comprimento preenchido com três frações de pedregulho: uma de 16-32, 8-16 e 4-8 mm. As taxas de filtração variaram de 0,5 a 8 m/h, e a turbidez de água afluyente ao pré-filtro foi mantida em torno de 60 NTU. Os testes de laboratório indicaram claramente que foi atingida uma remoção significativa de sólidos em condições de escoamento laminar, pois a sedimentação é o processo predominante na filtração em pedregulho. O pré-filtro produziu um efluente com turbidez menor que 10 NTU com taxa de filtração compreendida entre 0,5 a 1,0 m/h. Experimentos de campo foram então realizados para observar a aplicabilidade da combinação da filtração em pedregulho com escoamento horizontal com a filtração lenta em areia. Observou-se que a carreira de filtração do filtro lento é maior quando combinado com a pré-filtração. Os testes de campo revelaram que a filtração em

pedregulho com escoamento horizontal combinada com a filtração lenta pode ser um sistema viável para o tratamento de água superficial com turbidez.

3.4- Mecanismos de tratamento em filtros de pedregulho.

GALVIS et al. (1993) apresentam como mecanismos de tratamento os de transporte e de aderência.

3.4.1- Mecanismos de Transporte.

São mecanismos que provocam o contato das partículas com os pedregulhos, incluindo:

1) *Ação Física de Coar*: é o mecanismo pelo qual as partículas com diâmetro maior que os vazios entre grãos de pedregulho são retidas. Durante o processo de filtração, o tamanho dos vazios diminui gradativamente, fazendo com que as partículas menores sejam retidas. Este mecanismo, porém, possui limitada importância devido ao grande tamanho dos vazios.

2) *Sedimentação*: este mecanismo remove sólidos suspensos de maneira similar a um tanque de sedimentação. A diferença é que, no tanque, apenas a superfície em profundidade é disponível para a precipitação, enquanto que, nos filtros, toda a superfície dos grãos é disponível. Pequenas partículas podem precipitar após floculadas, porém o material coloidal não pode.

Segundo WEGELIN (1996), a sedimentação é o processo mais importante na filtração em pedregulho, pois o filtro age como um sedimentador de múltiplas etapas, com grande área dos pedregulhos atuando na acumulação de matéria sedimentável.

3) *Difusão*: o movimento browniano ou difusão molecular é causado pelas colisões das partículas dispersas com moléculas de água. HUISMAN (1982) *apud* GALVIS et al. (1993) relata que este movimento é importante para a remoção de material coloidal e não afeta partículas com tamanho superior a 2 μm . A eficiência de remoção aumenta com o aumento do tamanho das partículas suspensas e da temperatura, e com a redução da velocidade do escoamento e do tamanho dos grãos.

4) *Forças Inerciais e Centrífugas*: durante a passagem da água através do meio granular, as linhas de corrente circundam os grãos. Devido às forças inercial e centrífuga, as partículas podem ser forçadas a deixarem as linhas de corrente e entrarem em contato com os grãos de pedregulho. A eficiência de remoção aumenta com o aumento da densidade das partículas e da velocidade de escoamento, e diminui com o aumento do tamanho dos grãos. Este mecanismo é limitado na filtração em pedregulho, por causa do uso de baixas velocidades de filtração e de que os grãos de pedregulho são relativamente grandes.

5) *Interceptação*: devido ao seu movimento ao longo das linhas de corrente, parte das partículas dispersas na água são interceptadas nas paredes dos grãos de pedregulho, causando a redução do tamanho dos vazios intergranulares. Inicialmente, as partículas são retidas na entrada do filtro, mas gradativamente parte delas é transportada para as regiões subsequentes. Por causa do grande tamanho dos grãos usados na filtração em pedregulho, o mecanismo de interceptação não desempenha um papel importante na remoção de impurezas.

6) *Ação hidrodinâmica*: uma partícula suspensa na água, sob a ação de um gradiente de velocidade constante, se submete a velocidades tangenciais variáveis na direção perpendicular à do escoamento. A diferença entre essas velocidades pode produzir um movimento giratório da partícula, o que a conduz para a região de velocidade mais alta. Esse fenômeno pode explicar a remoção de partículas relativamente grandes.

3.4.2- Mecanismos de Aderência.

As principais forças que asseguram a remoção das partículas, tendo havido o contato com o pedregulho, são de atração eletrostática e atração de massas. A combinação dessas forças é frequentemente chamada de adsorção.

1) *Adsorção Ativa*: a atração de massas entre partículas (forças de Van der Waals) está sempre presente mas diminui muito com a distância entre elas. O impacto dessa força, portanto, é muito limitado em distâncias de cerca de $0,01 \mu\text{m}$. Como as forças de Van der Waals, a atração entre partículas de cargas elétricas opostas (força coulômbica) pode complementar mecanismos de transporte quando uma partícula se aproxima das vizinhanças dos grãos apresentando uma carga

elétrica oposta. Como resultado da aderência de materiais no pedregulho, sua carga elétrica irá se alterar constantemente, aderindo alternadamente partículas com carga positiva ou negativa. Dessa forma, a adsorção ativa parece ser de limitada importância na filtração em pedregulho.

2) *Adsorção Passiva*: as partículas de origem orgânica depositadas na superfície dos grãos rapidamente se tornam nutrientes de bactérias e outros microrganismos. Isto produz uma camada ligada aos grãos à qual as partículas da água podem aderir facilmente. O material orgânico é gradualmente assimilado para se tornar parte dessa camada e pode formar longas cadeias de material orgânico que pode interceptar facilmente partículas menores.

Através de todos os mecanismos indicados anteriormente, as bactérias se prendem à superfície dos grãos, inclusive as patogênicas. Para satisfazer a necessidade energética para o metabolismo, as bactérias oxidam parte do material orgânico que elas encontram. Através dessa oxidação bioquímica, a matéria orgânica é convertida em partículas menores, e eventualmente em água, gás carbônico, amônia, nitratos, nitritos, sulfetos, fosfatos e outros sais inorgânicos. Sais de ferro e manganês também podem ser convertidos em vários óxidos, que formam uma camada em torno dos grãos. As reações químicas e bioquímicas só podem ocorrer na superfície dos grãos, onde há a presença de agentes catalisadores e de grande quantidade de bactérias. A oxidação bioquímica é importante na remoção de cor (aparente e verdadeira), de ferro e de manganês nos pré-filtros. Porém, quando o consumo de oxigênio é superior ao oxigênio produzido, é estabelecida condição anaeróbia, a qual causa a solubilização do ferro e do manganês. Para alguns tipos de bactérias, como coliformes fecais, as condições no filtro de pedregulho não são adequadas, e elas irão gradualmente morrer quando se aderem aos grãos. Isto explica a considerável redução de coliformes totais e fecais (indicadores de contaminação fecal) nos pré-filtros, quando aplicados no tratamento de água de abastecimento.

As algas também são removidas pela filtração em pedregulho e contribuem para a atividade microbiológica, dependendo das características do sistema (SAIDAM & BUTLER, 1996). Sob condições favoráveis de nutrientes e radiação solar, as algas realizam a fotossíntese, utilizando fontes de carbono inorgânico existentes na água. Essa utilização do carbono inorgânico contido na água bruta provoca o tamponamento e produção de íons hidroxila, elevando o pH e, quando a densidade de algas for muito alta, o pH pode apresentar valores elevados (entre 10 e

11). Como consequência, ocorre a precipitação de hidróxidos de cálcio e magnésio dentro dos interstícios do meio filtrante.

Os filtros de pedregulho melhoram principalmente a qualidade física da água por removerem sólidos suspensos e turbidez. Eles são capazes de assimilar cargas instantaneamente elevadas de material particulado, sem prejudicar a qualidade do efluente. Também melhoram a qualidade bacteriológica da água, pois as bactérias e vírus são sólidos também, de tamanhos variando entre 0,2 e 10 μm e entre 0,002 e 0,4 μm , respectivamente. Além disso, esses organismos freqüentemente se aderem por força eletrostática à superfície de outros sólidos em água. Portanto, a remoção de sólidos também significa a remoção de patogênicos.

A experiência mostra que os filtros de pedregulho utilizados em Estação de Tratamento de Água (ETA) podem alcançar uma redução de matéria particulada de 90% ou mais, e freqüentemente consegue-se uma redução de 10% a 80% de coliformes fecais. Os filtros também reduzem cor, matéria orgânica dissolvida e outras substâncias encontradas em águas superficiais. Apesar disso, suspensões estáveis com uma grande quantidade de matéria coloidal são difíceis de serem tratadas com filtros de pedregulho e usualmente requerem a adição de coagulantes.

Nesses filtros, as eficiências de remoção de sólidos significativas são alcançadas apenas sob condições de regime de escoamento laminar, pois a sedimentação é o processo predominante na filtração de pedregulho. Assim, esses filtros são operados com baixas taxas de escoamento superficial, usualmente na faixa de 0,3 a 1,5 m/h. O material grosso e a baixa taxa de filtração limitam a resistência do filtro em poucos centímetros.

A presença de pequenos poros e área superficial interna grande do filtro aumenta a eficiência dos processos de sedimentação e de adsorção, tal como das atividades biológicas e químicas, dependendo das características orgânicas da água bruta. Nessas circunstâncias, tem-se observado um aumento na agregação e na consolidação desses depósitos. Isto traz dificuldades na limpeza e na regeneração do filtro.

A matéria sólida acumulada é periodicamente removida dos filtros através da limpeza hidráulica, normalmente realizada através de descargas de fundo. Os agregados acumulados facilmente se desprendem do meio granular e são lavados para o fundo do filtro quando o escoamento do líquido é violentamente alterado. Parte dos sólidos acumulados pode ser removida do filtro com taxas altas de drenagem e instalações adequadas. Se necessário, esses filtros podem

ser lavados manualmente através da retirada do material granular do compartimento, seguida de lavagem e novo preenchimento das caixas de filtro com o meio filtrante.

Apesar dos problemas com a colmatação do meio filtrante e com a dificuldade de disposição do lodo formado, os pré-filtros de pedregulho são unidades de simples operação e de custos baixos de operação e manutenção, comparados com outras tecnologias de tratamento de águas de abastecimento (que envolvem, por exemplo, a coagulação e a filtração rápida) e frente a muitas tecnologias de tratamento e de pós-tratamento de esgotos (DI BERNARDO, 1993).

3.5- Filtros de pedregulho utilizados no pós-tratamento de esgoto sanitário.

A utilização de filtros de pedregulho como alternativa de pós-tratamento de esgotos sanitários é pouco observada em pesquisas ou operações em ETE. É importante ressaltar que, embora haja semelhança na concepção e no mecanismo de tratamento, não se tratam de filtros anaeróbios, pois o dimensionamento deste tipo de unidade é diferente. O cálculo do volume útil do leito filtrante de um filtro anaeróbio, de acordo com a NBR 13969/97 da ABNT (CAMPOS, 1999), leva em conta o número de unidades de contribuição dos despejos, a contribuição dos despejos e o tempo de detenção hidráulica da unidade, que varia em função das vazões empregadas e temperatura ambiente, fazendo com que as dimensões do filtro anaeróbio sejam muito superiores às de um filtro de pedregulho. O tempo de detenção hidráulico é o parâmetro de projeto que mais influencia o desempenho dos filtros anaeróbios, independentemente do tipo de material suporte empregado. Geralmente, os reatores em escala real têm operado eficientemente com valores entre 12 e 96 h. No caso dos filtros de pedregulho, os principais parâmetros de projeto e de operação são: número de unidades (geralmente maior que um), taxa de aplicação, granulometria do pedregulho, espessura das subcamadas de pedregulho, carga hidráulica disponível e taxa de descarga para limpeza. Além disso, o escoamento em filtros de pedregulho utilizados no pré-tratamento de águas de abastecimento deve ser contínuo, pois a paralisação da operação gera perturbações que prejudicam a qualidade do efluente quando a operação é reiniciada.

Os filtros de pedregulho de escoamento ascendente que possuem a forma de uma coluna, na qual a entrada do líquido é realizada através de um tronco cônico, dispensam os sistemas de distribuição de vazão e de coleta de efluente indispensáveis aos filtros anaeróbios, devido à grande área superficial destas unidades. Assim é necessário apenas ao filtro anaeróbio dimensionamento

de sistemas do tipo “manifold” e laterais, para evitar o aparecimento de zonas mortas, e o cálculo dos seus orifícios, que devem ser suficientemente grandes para reduzir possibilidades de entupimento e suficientemente pequenos para impor perda de carga razoável para se ter o bom funcionamento do sistema de distribuição.

Os filtros anaeróbios podem ser ocupados totalmente pelo recheio ou, diferentemente dos filtros de pedregulho, possuírem uma região inferior livre, na qual se prevê a formação de flocos, grânulos ou aglomerados que permanecem em suspensão.

Na concepção de filtro anaeróbio de fluxo ascendente com uma região inferior livre, é caracterizado um reator híbrido em que na sua parte superior existe o suporte, que auxilia na separação gás-sólidos, entre outras funções; e, em sua região inferior prevalece a ocorrência de lodo granuloso ou na forma de flocos ou ainda como agregados em suspensão.

No filtro anaeróbio, o material orgânico presente no esgoto é degradado por uma população de microrganismos aderida ao meio filtrante. METCALF & EDDY (1991) classifica os filtros anaeróbios de acordo com a taxa de filtração, como se pode observar na tabela 3.5.

TABELA 3.5: Classificação dos filtros anaeróbios conforme a taxa de filtração utilizada.

Filtro	Baixa Taxa	Taxa Intermediária	Alta Taxa	Super-alta Taxa
Altura (m)	1,83 a 2,44	1,83 a 2,44	0,91 a 1,83	3,05 a 12,20
Taxa de Aplicação Superficial (m ³ /m ² d)	1,17 a 3,52	3,52 a 9,39	9,39 a 37,55	11,73 a 70,41

Fonte: METCALF & EDDY, 1991.

Nota-se que as taxas de aplicação superficial nos filtros anaeróbios são superiores às taxas nos filtros de pedregulho. Os filtros de pedregulho têm como característica mais importante a remoção de sólidos suspensos, e portanto requerem aplicação de taxas menores de filtração. Os filtros anaeróbios podem ser utilizados como única forma de tratamento de esgotos, contudo os despejos em que a matéria orgânica está presente predominantemente como sólidos suspensos dissolvidos ou próxima do estado coloidal são mais apropriados para o tratamento eficiente com os filtros anaeróbios, pois o tratamento do esgoto nessas unidades é devido principalmente à degradação biológica de compostos carbonáceos. Um despejo com elevada concentração de

sólidos suspensos, principalmente de origem inorgânica, pode causar acúmulo de sedimentos no reator e a conseqüente diminuição do volume útil do mesmo. Se o lodo retido no meio granular não é descartado, muitos resíduos inertes são acumulados, e a eficiência de tratamento decresce.

Os filtros anaeróbios são mais indicados para o tratamento de despejos predominantemente solúveis com concentração de DQO superior a 1000 mg/l, como ocorre para a grande parte dos efluentes industriais. Entretanto, seu uso para o tratamento de despejos com DQO inferior a 500 mg/l, como esgoto sanitário, é limitado principalmente para taxa de carregamento orgânico volumétrica elevada, por causa da baixa taxa de crescimento dos microrganismos anaeróbios (CARVALHO, 1994).

Desde que as condições de operação favoreçam a “aclimatação” dos microrganismos, o filtro anaeróbio pode facilmente superar a introdução de cargas de choque ou de agentes tóxicos ou inibidores, por reter quantidade significativa de sólidos biológicos, diferentemente de outras concepções de tratamento. Um exemplo é o estudo da toxicidade do cobre verificada na microbiota do filtro anaeróbio operado por DALTRO FILHO (1988). O autor aplicou 250 mg/L de cloreto de cobre, que permaneceu no interior dos filtros de 6 a 12 horas. “A ação do cobre sobre o desempenho dos filtros anaeróbios pesquisados só se fez sentir nas primeiras horas de aplicação do tóxico. A presença de possível quantidade de sulfetos nos filtros anaeróbios investigados minorou a ação mais efetiva do cobre sobre a biota presente nos reatores” (DALTRO FILHO, 1988).

A literatura tem mostrado que os filtros anaeróbios são eficientes na remoção de matéria orgânica e sólidos. As remoções médias de DQO entre 45% e 97% e de sólidos suspensos entre 71% e 78% indicam a potencialidade destas unidades no tratamento de águas residuárias (DALTRO FILHO, 1988; CARRONDO, 1983; VAN DEN BERG, 1983; GUIMARÃES, 1990). Ensaio hidrodinâmicos indicam que, na ausência de meio filtrante, essas unidades possuem característica típica de comportamento do tipo mistura completa; na presença de meio filtrante, a extensão do comportamento tipo pistão (“plug-flow”) e o número de zonas mortas aumentam com o aumento da área superficial específica do meio granular (YOUNG & YOUNG, 1988)

3.6- Classificação dos filtros de pedregulho.

Segundo GALVIS et al. (1993), os filtros de pedregulho podem ser classificados, de acordo com suas características e sentido de escoamento, em:

- Filtros Dinâmicos;
- Filtros de Escoamento Descendente;
- Filtros de Escoamento Ascendente; e
- Filtros de Escoamento Horizontal.

Os diferentes tipos de filtros de pedregulho são classificados de acordo com sua localização na planta da ETA, sua aplicação principal e a direção do escoamento. Os filtros dinâmicos geralmente localizam-se na adução de água para abastecimento, enquanto os demais filtros de pedregulho geralmente se localizam na ETA. Os filtros verticais são classificados de acordo com a maneira que as camadas de pedregulho são instaladas. Nos filtros de pedregulho em série, as diferentes frações do material são instaladas em compartimentos diferentes, enquanto que nos filtros de pedregulho em camadas são dispostas uma acima da outra no mesmo compartimento.

3.7- Filtro de Pedregulho com Escoamento Ascendente.

Os sistemas de filtro de pedregulho podem ser constituídos de uma ou mais unidades. Em sistemas de uma única unidade (filtro de pedregulho em camadas - FPAC), o filtro apresenta camadas de pedregulho de vários tamanhos, sendo que o tamanho do pedregulho varia de forma decrescente da parte inferior do filtro para a parte superior. Em sistemas com mais de uma unidade (filtro de pedregulho em série - FPAS), o tamanho do pedregulho decresce da primeira para a última unidade, tendo cada unidade um tamanho específico de pedregulho. Esses tipos de filtração possuem várias vantagens sobre os de escoamento descendente ou horizontal (GALVIS et al., 1993):

i) a primeira camada filtrada de sólidos permanece na parte inferior do filtro, onde se situa o sistema de descarga de fundo, facilitando a remoção desses sólidos, e requer menos água de lavagem para obter a mesma limpeza do meio filtrante;

ii) o sentido do escoamento reduz interferências de correntes convectivas devido a diferenças de temperatura e de densidades;

- iii) seu comportamento hidráulico é muito bom, com poucas zonas mortas;
- iv) os valores de TDH são mais facilmente reprodutíveis e a eficiência do tratamento é melhor frente a outras alternativas comparadas a ela.

3.7.1- Experiências com SPFPAS.

CLARKE et al. (1996) investigaram a utilização de um sistema de três filtros de pedregulho com escoamento ascendente em série seguidos de três filtros lentos de areia em paralelo entre si. O meio granular de cada pré-filtro possuía 0,5 m de espessura, e os filtros lentos de areia, profundidade de 0,5 m e de 0,3 m e seis camadas de mantas de polipropileno colocadas na parte superior dos mesmos. Também foi realizado um estudo com um único filtro lento de areia contendo doze camadas de mantas sintéticas. O meio granular dos pré-filtros era composto conforme tabela abaixo:

TABELA 3.6: Características do meio granular utilizado por CLARKE et al.

Tamanho da peneira (mm)	Porcentagem em massa do material que passa pela peneira		
	Primeiro filtro	Segundo filtro	Terceiro filtro
50	100	-	-
37,5	85-100	100	-
20	0-25	85-100	-
14	-	-	100
10	0-5	0-25	85-100
5	-	0-5	0-25
2,36	-	-	0-5

Fonte: Adaptado de Clarke et al., 1996.

Os parâmetros analisados para verificar a eficiência do sistema foram turbidez, sólidos suspensos e tamanho de partícula. A remoção de materiais particulados foi obtida, e a água assim tratada apresentava geralmente turbidez < 0,1 NTU, e para “picos de turbidez” de 400 NTU, a água apresentava turbidez <0,5 NTU. Realizou-se também ensaio no qual a água bruta recebeu

certa dosagem de caulim, em intervalos de 10 a 15 minutos, para verificar o comportamento do sistema frente a “picos de turbidez”.

Os resultados relativos ao tratamento realizado pelo sistema de filtros em série indicaram que houve uma remoção progressiva de partículas no sentido do escoamento nas unidades. Observou-se que a redução de partículas de diâmetro efetivo menor que $0,75 \mu\text{m}$ é tão melhorada quanto menor o tamanho da partícula, e a eficiência de remoção total de turbidez esteve entre 60 e 75%. Os experimentos efetuados com caulim demonstraram sua propriedade em atenuar “picos de turbidez”, sendo que a eficiência do sistema em termos de remoção de turbidez e de sólidos suspensos esteve sempre acima de 85% nesta fase da pesquisa. O teor médio de coliformes fecais no período foi de 976 NMP/100 mL, e a remoção de coliformes fecais atingiu 81%.

GALVIS & VISSCHER (1996) compararam filtros de pedregulho entre si. Foi utilizado um filtro de pedregulho de escoamento horizontal, um filtro de pedregulho de escoamento horizontal em série e um filtro de pedregulho de escoamento ascendente em série. Os filtros foram comparados em termos de eficiência de tratamento, comportamento hidráulico e necessidades de operação e de manutenção das unidades.

A pesquisa foi realizada na estação de pesquisas CINARA em Cali, Colômbia, e optou-se pela água do rio Cauca como água bruta para as unidades. Os sistemas comparados tinham as seguintes características:

- Filtro de pedregulho com escoamento horizontal (FPH): possuía 1,2 m de largura, contendo três compartimentos interligados através de perfurações nas suas laterais, e o meio granular atingia 7,1 m de comprimento total;

- Filtro de pedregulho com escoamento horizontal em série (FPHS): possuía 1,2 m de largura, contendo três compartimentos independentes, e o meio granular atingia 4,3 m de comprimento total;

- Filtro de pedregulho com escoamento ascendente em série (FPAS): composto de três unidades de 2,0 m de diâmetro e 2,0 m de altura total, parcialmente preenchidos com pedregulho, com espessura total do meio granular de 4,3 m.

Utilizou-se o mesmo meio filtrante nos três sistemas, com tamanho dos grãos entre 19 e 13 mm na primeira unidade, entre 13 e 6 mm na segunda, e entre 6 e 1,6 mm na última. A taxa de filtração aplicada a todos os sistemas foi de 0,7 m/h. As amostras foram coletadas na entrada e na

saída dos filtros. Com nível de confiança de 95%, GALVIS & VISSCHER concluíram que o FPAS foi o sistema que tratou da melhor forma a água afluyente, pois suas eficiências de remoção foram as maiores: em termos de coliformes fecais, a eficiência média de remoção foi de 99,4%, sendo 95,6% para FPHS e 95,4% para FPH; de turbidez, 80%, sendo 66,7% para FPHS e 68,4% para FPH; de sólidos suspensos, 97%, sendo 94% para FPHS e 93% para FPH.

Foi verificado que o PFPAS tem o melhor comportamento hidráulico entre os sistemas, baseando os resultados em termos de número de reatores de mistura completa em série. O FPAS foi o sistema que mais se aproximou do modelo de unidade com escoamento do tipo fluxo de pistão. O volume mensal de água gasto para lavagem dos sistemas foi o menor também para o FPAS, indicando as vantagens que esse sistema possui sobre os outros.

3.8- A experiência da EESC - USP na pesquisa de filtros de pedregulho.

Diversos autores têm contribuído para a pesquisa de filtros de pedregulho. Abaixo são apresentados alguns trabalhos a respeito.

A pesquisa de NOUR (1996) referente à operação de um reator anaeróbio compartimentado ("Anaerobic Baffled Reactor" - ABR) que se encontra no campus da USP de São Carlos envolvia um filtro de pedregulho para realizar um "polimento final" no tratamento do esgoto sanitário. Esta é a única pesquisa de filtros de pedregulho encontrada em tratamento de esgoto. A última câmara do reator compartimentado, que continha o filtro, possuía 0,6 m³ de volume total. O fundo inclinado desta câmara tinha a função de concentrar os sólidos sedimentados para serem descartados através de descargas de fundo. O filtro possuía 0,7 m de comprimento por 0,6 m de largura e altura total de 0,3 m. Ele era constituído por três camadas de pedregulho (seixo rolado), cada uma com espessura de 0,10 m. A disposição das camadas era decrescente quanto à sua granulometria, em relação ao sentido de fluxo do efluente líquido. A granulometria de cada camada era a seguinte:

- camada superior: 2,38 a 4,76 mm;
- camada intermediária: 6,35 a 9,52 mm;
- camada inferior: 15,9 a 19,1 mm.

O filtro era formado por seis pequenas caixas confeccionadas em compensado naval. o fundo de cada caixa era perfurado com 18 orifícios de 6,3 mm de diâmetro, espaçados em 0,10 m,

orifícios estes por onde o efluente proveniente da terceira câmara atravessava. Os resultados obtidos pelo pesquisador são listados na tabela 3.7.

TABELA 3.7: Características do afluente e do efluente do filtro da pesquisa de NOUR.

Parâmetro	Valor médio do afluente	Valor médio do efluente
Temperatura/ °C	25,3	25,9
Alcalinidade total/ mg CaCO ₃ .L ⁻¹	149	147
Alcalinidade parcial/ mg CaCO ₃ .L ⁻¹	91	93
Ácidos orgânicos voláteis/ mg.L ⁻¹	34,3	33,4
DQO total/ mg O ₂ .L ⁻¹	252	222
DQO filtrada/ mg O ₂ .L ⁻¹	123	116
Taxa de carregamento orgânico/ kg DQO .m ⁻³ .d ⁻¹	12,15	-
DBO/ mg O ₂ .L ⁻¹	106	96
Sólidos sedimentáveis/ mL.L ⁻¹	0,6	0,2
Sólidos totais/ mg .L ⁻¹	416,0	391,9
Sólidos totais voláteis/ mg .L ⁻¹	254,0	252,2
Sólidos suspensos totais/ mg .L ⁻¹	98,6	74,6
Sólidos suspensos voláteis/ mg .L ⁻¹	81,2	63,4
Fósforo total/ mg .L ⁻¹	19,5	19,1
Nitrogênio amoniacal/ mg .L ⁻¹	25,4	23,6
Nitrogênio total/ mg .L ⁻¹	37,6	32,8

Fonte: Nour, 1996.

NOUR relata que o compartimento que abrigava o filtro foi o responsável pela melhoria de qualidade do efluente tratado pelo reator, do ponto de vista de remoção de sólidos que ainda fossem arrastados do sistema, e do ponto de vista da remoção de DQO, visto que esses sólidos representam uma parcela da DQO total. Contudo, a limpeza do meio filtrante por meio de uma descarga de fundo (retrolavagem) apresentou certos problemas: uma parcela do lodo que atravessava o meio filtrante não podia ser retirada ou arrastada pela retrolavagem. Uma causa bastante provável seriam as granulometrias empregadas no meio filtrante, principalmente a

utilizada na camada superior do filtro (2,38 a 4,76 mm), onde os espaços vazios foram sendo parcialmente colmatados ao longo do tempo, agravado pelo número e diâmetro dos orifícios presentes no fundo de cada uma das seis caixas que compunham o meio filtrante. Esses pequenos orifícios promoviam um aumento na velocidade do líquido por entre os espaços vazios (aumento na perda de carga), conseqüentemente possibilitando a colmatação dos espaços restantes.

Segundo o autor, o lodo não apresentou odores desagradáveis após sua secagem, indicando sua estabilidade biológica e possibilidade de pronta utilização como condicionador de solo na agricultura, por exemplo.

Analisando os resultados de NOUR (1996), verifica-se que o valor do pH do esgoto não se altera em mais do que 0,1 unidades após passar pelo filtro, indicando que a unidade não modifica significativamente este parâmetro.

RUGNO (1988) operou um pré-filtro de pedregulho de escoamento ascendente antecedendo filtros lentos de areia. Operou-se o pré-filtro de pedregulho com taxa compreendida entre 6 a 36 m^3/m^2d e trabalhou-se com duas granulometrias diferentes. A unidade piloto de pré-filtração foi construída em chapas de aço, com diâmetro interno de 0,80 m e altura de 2,35 m. O fundo da unidade era cônico, de forma a se facilitar as descargas de fundo e a drenagem. Toda a unidade foi revestida com tinta a base de epóxi interna e externamente.

RUGNO define três fases experimentais para sua pesquisa. Na terceira fase, substituíram-se os pedregulhos inicialmente colocados como meio filtrante de forma a se desenvolverem ensaios com duas granulometrias diferentes. A tabela 3.8 mostra a granulometria dos pedregulhos, as alturas do meio granular e as fases experimentais. Em toda a pesquisa, a parte inferior (cônica), de 0,60 m de altura, foi constituída de pedregulho de tamanho entre 12,5 e 19,0 mm.

Na primeira fase experimental, o filtro foi operado com taxa de filtração constante de 12 m^3/m^2d . Examinou-se ainda o comportamento do pré-filtro de pedregulho após ser efetuada uma descarga intermediária de fundo. No final da operação foi executada a limpeza do meio filtrante através de descargas de fundo intermitentes (isto é, cada descarga de fundo era realizada sem necessariamente esvaziar por completo o sistema) até que a água da descarga se apresentasse clarificada. Na segunda fase experimental, o filtro foi inicialmente operado com taxa de 12 m^3/m^2d e posteriormente operados com as taxas de 18, 24, 36 e 6 m^3/m^2d . No final da fase, a

mesma limpeza do meio filtrante da primeira fase foi executada. Na terceira fase experimental, operou-se o pré-filtro com um novo meio granular. A taxa inicial de filtração foi de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, e foi alterada posteriormente para os valores de 18, 24 e $36 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$. O sistema não foi operado com taxa constante de $36 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, visto que a taxa declinou ao longo do tempo até estabilizar-se em $26 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$.

TABELA 3.8: Granulometria e espessura de camada filtrante do pré-filtro de pedregulho com escoamento ascendente para as diferentes fases experimentais do estudo de RUGNO.

Fase Experimental	Camada	Tamanho (mm)	Altura (m)
Primeira	1a.	6,4 a 8,0	1,25
Segunda	1a.	6,4 a 8,0	1,25
Terceira	1a.	6,4 a 8,0	0,80
	2a.	2,4 a 4,8	0,45

Fonte: RUGNO, 1988.

O autor apresenta as seguintes conclusões a respeito das curvas de turbidez, cor aparente e ferro total de seu trabalho:

- No início da operação do pré-filtro a eficiência de remoção destes parâmetros na água bruta inicia-se menor que no restante do período e é inconstante, provavelmente por não ter sido ainda formada a película que envolve cada pedregulho, responsável pela remoção;
- Quando se observam picos de turbidez, cor aparente e ferro total que perduram vários dias, a eficiência de remoção destes parâmetros tende a decair ao longo do tempo;
- Quando a estes parâmetros permanecem com valores praticamente constantes, a eficiência de remoção dos mesmos no pré-filtro melhora com o tempo de operação;
- O efluente do pré-filtro mostrou a tendência de não responder prontamente às variações ocorridas na água bruta, indicando que o filtro atenua picos de pequena duração;
- Na terceira fase experimental, a eficiência de remoção destes parâmetros depende da variação dos parâmetros da água bruta, ou seja, quanto maior o valor na água bruta, menor a sua eficiência de remoção;

- Na terceira fase, observou-se o traspasse do filtro, indicado pelo carreamento de material floculento para o efluente, porém não se observou variação na eficiência de turbidez, cor aparente e ferro total;
- Na terceira fase, observou-se maior remoção dos parâmetros que nas outras duas fases, e portanto a granulometria de 2,4 a 4,8 mm trocada é mais eficiente, com perda de carga ligeiramente superior;
- A segunda fase experimental apresentou resultados superiores de eficiência de remoção de turbidez e cor aparente em relação à primeira fase, provavelmente porque na primeira fase o pré-filtro estava limpo;
- No instante em que se alteraram as taxas de filtração, verificou-se um pequeno decréscimo na eficiência de remoção em termos de turbidez e cor aparente, exceto quando se alterou a taxa de 36 para 6 m³/m²d (reduziu-se a taxa), em que observou-se um acréscimo nessas eficiências;
- O pré-filtro pode permanecer fora de operação, desde que mantido com água, por períodos de um dia ou mais, sem acarretar prejuízo algum, em termos de eficiência de remoção de turbidez, cor aparente e ferro total;

O autor expõe as seguintes conclusões a respeito dos outros parâmetros:

- O pH se manteve praticamente constante, com tendência do pH efluente ser maior que o afluente provavelmente devido a alguma atividade anaeróbia;
- A alcalinidade total e a dureza total apresentaram os mesmos valores para a água bruta e para o efluente do pré-filtro;
- O NMP/100 mL de coliformes totais reduziu-se no efluente do pré-filtro;
- O número de colônias de bactérias em placa de Petri apresentou grande variação, porém o filtro sempre removeu bactérias.

POCASANGRE (1990) comparou o desempenho de pré-filtros de escoamento ascendente e de escoamento descendente, contendo materiais granulares não uniformes. As características do meio granular são apresentadas na Tabela 3.9.

TABELA 3.9: Características do meio filtrante para o estudo de pré-filtros da pesquisa de POCASANGRE.

SUBCAMADA	TAMANHO DO PEDREGULHO (mm)	ESPESSURA DA SUBCAMADA (m)
1	25,0 - 50,0	0,60
2	6,4 - 12,7	0,40
3	2,4 - 4,8	0,40
4	1,4 - 2,0	0,40

Fonte: Pocasangre, 1990

POCASANGRE concluiu, em seu trabalho, que:

- No início da filtração, as eficiências de remoção de impurezas foram menores, provavelmente porque forma-se uma “camada biológica” após certo tempo de funcionamento. Com o decorrer da operação do pré-filtro, a eficiência aumentou;
- Tanto o pré-filtro de escoamento ascendente como o de escoamento descendente apresentaram praticamente a mesma eficiência de remoção de turbidez, cor aparente e ferro total;
- Para água bruta com turbidez acima de 100 UT, as eficiências de remoção foram maiores que 50%, porém os filtros foram menos eficientes na remoção de turbidez menor que 50 UT;
- Para cor aparente com valores acima de 150 UC, as eficiências foram de 40 a 60%. Para valores de ferro total entre 1,00 e 4,66 mg/l, obtiveram-se os valores máximos de 1,99 e 2,72 mg/l nos efluentes dos pré-filtros ascendente e descendente, respectivamente;
- A eficiência de remoção de turbidez, cor aparente, ferro total e coliformes totais não foi alterada pela aplicação de diferentes taxas de filtração;
- A duração da carreira no pré-filtro de escoamento ascendente não foi muito influenciada pelas características do afluente, como ocorre com o filtro de escoamento descendente;
- A simples descarga de fundo não é suficiente para limpar o pré-filtro de escoamento descendente, diferentemente do de escoamento ascendente, necessitando da introdução de água no sentido ascensional para remoção de impurezas retidas;
- O pré-filtro de escoamento ascendente apresentou menor perda de carga e, portanto, carreira de filtração mais longa que o de escoamento descendente;

- Há necessidade de se cobrir o pré-filtro com escoamento ascendente devido ao crescimento excessivo de algas na sua parte superior.

RUIZ BOJORGE (1996) investigou o desempenho de mantas sintéticas usadas em pré-filtros de pedregulho e areia grossa com escoamento vertical. Os pré-filtros de pedregulho e o meio granular utilizados foram os mesmos de POCASANGRE (1990). Neste trabalho, RUIZ BOJORGE concluiu que:

- O pré-filtro em pedregulho com mantas sintéticas no topo do meio granular apresentou melhor desempenho em relação à retenção de impurezas (turbidez, cor aparente, coliformes totais, ferro total) e permitiu o uso de taxas de filtração mais elevadas que em filtração sem mantas;
- O uso de mantas propiciou maior capacidade de assimilação de variações bruscas da turbidez e aumento na duração da carreira de filtração;
- O pré-filtro com mantas apresentou maior eficiência de remoção de partículas na faixa de tamanho médio de 6,53 a 12,70 μm , indicadora da presença de *cistos de giardia*.

AGGIO (1993) estudou o desempenho de uma unidade de pré-filtração em pedregulho e areia grossa com escoamento ascendente, de características idênticas à unidade utilizada por POCASANGRE (1990), e uma unidade de filtração lenta em areia com escoamento descendente, para verificar a remoção de algas.

O trabalho proposto foi dividido em duas fases:

- i) a primeira fase foi caracterizada pela utilização de água bruta natural afluyente para as unidades de pré-filtração e filtração lenta;
- ii) na segunda fase foi utilizada água bruta modificada através da adição da suspensão de solo argiloso.

AGGIO observou que as partículas de maior tamanho em suspensão na água bruta eram retidas pelo pré-filtro.

Durante a análise da comunidade fitoplanctônica existente na água bruta natural e nos efluentes das unidades, foram classificados 58 gêneros de algas, pertencentes a 6 divisões (TABELA 3.10). A divisão Chlorophyta foi a que apresentou maior diversidade de gêneros, totalizando 26. Este fato não caracterizou a dominância desta divisão durante as análises. As

Bacillariophyta (diatomáceas), com 15 gêneros, foram as predominantes em todas as carreiras. A divisão Pyrrophyta, representada por apenas *Peridinium sp.* também teve uma expressiva representação na densidade final das algas. Entre as diatomáceas predominaram, de um modo geral, os gêneros *Eunotia sp.*, *Fragilaria sp.*, *Melosira sp.*, *Navicula sp.*, *Nitzschia sp.* e *Synedra sp.* *Ankistrodesmus sp.*, *Closterium sp.*, *Desmidium sp.*, *Scenedesmus sp.* e *Staurastrum sp.* foram os gêneros que se destacaram dentro da divisão Chlorophyta. Para as Cyanophyta (algas azuis) predominaram *Oscillatoria sp.* e *Plectonema sp.* Nas divisões Chrysophyta e Euglenophyta, destacaram-se *Dynobryon sp.* e *Synura sp.* e *Euglena sp.* e *Trachelomonas sp.* respectivamente.

O estudo da distribuição vertical da comunidade de algas dentro das camadas do meio filtrante de cada unidade foi realizado somente durante a primeira fase do trabalho. Observou-se que as diatomáceas e Chlorophyta foram as algas que predominaram em ambas as unidades. Segundo MILLER *apud* AGGIO, as diatomáceas são hábeis colonizadoras de grãos de areia, principalmente dos vales e fendas, estando adaptadas a ambientes que sofrem grande interferência, como é caracterizado o meio filtrante dos filtros lentos.

Quanto à análise da comunidade de protozoários, acredita-se que devido ao congelamento das amostras para o exame das mantas, houve uma subestimação da comunidade, já que certos microrganismos não suportariam o congelamento. Foi observado que para a classe Rhizopoda houve uma predominância de organismos tecados, isto é, organismos que possuem uma carapaça rígida protegendo o conteúdo celular. Além disso, é clara a predominância de amebas. Em relação aos metazoários, observou-se que os Rotifera foram os mais abundantes, seguidos pelos Nematoda, tanto no meio do filtro lento como no meio do pré-filtro.

TABELA 3.10: Composição genérica das divisões de algas classificadas durante o estudo de AGGIO.

DIVISÃO	GÊNEROS
BACILLARIOPHYTA	<i>Amphora sp; Asterionella sp; Cymbela sp; Eunotia sp; Fragilaria sp; Frustulia sp; Gomphonema sp; Melosira sp; Navicula sp; Nitzschia sp; Pinnularia sp; Rhopalodia sp; Surirella sp; Synedra sp; Tabelaria sp.</i>
CHLOROPHYTA	<i>Ankistrodesmus sp; Bambusina sp; Chlorella sp; Closterium sp; Coelastrum sp; Cosmarium sp; Crucigenia sp; Desmidium sp; Dyciosphaerium sp; Euastrum sp; Golenkinea sp; Golenkiniopsis sp; Hyaloteca sp; Kircheneriella sp; Micrasterias sp; Mougeotia sp; Oedogonium sp; Oocystis sp; Pediatrum sp; Pleurotaenium sp; Scenedesmus sp; Selenastrum sp; Sphaerocystis sp; Spirogyra sp; Staurastrum sp; Staurodesmus sp.</i>
CHRYSOPHYTA	<i>Cryptomonas sp; Dynobryon sp; Mallomonas sp; Synura sp.</i>
CYANOPHYTA	<i>Anabaena sp; Borzia sp; Chroococcus sp; Gloeocapsa sp; Lyngbia sp; Microcystis sp; Oscillatoria sp; Plectonema sp; Spirulina sp.</i>
EUGLENOPHYTA	<i>Euglena sp; Phacus sp; Trachelomonas sp.</i>
PYRROPHYTA	<i>Peridinium sp.</i>

Fonte: AGGIO, 1993.

As conclusões obtidas pelo autor foram:

a) em vista da análise quantitativa das algas presentes na água bruta e nos efluentes, conclui-se que a densidade de células algais presentes não traz problemas às unidades de filtração utilizadas neste estudo, atingindo o máximo de 30×10^3 células/ litro;

b) dentre as algas, as diatomáceas foram as predominantes, tanto na água bruta como na água filtrada. Elas predominaram também como colonizadoras do meio filtrante para as duas unidades estudadas;

c) dentre os protozoários a classe Rhizopoda foi a predominante. É provável que tenha havido uma subestimação da comunidade desenvolvida nas mantas devido ao erro de metodologia através do congelamento;

d) dentre os metazoários, os Rotifera e Nematoda foram os grupos que apresentaram melhor desempenho na colonização das mantas e dos meios filtrantes das unidades de filtração;

e) a aplicação de uma taxa de filtração elevada favorece o aumento da densidade dos organismos colonizadores, devido a um maior volume de matéria orgânica afluenta ao sistema;

f) Obteve-se uma eficiência média de remoção de algas para o pré-filtro de 85%.

g) ao aplicar-se água bruta modificada, as unidades filtrantes não apresentaram uma eficiência elevada, em média 47% para o sistema. A unidade de pré-filtração não foi eficiente para a taxa aplicada ($36 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$)

h) o desempenho da colonização pelas comunidades estudadas foi afetado pela taxa de filtração aplicada, observando que a taxa de $36 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e $12 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ para o pré-filtro e filtro lento respectivamente, foram os valores ideais para que ocorresse uma melhor colonização do meio por todas as comunidades, porém sendo observada uma deterioração da qualidade dos efluentes.

FAZOLO (1999) avaliou três sistemas de pré-filtros em pedregulho com escoamento ascendente, operados em paralelo. A instalação piloto era composta por uma caixa que recebia água bruta da adutora proveniente do Ribeirão do Feijão, urna pequena estação elevatória, caixa de recepção provida de vertedor triangular, dois pré-filtros dinâmicos de pedregulho, PFD1 e PFD2, uma segunda caixa de distribuição, que alimentava as três linhas paralelas de pré-filtros em pedregulho com escoamento ascendente, cujos meios granulares são apresentados na tabela 3.11.

A configuração dos filtros era a seguinte:

- Linha 1: PFPA1 + PFPA2 + PFPA3 + PFPA4;
- Linha 2: PFPA 12 + PFPA 34;
- Linha 3: PFPA 1234.

TABELA 3.11: Caracterização dos meios granulares nas unidades de pré-filtração vertical com escoamento ascendente utilizadas por FAZOLO.

LINHA	UNIDADE	CAMADA	GRANULOME- TRIA (mm)	ESPESSURA DA CAMADA (m)	
01	PFPA1	fundo cônico	31,40 - 50,00	0,20	
		1 ^a .	19,00 - 25,40	0,40	
	PFPA2	fundo cônico	31,40 - 50,00	0,20	
		1 ^a .	9,60 - 15,90	0,40	
	PFPA3	fundo cônico	19,00 - 31,40	0,20	
		1 ^a .	3,20 - 6,40	0,40	
	PFPA4	fundo cônico	9,60 - 15,90	0,20	
		1 ^a .	1,41 - 3,20	0,40	
	02	PFPA12	fundo cônico	50,00 - 75,00	0,30
			1 ^a .	19,00 - 25,40	0,40
2 ^a .			9,60 - 15,90	0,40	
PFPA34		fundo cônico	31,40 - 50,00	0,30	
		1 ^a .	3,20 - 6,40	0,40	
		2 ^a .	1,41 - 3,20	0,40	
03	PFPA1234	fundo cônico	31,40 - 50,00	0,45	
		1 ^a .	19,00 - 25,40	0,40	
		2 ^a .	9,60 - 15,90	0,40	
		3 ^a .	3,20 - 6,40	0,40	
		4 ^a .	1,41 - 3,20	0,40	

Fonte: adaptado de FAZOLO, 1999.

As unidades eram constituídas em chapas metálicas com 6,4 mm de espessura, revestidas interna e externamente com pintura epóxi, e compostas por duas partes cada: a superior, de formato cilíndrico, e a inferior, de formato cônico. A parte superior possuía diâmetro interno de 800 mm em todas as unidades e as alturas eram de 800, 1200 e 2500 mm nas unidades da primeira, segunda e terceira linhas respectivamente. As alturas das partes cônicas eram de 200 mm nas unidades componentes da linha 1, 300 mm nas unidades da linha 2 e 450 mm na unidade da linha 3.

Os experimentos foram realizados em três etapas, sendo que na fase I, o sistema foi operado com taxa de filtração de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; na fase II, com taxa de $8 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; e na fase III, com $16 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$.

O autor conclui em seu trabalho que:

1) Para as condições estudadas, os três sistemas de pré-filtros em pedregulho com escoamento ascendente praticamente igual quanto à remoção de turbidez, cor aparente, sólidos suspensos, coliformes totais e coliformes fecais, atingindo eficiências máximas de 88%, 85%, 93%, 97% e 98% respectivamente;

2) Os pré-filtros de pedregulho constituem-se em uma eficiente barreira sanitária, capaz de reduzir significativamente a contaminação biológica. As concentrações médias de coliformes fecais dos efluentes dos pré-filtros apresentaram valores inferiores a 65 organismos/100 mL nos ensaios II e III, demonstrando-se adequadas para a filtração lenta;

3) Os sistemas de pré-filtros ascendentes podem produzir efluentes compatíveis com a filtração lenta, exceto quando da ocorrência de variações bruscas e acentuadas na qualidade da água afluente, pois tiveram efeito limitado no amortecimento de picos de turbidez maior que 50 UT, ocasionando deterioração dos efluentes;

4) Possivelmente, taxas de filtração de 8, 12 e $16 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ não interferiram no comportamento hidrodinâmico das três linhas de pré-filtros operados em paralelo;

5) A sequência de quatro unidades em série apresentou comportamento hidrodinâmico mais pistonado, comparativamente aos sistemas compostos por duas unidades em série e uma única unidade;

6) Duas descargas de fundo contínuas e subsequentes limpam apenas parcialmente o meio filtrante;

7) As três linhas se comportaram de maneira idêntica quanto à remoção de turbidez, cor aparente, sólidos em suspensão, coliformes totais e fecais.

Levando-se em conta a necessidade da existência de pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, principalmente no tocante da remoção dos sólidos produzidos no processo de digestão anaeróbia, e também a grande capacidade que os filtros de pedregulho têm de reduzir o teor de sólidos suspensos, turbidez e microrganismos em águas de abastecimento, procurou-se estudar o pós-tratamento de esgoto sanitário com filtros de pedregulho.

4- MATERIAIS E MÉTODOS.

4.1- Generalidades.

As instalações experimentais envolvem um Reator Anaeróbio de Leito Expandido e três filtros de pedregulho. Durante o período experimental, o esgoto sanitário proveniente da rede coletora pública sofria primeiramente um tratamento anaeróbio no reator, e então seguia para uma caixa de armazenamento, de onde era recalcado para uma caixa de distribuição que alimentava os filtros de pedregulho. Nessas unidades, sofria um pós-tratamento, o qual foi estudado neste trabalho. Cada filtro possuía uma válvula para descarga de fundo, a fim de que os sólidos acumulados nas unidades possam ser descartados, evitando o entupimento do meio filtrante. Os efluentes dessas unidades eram descartados de volta para a rede coletora pública de esgoto.

4.2- Descrição do sistema de tratamento do esgoto sanitário.

Nesta pesquisa foi utilizado o efluente do Reator Anaeróbio de Leito Expandido (RALEx) localizado na área nordeste do *campus* da USP - São Carlos. O esquema do sistema de tratamento de esgoto sanitário contendo o RALEx é mostrado nas figuras 4.1 e 4.2. O esgoto sanitário produzido na bacia do córrego Tijuco Preto da cidade de São Carlos tem derivação até o *campus* da USP. Parte do esgoto é desviada para uma caixa coletora de esgoto bruto, onde este é previamente gradeado, de maneira que são removidos os sólidos grosseiros e inertes. Posteriormente, atravessa uma caixa de areia e é transportado até um poço de sucção. Um conjunto moto-bomba recalca o esgoto para o interior do reator, onde ocorre o tratamento biológico da água residuária. Esse conjunto moto-bomba é formado por um motor tipo elétrico, marca WEG IV pólos, potência de 5 CV, frequência de 60 Hz e de uma bomba helicoidal, marca GEREMIA, modelo HF-60L com pressão máxima de 6 kgf/cm² com sucção máxima de 8 mca.

O Reator Anaeróbio de Leito Expandido (RALEx) foi construído em aço carbono zincado a quente, com 14,9 m de altura total e 1,5 m de diâmetro de base e 32 m³ de volume, e contém no seu interior carvão ativado granular. O reator é composto de duas partes, uma de reação e outra de sedimentação. A câmara de reação apresenta formato cilíndrico e tem 12,0 m de altura e 1,5 m de diâmetro, enquanto a câmara de sedimentação tem 2,9 m de altura, 1,5 m de diâmetro menor e 2,5 m de diâmetro maior. Após o tratamento efetuado na região de reação, o esgoto passa nessa região de sedimentação a fim de que haja separação das biopartículas presentes.

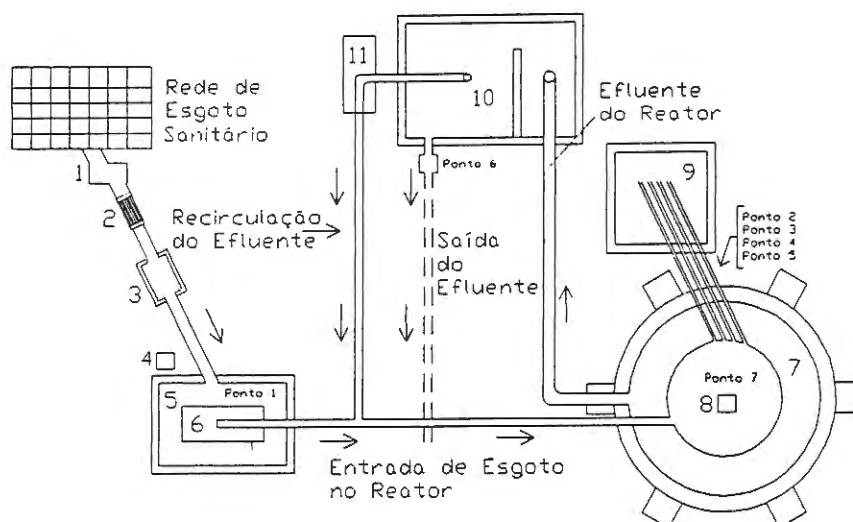


FIGURA 4.1: Esquema em planta do sistema de tratamento de esgoto sanitário através de reator anaeróbio de leito expandido.

Legenda:

- 1- Caixa coletora de $2,57 \text{ m}^2$ em concreto armado;
- 2- Grade de ferro com espaçamento entre barras de 2,5 cm;
- 3- Unidade de desarenação de $1,90 \text{ m}^2$;
- 4- Painel eletrônico, com indicadores de pressão digitais e indicadores de operação (horas de funcionamento das bombas, rotação dos motores, voltagem e amperagem);
- 5- Poço de esgoto bruto com $5,70 \text{ m}^3$ em concreto armado;
- 6- Conjunto moto-bomba CMB_1 ;
- 7- Reator anaeróbio de leito expandido de 32 m^2 ;
- 8- Medidor de volume de gás TECNOBRÁS, modelo Gallus 2000-G4;
- 9- Tanque de peneiramento, em concreto armado, com peneira em aço inoxidável de $1,44 \text{ m}^2$ de área com uma abertura de 1 mm;
- 10- Poço de recirculação do efluente do reator de $3,78 \text{ m}^3$ em concreto armado;
- 11- Conjunto moto-bomba CMB_2 , análogo ao CMB_1 , com motor tipo elétrico de potência de 7,5 CV bomba helicoidal de modelo HF-70L.

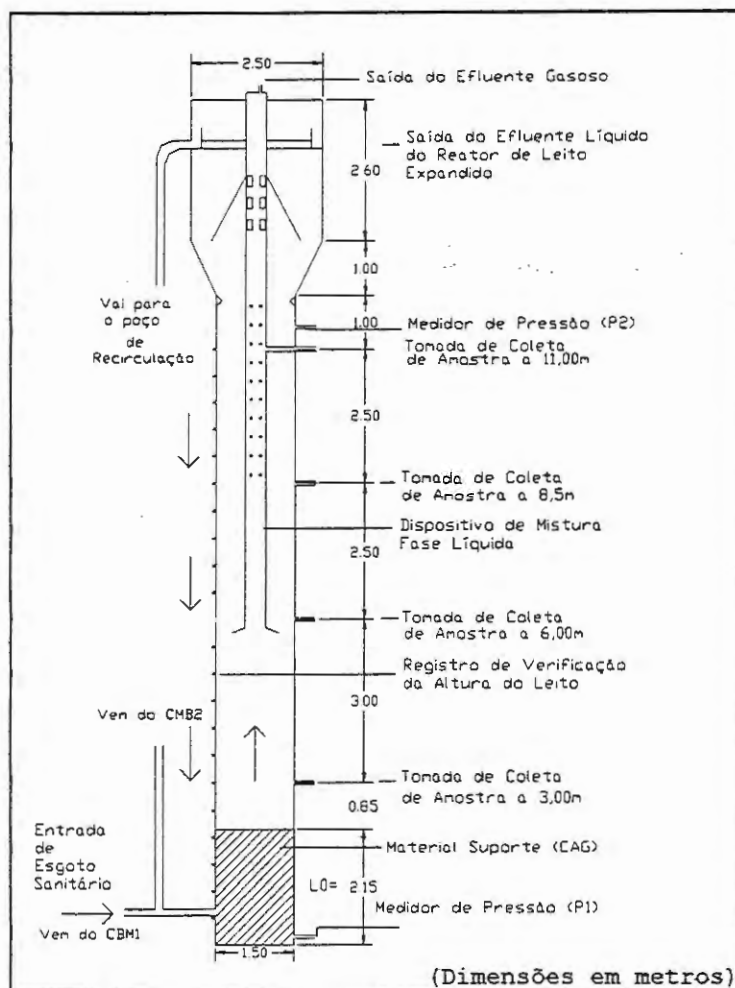


FIGURA 4.2: Esquema em corte do Reator Anaeróbio de Leito Expandido. Dimensões dadas em metros.

O efluente do reator é conduzido para o poço de recirculação. Um outro conjunto moto-bomba recircula parcela do efluente do reator para a tubulação de entrada, enquanto outra parcela é lançada como efluente final. Parte deste efluente descartado seguia por uma canalização até uma caixa de armazenamento de 1000 litros, provida de bóia de latão, com a função de impedir que os filtros possam ficar sem alimentação. O esgoto tratado assim armazenado era recalado por uma bomba modelo MARK XD1 para uma caixa de distribuição de 20 litros, provida de três registros de agulha, cada um distribuindo o esgoto tratado para um filtro. Esta caixa também era provida de retorno, o que permitia que o esgoto da caixa de armazenamento fosse continuamente agitado

por toda a operação dos filtros. A altura da caixa de distribuição em relação à saída de esgoto dos filtros resultava em uma carga hidráulica de 55,0 cm.

Os três filtros eram formados por colunas de acrílico de 91,4 mm de diâmetro interno com fundo cônico de 5,0 cm de altura. Possuíam cada um altura total de 2,19 m, altura útil de 2,07 m (excluindo o fundo cônico) e volume útil de 8,5 litros. A perda de carga no meio filtrante era medida através de piezômetros conectados na base dos filtros. Na figura 4.3 é apresentado um esquema dos filtros de pedregulho. Nas figuras , 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8 são mostradas fotografias da instalação. Os meios granulares dos filtros de pedregulho (FP) serão constituídos de pedregulho com tamanhos variáveis, de acordo com a Tabela 4.1. No anexo E encontram-se as características de cada camada do meio granular.

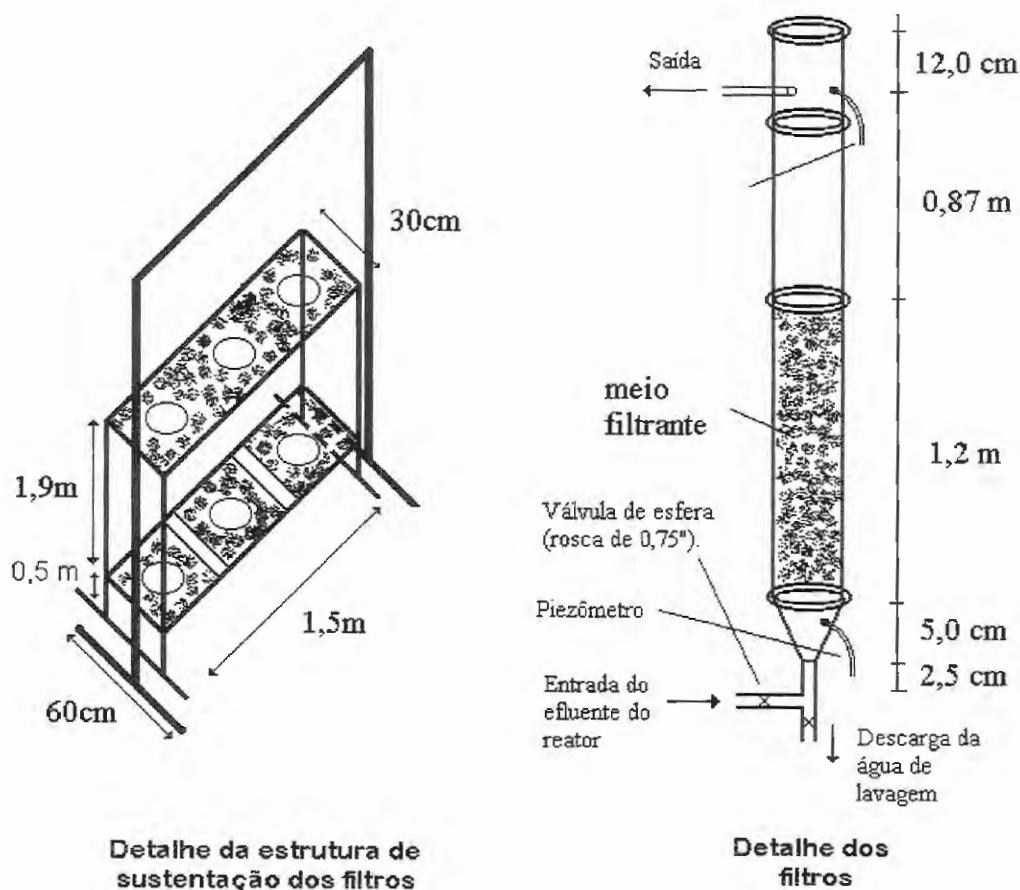


FIGURA 4.3: Esquema da estrutura de sustentação e dos filtros de pedregulho.



FIGURA 4.4: Fotografia do sistema experimental utilizado.



FIGURA 4.5: Fotografia da caixa armazenadora de esgoto e da bomba MARK XD1 utilizada.



FIGURA 4.6: Fotografia da caixa de distribuição e registros de agulha utilizados no controle de vazão de entrada dos filtros.



FIGURA 4.7: Fotografia dos filtros de pedregulho de escoamento ascendente empregados.



FIGURA 4.8: Fotografia da parte inferior dos filtros mostrando a canalização de distribuição do esgoto sanitário, as válvulas e as mangueiras de descarte das descargas de fundo.

TABELA 4.1: Características do meio filtrante das unidades de filtração empregadas.

UNIDADE	CAMADA	GRANULOMETRIA (mm)	ESPESSURA DA CAMADA (m)
FA1	PRIMEIRA	15,9 - 25,4	0,40
	SEGUNDA	9,6 - 15,9	0,40
	TERCEIRA	6,4 - 9,6	0,40
FA2	PRIMEIRA	15,9 - 25,4	0,40
	SEGUNDA	9,6 - 15,9	0,40
	TERCEIRA	3,2 - 6,4	0,40
FA3	PRIMEIRA	9,6 - 19,0	0,40
	SEGUNDA	6,4 - 9,6	0,40
	TERCEIRA	2,4 - 4,8	0,40

4.3- Operação do RALEx e dos filtros de pedregulho.

O reator operou com velocidade ascensional de 10,5 m/h, tempo de detenção hidráulico de 3,2 horas e taxa de recirculação de 0,85 durante a fase experimental. Como o regime de equilíbrio dinâmico aparente havia sido atingido, o efluente do RALEx se apresentava representativo para a realização da pesquisa com os filtros de pedregulho.

A manutenção do sistema de tratamento contendo o RALEx envolveu: a) limpeza das grades de barras, retentoras de sólidos; b) anotação das horas de funcionamento dos conjuntos moto-bombas, vazão afluente, vazão de recirculação, pressão na base do reator, corrente elétrica e ocorrência de chuvas; c) ajuste das vazões do reator.

A operação dos filtros de pedregulho envolveu o ajuste da vazão de esgoto na caixa de distribuição, o ajuste das vazões afluentes aos filtros (efluente do RALEx), a realização de descargas de fundo em função da perda de carga no meio granular, a limpeza do meio granular de cada unidade, o desentupimento da bóia e a drenagem periódica da caixa de armazenamento.

4.3.1- Fases de operação dos filtros de pedregulho.

A operação dos filtros foi dividida em três fases, de acordo com as taxas de filtração empregadas, realização de descargas de fundo e número de carreiras de filtração, como indica a tabela 4.2. Definiu-se arbitrariamente uma carreira de filtração da seguinte forma: inicia-se uma carreira quando o filtro é colocado em operação e finaliza-se na ocorrência da quinta descarga de fundo. A execução de uma descarga de fundo intermediária (DF) era função da perda de carga observada no meio granular dos filtros, medida por meio de piezômetros. Cada descarga de fundo era realizada quando se observavam acréscimos de 10 cm na perda de carga conforme a fase experimental, como ilustram as figuras 4.9 e 4.10. A limpeza do meio granular, realizada no final de uma carreira de filtração, era efetuada com a unidade filtrante sendo retirada de operação, introduzia-se água em sua parte superior e efetuavam-se descargas de fundo até se verificar que o líquido descarregado estava visualmente clarificado.

TABELA 4.2: Programação da operação dos filtros de pedregulho.

Fase	1	2	3
Taxa de filtração ($m^3 m^2 d^{-1}$)	72	120	170
Número previsto de carreiras nos filtros	3	3	3

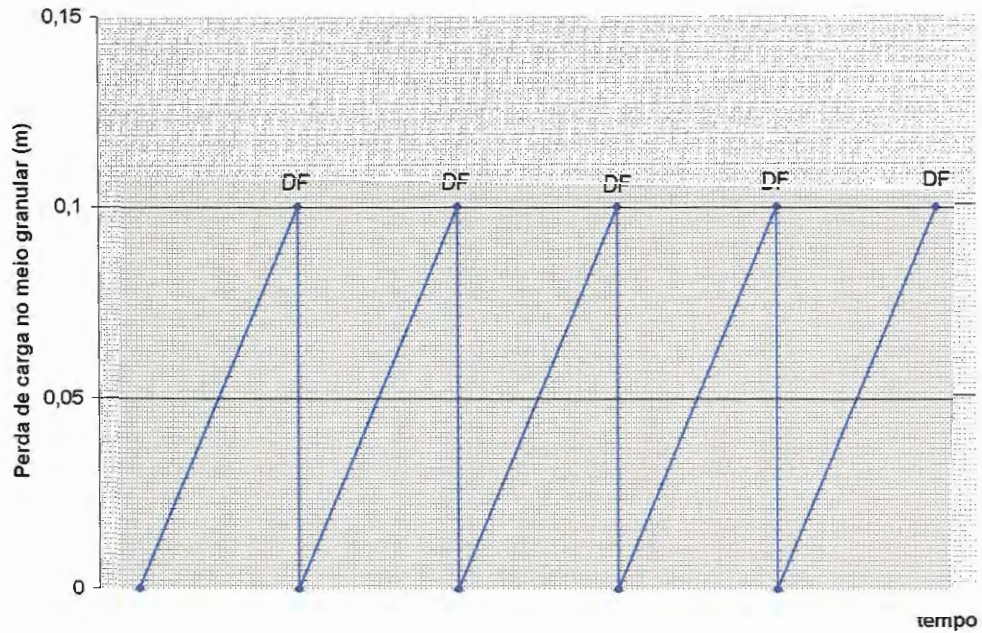


FIGURA 4.9: Esquema de uma carreira completa de filtração em função da perda de carga no meio granular dos filtros de pedregulho na fase 1.

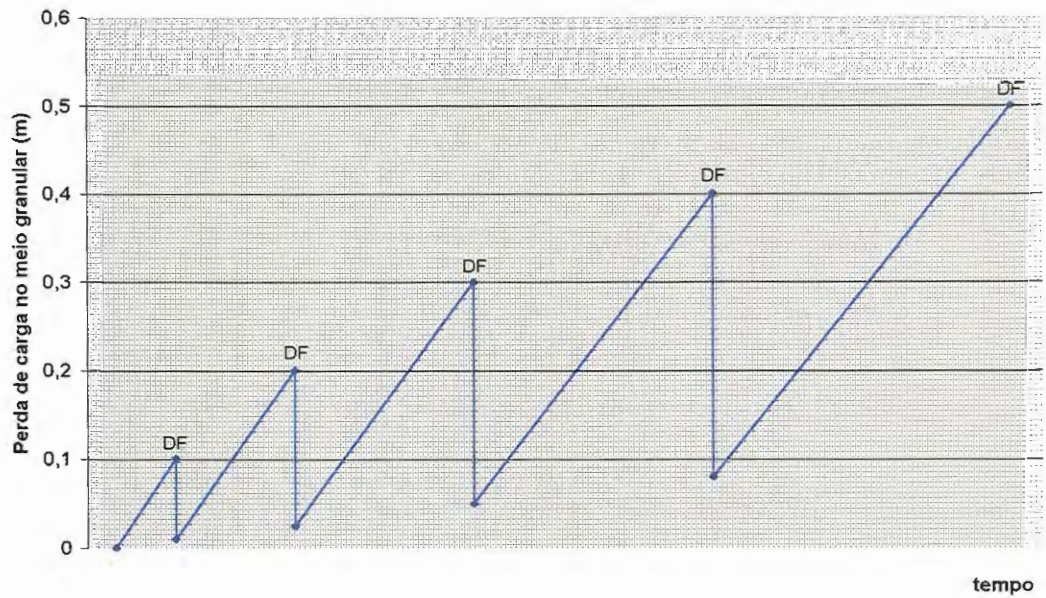


FIGURA 4.10: Esquema de uma carreira completa de filtração em função da perda de carga no meio granular dos filtros de pedregulho nas fases 2 e 3.

4.4- Caracterização do esgoto armazenado na caixa de 1000 litros.

Foi realizado um monitoramento, durante 24 h, para caracterização do esgoto sanitário efluente do reator e do esgoto armazenado na caixa de 1000 litros (afluente dos filtros de pedregulho), com o objetivo de verificar as alterações ocorridas em suas características físico-químicas e biológicas antes de alimentar os filtros de pedregulho, decorrentes de aeração e agitação do esgoto. Durante a realização do perfil de 24 h, as amostras eram coletadas a cada duas horas e encaminhadas para exames e análises.

Os seguintes parâmetros do efluente descartado do reator e do efluente armazenado na caixa foram determinados no ensaio: temperatura, pH, alcalinidade total, alcalinidades parcial e intermediária, DQO bruta (DQO_B), DQO filtrada (DQO_F), ácidos voláteis, série de sólidos (ST, STF, STV, SST, SSF, SSV), sólidos sedimentáveis, nitrogênio total e nitrogênio amoniacal e turbidez. Os métodos analíticos utilizados no ensaio obedeceram os procedimentos descritos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* 19^a. edição (APHA, 1995), exceto a análise de ácidos voláteis, que foi efetuada empregando-se o método da titulação direta proposto por DILALLO & ALBERTSON (1961).

4.5- Coleta, análise e exames das amostras.

Para o monitoramento da instalação, foram coletadas e analisadas amostras do afluente e dos efluentes dos filtros cinco vezes por semana, geralmente no horário das 7h30 às 8h30. Foram coletadas também amostras das descargas de fundo para análise, com o objetivo de ter-se um indicativo da poluição pontual que o lodo causa no meio ambiente.

Os métodos analíticos utilizados no presente trabalho obedeceram os procedimentos descritos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* 19^a. edição (APHA, 1995) e fazem parte das rotinas do Laboratório de Saneamento da EESC-USP, como pode ser visto na tabela 4.3.

É importante fazer algumas considerações a respeito da determinação de certos parâmetros. No método titulométrico de medição da alcalinidade total, foi utilizada uma bureta de fundo de escala de 0,05 mL. Esse fato indica que diferenças nos valores de alcalinidade menores que 5 mg $CaCO_3/L$ (quando calculados a partir do uso de ácido sulfúrico 0,100 N) e 10 mg $CaCO_3/L$ (com uso de ácido 0,109 N) não puderam ser detectadas, e assim a análise dos valores da alcalinidade total não pôde ser efetuada baseando-se nessas diferenças.



TABELA 4.3: Parâmetros laboratoriais avaliados, frequência e método de análise das amostras do afluente e dos efluentes dos filtros.

Parâmetro de análise	Frequência	Método utilizado
pH	5 vezes/semana na fase 1 3 vezes/semana nas fases 2 e 3	Potenciométrico
Alcalinidade total	5 vezes/semana na fase 1 3 vezes/semana nas fases 2 e 3	Titulométrico
Sólidos Sedimentáveis	5 vezes/semana na fase 1 3 vezes/semana nas fases 2 e 3	Volumétrico
Série de sólidos*	3 vezes/semana	Gravimétrico
DQO total	3 vezes/semana	Colorimétrico e Refluxo Fechado
Nitrogênio total	2 vezes/semana na fase 1 1 vez/semana nas fases 2 e 3	Macro Kjeldahl
Nitrogênio amoniacal	1 vez/semana nas fases 2 e 3	Nesslerização Direta
Fosfato total	2 vezes/semana na fase 1 1 vez/semana nas fases 2 e 3	Colorimétrico
DBO	1 vez/semana	Oxímetro
Nitrito e Nitrato	1 vez/semana nas fases 2 e 3	Espectrofotométrico
Coliformes totais e fecais	1 vez/semana a partir de 02/Set.	Colilert

*NOTA: A série de sólidos é composta por Sólidos Totais (Fixos e Voláteis) e Sólidos Suspensos (Fixos e Voláteis).

As análises das descargas de fundo foram efetuadas do seguinte modo:

- Amostras relativas à fase 1: foram determinados os mesmos parâmetros citados para cada amostra, exceto nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e coliformes;
- Amostras relativas às fases 2 e 3: foram determinados os seguintes parâmetros para cada amostra: nitrogênio total, fosfato total, metais, série de sólidos, sólidos sedimentáveis e DQO;
- A medida do pH, alcalinidade total e DBO dessas amostras foi realizada com o líquido sobrenadante, resultado da sedimentação de sólidos;

- No ensaio de Sólidos Suspensos, as amostras foram centrifugadas e o sobrenadante foi descartado, de modo que somente os sólidos centrifugados serviram para a análise;
- Para a determinação de fosfato total, as amostras foram digeridas em ácido nítrico 1:1 e ácido clorídrico 1:1.

4.6- Ensaio hidrodinâmico.

A fim de verificar o comportamento hidráulico das unidades, foram realizados ensaios hidrodinâmicos com a aplicação de 50,0 mL de solução 1,0 g/L de azul de metileno ($C_{16}H_{18}N_3SCl \cdot 3H_2O$) na forma de pulso. A aplicação foi realizada na parte inferior de cada unidade, mais especificamente no fundo cônico, fazendo-se a leitura da absorbância do composto no efluente a cada 5 minutos.

O efluente era coletado a uma altura de 2,15 m a partir da base do filtro, ou seja, a cerca de um metro (1,0 m) acima do leito de pedregulho.

4.7- Microscopia das descargas de fundo

Realizou-se microscopia de contraste de fase e fluorescência nas amostras das descargas de fundo dos três filtros. A amostra do FA2 foi coletada um dia após o início da operação com taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; do FA1 e do FA3, dois dias após o início, sendo que foi realizada uma descarga de fundo do FA3 após um dia de operação. As amostras foram preparadas em ágar, para que não houvesse rompimento químico das células e que elas fossem imobilizadas. Os exames microscópicos foram efetuados no Laboratório de Microbiologia de Processos Anaeróbios da EESC-USP.

5- RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Neste tópico são apresentados os resultados obtidos em todos os ensaios. Inicialmente é apresentada a caracterização do esgoto sanitário a partir de um monitoramento durante 24 horas, e em seguida apresentada a operação dos filtros de pedregulho.

5.1- Perfil 24 horas do esgoto armazenado na caixa de 1000 litros.

Podem-se notar pelos gráficos das figuras 5.1 a 5.12 que as características do efluente do reator são idênticas às do esgoto da caixa de armazenamento. Porém, os valores de sólidos sedimentáveis do efluente do RALEx foram todos inferiores a 0,2 mL/L e, como o limite de detecção do método utilizado é de 0,1 mL/L, não se pôde inferir alterações desses valores no armazenamento do esgoto.

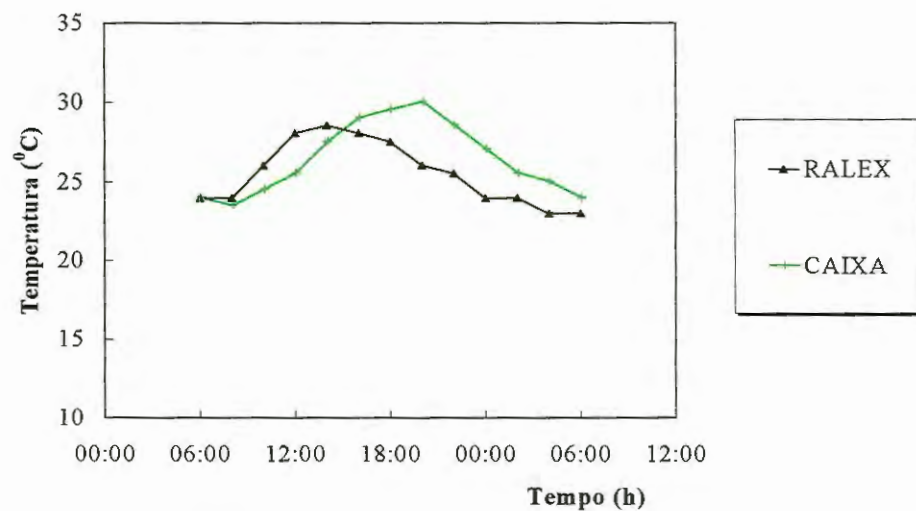


FIGURA 5.1: Temperatura (°C) do efluente do RALEx e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.

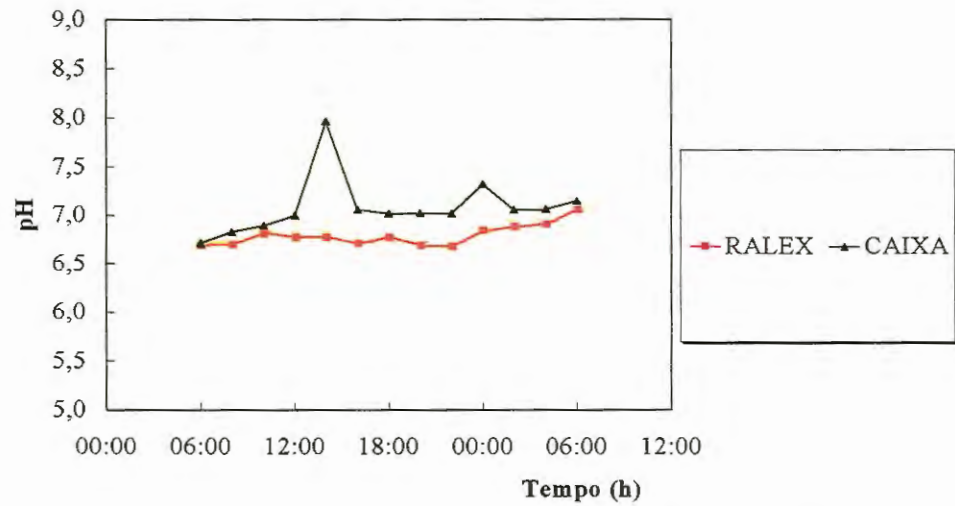


FIGURA 5.2: pH do efluente do RALEX e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.

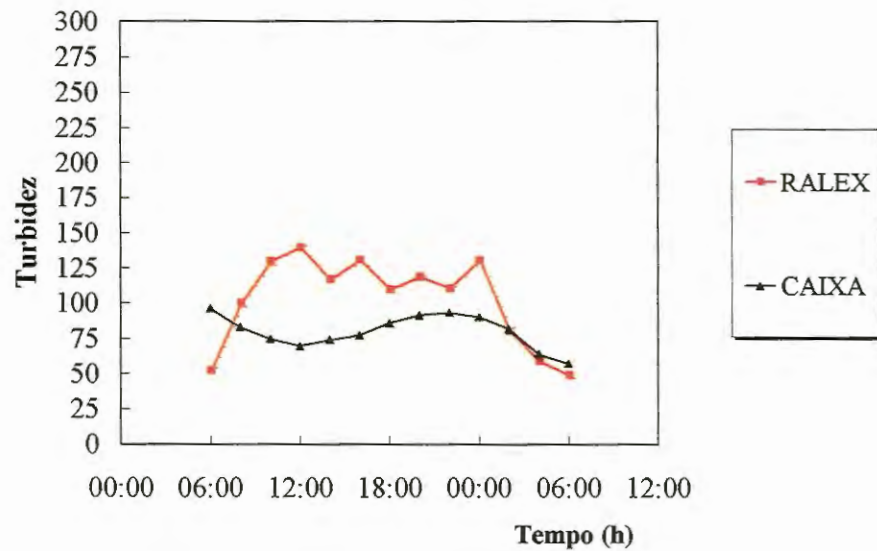


FIGURA 5.3: Turbidez (UT) do efluente do RALEX e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.

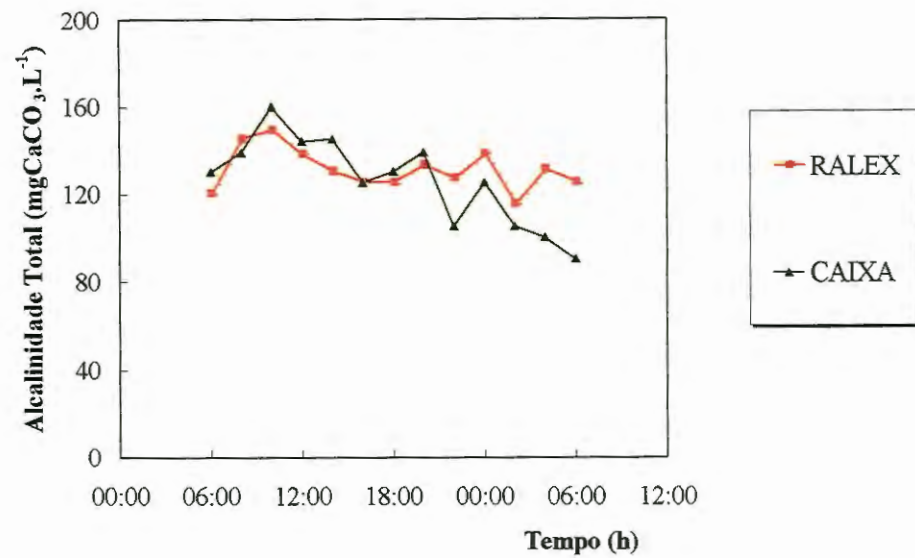


FIGURA 5.4: Alcalinidade total (mg CaCO₃/L) do efluente do RALEX e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.

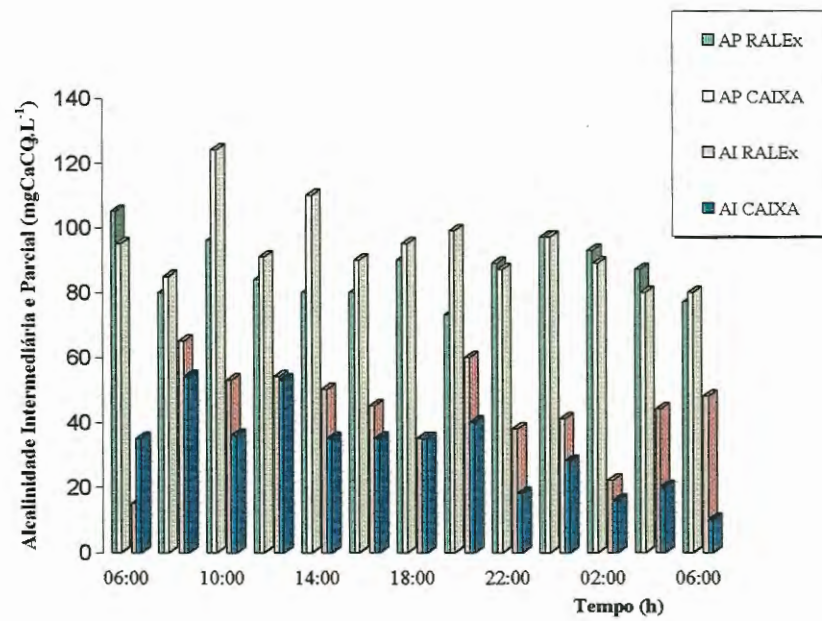


FIGURA 5.5: Alcalinidade parcial - AP e alcalinidade intermediária - AI (mg CaCO₃/L) do efluente do RALEX e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.

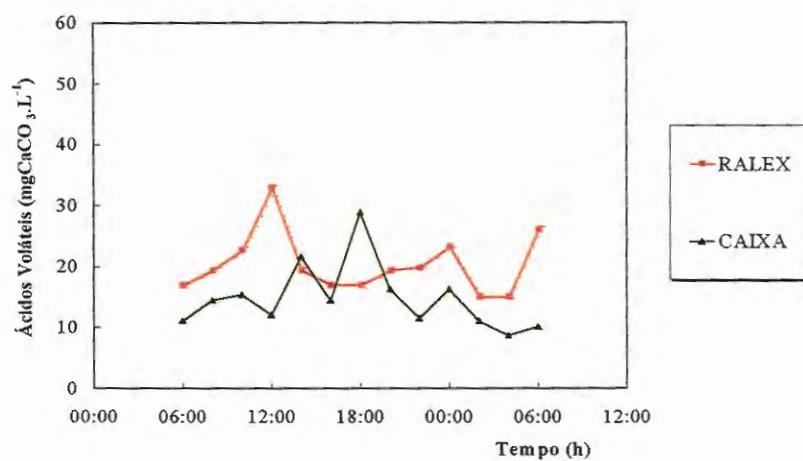


FIGURA 5.6: Ácidos voláteis (mg HAc/L) do efluente do RALEX e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.

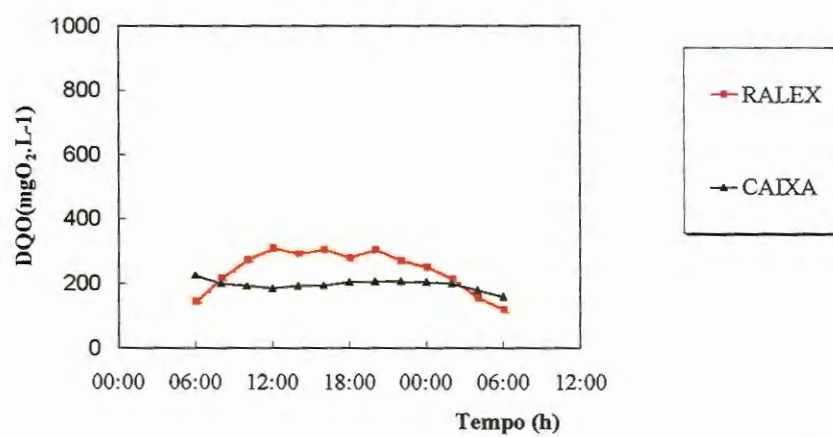


FIGURA 5.7: DQO bruta (mg O₂/L) do efluente do RALEX e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.

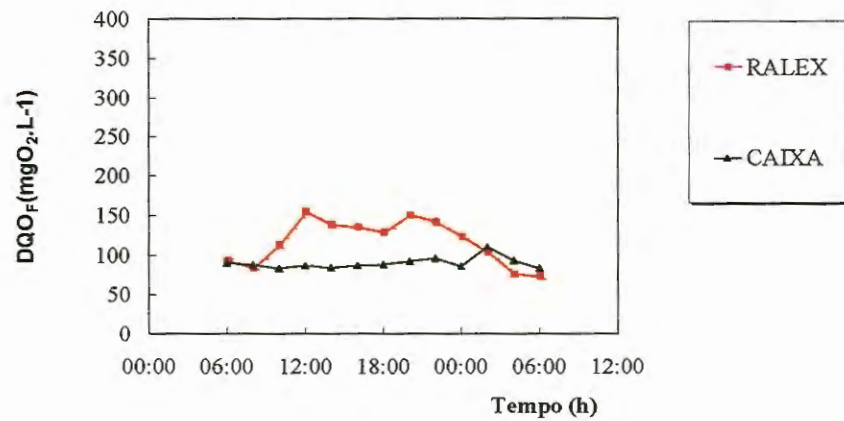


FIGURA 5.8: DQO filtrada (mg O₂/L) do efluente do RALEx e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.

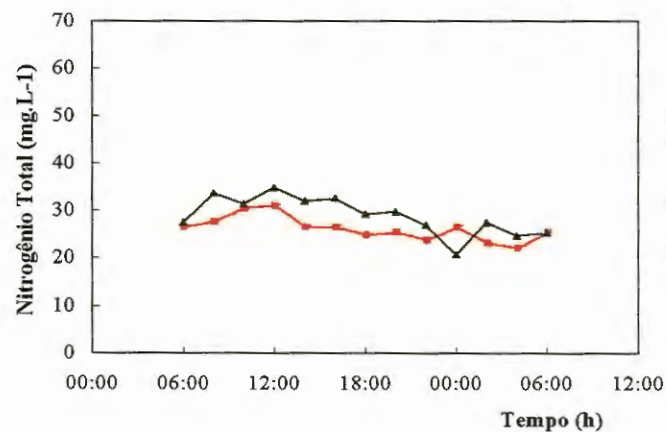


FIGURA 5.9: Nitrogênio total (mg/L) do efluente do RALEx e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.

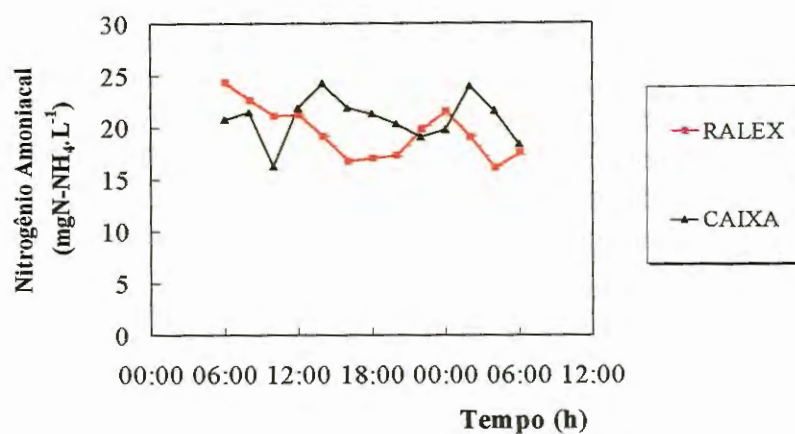


FIGURA 5.10: Nitrogênio amoniacoal (mg/L) do efluente do RALEx e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.

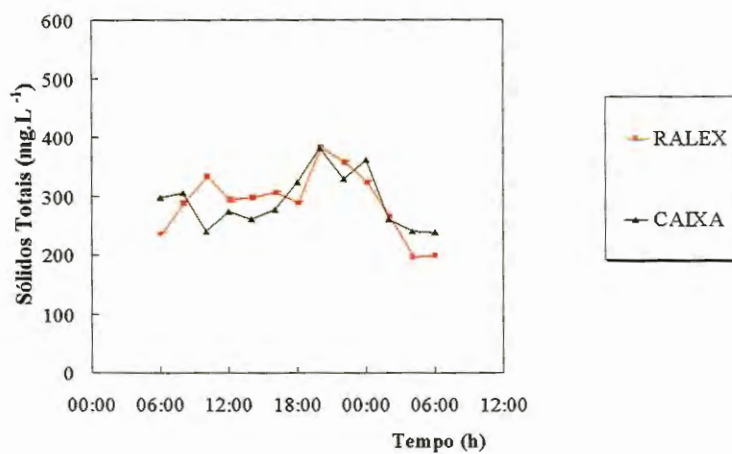


FIGURA 5.11: Sólidos totais (mg/L) do efluente do RALEx e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.

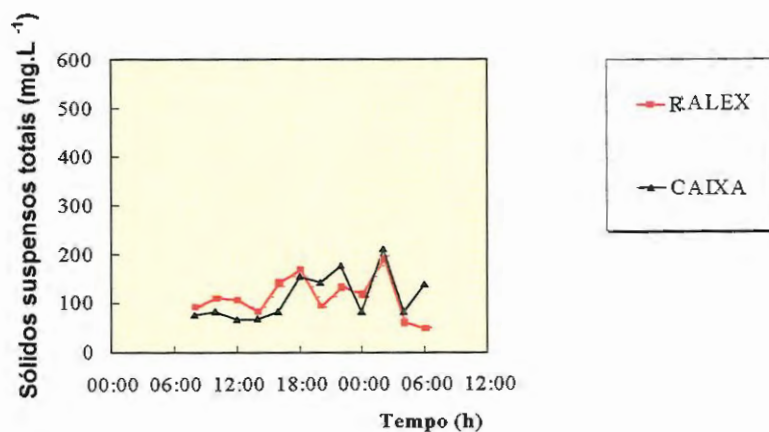


FIGURA 5.12: Sólidos suspensos totais (mg/L) do efluente do RALEX e do esgoto armazenado durante o perfil 24 horas.

Os valores de alcalinidade parcial, turbidez e ácidos voláteis do esgoto armazenado, exceto pelo primeiro ponto, são todos inferiores aos valores do efluente do reator. Os valores de alcalinidade intermediária do esgoto armazenado, por outro lado, são em geral superiores aos valores do efluente do reator, bem como os valores de nitrogênio total. Verifica-se que o comportamento das curvas de DQO filtrada e DQO total (bruta) são semelhantes, indicando que a proporção entre esses parâmetros não variou consideravelmente no ensaio.

Os resultados mostram claramente que o valor do pH do esgoto sanitário aumenta quando é armazenado na caixa de 1000 litros. Observa-se também que os valores de alcalinidade total da caixa até as 20 horas do dia 11/Nov. são superiores aos valores do efluente do RALEX. A DQO filtrada do efluente do reator se apresenta superior à DQO filtrada da caixa, indicando que provavelmente houve um certo tratamento do esgoto sanitário pelo fato de ter sido armazenado por um período de cerca de 7 horas.

Por outro lado, verifica-se que os valores da alcalinidade total e da DQO filtrada no período das 2 horas às 6 horas diminuem no efluente do RALEX a ponto de serem inferiores aos da caixa. Isto é explicado pelo fato de que a vazão de esgoto sanitário nesse período é muito baixa, e como o esgoto da caixa é utilizado com vazão constante, seu volume no interior da caixa diminui, concentrando o esgoto.

Na análise da temperatura, alcalinidade total, nitrogênio amoniacal e sólidos totais, observa-se que a caixa de armazenamento funciona semelhante a um tanque de equalização. Pode-

se notar que os valores de pico de sólidos totais e de sólidos suspensos totais são minimizados através da sedimentação de sólidos que deve ocorrer na unidade. Essa hipótese é reforçada pela observação dos gráficos de turbidez, DQO_B e nitrogênio total, nos quais se verifica a diluição do esgoto quando é retido na caixa. Por outro lado, pode-se concluir que o efluente do reator de leito fluidificado é mantido com as mesmas características médias, como pode-se ver na tabela F.1 dos anexos.

5.2- Operação dos filtros de pedregulho.

A seguir são apresentados os resultados da operação dos filtros de pedregulho, que durou 127 dias. As discussões são baseados nas tabelas dos anexos A, B e C e nas figuras 5.13 a 5.60. A tabela 5.1 apresenta um resumo estatístico do trabalho experimental. As remoções médias apresentadas foram calculadas baseando-se apenas nas amostras nas quais se verificou remoção maior ou igual a zero.

5.1.1- Fases de operação.

A fase 1 iniciou em 05/Ago/1999 e teve 61 dias de duração. Nessa fase, foi ensaiada uma carreira de filtração completa do FA1 e do FA2, uma carreira incompleta do FA2 e do FA3 e duas completas do FA3. Foi verificado que no 27º dia e no 35º dia de operação houve interrupção de energia elétrica por, respectivamente, 30 min. e 1h30min. A operação do RALEx foi interrompida no 44º dia de operação por cerca de 2 horas após a coleta, e a caixa de armazenamento drenada no 60º dia. Porém, os resultados apresentados a seguir indicaram que essas interrupções não prejudicam o tratamento realizado pelos filtros.

A operação dos filtros nessa etapa envolveu o amadurecimento do leito filtrante, de modo que os microrganismos presentes no esgoto sanitário pudessem se fixar na superfície do pedregulho, e a filtração se desse não somente pelo mecanismo de aderência ao pedregulho, como também às partículas previamente retidas. A partir do 44º dia de operação, observou-se que o lodo estava mais espesso, o que indica provavelmente a granulação do mesmo e a fixação dos microrganismos no leito filtrante.

Na fase 2, que compreende o período entre o 61º e o 97º dia da operação, observou-se a fixação de algas nas paredes dos filtros evidenciada pela formação de um filme de cor verde.

Foram duas carreiras de filtração completas no FA1; quatro no FA2; seis no FA3; além de uma carreira de filtração incompleta nos filtros FA2 e FA3.

O período de operação dos filtros com taxa de filtração de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ caracteriza a fase 3, compreendido entre o 97º e o 127º dia de operação. Resultaram duas carreiras de filtração no FA1, três carreiras no FA2 e quatro carreiras no FA3. O filme que encobria as paredes dos filtros tornou-se escuro, de modo que o meio granular não mais pôde ser visto.

Apesar da agitação promovida pelo retorno, os sólidos do esgoto que permanecia na caixa de armazenamento sedimentavam. Isto fazia com que o esgoto se tornasse mais concentrado quando o seu nível dentro da caixa estivesse próximo à tubulação de recalque da bomba. A falta de vazão afluyente no RALEx no período noturno permitia esse acontecimento, visto que o esgoto recirculava no reator, não havendo efluente. O ocorrido foi observado no intervalo entre o 86º dia ao 89º dia de operação (fase 2), e nos dias 110º, 112º e 114º de operação (fase 3), contribuindo para o surgimento de “picos” nos valores de sólidos do afluyente. No 114º dia, esse fato se deveu à manutenção do RALEx. No 105º dia, a operação dos filtros foi interrompida para limpeza da bóia da caixa de armazenamento, porém não se notou nenhuma mudança anormal no comportamento dos filtros.

As amostras das descargas de fundo que foram analisadas são listadas na tabela 5.2. Elas correspondem a todas as descargas de fundo da fase 1 e às quintas descargas de fundo da última carreira de filtração completa de cada fase. O resultado das análises efetuadas encontra-se no Anexo D.

Pode-se observar nas tabelas D.17 a D.24 que há presença de certos metais no esgoto armazenado na caixa de 1000 litros, porém os tópicos a seguir demonstram que o tratamento não foi grandemente influenciado por estes contaminantes.

TABELA 5.1: Resumo estatístico da operação dos filtros de pedregulho.

Taxa m ³ /m ² .d	TDH (min.)	Filtro	Carreira	Duração da carreira	EFLUENTES DOS FILTROS			AFLUENTE DOS FILTROS			
					Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	DQO (mgO ₂ /L)	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	DQO (mgO ₂ /L)	
72	26	1	1a.	09/08 a 01/10 (53 dias)	máx. 67,9 méd. 30,9 ± 15,5 mín. 3,0	máx. 1,0 méd. 0,1 ± 0,2 mín. <0,1	máx. 205 méd. 120 ± 35 mín. 62	máx. 123,6 méd. 55,2 ± 23,3 mín. 20,5	máx. 10,0 méd. 1,2 ± 1,9 mín. <0,1	máx. 349 méd. 245 ± 40 mín. 159	
			2	1a.	09/08 a 14/09 (36 dias)	máx. 61,7 méd. 28,9 ± 16,8 mín. 5,4	máx. 2,0 méd. 0,2 ± 0,4 mín. <0,1	máx. 226 méd. 120 ± 54 mín. 49	máx. 123,6 méd. 58,8 ± 27,7 mín. 20,5	máx. 10,0 méd. 1,8 ± 2,1 mín. <0,1	máx. 349 méd. 251 ± 44 mín. 159
			2a.	14/09 a 04/10 (20 dias, incompleta)	máx. 45,1 méd. 36,4 ± 5,5 mín. 27,3	máx. 0,1 méd. <0,1 ± 0,0 mín. <0,1	máx. 141 méd. 118 ± 20 mín. 94	máx. 64,9 méd. 48,3 ± 9,1 mín. 35,3	máx. 1,0 méd. 0,1 ± 0,3 mín. <0,1	máx. 272 méd. 233 ± 30 mín. 194	
		3	1a.	09/08 a 02/09 (24 dias)	máx. 57,3 méd. 34,6 ± 13,9 mín. 8,6	máx. 1,0 méd. 0,2 ± 0,3 mín. <0,1	máx. 186 méd. 123 ± 36 mín. 54	máx. 123,6 méd. 62,3 ± 28,9 mín. 20,5	máx. 4,0 méd. 1,6 ± 1,5 mín. <0,1	máx. 349 méd. 261 ± 40 mín. 207	
				2a.	02/09 a 22/09 (20 dias)	máx. 45,9 méd. 26,6 ± 15,0 mín. 3,3	máx. 0,2 méd. <0,1 ± 0,1 mín. <0,1	máx. 163 méd. 106 ± 42 mín. 51	máx. 81,0 méd. 50,7 ± 17,7 mín. 26,7	máx. 10,0 méd. 1,4 ± 2,7 mín. <0,1	máx. 272 méd. 235 ± 38 mín. 159
				3a.	22/09 a 04/10 (12 dias, incompleta)	máx. 32,6 méd. 28,4 ± 5,9 mín. 19,8	máx. 0,1 méd. <0,1 ± 0,0 mín. <0,1	máx. 163 méd. 106 ± 38 mín. 51	máx. 53,4 méd. 44,3 ± 7,4 mín. 35,3	máx. 0,2 méd. <0,1 ± 0,1 mín. <0,1	máx. 272 méd. 235 ± 29 mín. 159
120	16	1	1a.	04/10 a 20/10 (16 dias, 387h)	máx. 309,3 méd. 79,8 ± 102,0 mín. 27,5	máx. <0,1 méd. <0,1 ± 0,0 mín. <0,1	máx. 202 méd. 158 ± 24 mín. 134	máx. 725,0 méd. 159,7 ± 251,5 mín. 32,2	máx. 0,2 méd. <0,1 ± 0,1 mín. <0,1	máx. 306 méd. 261 ± 36 mín. 203	
				2a.	20/10 a 09/11 (20 dias, 472h)	máx. 120,2 méd. 65,1 ± 34,5 mín. 31,3	máx. <0,1 méd. <0,1 ± 0,0 mín. <0,1	máx. 455 méd. 251 ± 107 mín. 144	máx. 398,0 méd. 134,2 ± 138,2 mín. 38,2	máx. 11,0 méd. 1,2 ± 3,8 mín. <0,1	máx. 1150 méd. 393 ± 293 mín. 210
		2	1a.	04/10 a 12/10 (8 dias, 198h)	máx. 61,7 méd. 44,3 ± 15,6 mín. 25,9	máx. <0,1 méd. <0,1 ± 0,0 mín. <0,1	máx. 168 méd. 155 ± 11 mín. 139	Máx. 124,0 méd. 71,8 ± 36,8 mín. 32,2	máx. 0,2 méd. <0,1 ± 0,1 mín. <0,1	máx. 284 méd. 263 ± 24 mín. 230	

TABELA 5.1 (Cont.): Resumo estatístico da operação dos filtros de pedregulho.

Taxa m ³ /m ² .d	TDH (min.)	Filtro	Carreira	Duração da carreira	EFLUENTES DOS FILTROS			AFLUENTE DOS FILTROS		
					Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	DQO (mgO ₂ /L)	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	DQO (mgO ₂ /L)
			2a.	12/10 a 20/10 (8 dias, 190,5h)	máx. 298,0 méd. 162,9+191,1 mín. 27,8	máx. <0,1 méd. <0,1+0,0 mín. <0,1	máx. 202 méd. 180 ± 32 mín. 157	máx. 725,0 méd. 379,4+488,7 mín. 33,9	máx. 0,1 méd. <0,1+0,1 mín. <0,1	máx. 306 méd. 254 ± 73 mín. 203
			3a.	20/10 a 26/10 (6 dias, 144h)	máx. 99,8 méd. 57,1 ± 37,7 mín. 28,7	máx. <0,1 méd. <0,1+0,0 mín. <0,1	máx. 353 méd. 242 ± 100 mín. 157	máx. 308,0 méd. 137,1 ± 148,6 mín. 38,2	máx. 3,5 méd. 1,8 ± 2,5 mín. <0,1	máx. 377 méd. 280 ± 87 mín. 210
			4a.	26/10 a 02/11 (6 dias, 144h)	máx. 120,4 méd. 84,6 ± 33,2 mín. 54,7	máx. <0,1 méd. <0,1+0,0 mín. <0,1	máx. 454 méd. 334 ± 105 mín. 263	máx. 398,0 méd. 184,7 ± 185,5 mín. 60,9	máx. 11,0 méd. 5,5 ± 5,1 mín. 1,0	máx. 1150 méd. 582 ± 494 mín. 254
			5a.	02/11 a 09/11 (7 dias, incompleta)	máx. 37,5 méd. 35,0 ± 3,6 mín. 32,4	máx. <0,1 méd. <0,1+0,0 mín. <0,1	máx. 184 méd. 165 ± 28 mín. 134	máx. 63,0 méd. 54,2 ± 12,4 mín. 45,4	máx. 0,5 méd. 0,2 ± 0,3 mín. <0,1	máx. 437 méd. 318 ± 104 mín. 253
		3	1a.	04/10 a 10/10 (6 dias, 151,5h)	máx. 61,3 méd. 45,0 ± 17,7 mín. 26,3	máx. <0,1 méd. <0,1+0,0 mín. <0,1	máx. 171 méd. 153 ± 17 mín. 136	máx. 124,0 méd. 77,5 ± 40,3 mín. 53,1	máx. <0,1 méd. <0,1+0,0 mín. <0,1	máx. 284 méd. 268 ± 20 mín. 246
			2a.	10/10 a 16/10 (6 dias, 128h)	máx. 28,3 méd. 26,7 ± 1,4 mín. 25,5	máx. <0,1 méd. <0,1+0,0 mín. <0,1	máx. 281 méd. 183 ± 37 mín. 144	máx. 94,4 méd. 53,5 ± 35,4 mín. 32,2	máx. 0,2 méd. <0,1+0,1 mín. <0,1	máx. 283 méd. 239 ± 41 mín. 203
			3a.	16/10 a 19/10 (3 dias, 86,5h)	máx. 244,7 méd. 244,7 mín. 244,7	máx. <0,1 méd. <0,1 mín. <0,1	NR	máx. 725,0 méd. 725,0 mín. 725,0	máx. 0,1 méd. 0,1 mín. 0,1	NR
			4a.	19/10 a 24/10 (5 dias, 120h)	máx. 36,4 méd. 33,8 ± 3,7 mín. 31,1	máx. <0,1 méd. <0,1+0,0 mín. <0,1	máx. 192 méd. 179 ± 12 mín. 168	máx. 65,2 méd. 51,7 ± 19,1 mín. 38,2	máx. <0,1 méd. <0,1+0,0 mín. <0,1	máx. 306 méd. 256 ± 48 mín. 210
			5a.	24/10 a 28/10 (4 dias, 94,5h)	máx. 92,3 méd. 72,2 ± 28,5 mín. 52,0	máx. <0,1 méd. <0,1+0,0 mín. <0,1	máx. 429 méd. 352 ± 91 mín. 252	máx. 308,0 méd. 201,7 ± 150,4 mín. 95,3	máx. 11,0 méd. 7,3 ± 5,3 mín. 3,5	máx. 1150 méd. 623 ± 457 mín. 341

TABELA 5.1 (Cont.): Resumo estatístico da operação dos filtros de pedregulho.

Taxa m ³ /m ² .d	TDH (min.)	Filtro	Carreira	Duração da carreira	EFLUENTES DOS FILTROS			AFLUENTE DOS FILTROS		
					Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	DQO (mgO ₂ /L)	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	DQO (mgO ₂ /L)
			6a.	28/10 a 04/11 (7 dias, 167h)	máx. 116,8 méd. 58,5 ± 39,4 mín. 30,9	máx. <0,1 méd. <0,1+0,0 mín. <0,1	máx. 241 méd. 194 ± 67 mín. 147	máx. 398,0 méd. 141,8 ± 171,0 mín. 45,4	máx. 4,5 méd. 1,8 ± 2,4 mín. <0,1	máx. 254 méd. 254 ± 1 mín. 253
			7a.	04/11 a 09/11 (5 dias, incompleta)	NR	máx. <0,1 méd. <0,1+0,0 mín. <0,1	máx. 178 méd. 168 ± 15 mín. 157	NR	máx. 0,5 méd. 0,2 ± 0,4 mín. <0,1	máx. 437 méd. 350 ± 123 mín. 263
170	11	1	1a.	09/11 a 22/11 (13 dias, 312h)	máx. 361,0 méd. 118,6 ± 120,1 mín. 54,3	máx. 0,5 méd. <0,1+0,2 mín. <0,1	máx. 848 méd. 334 ± 294 mín. 139	máx. 1108,0 méd. 290,3 ± 402,3 mín. 78,0	máx. 60,0 méd. 9,5 ± 24,0 mín. <0,1	máx. 2350 méd. 780 ± 882 mín. 277
			2a.	22/11 a 09/12 (17 dias, 414h)	máx. 186,4 méd. 79,2 ± 45,5 mín. 46,6	máx. 0,7 méd. 0,2 ± 0,3 mín. <0,1	máx. 619 méd. 310 ± 127 mín. 192	máx. 206,1 méd. 162,3 ± 137,1 mín. 65,1	máx. 7,0 méd. 2,0 ± 3,0 mín. <0,1	máx. 1340 méd. 460 ± 343 mín. 216
		2	1a.	09/11 a 16/11 (7 dias, 163h)	máx. 267,0 méd. 118,3 ± 99,7 mín. 60,8	máx. 0,2 méd. <0,1+0,1 mín. <0,1	máx. 854 méd. 431 ± 380 mín. 118	máx. 1108,0 méd. 374,8 ± 490,8 mín. 78,0	máx. 60,0 méd. 20,1 ± 34,6 mín. 0,1	máx. 2350 méd. 1082 ± 1100 mín. 381
			2a.	16/11 a 22/11 (6 dias, 142,5h)	máx. 65,2 méd. 60,2 ± 7,0 mín. 55,3	máx. <0,1 méd. <0,1+0,0 mín. <0,1	máx. 189 méd. 156 ± 47 mín. 123	máx. 145,6 méd. 121,3 ± 34,4 mín. 97,0	máx. 5,0 méd. 2,2 ± 2,6 mín. <0,1	máx. 377 méd. 327 ± 71 mín. 277
			3a.	22/11 a 26/11 (4 dias, 96h)	máx. 89,5 méd. 66,7 ± 32,3 mín. 43,9	máx. 0,5 méd. 0,5 mín. 0,5	máx. 329 méd. 259 ± 99 mín. 189	máx. 200,5 méd. 132,8 ± 95,8 mín. 65,1	máx. 5,5 méd. 5,5 mín. 5,5	máx. 506 méd. 402 ± 146 mín. 299
		3	1a.	09/11 a 12/11 (3 dias, 72h)	máx. 280,0 méd. 159,5 ± 108,7 mín. 68,8	máx. 0,3 méd. 0,2 ± 0,2 mín. <0,1	máx. 666 méd. 529 ± 194 mín. 392	máx. 1108,0 méd. 456,9 ± 566,4 mín. 78,0	máx. 60,0 méd. 30,0 ± 42,4 mín. 0,1	máx. 2350 méd. 1433 ± 1297 mín. 516
			2a.	12/11 a 16/11 (4 dias, 84h)	NR	NR	NR	NR	NR	NR

TABELA 5.1 (Cont.): Resumo estatístico da operação dos filtros de pedregulho.

Taxa m ³ /m ² .d	TDH (min.)	Filtro	Carreira	Duração da carreira	EFLUENTES DOS FILTROS			AFLUENTE DOS FILTROS		
					Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	DQO (mgO ₂ /L)	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	DQO (mgO ₂ /L)
			3a.	16/11 a 18/11 (2 dias, 64,5h)	máx. 58,0 méd. 53,4 ± 6,4 mín. 48,9	máx.<0,1 méd.<0,1±0,0 mín. <0,1	máx. 128 méd. 127 ± 2 mín. 126	máx. 128,3 méd. 112,6± 22,1 mín. 97,0	máx.<0,1 méd.<0,1±0,0 mín. <0,1	máx. 381 méd. 329 ± 74 mín. 277
			4a.	18/11 a 23/11 (5 dias, 132h)	máx. 56,5 méd. 56,1 ± 0,6 mín. 55,7	máx.<0,1 méd.<0,1±0,0 mín. <0,1	máx. 208 méd. 198 ± 13 mín. 189	máx. 145,6 méd. 105,4± 56,9 mín. 65,1	máx. 5,0 méd. 3,2±2,5 mín. 1,5	máx. 377 méd. 338 ± 55 mín. 299

TABELA 5.2: Amostras das descargas de fundo analisadas.

<i>Fase</i>	<i>Dia de operação</i>	Descarga de fundo – FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
1	6	-	-	DF
	12	-	DF	-
	13	-	-	DF
	15	DF	-	-
	19	-	-	DF
	20	-	DF	-
	26	-	-	DF
	27	-	DF	-
	29	-	-	DF
	33	-	DF	-
	35	DF	-	DF
	41	-	DF	DF
	44	DF	DF	DF
	47	-	-	DF
	49	-	DF	DF
	51	-	-	DF
	54	DF	DF	DF
	56	-	-	DF
	57	-	DF	-
	58	DF	-	-
61	-	-	DF	
2	90	-	DF	-
	92	-	-	DF
	97	DF	-	-
3	111	-	-	DF
	114	-	DF	-
	127	DF	-	-

5.1.2- Sólidos Sedimentáveis (SS)

Os resultados de SS em todas as fases são apresentados nas tabelas A.3, B.3 e C.3 dos anexos. O afluente dos filtros variou de 0,1 a 4,0 mL/L na fase 1, com um pico de 10 mL/L no 33º dia de operação. Em 20% das amostras da fase 1 e 56% da fase 2, o teor de sólidos sedimentáveis do afluente esteve abaixo de 0,1 mL/L, limite de detecção do método utilizado. Como os efluentes dessas amostras apresentaram também teor de SS abaixo de 0,1 mL/L, pode-se concluir somente que não houve carreamento de sólidos sedimentáveis nestas amostras.

Com exceção dos dias 26º a 28º de operação, o valor de sólidos sedimentáveis dos efluentes dos filtros foi menor que 0,6 mL/L; e em 64% das amostras do efluente do FA1, 56% do FA2 e 62% do FA3 observou-se uma eficiência de remoção superior a 70%, evidenciando a grande capacidade que as unidades filtrantes têm de reter sólidos sedimentáveis. Além disso, a partir do dia 29º, com exceção de uma amostra do efluente do FA1, não se notou sólidos sedimentáveis acima de 0,3 mL/L nos efluentes dos filtros. Essa melhoria na qualidade dos efluentes dos filtros indica que provavelmente se formou uma camada orgânica em torno dos pedregulhos, a qual aumentou a capacidade filtrante dos mesmos, devido ao amadurecimento do meio filtrante.

Na fase 2, quando não se notou teor de sólidos sedimentáveis menor que 0,1 mL/L no afluente aos filtros, a filtração ocorrida por mecanismos de aderência possibilitou eficiências de remoção próximas a 100%, visto que os efluentes dos filtros apresentaram valor de SS menor que 0,1 mL/L em todo o período. Os filtros têm a capacidade de reduzir o teor de SS de 11,0 mL/L, pico observado no afluente do 84º dia de operação, para valores menores que 0,1 mL/L. Isso indica que nessa fase provavelmente encontram-se as melhores condições para a remoção de sólidos sedimentáveis.

Com exceção do dia 121º, em que o afluente apresentou valor de sólidos sedimentáveis abaixo de 0,1 mL/L e o FA1 apresentou valor de 0,1 mL/L, os efluentes dos filtros não apresentaram teor de SS maior que o afluente na fase 3. Nas outras amostras em que o teor de SS foi menor que 0,1 mL/L no afluente (23% do total), os efluentes também apresentaram o mesmo valor. Com exceção destas amostras e do 117º dia de operação, as eficiências de remoção de SS estiveram sempre acima de 90%. Em todas as amostras, os efluentes não apresentaram valores maiores que 0,7 mL/L, apesar de se observar o valor de 60,0 mL/L no afluente dos filtros. Nota-

se que 46% das amostras do FA1, 71% do FA2 e 83% do FA3 tiveram teor de SS abaixo do limite de detecção do método utilizado.

Exceto para uma amostra, pode-se observar que o teor de sólidos sedimentáveis não ultrapassa 1,0 mL/L, em conformidade com os padrões de emissão em corpos d'água contidos na Resolução CONAMA nº 20 e no Decreto nº 8468 citados anteriormente. Um resumo dos resultados de SS em todas as fases é apresentado na tabela 5.3.

TABELA 5.3: Valores máximos, médios e mínimos de sólidos sedimentáveis (mL/L) do afluente e dos efluentes dos filtros nas fases 1, 2 e 3.

Fase	Afluente	FA1	FA2	FA3
1	máx. 10,0 méd. 1,2 mín. <0,1	máx. 1,0 méd. 0,1 mín. <0,1	máx. 2,0 méd. 0,2 mín. <0,1	máx. 1,0 méd. 0,1 mín. <0,1
2	máx. 11,0 méd. 1,3 mín. <0,1	máx. <0,1 méd. <0,1 mín. <0,1	máx. <0,1 méd. <0,1 mín. <0,1	máx. <0,1 méd. <0,1 mín. <0,1
3	máx. 60,0 méd. 6,2 mín. <0,1	máx. 0,7 méd. 0,2 mín. <0,1	máx. 0,5 méd. 0,1 mín. <0,1	máx. 0,3 méd. 0,1 mín. <0,1

5.1.3- Sólidos suspensos totais (SST)

O teor de sólidos suspensos totais do afluente dos filtros variou entre 26,7 e 123,6 mg/L ao longo da fase 1, com valor médio de 55,2 mg/L. Observou-se carreamento de sólidos apenas uma vez no FA1 e no FA3 (em dias diferentes) e três vezes no FA2. A média dos valores de SST nos efluentes foi de 30,9 mg/L para o FA1; 31,5 mg/L para o FA2 e 30,7 mg/L para o FA3. A eficiência de remoção de SST nos filtros variou entre 10% e 90% e sua média para os três filtros foi de aproximadamente 45%.

Entre a primeira e a segunda descarga de fundo da primeira carreira, cada unidade teve um comportamento peculiar: a eficiência de remoção de SST pelo FA1 diminuiu gradualmente ao longo da carreira, indicando a colmatação do meio granular, e as eficiências de remoção do FA2 e FA3 aumentaram progressivamente ao longo da carreira. Esse fato está diretamente relacionado à

evolução de perda de carga nos filtros, pois ela aumenta ao longo do tempo entre duas descargas de fundo consecutivas.

Na fase 2, 66% das amostras do afluente apresentaram valores entre 30 e 65 mg/L. O tratamento realizado nesses casos produziu efluentes com sólidos suspensos totais variando entre 25 e 57 mg/L. O afluente alcançou valores de SST de 300 mg/L e de 725 mg/L, e aparentemente esses picos não prejudicaram a filtração dos sólidos suspensos, pois existiram porcentagens de remoção sempre maiores que zero ao longo do período. A eficiência de remoção de SST variou entre 6% e 71%, e as eficiências médias de remoção foram de 33% para FA1, 36% para FA2 e 42% para FA3.

Observou-se que a eficiência de remoção de SST tende a ser maior quanto maior é a perda de carga no FA1. Com exceção do final da segunda carreira, após a 4^a. DF (entre os dias 86^o e 97^o da operação), essa tendência tem acontecido por todo o período. Por estar amadurecido o leito filtrante, pode ter ocorrido aderência de sólidos suspensos no meio granular e entre os sólidos já retidos, provando que nos filtros ocorreu o fenômeno de aderência.

Os filtros FA1 e o FA2 se mostraram mais eficientes na remoção de SST na fase 3 que nas outras fases. As eficiências de remoção, exceto no último dia de operação do FA1, foram maiores que 22%, mesmo quando o afluente apresentou concentração de sólidos suspensos de 1108,0 mg/L. No final das carreiras do FA3 e da 2^a. carreira do FA1, os filtros apresentam eficiência de remoção de SST em torno de 15%, o que evidencia a diminuição da capacidade filtrante com o aumento da perda de carga, refletido pela colmatação do meio granular. O afluente variou de 65,1 mg/L a 470,7 mg/L no restante do período, e os efluentes, entre 43,9 mg/L e 186,4 mg/L. O FA3 apresentou remoção de SST em toda a sua operação, e as eficiências médias de remoção foram de 43,7%, 48,4% e 42,0%, respectivamente, para FA1, FA2 e FA3. Os gráficos das figuras 5.13a, 5.13b, 5.14 e 5.15 ilustram essas discussões.

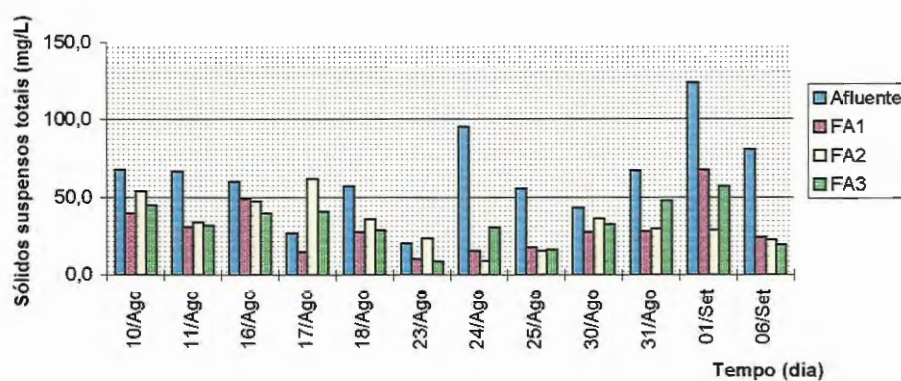


FIGURA 5.13a: Sólidos suspensos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 09/08/1999 a 06/09/1999 (1a. fase de operação)

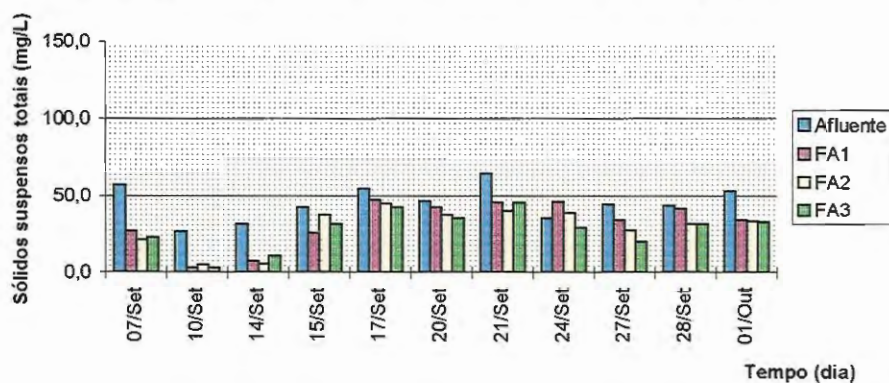


FIGURA 5.13b: Sólidos suspensos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 07/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação)

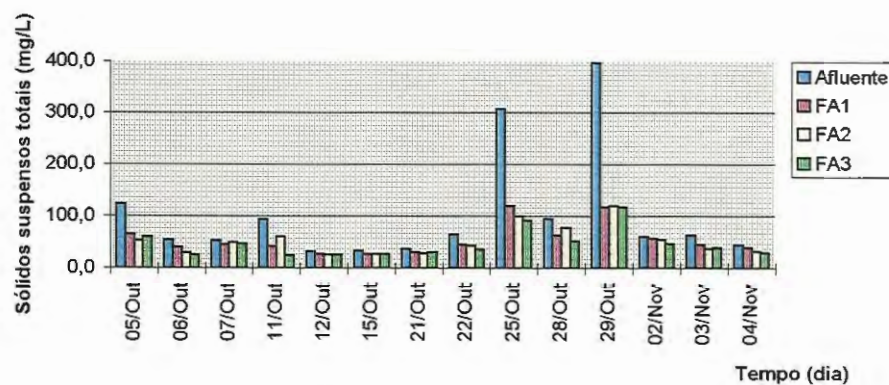


FIGURA 5.14: Sólidos suspensos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 04/10/1999 a 09/11/1999

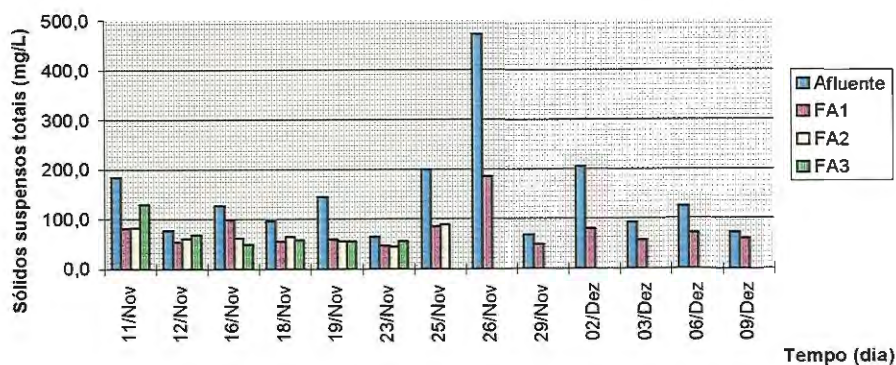


FIGURA 5.15: Sólidos suspensos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 09/11/1999 a 09/12/1999

5.1.4- Sólidos suspensos fixos (SSF)

O teor de SSF do afluente esteve entre $0,0 \text{ mg/L}$ e $22,0 \text{ mg/L}$ na fase 1. No 44º dia de operação, não foi detectado nenhum sólido suspenso fixo no afluente. No 42º e no 44º dia de operação, observou-se carreamento de sólidos no FA2 e no FA3. Esses dias compreendem a etapa entre a 2ª e a 3ª descargas de fundo do FA3 e a etapa entre o início e a 1ª descarga de fundo do FA2, sendo ambos os casos na segunda carreira de filtração. Por outro lado, observam-se remoções de praticamente 100% de SSF, demonstrando a instabilidade dos filtros na remoção desses sólidos.

Novamente notou-se relação entre remoção de sólidos e perda de carga. No FA2, a eficiência de remoção de sólidos suspensos fixos aumentou gradativamente depois da 1ª Descarga de fundo (12º dia) até a 2ª DF (20º dia) e depois diminuiu gradativamente da 2ª DF para a 3ª DF (entre o 20º e o 27º dia de operação). Comportamento análogo aconteceu com o FA3, com aumento da eficiência de remoção entre a 2ª e a 3ª DF (13º ao 19º dia) e diminuição entre a 4ª e a 5ª DF. (de 26º a 29º dia).

Na fase 2, o afluente apresentou SSF entre $0,0 \text{ mg/L}$ e 23 mg/L em 80% das amostras. Com exceção do dia 12/Out, em que obteve-se valor nulo desses sólidos no afluente e nos efluentes do FA1 e FA2, observou-se carreamento de sólidos em apenas um dia, no FA3. Os filtros são eficientes na remoção de matéria inorgânica, pois a eficiência de remoção de SSF

chegou a um valor de 99,6%, porém notaram-se eficiências maiores que 60% em poucas amostras: 33% das amostras do FA1 e do FA2 e 40% das amostras do FA3.

O valor de SSF do afluente variou entre 4,9 mg/L e 48,0 mg/L em 85% das amostras na fase 3. A mesma tendência de comportamento da curva de SST é observada na curva de SSF, exceto que no último dia de operação do FA3, o filtro expulsou sólidos inorgânicos. Sem levar em conta o dia 09/Dez., as eficiências de remoção variaram entre 10% e 89%, e as eficiências médias de remoção de SSF foram de 45,8%, 61,0% e 60,9%, respectivamente, para o FA1, FA2 e FA3. As figuras 5.16a, 5.16b, 5.17 e 5.18, relativas aos valores de SSF do afluente e dos efluentes dos filtros, são mostradas a seguir:

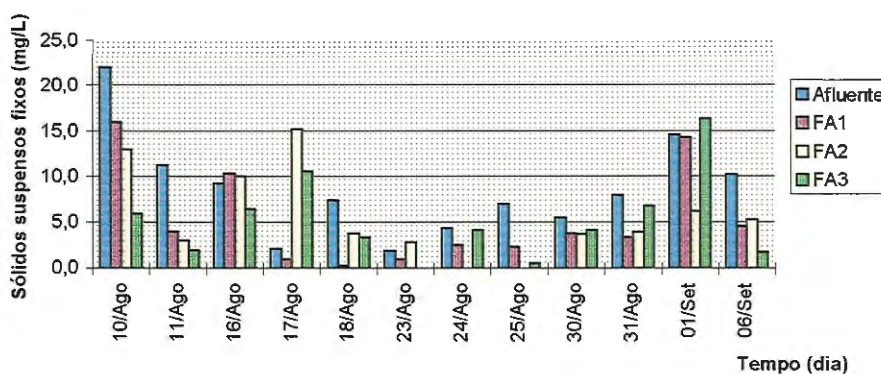


FIGURA 5.16a: Sólidos suspensos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 09/08/1999 a 06/09/1999 (1a. fase de operação)

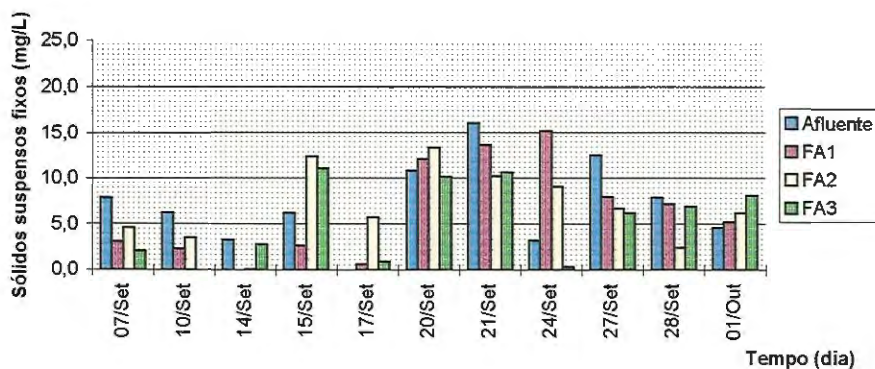


FIGURA 5.16b: Sólidos suspensos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 07/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação)

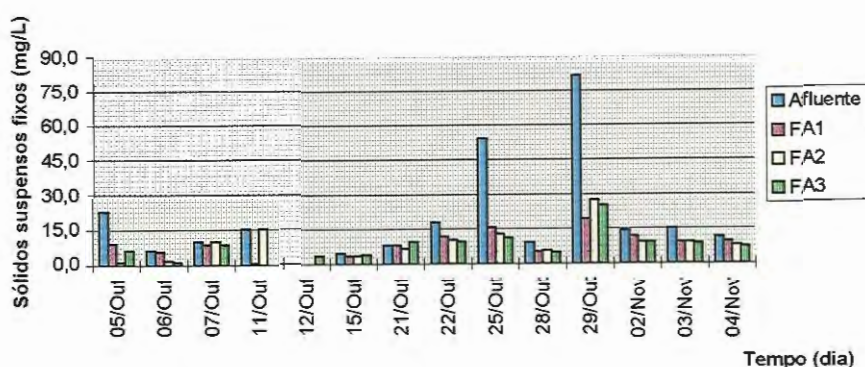


FIGURA 5.17: Sólidos suspensos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m³/m²d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999

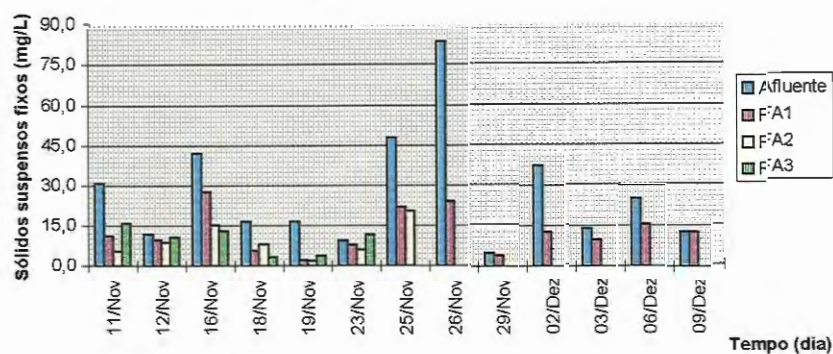


FIGURA 5.18: Sólidos suspensos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m³/m²d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999

5.1.5- Sólidos suspensos voláteis (SSV)

A mesma tendência dos SST foi observada no caso dos SSV na fase 1. A eficiência de remoção de SST nos filtros variou entre 10% e 90% em praticamente 100% das amostras, sua média para os três filtros foi de aproximadamente 45% e observou-se carreamento apenas em um dia no FA2 e no FA3. Os teores médios de sólidos suspensos voláteis foram de 47,2 mg/L para o afluente; 25,1 mg/L para o FA1; 25,3 mg/L para o FA2; e 25,5 mg/L para o FA3.

Como ocorrido com o teor de sólidos suspensos fixos, houve aumento gradual da eficiência de remoção de sólidos suspensos voláteis no FA2 depois da 1ª Descarga de fundo (12º dia) até a 2ª DF (20º dia) e diminuição gradual da 2ª DF para a 3ª DF (entre o 20º e o 27º dia de operação).

Na fase 2, mesmo quando o afluente apresentou valor máximo de 615 mg/L, os filtros removeram SSV, retendo portanto os microrganismos presentes no efluente do Reator Anaeróbio em todo o intervalo de tempo relativo à operação com taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$. Os teores de sólidos suspensos voláteis do afluente variaram entre 29 mg/L e 86 mg/L em 80% do tempo, e as eficiências de remoção desses sólidos foram de 31,4% para FA1; 34,1% para FA2 e 40,8% para FA3. Isso leva a concluir que os microrganismos foram imobilizados e que poderiam dessa forma tratar o esgoto sanitário, depois de certo período de adaptação após a última descarga de fundo realizada na unidade a ser considerada.

Na fase 3, o FA1 removeu SSV do afluente com 43,1% de eficiência, o FA2, com 45,6% de eficiência, e o FA3, com 45,3%. O afluente apresentou teor de SSV entre 55,6 mg/L e 168,9 mg/L, com picos de 387,3 mg/L e 880,0 mg/L. Nos dias em que não ocorreram picos, o valor máximo dos efluentes foi de 113,8 mg/L; notam-se remoções de SSV em todas as amostras. As eficiências de remoção variaram entre 12% e 74%. Os gráficos das figuras 5.19a, 5.19b, 5.20 e 5.21 ilustram os valores de SSV dos filtros.

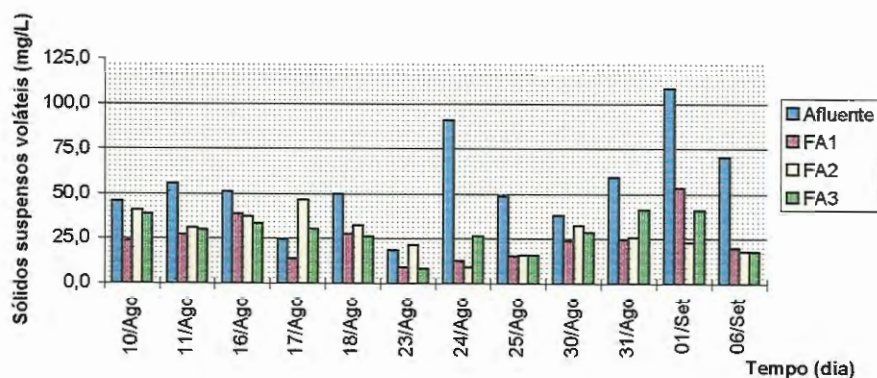


FIGURA 5.19a: Sólidos suspensos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 09/08/1999 a 06/09/1999 (1a. fase de operação)

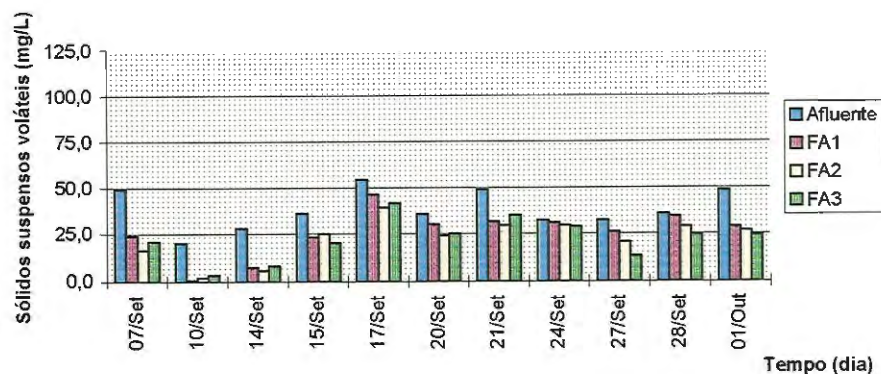


FIGURA 5.19b: Sólidos suspensos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 07/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação)

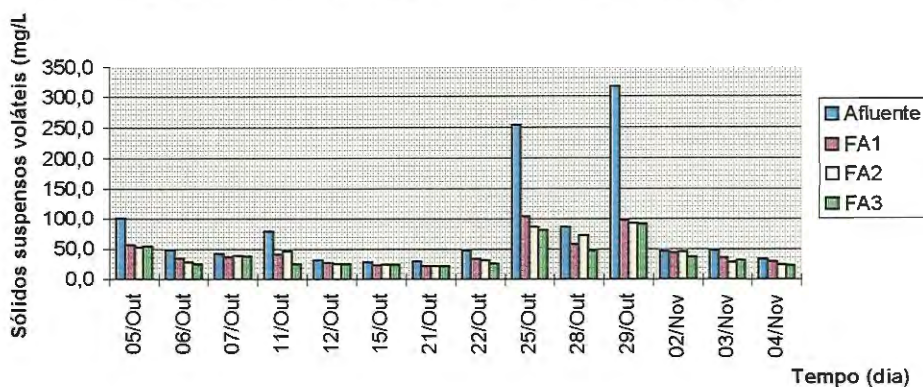


FIGURA 5.20: Sólidos suspensos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 04/10/1999 a 09/11/1999

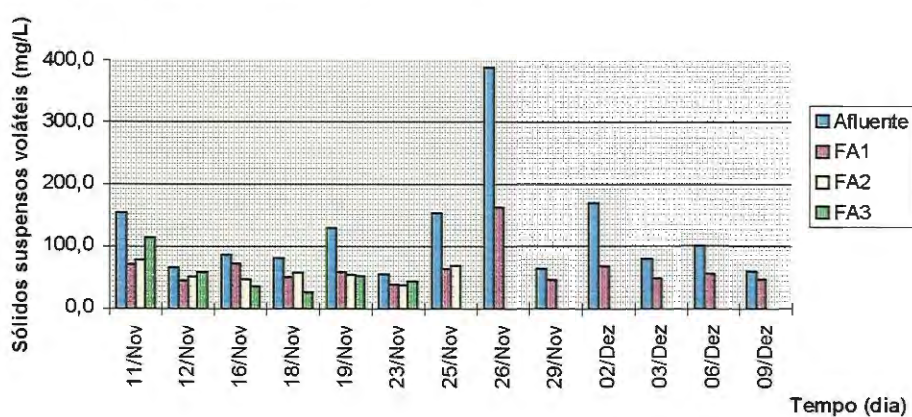


FIGURA 5.21: Sólidos suspensos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 09/11/1999 a 09/12/1999

Na tabela 5.4 são apresentadas as eficiências de remoção máximas, médias e mínimas de Sólidos suspensos totais, Sólidos suspensos fixos e Sólidos suspensos voláteis dos filtros FA1, FA2 e FA3 durante as três fases experimentais. Pode-se observar por esta tabela que o FA3 é o filtro que apresenta as melhores eficiências médias de remoção de SST, SSF e SSV. Como as partículas retidas nos vazios intergranulares causam a diminuição destes, pode-se atribuir essa melhor eficiência à sua granulometria, que é a menor dentre todas.

De um modo geral, os filtros apresentaram as menores porcentagens de remoção de SST, SSF e SSV na fase 2 em intervalo de dois a três dias. Possivelmente os sistemas por si só expulsam sólidos com a colmatação gradual do meio filtrante.

Na fase 3, o final das carreiras de filtração do FA3 e o final da segunda carreira do FA1 demonstrou que, com perda de carga próxima a 50,0 cm, os filtros começam a diminuir a eficiência de remoção de SST, SSF e SSV, demonstrando um possível traspasse.

TABELA 5.4: Eficiências de remoção de SST, SSF e SSV.

Filtro	Sólidos Suspensos Totais	Sólidos Suspensos Fixos	Sólidos Suspensos Voláteis
FA1	máx. 70,6% méd. 32,8% mín. 6,2%	máx. 94,1% méd. 37,7% mín. 0,8%	máx. 69,1% méd. 31,4% mín. 2,8%
FA2	máx. 69,7% méd. 35,5% mín. 6,0%	máx. 94,3% méd. 41,1% mín. 0,0%	máx. 70,6% méd. 34,1% mín. 2,4%
FA3	máx. 73,0% méd. 41,9% mín. 10,5%	máx. 99,6% méd. 47,2% mín. 10,3%	máx. 71,1% méd. 40,8% mín. 10,0%

Na fase 2, com exceção do dia 06/Out, observa-se que a eficiência de remoção de SST é inferior a 33% quando o valor desses sólidos no afluente é menor que 60 mg/L, e na fase 3, a eficiência é inferior a 33% quando o valor no afluente é menor que 70 mg/L. Nas mesmas amostras, nas quais os valores de SSF e SSV também respeitam uma faixa de valores, observa-se

o mesmo fato, que pode ser explicado pela dificuldade de se diminuir a concentração de SST abaixo de um determinado valor através da ação da filtração de uma água residuária.

5.1.6- Sólidos totais (ST)

Houve grandes variações nos valores de sólidos totais do afluente dos filtros, de acordo com as figuras 5.22a, 5.22b, 5.23 e 5.24. O valor médio de sólidos totais do afluente foi de $282,0 \pm 38,2$ mg/L na fase 1. A eficiência de remoção de sólidos totais não seguiu um padrão, mas 35% das amostras do efluente do FA1, 26% do FA2 e 43% do FA3 apresentaram eficiência de remoção entre 15 e 25%. Por outro lado, a porcentagem de amostras em que há carreamento é significativa: 35% das amostras do FA1; 26% do FA2 e 43% do FA3. Comparando esses dados com os resultados de sólidos suspensos dessas amostras, pode-se concluir que houve solubilização de sólidos suspensos dentro das unidades.

O mesmo comportamento foi observado na fase 2 de operação. Aconteceram picos de ST no afluente, causando maior variabilidade que na fase 1. O valor médio de sólidos totais do afluente foi de $377,9 \pm 197,9$ mg/L; do FA1, $312,8 \pm 84,3$ mg/L; do FA2, $301,5 \pm 72,3$ mg/L; e do FA3, $299,3 \pm 72,7$ mg/L. 33% das amostras do efluente do FA1 e 40% do FA2 e do FA3 apresentaram eficiência de remoção de ST entre 0% e 10%. Houve carreamento em 20% das amostras do FA2 e em 26% do FA1 e do FA3.

Comparando com os resultados de SST desta fase, novamente pode ter havido dissolução de sólidos suspensos no interior dos filtros. Em ambos os casos observa-se um aumento progressivo da eficiência de remoção no FA1. O fato aconteceu no final da segunda carreira, após a 4^a. DF (entre os dias 29/Out e 04/Nov) e pode ter explicação através do mecanismo de aderência de sólidos previamente retidos.

A fase 3 é caracterizada pela concentração de ST afluente entre 300 mg/L e 510 mg/L, com picos de 693,0 mg/L e de 1230,0 mg/L. Verificou-se em apenas um dia a expulsão de sólidos totais pelo FA3 em concentração maior que a do afluente, relativo ao término da primeira carreira de filtração. Em 64% das amostras do FA1, 75% do FA2 e 57% do FA3 as eficiências de remoção estiveram entre 2% e 20%. Com exceção do 99^o dia de operação, as amostras com valor de ST superior a 400 mg/L apresentaram eficiência de remoção superior a 20%, devido à elevada remoção de SST. As eficiências médias de remoção foram: 18,0% para FA1; 20,0% para FA2 e 22,6% para F3.

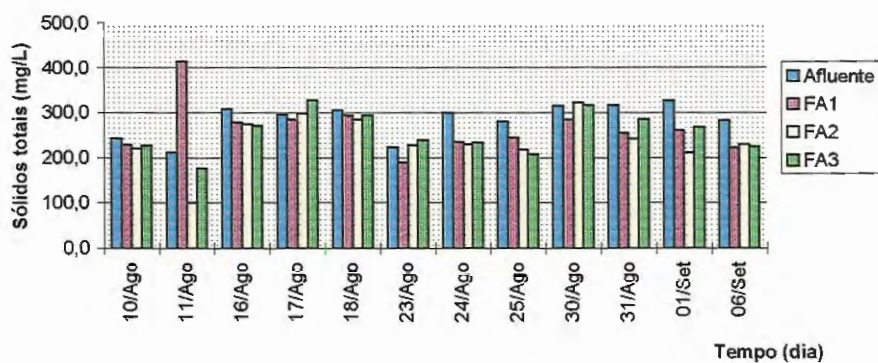


FIGURA 5.22a: Sólidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m^3/m^2d - período de 09/08/1999 a 06/09/1999 (1a. fase de operação)

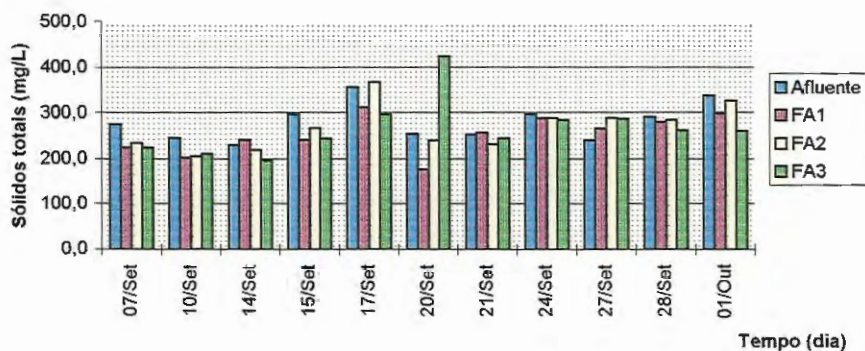


FIGURA 5.22b: Sólidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m^3/m^2d - período de 07/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação)

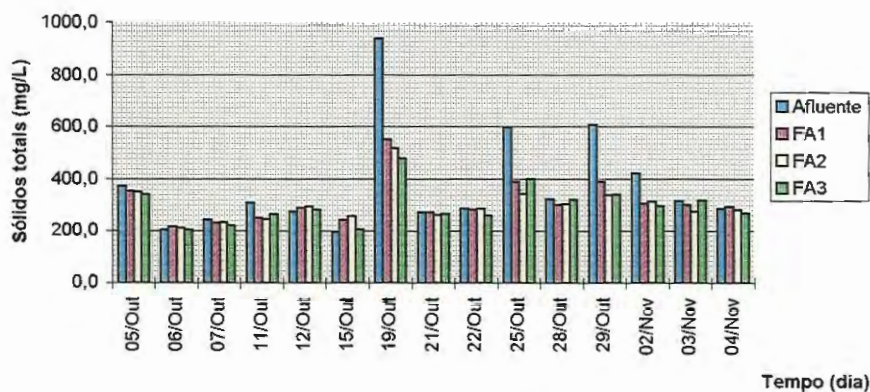


FIGURA 5.23: Sólidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m^3/m^2d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999

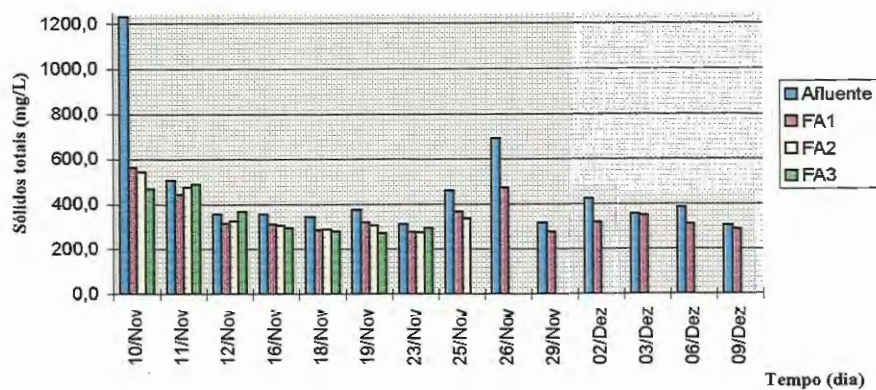


FIGURA 5.24: Sólidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 09/11/1999 a 09/12/1999

5.1.7- Sólidos totais fixos (STF)

Em 65% das amostras do afluente e em 61% das amostras de cada unidade filtrante, o valor de STF esteve entre 100 mg/L e 200 mg/L na fase 1. Ocorreram nessas amostras remoções e carreamento de sólidos, sendo que o valor médio de STF do afluente foi 120,1 mg/L; do FA1, 131,6 mg/L; do FA2, 109,2 mg/L e do FA3, 123,9 mg/L.

Houve carreamento de sólidos em 52% das amostras do efluente do FA1, 35% do FA2 e 57% do FA3, indicando que ocorreu dissolução de sólidos suspensos fixos dentro dos filtros.

Na fase 2, ocorreu STF na faixa entre 100 mg/L e 200 mg/L em 47% das amostras do afluente, 80% do FA1 e FA3 e 73% do FA2. Os filtros chegaram a apresentar eficiência máxima de remoção de STF de 41% (FA1), 90% (FA2) e 66% (FA3), mas também ocorreu escape de STF das unidades com frequência de 33% para FA1, 20% para FA2 e 40% para FA3. A remoção da matéria inorgânica parece possuir relação com a colmatção do meio filtrante, pois as menores eficiências de remoção são observadas em intervalos regulares. As eficiências médias de remoção foram de 25% para o FA1; 34% para o FA2 e 36% para o FA3.

O teor de STF do afluente da fase 3 variou entre 83,3 mg/L e 233,7 mg/L, com um pico de 322,7 mg/L. Os efluentes produzidos apresentaram valores de STF de 85,6 mg/L a 209,3 mg/L. Os comportamentos dos filtros foram semelhantes entre si, pois os valores de STF dos efluentes não se distanciam de mais de 35 mg/L, exceto em 2 amostras do FA3 (29% das amostras desse filtro) e uma amostra do FA1, o que significa que as diferenças entre as eficiências

de remoção não ultrapassam 10% em mais de 70% das amostras. No FA1 e no FA2 possivelmente ocorre carreamento de STF em intervalos regulares de cinco a seis dias, analogamente ao observado na fase 2 com os valores de SST. Os valores de STF maiores nos efluentes do FA1 e do FA2 nos últimos dias de operação de cada filtro denotam a colmatação do meio granular evidenciada pela perda de carga em torno de 50,0 cm. O carreamento observado no FA1 do 117º ao 127º dia de operação é decorrente do escape de sólidos do interior da unidade, refletindo na menor alteração da pressão piezométrica em comparação ao restante da operação com taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, devido provavelmente a uma sobrecarga de sólidos existente no interior do mesmo. Nota-se carreamento de sólidos em 43% das amostras do FA1, 38% do FA2 e 14% do FA3, e as eficiências de remoção variam de 0,3% a 55,2%.

Os gráficos das figuras 5.25a, 5.25b, 5.26 e 5.27 são relativos aos valores de STF.

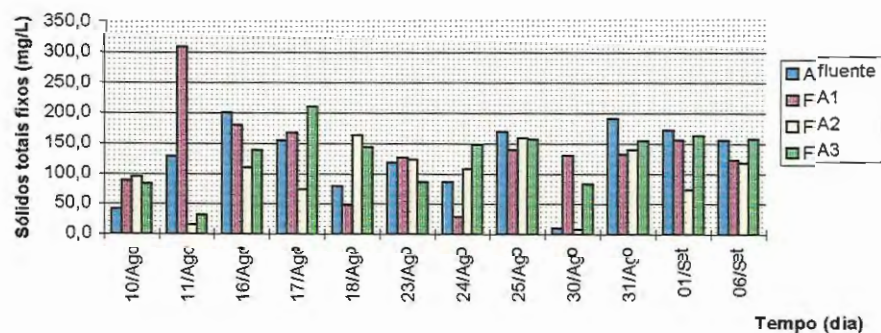


FIGURA 5.25a: Sólidos totais fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 09/08/1999 a 06/09/1999 (1a. fase de operação)

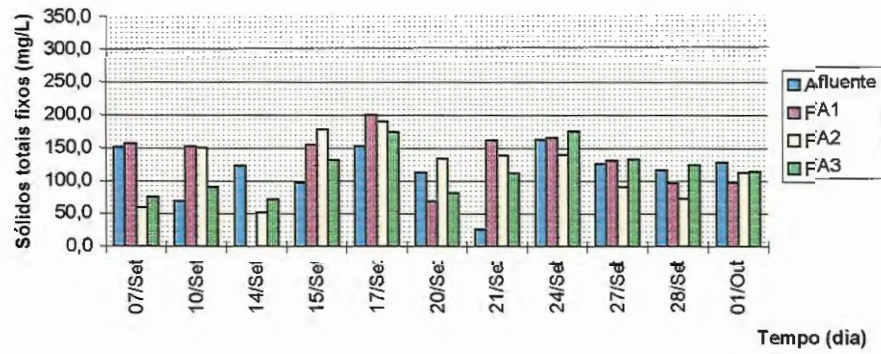


FIGURA 5.25b: Sólidos totais fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m³/m²d - período de 07/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação)

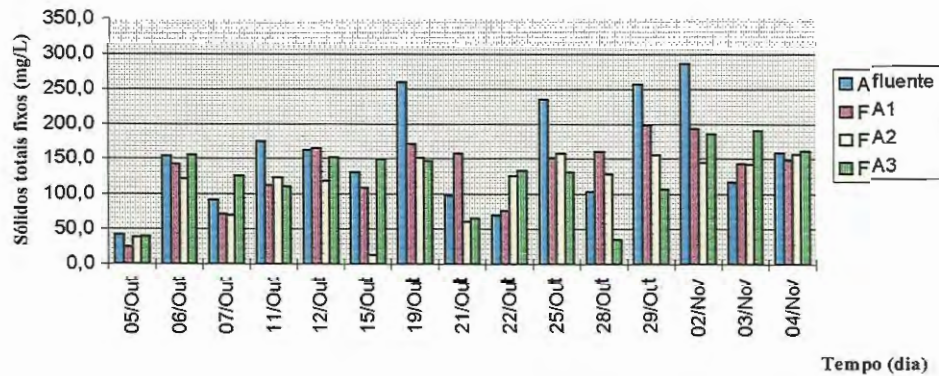


FIGURA 5.26: Sólidos totais fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m³/m²d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999

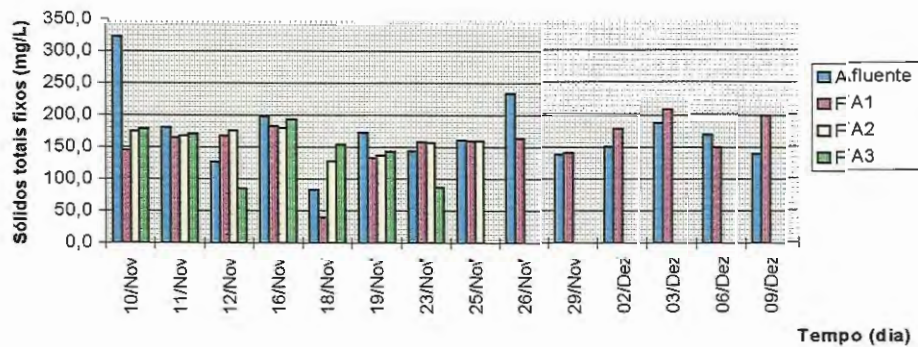


FIGURA 5.27: Sólidos totais fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m³/m²d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999

5.1.8- Sólidos totais voláteis (STV)

Observa-se comportamento análogo ao caso de sólidos totais na fase 1. As eficiências médias de remoção foram de 29,3% para o FA1; 33,6% para o FA2 e 34,7% para o FA3. Houve carreamento de sólidos em 22% das amostras do FA1, 43% do FA2 e 35% do FA3. Considerando o 7º e o 12º dias de operação, essa expulsão de biomassa do sistema pode estar relacionada ao amadurecimento do leito filtrante; considerando o restante do período, pode estar relacionada com a perda de carga dos filtros. Isso porque em muitas amostras em que há carreamento, a perda de carga no meio filtrante é no mínimo de 6,5 cm, ou foi efetuada descarga de fundo no filtro no dia anterior, e o esgoto afluyente “lavou” o leito de pedregulho.

Na fase 2, observando-se o comportamento da curva de sólidos totais voláteis, pode-se dividir o período em duas etapas distintas: a primeira etapa, do 62º ao 72º dia de operação, em que os filtros apresentam ou baixa eficiência de remoção de STV, ou expulsam grande quantidade desses sólidos; e a segunda etapa, entre o 76º e o 92º dia de operação, em que as eficiências de remoção obtidas situam-se entre 10% e 50% em 78% das amostras.

A primeira etapa compreende metade da 1ª carreira de filtração do FA1, a 2ª carreira de filtração do FA2 e as duas primeiras carreiras de filtração do FA3. Neste período ocorreu remoção apenas de SSV, pois os efluentes possuíam mais sólidos dissolvidos voláteis que o afluyente. Na segunda etapa, 44% das amostras de cada filtro apresentaram remoção de sólidos dissolvidos voláteis, indicando que somente nessa etapa os microrganismos presentes nas unidades filtrantes estavam adaptados ao meio e puderam degradar a matéria orgânica referente aos sólidos dissolvidos voláteis. Considerando-se que a primeira etapa se refere ao início da operação com taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, pode-se concluir que essa degradação não poderia acontecer provavelmente devido à desestabilização do tratamento biológico causada pelas descargas de fundo e lavagem do meio filtrante.

Na fase 3, os filtros removeram STV em 100% das amostras do FA1 e do FA2 e em 71% das amostras do FA3. As amostras em que o valor de STV do FA3 foi superior ao valor do afluyente são relativas ao final de carreiras de filtração. O FA3 apresentou as maiores eficiências de remoção em comparação com o FA1 e o FA2, exceto nas amostras em que houve carreamento. As eficiências máximas de remoção alcançaram 54,0% para FA1; 59,7% para FA2 e 68,1% para FA3. As eficiências médias foram de 28% no FA1, 31% no FA2 e 39% no FA3.

A seguir são mostrados os gráficos de STV de todas as fases.

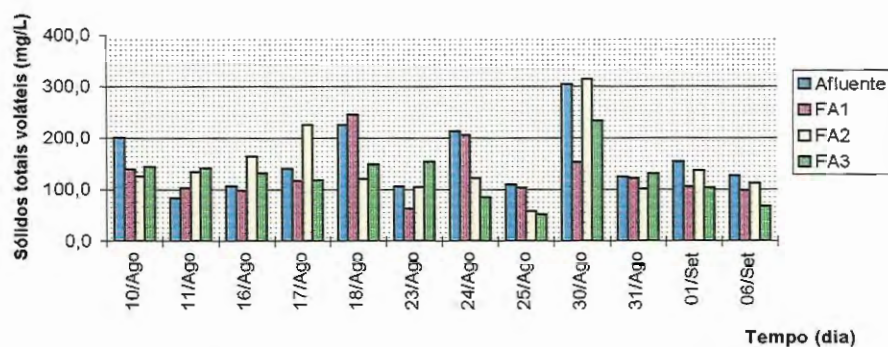


FIGURA 5.28a: Sólidos totais voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 09/08/1999 a 06/09/1999 (1a. fase de operação)

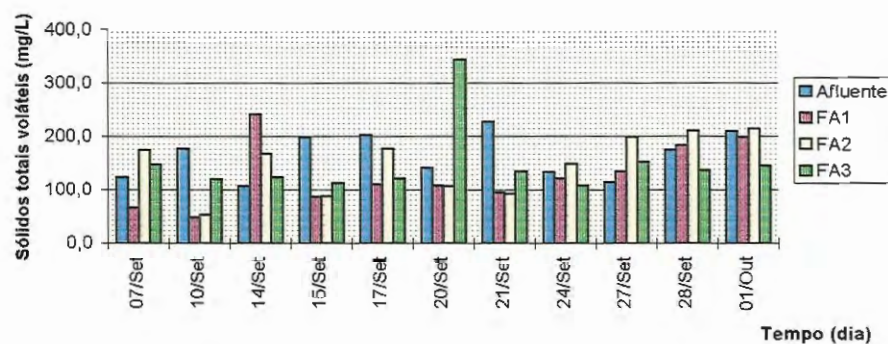


FIGURA 5.28b: Sólidos totais voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 07/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação)

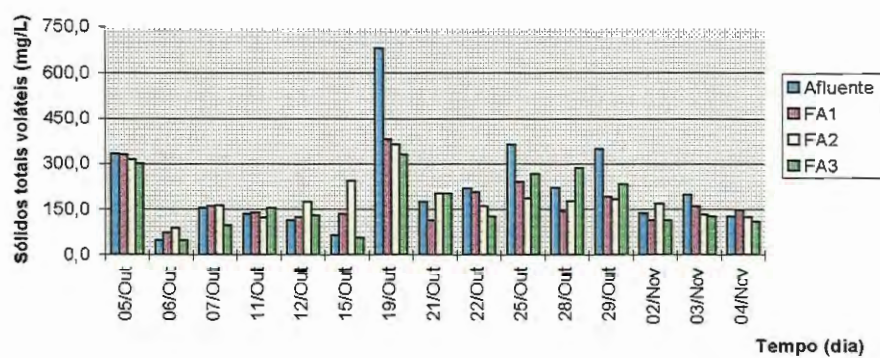


FIGURA 5.29: Sólidos totais voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 04/10/1999 a 09/11/1999

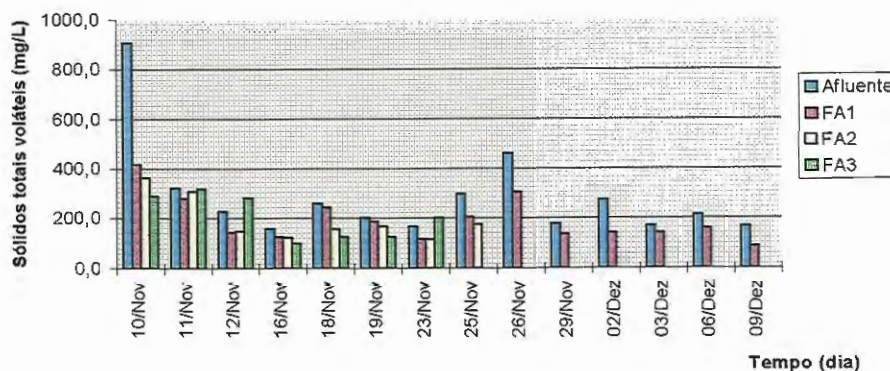


FIGURA 5.30: Sólidos totais voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 09/11/1999 a 09/12/1999

O tratamento do esgoto em termos de SS, ST, STF, STV, SST, SSF e SSV estabilizou-se gradativamente ao longo das fases, com exceção feita somente na análise do desvio padrão de STF do FA1 e do FA3 entre as fases 2 e 3. Na fase 3, apesar do aumento observado no desvio padrão dos filtros, o desvio padrão do afluente foi maior que na fase 2, indicando uma melhoria gradual na remoção de sólidos em geral.

5.1.9- DQO total

A DQO total afluente variou entre 200 mg/L e 300 mg/L em 83% das amostras na fase 1, apresentando valor médio de 245 mg/L (ou seja, a taxa de carregamento orgânico - TCO variou entre $0,095 \text{ kg DQO}/\text{m}^3\text{d}$ e $0,143 \text{ kg DQO}/\text{m}^3\text{d}$, com valor médio de $0,116 \text{ kg DQO}/\text{m}^3\text{d}$). Observa-se nas figuras 5.31a e 5.31b que, em todos os dias de coleta, os filtros removeram uma parcela da DQO total do esgoto sanitário. Uma evidência clara de que houve essa remoção é que, em mais de 95% das amostras de cada filtro, a DQO total efluente esteve abaixo de 200 mg/L. Parte dessa remoção pode ser atribuída à remoção de SSV, pois esses sólidos contribuem no valor da DQO total do esgoto sanitário.

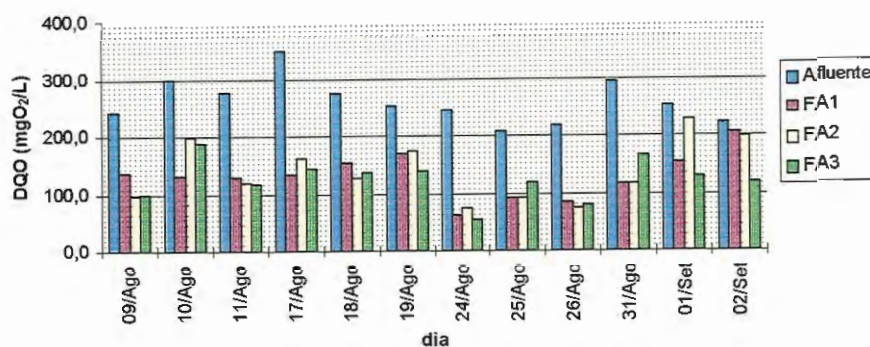


FIGURA 5.31a: DQO total (mgO₂/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m³/m²d - período de 09/08/1999 a 02/09/1999 (1a. fase de operação)

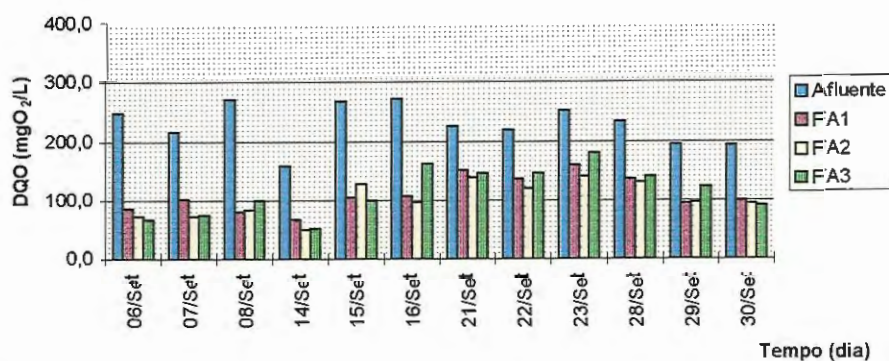


FIGURA 5.31b: DQO total (mgO₂/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m³/m²d - período de 06/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação)

Os valores médios de DQO total dos efluentes foram de 120 mg/L no FA1, 120 mg/L no FA2 e 119 mg/L no FA3, e as eficiências médias de remoção de 48,7%, 48,8% e 48,9%, respectivamente, para FA1, FA2 e FA3. Isso indica que os filtros foram muito semelhantes em termos de remoção de DQO. Apenas no 29º dia de operação foi observada no FA1 eficiência de remoção de DQO total menor que 10%.

Na fase 2, os valores de DQO do afluente estiveram entre 200 mg/L e 300 mg/L em 75% das amostras (TCO entre 0,158 kg DQO/ m³d e 0,238 kg DQO/ m³d), e os valores dos efluentes, entre 100 mg/L e 200 mg/L em 62% das amostras do FA1 e do FA2 e em 69% do FA3. A DQO efluente foi superior à afluente somente em 6% das amostras do FA1 e FA2 e em 12% do FA3. Nota-se que no intervalo do dia 26/Out ao dia 28/Out a DQO afluente apresentou valores entre

300 mg/L e 400 mg/L em 12% das amostras (TCO entre 0,238 kg DQO/ m³d e 0,317 kg DQO/ m³d) e um pico de 1150 mg/L no dia 27/Out (TCO de 0,911 kg DQO/ m³d), absorvido pelos filtros. Os efluentes neste dia não ultrapassaram o valor de 500 mg/L, provavelmente pela remoção de sólidos, evidenciada pela aparência do despejo produzido.

Os valores médios de DQO foram de 335 mg/L para o afluente, 210 mg/L para o FA1 e o FA2 e 208 mg/L para o FA3. Novamente os filtros removeram parcela significativa de DQO do afluente, com eficiência média de remoção de 35% no FA1 e no FA2 e de 37% no FA3. As eficiências de remoção de DQO estiveram entre 20% e 60% em 75% das amostras do FA1 e do FA2, e em 81% das amostras do FA3. O gráfico da figura 5.32 representa os valores da DQO nesta fase.

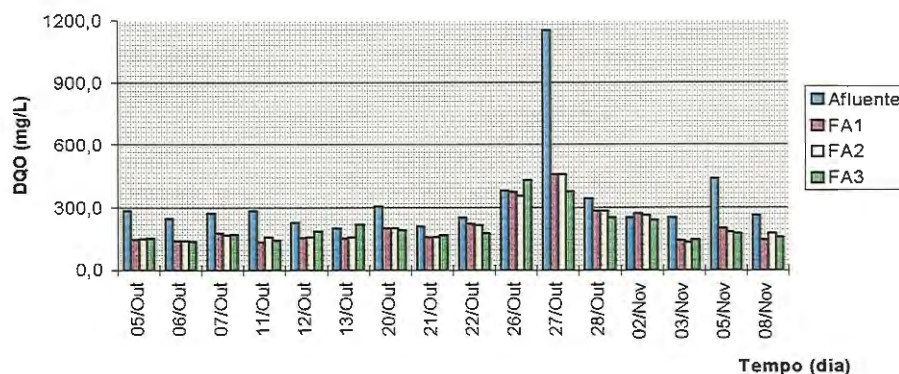


FIGURA 5.32: DQO total (mgO₂/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m³/m²d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999

Com exceção do 126º dia de operação, em que o FA1 apresentou em seu efluente valor de DQO maior que a do afluente (ou seja, 7% das amostras), os filtros removeram DQO com eficiência mínima de remoção de 16,5% na fase 3. O FA2 apresentou maior eficiência de remoção no 104º dia de operação, no término da primeira carreira, o que possivelmente está relacionado com a eficiência de remoção de 50% de SST nesse dia. Quando a DQO afluente se mostrou superior a 1000 mg/L (TCO superior a 1,109 kg DQO/ m³d), os filtros removeram mais de 50% de DQO; quando variou entre 300 mg/L e 500 mg/L (TCO entre 0,333 kg DQO/ m³d e 0,554 kg DQO/ m³d), o valor da DQO efluente não passou de 306 mg/L. As eficiências médias de remoção foram de 37% para o FA1, 50% para o FA2 e o FA3.

Observando-se os valores de DQO ao longo de todo o período, através da comparação entre a razão entre os desvios padrões dos efluentes e do afluente, pode-se concluir que à medida que o tempo de utilização dos filtros aumentou, a eficiência de remoção de DQO aumentou devido à ação biológica e à ação de filtração. Na tabela 5.5 são mostrados valores da TCO e das eficiências médias de remoção de cada fase.

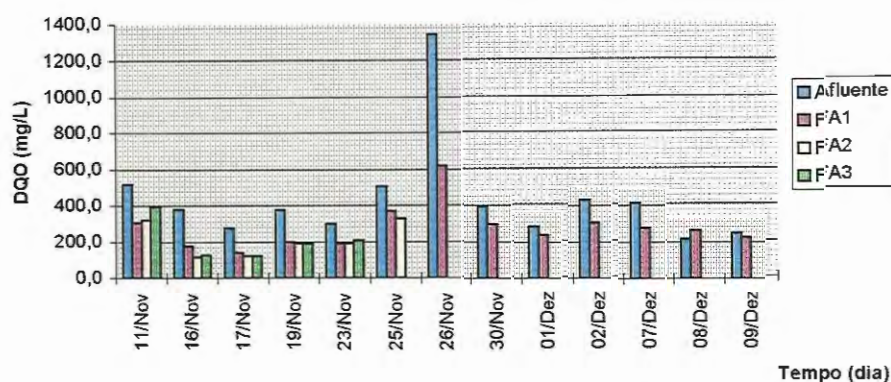


FIGURA 5.33: DQO total (mgO₂/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m³/m²d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999

TABELA 5.5: Taxa média de Carregamento Orgânico aplicada nos filtros e eficiências médias de remoção de DQO total nas três fases experimentais.

Fase	TCO média (kg DQO/ m ³ d)	Eficiência média de remoção de DQO do FA1	Eficiência média de remoção de DQO do FA2	Eficiência média de remoção de DQO do FA3
1	0,116	48,7%	48,8%	48,9%
2	0,265	35%	35%	37%
3	0,637	37%	50%	50%

5.1.10- DBO total

A fase 1 iniciou-se com valor de DBO total afluente de 105 mg/L, aumentando no 13^o dia de operação e em seguida diminuiu, no período do 20^o ao 41^o dia de operação, variando entre 43 e 59 mg/L. Posteriormente, ela aumentou novamente para 153 mg/L e, por final, encerrou o período com valor de 105 mg/L. Os valores de DBO dos efluentes dos filtros não seguiram essas

variações, porém no período do 20º ao 41º dia de operação as amostras apresentaram valores próximos entre si, comparando-se amostras do mesmo dia. 50% das amostras do FA1, 25% do FA2 e 38% do FA3 apresentaram eficiência de remoção maior que 50%. Provavelmente esses valores não indicam parcela biodegradada do esgoto, mas a matéria orgânica que foi retida nos interstícios do pedregulho, caso se considerar o primeiro mês. A eficiência média de remoção do FA1 foi de 52,3%; do FA2, 37,0%; e do FA3, 37,6%.

Em 20% das amostras dos efluentes dos filtros notou-se que houve um aumento no valor da DBO do esgoto ao passar pelos filtros na fase 2. Em 60% das amostras dos filtros, obtiveram-se valores de DBO entre 117 mg/L e 158 mg/L, o que permite deduzir que esses valores seriam o limite mínimo para os efluentes dos filtros nessa fase. Os filtros não apresentaram eficiência de remoção de DBO maior que 50% como notado na fase anterior, porém as porcentagens de remoção máximas foram de 37% para o FA1, 26% para o FA2 e 29% para o FA3. As eficiências médias de remoção são de 18% para o FA1; 14% para o FA2 e 15% para o FA3.

Na fase 3 a DBO afluente iniciou o período com valor de 214 mg/L, em seguida, diminuiu seu valor até alcançar 61 mg/L no 111º dia de operação e posteriormente aumentou novamente, encerrando a operação com valor de 198 mg/L. O comportamento dos três filtros frente essas mudanças se deu da seguinte forma: no primeiro e no último dia, a remoção de DBO no FA1 foi de 25% a 31% de eficiência, enquanto no primeiro dia os outros filtros foram menos eficientes: o FA2 removeu 20% de DBO e o FA3, 12%. No segundo dia (16/Nov.), os filtros FA1, FA2 e FA3 alcançaram as maiores eficiências de remoção dessa fase: 38%, 62% e 65% respectivamente. No 111º dia de operação, o FA1 e o FA2 removeram 14% de DBO, enquanto que o FA3 despejou mais DBO no seu efluente. Esse fato pode ser explicado pelo indício do final da carreira do FA3. Por fim, no 118º dia de operação o FA1 praticamente não removeu DBO, possivelmente por causa da instabilidade que se criou com o carreamento de sólidos.

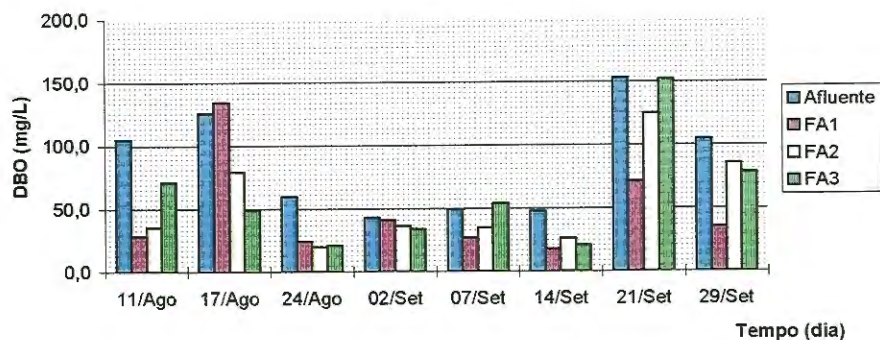


FIGURA 5.34: DBO (mgO₂/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m³/m²d - período de 09/08/1999 a 02/09/1999 (1a. fase de operação)

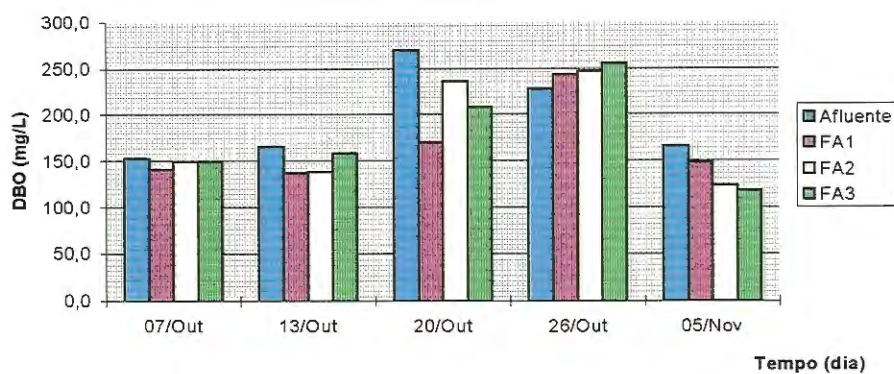


FIGURA 5.35: DBO (mgO₂/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m³/m²d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999

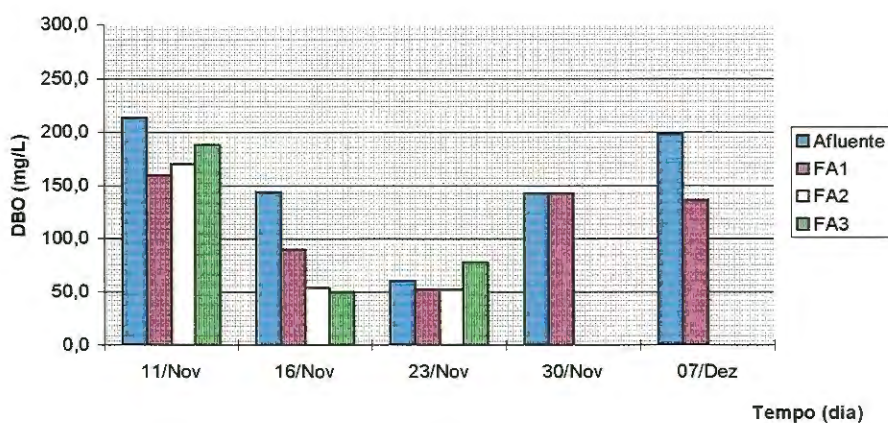


FIGURA 5.36: DBO (mgO₂/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m³/m²d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999

5.1.11- Relação DBO/DQO.

A relação DBO/DQO está relacionada ao teor de degradabilidade da matéria orgânica presente. Esta relação não diminuiu com a passagem do efluente através do meio granular dos filtros, com exceção feita no início dos experimentos (dia 11/Ago.), e uma amostra do FA1 e do FA3 em cada uma das duas primeiras fases, como pode ser visto nas tabelas A.20, B.23 e C.23 dos anexos. Como o efluente utilizado no estudo tinha características marcantes de esgoto sanitário, substâncias surfactantes seriam uma possível contribuição para a quantidade de matéria orgânica não biodegradável ou de baixa degradação, frente às características do sistema empregado. Além disso, a filtração foi o processo que predominou sobre a atividade microbiológica, removendo principalmente SSV, que contribuem de maneira expressiva no valor da DQO e da DBO.

5.1.12- pH e Alcalinidade total.

O pH afluente variou entre 6,8 e 7,7 ao longo do período de operação da fase 1. O reflexo desta alteração não se notou de imediato no comportamento dos filtros, visto que o período entre o início da operação até o 37º dia de operação provavelmente compreende o período de amadurecimento do leito filtrante (período no qual os microrganismos do esgoto sanitário aderem-se à superfície do pedregulho). Observa-se neste período que o pH dos efluentes dos filtros não teve nenhuma correlação com o pH do afluente.

No período do 41º ao 58º dia de operação, o pH dos efluentes esteve entre 7,0 e 7,2 em 100% das amostras do efluente do FA1, em 93% das amostras do FA2 e em 86% das amostras do FA3, indicando que os filtros podem ter estabilizado o pH do esgoto sanitário em torno do valor 7,1. Em 50% das amostras do FA1, 36% das amostras do FA2 e 57% das amostras do FA3, o pH dos efluentes foi superior ao pH do afluente, indicando que houve a incorporação de substâncias alcalinas no esgoto sanitário pré-tratado.

Com exceção do 13º dia de operação, o pH efluente do FA1 não se apresentou menor que 7,0, mesmo quando o pH afluente foi de 6,8 ou 6,9. Durante toda a operação, o pH dos efluentes dos filtros variou entre 6,8 e 7,5, exceto no 97º dia de operação, quando o FA2 apresentou valor de 6,3. Neste dia, o pH afluente foi de 6,7, o FA1 e o FA3 apresentaram pH de 7,4 e 7,3 respectivamente. Isso pode estar relacionado a alguma anomalia relativa à perda de carga das unidades, de valores 0,2 cm, 2,9 cm e 0,4 cm, para FA1, FA2 e FA3 respectivamente; demonstra

também que os filtros alteraram consideravelmente o pH do efluente do reator de leito fluidificado. As figuras 5.37a, 5.37b e 5.37c ilustram o ocorrido.

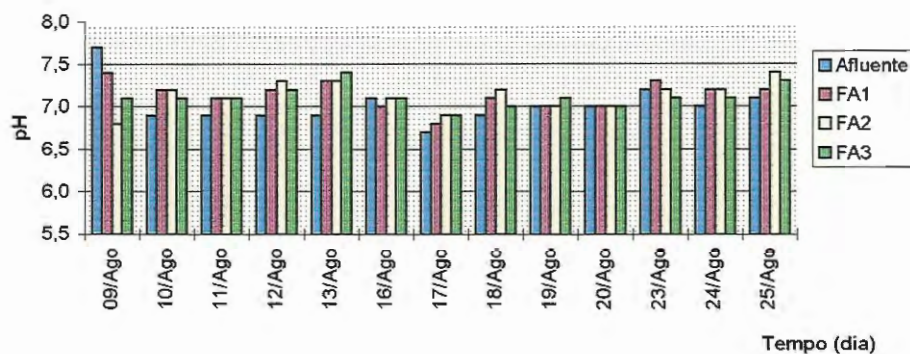


FIGURA 5.37a: pH do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 09/08/1999 a 25/08/1999 (1a. fase de operação)

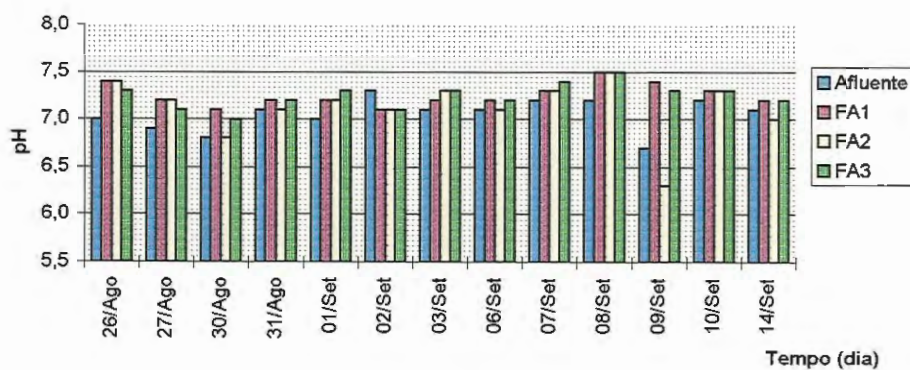


FIGURA 5.37b: pH do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 26/08/1999 a 14/09/1999 (1a. fase de operação)

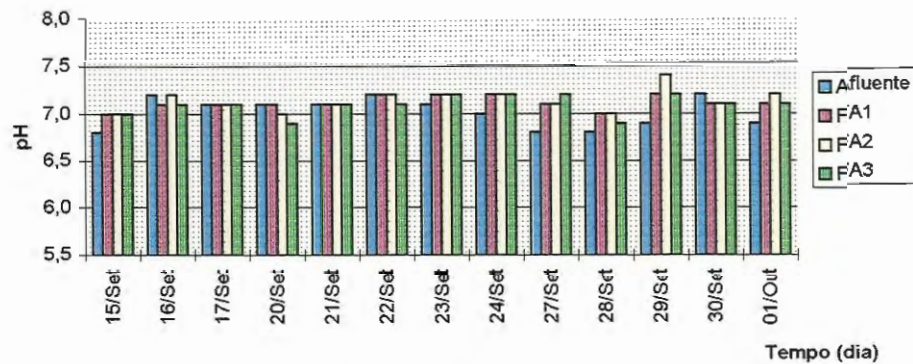


FIGURA 5.37c: pH do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 15/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação)

A alcalinidade total de afluente e dos efluentes dos filtros variou entre 125 a 170 mg de CaCO_3/L ao longo do período de operação dessa fase, tendo o afluente valor médio de 146 mg de CaCO_3/L ; o FA1 e o FA2, de 149 mg de CaCO_3/L e o FA3, de 148 mg de CaCO_3/L . Devido ao limite de erro do método de medida da alcalinidade, diferenças até 5 mg de CaCO_3/L no valor medido podem indicar alcalinidades muito próximas. Tendo isso em mente, pode-se concluir que não houve alterações significativas na alcalinidade total do esgoto tratado após passar através dos filtros.

Em apenas 8 a 10% do total de amostras de cada filtro a alcalinidade total alterou-se pela passagem nos filtros. Nessas amostras, a alcalinidade total do esgoto aumentou, fato que talvez fosse explicado através do processo de remoção de ácidos voláteis.

Na fase 2, exceto em 12% das amostras dos filtros, o pH afluente foi ligeiramente menor que o pH dos efluentes dos filtros. Essa diferença não ultrapassa 0,3 unidades, mais comumente observada como sendo de 0,1 unidade. Isso indica que o tratamento anaeróbico estava sob equilíbrio, pois provavelmente houve remoção de ácidos voláteis, o que elevou o pH (CAMPOS, 1989; NOUR, 1996). O pH do afluente iniciou o período com valor de 7,3 e decaiu ao longo do tempo, atingindo o valor de 6,6 no 86º dia de operação. Novamente observaram-se valores de pH efluente de 7,0 e 7,1 em todas as amostras do início do período, indicando que possivelmente os filtros “corrigissem” o pH do esgoto sanitário. Os resultados dessa fase são apresentados na figura 5.38.

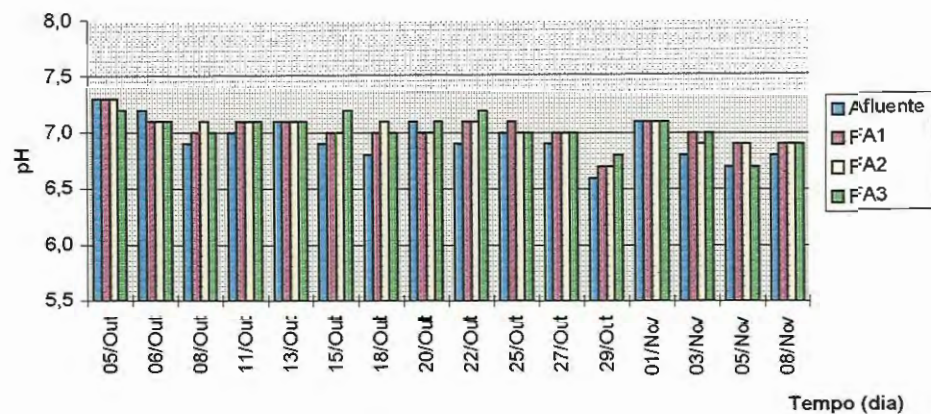


FIGURA 5.26: pH do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$.

A alcalinidade total dos efluentes dos filtros não foi superior à alcalinidade do afluente (exceto em uma amostra do FA1). Esse fato pode ser explicado pela remoção de nitrogênio amoniacal observada nesta fase, já que a amônia aumenta o pH e a alcalinidade total do esgoto quando produzida pelos microrganismos anaeróbios. O fato de que, em 81% das amostras do FA1 e do FA3 e em 88% das amostras do FA2, não existiu alteração significativa da alcalinidade do despejo, induz a concluir que os filtros pouco interferiram nas concentrações de compostos alcalinos do mesmo, principalmente levando-se em conta que o esgoto permanece nas unidades por um TDH de 16 minutos. A alcalinidade do afluente variou entre $120,0 \text{ mg/L}$ e $198,9 \text{ mg de CaCO}_3/\text{L}$, com média de $155,9 \text{ mg/L}$.

O afluente dos filtros, na fase 3, apresentou valores de pH de 6,7 e 6,8 em 77% do total das amostras. A passagem do esgoto pré-tratado pelos filtros pouco interferiu no pH, pois com exceção do 110º dia de operação (8% das amostras do FA1) a diferença entre o pH do afluente e o pH dos efluentes não passou de 0,1 unidade, como visto na figura 5.39. Com exceção de apenas um dia, todos os valores de pH efluente foram superiores ao pH afluente, indicando que os microrganismos presentes no pedregulho provavelmente estivessem tratando o esgoto sanitário satisfatoriamente. Essa pequena diferença pode ser devida ao TDH desta fase, de 11 minutos.

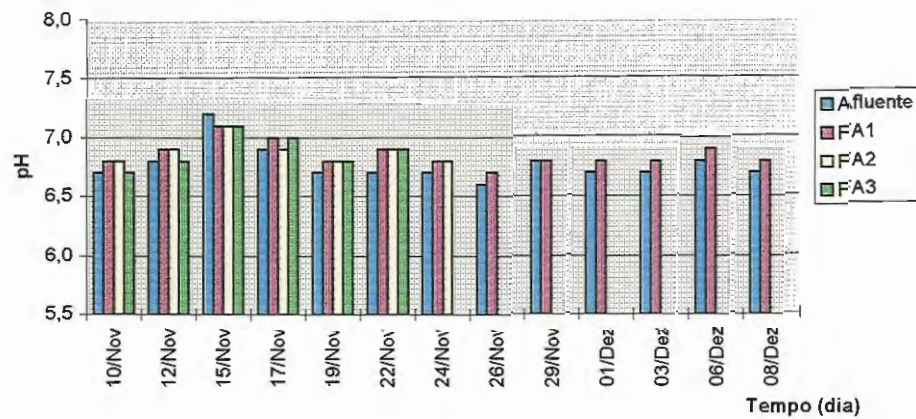


FIGURA 5.39: pH do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

Na fase 3, novamente foi observado que a alcalinidade total dos efluentes dos filtros resultou inferior à alcalinidade do afluente (exceto em uma amostra do FA1), e pode-se novamente atribuir esse fato à remoção de nitrogênio amoniacal. A alcalinidade dos efluentes é notadamente maior que a dos efluentes em uma amostra do FA1 (8% das amostras) e uma do FA3 (16% das amostras), verificando-se novamente pequena alteração da alcalinidade total na maioria das amostras. A alcalinidade do afluente variou entre $127,5 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$ e $193,8 \text{ mg/L}$, com média de $149,5 \text{ mg/L}$.

Com o auxílio das figuras 5.40a, 5.40b, 5.40c, 5.41 e 5.42, pode-se inferir que, ao longo de todas as fases do experimento, não houve modificação expressiva no valor da alcalinidade total do esgoto após sofrer o pós-tratamento dos filtros.

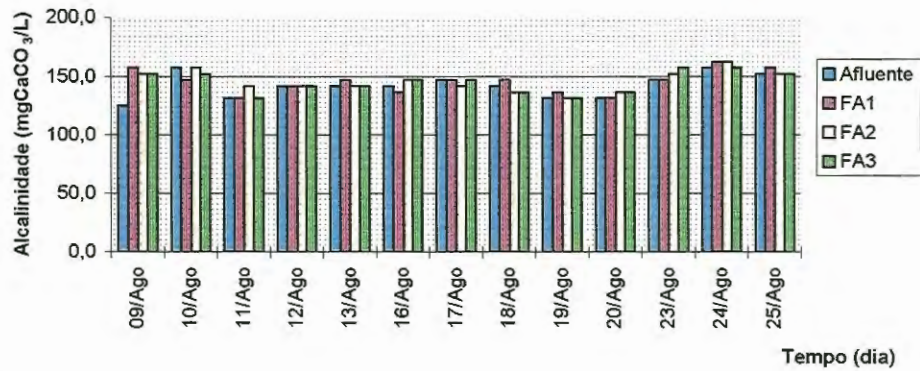


FIGURA 5.40a: Alcalinidade (mgCaCO₃/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m³/m²d - período de 09/08/1999 a 25/08/1999 (1a. fase de operação)

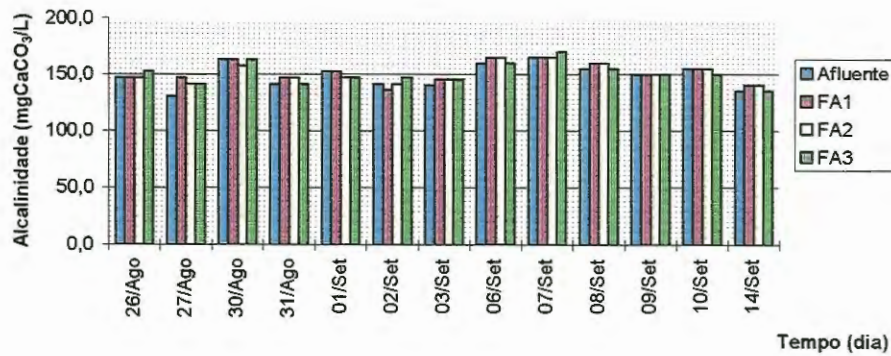


FIGURA 5.40b: Alcalinidade (mgCaCO₃/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m³/m²d - período de 26/08/1999 a 14/09/1999 (1a. fase de operação)

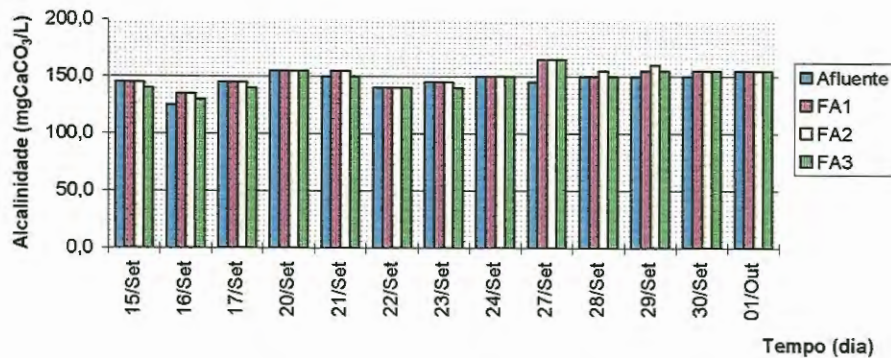


FIGURA 5.40c: Alcalinidade (mgCaCO₃/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m³/m²d - período de 15/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação)

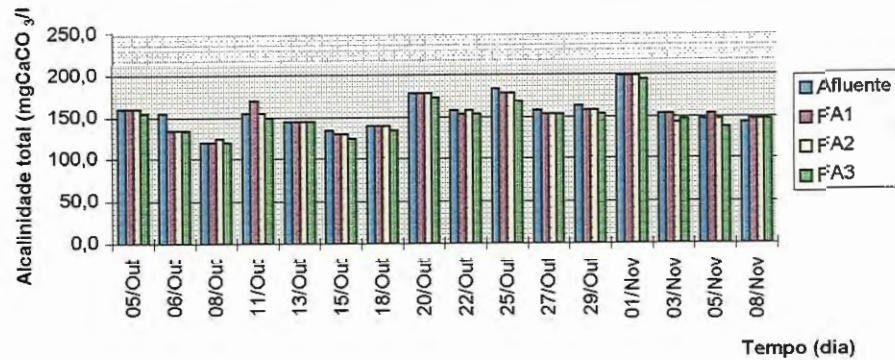


FIGURA 5.41: Alcalinidade (mgCaCO₃/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m³/m²d

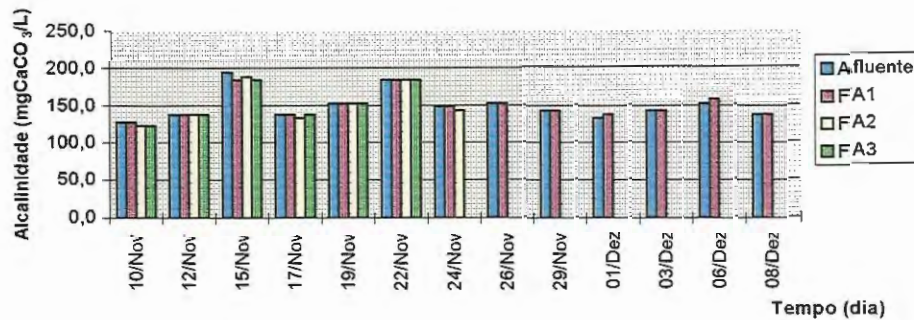


FIGURA 5.42: Alcalinidade (mgCaCO₃/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m³/m²d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999

5.1.13- Nitrogênio total.

Os valores médios da concentração de nitrogênio total foram de 30,1 mg/L no afluente; 26,9 mg/L no efluente do FA1; 27,3 mg/L no FA2 e 26,1 mg/L no FA3 na fase 1. Observa-se que em apenas 6% das amostras do FA1 e do FA2 (12^o dia de operação) e em 25% das amostras do FA3 ocorreram valores de nitrogênio total maiores nos efluentes. Em 81% das amostras do FA1, 75% do FA2 e 69% do FA3 houve remoção de Nitrogênio total, indicando que uma parcela do Nitrogênio total do afluente, provavelmente devido a sólidos suspensos, ficou retida nos filtros. A eficiência média de remoção foi de 12,1% para FA1; 9,9% para FA2 e 17,2% para FA3.

Em 50% das amostras do FA1 obteve-se porcentagem de remoção de NTK (Nitrogênio Total Kjeldahl) entre 10 e 20%. Segundo NOUR (1996), essa baixa remoção está intimamente ligada às características do processo anaeróbio.

Em apenas uma amostra do FA1 (20% do total de amostras) ocorreu valor de NTK efluente maior que o valor do afluente na fase 2. No 76º dia de operação, ocorreu um pico de NTK no afluente; a resposta dos filtros a esse fato foi a remoção de NTK com eficiência de 34% pelo FA1, 26% pelo FA2 e 36% pelo FA3. No restante das amostras, a porcentagem de remoção esteve entre 3% e 15%, fato análogo ao ocorrido na fase 1, e os valores de Nitrogênio total do afluente estiveram entre 30 mg/L e 35 mg/L; do FA1, entre 28 mg/L e 32 mg/L; do FA2, entre 27 mg/L e 32 mg/L; e do FA3, entre 29 mg/L e 35 mg/L. Os valores médios de NTK foram de 42 mg/L para o afluente e de 35 mg/L para os filtros. As eficiências médias de remoção foram de 17% para FA1; 14% para FA2 e 12% para FA3.

Em 40% das amostras do FA1 na fase 3, o efluente apresentou teor de nitrogênio total maior que o afluente. No final da operação do FA3, observaram-se teores iguais de NTK no afluente e no efluente do filtro, provavelmente devido à colmatação do meio filtrante que impedia a ação de filtração. Em uma amostra do FA1 e uma do FA3 a eficiência de remoção de nitrogênio total foi de 27%, e nas outras amostras observa-se eficiência de remoção entre 9% e 20%. Essa análise permite afirmar que o tratamento realizado pelo FA2 pode ter sido mais estável que o tratamento dos outros filtros, pois sua eficiência de remoção esteve entre 9% e 15%, de acordo com o previsto na literatura. Os gráficos de NTK das três fases são apresentados a seguir.

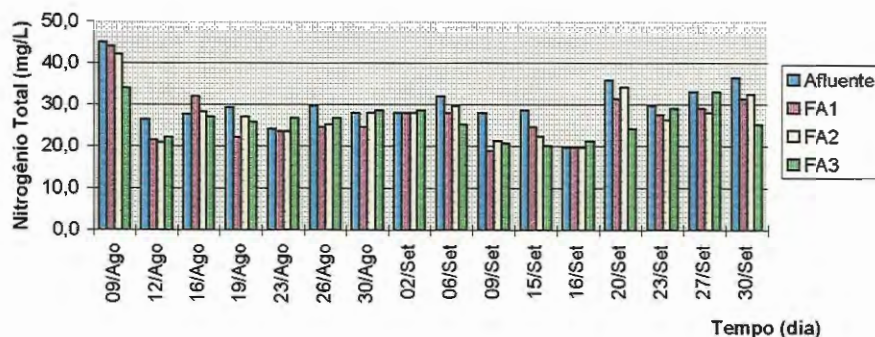


FIGURA 5.43: Nitrogênio total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m³/m²d - período de 09/08/1999 a 04/10/1999 - 1a. fase de operação

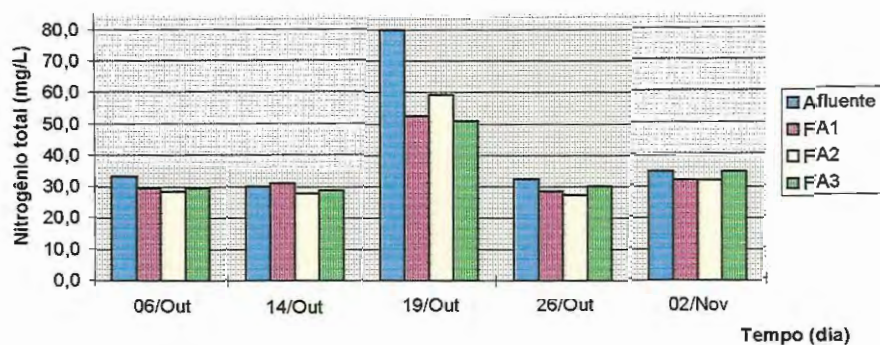


FIGURA 5.44: Nitrogênio total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m³/m²d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999

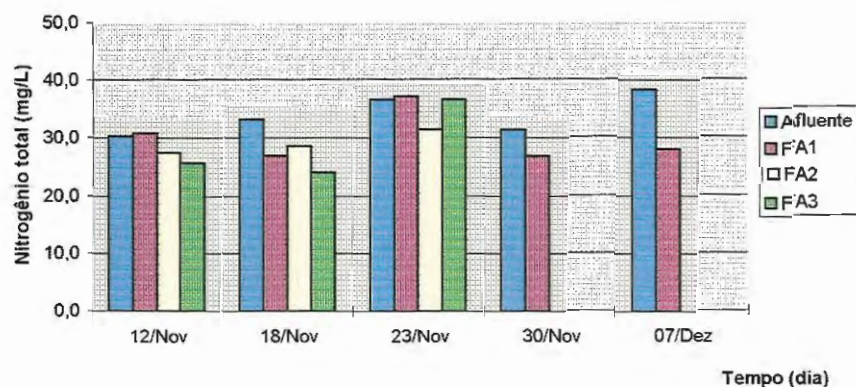


FIGURA 5.45: Nitrogênio total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m³/m²d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999

5.1.14- Nitrogênio amoniacal.

Observa-se pelas figuras 5.46 e 5.47 que os filtros removeram pequena quantidade de nitrogênio amoniacal em todas as amostras, nas fases 2 e 3, embora haja produção de nitrogênio amoniacal pelos microrganismos responsáveis pela degradação do esgoto sanitário.

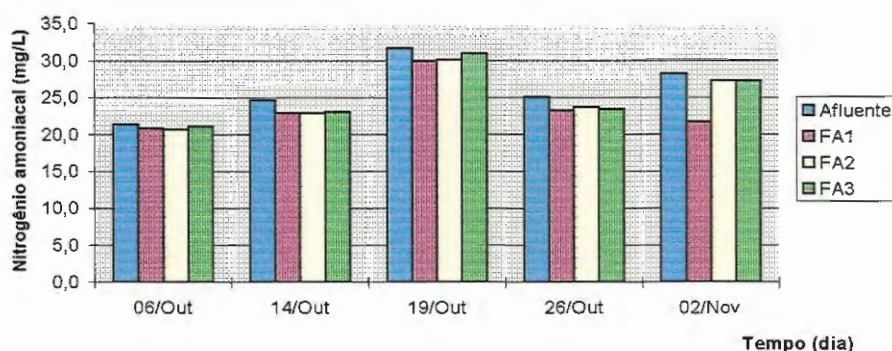


FIGURA 5.46: Nitrogênio amoniacal (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m³/m²d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999

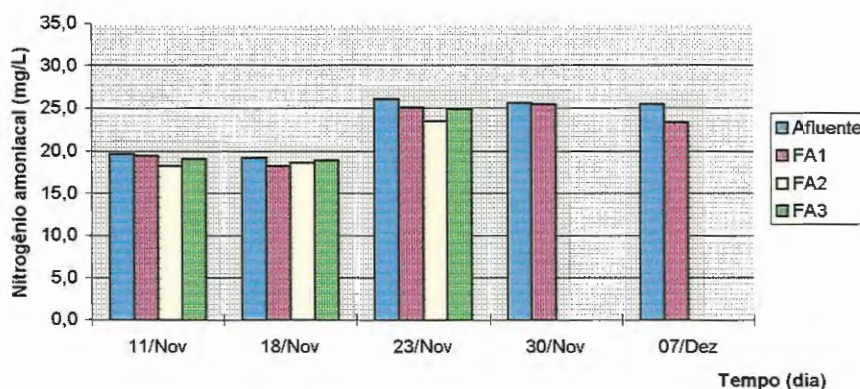


FIGURA 5.47: Nitrogênio amoniacal (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m³/m²d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999

Considerando-se a fase 2, a curva de nitrogênio amoniacal observada na figura 5.46 possui comportamento semelhante à curva de nitrogênio total. Os valores de nitrogênio amoniacal do afluente variaram entre 21 mg/L e 32 mg/L, e os dos filtros, entre 20 e 31 mg/L. Exceto em uma amostra do FA1, que apresentou remoção de 23%, as eficiências de remoção estiveram todas entre 1 e 8%. As eficiências médias de remoção foram de 9,0% para FA1; 4,7% para FA2 e 3,9% para FA3.

Na fase 3 a remoção de nitrogênio amoniacal foi menos acentuada que na fase 2. No 99^o e no 106^o dias de operação, os valores do afluente e dos efluentes variaram entre 18,2 e 19,6 mg/L, e nos outros dias, entre 23,3 mg/L e 26,1 mg/L. As eficiências de remoção estiveram entre 0,6% e

9,9%. As eficiências médias de remoção foram de 3,8% para FA1, 6,7% para FA2 e 2,9% para FA3. Da mesma forma que para o NTK, o FA2 pareceu ser mais estável que os outros filtros na remoção de nitrogênio amoniacal, pois suas eficiências de remoção foram de 7,3% no 99º dia; 3,0% no 106º dia e 9,9% no 111º dia de operação.

Uma análise da remoção de NTK em cada uma das fases permite concluir que ela não se mostrou variável de uma etapa para outra. Na fase 2, os desvios padrão maiores que nas outras fases refletem a remoção mais eficaz que houve nos filtros quando foram submetidos a um pico de NTK, provavelmente devido a sólidos. Isso é demonstrado por meio da análise dos mesmos desvios em relação ao nitrogênio amoniacal, que evidenciam o mesmo nível de tratamento nas fases 2 e 3.

Como pode ser visto na tabela 5.6, a remoção de nitrogênio amoniacal foi inferior à remoção de nitrogênio total nas fases 2 e 3, indicando mais uma vez que uma parcela do nitrogênio total removido deve-se à remoção de sólidos suspensos. Embora tenha sido observada remoção de nitrogênio amoniacal de 23% em uma amostra do FA1, as eficiências de remoção de nitrogênio amoniacal não ultrapassaram 10%. Por outro lado, essa remoção impediu o aumento significativo do pH e da alcalinidade total do efluente.

TABELA 5.6: Eficiências médias de remoção de nitrogênio total e de nitrogênio amoniacal.

Fase	Filtro	Eficiência média de remoção de Nitrogênio total	Eficiência média de remoção de Nitrogênio amoniacal	Observações a respeito do pH
2	1	17%	9,0%	O pH dos efluentes foi 0,3 unidades maior que o do afluente
	2	14%	4,7%	
	3	12%	3,9%	
3	1	20,0%	3,8%	O pH dos efluentes foi 0,1 unidades maior que o do afluente
	2	12,4%	6,7%	
	3	14,2%	2,9%	



5.1.15- Nitrito e nitrato

A produção provável de nitrito pelos microrganismos do meio filtrante é evidenciada por 80% das amostras analisadas na fase 2, e a produção de nitrito conjuntamente com nitrato, em 40% das amostras. Essas amostras são relativas ao final da fase, no 85º e no 92º dia de operação. Considerando-se os valores de nitrito cerca de 100 vezes menores que os de nitrato, pode-se concluir que houve nitrificação no meio filtrante, mas os filtros também removeram certa quantidade de nitrato sob a forma de sólidos dissolvidos fixos. Essa afirmação é sustentada pela análise das amostras do FA1 e FA2, do 64º e do 72º dias de operação, em observou-se remoção de nitrato e de sólidos dissolvidos fixos pelos filtros.

Observa-se nitrificação do FA1 na fase 3, relativa ao 120º e ao 127º dia de operação, por verificarem-se as concentrações de nitrito e nitrato maior que a do afluente. A produção de nitrito no restante das amostras é clara apenas no caso do FA2 e do FA3 no 111º dia de operação, pois o efluente do FA1 do mesmo dia e os efluentes do 106º dia de operação possuem valores praticamente iguais ao do afluente. No caso do nitrato, esta observação também é válida para o 106º e o 111º dia de operação, sem se verificar uma possível produção de nitrato. No 100º dia de operação, os filtros removeram nitrito e nitrato do despejo sanitário, com eficiência de remoção de nitrito de 25% pelo FA1 e FA2 e de 19% pelo FA3, e eficiência de remoção de nitrato de 15% pelo FA1 e FA3 e de 17% pelo FA2.

Nas figuras seguintes é mostrada a concentração de nitrito e nitrato ao longo da operação.

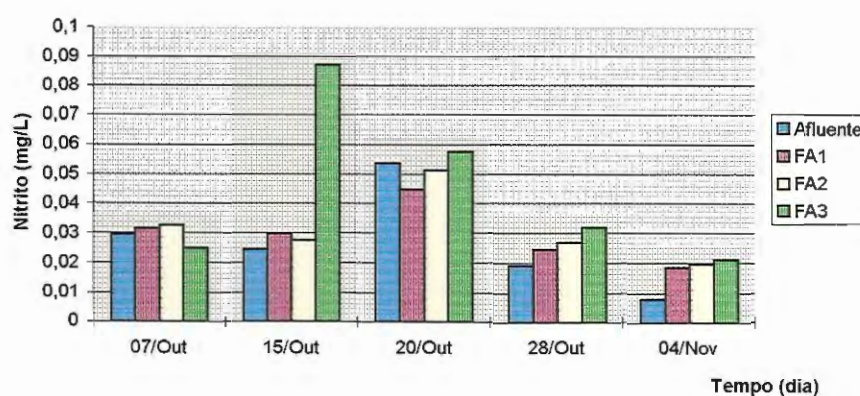


FIGURA 5.48: Nitrito (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 04/10/1999 a 09/11/1999

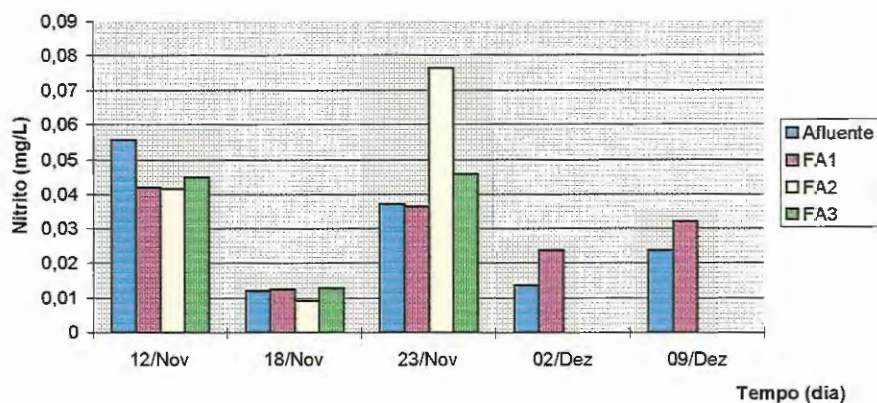


FIGURA 5.49: Nitrito (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 09/11/1999 a 09/12/1999

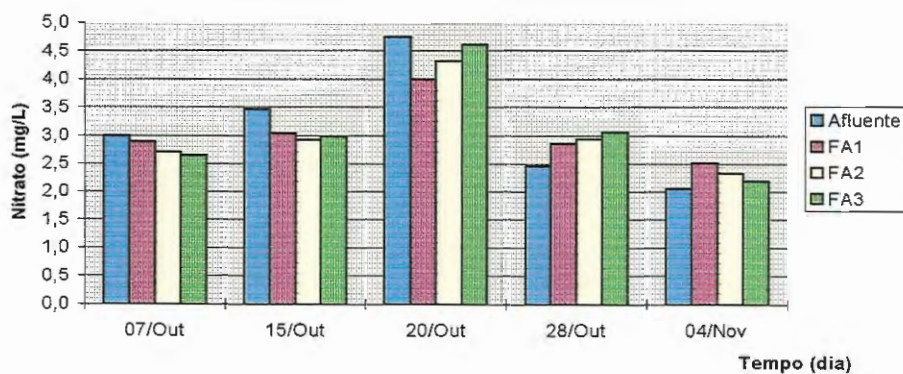


FIGURA 5.50: Nitrato (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 04/10/1999 a 09/11/1999

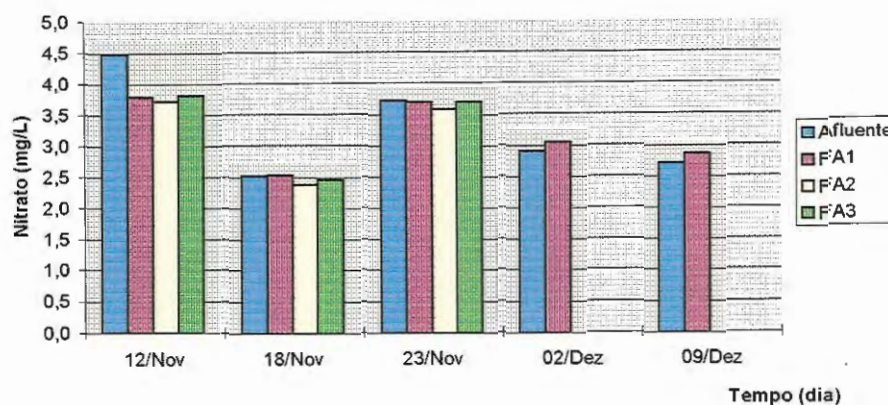


FIGURA 5.51: Nitrato (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 09/11/1999 a 09/12/1999

5.1.16- Fósforo total

A análise da figura 5.52 revela que o comportamento dos filtros não seguiu um padrão uniforme em relação à remoção de fósforo total na fase 1. Em 25% das amostras do FA2 e do FA3 foi observado teor maior de fósforo nos efluentes, provavelmente devido a arraste de sólidos. Os valores médios de fósforo total foram de 16 mg/L no afluente e 15 mg/L nos efluentes de cada filtro. As eficiências de remoção médias foram 9,3% para FA1; 10,4% para FA2 e 10,6% para FA3. As eficiências de remoção máximas não ultrapassavam 25%, fato evidenciado pela incorporação de fósforo nos flocos retidos nos filtros típica de sistema anaeróbio e pela filtração dos sólidos suspensos contendo fósforo. Provavelmente existem compostos surfactantes ainda no efluente do RALEx, pois a concentração de fósforo nesse efluente é maior que a concentração normalmente encontrada em esgoto sanitário (de 4 a 15 mg/L, conforme METCALF & EDDY, 1991).

Em 33% das amostras do FA1 e em 17% do FA2 e do FA3 ocorreu concentração de fósforo total dos efluentes superior à concentração do afluente na fase 2, como se pode ver na figura 5.53. Pode-se dividir o período em duas etapas: a primeira, do 64º ao 75º dia de operação, em que a concentração de fósforo afluente esteve entre 4,8 mg/L e 8,0 mg/L e a concentração dos efluentes estiveram entre 4,0 mg/L e 6,0 mg/L; e a segunda, do 82º ao 96º dia de operação, em que o valor de fósforo total do afluente esteve entre 14 mg/L e 33 mg/L, e dos efluentes, entre 14 mg/L e 23 mg/L. Em termos de eficiência de remoção, estas etapas são semelhantes, pois no início

das mesmas (64^o e 82^o dias), as porcentagens de remoção foram de 35% e 30% para o FA1 e estiveram entre 43% e 49% para os outros filtros. No restante do período, as mesmas porcentagens não ultrapassaram 6%.

No 71^o e no 92^o dia (intermediários nessas etapas), o FA1 apresentou teor de fosfato maior no seu efluente que no afluente, provavelmente relacionado ao teor de STV. No 82^o dia, o pico de sólidos observado no afluente dos filtros não prejudicou a remoção de fosfato. Pelo contrário, com alta concentração de fosfato (se comparada com o restante do período) houve remoção maior. Esses resultados permitem inferir que os filtros possuem uma capacidade de eliminar excesso de fosfato (como de sólidos) em intervalos de tempo regulares.

Com a observação da figura 5.54, pode-se dizer que somente no 118^o dia de operação (fase 3) ocorreu teor de fosfato maior no FA1 que no afluente. No 104^o dia de operação, as eficiências de remoção foram de 54%, 23% e 26% no FA1, FA2 e FA3 respectivamente; isso evidencia novamente a remoção de fosfato por meio da filtração de sólidos, pois o tratamento anaeróbio não remove fosfato de modo significativo. Nos outros dois dias, elas estiveram entre 11% e 14%. Os efluentes não tiveram fosfato total superior a 18 mg/L, mesmo quando o afluente apresentou 22,0 mg/L de fosfato total.

A mesma análise da remoção de NTK em cada uma das fases pode ser realizada no caso de fosfato total. O comportamento em termos de fosfato total em geral não variou muito de uma etapa para outra, o que indica que o tratamento não se alterou consideravelmente ao longo da operação. Os desvios padrão maiores na fase 2 refletem a remoção eficaz quando ocorreu um pico de fosfato, provavelmente devido a sólidos.

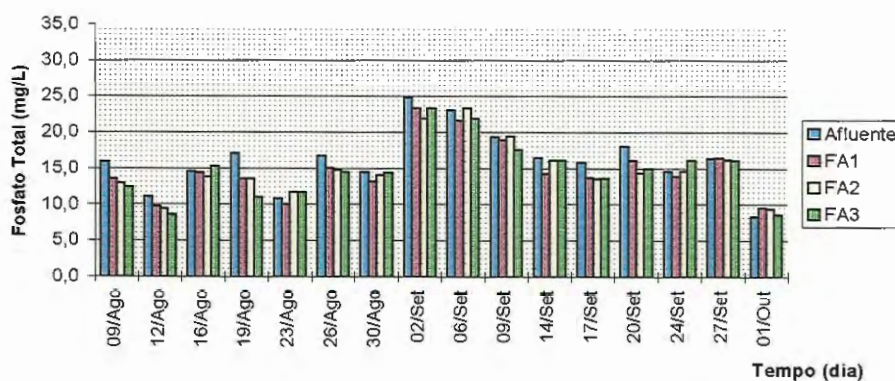


FIGURA 5.52: Fosfato Total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m³/m²d - período de 09/08/1999 a 04/10/1999 - 1a. fase de operação

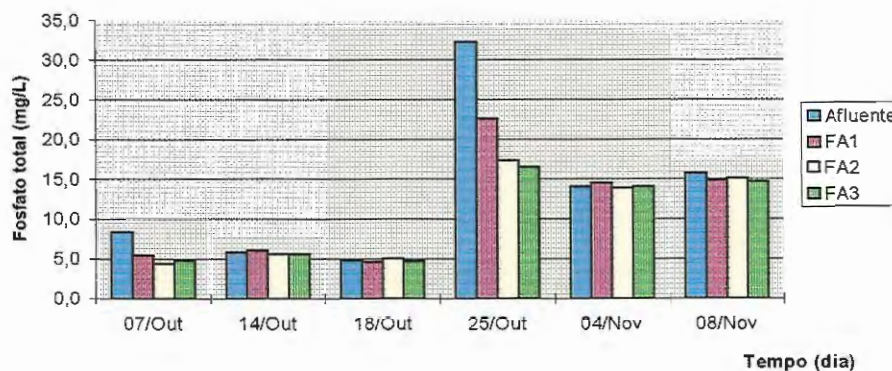


FIGURA 5.53: Fósforo total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m³/m²d - período de 04/10/1999 a 09/11/1999

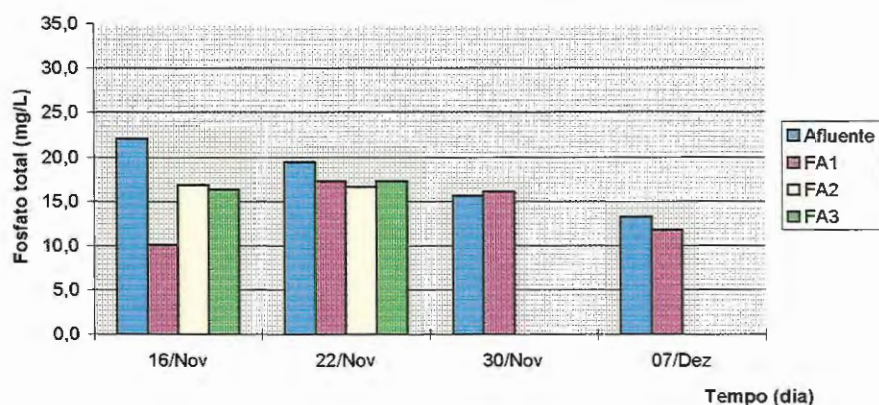


FIGURA 5.54: Fósforo total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m³/m²d - período de 09/11/1999 a 09/12/1999

5.1.17- Coliformes totais e coliformes fecais.

A variação na concentração de coliformes totais e fecais foi grande na fase 1. O que se pode afirmar a respeito desses parâmetros é que a relação de coliformes totais entre o FA2 e o FA3 é de cerca de 0,51 em 60% das amostras, e que a relação de coliformes fecais entre os mesmos filtros é de 0,46 em 60% das amostras. As eficiências de remoção de coliformes totais variaram entre 25% e 83%, sendo que o FA1 alcançou 94% no 29º dia de operação e apresentou mais coliformes totais que o afluente no 42º dia de operação. As eficiências de remoção de coliformes fecais variaram entre 10% e 89%, porém os filtros apresentaram quantidade superior

de coliformes fecais nos efluentes com 20% de frequência no FA1 e no FA2 e com 60% de frequência no FA3.

Na fase 2, observam-se eficiências de remoção de coliformes totais e fecais acima de 98% em 60% das amostras do FA1 e do FA3 e em 40% das amostras do FA2. Essas remoções estão intimamente ligadas às remoções de sólidos suspensos voláteis, que se observam em 100% das amostras. A relação coliformes totais/coliformes fecais parece seguir uma proporção: no afluente, variou de 2,8 a 4,7 em 80% das amostras; no FA1, de 5,8 a 9,6 em todas as amostras; no FA2, de 3,7 a 5,3 em 80% das amostras; mas no FA3, não se observou uma pequena faixa de variação.

A fase 3, caracterizada por ser a taxa mais alta utilizada, removeu coliformes totais com mais de 90% de eficiência em 40% das amostras do FA1, e coliformes fecais em 60% das amostras do FA1 e em 33% das amostras do FA2 e do FA3. Exceto no 110º dia de operação, os filtros removeram coliformes totais em todas as amostras, e apenas o FA1 no 105º dia de operação apresentou eficiência de remoção inferior a 65%. Da mesma forma, somente em uma amostra de cada filtro removeram-se coliformes fecais com eficiência de remoção inferior a 60%. Mesmo no final da carreira do FA1, o filtro removeu coliformes com eficiência superior a 90%, indicando que a remoção de coliformes (que pode ser relacionada à de SSV) não é influenciada pela perda de carga de 50,0 cm.

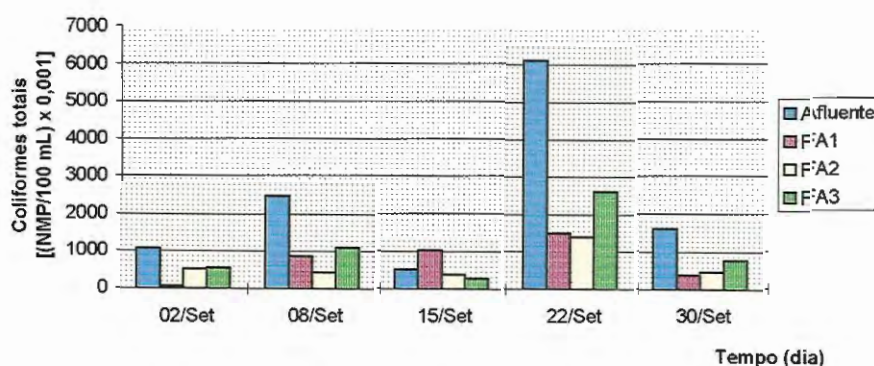


FIGURA 5.55: Coliformes totais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 09/08/1999 a 04/10/1999 - 1a. fase de operação

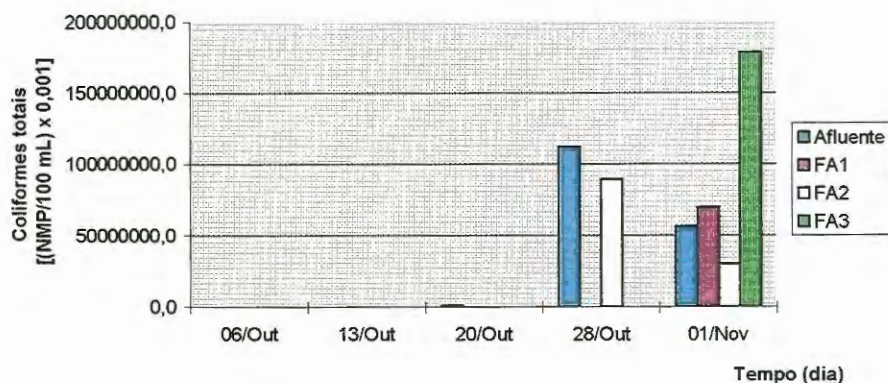


FIGURA 5.56: Coliformes totais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 04/10/1999 a 09/11/1999

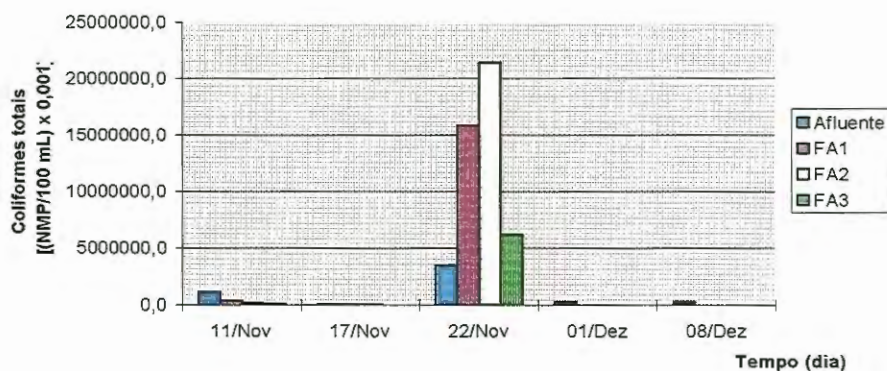


FIGURA 5.57: Coliformes totais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 09/11/1999 a 09/12/1999

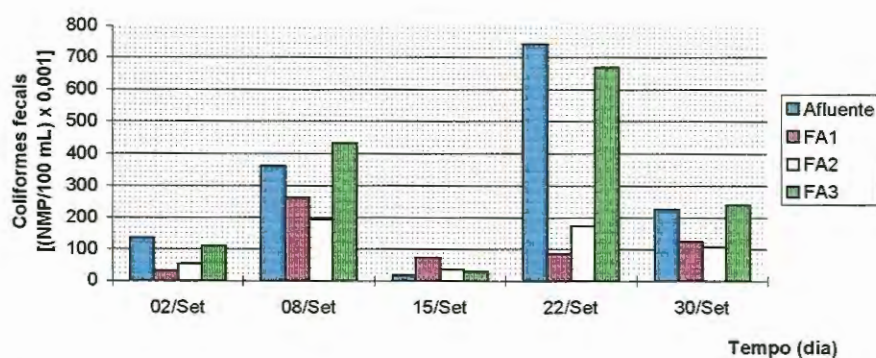


FIGURA 5.58: Coliformes fecais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 09/08/1999 a 04/10/1999 - 1a. fase de operação

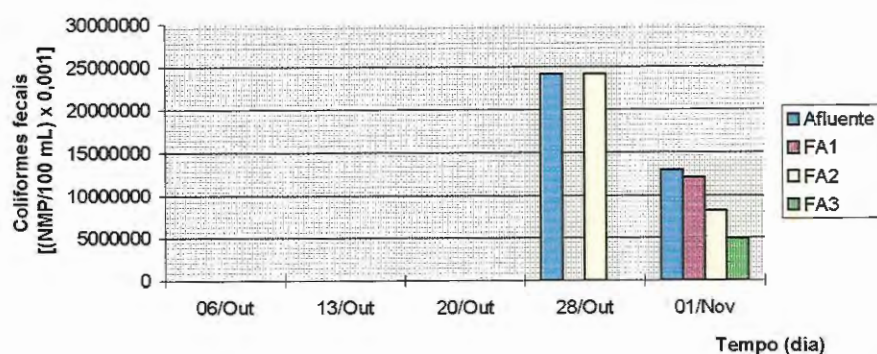


FIGURA 5.59: Coliformes fecais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 04/10/1999 a 09/11/1999

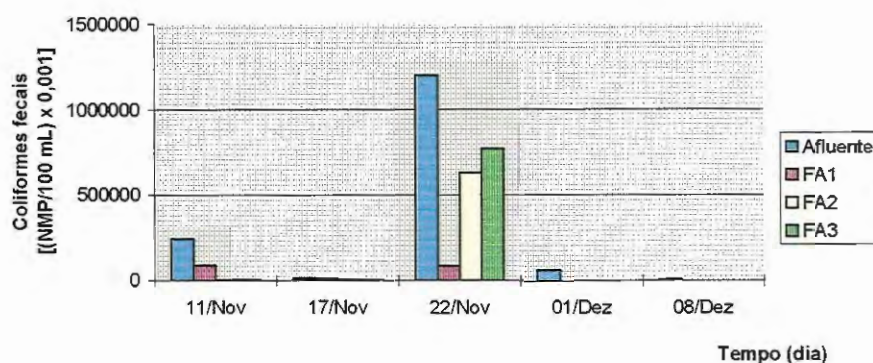


FIGURA 5.60: Coliformes fecais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 09/11/1999 a 09/12/1999

5.1.18- Perda de carga nos filtros.

As perdas de carga observadas durante o período experimental podem ser vistas nas figuras do anexo G. Nota-se que as carreiras do FA1 são as mais prolongadas na operação dos três filtros, enquanto as carreiras do FA3 são as mais curtas, devido à resistência dos meios granulares: como o FA1 possui maior tamanho de pedregulho e o FA3 possui o menor, logicamente a resistência do FA1 à filtração é a menor entre os três filtros, enquanto que a resistência do FA3 é a maior. Assim, as carreiras de filtração do FA1 são maiores que as carreiras do FA2, e estas, maiores que as do FA3.

Pode-se observar que a presença do pedregulho de granulometria de 3,2 a 6,4 mm no FA2 implicou em carreiras de filtração mais prolongadas do que as carreiras do FA1. A diferença de duração dessas carreiras alcançou 15 dias na fase 1 e 10 dias nas fases 2 e 3. Como conseqüência, o intervalo de tempo compreendido entre duas descargas de fundo consecutivas foi maior no FA1 que no FA2. Observa-se também que o pós-tratamento realizado pelos filtros é prejudicado nos primeiros minutos após a realização de uma descarga de fundo, e assim o sistema é tão menos perturbado e tão mais eficiente quanto maior for o tempo compreendido entre duas descargas de fundo consecutivas. Portanto, o tratamento realizado pelo FA1 é o mais estável, enquanto o tratamento do FA3 é o menos estável.

Como pode ser visto na tabela 5.1, alteração da duração média da carreira de filtração da fase 1 para a fase 2 foi maior que a alteração da fase 2 para a fase 3, indicando que a diferença entre as taxas utilizadas nessas fases não implica em grandes diferenças na duração das carreiras dos filtros.

Pode-se perceber pelos resultados obtidos que o pós-tratamento realizado pelos filtros foi mais eficiente na fase 3 que nas fases 1 e 2, mesmo quando o esgoto apresentava alto teor de sólidos suspensos. Além disso, a maior taxa de filtração empregada no estudo foi a da fase 3, o que permitiu carreiras de filtração mais curtas que nas outras fases. Entre os filtros, o FA3 foi o que apresentou as maiores eficiências de remoção em termos de sólidos, DQO e fosfato total. O emprego da menor granulometria nesta unidade implicou em maior resistência de filtração, fazendo com que o contato entre as partículas suspensas do esgoto e o meio filtrante fosse mais intenso que nos outros filtros.

5.3- Ensaio hidrodinâmico.

A leitura da absorvância do azul de metileno foi realizada com espectrofotômetro em comprimento de onda de 650 nm, escolhido a partir da curva mostrada na figura E.1 dos anexos. O critério de escolha baseou-se na maior absorvância possível do composto que não causa erros de leitura, como por exemplo obtenção de valores de absorvância maiores ou iguais a um (1,00), observados em comprimento de onda de 662 nm.

Os resultados dos ensaios hidrodinâmicos podem ser vistos na figura 5.61. Observou-se que existe uma região com comportamento do tipo mistura completa acima do meio filtrante.

Sendo T_0 o tempo de detenção teórico das unidades, o tempo de detenção teórico do traçador nessa região é igual a $0,65 T_0$, porém o traçador começa a ser expulso das unidades em um TDH igual a $0,11 T_0$. Esse comportamento já foi observado na literatura (YOUNG & YOUNG, 1988). Além disso, pode-se inferir que, entre os filtros, o FA1 apresenta um comportamento mais próximo ao escoamento do tipo fluxo de pistão, enquanto que o comportamento do FA3 se aproxima mais do escoamento tipo mistura completa.

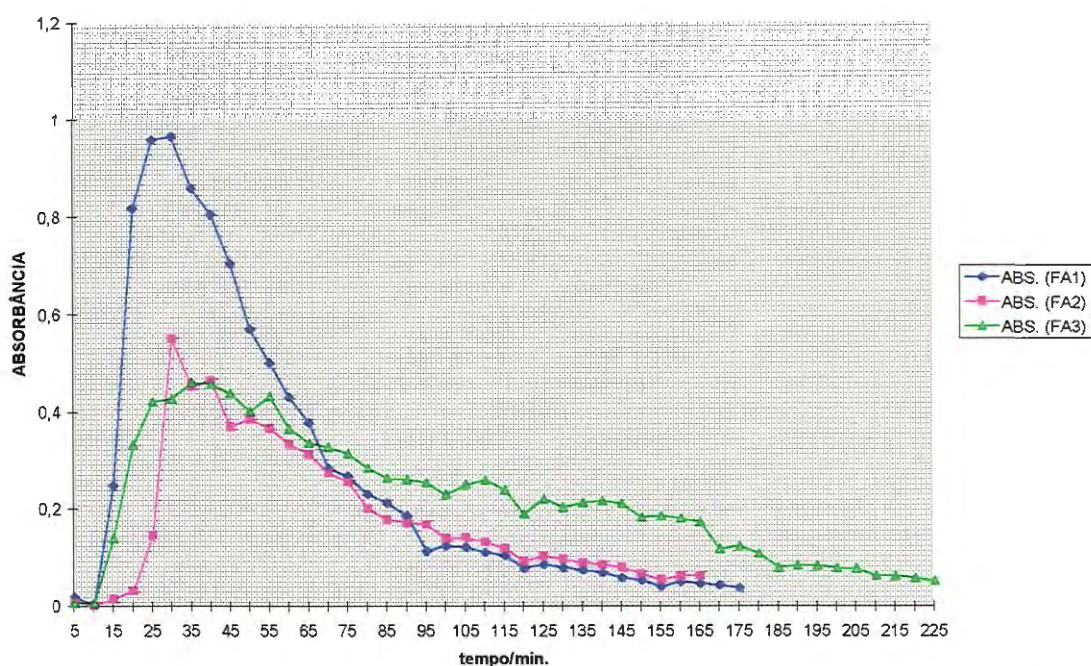


FIGURA 5.61: Ensaio hidrodinâmico dos filtros com aplicação de azul de metileno na forma de pulso e leitura da absorvância em 650 nm.

Ajustando o modelo de reatores de mistura completa em série (LEVENSPIEL, 1974) aos dados, obtém-se o número de 4 reatores para o FA1, 5 reatores para o FA2 e para o FA3. Isto indica que os comportamentos hidrodinâmicos dos filtros são similares entre si, sendo que o escoamento encontrado no FA1 é o que menos se aproxima do escoamento do tipo fluxo de pistão segundo esse modelo, pois o FA1 é a unidade que apresenta menor número de reatores de mistura completa em série.

5.4- Microscopia das descargas de fundo

As fotos das figuras 5.62 a 5.66 foram realizadas com observação do lodo em microscopia de contraste de fase e fluorescência (com ampliação fotográfica de objetiva 100, ocular 10 e zoom 1,25).

Na figura 5.62 observa-se filamento semelhante ao gênero *Sphaerotilus sp*, enquanto na figura 5.63 nota-se um organismo com grânulos intracelulares de enxofre elementar, característico do gênero *Thiothrix sp* encontrados com frequência nas três descargas de fundo. O crescimento desses microrganismos ocorre em lodos ativados, favorecido por certas condições ambientais: água residuária rica em compostos orgânicos solúveis e rapidamente metabolizáveis (por exemplo, ácido acético), deficiente em nutrientes (nitrogênio e fósforo), inserida em um tanque uniformemente aerado (ou seja, em um processo de tratamento aeróbio com comportamento hidráulico do tipo mistura completa). Nessas condições, esses seres crescem nas superfícies das unidades, causando *bulking*.



FIGURA 5.62: Microscopia em contraste de fase da descarga de fundo do FA1. No detalhe é mostrado um microrganismo filamentososo.



FIGURA 5.63: Microscopia em contraste de fase da descarga de fundo do FA1. No detalhe é mostrado um microrganismo com grânulos.

São microrganismos cujo crescimento é inibido em condições de alta relação F/M (*Food/Microorganisms*), especialmente quando o meio é anóxico ou anaeróbio. Pode-se observar que suas existências no lodo dos filtros não refletem a ocorrência de *bulking*, evidenciando o tratamento do esgoto em termos de compostos solúveis realizado pelo RALEx e a existência de oxigênio dissolvido. Os microrganismos do gênero *Sphaerotilus sp* são capazes de causar

precipitação de óxidos de ferro, e acumular esse composto em seu interior (JENKINS, 1993; MADIGAN, 1997).

Na figura 5.64 há uma célula que caracteriza o gênero *Spirillum sp.* As bactérias desse gênero crescem preferencialmente em condições de alta concentração de ácidos orgânicos e baixas concentrações de oxigênio dissolvido associadas à septicidade (condição em que o ambiente favorece o crescimento de microrganismos anaeróbios). É um ser microaeróbio, mas é inibido por concentrações de oxigênio dissolvido comumente encontradas em águas superficiais (JENKINS, 1993), fato que evidencia a baixa tensão de oxigênio encontrada no sistema experimental.

Na figura 5.65 observa-se um único indivíduo do gênero *Methanosarcina sp.*, microrganismo metanogênico presente no tratamento de esgotos sanitários, que provavelmente foi arrastado do reator anaeróbio. O fato de ser encontrada apenas no FA1 pode ser explicado pela menor resistência que esse filtro apresenta à passagem do esgoto sanitário, o que permitiu que o esgoto permanecesse por mais tempo em seu interior, favorecendo a disposição de matéria orgânica aos seres vivos desse sistema.

Na figura 5.66 observam-se bacilos com várias morfologias, predominantemente com formas curvas. Este tipo de microrganismo é frequentemente encontrado em sistemas anaeróbios de tratamento de esgoto, e pelo fato de estar presente em grande quantidade no lodo, conclui-se que este tipo de bactéria é descartado em abundância pelo RALEx. Provavelmente os bacilos curvos observados nessa figura são bactérias redutoras de sulfato, encontradas com frequência em esgotos sanitários.

Observa-se que a predominância e a abundância dessas espécies é maior na descarga de fundo do FA3, seguida da descarga do FA2 e por último do FA1. Isso indica que, quanto maior o tempo de residência do esgoto dentro dos filtros, menos organismos sobrevivem, indicando um ambiente hostil para eles. A presença dos outros microrganismos é cada vez menor nessa mesma ordem, indicando que a aclimação desses seres nos filtros é tão melhorada quanto mais tempo o filtro permanece em operação sem qualquer alteração (através da descarga de fundo).

As bactérias mencionadas podem ser bactérias do ciclo do enxofre, mais precisamente bactérias redutoras de sulfato, pela semelhança de formas (as bactérias redutoras de sulfato também possuem formas curvas). As bactérias do ciclo do enxofre utilizam sulfeto de hidrogênio, enxofre elementar e tiosulfato como fonte de energia, e o produto final da oxidação de enxofre na maioria dos casos é o sulfato. A primeira etapa de oxidação do composto mais reduzido de

enxofre, H_2S , resulta na formação de enxofre elementar, que algumas bactérias oxidantes de H_2S depositam dentro da célula (tal como *Thiothrix sp*).



FIGURA 5.64: Microscopia em contraste de fase da descarga de fundo do FA1. No detalhe é mostrada uma célula em forma de espirilo.

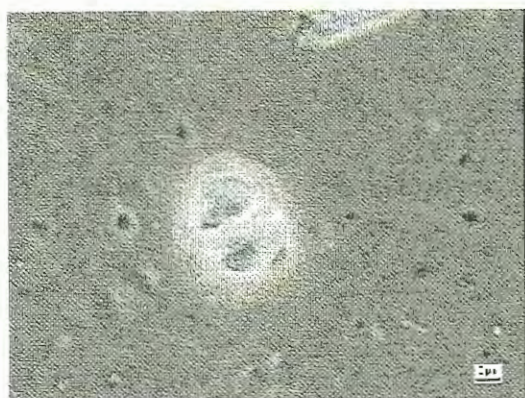


FIGURA 5.65: Microscopia em contraste de fase da descarga de fundo do FA1. No detalhe é mostrado uma bactéria anaeróbia.



FIGURA 5.66: Microscopia em contraste de fase da descarga de fundo do FA3. Observam-se diversos bacilos, inclusive bacilos curvos.

Nas reações de oxidação do enxofre, um dos produtos é H^+ , levando à formação de ácido sulfúrico; portanto, as bactérias do ciclo do enxofre são freqüentemente capazes de diminuir o pH do meio. Essas bactérias podem crescer autotroficamente, porém algumas espécies também são

capazes de crescer utilizando compostos orgânicos. Certas espécies podem crescer anaerobicamente com compostos reduzidos de enxofre, utilizando nitrato como acceptor de elétrons. Muitas bactérias do ciclo do enxofre parecem crescer apenas mixotroficamente (sendo tanto autótrofas como heterótrofas), usando H_2S como doador de energia e um composto orgânico como fonte de carbono (MADIGAN, 1997).

Em resumo, os organismos observados no microscópio caracterizam um ambiente misto. Existem bacilos com várias morfologias encontrados neste tipo de ambiente, os quais provavelmente são responsáveis pelo tratamento anaeróbio no reator, e também são observados microrganismos facultativos. Encontra-se uma condição de sistema microaerado, alimentado com água residuária contendo baixa concentração de compostos orgânicos solúveis, nutrientes e microrganismos do ciclo do enxofre.

6- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.

Com base no trabalho realizado concluiu-se que:

- em geral, observou-se eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis superior a 70%, evidenciando a grande capacidade que as unidades filtrantes têm de reter sólidos sedimentáveis;
- a eficiência de remoção de DQO observada aumentou devido à ação biológica e à ação de filtração, indicando que os filtros comportam cargas orgânicas volumétricas da ordem de 1,0 kg DQO/ m³d, tendo como resultados:
 - i) fase 1: eficiências de 48,7%, 48,8% e 48,9%, respectivamente, para FA1, FA2 e FA3
 - ii) fase 2: eficiências de 35% no FA1 e no FA2 e de 37% no FA3.
 - iii) fase 3: eficiências de 37% para o FA1, 50% para o FA2 e o FA3:
- parte da remoção de DQO e Fosfato total pelos filtros é devida à remoção de sólidos;
- em geral, as eficiências de remoção de nitrogênio amoniacal não ultrapassaram 10%, indicando que uma parcela do nitrogênio total removido também deve-se à remoção de sólidos suspensos;
- as eficiências de remoção de nitrogênio total e fosfato total foram em geral inferiores a 20%, de acordo com o previsto para o processo anaeróbio;
- os filtros foram mais eficientes na fase 3 que nas fases 1 e 2, mesmo quando o esgoto apresentava alto teor de sólidos suspensos;
- os filtros são muito semelhantes em termos de tratamento, porém o FA3 foi o filtro que apresentou as maiores eficiências de remoção em termos de sólidos, DQO e fosfato total;
- entre os três filtros, o FA1 é o que apresentou tratamento mais estável, pois a resistência do seu meio granular é a menor (sua granulometria é a maior), e assim o sistema é menos perturbado pela realização de descargas de fundo;
- o pós-tratamento realizado pelos filtros é prejudicado nos primeiros minutos após a efetuação de uma descarga de fundo. Apesar disso, os resultados indicam que interrupções na operação não prejudicam o tratamento realizado pelos filtros.

- na maioria das amostras, o teor de sólidos sedimentáveis não ultrapassou 1,0 mL/L, em conformidade com os padrões de emissão em corpos d'água contidos em Legislação;
- os filtros expulsam Sólidos Suspensos Totais (SST) em intervalos de dois a três dias na fase 2, possivelmente devido à colmatação gradual do meio filtrante;
- na fase 3, o final das carreiras de filtração do FA3 e o final da segunda carreira do FA1 demonstrou que, com perda de carga próxima a 50,0 cm, os filtros começam a diminuir a eficiência de remoção de SST, SSF e SSV, demonstrando um possível traspasse;
- o pós-tratamento realizado, em termos de SS, ST, STF, STV, SST, SSF e SSV, estabilizou-se gradativamente ao longo das fases, pois a variação das eficiências de remoção diminuiu da fase 1 para a fase 2 e em seguida para a fase 3, resultando em eficiências médias de remoção gradativamente maiores;
- a eficiência de remoção de SST foi maior com o aumento da perda de carga no FA1 na fase 2;
- houve carreamento de ST, STF e STV nos filtros ao longo das três fases de operação. A expulsão de STV pode estar relacionada com a operação dos filtros, pois ocorreu quando a perda de carga no meio filtrante foi superior a 6,4 cm, ou quando foi efetuada descarga de fundo no filtro no dia anterior, o que provocou uma desestabilização do sistema, e o afluente "lavou" o leito de pedregulho;
- provavelmente houve solubilização de sólidos suspensos totais, fixos e voláteis dentro das unidades, evidenciada pelo carreamento de sólidos dissolvidos em amostras nas quais foram removidos sólidos suspensos;

Com base no trabalho realizado, recomenda-se que:

- seja verificado o tratamento do esgoto sanitário solúvel, ou seja, verificadas as remoções de DQO filtrada e fosfato total solúvel;
- o lodo deve ser tratado e disposto em lugar adequado para não causar uma poluição pontual intensa;
- os filtros sejam operados até a ocorrência do traspasse, a fim de verificar por quanto tempo podem operar em certa taxa;
- verifique-se o comportamento de filtros com camada uniforme, ou filtros em série;
- sejam realizados estudos mais aprofundados a respeito do tratamento anaeróbio que esses filtros podem apresentar.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- AGGIO, C. E. G. (1993) *A comunidade biótica dos filtros lentos de areia da estação piloto do SHS - Escola de Engenharia de São Carlos*. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ATKINSON, B. et al. (1981) *The characteristics of solid supports and biomass support particles when used in fluidised beds*. In: COOPER, PF & ATKINSON, B (1981) *Biological fluidised bed treatment of water and wastewater*. New York, Water Research Centre, 410p
- BANCO ASIÁTICO DE DESENVOLVIMENTO (1990) *Economic Policies for Sustainable Development*. Singapore.
- BRASIL, Leis, etc. (1986) Decreto n. 8468 de 8 de setembro de 1976. In: Legislação, controle de poluição ambiental, Estado de São Paulo. São Paulo, CETESB, jun. 1986, 138p.
- BRASIL, Leis, etc. (1998) *Lei do meio ambiente: lei 9605, de 28 de janeiro de 1998*. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. *Saneamento Ambiental*, n. 49, encarte, jan./fev.
- BRASIL, Leis, etc. (1981) *Política nacional do meio ambiente: lei 6938, de 31 de agosto de 1981*. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação, e dá outras providências. Brasília, DF, 31 ago., p.103.
- BRASIL, Leis, etc. (1997) *Política nacional de recursos hídricos: lei 9433, de 8 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 8 jan. Seção I, p. 470.
- BRASIL, Leis, etc. (1986) Resolução CONAMA n. 20, de 18 de junho de 1986: Resolve estabelecer a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF, 30 jul. p. 11356.

- CAMPOS, J.R. (1994) *Alternativas para tratamento de esgotos*. Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari. Americana, SP.
- CAMPOS, JR (1990) *Proyecto y operación de filtros anaeróbios para tratamiento de aguas residuales*. Anais do Taller Regional y Conferencia sobre Tratamiento de Aguas Residuales en America Latina, pp. 133-177, Mexico DF, Mexico.
- CAMPOS, J. R. (1999) *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*. ABES, Rio de Janeiro, 464p.
- CARRONDO, M. J. T. et al. (1983) *Anaerobic filter treatment of molasses fermentation wastewater*. In: HENZE, M. Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors. Oxford, Pergamon Press, p.117-127.
- CARVALHO, E.H. (1994) *Filtros biológicos anaeróbios: conceitos básicos, projeto e desenvolvimento*. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 280p.
- CLARKE, B. A.; LLOYD, B. J.; JONES, C. J.; EVANS, H. L. (1996) Water treatment by multistage filtration utilising gravel prefilters and fabric enhanced slow sand filters. In: GRAHAM, N.; COLLINS, R. *Advances in slow sand and alternative biological filtration*. John Wiley & Sons, England.
- COLAS, R. (1973) *La pollution des eaux*. 3. ed. Paris, Presses Universitaires de France.
- COLLINS, G. A.; THEIS, T. L.; KILAMBI, S.; HE, L. E.; PAVLOSTATHINS, G. S. (1998) *Anaerobic treatment of low-strength domestic wastewater using an anaerobic expanded bed reactor*. Journal of Environmental Engineering, v. 124, n. 7, p. 652-659.

- DALTRO FILHO, J. (1988) *Desempenho de filtros anaeróbios no tratamento de esgotos sanitários: efeitos da altura do filtro e de toxicidade por cobre*. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 300p.
- DI BERNARDO, L. (1993) *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. Vols. 1 e 2. Rio de Janeiro, ABES.
- DILALLO, R.; ALBERTSON, O. E. (1961) *Volatile acids by direct titration*. Journal of Water Pollution Control Federation, vol.33, n. 4, p. 357-365.
- FAZOLO, A. (1999) *Desempenho de sistemas de pré-filtração em pedregulho com escoamento ascendente*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.
- GALVIS, G. et al. (1992) Comparative study of different pretreatment alternatives. In: *Roughing filtration in water treatment*. June 1992, Zurich, Switzerland.
- GALVIS, G.; LATORRE, J.; OCHOA, A. E. (1996) Comparison of horizontal and upflow roughing filtration. In: GRAHAM, N.; COLLINS, R. *Advances in slow sand and alternative biological filtration*. John Wiley & Sons, England.
- GALVIS, G. et al. (1993) *Pre-treatment alternatives for drinking water supply systems: selection, design, operation and maintenance*. Cali, Colômbia. CINARA.
- GUIMARÃES, H. G. D. (1990) *Avaliação de desempenho de filtro anaeróbio no tratamento de efluentes líquidos de uma indústria de refrigerantes*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 191p.
- GUJER, W.; ZEHNDER, A. J. B. (1983) *Conversion processes in anaerobic digestion*. In: HENZE, M. *Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors*. Oxford, Pergamon Press, p.127-169.

- HENZE, M.; HARREMÖES, P. (1983) *Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors - a literature review*. In: HENZE, M. Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors. Oxford, Pergamon Press, p.1-101.
- JENKINS, D.; RICHARD, M. G.; DAIGGER, G. T. (1993) *Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming*. 2nd. ed., Michigan, Chelsea USA, Lewis Publishers.
- LEVENSPIEL, O. (1974) *Engenharia das reações químicas*. v. 2, São Paulo, Edgard Blücher.
- MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; PARKER, J. (1997) *BROCK - Biology of microorganisms*. 8th ed., New Jersey, USA, Prentice-Hall Inc.
- McCARTY, P. L. (1968) *Anaerobic treatment of soluble wastes*. In: Advances in water quality improvement, p.336-351.
- MENDONÇA, N. M. (1999) *Caracterização do material suporte e estudo da partida de um reator anaeróbio de leito expandido utilizado no tratamento de esgoto sanitário*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 191p.
- METCALF & EDDY, INC. (1991) *Wastewater Engineering - Treatment, Disposal and Reuse*. 3. ed. New York, McGraw-Hill Inc., 1334p.
- NOUR, E. A. A. (1996) *Tratamento de esgoto sanitário empregando-se reator anaeróbio compartimentado*. São Carlos. 266p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- NOVAES, R. F. V. (1986) *Microbiology of anaerobic digestion* - Research Directorate, CETESB, São Paulo, SP. In: Post-Conference International Seminar on Anaerobic Treatment in Tropical Countries. São Paulo, Brazil. August 25 to 29.

- POCASANGRE, A. E. A. (1990) *Pré-filtração em pedregulho e areia grossa de fluxo ascendente e fluxo descendente como pré-tratamento de filtros lentos de areia*. São Carlos. 170p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- RUGNO, O. R. (1988) *Pré-filtração em pedregulho para filtros lentos de areia*. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- RUIZ BOJORGE, C. (1996) *Utilização de mantas sintéticas não tecidas na pré-filtração de águas de abastecimento*. São Carlos. 183p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SAIDAM, M. Y.; BUTLER, D. (1996) Algae removal by horizontal flow rock filters. In: GRAHAM, N.; COLLINS, R. *Advances in slow sand and alternative biological filtration*. John Wiley & Sons, England.
- SPEECE, R. E. (1996) *Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters*. Nashville, Archae Press. 393p.
- VAN DEN BERG, L.; KENNEDY, K. J. *Dairy water treatment with anaerobic stationary fixed film reactors*. In: HENZE, M. *Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors*. Oxford, Pergamon Press, p.359-369.
- WEGELIN, M. (1996) *Surface water treatment by roughing filters: a design, construction and operation manual*. Duebendorf, Switzerland.
- YOUNG, H. W.; YOUNG, J. C. (1988) *Hydraulic characteristics of upflow anaerobic filters*. Journal of Environ. Engineering, v. 114, n. 3.

ANEXO A

RESULTADOS DA OPERAÇÃO DOS FILTROS DE
PEDREGULHO NA FASE 1

TABELA A.1: pH do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	<i>Afluente</i>	<i>FA1</i>	<i>FA2</i>	<i>FA3</i>
09/Ago	7,7	7,4	6,8	7,1
10/Ago	6,9	7,2	7,2	7,1
11/Ago	6,9	7,1	7,1	7,1
12/Ago	6,9	7,2	7,3	7,2
13/Ago	6,9	7,3	7,3	7,4
16/Ago	7,1	7,0	7,1	7,1
17/Ago	6,7	6,8	6,9	6,9
18/Ago	6,9	7,1	7,2	7,0
19/Ago	7,0	7,0	7,0	7,1
20/Ago	7,0	7,0	7,0	7,0
23/Ago	7,2	7,3	7,2	7,1
24/Ago	7,0	7,2	7,2	7,1
25/Ago	7,1	7,2	7,4	7,3
26/Ago	7,0	7,4	7,4	7,3
27/Ago	6,9	7,2	7,2	7,1
30/Ago	6,8	7,1	6,8	7,0
31/Ago	7,1	7,2	7,1	7,2
01/Set	7,0	7,2	7,2	7,3
02/Set	7,3	7,1	7,1	7,1
03/Set	7,1	7,2	7,3	7,3
06/Set	7,1	7,2	7,1	7,2
07/Set	7,2	7,3	7,3	7,4
08/Set	7,2	7,5	7,5	7,5
09/Set	6,7	7,4	6,3	7,3
10/Set	7,2	7,3	7,3	7,3
14/Set	7,1	7,2	7,0	7,2
15/Set	6,8	7,0	7,0	7,0
16/Set	7,2	7,1	7,2	7,1
17/Set	7,1	7,1	7,1	7,1
20/Set	7,1	7,1	7,0	6,9

TABELA A.1 (Cont.): pH do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
21/Set	7.1	7.1	7.1	7.1
22/Set	7.2	7.2	7.2	7.1
23/Set	7.1	7.2	7.2	7.2
24/Set	7.0	7.2	7.2	7.2
27/Set	6.8	7.1	7.1	7.2
28/Set	6.8	7.0	7.0	6.9
29/Set	6.9	7.2	7.4	7.2
30/Set	7.2	7.1	7.1	7.1
01/Out	6.9	7.1	7.2	7.1

TABELA A.2: Alcalinidade ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
09/Ago	124.8	157.5	152.2	152.2
10/Ago	157.5	147.0	157.5	152.2
11/Ago	131.2	131.2	141.8	131.2
12/Ago	141.8	141.8	141.8	141.8
13/Ago	141.8	147.0	141.8	141.8
16/Ago	141.8	136.5	147.0	147.0
17/Ago	147.0	147.0	141.8	147.0
18/Ago	141.8	147.0	136.5	136.5
19/Ago	131.3	136.5	131.3	131.3
20/Ago	131.3	131.3	136.5	136.5
23/Ago	147.0	147.0	152.3	157.5
24/Ago	157.5	162.8	162.8	157.5
25/Ago	152.3	157.5	152.3	152.3
26/Ago	147.2	147.2	147.2	152.6
27/Ago	130.8	147.2	141.7	141.7
30/Ago	163.5	163.5	158.1	163.5
31/Ago	141.7	147.2	147.2	141.7

TABELA A.2 (Cont.): Alcalinidade (mg CaCO₃/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m³/m²d (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
01/Set	152.6	152.6	147.2	147.2
02/Set	141.7	136.3	141.7	147.2
03/Set	140.0	145.0	145.0	145.0
06/Set	160.0	165.0	165.0	160.0
07/Set	165.0	165.0	165.0	170.0
08/Set	155.0	160.0	160.0	155.0
09/Set	150.0	150.0	150.0	150.0
10/Set	155.0	155.0	155.0	150.0
14/Set	135.0	140.0	140.0	135.0
15/Set	145.0	145.0	145.0	140.0
16/Set	125.0	135.0	135.0	130.0
17/Set	145.0	145.0	145.0	140.0
20/Set	155.0	155.0	155.0	155.0
21/Set	150.0	155.0	155.0	150.0
22/Set	140.0	140.0	140.0	140.0
23/Set	145.0	145.0	145.0	140.0
24/Set	150.0	150.0	150.0	150.0
27/Set	145.0	165.0	165.0	165.0
28/Set	150.0	150.0	155.0	150.0
29/Set	150.0	155.0	160.0	155.0
30/Set	150.0	155.0	155.0	155.0
01/Out	155.0	155.0	155.0	155.0
σ	9.9	9.3	8.9	9.5

TABELA A.3: Sólidos sedimentáveis (mL/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
09/Ago	4.0	0.1	> 0.1	0.2
10/Ago	> 0.1	> 0.1	> 0.1	> 0.1
11/Ago	0.4	0.1	0.1	0.1
12/Ago	0.5	> 0.1	> 0.1	> 0.1
13/Ago	4.0	> 0.1	> 0.1	> 0.1
16/Ago	0.4	0.3	0.4	0.1
17/Ago	0.1	0.1	0.1	0.1
18/Ago	0.5	0.5	0.3	> 0.1
19/Ago	0.8	0.4	0.3	0.3
20/Ago	0.6	0.1	> 0.1	> 0.1
23/Ago	0.8	0.1	0.6	0.6
24/Ago	4.0	> 0.1	> 0.1	0.1
25/Ago	1.8	> 0.1	0.1	> 0.1
26/Ago	4.0	> 0.1	0.1	> 0.1
27/Ago	0.7	> 0.1	0.6	0.2
30/Ago	2.0	0.4	0.9	0.3
31/Ago	2.0	0.4	0.4	1.0
01/Set	3.0	1.0	2.0	1.0
02/Set	0.1	> 0.1	> 0.1	> 0.1
03/Set	0.1	> 0.1	> 0.1	> 0.1
06/Set	10.0	> 0.1	0.3	> 0.1
07/Set	2.0	> 0.1	> 0.1	> 0.1
08/Set	0.8	0.6	0.1	0.2
09/Set	0.8	> 0.1	> 0.1	> 0.1
10/Set	1.1	> 0.1	> 0.1	> 0.1
14/Set	2.5	0.1	0.1	> 0.1
15/Set	0.1	> 0.1	> 0.1	> 0.1
16/Set	0.2	> 0.1	> 0.1	> 0.1
17/Set	> 0.1	> 0.1	> 0.1	> 0.1
20/Set	0.1	> 0.1	> 0.1	0.1

TABELA A.3 (Cont.): Sólidos sedimentáveis (mL/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>21/Set</i>	1.0	0.2	> 0.1	0.1
<i>22/Set</i>	> 0.1	> 0.1	> 0.1	> 0.1
<i>23/Set</i>	> 0.1	> 0.1	> 0.1	> 0.1
<i>24/Set</i>	0.2	> 0.1	> 0.1	0.1
<i>27/Set</i>	> 0.1	> 0.1	> 0.1	> 0.1
<i>28/Set</i>	> 0.1	> 0.1	> 0.1	> 0.1
<i>29/Set</i>	0.1	> 0.1	0.1	> 0.1
<i>30/Set</i>	> 0.1	> 0.1	> 0.1	> 0.1
<i>01/Out</i>	> 0.1	> 0.1	> 0.1	> 0.1
σ	1,9	0,2	0,4	0,2

TABELA A.4: Sólidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m^3/m^2d (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	<i>Afluente</i>	<i>FA1</i>	<i>FA2</i>	<i>FA3</i>
<i>10/Ago</i>	243.0	229.0	221.0	228.0
<i>11/Ago</i>	213.2	413.8	101.4	176.8
<i>16/Ago</i>	308.4	278.8	274.4	271.6
<i>17/Ago</i>	295.0	285.0	299.6	328.4
<i>18/Ago</i>	304.8	294.0	283.8	294.2
<i>23/Ago</i>	223.8	189.4	228.4	240.1
<i>24/Ago</i>	300.1	234.9	229.8	234.3
<i>25/Ago</i>	279.8	244.6	217.7	208.9
<i>30/Ago</i>	315.6	283.8	323.3	316.4
<i>31/Ago</i>	317.1	255.4	242.2	285.9
<i>01/Set</i>	327.0	261.3	211.3	268.2
<i>06/Set</i>	283.1	222.9	230.0	226.3
<i>07/Set</i>	275.2	224.1	234.4	224.0
<i>10/Set</i>	245.8	202.1	205.2	210.9
<i>14/Set</i>	230.2	241.4	219.2	195.6
<i>15/Set</i>	296.3	242.3	266.7	245.2
<i>17/Set</i>	355.4	312.0	367.1	295.9
<i>20/Set</i>	254.1	176.9	240.4	425.3
<i>21/Set</i>	253.2	256.7	231.6	245.6
<i>24/Set</i>	296.2	287.6	288.6	283.9
<i>27/Set</i>	240.0	266.1	288.1	286.3
<i>28/Set</i>	291.6	279.1	283.0	261.0
<i>01/Out</i>	337.9	296.9	326.8	260.1
σ	38,2	48,6	53,8	52,6

TABELA A.5: Sólidos totais fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>10/Ago</i>	41.8	89.2	94.6	83.4
<i>11/Ago</i>	129.2	309.4	15.8	32.0
<i>16/Ago</i>	200.8	180.2	110.2	139.2
<i>17/Ago</i>	154.4	168.0	74.6	210.8
<i>18/Ago</i>	79.6	48.6	163.0	144.4
<i>23/Ago</i>	118.1	127.0	123.8	86.4
<i>24/Ago</i>	86.6	29.5	107.6	148.3
<i>25/Ago</i>	170.0	140.7	159.2	156.9
<i>30/Ago</i>	10.3	131.2	8.6	83.7
<i>31/Ago</i>	191.7	133.1	140.6	154.9
<i>01/Set</i>	173.0	155.9	74.4	164.0
<i>06/Set</i>	155.9	123.4	118.1	157.9
<i>07/Set</i>	151.9	157.7	59.9	76.4
<i>10/Set</i>	68.9	152.4	150.8	91.0
<i>14/Set</i>	123.9	0.0	51.7	72.1
<i>15/Set</i>	97.9	155.3	178.9	132.6
<i>17/Set</i>	153.8	201.4	190.6	174.3
<i>20/Set</i>	112.9	69.0	133.9	82.0
<i>21/Set</i>	26.4	162.2	139.1	111.1
<i>24/Set</i>	162.9	166.4	139.8	176.0
<i>27/Set</i>	126.2	131.4	90.3	133.7
<i>28/Set</i>	116.9	96.6	72.8	124.3
<i>01/Out</i>	128.8	97.9	113.0	114.7
σ	50,7	63,1	48,3	42,7

TABELA A.6: Sólidos totais voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>10/Ago</i>	201.2	139.8	126.4	144.6
<i>11/Ago</i>	84.0	104.4	133.8	141.2
<i>16/Ago</i>	107.6	98.6	164.2	132.4
<i>17/Ago</i>	140.6	117.0	225	117.6
<i>18/Ago</i>	225.2	245.4	120.8	149.8
<i>23/Ago</i>	105.7	62.4	104.6	153.7
<i>24/Ago</i>	213.5	205.5	122.2	85.1
<i>25/Ago</i>	109.8	103.9	58.4	52.0
<i>30/Ago</i>	305.2	152.6	314.8	232.8
<i>31/Ago</i>	125.4	122.3	101.7	131.0
<i>01/Set</i>	154.0	105.4	136.9	104.2
<i>06/Set</i>	127.2	99.4	111.9	68.4
<i>07/Set</i>	123.3	66.4	174.6	147.6
<i>10/Set</i>	176.9	49.7	54.4	119.9
<i>14/Set</i>	106.3	241.4	167.6	123.4
<i>15/Set</i>	198.4	87.0	87.8	112.7
<i>17/Set</i>	201.7	110.6	176.6	121.6
<i>20/Set</i>	141.2	107.9	106.6	343.3
<i>21/Set</i>	226.8	94.4	92.4	134.4
<i>24/Set</i>	133.3	121.1	148.8	107.9
<i>27/Set</i>	113.8	134.7	197.8	152.7
<i>28/Set</i>	174.7	182.6	210.2	136.7
<i>01/Out</i>	209.1	199.0	213.8	145.4
σ	54,2	53,4	60,0	56,8

TABELA A.7: Sólidos suspensos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	<i>Afluente</i>	<i>FA1</i>	<i>FA2</i>	<i>FA3</i>
<i>10/Ago</i>	68.0	40.0	54.0	45.0
<i>11/Ago</i>	67.0	31.0	34.0	32.0
<i>16/Ago</i>	60.5	49.2	47.5	40
<i>17/Ago</i>	26.9	14.9	61.7	41
<i>18/Ago</i>	57.3	27.9	36.1	29.4
<i>23/Ago</i>	20.5	10	24.1	8.6
<i>24/Ago</i>	95.4	15.4	9.3	30.7
<i>25/Ago</i>	55.8	17.9	15.8	16.4
<i>30/Ago</i>	43.6	27.8	36.4	32.8
<i>31/Ago</i>	67.2	28.3	29.8	47.9
<i>01/Set</i>	123.6	67.9	29.2	57.3
<i>06/Set</i>	81.0	24.6	23.1	19.9
<i>07/Set</i>	57.1	27.2	21.2	22.9
<i>10/Set</i>	26.7	3.0	5.4	3.3
<i>14/Set</i>	31.7	7.7	5.7	11.1
<i>15/Set</i>	42.5	26.0	37.6	31.5
<i>17/Set</i>	54.7	47.5	45.1	42.7
<i>20/Set</i>	46.9	42.3	37.5	35.3
<i>21/Set</i>	64.9	45.4	39.9	45.9
<i>24/Set</i>	35.3	46.2	38.8	29.2
<i>27/Set</i>	44.7	34.2	27.3	19.8
<i>28/Set</i>	43.8	41.6	31.4	31.8
<i>01/Out</i>	53.4	34.0	33.2	32.6
σ	23.3	15.5	14.2	13.4

TABELA A.8: Sólidos suspensos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>10/Ago</i>	22.0	16.0	13.0	6.0
<i>11/Ago</i>	11.3	4.0	3.0	2.0
<i>16/Ago</i>	9.3	10.4	10.0	6.5
<i>17/Ago</i>	2.1	1.0	15.2	10.6
<i>18/Ago</i>	7.5	0.3	3.8	3.4
<i>23/Ago</i>	1.9	1.0	2.8	0.0
<i>24/Ago</i>	4.4	2.5	0.0	4.2
<i>25/Ago</i>	7.0	2.3	0.0	0.6
<i>30/Ago</i>	5.5	3.8	3.7	4.2
<i>31/Ago</i>	8.0	3.4	3.9	6.8
<i>01/Set</i>	14.6	14.3	6.2	16.3
<i>06/Set</i>	10.2	4.6	5.3	1.8
<i>07/Set</i>	7.9	3.1	4.6	2.1
<i>10/Set</i>	6.3	2.3	3.5	0.0
<i>14/Set</i>	3.3	0.0	0.1	2.9
<i>15/Set</i>	6.3	2.7	12.4	11.1
<i>17/Set</i>	0.0	0.7	5.7	0.9
<i>20/Set</i>	10.9	12.1	13.3	10.1
<i>21/Set</i>	16.0	13.6	10.2	10.6
<i>24/Set</i>	3.2	15.2	9.1	0.3
<i>27/Set</i>	12.5	8.0	6.7	6.2
<i>28/Set</i>	7.9	7.2	2.5	6.9
<i>01/Out</i>	4.6	5.3	6.3	8.1
σ	5.1	5.2	4.4	4.3

TABELA A.9: Sólidos suspensos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>10/Ago</i>	46.0	24.0	41.0	39.0
<i>11/Ago</i>	55.7	27.0	31.0	30.0
<i>16/Ago</i>	51.3	38.8	37.5	33.5
<i>17/Ago</i>	24.8	13.9	46.5	30.4
<i>18/Ago</i>	49.9	27.6	32.3	26.0
<i>23/Ago</i>	18.6	9.0	21.3	8.6
<i>24/Ago</i>	91.0	12.9	9.3	26.5
<i>25/Ago</i>	48.8	15.6	15.8	15.8
<i>30/Ago</i>	38.1	24.0	32.7	28.6
<i>31/Ago</i>	59.2	24.9	25.9	41.1
<i>01/Set</i>	109.0	53.6	23.0	41.0
<i>06/Set</i>	70.8	20.0	17.8	18.1
<i>07/Set</i>	49.3	24.1	16.6	20.8
<i>10/Set</i>	20.4	0.7	1.9	3.3
<i>14/Set</i>	28.4	7.7	5.6	8.2
<i>15/Set</i>	36.3	23.3	25.2	20.4
<i>17/Set</i>	54.7	46.8	39.3	41.7
<i>20/Set</i>	36.0	30.2	24.2	25.2
<i>21/Set</i>	48.9	31.8	29.7	35.3
<i>24/Set</i>	32.1	31.0	29.7	28.9
<i>27/Set</i>	32.2	26.2	20.6	13.6
<i>28/Set</i>	35.9	34.4	28.9	24.9
<i>01/Out</i>	48.8	28.7	26.9	24.5
σ	21,2	12,1	11,1	10,8

TABELA A.10: DQO (mgO₂/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m³/m²d (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>09/Ago</i>	241.0	136.0	96.0	99.0
<i>10/Ago</i>	299.0	130.8	197.1	186.5
<i>11/Ago</i>	277.0	128.2	117.6	115.0
<i>17/Ago</i>	349.0	133.5	160.0	144.0
<i>18/Ago</i>	273.0	152.0	125.6	136.1
<i>19/Ago</i>	252.0	167.9	173.2	138.8
<i>24/Ago</i>	244.0	62.0	75.2	54.1
<i>25/Ago</i>	207.0	91.1	91.1	117.6
<i>26/Ago</i>	217.0	83.2	75.2	77.9
<i>31/Ago</i>	294.0	115.0	115.0	165.3
<i>01/Set</i>	251.0	152.0	226.2	128.2
<i>02/Set</i>	223.0	205.0	197.1	117.6
<i>06/Set</i>	248.0	85.8	72.6	67.3
<i>07/Set</i>	217.0	101.7	72.6	75.2
<i>08/Set</i>	271.0	80.5	83.2	99.1
<i>14/Set</i>	159.0	67.3	48.8	51.4
<i>15/Set</i>	268.0	104.4	128.2	99.1
<i>16/Set</i>	272.0	107.0	96.4	162.6
<i>21/Set</i>	226.0	152.0	138.8	146.7
<i>22/Set</i>	220.0	136.1	120.3	146.7
<i>23/Set</i>	252.0	160.0	141.4	181.2
<i>28/Set</i>	234.0	136.1	130.8	141.4
<i>29/Set</i>	195.0	93.8	96.4	122.9
<i>30/Set</i>	194.0	99.1	93.8	91.1
σ	40,2	35,1	45,1	37,9

TABELA A.11: Nitrogênio total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
09/Ago	45.0	44.0	42.0	34.0
12/Ago	26.4	21.5	20.9	22.1
16/Ago	27.6	31.9	28.2	27.0
19/Ago	29.5	22.1	27.0	25.8
23/Ago	24.0	23.5	23.5	26.8
26/Ago	29.6	24.6	25.2	26.8
30/Ago	28.0	24.6	28.0	28.5
02/Set	28.0	28.0	28.0	28.5
06/Set	31.9	28.0	29.6	25.2
09/Set	28.0	19.0	21.2	20.7
15/Set	28.5	24.6	22.4	20.1
16/Set	19.6	19.6	19.6	21.2
20/Set	35.8	31.3	34.1	24.0
23/Set	29.6	27.4	26.3	29.1
27/Set	33.0	29.1	28.0	33.0
30/Set	36.4	31.3	32.4	25.2
σ	5,7	6,1	5,6	4,0

TABELA A.12: Fosfato total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
09/Ago	16.0	13.5	13.0	12.4
12/Ago	11.1	9.8	9.4	8.6
16/Ago	14.6	14.5	13.8	15.3
19/Ago	17.1	13.6	13.6	11.0
23/Ago	10.8	10.0	11.7	11.7
26/Ago	16.7	15.1	14.8	14.6
30/Ago	14.5	13.2	14.1	14.4
02/Set	24.8	23.4	22.0	23.4
06/Set	23.1	21.7	23.4	22.0

TABELA A.12 (Cont.): Fosfato total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
09/Set	19.4	18.9	19.4	17.7
14/Set	16.4	14.3	16.2	16.1
17/Set	15.8	13.8	13.5	13.7
20/Set	18.1	16.1	14.3	15.0
24/Set	14.7	13.9	14.6	16.2
27/Set	16.4	16.5	16.2	16.1
01/Out	8.4	9.6	9.4	8.6
σ	4.2	3.9	3.9	4.1

TABELA A.13: DBO (mgO_2/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
11/Ago	104.6	28.3	35.4	70.9
17/Ago	125.9	134.0	79.0	48.9
24/Ago	59.4	24.1	19.7	20.4
02/Set	42.7	40.7	36.6	34.0
07/Set	49.1	26.6	34.6	54.1
14/Set	47.9	17.5	26.5	20.3
21/Set	153.0	71.1	124.8	152.2
29/Set	104.8	35.4	85.5	78.2
σ	41.7	38.7	37.0	43.0

TABELA A.14: Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros - taxa de filtração de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	FA1	FA2	FA3
09/Ago	0.0	0.1	3.5
10/Ago	0.1	0.6	10.4
11/Ago	0.5	1.1	0.0
12/Ago	0.7	3.1	0.1
13/Ago	1.0	8.6	0.4

TABELA A.14 (Cont.): Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros - taxa de filtração de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	FA1	FA2	FA3
<i>14/Ago</i>	1.7	9.4	2.0
<i>15/Ago</i>	2.2	9.9	3.3
<i>16/Ago</i>	3.0	16.0	5.4
<i>17/Ago</i>	3.6	2.0	10.0
<i>18/Ago</i>	8.5	3.0	1.0
<i>19/Ago</i>	13.3	6.5	6.0
<i>20/Ago</i>	0.0	8.8	7.5
<i>21/Ago</i>	0.2	9.4	8.6
<i>22/Ago</i>	0.3	9.7	10.0
<i>23/Ago</i>	0.4	10.3	12.5
<i>24/Ago</i>	0.5	11.0	1.4
<i>25/Ago</i>	0.5	0.5	2.4
<i>26/Ago</i>	0.6	1.1	2.5
<i>27/Ago</i>	1.0	1.3	5.3
<i>28/Ago</i>	2.2	3.6	6.9
<i>29/Ago</i>	3.5	6.4	7.8
<i>30/Ago</i>	5.4	9.9	13.1
<i>31/Ago</i>	5.6	13.0	1.3
<i>01/Set</i>	5.6	2.5	4.8
<i>02/Set</i>	7.8	4.5	11.7
<i>03/Set</i>	8.1	7.9	0.4
<i>04/Set</i>	8.4	8.7	1.8
<i>05/Set</i>	8.5	9.9	2.6
<i>06/Set</i>	8.9	12.4	4.6
<i>07/Set</i>	9.6	0.9	7.1
<i>08/Set</i>	10.7	1.9	12.9
<i>09/Set</i>	0.2	2.9	0.4
<i>10/Set</i>	0.2	4.2	1.8
<i>11/Set</i>	1.6	5.5	3.6
<i>12/Set</i>	2.1	6.9	5.5

TABELA A.14 (Cont.): Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros - taxa de filtração de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	FA1	FA2	FA3
<i>13/Set</i>	4.9	9.6	9.0
<i>14/Set</i>	6.4	12.5	11.6
<i>15/Set</i>	7.0	2.0	2.1
<i>16/Set</i>	7.1	7.6	5.3
<i>17/Set</i>	14.6	17.0	12.2
<i>18/Set</i>	0.1	1.0	2.8
<i>19/Set</i>	0.5	2.4	6.1
<i>20/Set</i>	1.1	5.1	15.4
<i>21/Set</i>	1.6	7.8	3.3
<i>22/Set</i>	2.1	17.6	15.0
<i>23/Set</i>	7.8	2.2	4.7
<i>24/Set</i>	9.4	7.4	13.7
<i>25/Set</i>	9.8	8.7	2.8
<i>26/Set</i>	9.9	9.5	5.2
<i>27/Set</i>	16.1	16.8	10.3
<i>28/Set</i>	0.3	0.3	1.3
<i>29/Set</i>	3.5	5.3	11.6
<i>30/Set</i>	7.2	12.0	4.6
<i>01/Out</i>	11.6	2.5	9.4
<i>02/Out</i>	0.8	5.5	9.6
<i>03/Out</i>	1.4	9.3	9.9
<i>04/Out</i>	2.7	20.5	10.5

TABELA A.15: Coliformes totais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>02/Set</i>	1076	63	520	561
<i>08/Set</i>	2481	866.4	435.2	1119.9
<i>15/Set</i>	517.2	1046.2	387.3	290.9
<i>22/Set</i>	6131	1500	1401	2613
<i>30/Set</i>	1638	384	486	784
σ	2224.9	562.9	425.1	912.6

TABELA A.16: Coliformes fecais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos filtros - taxa $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>02/Set</i>	135	31	52	110
<i>08/Set</i>	360.9	261.3	193.5	433
<i>15/Set</i>	17.1	73.3	34.1	29.2
<i>22/Set</i>	743	85	173	669
<i>30/Set</i>	225.4	123	108.6	239.2
σ	279.6	88.3	70.8	258.3

TABELA A.17: Sólidos dissolvidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>10/Ago</i>	175.0	189.0	167.0	183.0
<i>11/Ago</i>	146.2	382.8	67.4	144.8
<i>16/Ago</i>	247.9	229.6	226.9	231.6
<i>17/Ago</i>	268.1	270.1	237.9	287.4
<i>18/Ago</i>	247.5	266.1	247.7	264.8
<i>23/Ago</i>	203.3	179.4	204.3	231.5
<i>24/Ago</i>	204.7	219.5	220.5	203.6
<i>25/Ago</i>	224.0	226.7	201.9	192.5
<i>30/Ago</i>	272.0	256.0	286.9	283.6
<i>31/Ago</i>	249.9	227.1	212.4	238.0
<i>01/Set</i>	203.4	193.5	182.1	210.9
<i>06/Set</i>	202.1	198.3	206.9	206.4
<i>07/Set</i>	218.1	196.9	213.2	201.1
<i>10/Set</i>	219.1	199.1	199.8	207.6
<i>14/Set</i>	198.5	233.7	213.5	184.5
<i>15/Set</i>	253.8	216.3	229.1	213.8
<i>17/Set</i>	300.7	264.5	322.0	253.2
<i>20/Set</i>	207.3	134.5	202.9	390.0
<i>21/Set</i>	188.3	211.3	191.7	199.7
<i>24/Set</i>	260.9	241.4	249.8	254.7
<i>27/Set</i>	195.3	231.9	260.8	266.5
<i>28/Set</i>	247.8	237.5	251.6	229.2
<i>01/Out</i>	284.5	262.9	293.6	227.5
σ	37.8	46,6	50,0	48,9

TABELA A.18: Sólidos dissolvidos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>10/Ago</i>	19.8	73.2	81.6	77.4
<i>11/Ago</i>	117.9	305.4	12.8	30.0
<i>16/Ago</i>	191.6	169.8	100.2	132.7
<i>17/Ago</i>	152.3	167.0	59.4	200.2
<i>18/Ago</i>	72.1	48.3	159.2	141.0
<i>23/Ago</i>	116.2	126.0	121.0	86.4
<i>24/Ago</i>	82.2	27.0	107.6	144.1
<i>25/Ago</i>	163.0	138.4	159.2	156.3
<i>30/Ago</i>	4.8	127.4	4.9	79.5
<i>31/Ago</i>	183.7	129.7	136.7	148.1
<i>01/Set</i>	158.4	141.6	68.2	147.7
<i>06/Set</i>	145.7	118.8	112.8	156.1
<i>07/Set</i>	144.0	154.6	55.3	74.3
<i>10/Set</i>	62.6	150.1	147.3	91.0
<i>14/Set</i>	120.6	0.0	51.6	69.3
<i>15/Set</i>	91.6	152.7	166.5	121.5
<i>17/Set</i>	153.8	200.8	184.8	173.4
<i>20/Set</i>	102.0	56.9	120.6	71.9
<i>21/Set</i>	10.4	148.6	128.9	100.5
<i>24/Set</i>	159.7	151.2	130.7	175.7
<i>27/Set</i>	113.7	123.4	83.6	127.5
<i>28/Set</i>	109.0	89.4	70.3	117.4
<i>01/Out</i>	124.2	92.6	106.7	106.6
σ	52.2	62.8	47.7	42.0

TABELA A.19: Sólidos dissolvidos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	<i>Afluente</i>	<i>FA1</i>	<i>FA2</i>	<i>FA3</i>
<i>10/Ago</i>	155.2	115.8	85.4	105.6
<i>11/Ago</i>	28.3	77.4	102.8	111.2
<i>16/Ago</i>	56.3	59.8	126.7	98.9
<i>17/Ago</i>	115.8	103.1	178.5	87.2
<i>18/Ago</i>	175.3	217.8	88.5	123.8
<i>23/Ago</i>	87.1	53.4	83.3	145.1
<i>24/Ago</i>	122.5	192.6	112.9	58.6
<i>25/Ago</i>	61.0	88.3	42.6	36.2
<i>30/Ago</i>	267.1	128.6	282.1	204.2
<i>31/Ago</i>	66.2	97.4	75.8	89.9
<i>01/Set</i>	45.0	51.9	113.9	63.2
<i>06/Set</i>	56.4	79.4	94.1	50.3
<i>07/Set</i>	74.0	42.3	158.0	126.8
<i>10/Set</i>	156.5	49.0	52.5	116.6
<i>14/Set</i>	77.9	233.7	161.9	115.2
<i>15/Set</i>	162.2	63.7	62.6	92.3
<i>17/Set</i>	146.9	63.8	137.2	79.8
<i>20/Set</i>	105.2	77.6	82.4	318.1
<i>21/Set</i>	177.9	62.6	62.7	99.1
<i>24/Set</i>	101.2	90.1	119.0	79.0
<i>27/Set</i>	81.6	108.5	177.2	139.1
<i>28/Set</i>	138.8	148.2	181.3	111.8
<i>01/Out</i>	160.3	170.3	186.8	120.9
σ	56,3	54,9	56,3	57,2

TABELA A.20: Relação DBO/DQO do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 72 m^3/m^2d (1a. fase de operação).

<i>Dia</i>	<i>Afluente</i>	<i>FA1</i>	<i>FA2</i>	<i>FA3</i>
<i>11/Ago</i>	0,4	0,2	0,3	0,6
<i>17/Ago</i>	0,4	1,0	0,5	0,3
<i>24/Ago</i>	0,2	0,4	0,3	0,4
<i>02/Set</i>	0,2	0,2	0,2	0,3
<i>07/Set</i>	0,2	0,3	0,5	0,7
<i>14/Set</i>	0,3	0,3	0,5	0,4
<i>21/Set</i>	0,7	0,5	0,9	1,0
<i>29/Set</i>	0,5	0,4	0,9	0,6

APÊNDICE B
RESULTADOS DA OPERAÇÃO DOS FILTROS DE
PEDREGULHO NA FASE 2

TABELA B.1: pH do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
05/Out	7,3	7,3	7,3	7,2
06/Out	7,2	7,1	7,1	7,1
08/Out	6,9	7,0	7,1	7,0
11/Out	7,0	7,1	7,1	7,1
13/Out	7,1	7,1	7,1	7,1
15/Out	6,9	7,0	7,0	7,2
18/Out	6,8	7,0	7,1	7,0
20/Out	7,1	7,0	7,0	7,1
22/Out	6,9	7,1	7,1	7,2
25/Out	7,0	7,1	7,0	7,0
27/Out	6,9	7,0	7,0	7,0
29/Out	6,6	6,7	6,7	6,8
01/Nov	7,1	7,1	7,1	7,1
03/Nov	6,8	7,0	6,9	7,0
05/Nov	6,7	6,9	6,9	6,7
08/Nov	6,8	6,9	6,9	6,9

TABELA B.2: Alcalinidade total (mgCaCO_3/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
05/Out	160,0	160,0	160,0	155,0
06/Out	155,0	135,0	135,0	135,0
08/Out	120,0	120,0	125,0	120,0
11/Out	155,0	170,0	155,0	150,0
13/Out	145,0	145,0	145,0	145,0
15/Out	135,0	130,0	130,0	125,0
18/Out	140,0	140,0	140,0	135,0
20/Out	178,5	178,5	178,5	173,4
22/Out	158,1	153,0	158,1	153,0
25/Out	183,6	178,5	178,5	168,3
27/Out	158,1	153,0	153,0	153,0

TABELA B.2 (Cont.): Alcalinidade total (mgCaCO₃/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m³/m²d

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>29/Out</i>	163,2	158,1	158,1	153,0
<i>01/Nov</i>	198,9	198,9	198,9	193,8
<i>03/Nov</i>	153,0	153,0	142,8	147,9
<i>05/Nov</i>	147,9	153,0	147,9	137,7
<i>08/Nov</i>	142,8	147,9	147,9	147,9
σ	19,2	19,9	19,2	18,3

TABELA B.3: Sólidos sedimentáveis (mL/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m³/m²d

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>05/Out</i>	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>06/Out</i>	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>08/Out</i>	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>11/Out</i>	0,2	0,0	0,0	0,0
<i>13/Out</i>	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>15/Out</i>	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>18/Out</i>	0,1	0,0	0,0	0,0
<i>20/Out</i>	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>22/Out</i>	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>25/Out</i>	3,5	0,0	0,0	0,0
<i>27/Out</i>	11,0	0,0	0,0	0,0
<i>29/Out</i>	4,5	0,0	0,0	0,0
<i>01/Nov</i>	1,0	0,0	0,0	0,0
<i>03/Nov</i>	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>05/Nov</i>	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>08/Nov</i>	0,5	0,0	0,0	0,0
σ	2,9	0,0	0,0	0,0

TABELA B.4: Sólidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m^3/m^2d

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>05/Out</i>	374,7	354,9	352,2	341,9
<i>06/Out</i>	203,6	217,6	211,4	206,6
<i>07/Out</i>	245,1	231,6	232,1	223,1
<i>11/Out</i>	310,4	251,2	246,4	265,7
<i>12/Out</i>	276,8	290,8	294,3	283,3
<i>15/Out</i>	197,2	244,4	258,8	208,2
<i>19/Out</i>	940,1	553,2	517,2	478,9
<i>21/Out</i>	273,7	273,8	263,0	268,0
<i>22/Out</i>	288,6	283,0	286,9	261,4
<i>25/Out</i>	599,1	391,3	344,0	398,9
<i>28/Out</i>	326,2	304,2	305,7	322,6
<i>29/Out</i>	606,7	391,0	338,9	341,3
<i>02/Nov</i>	423,6	306,6	315,1	299,1
<i>03/Nov</i>	316,2	302,6	274,6	318,8
<i>04/Nov</i>	287,2	295,4	281,9	271,7
σ	197,9	84,3	72,3	72,7

TABELA B.5: Sólidos totais fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m^3/m^2d

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>05/Out</i>	41,4	24,6	37,7	40,3
<i>06/Out</i>	153,2	142,3	122,4	156,3
<i>07/Out</i>	91,4	71,7	69,4	126,6
<i>11/Out</i>	175,1	112,9	124,2	111,1
<i>12/Out</i>	162,1	165,6	119,1	152,0
<i>15/Out</i>	131,7	109,4	12,7	149,3
<i>19/Out</i>	259,9	171,9	151,8	146,8
<i>21/Out</i>	98,0	158,2	60,9	65,3
<i>22/Out</i>	69,7	75,9	125,7	133,4
<i>25/Out</i>	235,4	151,7	157,2	131,4

TABELA B.5 (Cont.): Sólidos totais fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
28/Out	103,9	160,0	127,9	35,4
29/Out	257,1	198,4	155,4	107,6
02/Nov	286,6	193,0	145,1	185,8
03/Nov	117,2	143,0	141,8	190,3
04/Nov	159,0	148,1	156,6	161,1
σ	74,5	48,0	46,3	47,3

TABELA B.6: Sólidos totais voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
05/Out	333,2	330,3	314,6	301,6
06/Out	50,3	75,2	89,0	50,2
07/Out	153,7	159,9	162,7	96,6
11/Out	135,3	138,3	122,2	154,6
12/Out	114,7	125,2	175,2	131,3
15/Out	65,6	135,0	246,1	58,9
19/Out	680,2	381,3	365,4	332,1
21/Out	175,7	115,6	202,1	202,7
22/Out	218,9	207,1	161,2	128,0
25/Out	363,7	239,7	186,8	267,4
28/Out	222,3	144,2	177,8	287,1
29/Out	349,6	192,6	183,4	233,8
02/Nov	137,0	113,6	170,0	113,3
03/Nov	199,0	159,6	132,8	128,4
04/Nov	128,2	147,3	125,3	110,6
σ	159,2	83,2	72,8	91,0

TABELA B.7: Sólidos suspensos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
05/Out	124,0	65,9	54,1	61,3
06/Out	55,3	40,5	30,1	26,3
07/Out	53,1	45,9	49,9	47,5
11/Out	94,4	41,9	61,7	25,5
12/Out	32,2	27,5	25,9	26,5
15/Out	33,9	27,5	27,8	28,3
19/Out	725,0	309,3	298,0	244,7
21/Out	38,2	31,3	28,7	31,1
22/Out	65,2	46,3	42,8	36,4
25/Out	308,0	120,2	99,8	92,3
28/Out	95,3	63,1	78,7	52,0
29/Out	398,0	117,2	120,4	116,8
02/Nov	60,9	57,1	54,7	46,5
03/Nov	63,0	45,8	37,5	39,9
04/Nov	45,4	39,7	32,4	30,9
σ	191,9	71,5	69,0	57,2

TABELA B.8: Sólidos suspensos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
05/Out	23,2	9,2	1,3	6,1
06/Out	6,3	5,8	1,7	1,3
07/Out	10,1	8,9	10,1	8,8
11/Out	15,3	0,9	15,2	0,1
12/Out	0,0	0,0	0,0	3,4
15/Out	4,5	3,7	3,5	4,1
19/Out	110,0	26,7	24,0	10,0
21/Out	8,1	8,1	6,5	9,4
22/Out	17,9	11,9	10,3	9,7
25/Out	54,3	15,5	12,8	11,2

TABELA B.8: Sólidos suspensos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
28/Out	9,3	5,2	5,7	4,8
29/Out	81,3	19,2	27,4	25,4
02/Nov	14,3	11,8	9,2	9,3
03/Nov	15,0	9,3	9,3	8,6
04/Nov	11,5	9,7	7,9	7,2
σ	31,6	6,9	7,8	5,9

TABELA B.9: Sólidos suspensos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
05/Out	100,8	56,7	52,8	55,2
06/Out	49,0	34,7	28,3	24,9
07/Out	43,0	37,0	39,8	38,7
11/Out	79,1	41,0	46,5	25,4
12/Out	32,2	27,5	25,9	26,0
15/Out	29,3	23,8	24,3	24,2
19/Out	615,0	282,7	274,0	234,7
21/Out	30,1	23,2	22,2	21,7
22/Out	47,3	34,3	32,5	26,7
25/Out	253,7	104,7	87,0	81,2
28/Out	86,0	57,9	73,0	47,2
29/Out	316,7	98,0	93,0	91,4
02/Nov	46,6	45,3	45,5	37,2
03/Nov	48,0	36,5	28,2	31,3
04/Nov	33,9	29,9	24,5	23,7
σ	161,0	65,8	63,5	54,7



TABELA B.10: DQO (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
05/Out	284,0	146,7	149,4	152,0
06/Out	246,0	138,8	138,8	136,1
07/Out	273,0	178,5	167,9	170,6
11/Out	283,0	133,5	160,0	144,0
12/Out	230,0	154,7	160,0	186,5
13/Out	203,0	152,0	157,3	218,2
20/Out	306,0	202,3	202,3	191,8
21/Out	210,0	160,0	157,3	167,9
22/Out	253,0	223,5	215,6	178,5
26/Out	377,0	374,0	353,0	429,0
27/Out	1150,0	455,0	454,0	375,0
28/Out	341,0	282,0	284,0	252,0
02/Nov	254,0	273,0	263,0	241,0
03/Nov	253,0	144,1	133,5	146,7
05/Nov	437,0	199,7	183,8	178,5
08/Nov	263,0	146,7	178,5	157,3
σ	225,6	93,0	88,3	83,3

TABELA B.11: Nitrogênio total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
06/Out	33,6	29,6	28,5	29,6
14/Out	30,2	31,3	28,0	29,1
19/Out	80,0	52,6	59,3	50,9
26/Out	32,4	28,5	27,4	30,2
02/Nov	34,9	32,0	32,0	34,9
σ	21,2	10,0	13,7	9,2

TABELA B.12: Nitrogênio amoniacal (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
06/Out	21,4	20,9	20,7	21,1
14/Out	24,6	23,0	23,0	23,1
19/Out	31,6	30,0	30,1	30,9
26/Out	25,1	23,2	23,7	23,4
02/Nov	28,2	21,8	27,3	27,3
σ	3,9	3,6	3,7	3,9

TABELA B.13: Fosfato total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
07/Out	8,4	5,5	4,4	4,8
14/Out	5,8	6,0	5,5	5,6
18/Out	4,8	4,7	5,0	4,7
25/Out	32,3	22,6	17,4	16,5
04/Nov	14,0	14,5	13,9	14,1
08/Nov	15,7	14,9	15,1	14,7
σ	10,2	7,2	5,8	5,6

TABELA B.14: DBO (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
07/Out	153,0	140,8	149,3	149,1
13/Out	166,3	137,0	138,3	158,4
20/Out	269,5	169,9	235,8	207,7
26/Out	227,5	243,6	247,3	255,4
05/Nov	166,3	148,0	123,0	117,8
σ	50,0	44,2	58,2	54,1

TABELA B.15: Nitrito (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m^3/m^2d

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
07/Out	0,0295	0,0317	0,0325	0,0251
15/Out	0,0246	0,0299	0,0276	0,0872
20/Out	0,0536	0,0448	0,0513	0,0576
28/Out	0,0193	0,0246	0,0270	0,0320
04/Nov	0,0079	0,0185	0,0197	0,0211
σ	0,0169	0,0098	0,0119	0,0277

TABELA B.16: Nitrato (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 120 m^3/m^2d

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
07/Out	3,0	2,9	2,7	2,7
15/Out	3,5	3,0	2,9	3,0
20/Out	4,8	4,0	4,3	4,6
28/Out	2,5	2,9	2,9	3,1
04/Nov	2,1	2,5	2,3	2,2
σ	1,0	0,6	0,8	0,9

TABELA B.17: Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros e descargas de fundo intermediárias - taxa de 120 m^3/m^2d

Descargas de fundo - (DF Inter.)			<i>Horário</i>	Perda de carga / cm		
FA1	FA2	FA3		FA1	FA2	FA3
			04/10/1999 - 14h30	0,0	0,0	0,0
			04/10/1999 - 20h30	1,0	3,9	8,0
			05/10/1999 - 2h30	1,2	5,1	8,9
		10cm (9h)	05/10/1999 - 8h30	1,4	6,8	11,0
	10cm (14,5h)		05/10/1999 - 14h30	3,8	10,4	5,2
			05/10/1999 - 20h30	6,9	4,4	16,9
			06/10/1999 - 2h30	8,5	7,2	18,2
10cm (9h)		20cm (9h)	06/10/1999 - 8h30	10,2	8,3	21,2
			06/10/1999 - 14h30	0,8	9,3	5,6

TABELA B.17 (Cont.): Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros e descargas de fundo intermediárias - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

Descargas de fundo - (DF Interm.)			Horário	Perda de carga / cm		
FA1	FA2	FA3		FA1	FA2	FA3
			06/10/1999 - 20h30	2,4	14,9	13,4
			07/10/1999 - 2h30	2,6	17,3	23,3
	20cm (9h)	30cm (9h)	07/10/1999 - 8h30	2,8	20,2	30,8
			07/10/1999 - 14h30	4,1	1,1	2,1
			07/10/1999 - 20h30	6,3	7,1	7,8
			08/10/1999 - 2h30	9,8	12,8	11,7
			08/10/1999 - 8h30	12,6	16,8	20,7
			08/10/1999 - 14h30	16,7	20,2	29,4
			08/10/1999 - 20h30	18,2	22,6	34,5
		40cm (4h)	09/10/1999 - 2h30	19,0	24,8	39,7
20cm (13h)			09/10/1999 - 8h30	19,5	27,1	7,7
	30cm (17h)		09/10/1999 - 14h30	0,6	29,3	14,1
			09/10/1999 - 20h30	1,0	5,4	22,2
			10/10/1999 - 2h30	1,8	12,0	28,4
			10/10/1999 - 8h30	2,1	18,5	34,9
			10/10/1999 - 14h30	2,9	29,4	41,5
	40cm (0h)	50cm (22h)	10/10/1999 - 20h30	3,9	41,6	49,8
		2a. Carreira	11/10/1999 - 2h30	4,7	4,8	1,0
			11/10/1999 - 8h30	5,5	10,0	4,7
		10cm (16,5h)	11/10/1999 - 14h30	6,4	15,3	8,8
			11/10/1999 - 20h30	9,9	15,7	3,2
			12/10/1999 - 2h30	11,6	28,7	6,7
			12/10/1999 - 8h30	12,1	41,9	9,9
			12/10/1999 - 14h30	13,5	44,6	16,0
	50cm	20cm	12/10/1999 - 20h30	16,7	50,0	20,0
	2a. Carreira		13/10/1999 - 2h30	21,9	0,2	5,1
			13/10/1999 - 8h30	25,5	0,4	6,9
30cm (14,5h)			13/10/1999 - 14h30	30,0	2,0	10,6
		30cm (20,5h)	13/10/1999 - 20h30	0,4	4,1	30,7

TABELA B.17 (Cont.): Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros e descargas de fundo intermediárias - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

Descargas de fundo - (DF Interim.)			Horário	Perda de carga / cm		
FA1	FA2	FA3		FA1	FA2	FA3
			14/10/1999 - 2h30	0,7	4,5	7,7
			14/10/1999 - 8h30	2,0	5,3	10,8
	10cm (17h)		14/10/1999 - 14h30	3,8	9,7	15,1
			14/10/1999 - 20h30	5,1	0,4	23,5
		40cm	15/10/1999 - 2h30	7,2	1,0	41,1
			15/10/1999 - 8h30	10,5	1,4	1,1
			15/10/1999 - 14h30	16,6	3,0	11,7
			15/10/1999 - 20h30	22,5	9,2	27,1
		50cm (6h)	16/10/1999 - 2h30	24,2	12,2	40,5
		3a. Carreira	16/10/1999 - 8h30	25,9	15,1	2,4
			16/10/1999 - 14h30	28,3	18,4	5,3
	20cm (20,5h)	10cm (22h)	16/10/1999 - 20h30	30,6	22,8	9,0
			17/10/1999 - 2h30	32,1	1,0	2,3
			17/10/1999 - 8h30	33,7	1,5	6,4
			17/10/1999 - 14h30	35,8	3,6	11,2
40cm (23h)		20cm (23h)	17/10/1999 - 20h30	37,5	6,5	16,9
			18/10/1999 - 2h30	0,3	10,0	3,8
			18/10/1999 - 8h30	0,4	11,7	5,5
			18/10/1999 - 14h30	0,8	16,6	11,6
			18/10/1999 - 20h30	5,0	21,2	13,3
		30cm (2,5h)	19/10/1999 - 2h30	6,1	27,8	35,7
	30cm		19/10/1999 - 8h30	6,9	31,8	28,6
	40cm (18h)	40cm	19/10/1999 - 14h30	10,4	19,1	44,6
		50cm (20,5h)	19/10/1999 - 20h30	18,6	10,6	54,3
		4a. Carreira	20/10/1999 - 2h30	22,9	17,6	1,8
			20/10/1999 - 8h30	25,1	21,0	3,7
50 cm(17h)	50cm (19h)		20/10/1999 - 14h30	29,2	28,1	5,9
2a. Carreira	3a. Carreira	10cm (22h)	20/10/1999 - 20h30	2,3	0,0	8,5
			21/10/1999 - 2h30	3,7	4,9	5,6

TABELA B.17 (Cont.): Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros e descargas de fundo intermediárias - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

Descargas de fundo - (DF Interm.)			Horário	Perda de carga / cm		
FA1	FA2	FA3		FA1	FA2	FA3
			21/10/1999 - 8h30	6,0	8,5	13,5
10cm (14,5h)	10cm (14,5h)	20cm (14,5h)	21/10/1999 - 14h30	10,2	12,8	21,6
			21/10/1999 - 20h30	2,3	10,6	8,8
			22/10/1999 - 2h30	2,8	18,6	21,5
	20cm (8,5h)	30cm (8,5h)	22/10/1999 - 8h30	4,0	20,6	32,1
			22/10/1999 - 14h30	7,0	6,7	13,2
			22/10/1999 - 20h30	10,5	12,8	22,9
		40cm (6h)	23/10/1999 - 2h30	13,9	17,9	31,7
			23/10/1999 - 8h30	17,0	23,8	0,6
20cm (18,5h)	30cm (15h)		23/10/1999 - 14h30	20,3	29,6	9,2
			23/10/1999 - 20h30	0,8	6,8	19,5
			24/10/1999 - 2h30	1,3	13,4	28,7
			24/10/1999 - 8h30	2,2	17,5	37,6
			24/10/1999 - 14h30	2,6	23,7	46,1
		50cm (20,5h)	24/10/1999 - 20h30	3,8	30,9	54,5
		5a. Carreira	25/10/1999 - 2h30	8,4	38,5	1,1
	40cm (8,5h)	10cm (11h)	25/10/1999 - 8h30	11,9	45,7	8,2
		20cm (18h)	25/10/1999 - 14h30	13,2	13,1	12,4
			25/10/1999 - 20h30	18,3	34,5	0,0
			26/10/1999 - 2h30	18,4	36,8	1,7
			26/10/1999 - 8h30	18,5	38,7	2,5
	50cm (18,5h)		26/10/1999 - 14h30	18,7	42,3	11,8
30cm (22h)	4a. Carreira	30cm (22h)	26/10/1999 - 20h30	28,3	0,0	29,2
			27/10/1999 - 2h30	1,6	6,1	8,6
	10cm (8,5h)		27/10/1999 - 8h30	2,9	10,5	15,5
	20cm (19h)	40cm (19h)	27/10/1999 - 14h30	5,6	5,2	34,5
			27/10/1999 - 20h30	12,7	1,6	3,8
			28/10/1999 - 2h30	13,6	5,5	10,3
			28/10/1999 - 8h30	14,2	24,0	28,9

TABELA B.17 (Cont.): Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros e descargas de fundo intermediárias - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

Descargas de fundo - (DF Interm.)			Horário	Perda de carga / cm		
FA1	FA2	FA3		FA1	FA2	FA3
	30cm (18,5h)	50cm (19h)	28/10/1999 - 14h30	17,6	27,1	40,6
		<i>6a. Carreira</i>	28/10/1999 - 20h30	19,0	2,5	0,0
			29/10/1999 - 2h30	29,5	6,3	4,7
40cm (9,5h)		10cm (9,5h)	29/10/1999 - 8h30	38,7	9,7	8,7
	40cm (19h)	20cm (14,5h)	29/10/1999 - 14h30	3,5	19,8	24,4
		30cm (19h)	29/10/1999 - 20h30	4,9	0,5	0,3
			30/10/1999 - 2h30	6,0	3,9	3,9
			30/10/1999 - 8h30	6,7	5,8	6,7
			30/10/1999 - 14h30	8,2	9,3	9,1
			30/10/1999 - 20h30	9,6	11,9	12,8
			31/10/1999 - 2h30	10,7	14,8	15,4
			31/10/1999 - 8h30	11,4	16,7	19,6
			31/10/1999 - 14h30	12,8	19,9	23,4
			31/10/1999 - 20h30	13,7	23,7	28,5
			01/11/1999 - 2h30	15,2	27,8	30,3
			01/11/1999 - 8h30	16,2	32,9	31,5
		40cm (19h)	01/11/1999 - 14h30	18,1	35,6	37,9
			01/11/1999 - 20h30	19,5	40,1	3,4
			02/11/1999 - 2h30	19,9	41,8	5,8
			02/11/1999 - 8h30	20,0	44,2	7,2
	50cm (18,5h)		02/11/1999 - 14h30	20,2	47,3	9,7
	<i>5a. Carreira</i>		02/11/1999 - 20h30	20,8	0,0	11,9
			03/11/1999 - 2h30	21,2	2,9	12,5
			03/11/1999 - 8h30	21,3	4,3	12,9
			03/11/1999 - 14h30	21,5	7,1	18,4
	10cm (20,5h)		03/11/1999 - 20h30	22,2	10,2	21,6
			04/11/1999 - 2h30	24,1	1,6	27,7
			04/11/1999 - 8h30	24,9	3,3	34,0
		50cm (18h)	04/11/1999 - 14h30	25,7	4,1	37,0

TABELA B.17 (Cont.): Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros e descargas de fundo intermediárias - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$

Descargas de fundo - (DF Interm.)			Horário	Perda de carga / cm		
FA1	FA2	FA3		FA1	FA2	FA3
		<i>7a. Carreira</i>	04/11/1999 - 20h30	27,1	10,1	0,0
			05/11/1999 - 2h30	28,0	14,6	1,3
			05/11/1999 - 8h30	28,8	17,0	1,8
	20cm (14,5h)	10cm (19h)	05/11/1999 - 14h30	29,5	21,9	3,6
			05/11/1999 - 20h30	30,5	1,0	0,9
			06/11/1999 - 2h30	30,6	2,3	1,7
			06/11/1999 - 8h30	30,6	2,9	2,6
			06/11/1999 - 14h30	30,9	4,1	3,5
			06/11/1999 - 20h30	31,1	5,0	4,6
			07/11/1999 - 2h30	31,3	5,8	5,7
			07/11/1999 - 8h30	31,4	6,4	6,3
			07/11/1999 - 14h30	31,8	7,8	7,8
			07/11/1999 - 20h30	32,4	9,4	9,4
			08/11/1999 - 2h30	34,9	14,3	12,3
		20cm (10h)	08/11/1999 - 8h30	37,1	17,8	17,2
			08/11/1999 - 14h30	39,8	19,4	0,2
	30cm (22h)		08/11/1999 - 20h30	40,6	28,1	1,1
			09/11/1999 - 2h30	45,8	18,4	5,7
50cm (9h)			09/11/1999 - 8h30	49,8	39,6	9,5

TABELA B.18: Coliformes totais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$

Dia	Afluente	FA1	FA2	FA3
06/Out	270,0	261,3	204	24192
13/Out	17329	231,0	214,3	46,2
20/Out	923623	3,1	19863	6470,3
28/Out	112500000	3538	89500000	150000
01/Nov	56300000	69800000	30200000	178500000
σ	50160684,0	31215058,1	38909193,1	79807446,4

TABELA B.19: Coliformes fecais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
06/Out	60,9	36,4	44,1	17329
13/Out	6131	24,0	40,4	8,6
20/Out	19863	0,369	579,4	727,0
28/Out	24192000	610	24192000	4100
01/Nov	12997000	12033000	8164000	4884000
σ	10922262,2	5381246,2	10517996,7	2181724,3

TABELA B.20: Sólidos dissolvidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
05/Out	250,7	289,0	298,1	280,6
06/Out	148,3	177,0	181,4	180,3
07/Out	192,0	185,7	182,2	175,6
11/Out	216,0	209,3	184,7	240,2
12/Out	244,6	263,2	268,5	256,9
15/Out	163,4	217,0	231,0	180,0
19/Out	215,1	243,9	219,2	234,2
21/Out	235,5	242,5	234,3	236,9
22/Out	223,4	236,7	244,1	225,0
25/Out	291,1	271,2	244,2	306,6
28/Out	230,9	241,1	227,0	270,6
29/Out	208,7	273,8	218,5	224,5
02/Nov	362,7	249,5	260,4	252,6
03/Nov	253,2	256,8	237,0	278,9
04/Nov	241,8	255,8	249,5	240,8
σ	50,8	31,7	32,5	38,5

TABELA B.21: Sólidos dissolvidos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
05/Out	18,2	15,4	36,3	34,2
06/Out	146,9	136,5	120,7	155,0
07/Out	81,3	62,8	59,3	117,8
11/Out	159,8	112,0	109,0	111,0
12/Out	162,1	165,6	119,1	148,6
15/Out	127,1	105,8	9,1	145,3
19/Out	149,9	145,2	127,8	136,8
21/Out	89,9	150,2	54,4	55,9
22/Out	51,8	64,0	115,4	123,7
25/Out	181,2	136,2	144,4	120,3
28/Out	94,6	154,8	122,2	30,6
29/Out	175,8	179,2	128,0	82,2
02/Nov	272,3	181,2	135,9	176,5
03/Nov	102,2	133,7	132,5	181,7
04/Nov	147,5	138,4	148,6	153,9
σ	61,2	46,6	42,8	47,8

TABELA B.22: Sólidos dissolvidos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
05/Out	232,4	273,7	261,8	246,4
06/Out	1,3	40,5	60,7	25,3
07/Out	110,7	122,9	122,9	57,9
11/Out	56,2	97,3	75,7	129,2
12/Out	82,5	97,7	149,4	105,3
15/Out	36,2	111,2	221,8	34,7
19/Out	65,2	98,7	91,4	97,4
21/Out	145,6	92,4	179,9	180,9
22/Out	171,6	172,8	128,7	101,3
25/Out	110,0	135,0	99,8	186,3

TABELA B.22: Sólidos dissolvidos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros
- taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>28/Out</i>	136,3	86,3	104,8	239,9
<i>29/Out</i>	32,9	94,6	90,4	142,4
<i>02/Nov</i>	90,4	68,3	124,5	76,1
<i>03/Nov</i>	151,0	123,1	104,5	97,1
<i>04/Nov</i>	94,3	117,4	100,9	86,9
σ	60,2	53,1	55,1	67,5

TABELA B.23: Relação DBO/DQO do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>07/Out</i>	0,6	0,8	0,9	0,9
<i>13/Out</i>	0,8	0,9	0,9	0,7
<i>20/Out</i>	0,9	0,8	1,2	1,1
<i>26/Out</i>	0,6	0,7	0,7	0,6
<i>05/Nov</i>	0,4	0,7	0,7	0,7

APÊNDICE C

RESULTADOS DA OPERAÇÃO DOS FILTROS DE
PEDREGULHO NA FASE 3

TABELA C.1: pH do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
10/Nov	6.7	6.8	6.8	6.7
12/Nov	6.8	6.9	6.9	6.8
15/Nov	7.2	7.1	7.1	7.1
17/Nov	6.9	7.0	6.9	7.0
19/Nov	6.7	6.8	6.8	6.8
22/Nov	6.7	6.9	6.9	6.9
24/Nov	6.7	6.8	6.8	-
26/Nov	6.6	6.7	-	-
29/Nov	6.8	6.8	-	-
01/Dez	6.7	6.8	-	-
03/Dez	6.7	6.8	-	-
06/Dez	6.8	6.9	-	-
08/Dez	6.7	6.8	-	-

TABELA C.2: Alcalinidade (mgCaCO_3/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
10/Nov	127,5	127,5	122,4	122,4
12/Nov	137,7	137,7	137,7	137,7
15/Nov	193,8	183,6	188,7	183,6
17/Nov	137,7	137,7	132,6	137,7
19/Nov	153,0	153,0	153,0	153,0
22/Nov	183,6	183,6	183,6	183,6
24/Nov	147,9	147,9	142,8	-
26/Nov	153,0	153,0	-	-
29/Nov	142,8	142,8	-	-
01/Dez	132,6	137,7	-	-
03/Dez	142,8	142,8	-	-
06/Dez	153,0	158,1	-	-
08/Dez	137,7	137,7	-	-
σ	19,2	17,2	25,5	25,6

TABELA C.3: Sólidos sedimentáveis (mL/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>10/Nov</i>	60,0	0,5	0,2	0,3
<i>12/Nov</i>	0,1	0,0	0,0	0,0
<i>15/Nov</i>	0,1	0,0	0,0	0,0
<i>17/Nov</i>	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>19/Nov</i>	1,5	0,0	0,0	0,0
<i>22/Nov</i>	5,0	0,1	0,0	0,0
<i>24/Nov</i>	5,5	0,7	0,5	-
<i>26/Nov</i>	7,0	0,5	-	-
<i>29/Nov</i>	0,2	0,1	-	-
<i>01/Dez</i>	0,0	0,0	-	-
<i>03/Dez</i>	0,0	0,1	-	-
<i>06/Dez</i>	1,5	0,1	-	-
<i>08/Dez</i>	0,0	0,0	-	-
σ	16,3	0,2	0,2	0,1

TABELA C.4: Sólidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
10/Nov	1230,0	562,0	540,7	468,6
11/Nov	505,6	444,0	474,6	488,7
12/Nov	356,2	312,6	325,7	367,4
16/Nov	356,7	308,7	304,1	293,2
18/Nov	343,3	284,4	286,9	280,1
19/Nov	374,2	319,8	305,0	270,6
23/Nov	311,0	277,0	274,2	291,1
25/Nov	460,3	366,0	335,4	-
26/Nov	693,0	470,3	-	-
29/Nov	316,3	276,8	-	-
02/Dez	423,7	320,1	-	-
03/Dez	357,2	349,8	-	-
06/Dez	383,6	310,0	-	-
09/Dez	305,4	288,1	-	-
σ	244,3	85,0	97,3	92,6

TABELA C.5: Sólidos totais fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
10/Nov	322,7	144,6	174,9	179,0
11/Nov	181,1	165,4	167,7	170,7
12/Nov	126,4	168,1	176,1	85,6
16/Nov	197,9	182,8	180,2	193,0
18/Nov	83,3	40,2	128,2	153,7
19/Nov	172,4	132,4	137,7	143,0
23/Nov	144,3	158,7	157,0	87,0
25/Nov	161,1	160,3	160,6	-
26/Nov	233,7	164,0	-	-
29/Nov	137,8	141,7	-	-
02/Dez	151,1	179,6	-	-

TABELA C.5 (Cont.): Sólidos totais fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
03/Dez	187,6	209,3	-	-
06/Dez	170,2	149,7	-	-
09/Dez	139,9	200,0	-	-
σ	56,1	39,9	18,8	43,0

TABELA C.6: Sólidos totais voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
10/Nov	907,3	417,4	365,8	289,6
11/Nov	324,5	278,6	306,9	318,0
12/Nov	229,8	144,4	149,6	281,9
16/Nov	158,8	125,9	123,9	100,2
18/Nov	260,0	244,2	158,7	126,4
19/Nov	201,8	187,3	167,3	127,6
23/Nov	166,7	118,3	117,2	204,1
25/Nov	299,2	205,7	174,9	-
26/Nov	459,3	306,3	-	-
29/Nov	178,6	135,1	-	-
02/Dez	272,6	140,6	-	-
03/Dez	169,7	140,4	-	-
06/Dez	213,3	160,3	-	-
09/Dez	165,6	88,1	-	-
σ	196,9	90,6	90,5	90,3

TABELA C.7: Sólidos suspensos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
10/Nov	1108,0	361,0	267,0	280,0
11/Nov	184,8	81,8	83,6	129,8
12/Nov	78,0	54,3	60,8	68,8
16/Nov	128,3	99,5	61,7	48,9
18/Nov	97,0	55,3	65,2	58,0
19/Nov	145,6	59,6	55,3	56,5
23/Nov	65,1	46,6	43,9	55,7
25/Nov	200,5	85,4	89,5	-
26/Nov	470,7	186,4	-	-
29/Nov	67,1	48,4	-	-
02/Dez	206,1	80,4	-	-
03/Dez	93,2	57,4	-	-
06/Dez	124,0	70,8	-	-
09/Dez	71,4	58,6	-	-
σ	276,9	84,1	72,7	84,1

TABELA C.8: Sólidos suspensos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
10/Nov	228,0	56,0	37,7	40,7
11/Nov	30,8	11,2	5,6	16,0
12/Nov	11,9	9,9	8,9	10,7
16/Nov	42,2	27,6	15,2	13,1
18/Nov	16,5	5,7	8,1	3,4
19/Nov	16,6	2,0	1,9	3,9
23/Nov	9,5	7,8	6,0	11,8
25/Nov	48,0	22,0	20,3	-
26/Nov	83,3	23,9	-	-
29/Nov	4,9	3,9	-	-
02/Dez	37,2	12,8	-	-

TABELA C.8 (Cont.): Sólidos suspensos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
03/Dez	14,2	9,9	-	-
06/Dez	25,0	15,4	-	-
09/Dez	12,8	12,7	-	-
σ	57,5	13,8	11,6	12,6

TABELA C.9: Sólidos suspensos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
10/Nov	880,0	305,0	229,3	239,3
11/Nov	154,0	70,6	78,0	113,8
12/Nov	66,1	44,4	51,9	58,1
16/Nov	86,1	72,0	46,5	35,9
18/Nov	80,5	49,6	57,1	26,0
19/Nov	129,0	57,6	53,5	52,7
23/Nov	55,6	38,8	37,9	43,9
25/Nov	152,5	63,4	69,2	-
26/Nov	387,3	162,4	-	-
29/Nov	62,3	44,5	-	-
02/Dez	168,9	67,6	-	-
03/Dez	79,1	47,5	-	-
06/Dez	99,0	55,4	-	-
09/Dez	58,6	45,9	-	-
σ	220,0	71,5	62,5	75,2

TABELA C.10: DQO (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
10/Nov	2350,0	848,0	854,0	666,0
11/Nov	516,0	306,0	322,0	392,0
16/Nov	381,0	175,9	117,6	128,2
17/Nov	277,0	138,8	122,9	125,6
19/Nov	377,0	199,7	189,1	189,1
23/Nov	299,0	191,8	189,1	207,6
25/Nov	506,0	370,0	329,0	-
26/Nov	1340,0	619,0	-	-
30/Nov	396,0	295,0	-	-
01/Dez	285,0	238,0	-	-
02/Dez	433,0	306,0	-	-
07/Dez	416,0	277,0	-	-
08/Dez	216,0	265,0	-	-
09/Dez	250,0	226,0	-	-
σ	580,6	191,5	257,4	210,6

TABELA C.11: Nitrogênio total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
12/Nov	30,3	30,9	27,5	25,8
18/Nov	33,2	26,9	28,6	24,1
23/Nov	36,6	37,2	31,5	36,6
30/Nov	31,5	26,9	-	-
07/Dez	38,3	28,1	-	-
σ	3,4	4,3	2,1	6,8

TABELA C.12: Nitrogênio amoniacal (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>11/Nov</i>	19,6	19,5	18,2	19,0
<i>18/Nov</i>	19,2	18,2	18,6	18,9
<i>23/Nov</i>	26,1	25,1	23,5	24,9
<i>30/Nov</i>	25,6	25,5	-	-
<i>07/Dez</i>	25,5	23,3	-	-
σ	3,5	3,3	2,9	3,4

TABELA C.13: Fosfato total (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>16/Nov</i>	22,0	10,2	16,9	16,4
<i>22/Nov</i>	19,4	17,3	16,7	17,3
<i>30/Nov</i>	15,7	16,1	-	-
<i>07/Dez</i>	13,3	11,8	-	-
σ	3,9	3,4	0,2	0,7

TABELA C.14: DBO (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>11/Nov</i>	214,0	159,2	169,9	187,7
<i>16/Nov</i>	143,6	89,6	54,0	49,7
<i>23/Nov</i>	60,9	52,4	52,5	77,7
<i>30/Nov</i>	142,7	142,2	-	-
<i>07/Dez</i>	197,9	135,7	-	-
σ	60,0	43,8	67,4	73,0

TABELA C.15: Nitrito (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m^3/m^2d

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
12/Nov	0,0556	0,0421	0,0418	0,045
18/Nov	0,0121	0,0125	0,0092	0,0129
23/Nov	0,0372	0,0365	0,0763	0,0459
02/Dez	0,0137	0,0237	-	-
09/Dez	0,0237	0,0321	-	-
σ	0,0182	0,0116	0,0336	0,0188

TABELA C.16: Nitrato (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de 170 m^3/m^2d

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
12/Nov	4,5	3,8	3,7	3,8
18/Nov	2,5	2,5	2,4	2,5
23/Nov	3,7	3,7	3,6	3,7
02/Dez	2,9	3,1	-	-
09/Dez	2,7	2,9	-	-
σ	0,5	0,5	0,9	0,9

TABELA C.17: Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros e descargas de fundo intermediárias - taxa de 170 m^3/m^2d

Descargas de fundo - (DF Interm.)			<i>Horário</i>	Perda de carga / cm		
FA1	FA2	FA3		FA1	FA2	FA3
<i>1a. Carreira</i>	<i>1a. Carreira</i>	<i>1a. Carreira</i>	09/11/1999 - 14h30	2,3	0,0	0,0
		10cm (21h)	09/11/1999 - 20h30	5,2	3,1	7,8
		10cm (6,5h)	10/11/1999 - 2h30	8,3	8,1	8,7
	10cm (8h30)	20cm (10h)	10/11/1999 - 8h30	3,3	14,3	10,5
	20cm(14h30)	30cm (15h)	10/11/1999 - 14h30	5,8	25,5	20,8
	30cm(20h30)	40cm (19h)	10/11/1999 - 20h30	8,9	36,1	15,5
			11/11/1999 - 2h30	11,0	3,4	20,8
			11/11/1999 - 8h30	12,7	8,2	24,9
		20cm (19h)	11/11/1999 - 14h30	17,8	8,7	29,3

TABELA C.17 (Cont.): Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros e descargas de fundo intermediárias - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

Descargas de fundo - (DF Interm.)			Horário	Perda de carga / cm		
FA1	FA2	FA3		FA1	FA2	FA3
			11/11/1999 - 20h30	3,3	11,4	34,9
			12/11/1999 - 2h30	4,3	14,5	37,1
			12/11/1999 - 8h30	5,4	15,5	40,4
		50cm (14,5h)	12/11/1999 - 14h30	7,6	21,7	49,9
		2a. Carreira	12/11/1999 - 20h30	8,4	25,7	3,9
		10cm (3h)	13/11/1999 - 2h30	9,4	29,2	9,3
			13/11/1999 - 8h30	10,1	31,9	7,4
		20cm (16h)	13/11/1999 - 14h30	11,3	35,3	17,5
	40cm(21h30)		13/11/1999 - 20h30	12,5	39,0	4,7
			14/11/1999 - 2h30	13,9	2,7	14,1
		30cm(10h30)	14/11/1999 - 8h30	14,1	5,1	25,9
			14/11/1999 - 14h30	14,6	8,5	10,7
			14/11/1999 - 20h30	16,2	11,0	21,5
		40cm (5h30)	15/11/1999 - 2h30	17,1	14,1	31,7
			15/11/1999 - 8h30	19,2	17,4	8,7
			15/11/1999 - 14h30	20,7	20,7	19,4
			15/11/1999 - 20h30	22,4	24,0	35,1
		50cm (2h30)	16/11/1999 - 2h30	24,9	31,6	50,5
30cm (10h)	50cm (10h)	3a. Carreira	16/11/1999 - 8h30	27,2	36,5	0,0
	2a. Carreira	10cm(10h30)	16/11/1999 - 14h30	2,4	0,0	8,7
		20cm(20h30)	16/11/1999 - 20h30	7,9	7,1	25,5
	10cm (3,5h)		17/11/1999 - 2h30	11,8	9,2	7,0
		30cm (14h)	17/11/1999 - 8h30	15,9	3,7	16,1
			17/11/1999 - 14h30	27,6	9,9	3,2
			17/11/1999 - 20h30	26,1	16,8	26,9
	20cm (2h30)		18/11/1999 - 2h30	28,5	19,7	36,1
		40cm (8h30)	18/11/1999 - 8h30	30,2	3,5	44,9
40cm (14,5h)		50cm (19h)	18/11/1999 - 14h30	43,4	18,7	21,6
	30cm (20,5h)	4a. Carreira	18/11/1999 - 20h30	3,9	31,7	0,0

TABELA C.17 (Cont.): Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros e descargas de fundo intermediárias - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

Descargas de fundo - (DF Interm.)			Horário	Perda de carga / cm		
FA1	FA2	FA3		FA1	FA2	FA3
			19/11/1999 - 2h30	8,8	31,9	6,6
		10cm (8h30)	19/11/1999 - 8h30	13,6	32,1	14,5
	40cm(14h30)		19/11/1999 - 14h30	21,0	44,8	6,7
		20cm(20h30)	19/11/1999 - 20h30	21,4	4,6	21,7
			20/11/1999 - 2h30	22,1	8,6	1,7
			20/11/1999 - 8h30	22,3	12,3	2,3
			20/11/1999 - 14h30	23,0	17,1	4,4
			20/11/1999 - 20h30	24,7	20,7	5,8
			21/11/1999 - 2h30	25,6	23,8	6,5
			21/11/1999 - 8h30	26,9	26,9	7,4
			21/11/1999 - 14h30	27,7	32,5	10,5
			21/11/1999 - 20h30	28,4	39,2	14,1
		30cm (5h)	22/11/1999 - 2h30	38,8	42,3	33,8
50cm (8h30)	50cm (8h30)		22/11/1999 - 8h30	52,5	56,2	10,7
2a. Carreira	3a. Carreira	40cm (19h)	22/11/1999 - 14h30	1,3	3,1	28,5
	10cm (19h)		22/11/1999 - 20h30	3,2	1,3	11,2
			23/11/1999 - 2h30	4,1	12,5	22,2
	20cm (8h30)		23/11/1999 - 8h30	5,3	20,2	38,1
10cm (14,5h)		50cm (14,5h)	23/11/1999 - 14h30	12,8	5,4	55,1
	30cm (20,5h)		23/11/1999 - 20h30	1,9	34,1	-
			24/11/1999 - 2h30	6,0	11,0	-
			24/11/1999 - 8h30	9,7	22,7	-
20cm (19h)	40cm (19h)		24/11/1999 - 14h30	11,8	33,8	-
			24/11/1999 - 20h30	0,2	0,3	-
			25/11/1999 - 2h30	2,4	5,6	-
			25/11/1999 - 8h30	4,5	10,4	-
			25/11/1999 - 14h30	10,6	20,7	-
			25/11/1999 - 20h30	11,2	22,2	-
			26/11/1999 - 2h30	11,8	35,4	-

TABELA C.17 (Cont.): Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros e descargas de fundo intermediárias - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

Descargas de fundo - (DF Interm.)			Horário	Perda de carga / cm		
FA1	FA2	FA3		FA1	FA2	FA3
	50cm (8,5h)		26/11/1999 - 8h30	12,6	54,6	-
			26/11/1999 - 14h30	19,7	-	-
			26/11/1999 - 20h30	20,8	-	-
			27/11/1999 - 2h30	21,6	-	-
			27/11/1999 - 8h30	21,9	-	-
			27/11/1999 - 14h30	22,4	-	-
			27/11/1999 - 20h30	23,9	-	-
			28/11/1999 - 2h30	24,4	-	-
			28/11/1999 - 8h30	24,8	-	-
			28/11/1999 - 14h30	25,7	-	-
30cm (22h)			28/11/1999 - 20h30	27,3	-	-
			29/11/1999 - 2h30	1,1	-	-
			29/11/1999 - 8h30	1,6	-	-
			29/11/1999 - 14h30	4,7	-	-
			29/11/1999 - 20h30	4,8	-	-
			30/11/1999 - 2h30	10,1	-	-
			30/11/1999 - 8h30	12,8	-	-
			30/11/1999 - 14h30	15,1	-	-
			30/11/1999 - 20h30	16,4	-	-
			01/12/1999 - 2h30	16,6	-	-
			01/12/1999 - 8h30	16,8	-	-
			01/12/1999 - 14h30	17,4	-	-
			01/12/1999 - 20h30	18,6	-	-
			02/12/1999 - 2h30	19,0	-	-
			02/12/1999 - 8h30	19,2	-	-
			02/12/1999 - 14h30	19,3	-	-
			02/12/1999 - 20h30	20,8	-	-
			03/12/1999 - 2h30	20,9	-	-
			03/12/1999 - 8h30	21,2	-	-

TABELA C.17 (Cont.): Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros e descargas de fundo intermediárias - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

Descargas de fundo - (DF Interm.)			Horário	Perda de carga / cm		
FA1	FA2	FA3		FA1	FA2	FA3
			03/12/1999 - 14h30	25,4	-	-
			03/12/1999 - 20h30	27,0	-	-
			04/12/1999 - 2h30	27,5	-	-
			04/12/1999 - 8h30	27,9	-	-
			04/12/1999 - 14h30	28,8	-	-
			04/12/1999 - 20h30	30,3	-	-
			05/12/1999 - 2h30	30,8	-	-
			05/12/1999 - 8h30	31,0	-	-
			05/12/1999 - 14h30	31,3	-	-
			05/12/1999 - 20h30	32,2	-	-
			06/12/1999 - 2h30	35,2	-	-
40cm (9,5h)			06/12/1999 - 8h30	39,3	-	-
			06/12/1999 - 14h30	5,2	-	-
			06/12/1999 - 20h30	11,6	-	-
			07/12/1999 - 2h30	14,1	-	-
			07/12/1999 - 8h30	15,3	-	-
			07/12/1999 - 14h30	18,2	-	-
			07/12/1999 - 20h30	24,1	-	-
			08/12/1999 - 2h30	24,4	-	-
			08/12/1999 - 8h30	24,8	-	-
			08/12/1999 - 14h30	30,6	-	-
			08/12/1999 - 20h30	33,3	-	-
			09/12/1999 - 2h30	37,5	-	-
			09/12/1999 - 8h30	38,9	-	-
50cm (15h)			09/12/1999 - 14h30	49,2	-	-

TABELA C.18: Coliformes totais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
11/Nov	1124000,0	345000	138800	115700
17/Nov	62000	42200	19350	10000
22/Nov	3470000	15850000	21410000	6200000
01/Dez	306300	1000	-	-
08/Dez	241920	18500	-	-
σ	1418069,4	7044281,2	12315560,1	3543679,3

TABELA C.19: Coliformes fecais [(NMP/100 mL) x 0,001] do afluente e efluentes dos - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
11/Nov	241920	86700	3860	3500
17/Nov	12420	10800,0	4960	2780
22/Nov	1203300	85000	630000	770100,0
01/Dez	61310	20	-	-
08/Dez	6300	310	-	-
σ	511158,4	45203,1	361185,0	442804,7

TABELA C.20: Sólidos dissolvidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
10/Nov	122,0	201,0	273,7	188,6
11/Nov	320,8	362,2	391,0	358,9
12/Nov	278,3	258,3	264,9	298,6
16/Nov	228,4	209,2	242,4	244,3
18/Nov	246,3	229,1	221,7	222,1
19/Nov	228,6	260,2	249,7	214,0
23/Nov	245,9	230,4	230,3	235,4
25/Nov	259,8	280,6	245,9	-
26/Nov	222,3	284,0	-	-
29/Nov	249,2	228,4	-	-

TABELA C.20 (Cont.): Sólidos dissolvidos totais (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>02/Dez</i>	217,5	239,7	-	-
<i>03/Dez</i>	264,0	292,4	-	-
<i>06/Dez</i>	259,6	239,2	-	-
<i>09/Dez</i>	234,0	229,5	-	-
σ	43,4	41,6	53,6	58,2

TABELA C.21: Sólidos dissolvidos fixos (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
<i>10/Nov</i>	94,7	88,6	137,2	138,3
<i>11/Nov</i>	150,3	154,2	162,1	154,7
<i>12/Nov</i>	114,6	158,2	167,2	74,9
<i>16/Nov</i>	155,7	155,2	165,0	179,9
<i>18/Nov</i>	66,8	34,5	120,1	150,3
<i>19/Nov</i>	155,8	130,4	135,8	139,1
<i>23/Nov</i>	134,9	150,9	151,0	75,2
<i>25/Nov</i>	113,1	138,3	140,2	-
<i>26/Nov</i>	150,3	140,1	-	-
<i>29/Nov</i>	132,9	137,8	-	-
<i>02/Dez</i>	113,9	166,8	-	-
<i>03/Dez</i>	173,4	199,4	-	-
<i>06/Dez</i>	145,2	134,3	-	-
<i>09/Dez</i>	127,1	187,3	-	-
σ	28,2	40,4	16,8	40,2

TABELA C.22: Sólidos dissolvidos voláteis (mg/L) do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
10/Nov	27,3	112,4	136,4	50,2
11/Nov	170,5	208,0	228,9	204,2
12/Nov	163,7	100,0	97,7	223,8
16/Nov	72,7	53,9	77,4	64,4
18/Nov	179,5	194,6	101,6	100,4
19/Nov	72,8	129,7	113,9	74,9
23/Nov	111,1	79,5	79,3	160,2
25/Nov	146,7	142,3	105,7	-
26/Nov	72,0	143,9	-	-
29/Nov	116,3	90,6	-	-
02/Dez	103,6	72,9	-	-
03/Dez	90,6	92,9	-	-
06/Dez	114,3	104,9	-	-
09/Dez	107,0	42,2	-	-
σ	43,2	48,1	48,7	70,3

TABELA C.23: Relação DBO/DQO do afluente e efluentes dos filtros - taxa de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Afluente	FA1	FA2	FA3
11/Nov	0,4	0,5	0,5	0,5
16/Nov	0,4	0,5	0,5	0,4
23/Nov	0,2	0,3	0,3	0,4
30/Nov	0,4	0,5	-	-
07/Dez	0,5	0,5	-	-

APÊNDICE D

RESULTADOS DAS ANÁLISES DAS DESCARGAS DE FUNDO DOS FILTROS DE PEDREGULHO

TABELA D.1: pH das amostras das descargas de fundo dos filtros - taxa de 72 m^3/m^2d

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
<i>10/Ago</i>	-	-	7,1
<i>16/Ago</i>	-	6,9	-
<i>17/Ago</i>	-	-	6,8
<i>19/Ago</i>	7,0	-	-
<i>23/Ago</i>	-	-	7,1
<i>24/Ago</i>	-	7,0	-
<i>30/Ago</i>	-	-	6,9
<i>31/Ago</i>	-	7,0	-
<i>02/Set</i>	-	-	7,0
<i>06/Set</i>	-	7,1	-
<i>08/Set</i>	7,1	-	7,0
<i>14/Set</i>	-	7,0	7,0
<i>17/Set</i>	7,1	6,9	7,0
<i>20/Set</i>	-	-	6,9
<i>22/Set</i>	-	7,1	7,0
<i>24/Set</i>	-	-	7,0
<i>27/Set</i>	7,0	7,1	7,1
<i>29/Set</i>	-	-	7,1
<i>30/Set</i>	-	7,0	-
<i>01/Out</i>	7,0	-	-
<i>04/Out</i>	-	-	6,7

TABELA D.2: Alcalinidade total (mg CaCO₃/L) das amostras das descargas de fundo dos filtros - taxa de 72 m³/m²d

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
10/Ago	-	-	162,8
16/Ago	-	152,3	-
17/Ago	-	-	157,5
19/Ago	147,0	-	-
23/Ago	-	-	162,8
24/Ago	-	162,8	-
30/Ago	-	-	169,0
31/Ago	-	158,1	-
02/Set	-	-	150,0
06/Set	-	175,0	-
08/Set	180,0	-	175,0
14/Set	-	155,0	150,0
17/Set	165,0	160,0	155,0
20/Set	-	-	160,0
22/Set	-	150,0	155,0
24/Set	-	-	150,0
27/Set	185,0	175,0	170,0
29/Set	-	-	165,0
30/Set	-	165,0	-
01/Out	170,0	-	-
04/Out	-	-	150,0

TABELA D.3: Sólidos Sedimentáveis (mL/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
10/Ago	-	-	135,0
16/Ago	-	37,0	-
17/Ago	-	-	95,0
19/Ago	910,0	-	-
23/Ago	-	-	20,0
24/Ago	-	350,0	-
30/Ago	-	-	650,0
31/Ago	-	880,0	-
02/Set	-	-	750,0
06/Set	-	900,0	-
08/Set	950,0	-	550,0
14/Set	-	980,0	850,0
17/Set	750,0	550,0	500,0
20/Set	-	-	56,0
22/Set	-	30,0	64,0
24/Set	-	-	56,0
27/Set	150,0	58,0	44,0
29/Set	-	-	76,0
30/Set	-	64,0	-
01/Out	180,0	-	-
04/Out	-	-	350,0
02/Nov	-	240,0	-
04/Nov	-	-	270,0
09/Nov	300,0	-	-
23/Nov	-	-	220,0
26/Nov	-	180,0	-
09/Dez	360,0	-	-

TABELA D.4: Sólidos totais (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
10/Ago	-	-	1692,0
16/Ago	-	745,6	-
17/Ago	-	-	1252,2
19/Ago	6740,7	-	-
23/Ago	-	-	521,9
24/Ago	-	3143,8	-
30/Ago	-	-	5258,9
31/Ago	-	5813,4	-
02/Set	-	-	3847,8
06/Set	-	7660,1	-
08/Set	15619,0	-	5204,2
14/Set	-	6867,3	4315,8
17/Set	6984,7	4705,2	4332,2
20/Set	-	-	1543,7
22/Set	-	708,4	2020,6
24/Set	-	-	1601,9
27/Set	3562,0	1426,7	1355,2
29/Set	-	-	1647,9
30/Set	-	1398,9	-
01/Out	2319,1	-	-
04/Out	-	-	6322,8
02/Nov	-	5197,1	-
04/Nov	-	-	5415,6
09/Nov	7446,8	-	-
23/Nov	-	-	3937,1
26/Nov	-	4202,0	-
09/Dez	8135,3	-	-

TABELA D.5: Sólidos totais fixos (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
10/Ago	-	-	593,8
16/Ago	-	236,0	-
17/Ago	-	-	234,6
19/Ago	1248,7	-	-
23/Ago	-	-	176,8
24/Ago	-	709,3	-
30/Ago	-	-	1095,2
31/Ago	-	1482,6	-
02/Set	-	-	959,4
06/Set	-	1631,9	-
08/Set	2621,3	-	1173,9
14/Set	-	1504,9	871,9
17/Set	1594,8	1075,6	802,4
20/Set	-	-	266,3
22/Set	-	182,8	482,4
24/Set	-	-	432,8
27/Set	815,3	356,9	285,6
29/Set	-	-	414,4
30/Set	-	352,3	-
01/Out	580,3	-	-
04/Out	-	-	1591,7
02/Nov	-	1613,8	-
04/Nov	-	-	1720,4
09/Nov	2151,0	-	-
23/Nov	-	-	933,7
26/Nov	-	791,1	-
09/Dez	1951,6	-	-

TABELA D.6: Sólidos totais voláteis (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
<i>10/Ago</i>	-	-	1098,2
<i>16/Ago</i>	-	509,6	-
<i>17/Ago</i>	-	-	1267,6
<i>19/Ago</i>	5492,0	-	-
<i>23/Ago</i>	-	-	345,1
<i>24/Ago</i>	-	2434,4	-
<i>30/Ago</i>	-	-	4163,7
<i>31/Ago</i>	-	4330,9	-
<i>02/Set</i>	-	-	2888,3
<i>06/Set</i>	-	6028,2	-
<i>08/Set</i>	12997,7	-	4030,3
<i>14/Set</i>	-	5362,4	3443,9
<i>17/Set</i>	5389,9	3629,7	3529,8
<i>20/Set</i>	-	-	1277,3
<i>22/Set</i>	-	525,7	1538,1
<i>24/Set</i>	-	-	1169,1
<i>27/Set</i>	2746,7	1069,8	1069,7
<i>29/Set</i>	-	-	1233,4
<i>30/Set</i>	-	1046,6	-
<i>01/Out</i>	1738,8	-	-
<i>04/Out</i>	-	-	4731,1
<i>02/Nov</i>	-	3583,3	-
<i>04/Nov</i>	-	-	3695,1
<i>09/Nov</i>	5295,8	-	-
<i>23/Nov</i>	-	-	3003,4
<i>26/Nov</i>	-	3410,9	-
<i>09/Dez</i>	6183,8	-	-

TABELA D.7: Sólidos suspensos totais (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
10/Ago	-	-	1255,3
16/Ago	-	380,8	-
17/Ago	-	-	855,2
19/Ago	6038,3	-	-
23/Ago	-	-	333,7
24/Ago	-	2750,7	-
30/Ago	-	-	5088,3
31/Ago	-	4730,0	-
02/Set	-	-	3607,0
06/Set	-	6951,7	-
08/Set	10566,7	-	2529,5
14/Set	-	6458,5	3986,8
17/Set	6767,5	4425,7	4254,2
20/Set	-	-	1215,2
22/Set	-	507,8	1761,8
24/Set	-	-	1271,0
27/Set	3209,2	1086,8	849,0
29/Set	-	-	1248,5
30/Set	-	935,8	-
01/Out	2110,2	-	-
04/Out	-	-	6119,5
02/Nov	-	4376,3	-
04/Nov	-	-	4792,2
09/Nov	6587,5	-	-
23/Nov	-	-	3368,5
26/Nov	-	3615,3	-
09/Dez	7539,8	-	-

TABELA D.8: Sólidos suspensos fixos (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
10/Ago	-	-	178,7
16/Ago	-	99,8	-
17/Ago	-	-	200,7
19/Ago	1240,0	-	-
23/Ago	-	-	0,0
24/Ago	-	555,0	-
30/Ago	-	-	1073,3
31/Ago	-	1129,3	-
02/Set	-	-	829,5
06/Set	-	1631,8	-
08/Set	2543,3	-	556,5
14/Set	-	1413,3	849,5
17/Set	1378,0	802,3	794,3
20/Set	-	-	136,7
22/Set	-	69,0	347,5
24/Set	-	-	231,3
27/Set	629,0	202,5	168,2
29/Set	-	-	145,2
30/Set	-	179,0	-
01/Out	411,5	-	-
04/Out	-	-	1397,2
02/Nov	-	1469,5	-
04/Nov	-	-	1558,3
09/Nov	1927,0	-	-
23/Nov	-	-	379,5
26/Nov	-	785,2	-
09/Dez	1897,8	-	-

TABELA D.9: Sólidos suspensos voláteis (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
10/Ago	-	-	1076,7
16/Ago	-	281,0	-
17/Ago	-	-	654,5
19/Ago	4798,3	-	-
23/Ago	-	-	333,7
24/Ago	-	2195,7	-
30/Ago	-	-	4015,0
31/Ago	-	3600,7	-
02/Set	-	-	2777,5
06/Set	-	5319,8	-
08/Set	8023,3	-	1973,0
14/Set	-	5045,2	3137,3
17/Set	5389,5	3623,3	3459,8
20/Set	-	-	1078,5
22/Set	-	438,8	1414,3
24/Set	-	-	1039,7
27/Set	2580,2	884,3	680,8
29/Set	-	-	1103,3
30/Set	-	756,8	-
01/Out	1698,7	-	-
04/Out	-	-	4722,3
02/Nov	-	2906,8	-
04/Nov	-	-	3233,8
09/Nov	4660,5	-	-
23/Nov	-	-	2989,0
26/Nov	-	2830,2	-
09/Dez	5642,0	-	-

TABELA D.10: DQO (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
<i>10/Ago</i>	-	-	7435,0
<i>16/Ago</i>	-	922,0	-
<i>17/Ago</i>	-	-	2060,0
<i>19/Ago</i>	11280,0	-	-
<i>23/Ago</i>	-	-	738,0
<i>24/Ago</i>	-	582,0	-
<i>30/Ago</i>	-	-	5240,0
<i>31/Ago</i>	-	11480,0	-
<i>02/Set</i>	-	-	7600,0
<i>06/Set</i>	-	13900,0	-
<i>08/Set</i>	23000,0	-	10480,0
<i>14/Set</i>	-	15260,0	9360,0
<i>17/Set</i>	14960,0	11120,0	10160,0
<i>20/Set</i>	-	-	3395,0
<i>22/Set</i>	-	1325,0	4940,0
<i>24/Set</i>	-	-	4120,0
<i>27/Set</i>	7620,0	3680,0	4220,0
<i>29/Set</i>	-	-	3880,0
<i>30/Set</i>	-	2700,0	-
<i>01/Out</i>	5320,0	-	-
<i>04/Out</i>	-	-	13120,0
<i>02/Nov</i>	-	7380	-
<i>04/Nov</i>	-	-	7320
<i>09/Nov</i>	10600	-	-
<i>23/Nov</i>	-	-	7080
<i>26/Nov</i>	-	7520	-
<i>09/Dez</i>	15180	-	-

TABELA D.11: Nitrogênio total (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
10/Ago	-	-	192,6
16/Ago	-	237,4	-
17/Ago	-	-	271,0
19/Ago	663,0	-	-
23/Ago	-	-	91,8
24/Ago	-	271,0	-
30/Ago	-	-	346,6
31/Ago	-	391,4	-
02/Set	-	-	481,0
06/Set	-	609,8	-
08/Set	747,0	-	276,6
14/Set	-	1206,2	265,4
17/Set	528,6	377,4	360,6
20/Set	-	-	187,0
22/Set	-	164,6	220,6
24/Set	-	-	175,8
27/Set	355,0	119,8	276,6
29/Set	-	-	203,8
30/Set	-	192,6	-
01/Out	220,6	-	-
04/Out	-	-	461,4
02/Nov	-	441,3	-
04/Nov	-	-	452,7
09/Nov	509,7	-	-
23/Nov	-	-	310,2
26/Nov	-	327,3	-
09/Dez	532,5	-	-

TABELA D.12: Fosfato total (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
10/Ago	-	-	11,5
16/Ago	-	5,5	-
17/Ago	-	-	10,6
19/Ago	129,6	-	-
23/Ago	-	-	1,6
24/Ago	-	112,6	-
30/Ago	-	-	123,6
31/Ago	-	127,2	-
02/Set	-	-	114,1
06/Set	-	79,7	-
08/Set	110,0	-	94,3
14/Set	-	120,3	102,4
17/Set	105,6	93,3	86,7
20/Set	-	-	54,0
22/Set	-	35,0	62,0
24/Set	-	-	28,0
27/Set	43,7	27,4	29,8
29/Set	-	-	30,2
30/Set	-	25,0	-
01/Out	25,0	-	-
04/Out	-	-	42,7
02/Nov	-	133,56	-
04/Nov	-	-	161,72
09/Nov	167,77	-	-
23/Nov	-	-	100,16
26/Nov	-	94,22	-
09/Dez	155,96	-	-

TABELA D.13: DBO (mg/L) das amostras das descargas de fundo dos filtros - taxa de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
<i>10/Ago</i>	-	-	104,3
<i>16/Ago</i>	-	144,9	-
<i>17/Ago</i>	-	-	399,6
<i>19/Ago</i>	358,6	-	-
<i>23/Ago</i>	-	-	67,4
<i>24/Ago</i>	-	140,8	-
<i>30/Ago</i>	-	-	302,2
<i>31/Ago</i>	-	580,8	-
<i>02/Set</i>	-	-	486,2
<i>06/Set</i>	-	887,2	-
<i>08/Set</i>	800,9	-	943,8
<i>14/Set</i>	-	537,2	1001,7
<i>17/Set</i>	604,4	327,8	480,3
<i>20/Set</i>	-	-	200,2
<i>22/Set</i>	-	311,5	537,2
<i>24/Set</i>	-	-	408,3
<i>27/Set</i>	526	489	387
<i>29/Set</i>	-	-	647
<i>30/Set</i>	-	423	-
<i>01/Out</i>	785	-	-
<i>04/Out</i>	-	-	395

TABELA D.14: Sólidos dissolvidos totais (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
<i>10/Ago</i>	-	-	436,7
<i>16/Ago</i>	-	364,8	-
<i>17/Ago</i>	-	-	397,0
<i>19/Ago</i>	702,4	-	-
<i>23/Ago</i>	-	-	188,2
<i>24/Ago</i>	-	393,1	-
<i>30/Ago</i>	-	-	170,6
<i>31/Ago</i>	-	1083,4	-
<i>02/Set</i>	-	-	240,8
<i>06/Set</i>	-	708,4	-
<i>08/Set</i>	5052,3	-	2674,7
<i>14/Set</i>	-	408,8	328,9
<i>17/Set</i>	217,2	279,6	78,1
<i>20/Set</i>	-	-	328,5
<i>22/Set</i>	-	200,6	258,7
<i>24/Set</i>	-	-	330,9
<i>27/Set</i>	352,8	339,8	506,2
<i>29/Set</i>	-	-	399,4
<i>30/Set</i>	-	463,1	-
<i>01/Out</i>	208,9	-	-
<i>04/Out</i>	-	-	203,3
<i>02/Nov</i>	-	820,8	-
<i>04/Nov</i>	-	-	623,4
<i>09/Nov</i>	859,3	-	-
<i>23/Nov</i>	-	-	568,6
<i>26/Nov</i>	-	586,7	-
<i>09/Dez</i>	595,5	-	-

TABELA D.15: Sólidos dissolvidos fixos (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
<i>10/Ago</i>	-	-	415,1
<i>16/Ago</i>	-	136,2	-
<i>17/Ago</i>	-	-	33,9
<i>19/Ago</i>	8,7	-	-
<i>23/Ago</i>	-	-	176,8
<i>24/Ago</i>	-	154,3	-
<i>30/Ago</i>	-	-	21,9
<i>31/Ago</i>	-	353,2	-
<i>02/Set</i>	-	-	129,9
<i>06/Set</i>	-	0,1	-
<i>08/Set</i>	78,0	-	617,4
<i>14/Set</i>	-	91,6	22,4
<i>17/Set</i>	216,8	273,2	8,1
<i>20/Set</i>	-	-	129,7
<i>22/Set</i>	-	113,8	134,9
<i>24/Set</i>	-	-	201,4
<i>27/Set</i>	186,3	154,4	117,4
<i>29/Set</i>	-	-	269,3
<i>30/Set</i>	-	173,3	-
<i>01/Out</i>	168,8	-	-
<i>04/Out</i>	-	-	194,5
<i>02/Nov</i>	-	144,3	-
<i>04/Nov</i>	-	-	162,1
<i>09/Nov</i>	224,0	-	-
<i>23/Nov</i>	-	-	554,2
<i>26/Nov</i>	-	5,9	-
<i>09/Dez</i>	53,7	-	-

TABELA D.16: Sólidos dissolvidos voláteis (mg/L) de todas as amostras das descargas de fundo dos filtros.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
<i>10/Ago</i>	-	-	21,5
<i>16/Ago</i>	-	228,6	-
<i>17/Ago</i>	-	-	613,1
<i>19/Ago</i>	693,7	-	-
<i>23/Ago</i>	-	-	11,4
<i>24/Ago</i>	-	238,8	-
<i>30/Ago</i>	-	-	148,7
<i>31/Ago</i>	-	730,2	-
<i>02/Set</i>	-	-	110,8
<i>06/Set</i>	-	708,4	-
<i>08/Set</i>	4974,3	-	2057,3
<i>14/Set</i>	-	317,3	306,6
<i>17/Set</i>	0,4	6,3	69,9
<i>20/Set</i>	-	-	198,8
<i>22/Set</i>	-	86,8	123,8
<i>24/Set</i>	-	-	129,4
<i>27/Set</i>	166,5	185,4	388,8
<i>29/Set</i>	-	-	130,1
<i>30/Set</i>	-	289,7	-
<i>01/Out</i>	40,1	-	-
<i>04/Out</i>	-	-	8,8
<i>02/Nov</i>	-	676,5	-
<i>04/Nov</i>	-	-	461,3
<i>09/Nov</i>	635,3	-	-
<i>23/Nov</i>	-	-	14,4
<i>26/Nov</i>	-	580,7	-
<i>09/Dez</i>	541,8	-	-

TABELA D.17: Zinco (mg/L) das amostras das descargas de fundo dos filtros. - fases 2 e 3.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
02/Nov	-	15,00	-
04/Nov	-	-	12,00
09/Nov	16,00	-	-
23/Nov	-	-	5,60
26/Nov	-	4,50	-
09/Dez	15,50	-	-

TABELA D.18: Chumbo (mg/L) das amostras das descargas de fundo dos filtros. - fases 2 e 3.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
02/Nov	-	0,44	-
04/Nov	-	-	0,40
09/Nov	0,63	-	-
23/Nov	-	-	0,14
26/Nov	-	0,05	-
09/Dez	0,42	-	-

TABELA D.19: Cádmio (mg/L) das amostras das descargas de fundo dos filtros. - fases 2 e 3.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
02/Nov	-	N.D.	-
04/Nov	-	-	N.D.
09/Nov	N.D.	-	-
23/Nov	-	-	N.D.
26/Nov	-	N.D.	-
09/Dez	N.D.	-	-

TABELA D.20: Níquel (mg/L) das amostras das descargas de fundo dos filtros. - fases 2 e 3.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
02/Nov	-	0,04	-
04/Nov	-	-	0,06
09/Nov	0,16	-	-
23/Nov	-	-	N.D.
26/Nov	-	N.D.	-
09/Dez	0,10	-	-

TABELA D.21: Ferro (mg/L) das amostras das descargas de fundo dos filtros. - fases 2 e 3.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
02/Nov	-	141,00	-
04/Nov	-	-	210,00
09/Nov	230,00	-	-
23/Nov	-	-	73,50
26/Nov	-	65,00	-
09/Dez	161,00	-	-

TABELA D.22: Manganês (mg/L) das amostras das descargas de fundo dos filtros. - fases 2 e 3.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
02/Nov	-	1,02	-
04/Nov	-	-	1,20
09/Nov	1,00	-	-
23/Nov	-	-	0,51
26/Nov	-	0,53	-
09/Dez	0,80	-	-

TABELA D.23: Cobre (mg/L) das amostras das descargas de fundo dos filtros. - fases 2 e 3.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
<i>02/Nov</i>	-	5,14	-
<i>04/Nov</i>	-	-	6,05
<i>09/Nov</i>	6,60	-	-
<i>23/Nov</i>	-	-	3,36
<i>26/Nov</i>	-	2,10	-
<i>09/Dez</i>	3,90	-	-

TABELA D.24 Cromo (mg/L) das amostras das descargas de fundo dos filtros. - fases 2 e 3.

<i>Dia</i>	Descarga de fundo - FA1	Descarga de fundo - FA2	Descarga de fundo - FA3
<i>02/Nov</i>	-	0,40	-
<i>04/Nov</i>	-	-	0,44
<i>09/Nov</i>	0,47	-	-
<i>23/Nov</i>	-	-	0,28
<i>26/Nov</i>	-	0,30	-
<i>09/Dez</i>	0,43	-	-

APÊNDICE E

CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS FILTRANTES E RESULTADOS DOS ENSAIOS HIDRODINÂMICOS

Características dos filtros:

- Volume total de um filtro: 13,74 L.
- Volume útil de um filtro: 8,50 L.
- Porosidade das camadas de pedregulho:

a)Filtro Ascendente 1 (FA1):

camada 15,9 a 25,4 mm: 0,420

camada 9,6 a 15,9 mm: 0,296

camada 6,4 a 9,6 mm: 0,310

b)Filtro Ascendente 2 (FA2):

camada 15,9 a 25,4 mm: 0,440

camada 9,6 a 15,9 mm: 0,288

camada 3,2 a 6,4 mm: 0,341

c)Filtro Ascendente 3 (FA3):

camada 9,6 a 19,0 mm: 0,452

camada 6,4 a 9,6 mm: 0,295

camada 2,4 a 4,8 mm: 0,332



TABELA E.1: Absorbâncias do azul de metileno em comprimento de onda de 650 nm no ensaio hidrodinâmico. O TDH das unidades foi de 36 minutos.

tempo/min.	ABS. (FA1)	ABS. (FA2)	ABS. (FA3)
5	0,016	0,006	0,005
10	0,000	0,000	0,005
15	0,246	0,012	0,138
20	0,816	0,029	0,330
25	0,956	0,143	0,419
30	0,963	0,548	0,425
35	0,857	0,451	0,458
40	0,803	0,462	0,456
45	0,704	0,367	0,436
50	0,568	0,382	0,399
55	0,499	0,363	0,430
60	0,428	0,331	0,363
65	0,376	0,310	0,334
70	0,281	0,271	0,325
75	0,265	0,253	0,312
80	0,228	0,198	0,281
85	0,210	0,175	0,260
90	0,184	0,169	0,258
95	0,111	0,165	0,251
100	0,122	0,137	0,227
105	0,120	0,139	0,248
110	0,109	0,130	0,257
115	0,102	0,117	0,237
120	0,076	0,090	0,187
125	0,084	0,101	0,218
130	0,077	0,095	0,201
135	0,072	0,087	0,210
140	0,067	0,083	0,214
145	0,057	0,077	0,208
150	0,051	0,065	0,181

TABELA E.1 (Cont.): Absorbâncias do azul de metileno em comprimento de onda de 650 nm no ensaio hidrodinâmico. O TDH das unidades foi de 36 minutos.

tempo/min.	ABS. (FA1)	ABS. (FA2)	ABS. (FA3)
155	0,038	0,052	0,183
160	0,049	0,060	0,178
165	0,045	0,061	0,171
170	0,041	-	0,116
175	0,036	-	0,122
180	-	-	0,106
185	-	-	0,077
190	-	-	0,082
195	-	-	0,081
200	-	-	0,076
205	-	-	0,075
210	-	-	0,061
215	-	-	0,06
220	-	-	0,055
225	-	-	0,05

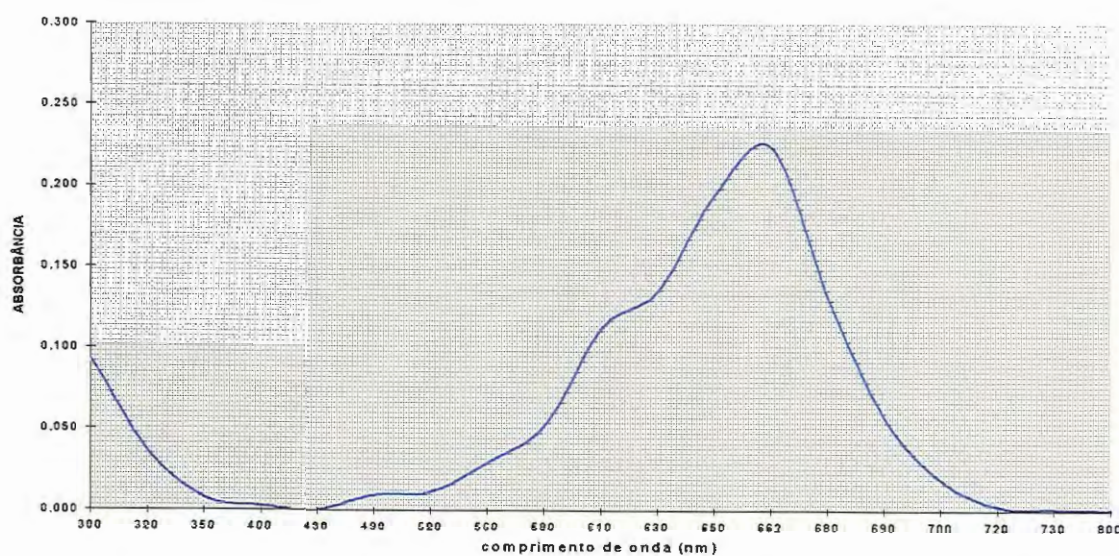


FIGURA E.1: Absorbância de azul de metileno na faixa de comprimento de onda de 300 a 800 nm.

APÊNDICE F
RESULTADOS DO ENSAIO REALIZADO NA CAIXA DE
ARMAZENAMENTO

TABELA F.1: Resumo estatístico das amostras do perfil 24 horas realizado na caixa de armazenamento.

Parâmetros		RALEX	CAIXA	Parâmetros		RALEX	CAIXA
Temperatura (°C)	n	13	13	Ácidos Voláteis (mg Hác.L ⁻¹)	n	13	13
	máx	29	30		máx	39	35
	x	25,5	26,4		x	24	18
	mín	23	24		mín	18	10
	DP	2	2		DP	6	6
	CV	7	8		CV	24	35
pH	n	13	13	DQO _B (mgO ₂ .L ⁻¹)	n	13	13
	máx	7,1	7,96		máx	306	224
	mín	6,7	6,7		x	237	195
	n	13	13		mín	116	159
Turbidez (UT)	máx	139	96	DP	63	15	
	mín	48	57	CV	27	8	
	n	13	13	n	13	13	
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	máx	149	160	DQO _F (mgO ₂ .L ⁻¹)	máx	153	111
	x	132	126		x	116	90
	mín	115	90		mín	72	83
	DP	7	19		DP	27	7
	CV	5	15		CV	23	8
Alcalinidade Parcial (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	n	13	13	N ^o TK (mg.L ⁻¹)	n	13	13
	máx	105	124		máx	31	35
	x	87	94		x	26	29
	mín	73	80		mín	22	21
	DP	9	12		DP	2	4
Alcalinidade Intermediária (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	CV	10	12	CV	9	13	
	n	13	13	N-amoniacoal (mg.L ⁻¹)	n	13	13
	máx	65	54		máx	24	24
	x	44	32		x	19	21
	mín	15	10		mín	16	16
DP	14	13	DP		2	2	
Sólidos Sedimentáveis (mL.L ⁻¹)	CV	31	40	CV	13	10	
	n	13	13	N- Orgânico (mg.L ⁻¹)	n	13	13
	máx	0,1	0,0		máx	10	15
	x	0,0	0,0		x	7	8
	mín	0,0	0,0		mín	2	1
DP	0,0	0,0	DP		2	4	
CV	0,0	0,0	CV	36	48		

TABELA F.1 (Cont.): Resumo estatístico das amostras do perfil 24 horas realizado na caixa de armazenamento.

Parâmetros	RALEX	CAIXA
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	n	13
	máx	382
	x	289
	mín	196
	DP	53
	CV	18
Sólidos Totais Fixos (mg.L ⁻¹)	n	13
	máx	223
	x	130
	mín	55
	DP	45
	CV	35
Sólidos Totais Voláteis (mg.L ⁻¹)	n	13
	máx	266
	x	159
	mín	23
	DP	73
	CV	46
Sólidos Suspensos Totais (mg.L ⁻¹)	n	12
	máx	188
	x	110
	mín	47
	DP	40
	CV	36
Sólidos Suspensos Fixos (mg.L ⁻¹)	n	12
	máx	82
	x	42
	mín	3
	DP	24
	CV	57
Sólidos Suspensos Voláteis (mg.L ⁻¹)	n	12
	máx	115
	x	69
	mín	2
	DP	30
	CV	44

ANEXO G

PERDA DE CARGA DOS FILTROS

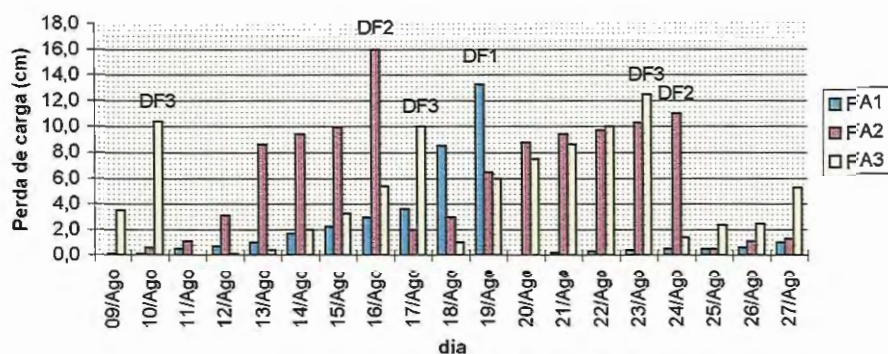


FIGURA G.1a: Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros - taxa de filtração de 72 m³/m²d - período de 09/08/1999 a 27/08/1999 (1a. fase de operação)

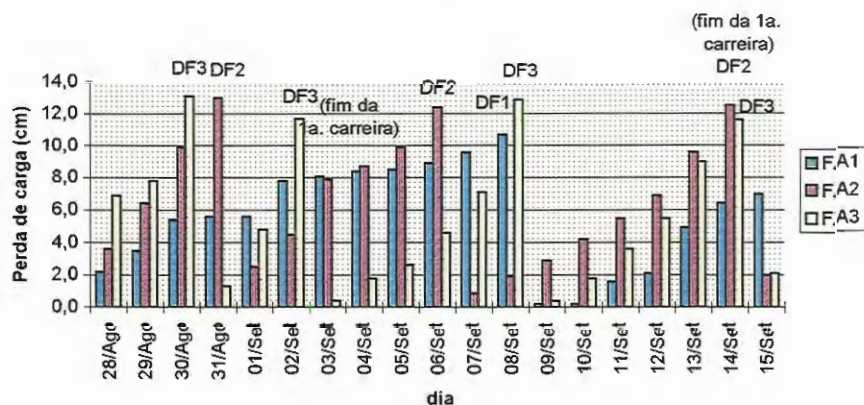


FIGURA G.1b: Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros - taxa de filtração de 72 m³/m²d - período de 28/08/1999 a 15/09/1999 (1a. fase de operação)

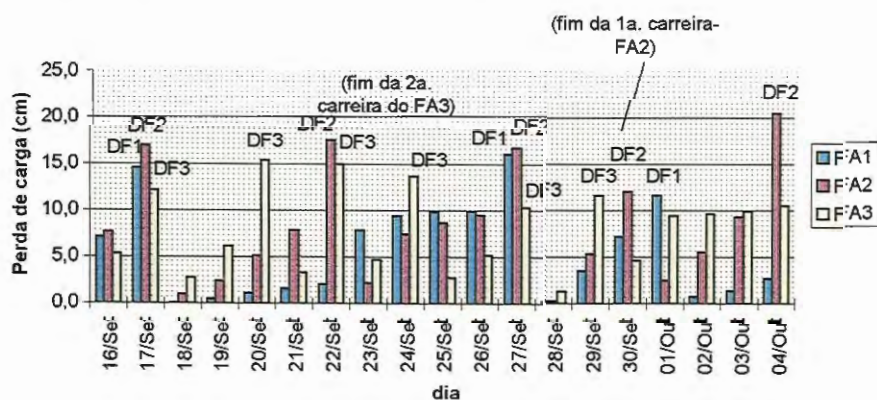


FIGURA G.1c: Perda de carga (cm) no meio granular dos filtros - taxa de filtração de 72 m³/m²d - período de 16/09/1999 a 04/10/1999 (1a. fase de operação)

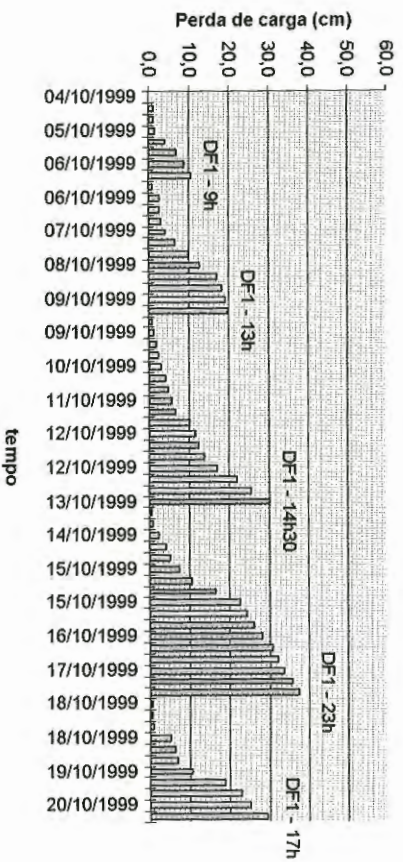


FIGURA G.2a: Perda de carga (cm) no meio granular do FA1 - taxa de filtração de 120 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 04/10/1999 a 20/10/1999 (1a. Carreira do FA1).

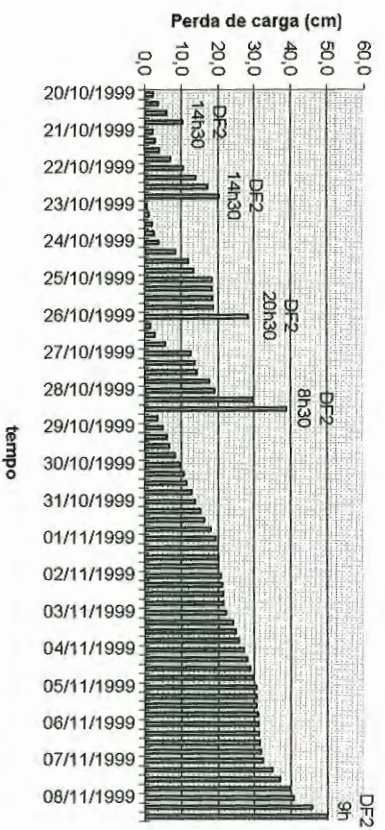


FIGURA G.2b: Perda de carga (cm) no meio granular do FA1 - taxa de filtração de 120 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 20/10/1999 a 09/11/1999 (2a. Carreira do FA1).

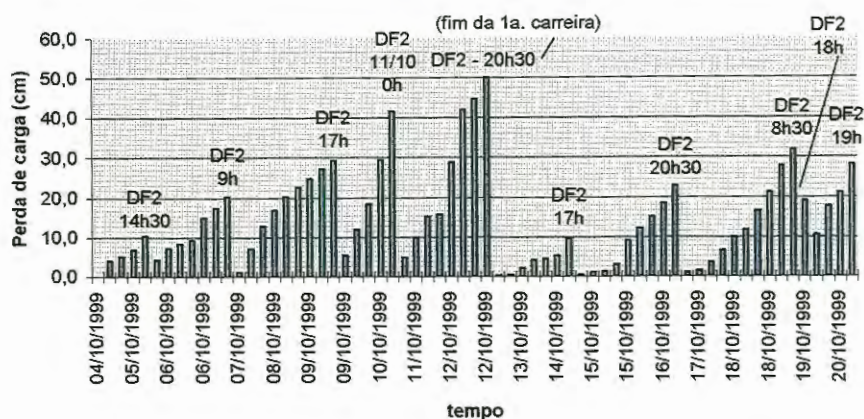


FIGURA G.3a: Perda de carga (cm) no meio granular do FA2 - taxa de filtração de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 04/10/1999 a 20/10/1999 (1a. e 2a. Carreiras do FA2)

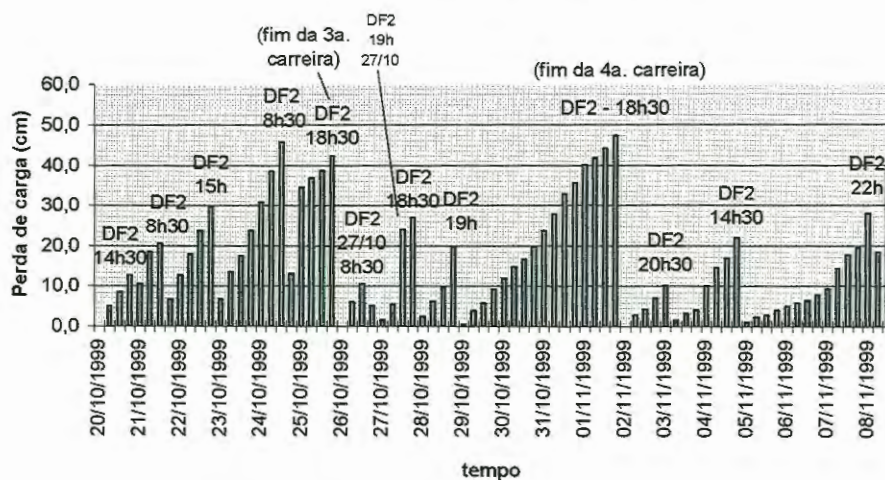


FIGURA G.3b: Perda de carga (cm) no meio granular do FA2 - taxa de filtração de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 20/10/1999 a 09/11/1999 (3a., 4a. e início da 5a. Carreira do FA2)

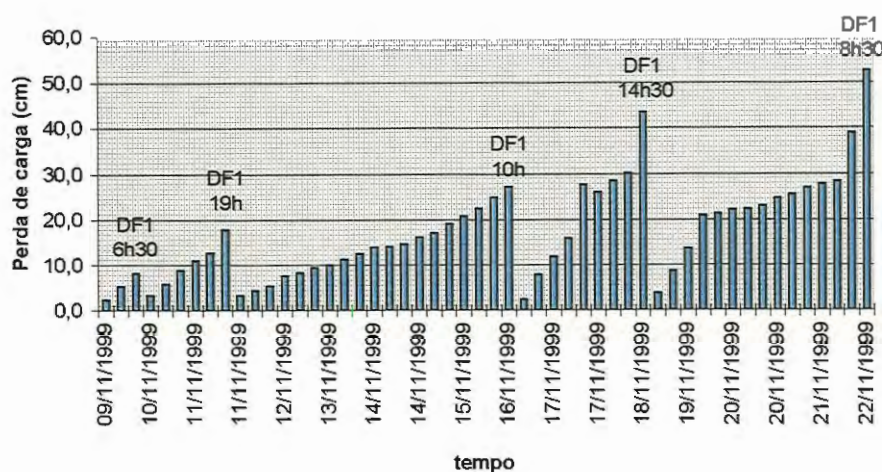


FIGURA G.5a: Perda de carga (cm) no meio granular do FA1 - taxa de filtração de 170 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 09/11/1999 a 22/11/1999 (1a. Carreira do FA1)

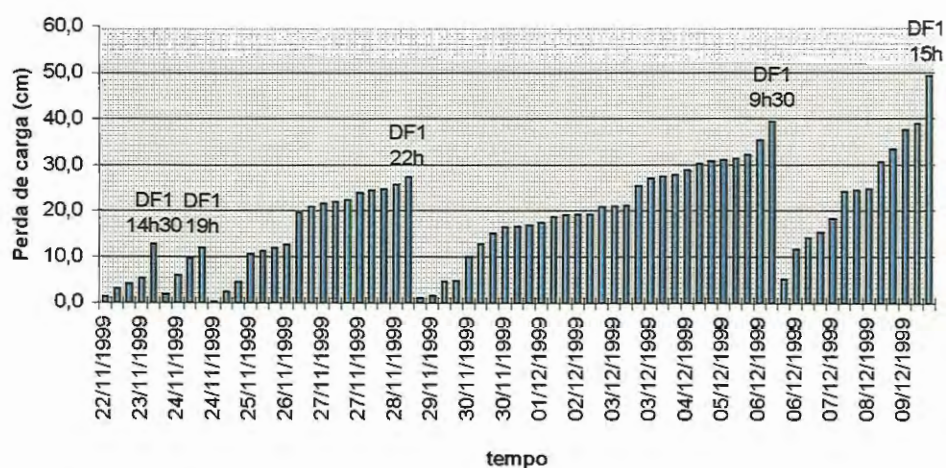


FIGURA G.5b: Perda de carga (cm) no meio granular do FA1 - taxa de filtração de 170 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 22/11/1999 a 09/12/1999 (2a. Carreira do FA1)

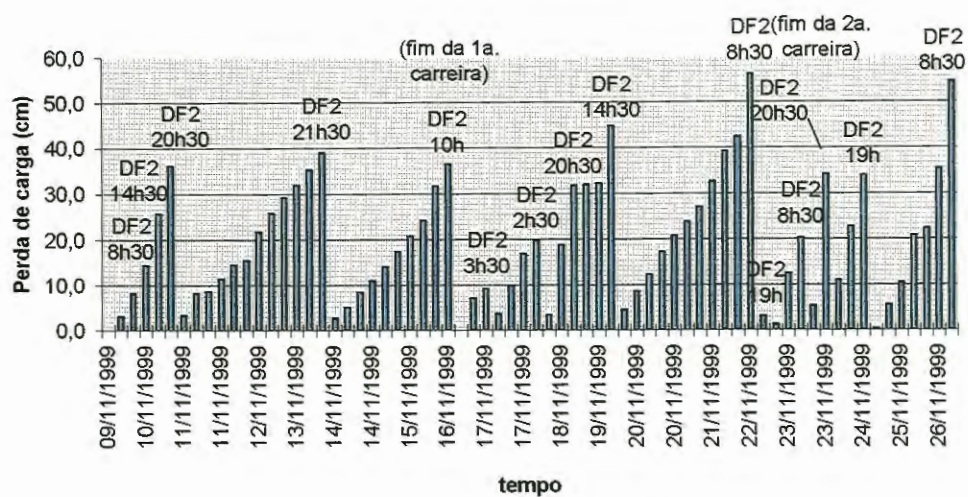


FIGURA G.6: Perda de carga (cm) no meio granular do FA2 - taxa de filtração de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 09/11/1999 a 26/11/1999

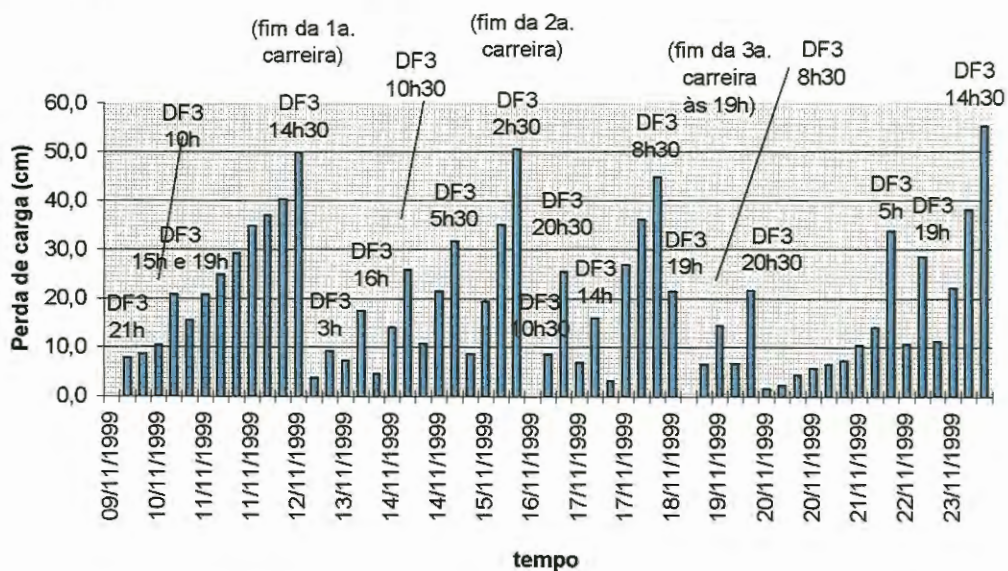


FIGURA G.7: Perda de carga (cm) no meio granular do FA3 - taxa de filtração de $170 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - período de 09/11/1999 a 23/11/1999.