

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DAS VALAS DE FILTRAÇÃO COMO
MÉTODO DE PÓS-TRATAMENTO DE
EFLUENTES ANAERÓBIOS**

Osvaldo Natalin Junior

**Campinas
2002**

**UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE**

6040402

Oswaldo Natalin Junior

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Saneamento e Ambiente.

• good
• good

19.01.04
 0383X-1

CHAMADA 11/11/11
N191a
EX
NMBD BC/ 57350
IOC 16.117.04
D 4
IEÇO 11.00
ITA 08/04/04
CPD

CM00193E37-0

113 10 313527

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

N191a Natalin Junior, Osvaldo
Avaliação das valas de filtração como método de pós-
tratamento de efluentes anaeróbios / Osvaldo Natalin
Junior.--Campinas, SP: [s.n.], 2002.

Orientador: Bruno Coraucci Filho
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

1. Valas. 2. Engenharia sanitária. 3. Filtros e
filtração. 3. Esgotos. I. Coraucci Filho, Bruno. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Civil. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

AVALIAÇÃO DAS VALAS DE FILTRAÇÃO COMO
MÉTODO DE PÓS-TRATAMENTO DE
EFLUENTES ANAERÓBIOS

Osvaldo Natalin Junior

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho
Presidente e Orientador/ Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Carlos Gomes da Nave Mendes
Universidade Estadual de Campinas-Unicamp



Prof. Dr. Roque Passos Píveli
Universidade de São Paulo - USP

Campinas, 11 de dezembro de 2002

Aos meus pais e minha irmã pelo apoio e
amor que sempre me dedicaram

AGRADECIMENTOS

A Deus por mais esta oportunidade em minha vida.

Ao professor e amigo Dr. Bruno Coraucci Filho pela orientação, confiança, incentivo, apoio e ajuda constante nas diversas fases deste trabalho.

Aos meus pais Osvaldo e Anisia, minha irmã Juliane Cristhine e familiares pelo amor, apoio, confiança e crédito que sempre me dedicaram.

A FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - pelo auxílio financeiro, contra partida e bolsa para a execução desta pesquisa e ao FINEP, CNPq e Caixa Econômica Federal pelo auxílio financeiro.

Ao programa de pós-graduação do Departamento de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil/UNICAMP e ao CESET/UNICAMP pela infra-estrutura oferecida.

Aos professores da área de concentração de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil/UNICAMP, em especial ao Prof. Dr. Edson Abdul Nour, a Prof. Dra. Eglê Novaes Teixeira, ao Prof. Dr. Carlos Gomes da Nave Mendes, ao Prof. Dr. Rubem Bresaola Júnior, ao Prof. Dr. José Roberto Guimarães, ao Prof. Dr. Roberto Figueiredo Feijó, Prof. Dr. Ricardo Isaac, Prof. Dra. Rozely Ferreira dos Santos e ao professor do Departamento de Recursos Hídricos Prof. Dr. Evaldo Coiado pela amizade e incentivo constantes.

Aos membros da banca de Qualificação Professores: Prof. Dr. Carlos Gomes da Nave Mendes, Prof. Dr. Rubem Bresaola Júnior e Prof. Dr. Roberto Figueiredo Feijó.

À empresa Águas de Limeira, pelo espaço fornecido para a montagem do sistema de valas de filtração e instalações acessórias, bem como ao funcionário Aparecido Donizeti Conrado pela amizade e ajuda em todas as fases deste trabalho.

Aos amigos Dr. Ronaldo Stefanutti e Silvana Turolla Broleze pela confiança e auxílio em todas as fases desta pesquisa.

Aos amigos da graduação em Engenharia Civil/UNICAMP e em especial ao Rodrigo Rodrigues, ao Raul Sandoval e ao Ricardo Curti.

Aos amigos do mestrado em Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil/UNICAMP: Ricardo Sthalschimit, Gustavo Silva, Alexandre Pansani, Patrícia Mazzante, Edmar Santos, Adriano Toneti, Luiz Klusner, Rosiléa, Renata, Fabião, Sandra, Ângela, Carolina Farah, Andréia, Tito, Sérgio, Noêmia, Carlão, Marcelo e ao casal Dr. Marcos e Marta Pires.

A todos estagiários do laboratório do CESET que auxiliaram na fase de análises das amostras de efluentes.

Aos amigos jalesenses: Rogério Zupirulli, Wendel Neves, Marçal Rizzo, Giancarlo, José Abraão, Fábio Aguera, Osmério Pupim, Marcos, André Matsukawa, André Belon, Enadja Barnabé, Luciane Coser, Adriano Fais e aos irmãos Cid e Max Xavier.

A Diretoria de Qualidade & Sistemas da Construtora Andrade Gutierrez pelo apoio na fase final desta pesquisa.

E a todos que sempre me apoiaram e confiaram na realização desta.

“Deus, sempre perdoa; os Homens,
às vezes; a Natureza, jamais.”

Papa João Paulo II

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	4
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	15
RESUMO.....	18
1. INTRODUÇÃO.....	19
2. OBJETIVOS.....	22
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
3.1. SISTEMAS ANAERÓBIOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	23
3.1.1. TANQUES SÉPTICOS.....	27
3.1.2. FILTROS ANAERÓBIOS.....	33
3.2. FILTRAÇÃO BIOLÓGICA EM MEIO FILTRANTE DE AREIA.....	35
3.3. SISTEMAS DE VALAS DE INFILTRAÇÃO E FILTROS DE AREIA.....	36
3.4. SISTEMAS DE VALAS DE FILTRAÇÃO.....	41
3.4.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DE VALAS DE FILTRAÇÃO.....	41
3.4.2. APLICAÇÃO DAS VALAS DE FILTRAÇÃO.....	43
3.4.3. OPERAÇÃO DAS VALAS DE FILTRAÇÃO.....	44

3.4.4. TAXAS DE APLICAÇÃO EM VALAS DE FILTRAÇÃO.....	45
3.4.5. CAMADA DE AREIA EM VALAS DE FILTRAÇÃO.....	45
3.5. EFICIÊNCIA, VANTAGENS E INCONVENIENTES DO SISTEMAS DE FILTROS BIOLÓGICOS TENDO COMO MEIO SUPORTE AREIA.....	46
3.6.COMPORTAMENTO HIDRODINÂMICO.....	50
4. METODOLOGIA.....	58
4.1 ASPECTOS CONSTRUTIVOS.....	59
5. RESULTADOS.....	76
5.1. TESTE HIDRODINÂMICO COM TRAÇADOR NaCl.....	77
5.2. ABERTURA DAS VALAS.....	84
5.3. AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS.....	88
5.3.1. VALORES DE pH.....	88
5.3.2. ALCALINIDADE TOTAL.....	91
5.3.3. FÓSFORO.....	93
5.3.4. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO – DQO.....	96
5.3.4.1. DQO _{TOTAL}	96
5.3.4.2. DQOFILTRADA.....	99
5.3.5. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO – DBO.....	101
5.3.5.1. DBOTOTAL.....	101
5.3.5.2. DBOFILTRADA.....	104
5.3.6. NITROGÊNIO.....	106
5.3.7. COLIFORME TOTAL E <i>e. coli</i>	113
5.3.8. – ST, STF, STV, SST, SSF e SSV.....	116
5.3.8.1. SÓLIDOS TOTAIS, SÓLIDOS TOTAIS FIXOS E SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS – ST, STF e STV.....	116

5.3.8.2. SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS, SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS E SÓLIDOS SUSPENSOSVOLÁTEIS – SST, SSF e SSV.....	122
5.4 - EFICIÊNCIA DO SISTEMA FILTROS ANAERÓBIOS E VALAS DE FILTRAÇÃO.....	128
5.5 - AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO EFLUENTE ANAERÓBIO E DAS VALAS DE FILTRAÇÃO.....	131
5.6 - DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DO CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE TANQUE SÉPTICO E VALA DE FILTRAÇÃO.....	132
6. CONCLUSÕES.....	135
7. RECOMENDAÇÕES.....	138
8. ANEXOS.....	140
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	168
ABSTRACT.....	175

LISTA DE TABELAS

		Página
Tabela 3.1	Faixas prováveis de remoção de poluentes, conforme tipo de tratamento, considerado em conjunto com tanques sépticos (em %)	30
Tabela 3.2	Valores da eficiência do tratamento de esgoto doméstico em tanques sépticos variando-se o TDH (Tempo de Detenção Hidráulico)	32
Tabela 3.3	Valores do TDH do esgoto doméstico, por faixa de contribuição diária	33
Tabela 5.1	Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (T_m), variância (σ^2), variância adimensional (σ_θ^2) e o número de dispersão ($D/\mu L$) para a taxa hidráulica de $25 \text{ L/m}^2 \cdot \text{dia}$ e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m)	79
Tabela 5.2	Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (T_m), variância (σ^2), variância adimensional (σ_θ^2) e o número de dispersão ($D/\mu L$) para a taxa hidráulica de $20 \text{ L/m}^2 \cdot \text{dia}$ e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m)	79
Tabela 5.3	Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (T_m), variância (σ^2), variância adimensional (σ_θ^2) e o número de dispersão ($D/\mu L$) para a taxa hidráulica de $25 \text{ L/m}^2 \cdot \text{dia}$ e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m)	79
Tabela 5.4	Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (T_m), variância (σ^2), variância adimensional (σ_θ^2) e o número de dispersão ($D/\mu L$) para a taxa hidráulica de $25 \text{ L/m}^2 \cdot \text{dia}$ e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m)	80

Tabela 5.5	Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (T_m), variância (σ^2), variância adimensional (σ_θ^2) e o número de dispersão ($D/\mu L$) para a taxa hidráulica de $30\text{L/m}^2.\text{dia}$ e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m)	80
Tabela 5.6	Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (T_m), variância (σ^2), variância adimensional (σ_θ^2) e o número de dispersão ($D/\mu L$) para a taxa hidráulica de $30\text{L/m}^2.\text{dia}$ e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m)	80
Tabela 5.7	Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (T_m), variância (σ^2), variância adimensional (σ_θ^2) e o número de dispersão ($D/\mu L$) para a taxa hidráulica de $35\text{L/m}^2.\text{dia}$ e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m)	80
Tabela 5.8	Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (T_m), variância (σ^2), variância adimensional (σ_θ^2) e o número de dispersão ($D/\mu L$) para a taxa hidráulica de $35\text{L/m}^2.\text{dia}$ e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m)	81
Tabela 5.9	Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (T_m), variância (σ^2), variância adimensional (σ_θ^2) e o número de dispersão ($D/\mu L$) para a taxa hidráulica de $40\text{L/m}^2.\text{dia}$ e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m)	81
Tabela 5.10	Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (T_m), variância (σ^2), variância adimensional (σ_θ^2) e o número de dispersão ($D/\mu L$) para a taxa hidráulica de $40\text{L/m}^2.\text{dia}$ e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m)	81
Tabela 5.11	Resultados dos parâmetros hidrodinâmicos para a taxa hidráulica de $20\text{L/m}^2.\text{dia}$	82
Tabela 5.12	Resultados dos parâmetros hidrodinâmicos para a taxa hidráulica de $25\text{L/m}^2.\text{dia}$	82
Tabela 5.13	Resultados dos parâmetros hidrodinâmicos para a taxa hidráulica de $30\text{L/m}^2.\text{dia}$	82

Tabela 5.14	Resultados dos parâmetros hidrodinâmicos para a taxa hidráulica de 35L/m ² .dia	83
Tabela 5.15	Resultados dos parâmetros hidrodinâmicos para a taxa hidráulica de 40L/m ² .dia	83
Tabela 5.16	Faixa de valores de pH nas valas nas taxas estudadas	89
Tabela 5.17	Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L) nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração	92
Tabela 5.18	Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de Fósforo (mg/L) nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração	94
Tabela 5.19	Remoção de Fósforo (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas	94
Tabela 5.20	Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de DQO _{Total} nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração	97
Tabela 5.21	Remoção de DQO _{Total} (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas	97
Tabela 5.22	Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de DQO _{Filtrada} nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração	100
Tabela 5.23	Remoção de DQO _{Filtrada} (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas	100
Tabela 5.24	Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de DBO _{Total} nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração	102
Tabela 5.25	Remoção de DBO _{Total} (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas	102
Tabela 5.26	Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de DBO _{Total} nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração	105
Tabela 5.27	Remoção de DBO _{Filtrada} (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas	105

Tabela 5.28	Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de NTK, N-NH ₃ , N-org, NITRITO, NITRATO e N-total nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração	112
Tabela 5.29	Remoção de N-total (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas	112
Tabela 5.30	Média e DP dos valores de Coliformes Totais nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração	113
Tabela 5.31	Média e DP dos valores de <i>e. coli</i> nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração	114
Tabela 5.32	Remoção de Coliformes Totais (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas	114
Tabela 5.33	Remoção de <i>e. coli</i> (%) nas valas de filtração nas taxas estudadas	115
Tabela 5.34	Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de ST nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração	120
Tabela 5.35	Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de STF nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração	120
Tabela 5.36	Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de STV nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração	120
Tabela 5.37	Remoção de ST (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas	121
Tabela 5.38	Remoção de STF (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas	121
Tabela 5.39	Remoção de STV (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas	121
Tabela 5.40	Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de SST nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração	126
Tabela 5.41	Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de SSF nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração	126
Tabela 5.42	Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de SSV nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração	126

Tabela 5.43	Remoção de SST (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas	127
Tabela 5.44	Remoção de STF (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas	127
Tabela 5.45	Remoção de SSV (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas	127
Tabela 5.46	Remoção de Fósforo (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas	128
Tabela 5.47	Remoção de DQOtotal (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas	128
Tabela 5.48	Remoção de DQOfiltrada (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas	128
Tabela 5.49	Remoção de DBOtotal (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas	128
Tabela 5.50	Remoção de DBOfiltrada (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas	129
Tabela 5.51	Remoção de Coliformes Totais (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas	129
Tabela 5.52	Remoção de e.coli (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas	129
Tabela 5.53	Remoção de SST (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas	129
Tabela 5.54	Remoção de SSF (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas	129
Tabela 5.55	Remoção de SSV (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas	130
Tabela 5.56	Remoção de ST (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas	130
Tabela 5.57	Remoção de SSF (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas	130
Tabela 5.58	Remoção de SSV (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas	130

Tabela 5.59	Remoção de NTotal (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas	130
Tabela 5.60	Custo de implantação do sistema nas situações 1 e 2 estudadas	133
Tabela 1	Valores dos parâmetros analisados durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	141
Tabela 2	Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,25 m e taxa de aplicação 20 L/m ² .dia	147
Tabela 3	Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,50 m e taxa de aplicação 20 L/m ² .dia	149
Tabela 4	Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,75 m e taxa de aplicação 20 L/m ² .dia	151
Tabela 5	Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,25 m e taxa de aplicação 25 L/m ² .dia	153
Tabela 6	Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,50 m e taxa de aplicação 25 L/m ² .dia	155
Tabela 7	Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,75 m e taxa de aplicação 25 L/m ² .dia	157
Tabela 8	Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,25 m e taxa de aplicação 30 L/m ² .dia	159
Tabela 9	Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,50 m e taxa de aplicação 30 L/m ² .dia	160

Tabela 10	Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,75 m e taxa de aplicação 30 L/m ² .dia	161
Tabela 11	Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,25 m e taxa de aplicação 35 L/m ² .dia	162
Tabela 12	Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,50 m e taxa de aplicação 35 L/m ² .dia	163
Tabela 13	Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,75 m e taxa de aplicação 35 L/m ² .dia	164
Tabela 14	Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,25 m e taxa de aplicação 40 L/m ² .dia	165
Tabela 15	Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,50 m e taxa de aplicação 40 L/m ² .dia	166
Tabela 16	Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,75 m e taxa de aplicação 40 L/m ² .dia	167

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 3.1 Conversão biológica nos sistemas aeróbios e anaeróbios	27
Figura 3.2 Croqui de tanques sépticos	29
Figura 3.3 Croqui de filtros de areia cilíndrico superficial	37
Figura 3.4 Apresentação das Valas de Infiltração	38
Figura 3.5 Efeito da aplicação contínua de efluente em vala de infiltração em solos com diferente capacidade de absorção ao longo do tempo	40
Figura 3.6 Apresentação das Valas de filtração	42
Figura 3.7 Curva de distribuição do tempo de residência (DTR) normalizada	52
Figura 3.8 Curva C para entrada tipo função pulso	52
Figura 3.9 Representação do modelo da dispersão	54
Figura 4.1 Detalhe da frente de distribuição transversal na interface brita/areia	61
Figura 4.2 Distribuição Granulométrica da areia	64
Figura 4.3 Distribuição Granulométrica da brita	65
Figura 4.4 Esquema geral de implantação do sistema de valas de filtração e filtros anaeróbios na ETE Graminha – Limeira/SP	66
Figura 4.5 Tratamento preliminar em grade e caixa de areia	67
Figura 4.6 Detalhe da caixa de entrada do efluente bruto nos filtros anaeróbios e peneira estática	67

Figura 4.7	Detalhe dos filtros anaeróbios	68
Figura 4.8	Detalhe do sistema de reserva e distribuição do efluente anaeróbio constituído pela caixa de reserva (1000 L) e pela caixa de entrada (250 L) anterior às valas	68
Figura 4.9	Detalhes construtivos das valas de filtração	69
Figura 4.10	Detalhe das valas 0,25 e 0,50 m abertas manualmente	70
Figura 4.11	Detalhe do flange (PVC) no tubo de coleta	70
Figura 4.12	Detalhe da lona de revestimento em PVC, com tubo de coleta e flange colada à lona	71
Figura 4.13	Detalhe do tubo de coleta envolvido em brita com camada inferior de areia (espessura 0,03 m)	71
Figura 4.14	Detalhe da vala 0,50 m com lona de revestimento em PVC e tubo de coleta envolvido em brita	72
Figura 4.15	Vala 0,25 m, regularizada para receber tubo de distribuição envolvido em brita. Vala 0,50 m concluída	72
Figura 4.16	Vala 0,25 m com tubo de distribuição envolvido em brita e com 0,075 m de brita entre a geratriz inferior do tubo e a camada de areia	73
Figura 4.17	Valas 0,25 e 0,50 m terminadas, com lona 0,15 mm a ser aberta para cobertura final do sistema	73
Figura 4.18	Vala 0,75 m com lona PVC aberta	74
Figura 4.19	Vala 0,75 m com tudo de distribuição	74
Figura 4.20	Detalhe do tubo de distribuição com região de distribuição do efluente sobre camada de brita	75
Figura 5.1	Valas abertas com os pontos de abertura no 210° dia de operação	84
Figura 5.2	Biofilme no tubo de distribuição, na camada de brita e na camada de areia	85
Figura 5.3	Biofilme no interior do tubo de distribuição (1º Ponto)	85
Figura 5.4	Fungos na camada de brita e na lona de PVC	86

Figura 5.5	Valores de pH durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	89
Figura 5.6	Valores da Alcalinidade Total (mg CaCO_3 /L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	92
Figura 5.7	Valores de Fósforo (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	93
Figura 5.8	Valores de $\text{DQO}_{\text{Total}}$ (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	96
Figura 5.9	Valores de $\text{DQO}_{\text{Filtrada}}$ (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	99
Figura 5.10	Valores de $\text{DBO}_{\text{Total}}$ (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	101
Figura 5.11	Valores de $\text{DBO}_{\text{filtrada}}$ (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	104
Figura 5.12	Valores de NTK (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	109
Figura 5.13	Valores de N-NH_3 (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	109
Figura 5.14	Valores de N-org (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	110
Figura 5.15	Valores de Nitrito (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	110
Figura 5.16	Valores de Nitrato (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	111
Figura 5.17	Valores de N-Total (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	111
Figura 5.18	Valores de ST (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	118
Figura 5.19	Valores de STF (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	118

Figura 5.20	Valores de STV (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	119
Figura 5.21	Valores de SST (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	124
Figura 5.22	Valores de SSF (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	124
Figura 5.23	Valores de SSV (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração	125
Figura 5.24	Copos de Becker, em vista superior e lateral, com efluente anaeróbio e das valas na taxa 40 L/m ² .dia	131
Figura 1	Curva de Condutividade em função da Concentração de NaCl	143
Figura 2	Condutividade por tempo nas valas 0,25; 0,50 e 0,75 com taxa de aplicação de 20 L/m ² .dia	144
Figura 3	Condutividade por tempo nas valas 0,25; 0,50 e 0,75 com taxa de aplicação de 25 L/m ² .dia	144
Figura 4	Condutividade por tempo nas valas 0,25; 0,50 e 0,75 com taxa de aplicação de 30 L/m ² .dia	145
Figura 5	Condutividade por tempo nas valas 0,25; 0,50 e 0,75 com taxa de aplicação de 35 L/m ² .dia	145
Figura 6	Condutividade por tempo nas valas 0,25; 0,50 e 0,75 com taxa de aplicação de 40 L/m ² .dia	146

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

°C	Grau centígrado
%	Porcentagem
σ^2	Variância
σ_θ^2	Variância Adimensional
μS	Microsiemens
μm	Micrômetro
ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABR	<i>Anaerobic Baffled Reator</i>
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
cm	Centímetros
C	Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio (mg.O ₂ /L)
DBO _{filtrada}	Demanda bioquímica de oxigênio filtrável (mg.O ₂ /L)
DP	Desvio Padrão
DQO	Demanda química de oxigênio (mg.O ₂ /L)
DQO _{filtrada}	Demanda química de oxigênio filtrada (mg.O ₂ /L)
EPA	<i>Enviromental Protection Agency - US</i>
E.T.E.	Estação de Tratamento de Esgotos
g	Gramma

h	Hora
hab	Habitantes
kg	Quilograma
L	Litro
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
min	Minuto
NBR	Norma Brasileira
N	Nitrogen
N _{org}	Nitrogênio Orgânico
NO ₂	Nitrito
NO ₃	Nitrato
N-NH ₃	Nitrogênio Amoniacal
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
N _{Total}	Nitrogênio Total
P	Fósforo
OD	Oxigênio Dissolvido (mg.O ₂ /L)
pH	Potencial Hidrogeniônico
pol	Polegada
PVC	Policloreto de Vinila
SS	Sólidos Suspensos (mg/L)
SSF	Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)
SST	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)
ST	Sólidos Totais (mg/L)
STF	Sólidos Totais Fixos (mg/L)
STV	Sólidos Totais Voláteis (mg/L)
TDH	Tempo de Detenção Hidráulico
Tm	Tempo de Detenção Hidráulico Médio

TS

Tanque Séptico

UASB

Up Flow Anerobic Sludge Blanket

RESUMO

Natalin Junior, Osvaldo . **Avaliação das valas de filtração como método de pós-tratamento de efluentes anaeróbios**. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2002. 167 pp . Dissertação de Mestrado.

No presente trabalho de pesquisa foram estudadas três valas de filtração com 15 m de comprimento e 0,5 m de largura, revestidas com lona de PVC com 1,00 mm, com alturas da camada filtrante de areia igual a 0,25, 0,50 e 0,75 m, utilizando-se tubo de drenagem em PEAD - polietileno de alta densidade, com 0,10 m de diâmetro e instalados com inclinação de 1:300. Estas receberam efluente de quatro filtros anaeróbios de fluxo ascendente com recheio em anéis de bambu e operando com TDH igual a 3 horas. As valas de filtração estavam localizadas na ETE-Graminha na cidade de Limeira, SP e foram operadas durante um período de 497 dias, dividido em cinco períodos que corresponderam a aplicação das seguintes taxas hidráulicas: 20, 25, 30, 35 e 40 L/m².dia. Os valores de pH no efluente dos filtros anaeróbios e na saída das três valas ficaram no intervalo entre 6,00 e 8,00 na média. Os melhores valores de remoção de DBO_{Total} foram obtidos na vala 0,75 m na taxa 20 L/m².dia (90,19%); para DQO_{total} e fósforo a vala 0,50 m na taxa 40 L/m².dia foi a mais eficiente (95,35 e 94,71% respectivamente). A remoção de N_{Total} foi mais eficiente na vala 0,25 m na taxa 40 L/m².dia (70,17%). A vala 0,50 m na taxa 20 L/m².dia foi a mais eficiente na remoção de Coliforme Fecal (99,9955%) e a vala 0,75 m na taxa 30 L/m².dia foi a com melhor desempenho na remoção de *e. coli* (99,9959%). A remoção de Sólidos Suspensos Totais foi sempre superior a 80,72% nas valas. De uma maneira geral, o desempenho das valas de filtração como pós-tratamento de efluente anaeróbio foi eficiente na remoção de C, N e P com concentrações finais média, para todas as taxas, de 19,03, 25,68 e 1,92 mg/l respectivamente. Seu uso é uma alternativa viável como pós-tratamento de efluentes anaeróbios, compatível com as exigências da legislação brasileira e demonstrou durante toda a pesquisa ser de fácil operação.

Palavras chave: valas de filtração, esgoto sanitário, pós-tratamento anaeróbio, filtro de areia, NBR 7.229(1993), NBR 13.969(1997).

1. INTRODUÇÃO

No Brasil cerca de 80% dos esgotos não são tratados, constituindo-se em um dos principais problemas de saúde pública. Um dos grandes desafios é melhorar essa situação através de sistemas de tratamento que sejam razoavelmente eficientes e de baixo custo, sendo aplicáveis a pequenas ou médias comunidades. Pesquisas nesse sentido têm sido desenvolvidas no país, anteriormente de uma maneira desordenada e atualmente, com a composição das redes temáticas do PROSAB, de um modo mais organizado e objetivo, tentando-se evitar atividades repetitivas que desperdiçam recursos financeiros.

Os esgotos quando não tratados trazem sérios prejuízos aos corpos receptores e, quando tratados, devem atender aos padrões da legislação vigente de lançamento de despejos nos corpos hídricos receptores ou no solo.

Na ausência, total ou parcial, de serviços públicos de esgotos sanitários nas áreas urbanas, suburbanas e rurais exige-se a implantação de alguma forma de disposição de esgotos locais com o objetivo de evitar a contaminação do solo e da água. Em sua maioria, estas comunidades são também desprovidas de sistemas públicos de abastecimento de água e utilizam poços como fonte de suprimento de água, razão pela qual é necessário cuidados especiais para evitar a contaminação das águas subterrâneas.

Atualmente cerca de 25% das residências americanas (20 milhões de residências) utilizam sistemas de tratamento com tanque séptico e um tratamento

complementar (campos de disposição, ou valas de infiltração, ou valas de filtração ou filtros de areia – enterrados e subsuperficiais). Além das residências unifamiliares, conjuntos de residências e imóveis comerciais também utilizam estes sistemas de tratamento (EDWARDS & DE CARVALHO, 1998 e SCANDURA & SOBSEY, 1997).

Um dos sistemas de tratamento que tem sido pesquisado atualmente no Brasil é o que utiliza o processo anaeróbio, por ser geralmente de baixo custo e que pode gerar energia para ser reaproveitada. No entanto, esses ainda carecem de pesquisas para atingir um grau maior de eficiência. Dessa forma, há a necessidade de melhorar o efluente dos sistemas anaeróbios de tratamento através de outras unidades de pós-tratamento, enquadrando as valas de filtração e infiltração. Pretende-se com esta associação desenvolver um sistema compacto e de baixo custo, aplicável a residências isoladas e pequenas comunidades.

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, em 1992, aprovou um documento contendo compromissos para a mudança do padrão de desenvolvimento no século XXI, denominando-o Agenda 21. Este recomenda, como metas para a melhora de qualidade de vida da população, que se promova a redução da poluição causada pelo lançamento de esgotos urbanos nos corpos d'água, envolvendo as atividades como: implementar cobrança pelo uso da água e pelo lançamento de efluentes; estudar e difundir tecnologias de baixo custo para tratamento de esgotos; estudar tecnologias de reuso da água e impor obrigatoriedade do tratamento de esgotos para certas categorias de cidades. Neste contexto, sistemas como as valas de filtração no pós-tratamento de efluentes anaeróbios, torna-se uma alternativa viável por ser de baixo custo de implantação e operação e necessitando de pouca manutenção, bem como podendo ter seu efluente reutilizado em irrigação e usos não nobres.

As valas de filtração investigadas neste trabalho receberam efluente de filtros anaeróbios contendo como meio suporte anéis de bambu, também instalados na ETE Graminha. Para sistemas isolados de tratamento de efluentes domésticos pode-se

utilizar tanques sépticos e filtros anaeróbios como pré-tratamento às valas de filtração, como recomenda a NBR 13.969/1997.

2. OBJETIVOS

Objetivo geral:

- O estudo em escala real do funcionamento de valas de filtração, como unidades de pós-tratamento de efluentes de filtros anaeróbios.

Objetivo específico:

- A avaliação do comportamento de valas de filtração, como unidade de pós-tratamento de efluente de filtros anaeróbios, com variação da altura da camada filtrante de areia (0,25; 0,50 e 0,75 m) quando aplicadas as taxas hidráulicas variáveis de 20 a 40 L/m².dia (20, 25, 30, 35 e 40 L/m².dia).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Abordou-se nesta pesquisa os sistemas anaeróbios de tratamento de efluentes com seguinte disposição em sistemas de valas de filtração/infiltração, bem como conceitos de filtração biológica em meio suporte de areia e duas metodologias para ensaios hidrodinâmicos em reatores.

3.1. SISTEMAS ANAERÓBIOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

O processo anaeróbio baseia-se na utilização de microrganismos anaeróbios para a degradação de matéria orgânica. Esta degradação refere-se às reações que reduzem as dimensões de partículas, tornando-as solúveis ou, em nível molecular, quebrando cadeias ou ligações triplas ou duplas existentes. Os produtos finais do processo anaeróbio são metano e compostos inorgânicos, incluindo o dióxido de carbono e amônia (McCARTY, 1982).

MALINA (1992) cita que os principais microrganismos empregados no processo anaeróbio são as bactérias. Segundo SOUBES (1994), o número de espécies de microrganismos que coexistem em sistemas anaeróbios é grande; sendo que em um biodigestor foram identificadas mais de 130 espécies diferentes. Dentre estas, ocorre principalmente a presença de bactérias, protozoários e fungos.

Dependendo do tipo de bactéria, o tempo para ocorrer sua multiplicação por fissão binária pode variar de menos de 20 minutos até alguns dias. Essa divisão é influenciada por limitações ambientais como concentração de substrato, presença ou não de nutrientes e disponibilidade de espaço físico (METCALF & EDDY, 1991).

As reações que compõem o processo de digestão anaeróbia são numerosas e complexas, produzindo muitos produtos intermediários, decorrentes da microbiologia e bioquímica do processo anaeróbio. Segundo FORESTI (1987), as diversas etapas envolvidas na estabilização da matéria orgânica inicial realizam-se por grupos distintos de bactérias, mas que são dependentes entre si. O substrato inicial é utilizado por um grupo específico de bactérias que produzem compostos intermediários os quais são o substrato para um segundo grupo e assim sucessivamente até a estabilização desse substrato inicial.

Segundo Van HANDEL & LETTINGA (1994), o processo de digestão anaeróbia pode ser separado em quatro fases distintas:

- Hidrólise: o substrato orgânico é convertido a compostos de menor peso molecular pelas enzimas excretadas pelas bactérias fermentativas. As proteínas se degradam para formarem aminoácidos, os lipídeos são metabolizados em ácidos graxos de cadeia longa de carbono e glicerina, e os carboidratos são convertidos em açúcares solúveis (mono e dissacarídeos);
- Acidogênese: os compostos gerados na hidrólise são convertidos pelas bactérias anaeróbias a substâncias mais simples, tais como os ácidos graxos voláteis (acético, propiônico e butírico), álcoois e compostos simples (CO_2 , H_2 , NH_3 , H_2S);
- Acetogênese: Os produtos da acidogênese são convertidos em acetato, CO_2 e H_2 , compostos que depois serão substratos utilizados na etapa seguinte e na produção de metano. Dependendo do estado de oxidação do material

orgânico a ser convertido, a formação do ácido acético pode ser acompanhada pelo surgimento de CO_2 e H_2 . A pressão parcial do gás H_2 influencia significativamente a cinética desta etapa, e;

- Metanogênese: Fase que limita o processo de digestão anaeróbia, pois é a etapa mais lenta do processo. Exceção nos casos em que a hidrólise de um composto tenha velocidade significativamente pequena, como ocorre com os lipídios. O metano é produzido pelas bactérias metanogênicas acetotróficas, a partir da redução do ácido acético, e pelas bactérias metanogênicas hidrogenotróficas, a partir da redução do CO_2 pelo H_2 . As metanogênicas acetotróficas geralmente limitam a taxa de conversão dos compostos orgânicos a biogás.

Têm-se dois tipos de sistemas anaeróbios de tratamento de águas residuárias: os sistemas convencionais e os sistemas de alta taxa de carga orgânica a ser tratada. Como sistemas convencionais tem-se os digestores de lodo, filtros anaeróbios, tanques sépticos e lagoas anaeróbias. Nos sistemas de alta taxa destacam-se os reatores de manta de lodo ("UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket"), reatores compartimentados ("ABR - Anaerobic Baffled Reator") e reatores de leito expandido ou fluidificado.

Pode-se citar como vantagem do processo anaeróbio quando comparado ao processo aeróbio (CHERNICHARO, 2001):

- Baixa produção de sólidos biológicos, cerca de 5 a 10 vezes inferior à que ocorre nos processos aeróbios;
- O lodo biológico residual é um produto altamente estabilizado;
- Baixo consumo de nutrientes;
- Baixo custo de implantação;
- Baixo consumo de energia;
- Baixa demanda de área;

- Há produção de metano, gás combustível que pode ser utilizado; e
- O lodo anaeróbio mantém-se ativado por vários meses sem alimentação.

E como desvantagens:

- Partida, geralmente, demorada;
- As bactérias anaeróbias são susceptíveis à inibição por um grande número de compostos;
- Alguma forma de pós-tratamento é usualmente necessária;
- Possibilidade de geração de maus odores, porém controláveis; e,
- Remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória.

A Figura 3.1 ilustra esquematicamente algumas das vantagens da digestão anaeróbia em relação ao tratamento aeróbio, notadamente no que se refere à produção de gás metano e à baixíssima produção de sólidos.

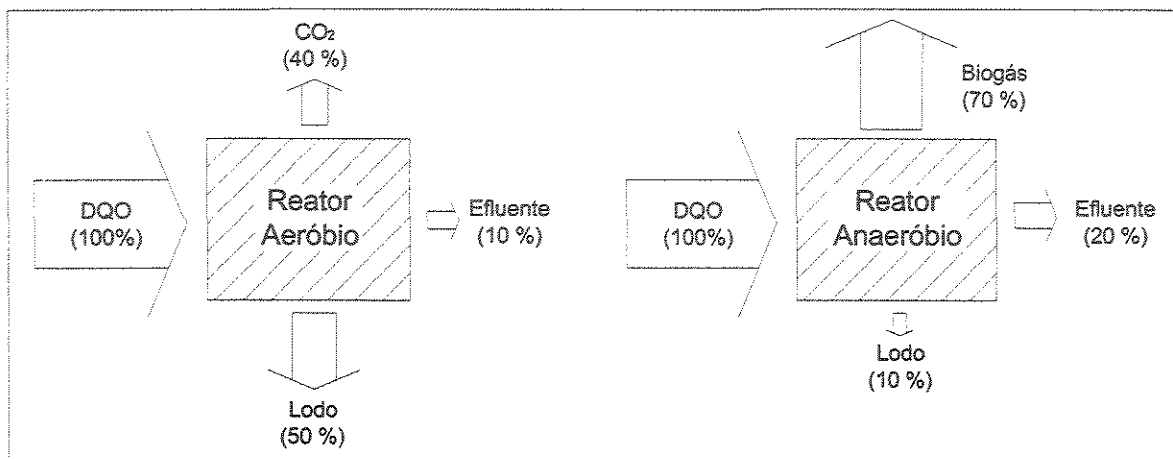


Figura 3.1 – Conversão biológica nos sistemas aeróbios e anaeróbios.

Fonte: Adaptado de CHERNICHARO, 2001

3.1.1. TANQUES SÉPTICOS

Tanques sépticos são câmaras convenientemente construídas para reter os despejos domésticos e/ou industriais, por um período de tempo especificamente estabelecido, de modo a permitir sedimentação dos sólidos e retenção do material graxo contido nos esgotos, transformando-os, bioquimicamente, em substâncias e compostos mais simples e estáveis (JORDÃO, 1995).

Segundo BATALHA (1989), o tanque séptico é o principal representante do sistema de disposição individual dos esgotos domésticos, muito utilizado em locais onde não se dispõe de rede de esgotos ou onde a presença desta rede coletora não se justifica, em razão da baixa densidade de ocupação do solo. Para o tanque séptico devem ser encaminhados todos os despejos domésticos provenientes de cozinha, lavanderias domiciliares, lavatórios, bacias sanitárias, bidês, banheiros, mictórios e ralos dos pisos de compartimentos internos. As impurezas, principalmente sólidos sedimentáveis (cerca de 0,1%) sedimentam e são parcialmente digeridas na fossa séptica.

Os tanques sépticos são normalmente utilizados para soluções individuais, precedendo a infiltração do efluente no terreno ou precedendo filtros anaeróbios. Para populações de até 1000 habitantes, as fossas sépticas são normalmente utilizadas precedendo filtros anaeróbios. Por terem remoção de lodo no máximo uma vez ao ano, os tanques sépticos devem ter um volume razoavelmente grande para armazenamento de lodo, o que limita a sua aplicação à faixa de população referida. O uso de tanques Imhoff, que são o tanque séptico com câmaras sobrepostas, também podem ser utilizados precedendo filtros anaeróbios, porém, para populações que não ultrapassem a 2000 habitantes (CHERNICHARO, 2001).

De acordo com BATALHA (1989), constata-se em tanques sépticos os seguintes resultados quanto à remoção:

- Demanda bioquímica de oxigênio (DBO): 40 a 60%;
- Demanda química de oxigênio (DQO): 30 a 60%;
- Sólidos sedimentáveis: 85 a 95%;
- Sólidos em suspensão: 50 a 70%;
- Graxas e gorduras: 70 a 90%.

Para o mesmo autor, o tanque séptico pode ser definido como uma unidade de sedimentação e digestão, de escoamento horizontal e contínuo. É projetada para ser construída com material estanque (impermeabilizado) para receber as águas residuárias, em especial as das residências. A velocidade e permanência do líquido no tanque séptico permite a separação da fração sólida da líquida, proporcionando digestão limitada da matéria orgânica e acúmulo dos sólidos. Isso permite que o líquido, com menos sólidos e mais clarificado, seja destinado a uma área de absorção ou infiltração. Sólidos sedimentáveis e lodos parcialmente decompostos acumulam-se no fundo do tanque onde ficam retidos e, pela digestão anaeróbia, se transformam em substâncias sólidas parcialmente mineralizadas e formadora de gases. O processo biológico devido ao estado séptico, que se registra na fração líquida do conteúdo da fossa, é de pouca importância. No interior da fossa flota uma espuma de material leve que ocupa a superfície do líquido. Esse material é constituído por sólidos em mistura

com gases, gorduras e material graxo (Figura 3.2). Sempre que possível deve-se evitar que o tanque receba material graxo e gorduras, instalando-se anteriormente caixas de gordura. O efluente do tanque séptico é ainda contaminado e, portanto, necessita de uma disposição adequada para não trazer risco à saúde ou ainda deve ser purificado, antes que alcance as águas superficiais, quando isso ocorrer.

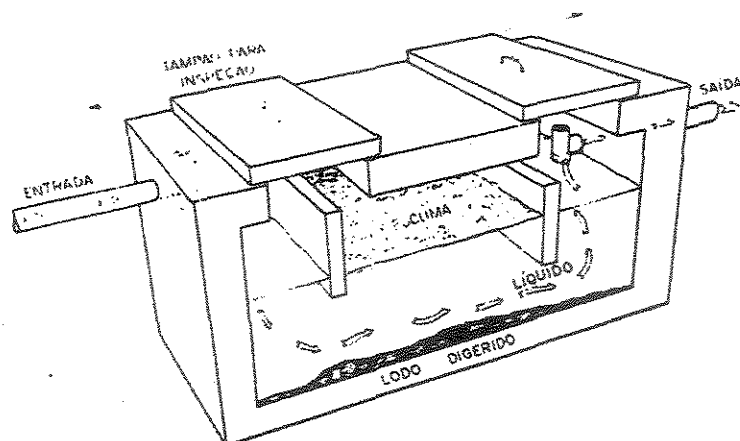


Figura 3.2 – Croqui de tanques sépticos (Fonte: Adaptado BATALHA, 1989).

A Norma NBR 13969/1997, recomenda o emprego do tanque séptico em conjunto com filtro anaeróbio anterior à disposição/pós-tratamento do esgoto doméstico. O efluente do tanque séptico tem a sua disposição condicionada à disponibilidade de área, profundidade do lençol freático, utilização e localização da fonte de água de subsolo utilizada para consumo humano e grau de permeabilidade do solo, podendo apresentar-se como sumidouro, valas de infiltração, valas de filtração e filtros de areia. A eficiência de sistemas conjugados do tanque séptico mais tratamento secundário é mostrada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Faixas prováveis de remoção de poluentes, conforme tipo de tratamento, considerado em conjunto com tanques sépticos (em %)

Parâmetros	Eficiência (%)		
	TS + Filtro anaeróbio	TS + Filtro de areia	TS + Valas de Filtração *
DBO	40 a 75	50 a 85	50 a 80
DQO	40 a 70	40 a 75	40 a 75
Sólidos Sedimentáveis	70 ou mais	100	100
Nitrogênio Amoniacal	-	50 a 80	50 a 80
Nitrato	-	30 a 70	30 a 70
Fosfato	20 a 50	30 a 70	30 a 70
Coliformes Fecais	-	99 ou mais	99,5 ou mais

TS – Tanque Séptico

* - taxa de aplicação = 100 L/m².dia

Fonte: Adaptado da NBR 13969/1997

Segundo HARRIS *et al.* (1998), os tanques sépticos devem ser construídos em concreto, polietileno ou pré-fabricados de fibra de vidro. Os sistemas biológicos aeróbios tratam melhor o esgoto que as unidades sépticas anaeróbias, apresentando melhor separação de sólidos. Porém, esses sistemas são mais caros para operação e manutenção e, em geral, estão mais sujeitos a problemas causados por mudanças na qualidade do esgoto ou mesmo por mudanças nas condições do ambientes. No Brasil é comum o uso do solo cimento para a construção de tanques sépticos

A NBR 7229/1993, recomenda construir o tanque séptico em dois ou três compartimentos, a fim de melhorar-se a remoção de sólidos; principalmente para tanques pequenos de até 30 pessoas. A proporção, em volume, entre estes compartimentos deve ser de 2:1 (entrada:saída) ou 2:1:1 (entrada:2º câmara:3º câmara) para os tanques prismáticos retangulares e os tanques cilíndricos. A profundidade deve estar entre 1,20 m e 2,80 m, sendo o diâmetro interno mínimo igual a 1,10 m e largura interna mínima igual a 0,80 m (no caso de tanques circulares e prismáticos, respectivamente). Pesquisas de SILVA (2001) mostram que os reatores compartimentados anaeróbios são eficientes no tratamento primário de efluentes domésticos.

Atualmente, onde utilizam-se os tanques sépticos como tratamento preliminar não se dispõe corretamente o lodo gerado. A quantidade de lodo gerado em uma residência é pequena, mas, quando se tem a aplicação em grande escala de sistemas descentralizados de tratamento de efluentes, a geração e disposição deste lodo torna-se um problema. Na maioria dos casos, a disposição do lodo é inconvenientemente lançada em corpos d'água, em valas, campos abertos ou no mar. Uma solução é a disposição em lagoas anaeróbias de tratamento de efluentes.

Estudos realizados por STRAUSS *et al* (1997), mostram que a alta concentração de amônia pode inibir o crescimento de algas nas lagoas facultativas, bem como torná-las anóxicas ou anaeróbias devido ao sobrecarregamento não previsto para as mesmas. Na China, cerca de 30 milhões de toneladas de lodo são coletados a cada ano e usados na agricultura e aquicultura sem um tratamento prévio, levando as autoridades locais a preocuparem-se com os riscos que está sujeita a população; com isso pesquisas em tecnologias de tratamento deste lodo estão sendo desenvolvidas. Um dos grandes problemas do lodo de tanques sépticos é a alta concentração de ovos de helmintos, que pode variar de 4.000/L (para lodo com idade de muitos anos) a 60.000/L (para lodo fresco, idade média de dias/semanas), bem como as demais características físico-químicas e bioquímicas (de 10 a 100 vezes maiores que o esgoto doméstico). As atuais alternativas para o tratamento deste lodo são leitos de secagem, lagoas anaeróbias e desidratação seguida por compostagem.

Estudo realizado por EDWARDS & DE CARVALHO (1998) mostrou que os tanques sépticos são resistentes aos produtos químicos comumente utilizados na limpeza de residências, mesmo aqueles designados como desinfetantes e surfactantes (detergentes, maioria dos produtos de limpeza, sabões para máquina de lavar louças/pratos, antimanchas). A concentração do produto requerida para inibir a atividade microbiológica é muito maior que a existente nas embalagens comerciais e que, ainda assim, serão diluídos para o uso residencial. Os testes foram realizados

com a medição de produção de gás metano em tanques sépticos com volumes iguais a 1.514 e 1.420 Litros. Segundo YANG *et al.* (1979) *apud* EDWARDS & DE CARVALHO (1998), a concentração total de surfactantes não ultrapassa 26 mg/L em efluentes domésticos; e para tal concentração, praticamente, não houve redução na eficiência do sistema para estudos com tanque sépticos e filtros anaeróbios. A concentração que causou uma redução de 50 a 60% na produção de gás metano, após 28 dias, foi de 60 mg/L.

PANSWAD & KOMOLMETHEE (1997), em estudo realizado na Tailândia, observaram que a intermitência na aplicação de efluente ao tanque séptico entre 24, 16, 12 horas por dia não afetou significativamente a eficiência do mesmo, mas quando se variou o tempo de detenção entre 90 e 22,5 horas a eficiência foi comprometida (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 – Valores da eficiência do tratamento de esgoto doméstico em tanques sépticos variando-se o TDH (Tempo de Detenção Hidráulico)

Parâmetros*	TDH			
	90 Hs	45 Hs	30 Hs	22,5 Hs
DQO	72,65 %	62,73 %	60,34 %	52,14 %
DBO	82,17 %	68,88 %	62,53 %	56,00 %
SS	88,27 %	74,12 %	68,09 %	53,61 %
NTK	8,92 %	6,58 %	5,99 %	2,69 %
N-NH ₃	7,45 %	5,75 %	5,59 %	2,36 %
N _{org}	34,77 %	20,07 %	12,36 %	8,08 %
Fósforo	6,01 %	4,4 %	2,45 %	3,24 %

* Média de 5 dias

Tanques sépticos para mais de 100 pessoas

Fonte: Adaptado de PANSWAD & KOMOLMETHEE (1997).

Segundo a NBR 7229/1993, o tempo de detenção hidráulico (TDH) em tanque séptico varia de acordo com o volume do tanque como mostrado na Tabela 3.3, sendo

seu volume mínimo igual a 1000 L. Nota-se que são baixos os TDH, se comparado com o estudo realizado por PANSWAD & KOMOLMETHEE (1997), justificando-se assim um correto tratamento e disposição deste efluente.

Tabela 3.3 – Valores do TDH do esgoto doméstico, por faixa de contribuição diária

Contribuição Diária (L)	TDH (Horas)
Até 1500 L	24
1501 - 3000	22
3001 - 4500	20
4501 - 6000	18
6001 - 7500	16
7501 - 9000	14
> 9000L	12

Fonte: Adaptado da NBR 7229/1993

3.1.2. FILTROS ANAERÓBIOS

Os filtros anaeróbios são tanques cilíndricos ou prismáticos, com enchimento de material inerte e podem ter fluxo ascendente, horizontal ou descendente. Nos filtros de fluxo ascendente, o líquido penetra pela base do filtro, distribuído por um fundo falso ou tubos perfurados, flui através do material de enchimento e sai pelo topo do filtro. Caso o fluxo seja descendente, o caminho é inverso e o leito pode ser submerso (afogado) ou não. A finalidade do material suporte é reter sólidos no interior do reator, seja através do biofilme formado na superfície do material suporte, seja através da retenção de sólidos nos interstícios do meio abaixo deste. Vários tipos de materiais têm sido

utilizados como meio suporte: quartzo, blocos cerâmicos, conchas de ostras, anéis plásticos, granito, britas, bambu, etc.

Nos filtros anaeróbios de fluxo ascendente o leito é necessariamente submerso (afogado). Atualmente há entendimento entre vários autores de que, em filtros anaeróbios com leito submerso (afogado), independentemente do sentido do fluxo, a estabilização da matéria orgânica deve-se principalmente aos sólidos acumulados nos interstícios do material de enchimento (CHERNICHARO, 2001)

Segundo METCALF & EDDY (1991), o filtro anaeróbio de fluxo ascendente é uma coluna preenchida com meio suporte, usado para o tratamento da matéria orgânica carbonácea. O fluxo fica em contato com o meio suporte, na qual as células bacterianas anaeróbias crescem retidas.

O tempo médio de residência das células é elevado, pois os microrganismos estão aderidos ao meio suporte, propiciando o bom desempenho do filtro anaeróbio - FIGUEIREDO *et al.* (1989).

A biomassa retida no reator pode apresentar-se em três formas distintas (CHERNICHARO, 1997):

- Na forma de uma fina camada de biofilme aderido às superfícies do material suporte;
- Na forma de biomassa dispersa retida nos interstícios do material suporte; e,
- Na forma de flocos ou grânulos retidos no fundo abaixo do material suporte (no caso de filtros anaeróbios de fluxo ascendente).

Fatores como temperatura, taxa de carregamento orgânico e tempo de detenção hidráulico interferem consideravelmente no desempenho do sistema. A duração do período de partida é definida pelo tempo médio necessário para se obter uma qualidade no efluente constante e uma massa de lodo que não varie nem

qualitativamente nem quantitativamente com o tempo (Van HAANDEL e LETTINGA, 1994 *apud* ROZON, 2000).

Na década de 1970, implantou-se na USP de São Carlos/SP, duas unidades de filtro anaeróbio (um dos primeiros que foram construídos no Brasil, em escala protótipo) para tratamento de águas residuárias industriais de conservas de carne por CAMPOS, RODRIGUES & FORESTI. Esses reatores tiveram sua partida sem a utilização de qualquer inóculo, e após três meses estavam funcionando em condições apropriadas. Foram operados durante cinco meses, verificando-se que no final desse período a remoção média de DBO foi de 70% para tempo de detenção hidráulico igual a 18 horas, obtendo-se efluente clarificado e baixos teores de sólidos sedimentáveis, não exalando maus odores (ROZON, 2000). Reatores anaeróbios de câmara única foram eficientes no tratamento de efluente de laticínio - CORAUCCI FILHO *et al.* (1998)

No estudo realizado por ROZON, 2000, com filtros anaeróbios de fluxo ascendente, tempo de detenção hidráulico variando de 7 a 9 horas, altura do meio filtrante (recheio de anéis de bambu e meio anel de bambu) de 0,80 m e recebendo efluente doméstico, o tempo necessário para a partida foi 6 meses de operação, obtendo no final deste período remoção de DBO próximo a 65%.

3.2. FILTRAÇÃO BIOLÓGICA EM MEIO FILTRANTE DE AREIA

Segundo JORDÃO (1995), os sólidos dos filtros biológicos são constituídos de microrganismos e matéria orgânica relativamente estáveis. Os fenômenos bioquímicos que ocorrem nos filtros biológicos não sofrem reduções perceptíveis no seu rendimento quando submetidos a variações bruscas de cargas; no entanto, o seu emprego depois da decantação primária e da remoção de gordura apresenta maior rendimento e é economicamente competitivo e aconselhável.

O meio filtrante é geralmente constituído de materiais inertes como pedregulhos, cascalhos, pedras britadas, escórias de alto forno, plástico e areia. A escolha depende principalmente da disponibilidade local do material e de seu custo de transporte.

METCALF & EDDY (1991) cita que o tratamento do efluente na camada de areia ocorre pela combinação de mecanismos físicos, biológicos e químicos. Os vazios (poros) da camada de areia funcionam como filtros anaeróbios quando submetidos a uma inundação contínua de efluente e como filtros aeróbios quando há intermitência na aplicação.

3.3. SISTEMAS DE VALAS DE INFILTRAÇÃO E FILTROS DE AREIA

O método mais comum de tratamento de efluentes domésticos que não requer o transporte de efluente a longas distâncias são os sistemas descentralizados; sendo empregados tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento. O tratamento geralmente consiste em uma primeira parte anaeróbia e seguinte disposição no solo (ZEEMAN & LETTINGA, 1999).

Geralmente os sistemas de pós-tratamento de filtros anaeróbios, tanques sépticos e o conjugado tanque séptico e filtro anaeróbio são os filtros de areia, sumidouros, valas de infiltração e valas de filtração. Segundo TCHOBANOGLIOUS & ANGELAKIS (1996), nos Estados Unidos e muitas partes do mundo, implementa-se a cada dia o uso de sistemas descentralizados de tratamento de efluentes, principalmente domésticos. Estes pequenos sistemas descentralizados mantêm a fração líquida e sólida do efluente próximo do ponto de origem, sendo que uma parte destas frações (lodo) pode ser transportada e centralizada para um ponto de tratamento e/ou reuso. Logo, torna-se importante a implementação de estratégias de grande escala relativas a estes pequenos projetos de reuso e disposição controlada destes efluentes.

Segundo a NBR 13963/1997, tem-se:

- Filtro de areia: tanque preenchido com areia e com fundo drenante, sendo o fluxo do efluente anaeróbio descendente, onde ocorre a remoção de poluentes tanto por ação biológica quanto física. Na Figura 3.3 ilustra-se um filtro superficial de areia cilíndrico, mas tem-se filtros prismáticos e subsuperficiais, onde o filtro fica enterrado/semi-enterrado no solo.

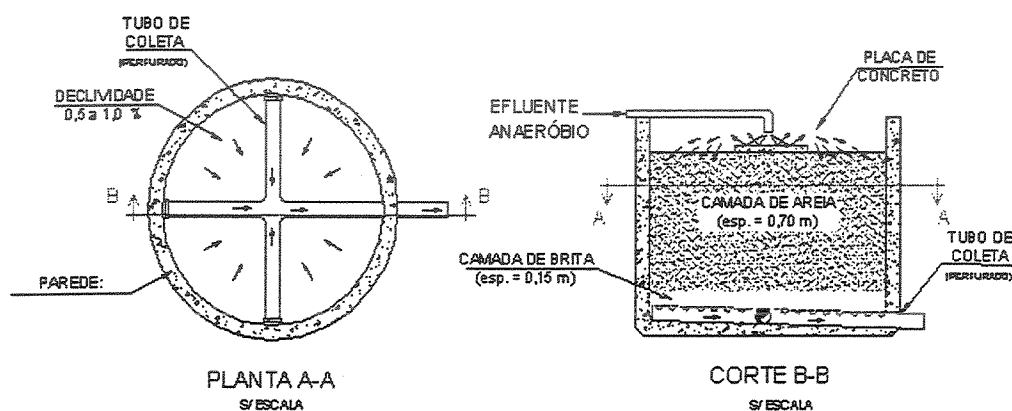


Figura 3.3 – Filtro de areia cilíndrico superficial

Fonte: Adaptado da NBR 13963/1997

- Valas de infiltração: é o processo de tratamento/disposição final de efluente anaeróbio que consiste na percolação do mesmo no solo, onde ocorre a depuração devido aos processos físicos (retenção de sólidos) e bioquímicos (oxidação). Esta é constituída de condutos não estanques (usualmente tubos perfurados) envolvidos com britas e alinhados no interior das valas. São recobertas com solo local e tem uma baixa declividade em sua extensão. O conduto distribui o efluente ao longo da vala, propiciando sua infiltração subsuperficial. Como utiliza o solo como meio filtrante, seu desempenho depende das características do solo, assim como seu grau de saturação por água. As valas de infiltração são aplicadas com vantagens,

que as camadas inferiores, ou quando o aquífero encontra-se em grande profundidade, propiciando maior proteção sanitária – Figura 3.4.

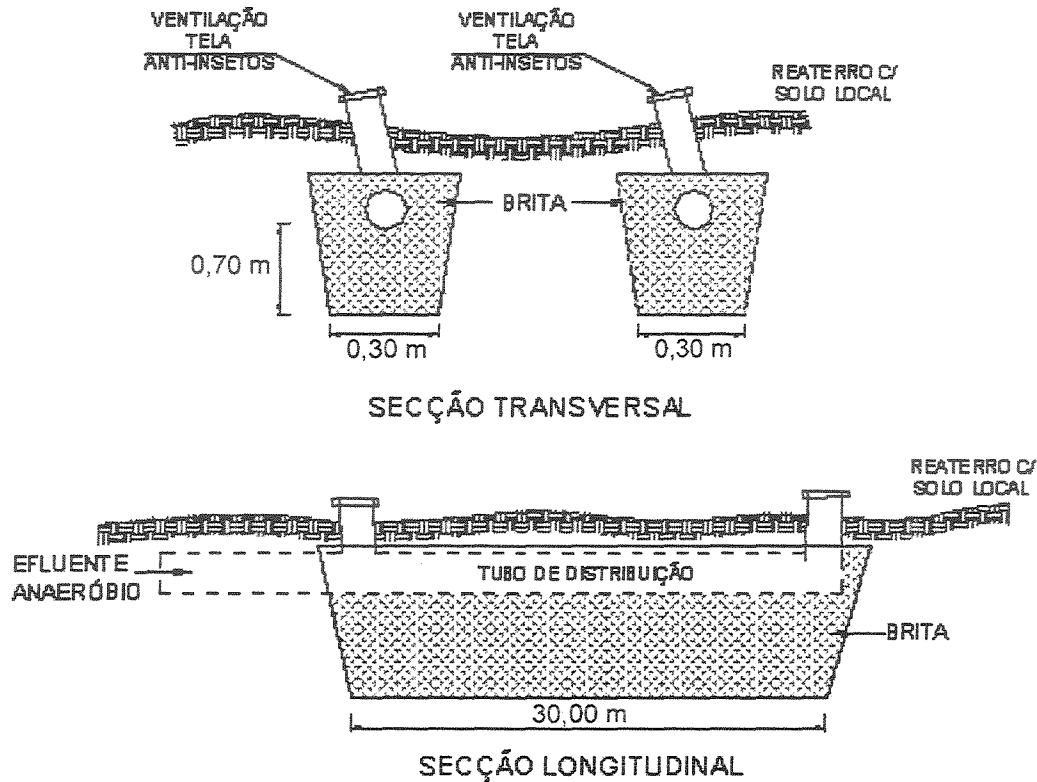


Figura 3.4 – Valas de Infiltração
Fonte: Adaptado da NBR 13963/1997

A camada de brita em valas de infiltração serve para promover um tratamento parcial do efluente, distribuir o efluente a ser infiltrado na superfície do solo, promover um temporário armazenamento do líquido durante picos de fluxo do efluente, amortizando a distribuição sobre o solo, diminuindo-se, assim, a probabilidade de rápida saturação do solo. Valas de infiltração que recebem efluentes de tanques sépticos, altura da camada filtrante de brita variando de 0,6 a 1,5 m. As valas devem estar enterradas aproximadamente 0,4 m abaixo da superfície do solo. (METCALF & EDDY, 1991).

ANDRADE NETO (1999) empregou valas de infiltração com sistema de distribuição em tijolos cerâmicos de oito furos no Rio Grande do Norte para o tratamento de esgoto doméstico, constando-se numa experiência bem sucedida com baixo custo de operação e instalação. Na cidade em que foi instalado (Parnamirim/RN), que é de topografia plana e os coletores atingiam grandes profundidades, a solução mais indicada para o destino de cada microbacia foi a adoção de tanques sépticos multifamiliares, com a disposição final dos efluentes em valas de infiltração, devido, principalmente, às características do solo local que favoreciam seu emprego. Houve a formação de um biofilme nos tijolos em forma de flocos e grânulos o que contribuiu para o tratamento do efluente nesta vala.

Para a disposição no solo deve-se proceder duas análises do local: a primeira é qualitativa e serve para determinar qual o tipo de solo e a profundidade do lençol freático e camadas impermeáveis. A segunda é quantitativa, que é a medida de capacidade de infiltração do solo, ou seja, sua permeabilidade. Solos arenosos (muito permeáveis) permitem a rápida passagem do efluente, sem o correto e suficiente tratamento do efluente; já solos argilosos são pouco permeáveis, não permitindo a absorção suficiente para o tratamento (Norma ABNT 13963/1997).

Solos que ao longo do tempo têm a sua capacidade de absorção reduzida podem chegar ao rápido entupimento, devido principalmente a alta concentração de sólidos no efluente de tanques sépticos; melhoram seu rendimento ao receberem efluentes das valas de infiltração, pois a remoção de sólidos é alta na camada de brita deste sistema (LOUDON, 1985).

Estudo realizado por METCALF & EDDY (1991), mostrou que, em valas de infiltração, a biomassa que serve como unidade de tratamento biológico forma-se também na superfície do solo (Interface camada de brita/solo). Utilizando-se dois tipos de solos na Califórnia/EUA, com diferentes capacidades de absorção, e após 80 dias de aplicação intermitente, constatou-se que a capacidade de absorção foi reduzida para

controlada pela natureza da biomassa e não pela permeabilidade do solo (Figura 3.5). Quando se interrompeu a aplicação do efluente, secando-se a biomassa na superfície do solo e retornou-se a aplicação do efluente, a capacidade de absorção do solo voltou ao seu valor original. Solos que contêm grande quantidade de argila, devido a pequena dimensão das partículas, não mudam esta característica mesmo após um longo período de aplicação de efluentes.

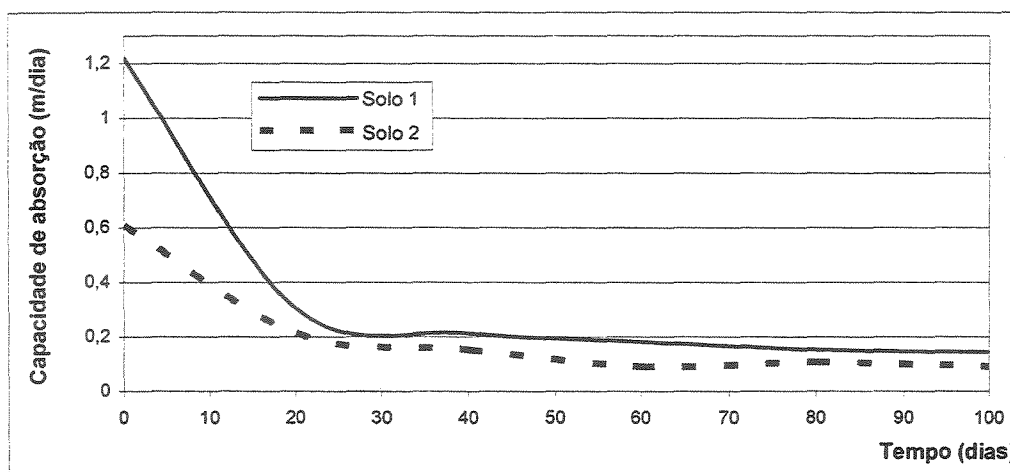


Figura 3.5 – Efeito da aplicação contínua de efluente em vala de infiltração em solos com diferente capacidade de absorção ao longo do tempo.
Fonte: Adaptado de METCALF & EDDY (1991).

KRISTIANSEN (1981) cita que a colmatção dos vazios do solo ocorre nos dois primeiros centímetros de solo após a camada de brita em valas de infiltração. Os principais fatores que contribuem para o entupimento são a quantidade de matéria orgânica no líquido a ser infiltrado no solo, tamanho dos poros (vazios do solo) quando comparado ao tamanho dos sólidos do líquido a ser infiltrado no solo, a atividade biológica nesta região do solo e o aumento de temperatura. Bolsas de gases que se formam nesta região e ficam presas nos vazios do solo é também um fator que contribuiu para o entupimento.

Segundo BUNNEL (1999), o uso de bombas dosadoras equalizadoras, que mantêm a vazão constante ao longo do dia, entre os tanques sépticos e as valas de infiltração promovem uma melhor distribuição do efluente ao longo do dia sobre o

Segundo BUNNEL (1999), o uso de bombas dosadoras equalizadoras, que mantêm a vazão constante ao longo do dia, entre os tanques sépticos e as valas de infiltração promovem uma melhor distribuição do efluente ao longo do dia sobre o sistema, amortizam picos de vazão e reduzem a probabilidade de entupimento dos vazios do solo. HARKIN *et al.* (1979) *apud* BUNNEL (1999) citam que a equalização do efluente ao longo do dia pode promover alternância entre condições aeróbias e anaeróbias favorecendo a nitrificação e desnitrificação.

3.4. SISTEMAS DE VALAS DE FILTRAÇÃO

Segundo a NBR13969/1997, tem-se as valas de filtração como uma vala escavada no solo, preenchida com meio filtrante de areia e provida de tubos de distribuição de efluente anaeróbio e coleta de efluente tratado. O sistema vala de filtração se diferencia do filtro de areia (Infiltração/Percolação) por não possuir área superficial exposta ao tempo, sendo construído no próprio solo, podendo ter suas paredes impermeáveis com lona impermeabilizante nas laterais e fundo, quando não deseja-se fuga do efluente para o solo, ou quando o lençol freático está pouco profundo.

3.4.1. CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DAS VALAS DE FILTRAÇÃO

A NBR 13.969/1997 salienta que as valas de filtração devem ser construídas observando os seguintes aspectos:

- os materiais devem ser dispostos conforme a Figura 3.6;
- deve-se prever uma sobrelevação do solo, na ocasião de reaterro da vala, de modo a evitar a erosão do mesmo devido às chuvas, dando-se uma declividade entre 3% e 6% nas suas laterais;

- nos locais onde o terreno tem inclinação acentuada, como nas encostas de morros, as valas devem ser instaladas acompanhando as curvas de nível;
- o campo de filtração deve possuir um sistema de drenagem das águas pluviais, de modo a não permitir a erosão da vala ou ingresso de águas nela; e,
- conforme as características geológicas do local, a vala de filtração deve ter as paredes do fundo e laterais protegidas com material impermeável, tipo mantas de PVC, de modo a não contaminar o aquífero.

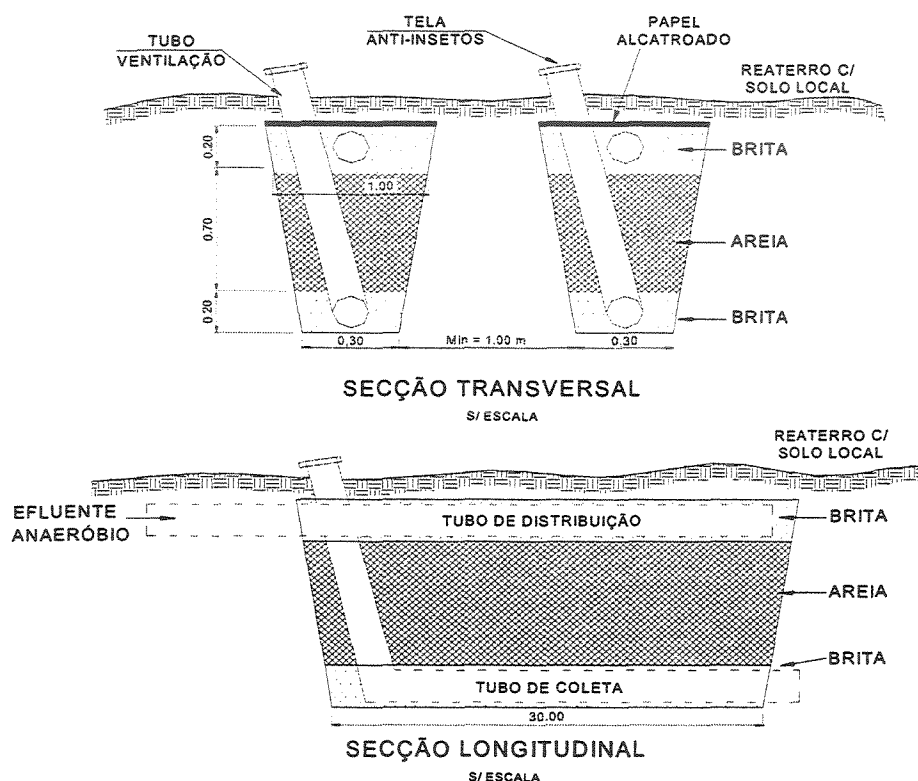


Figura 3.6 – Apresentação da vala de filtração.

Fonte: Adaptado - NBR 13969/1997.

Ainda de acordo com a NBR 13969/1997 a tubulação receptora deve ser envolvida em uma camada de brita n.º 1 e seguida da aplicação da camada de areia grossa com espessura não inferior a 0,50 m. A tubulação de distribuição deve receber a mesma camada de brita, sendo necessário também papel alcatroado ou similar antes

desta camada, ou seja, na interface solo de recobrimento com a camada de brita. As tubulações de distribuição e drenagem devem ter diâmetro 100 mm, no mínimo, e declividade entre 1:300 a 1:500.

Segundo JORDÃO (1995), deve-se adotar as seguintes recomendações:

- a largura do fundo das valas deverá ser de 0,50 m;
- a prática adota a espessura da camada de areia igual a 0,60 m; e,
- a declividade das canalizações deverá estar entre 1:300 e 1:500.

3.4.2. APLICAÇÃO DAS VALAS DE FILTRAÇÃO

O sistema de valas de filtração pode ser utilizado nos seguintes casos (CHERNICHARO & Von SPERLING, 1996):

- quando o solo ou as condições climáticas do local não recomendam o emprego de poço absorvente/sumidouro ou da vala de infiltração ou a sua instalação exige uma extensa área não disponível;
- a legislação sobre as águas dos corpos receptores exige alta remoção dos poluentes dos efluentes do tanque séptico / filtro anaeróbio;
- se for considerado vantajoso o aproveitamento do efluente tratado, sendo adotado como uma unidade de pós-tratamento, e;
- quando o lençol freático está próximo à superfície e quando o solo do local oferece suporte como elemento estrutural para o meio filtrante de areia.

Pelo fato de possuir um baixo custo e ser de fácil instalação, as valas de filtração tem ampla aplicação em áreas urbanas e rurais que não são atendidas por rede coletora, como em pequenas comunidades, condomínios residenciais e cidades litorâneas onde existe o problema de baixa declividade dos terrenos, dificultando a implantação dos sistemas de coleta de esgotos (CHERNICHARO, 2001).

3.4.3. OPERAÇÃO DAS VALAS DE FILTRAÇÃO

Para a conversão aeróbia da matéria orgânica e nitrificação, a quantidade de oxigênio deve ser igual ou maior que a demanda. O suprimento de oxigênio é por difusão de ar e convecção. Cargas intermitentes, quando comparadas com cargas contínuas, aumentam o transporte e a quantidade de oxigênio nos filtros de areia (Van BUUREN *et al*., 1999).

KRISTIANSEN (1981) recomenda o emprego de tubos de ventilação em valas de filtração, mas quando há o entupimento dos vazios da camada de areia filtrante este mecanismo torna-se pouco eficiente. Valas de filtração e infiltração construídas em solos não saturados de água e que permitam a passagem de oxigênio pelas laterais das valas não necessitam de tubos de ventilação. Em valas de filtração de 4,00 x 0,80 x 1,15 m (comprimento x largura x altura) com altura da camada filtrante de areia de 0,75 m e diâmetro efetivo da areia igual a 0,10 mm, observou-se o entupimento no primeiro centímetro de areia após a camada de brita envolvente do tubo de distribuição do efluente anaeróbio, prevalecendo nesta região a predominância de microrganismos anaeróbios.

Se após o tanque séptico for instalado uma bomba ou dispositivo de controle de vazão, o ambiente, no campo de disposição, é, geralmente, aeróbio e o tratamento biológico ocorre mais rapidamente que sobre condições anaeróbias; mas quando há alta carga orgânica e de sólidos o ambiente torna-se, geralmente, anaeróbio. Como ocorrem conversões biológicas na biomassa, precipitados minerais como sulfeto ferroso, sulfeto de alumínio e fosfato de cálcio são formados e estes precipitados podem acumular-se ou lixiviar-se dependendo das condições locais como pH e oxigênio dissolvido (METCALF & EDDY, 1991). Estes mesmos precipitados minerais, segundo KRISTIANSEN (1981), contribuem para o entupimento do solo, na interface solo/camada de brita em valas de infiltração.

Além da intermitência do fluxo de efluente, deve ser prevista alternância de uso para permitir a digestão do material retido no meio filtrante e remoção dos sólidos da superfície; portanto devem ser previstas no mínimo duas unidades de filtro (cada uma com capacidade plena de filtração).

3.4.4. TAXAS DE APLICAÇÃO EM VALAS DE FILTRAÇÃO

Segundo a NBR 13969/1997, a taxa de aplicação deve ser limitada a 100 L/m².dia.

Segundo a USEPA (1999), as taxas de aplicação de efluentes oriundas de tanques sépticos podem variar de 82 L/m².dia a 200 L/m².dia para filtros intermitentes de areia enterrados.

Experimentos realizados por CORAUCCI FILHO et al. (2000) em uma escala piloto de valas de filtração com 1,00 m de comprimento e alturas da camada de areia filtrante iguais a 0.25, 0.50 e 0.75 m, operando nas taxas hidráulicas de aplicação de efluente anaeróbio de 20 a 40 L/m².dia obtiveram um ótimo comportamento hidrodinâmico do sistema, principalmente do leque de distribuição, e foram excelentes na remoção de C, N e P. A partir destes resultados decidiu-se testar estas valas em uma escala real com 15 m de comprimento.

3.4.5. CAMADA DE AREIA EM VALAS DE FILTRAÇÃO

Segundo a NBR 13969/1997 tem-se como especificação do meio filtrante para ser utilizado para filtração:

- areia, com diâmetro efetivo (D_{10}) na faixa de 0,25 mm a 1,2 mm, com coeficiente de uniformidade (D_{60}/D_{10}) inferior a 4;

- pedregulho ou pedra britada (para uma melhor distribuição e coleta do efluente);

Segundo CHERNICHARO (2001), com uma camada filtrante de areia grossa tem-se baixo tempo de detenção do efluente, não atingindo o adequado grau de tratamento. No uso de areia fina, a quantidade de efluente tratado deve ser menor e os poros da camada de areia fina podem entupir mais rapidamente. Quando se tem alto coeficiente de uniformidade, ou seja, uma grande desigualdade no tamanho das partículas, elas estarão muito próximas entre si, o que diminui a porosidade, reduzindo assim a sua permeabilidade para o efluente.

A USEPA (1999) recomenda a altura do leito filtrante entre 0,45 e 0,90 m, para as valas de filtração, diâmetro efetivo entre 0,25 e 0,70 mm e coeficiente de uniformidade menor que 4,0.

METCALF & EDDY (1991) apud CHERNICHARO (2001) recomenda que não mais que 1% da areia deva ser mais fina que 0,13 mm.

Deve-se levar em consideração a disponibilidade de material local para diminuir o custo de implantação do sistema, mas sempre tendo como referência os parâmetros da Norma NBR 13969/1997.

3.5. EFICIÊNCIA, VANTAGENS E INCONVENIENTES DO SISTEMA DE FILTROS BIOLÓGICOS TENDO COMO MEIO SUPORTE AREIA

Como a maioria dos microrganismos e substâncias tóxicas encontrados em águas subterrâneas originam-se de efluentes de tanques sépticos, agricultura e aterros sanitários, sistemas eficientes na melhora do efluente de tanques sépticos/filtros anaeróbios devem ser estudados (CHRYSIKOPOULS & SIN, 1996). Neste contexto as valas de filtração, valas de infiltração e filtros de areia têm (AZEVEDO NETTO, 1984):

- Eficiência elevada: 90% de remoção de bactérias;
- Nitrificação elevada (processo biológico);
- Não há problema de moscas e insetos e não resultam lodos no processo; e,
- Como inconveniente, o tratamento exige grandes áreas e grande quantidade de areia, nem sempre existentes e economicamente viável.

CHRYSIKOPOULS & SIN (1996) relatam que vírus são parasitas intracelulares e podem ser classificados como partículas coloidais com tamanhos variando de 0,02 μm a 0,30 μm . Bactérias possuem tamanho entre 0,2 μm e 7 μm . A granulometria da areia esta na faixa de 700 a 1000 μm , da argila entre 0,02 μm a 1,20 μm e siltes entre 1,20 μm a 70 μm . Desta forma, há adsorção dos vírus e bactérias na matriz do solo e também passagem dos mesmos através do solo pela percolação da fase líquida neste meio, podendo atingir águas subterrâneas.

ANDREOLI (1996), adotando taxas de aplicação e profundidades de leito filtrante variáveis, utilizou-se de unidades pilotos de laboratório com alturas de 40, 80 e 120 cm de areia média da região litorânea do Espírito Santo, com ciclo operacional constituído de dois dias de aplicação e cinco de descanso, obteve resultados de eficiência de remoção DQO e SS variando entre 80% e 90%.

Remoção de 70% de nitrogênio total foi observada por VAN BUUREN *et al* (1999) através da recirculação do efluente de filtro de areia, com altura do meio filtrante entre 0,5 a 1,2 m, após tanque séptico com taxas de aplicação de 50 a 100 L/m².dia. Constatou-se também remoção de 90% de DQO, 95% de DBO e 99,90% de coliformes fecais nestas mesmas condições. Sem recirculação, a remoção de nitrogênio total foi de 30% e fósforo total igual a 40%.

Estudos em 30 sistemas de valas de filtração, com altura da camada filtrante de areia variando de 0,45 a 0,90m (diâmetro efetivo entre 0,25 e 0,70 mm e coeficiente de uniformidade menor que 4,0) e taxa de aplicação variando de 82 a 200 L/m².dia, que receberam efluentes de tanques sépticos nos Estados Unidos mostraram remoção de 98% de DBO_{Total} (redução de 160,2 para 2,17 mg/L), 78% de SST (redução de 72,9 para 16,2 mg/L), 90% de N-NH₃ (redução de 47,8 para 4,6 mg/L) e NTK (redução de 61,8 para 5,9 mg/L), 40% de N_{Total} (redução de 61,8 para 37,4 mg/L), 99% de Coliforme Total (redução de $6,82 \times 10^5$ para $7,30 \times 10^2$) e 99% de Coliforme Fecal (redução de $1,14 \times 10^5$ para $1,11 \times 10^2$) – USEPA (1999).

Segundo KRISTIANSEN (1981) o nitrogênio em efluentes de tanque séptico origina-se principalmente do material fecal, onde 80% está na forma de N-NH₄⁺ (Íon amônio) e 20% na forma de N_{org}. O mesmo autor encontrou, em uma vala de filtração com 0,75 m de camada de areia filtrante, NO₃ na areia em profundidade maior que 0,27 m e próximo aos tubos de ventilação do sistema. Devido às condições aeróbias e falta de energia disponível na região que continha nitrato, uma insignificante denitrificação ocorreu na vala estudada; sugerindo-se então uma aplicação intermitente de efluente do tanque séptico e recirculação do efluente nitrificado para aumentar a denitrificação no sistema.

Em valas de infiltração com 0,40 m de brita e 1,20 m de camada filtrante de areia, operando com e sem sistemas de controle da vazão contínua do efluente ao longo do dia teve-se eficiência na remoção de nitrogênio total de 40% para o sistema com vazão contínua e 48% para o outro (BUNNEL *et al.*, 1999).

Remoção de 79% de nitrogênio total para sistemas com controle da vazão contínua foram relatados por WOLF *et al* (1998) *apud* BUNNEL *et al* (1999), com concentrações de N -NO₃⁻ sempre inferiores a 6 mg/L.

MacMASTER (1995) *apud* VAN BUUREN (1999) utilizou pequenas partículas de espuma plástica como meio filtrante ao invés de areia em filtros. Com elevadas taxas

de DBO aplicada ($68\text{g/m}^2\cdot\text{d}$) houve a diminuição de caminhos preferenciais e maior penetração de oxigênio no sistema. Com a aeração do sistema (a 23°C), a remoção de coliformes fecais foi de 99,5% para a mesma taxa de aplicação de DBO.

A biomassa, comumente observada na camada de areia, mostrou-se eficiente na remoção de vírus (METCALF & EDDY, 1991). SCANDURA & SOBSEY (1997), estudaram quatro sistemas de tratamento constituídos por fossa séptica e valas de infiltração em solos arenosos da região costeira americana. Nestas regiões, o lençol freático eventualmente ficava próximo às linhas de distribuição e o clima era verão quente e úmido ($26\text{--}27^\circ$) com inverno moderado ($6\text{--}8^\circ\text{C}$) e com precipitações pluviométricas anuais de 1450 a profundidade do lençol freático era grande e as temperaturas no inverno eram menores. Entretanto, reduções expressivas da presença de vírus entéricos, bactérias e nutrientes puderam ser observadas na região cujo solo, conforme cita o autor, continha cerca de 15% de argila e o lençol freático estava a 1 m abaixo da linha de distribuição. A quantidade de vírus para valores de pH igual a 4,5-5,0 foram a metade que para pH igual a 6,0-6,5. O número de vírus decresce com a distância da linha de distribuição; a 35 metros de distância (horizontal) não há mais vírus em número significativo para causar infecções.

Na vala de filtração estudada por KRISTIANSEN (1981), no efluente de tanque séptico aplicado a vala haviam 10^6 coliformes fecais/100 ml de amostra e o efluente da vala tinha 10^2 coliformes fecais/100 ml de amostra. Um pequeno acréscimo na temperatura (5°C) contribuiu para um pequeno aumento na remoção de coliformes (10%). Nos dez primeiros centímetros da camada de areia notou-se a redução de 10^4 para 10^2 coliformes fecais/grama de areia seca, número este que se manteve até fundo da vala. Constatou-se também a maior concentração de bactérias nos primeiros 7,5 centímetros de areia (10^{10} coliformes fecais /grama de areia seca) sendo no primeiro centímetro da camada de areia houve colmatção dos poros.

RAHE *et al* (1978) *apud* SCANDURA & SOBSEY (1997) observaram o rápido movimento de bactérias (1,5 m/h) em solos (com 10% de declividade) saturados por valas de infiltração.

As variáveis que influenciam a redução de microrganismos são: temperatura, tempo de residência no tanque séptico, intensidade pluviométrica, saturação do solo, altura do lençol freático e distância horizontal das linhas de distribuição (HAIN & O'BRIEN, 1979 *apud* SCANDURA & SOBSEY, 1997).

Efluentes de filtros de areia após recirculação podem, na maioria das vezes, serem utilizados para irrigação por gotejamento (TCHOBANOGLIOUS & ANGELAKIS, 1996).

Sugere-se estudos deste efluente em irrigação do tipo hidroponia, como por exemplo, em rúcula e agrião.

3.6. COMPORTAMENTO HIDRODINÂMICO

Segundo LEVENSPIEL (1987), o reator tubular ideal é caracterizado por apresentar perfis de velocidade, temperatura e concentração uniformes em uma seção transversal. A concentração e a temperatura variam na direção axial, porém a mistura e/ou dispersão de substâncias nesta direção é desprezível, ou seja, todos os elementos de fluido possuem o mesmo tempo de residência no reator e não se misturam entre si. As moléculas de reagentes e produtos não se difundem de um elemento para outro, comportando-se como se fossem “pequenos tubos” escoando independentemente ao longo do reator.

Para efeito de projeto, é necessário saber por quanto tempo as moléculas permanecem no reator ou, mais precisamente, qual a distribuição dos tempos de residência (DTR) do fluido que está escoando, pois o desempenho e eficiência do

processo são afetados pela dispersão nas curvas de DTR - NAOR & SHINNAR (1963) *apud* NARDI (1997). É evidente que elementos do fluido que percorrem diferentes caminhos no reator podem apresentar diferentes tempos de residência. A distribuição desses tempos para a corrente de fluido que deixa o reator é chamada distribuição de idade de saída. A função de distribuição de tempo de residência de elementos de fluido, $E(t)$, é a fração de elementos do fluido na saída do reator que permanecem no sistema entre t e $t + dt$.

Ainda de acordo com LEVENSPIEL (1987), considera-se conveniente representar a DTR de tal maneira que a área sob a curva seja unitária, isto é:

$$\int_0^{\infty} E(t) dt = 1 \dots\dots\dots \text{eq.3.1}$$

Esse procedimento é chamado normalização da distribuição. Com essa representação, a fração de elementos do fluido na saída com idade (tempo passado pelo elemento do fluido dentro do recipiente) inferior a t_1 corresponde:

$$\int_0^{t_1} E(t) dt \dots\dots\dots \text{eq. 3.2}$$

Enquanto que a fração de idade superior a t_1 , representada pela área tracejada é:

$$\int_{t_1}^{\infty} E(t) dt = 1 - \int_0^{t_1} E(t) dt \dots\dots\dots \text{eq.3.3}$$

A curva E ou DTR é necessária na avaliação do grau de desvio da idealidade do escoamento. A Figura 3.7 mostra a DTR normalizada.

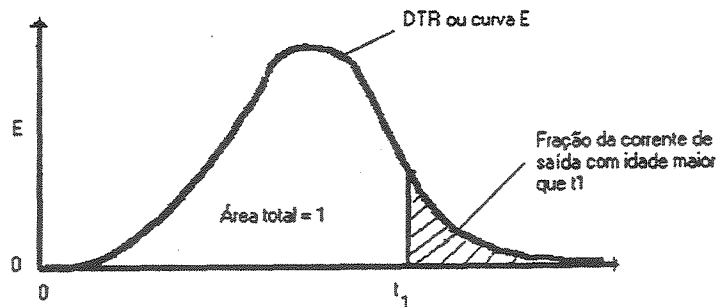


Figura 3.7 - Curva de distribuição do tempo de residência (DTR) normalizada.

Fonte: LEVENSPIEL (1987)

Segundo LEVENSPIEL (1987), quando um sinal de traçador tipo pulso ideal é adicionado à corrente de entrada, a resposta normalizada é chamada curva C, que está esquematizada na Figura 3.8.

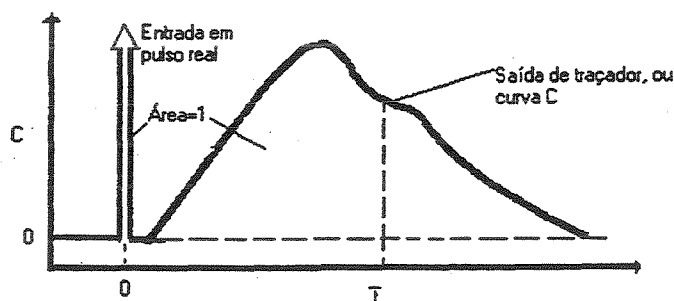


Figura 3.8 - Curva C para entrada tipo função pulso.

Fonte: LEVENSPIEL (1987)

Na maioria dos casos, quando se deseja projetar reatores, basta que se conheça a curva DTR do fluido que está passando pelo sistema. O conhecimento do DTR de elementos de fluido é utilizado para caracterizar o grau de não idealidade do escoamento.

A DTR pode ser determinada facilmente por um método de investigação amplamente usado: o teste de estímulo e resposta com o uso de traçadores, que consiste em provocar uma perturbação na entrada do sistema, através de uma

substância que não interfira no escoamento, e medir a resposta do sistema a este estímulo, ao longo do tempo. Através de análise da resposta, obtém-se informações sobre o sistema. A injeção do traçador pode ser feita de diversas formas, porém, de acordo com DENBICH & TURNER (1984) e LEVENSPIEL (1987), as duas mais usadas são as entradas tipo função pulso e função degrau.

No caso da entrada em pulso, DENBICH & TURNER (1984) definem que uma quantidade conhecida de traçador é injetada, na corrente afluyente, durante um período de tempo infinitamente pequeno em comparação com o tempo de residência médio e medindo-se a concentração deste traçador na saída do reator.

O estudo hidrodinâmico de um determinado sistema inclui tanto análise qualitativa das curvas DTR, como a análise quantitativa a partir do ajuste de modelos teóricos aos pontos experimentais, cujo objetivo é indicar o tipo de escoamento predominante ou a que tipo de escoamento ideal o sistema real se aproxima.

Muitos tipos de modelos podem ser usados para ajustar as curvas DTR experimentais e caracterizar o escoamento não ideal em reatores. As principais características que fazem o seu comportamento desviar do comportamento ideal devem estar reproduzidas com exatidão no modelo. Alguns modelos baseiam-se na analogia entre a mistura da corrente do escoamento real e processo de difusão. Outros ainda supõem varias regiões de escoamento ligadas em série ou em paralelo; alguns consideram uma série de misturadores ideais. A utilização destes modelos é útil no cálculo do desvio em sistemas reais, tais como os recipientes tubulares ou leitos de enchimento, em relação ao escoamento tubular, para os quais, neste caso, os modelos de parâmetro único representam adequadamente estes tipos de reatores (LEVENSPIEL, 1987).

Os principais modelos de parâmetro único, utilizados na caracterização do escoamento em reatores, de acordo com LEVENSPIEL (1987) são: modelo de reatores de tanques em série e modelo de dispersão (escoamento tubular disperso).

O modelo de tanques em série é um modelo de parâmetro único N, denominado número de reatores de mistura completa em série, e pressupõe que o fluido escoar através de uma série de reatores mistura completa de volumes iguais. O grau de mistura é caracterizado pelo número de tanques em série (N). Quanto maior o número de tanques, mais baixo é o grau de mistura e, no caso limite de um número de tanques infinitos, prevalece o escoamento pistonado.

O modelo de dispersão é usado para descrever reatores tubulares que sejam diferentes do ideal - Figura 3.9(A) , ou seja, não-ideais - Figura 3.9 (B). Neste modelo, considera-se uma dispersão axial, devido a diferentes velocidades de escoamento ou difusões moleculares e turbulentas. Esse modelo é caracterizado por um parâmetro único, o coeficiente de dispersão (D).

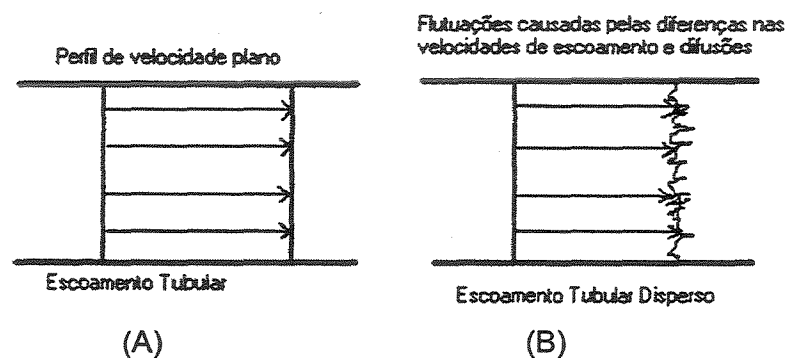


Figura 3.9 - Representação do modelo da dispersão.

Fonte: LEVENSPIEL (1987)

De acordo com a Lei de Fick, o coeficiente longitudinal ou axial de dispersão (m^2/s), que caracteriza o grau de mistura durante o escoamento na direção X, é dada pela seguinte equação:

$$\frac{\partial C}{\partial T} = D \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} \dots\dots\dots \text{eq.3.4}$$

Onde D = coeficiente longitudinal ou axial de dispersão (m^2 /s).

Na forma adimensional, em que $z=x/L$, onde L é o comprimento característico do reator, e $\theta = t/T_m = t\mu/L$, onde T_m é o tempo de residência médio (s) e μ é a velocidade média do escoamento (m/s), a equação diferencial básica que representa este modelo é:

$$\frac{\partial C}{\partial \theta} = \left(\frac{D}{\mu L} \right) \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \frac{\partial C}{\partial z} \dots \dots \dots \text{eq. 3.5}$$

O grupo dimensional $(D/\mu L)$, denominado número de dispersão do recipiente, mede a extensão da dispersão. Logo, de acordo com LEVENSPIEL (1987):

Para $(D/\mu L)$ próximo a 0 \Rightarrow escoamento pistonado (tubular).

Para $(D/\mu L) \rightarrow \infty \Rightarrow$ escoamento em mistura completa.

Se for fornecido um impulso ideal a um fluido escoando, a dispersão modificará este impulso. Essa dispersão pode ser de pequena ou grande intensidade. Para a dispersão de pequena intensidade a curva do traçador não muda sua forma significativamente à medida que ele passa pelo ponto de medida (durante o tempo que ele está sendo medido). Neste caso, resulta-se em uma curva C simétrica que representa uma família de curvas gaussianas (normais ou de erro com média e variância). Segundo LEVENSPIEL (1987), a variância adimensional (σ_θ^2) é dada de acordo com a equação a seguir, a partir da qual pode-se obter o valor do número de dispersão $(D/\mu L)$.

- $\sigma^2 = (\sum t_i^2 \cdot C_i \cdot \Delta t_i) / (\sum C_i \cdot \Delta t_i) - T_m^2 \dots \dots \dots \text{eq. 3.6}$
- $T_m = (\sum t_i \cdot C_i \cdot \Delta t_i) / (\sum C_i \cdot \Delta t_i) \dots \dots \dots \text{eq. 3.7}$
- $\sigma_\theta^2 = \sigma^2 / T_m^2 \dots \dots \dots \text{eq. 3.8}$
- Para pequena dispersão: $\sigma_\theta^2 = \sigma^2 / T_m^2 = 2(D/\mu L) \dots \dots \dots \text{eq. 3.9}$

onde:

- σ_θ^2 : variância adimensional;
- σ^2 : valor da variância;
- $D/\mu L$: número de dispersão;
- T_m : tempo de detenção hidráulico médio;
- T_i : tempo decorrido na coleta i;
- C_i : concentração do traçador no tempo i.

A dispersão de grande intensidade ocorre quando o traçador modifica a forma significativamente durante o tempo que ele passa pelo ponto de registro, a curva medida não é simétrica e apresenta um prolongamento em forma de cauda. Para a dispersão de grande intensidade serão considerados aqui dois casos, o sistema aberto e o fechado. No sistema fechado de grande intensidade, qualquer perturbação nas fronteiras do sistema (entrada e saída), causa mudanças nas características do escoamento. A variância adimensional (σ_θ^2) é dada de acordo com a equação a seguir:

$$\sigma_\theta^2 = \sigma^2/T_m^2 = 2(D/\mu L) - 2(D/\mu L)^2 \cdot (1 - e^{-D/\mu L}) \dots\dots\dots \text{eq. 3.10}$$

Segundo LEVENSPIEL (1987), a variância adimensional (σ_θ^2), para sistema aberto de grande intensidade, é dada de acordo com a equação a seguir:

$$\sigma_\theta^2 = \sigma^2/T_m^2 = 2(D/\mu L) + 8(D/\mu L)^2 \dots\dots\dots \text{eq. 3.11}$$

Os dois métodos de medida são “através da parede”, no qual o traçador é registrado ao passar pelo ponto de medida, e “de copo de mistura”, no qual coleta-se o traçador em pequenos copos e determina-se sua quantidade em cada copo. O método “através da parede” é adequado para as condições de contorno de recipiente aberto, enquanto que o método “copo de mistura” é adequado para recipiente fechado.

Um modelo hidrodinâmico que divide os reatores em várias regiões, dentre elas: mistura completa, tubular ideal e zonas mortas, considerando desvios de comportamento, decorrentes de recirculação interna, atrasos na resposta e determinação do tempo de residência médio foi proposto por REBHUN & ARGAMAN (1965). Os critérios utilizados pelos autores são baseados nas áreas sob a curva C em função de θ (curva normalizada), os quais são:

- T_p : tempo decorrido para o aparecimento do pico na curva;
- T_{10} : tempo que representa 10% da área sob a curva (a partir da origem);
- T_{90} : tempo que representa 90% da área sob a curva (a partir da origem).

Estes parâmetros combinados indicam o provável comportamento hidrodinâmico de um reator. As várias combinações desses critérios e seus significados, segundo REBHUN & ARGAMAN (1965), são:

- T_p/T_{DH} : indicam a extensão do comportamento pistonado (quanto mais próximo de 1,0 o fluxo se aproxima do pistonado);
- T_m/T_{DH} : valores menores que 1,0 indicam a presença de zona morta (perda de volume efetivo); e
- T_{90}/T_{10} : índice de dispersão de *Morril*; valores próximos de 1,0 indicam fluxo pistonado e valores próximos de 21,9 indicam fluxo de mistura completa ideal.

4. METODOLOGIA

A estação experimental onde se desenvolveu o trabalho de campo foi montada na Estação de Tratamento de Esgoto Graminha em área pertencente a empresa Águas de Limeira, em Limeira/SP. A instalação era constituída por um conjunto de quatro reatores cilíndricos como filtros anaeróbios com volume de 500 L cada, operando com tempos de detenção hidráulico de 3 horas, possuindo enchimento de anéis de bambu, seguido de vala de filtração modificada. O termo vala de filtração modificada foi empregado pois tinham-se várias alturas do meio filtrante e era revestido por lona impermeável nas laterais e fundo, que não são especificamente as recomendações da norma ABNT 13969/1997.

As valas estudadas tinham a camada de areia com 0.25, 0.50 e 0.75 m de espessura e aplicaram-se taxas hidráulicas na faixa de 20 a 40 L/m².dia (20, 25, 30, 35 e 40 L/m².dia) de forma contínua (24 horas por dia).

Na avaliação de desempenho do sistema, como pós-tratamento de efluente anaeróbio, foram analisados os seguintes parâmetros: pH, DBO (total e filtrada), DQO (total e filtrada), SST, SSF, SSV, ST, STF, STV, NTK, N_{org}, Nitrito, Nitrato, N_{Total}, Fósforo, Alcalinidade Total, Coliformes Fecais e *e. coli*. A frequência das amostragens foi quinzenal, com coleta no período da manhã, com posterior análise laboratorial. Foram coletadas amostras afluente e efluente das valas de filtração e dos filtros anaeróbios.

Para as análises laboratoriais utilizou-se o Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil/UNICAMP e do CESET/UNICAMP. Estas foram

baseadas nos métodos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1995).

No ensaio hidrodinâmico das valas de filtração, aplicou-se 100 ml de uma solução saturada de NaCl (300 g/L) na entrada de cada vala. Após a aplicação desta solução salina, procedeu-se a medição da condutividade na saída das valas, com coleta em copos, em intervalos regulares de 30 minutos com um condutivímetro digital de campo. De posse destes dados (condutividade em função do tempo) procedeu-se a análise do modelo hidrodinâmico proposto por LEVENSPIEL (1987) e REBHUN & ARGAMAN (1965) para a caracterização do escoamento do fluido nas valas.

4.1. ASPECTOS CONSTRUTIVOS

Um esquema geral de implantação do sistema filtros anaeróbios de fluxo ascendente, valas de filtração e dispositivos auxiliares é ilustrado na Figura 4.4. Nesta Figura nota-se que o efluente bruto, após tratamento preliminar, era bombeado para a peneira estática, passando para uma caixa de nível constante (caixa 500 L) que alimentava os quatro filtros anaeróbios. O efluente dos filtros anaeróbios era coletado em uma caixa de 500 L para ser bombeado para a caixa de reserva de efluente anaeróbio (caixa 1000L) e para a caixa de 250 L de nível constante, que alimentava as valas de filtração e por fim, o efluente das valas era descartado no riacho próximo sem o auxílio de bomba.

O sistema de tratamento anterior às valas de filtração (tratamento preliminar) tinha os seguintes dispositivos:

- 1) Grade (espaçamento entre barras de 10 mm) e caixa de areia – Figura 4.5;
- 2) Peneira estática (espaçamento 1,5 mm) e caixa de 500 L com nível constante para manutenção da vazão constante nos filtros anaeróbios – Figura 4.6;
- 3) Conjunto de Filtros anaeróbios (volume 500 L cada) – Figura 4.7; e

- 4) Caixa de 1000 L de reserva de efluente anaeróbio (equivalente a um dia de operação) e caixa de 250 L com nível constante para manutenção da carga hidráulica e vazão constantes nas valas de filtração – Figura 4.8.

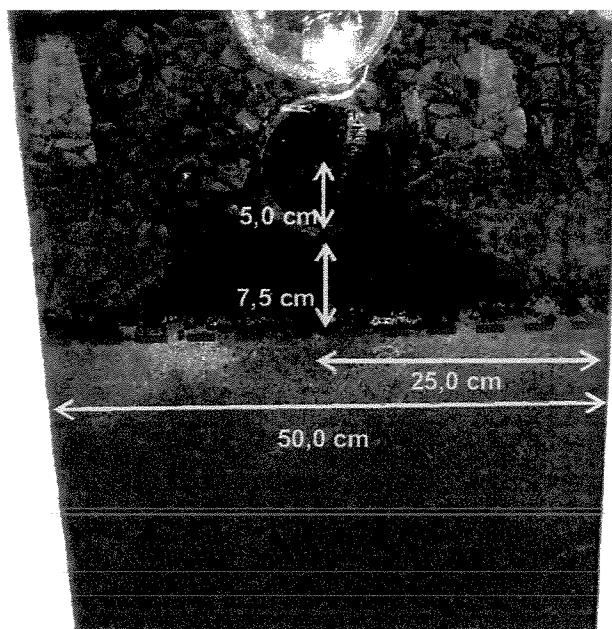
A construção das valas de filtração foi baseada na norma NBR 13969 /1997 que trata do projeto, da construção e da operação de sistemas de tanque séptico conjugado com filtro anaeróbio e dispositivo de disposição do efluente no solo, com modificações.

As valas de filtração tinham 15 m de comprimento, cada uma, devido a indisponibilidade local de área maior, e eram revestidas com lona impermeabilizante - Figura 4.9. Optou-se por uma lona de PVC com espessura de 1,0 mm, normalmente utilizada para aterros sanitários e impermeabilização de lagoas de tratamento de efluentes. Tomou-se o cuidado de escolher um material impermeável que fosse inerte ao efluente aplicado, não se degradasse em pouco tempo de uso, suportasse o peso de todos os materiais constituintes da vala e que não fosse perfurada pelas britas no fundo e nas laterais.

A importância da perfeita impermeabilização era para garantir que todo efluente aplicado às valas fosse coletado e com isso não houvesse perda para o solo local, o que poderia acarretar em possível contaminação do lençol freático que em épocas de chuva aflorava.

Cada vala tinha largura de fundo de 0,50 m e declividade longitudinal 1:300. Esta largura das valas, segundo CORAUCCI et al. (2000), em estudo em valas de filtração com 1 metro de comprimento, montadas em caixas de acrílico, com altura da camada filtrante de areia iguais a 0,25, 0,50 e 0,75 m, com taxas variando de 20 a 40 L/m².dia e declividade longitudinal do tubo de distribuição igual a 1:300, é suficiente para que a frente de distribuição transversal atinja totalmente a interface brita-areia, permitindo assim a interação do efluente com o meio filtrante, o que é desejável. Nota-se na Figura 4.1 que com 7,5 cm de brita entre a geratriz inferior do tubo de distribuição e a camada de areia (ou 12,5 cm entre o centro do tubo e a camada de areia) foi suficiente

para que a frente de distribuição transversal na brita atingisse por igual toda a superfície da camada de areia com largura de 50,0 cm (triângulo pontilhado em vermelho). Caso opte-se por uma vala de filtração com mais de 50,0 cm de largura, a distância entre o centro do tubo de distribuição e a camada de areia deverá ser maior, mantendo, como recomendação, a mesma proporção 12,5 : 25,0, ou seja, 1 : 2 (V:H).



**Figura 4.1 - Detalhe da frente de distribuição transversal na interface brita/areia –
Vista frontal da vala estudada por CORAUCCI et al (2000)**

O efluente do filtro anaeróbico era aplicado no tubo perfurado superior percolando através do leito composto de camadas de brita e areia até atingir o tubo inferior, sendo feita a amostragem no final.

A abertura das valas foi executada manualmente, sem escoras, pois o solo local garantia o não desmoronamento e as condições climáticas não indicavam chuva no momento da execução (Figura 4.10).

Na junção do tubo de coleta (tipo PVC para drenagem diâmetro 100 mm) com a lona de PVC, espessura 1 mm, utilizou-se um flange de PVC com as mesmas

características da lona de revestimento (Figura 4.11). Este flange foi colado à lona com adesivo plástico específico (Figura 4.12).

Após a lona de impermeabilização, colocou-se uma camada de 3 cm de areia para evitar que a brita da camada inferior, envolvente do tubo de coleta, perfurasse a lona (Figura 4.13). Após esta pequena camada de areia colocou-se o tubo de drenagem envolto a uma camada de brita (Figura 4.14).

Sobre a camada de brita envolvente do tubo de coleta havia a camada do meio filtrante (areia – classificação conforme NBR 6502/1995) com alturas de 0.25, 0.50 e 0.75 m (Figura 4.15).

Acima da camada do meio filtrante tinha-se a última camada de brita que envolvia o tubo de distribuição. Esta camada tinha 7,5 cm entre a geratriz inferior do tubo e a superfície regularizada de areia para garantir que, em nenhum ponto, o tubo entrasse em contato com a areia e para que a frente de molhamento atingisse totalmente a interface brita-areia - Figura 4.16. Este cuidado deveu-se aos ensaios realizados anteriormente por CORAUCCI et al. (2000) onde observou-se que o assentamento do tubo de drenagem sobre a brita permitiu a quebra de tensão superficial do líquido além de proporcionar diferentes caminhos para a percolação do efluente do filtro anaeróbio, o que é desejável para o sistema.

Após envolver o tubo de distribuição em brita e fechar as valas com a própria lona de PVC de espessura 1 mm, colocou-se mais uma lona plástica espessura 0,15 mm para garantir que não houvesse infiltração de águas pluviais no sistema (Figura 4.17). Na Figura 4.16 não se mostrou a lona plástica de 0,15 mm aberta.

Ilustra-se a vala com 0,75 m de altura da camada de areia filtrante nas Figuras 4.18 e 4.19.

Testou-se o tubo de distribuição com aplicação de água limpa por 3 horas. Somente o primeiro metro contribuiu efetivamente para a distribuição de água ao longo das três valas estudadas - Figura 4.20. Este teste baseou-se em estudos de CORAUCCI et al (2000) onde os resultados da aplicação de água limpa e de efluente de filtro anaeróbio foram semelhantes, em todas as vazões de projeto.

As características dos materiais empregados na construção das valas são descritas a seguir:

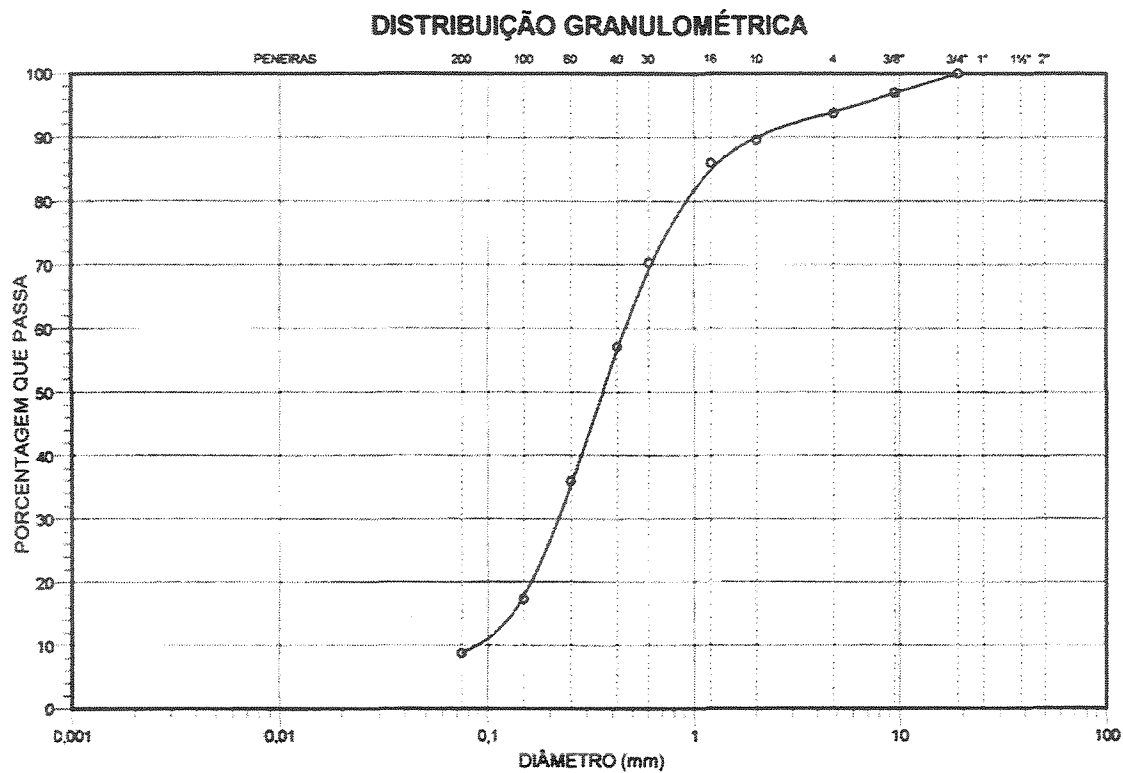
- Tubo de drenagem em PEAD, com 0,10 m de diâmetro;
- Manta em PVC, espessura 1,00 mm, para revestimento das valas; e,
- Manta Plástica Comum, espessura 0,15 mm para revestimento externo às valas.
- Areia:

Distribuição granulométrica da areia, cuja curva esta na Figura 4.2;

Diâmetro efetivo (D_{10}): 0,093 mm

Coefficiente de Uniformidade (U):

$$U = D_{60}/D_{10} = 0,420/0,093 = 4,516;$$



CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO			
		90,0%			10,0%			
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO	
0,0%	0,0%	26,9%	42,3%	20,7%	4,9%	5,1%	0,0%	
0,002		0,05	0,2	0,6	2	6	20	60
DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)								

Figura 4.2 – Distribuição granulométrica da areia

▪ Brita:

Distribuição granulométrica da brita, cuja curva esta na Figura 4.3;

Diâmetro efetivo (D_{10}): 9,600 mm

Coefficiente de Uniformidade (U):

$$U = D_{60}/D_{10} = 17,000/9,600 = 1,771;$$

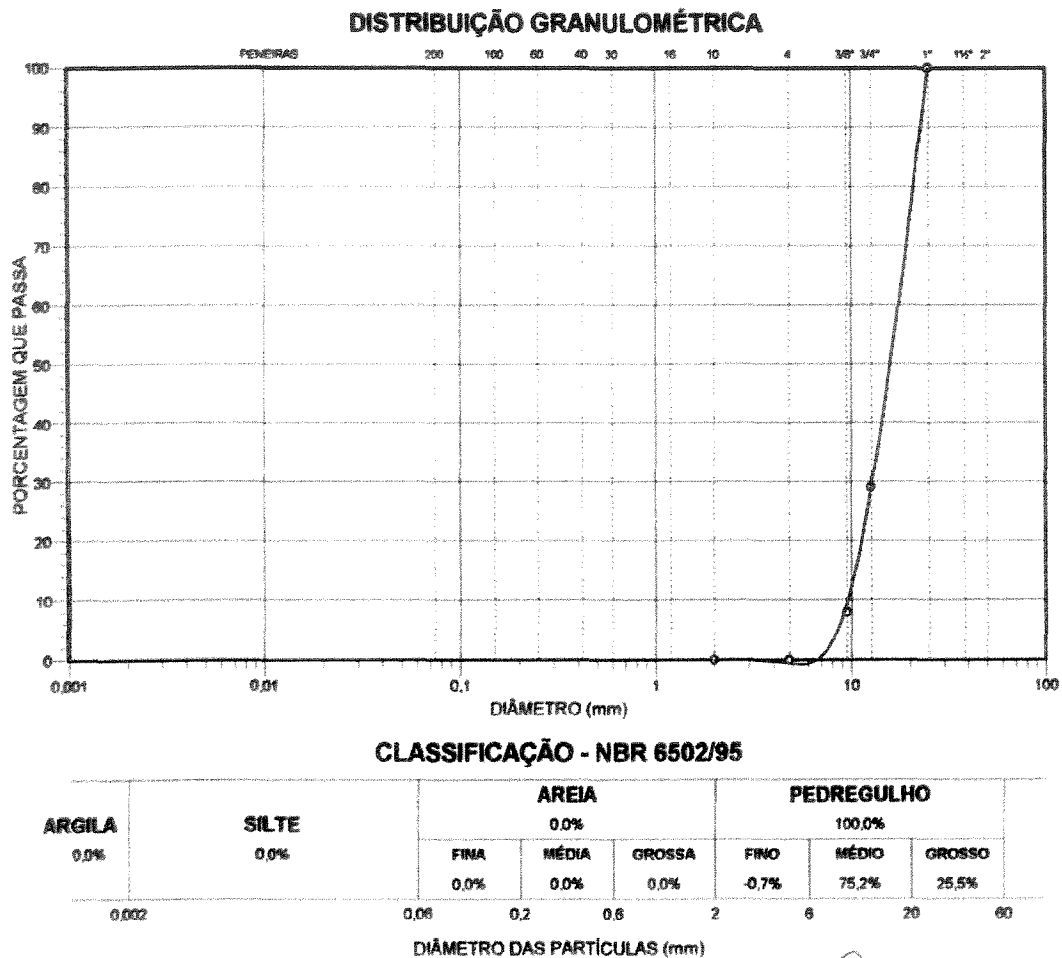


Figura 4.3 – Distribuição granulométrica da brita

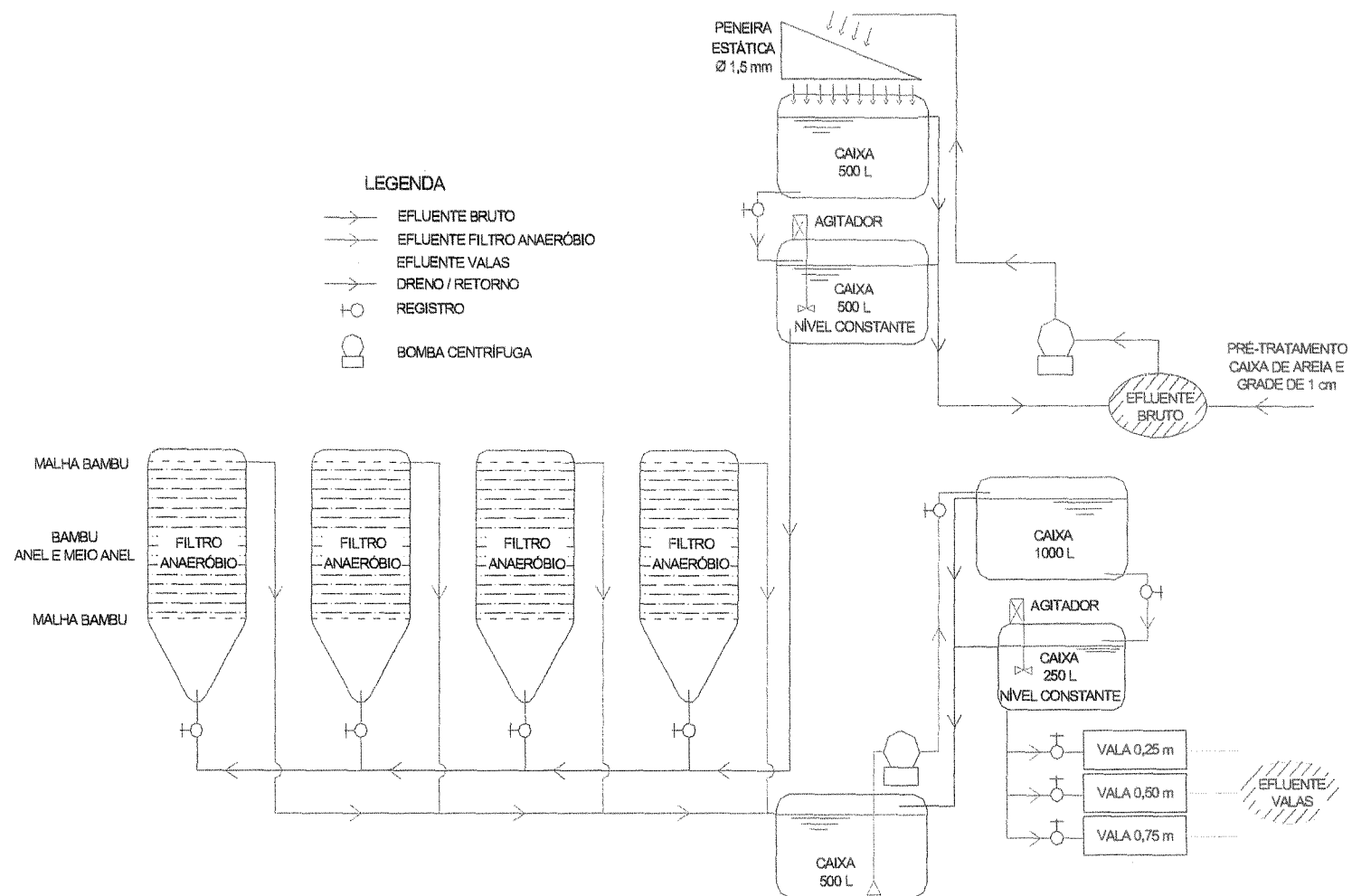


Figura 4.4 – Esquema geral de implantação do sistema de valas de filtração e filtros anaeróbios na ETE Graminha – Limeira/SP

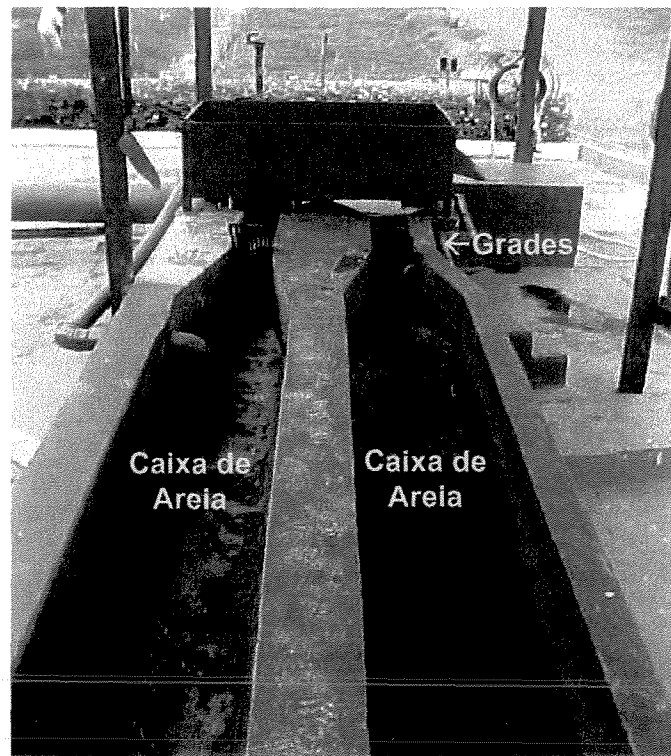


Figura 4.5 – Tratamento preliminar com grades e caixa de areia



Figura 4.6 – Detalhe da caixa de entrada do efluente bruto nos filtros anaeróbios e da peneira estática

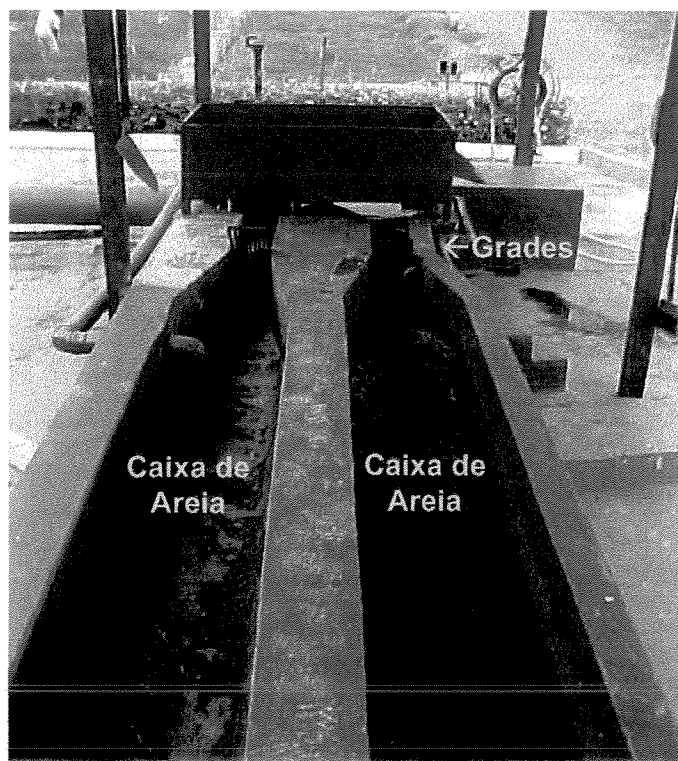


Figura 4.5 – Tratamento preliminar com grades e caixa de areia



Figura 4.6 – Detalhe da caixa de entrada do efluente bruto nos filtros anaeróbios e da peneira estática

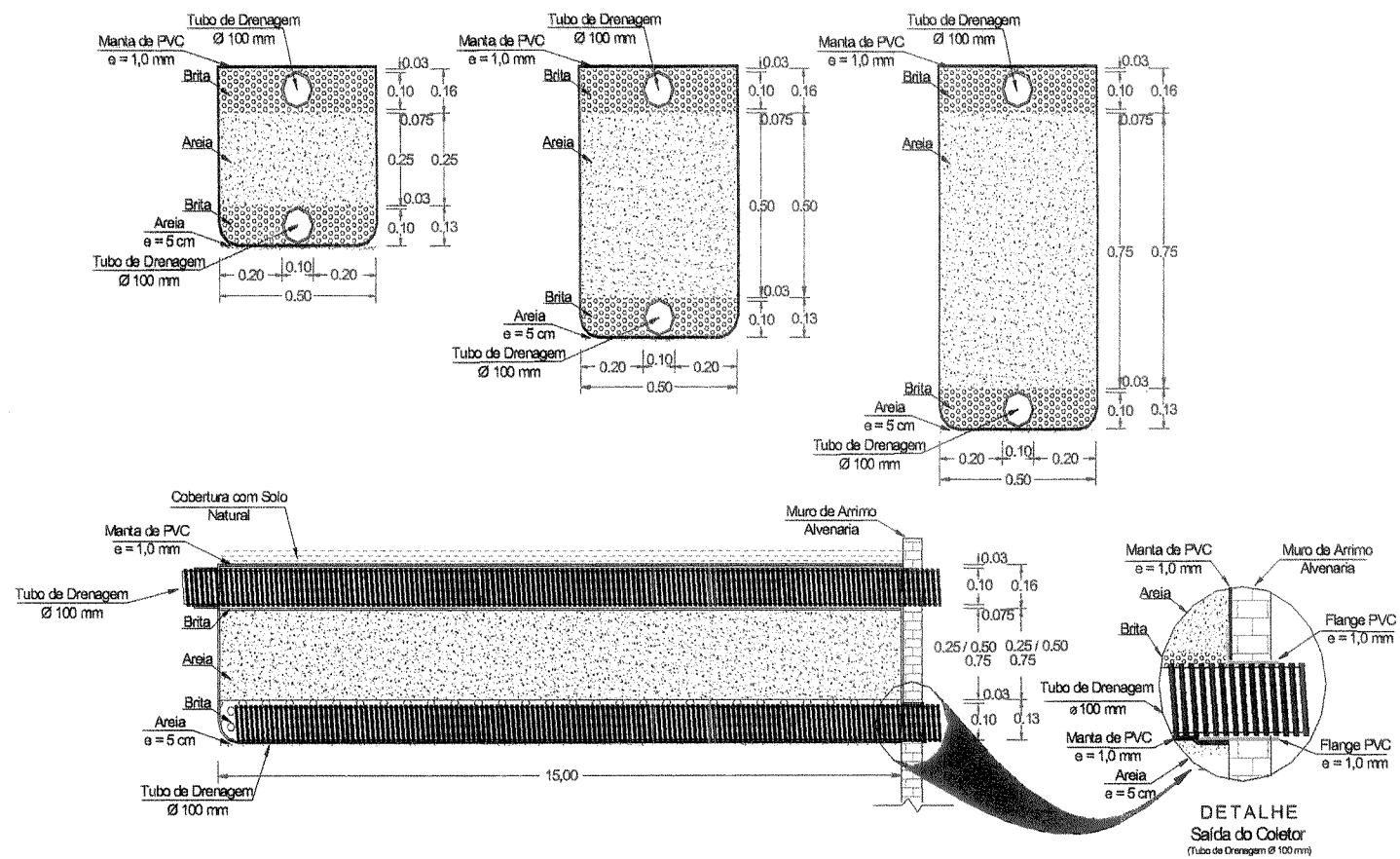


Figura 4.9 – Detalhes construtivos das valas de filtração.

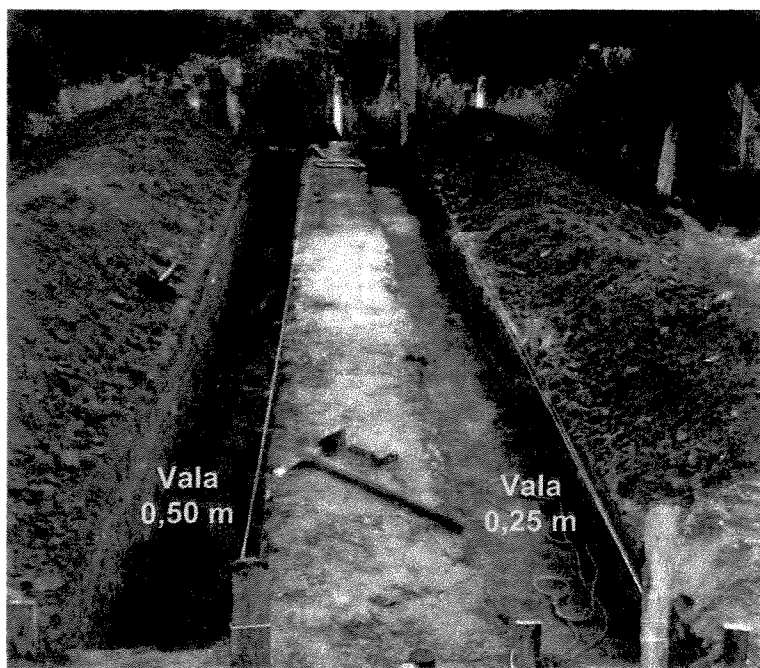


Figura 4.10 – Detalhe das valas 0,25 e 0,50 m abertas manualmente



Figura 4.11 – Detalhe do flange (PVC) colado ao tubo de coleta



Figura 4.12 – Detalhe da lona de revestimento em PVC, com tubo de coleta e flange colada à lona

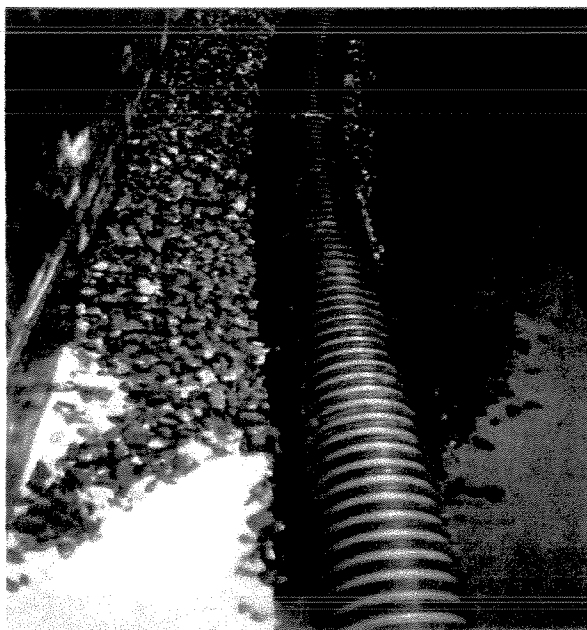


Figura 4.13 – Detalhe do tubo de coleta envolvido em brita com camada inferior de areia de espessura 0,03 m



Figura 4.14 – Detalhe da vala 0,50 m com lona de revestimento em PVC e tubo de coleta envolvido em brita



Figura 4.15 – Vala 0,25 m, regularizada para receber tubo de distribuição envolvido em brita. Vala 0,50 m concluída



Figura 4.16 – Vala 0,25 m com tubo de distribuição envolvido em brita e com 0,075 m de brita entre a geratriz inferior do tubo e a camada de areia.

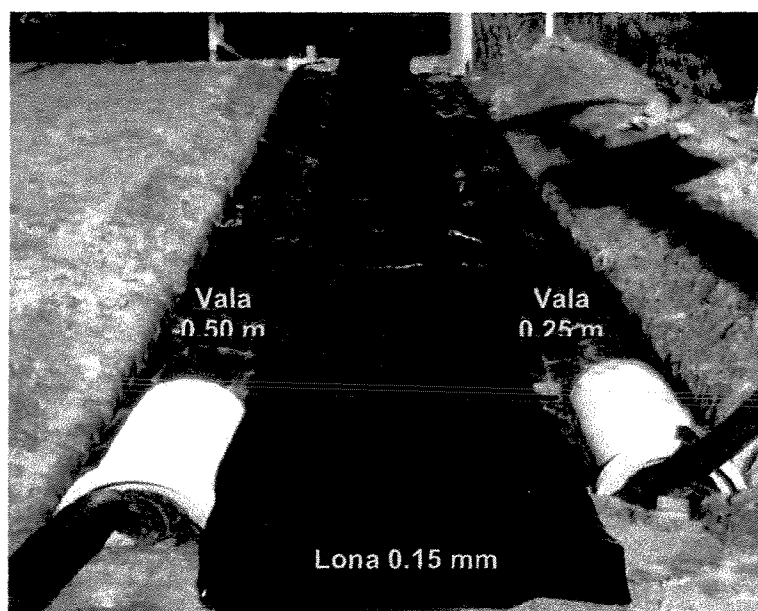


Figura 4.17 – Valas 0,25 e 0,50 m terminadas, com a lona 0,15 mm a ser aberta para cobertura final do sistema



Figura 4.18 – Vala 0,75 m com lona PVC aberta



Figura 4.19 – Vala 0,75 m com tudo de distribuição sobre a camada de brita

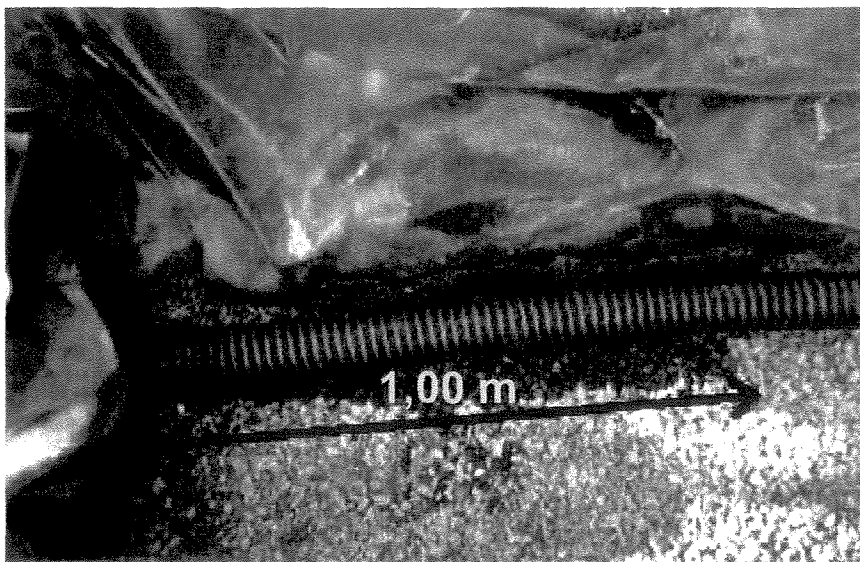


Figura 4.20 – Detalhe do tubo de distribuição com região molhada de distribuição do efluente sobre camada de brita

5. RESULTADOS

Como resultados tem-se o ensaio hidrodinâmico com traçador NaCl realizado no início da operação das valas, a abertura das valas para verificar a formação de biofilme em seu interior, as análises dos diversos parâmetros para determinar a eficiência das valas nas taxas estudadas, a eficiência do sistema filtros anaeróbios e valas de filtração, a avaliação qualitativa do efluente dos filtros anaeróbios e das valas de filtração e o dimensionamento e análise de custo de implantação do sistema de tanque séptico e valas de filtração.

Todas as análises de pH, , Alcalinidade Total, DQO (total e filtrada), DBO (total e filtrada), SST, SSF, SSV, ST, STF, STV, NTK, N_{org}, Nitrito, Nitrato, N_{Total}, Fósforo, Coliformes Fecais e *e. coli*. foram realizadas conforme os métodos descritos em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995)* AWWA/APHA/WF e utilizaram-se os Laboratórios de Saneamento do Departamento de Saneamento e Ambiente da UNICAMP-Campinas/SP e do CESET/UNICAMP-Limeira/SP para tal.

Os períodos correspondentes ao emprego das diversas taxas estudadas são:

- Taxa 20 L/m².dia → 12/06/2001 a 4/09/2001 (84 dias de operação)
- Taxa 25 L/m².dia → 05/09/2001 a 27/11/2001 (84 dias de operação)
- Taxa 30 L/m².dia → 28/11/2001 a 19/02/2002 (84 dias de operação)
- Taxa 35 L/m².dia → 20/02/2002 a 13/08/2002 (175 dias de operação)
- Taxa 40 L/m².dia → 14/08/2002 a 22/10/2002 (70 dias de operação)

O período de estudo da taxa de 35 L/m².dia foi maior que os demais pois houveram problemas operacionais com as bombas o que causou paralisação do sistema por alguns dias. Nos gráficos de resultados dos diversos parâmetros analisados, os períodos correspondentes às diversas taxas hidráulicas aplicadas às valas estão separados por linhas pontilhadas.

Os valores dos parâmetros monitorados durante o período estudado estão no anexo 1.

5.1 TESTE HIDRODINÂMICO COM TRAÇADOR NaCl

Nas Figuras 2 a 6 do Anexo 2, tem-se as curvas de Condutividade em função do Tempo para as taxas de aplicação estudadas nesta pesquisa. Nota-se claramente os picos de Condutividade em cada curva, picos estes que representam o Tempo de Detenção Hidráulico (TDH) de cada vala em cada taxa estudada.

Construiu-se uma curva de Condutividade em função da Concentração de NaCl (Figura 1 no Anexo 2), a partir da mesma solução de NaCl aplicada às valas, Com esta curva elaborou-se uma equação desta relação, a saber:

$$y = 0,526 \cdot x - 87,352 \dots\dots\dots \text{eq.5.1}$$

onde:

y = Concentração NaCl (mg/L)

x = Condutividade (μS)

Uma vez estabelecida esta relação entre a Condutividade e a Concentração de NaCl e os valores experimentais da concentração de NaCl em função do tempo obteve-se os valores normalizados do teste hidrodinâmico nas valas que são apresentados nas Tabelas 2 a 16 no Anexo 2.

Utilizou-se o modelo de dispersão proposto por LEVENSPIEL (1974) e o modelo proposto por REBHUN & ARGAMAN (1965) para a caracterização do escoamento nas valas.

▪ MODELO DE DISPERSÃO PROPOSTO POR LEVENSPIEL (1974)

A partir destas tabelas foi possível obter os valores de tempo hidráulico de detenção médio (T_m), valor da variância (σ^2), variância adimensional (σ_θ^2) e o número de dispersão ($D/\mu\text{L}$), que são apresentados nas Tabelas 5.1 a 5.10.

Como as curvas medidas não são simétricas e apresentam um prolongamento em forma de cauda, considerou-se a dispersão de grande intensidade para modelo fechado e para modelo aberto. Para isso, calculou-se primeiramente:

$$\sigma_\theta^2 = \sigma^2 / T_m^2$$

Este valor foi comparado a σ_θ^{2*} , que pode ser calculado segundo as equações a seguir:

▪ Modelo fechado

$$\sigma_\theta^{2*} = 2(D/\mu\text{L}) - 2(D/\mu\text{L})^2 \cdot (1 - e^{-D/\mu\text{L}}) \dots\dots\dots \text{eq. 5.2}$$

Se $\sigma_\theta^2 \cong \sigma_\theta^{2*} \rightarrow$ Modelo fechado

▪ Modelo aberto

$$\sigma_{\theta}^2 = 2(D/\mu L) + 8(D/\mu L)^2 \dots \dots \dots \text{eq. 5.3}$$

Se $\sigma_{\theta}^2 \cong \sigma_{\theta}^2 \rightarrow$ Modelo aberto

Para a taxa de 20 L/m².dia e utilizando-se a equação do modelo fechado;

Tabela 5.1 - Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (Tm), variância (σ^2), variância adimensional (σ_{θ}^2) e o número de dispersão (D/ μ L) para a taxa hidráulica de 20 L/m².dia e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m)

Taxa 20 L/m ² .dia	Tm (min)	σ^2 (min)	σ_{θ}^2	D/ μ L	σ_{θ}^2 .
Vala 0,25 m	971,23	133633,43	0,1099	0,055	0,1095
Vala 0,50 m	1164,54	159071,63	0,1173	0,059	0,1164
Vala 0,75 m	1278,70	120956,52	0,0740	0,037	0,0739

Para a taxa de 20 L/m².dia e utilizando-se a equação do modelo aberto;

Tabela 5.2 - Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (Tm), variância (σ^2), variância adimensional (σ_{θ}^2) e o número de dispersão (D/ μ L) para a taxa hidráulica de 25L/m².dia e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m).

Taxa 20 L/m ² .dia	Tm (min)	σ^2 (min)	σ_{θ}^2	D/ μ L	σ_{θ}^2 .
Vala 0,25 m	971,23	133633,43	0,1099	0,055	0,1340
Vala 0,50 m	1164,54	159071,63	0,1173	0,059	0,1475
Vala 0,75 m	1278,70	120956,52	0,0740	0,037	0,0850

Para a taxa de 25 L/m².dia e utilizando-se a equação do modelo fechado;

Tabela 5.3 - Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (Tm), variância (σ^2), variância adimensional (σ_{θ}^2) e o número de dispersão (D/ μ L) para a taxa hidráulica de 25L/m².dia e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m),

Taxa 25 L/m ² .dia	Tm (min)	σ^2 (min)	σ_{θ}^2	D/ μ L	σ_{θ}^2 .
Vala 0,25 m	957,12	115177,19	0,1257	0,0629	0,1252
Vala 0,50 m	1027,31	78447,63	0,0743	0,0372	0,0742
Vala 0,75 m	1001,97	138526,00	0,1380	0,0690	0,1373

Para a taxa de 25 L/m².dia e utilizando-se a equação do modelo aberto;

Tabela 5.4 - Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (Tm), variância (σ^2), variância adimensional (σ_θ^2) e o número de dispersão (D/ μ L) para a taxa hidráulica de 25L/m².dia e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m).

Taxa 25 L/m ² .dia	Tm (min)	σ^2 (min)	σ_θ^2	D/ μ L	σ_θ^2 .
Vala 0,25 m	957,12	115177,19	0,1257	0,0629	0,1573
Vala 0,50 m	1027,31	78447,63	0,0743	0,0372	0,0854
Vala 0,75 m	1001,97	138526,00	0,1380	0,0690	0,1761

Para a taxa de 30 L/m².dia e utilizando-se a equação do modelo fechado;

Tabela 5.5 - Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (Tm), variância (σ^2), variância adimensional (σ_θ^2) e o número de dispersão (D/ μ L) para a taxa hidráulica de 30L/m².dia e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m),

Taxa 30l/m ² .dia	Tm (min)	σ^2 (min)	σ_θ^2	D/ μ L	σ_θ^2 .
Vala 0,25 m	595,10	46822,81	0,1322	0,0661	0,1317
Vala 0,50 m	659,28	48092,32	0,1106	0,0553	0,1103
Vala 0,75 m	736,92	63453,14	0,1168	0,0584	0,1165

Para a taxa de 30 L/m².dia e utilizando-se a equação do modelo aberto;

Tabela 5.6 - Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (Tm), variância (σ^2), variância adimensional (σ_θ^2) e o número de dispersão (D/ μ L) para a taxa hidráulica de 30l/m².dia e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m).

Taxa 30l/m ² .dia	Tm (min)	σ^2 (min)	σ_θ^2	D/ μ L	σ_θ^2 .
Vala 0,25 m	595,10	46822,81	0,1322	0,0661	0,1672
Vala 0,50 m	659,28	48092,32	0,1106	0,0553	0,1351
Vala 0,75 m	736,92	63453,14	0,1168	0,0584	0,1442

Para a taxa de 35 L/m².dia e utilizando-se a equação do modelo fechado;

Tabela 5.7 - Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (Tm), variância (σ^2), variância adimensional (σ_θ^2) e o número de dispersão (D/ μ L) para a taxa hidráulica de 35l/m².dia e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m).

Taxa 35l/m ² .dia	Tm (min)	σ^2 (min)	σ_θ^2	D/ μ L	σ_θ^2 .
Vala 0,25 m	623,65	35047,80	0,0901	0,0451	0,0899
Vala 0,50 m	734,12	50440,91	0,0936	0,0468	0,0934
Vala 0,75 m	705,79	27744,01	0,0557	0,0278	0,0557

Para a taxa de 35 L/m².dia e utilizando-se a equação do modelo aberto;

Tabela 5.8 - Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (T_m), variância (σ^2), variância adimensional (σ_θ^2) e o número de dispersão ($D/\mu L$) para a taxa hidráulica de 35l/m².dia e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m).

Taxa 35l/m ² .dia	T_m (min)	σ^2 (min)	σ_θ^2	$D/\mu L$	σ_θ^2 *
Vala 0,25 m	623,65	35047,80	0,0901	0,0451	0,1064
Vala 0,50 m	734,12	50440,91	0,0936	0,0468	0,1111
Vala 0,75 m	705,79	27744,01	0,0557	0,0278	0,0619

Para a taxa de 40 L/m².dia e utilizando-se a equação do modelo fechado;

Tabela 5.9 - Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (T_m), variância (σ^2), variância adimensional (σ_θ^2) e o número de dispersão ($D/\mu L$) para a taxa hidráulica de 40l/m².dia e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m).

Taxa 40l/m ² .dia	T_m (min)	σ^2 (min)	σ_θ^2	$D/\mu L$	σ_θ^2 *
Vala 0,25 m	531,54	46027,03	0,1629	0,0815	0,1619
Vala 0,50 m	639,28	60815,71	0,1488	0,0744	0,1480
Vala 0,75 m	747,27	56815,69	0,1017	0,0509	0,1015

Para a taxa de 40 L/m².dia e utilizando-se a equação do modelo aberto;

Tabela 5.10 - Resultados do tempo hidráulico de detenção médio (T_m), variância (σ^2), variância adimensional (σ_θ^2) e o número de dispersão ($D/\mu L$) para a taxa hidráulica de 40l/m².dia e para as diferentes alturas da camada filtrante (0,25m, 0,50m e 0,75m),

Taxa 40l/m ² .dia	T_m (min)	σ^2 (min)	σ_θ^2	$D/\mu L$	σ_θ^2 *
Vala 0,25 m	531,54	46027,03	0,1629	0,0815	0,2160
Vala 0,50 m	639,28	60815,71	0,1488	0,0744	0,1931
Vala 0,75 m	747,27	56815,69	0,1017	0,0509	0,1224

Com os resultados das tabelas anteriores, pode-se observar que, para a equação do modelo aberto não houve congruência. Pelos cálculos das equações do modelo fechado, houve congruência nos valores de dispersão e variância, e pode-se dizer que o uso da equação deste modelo atendeu ao estudo hidrodinâmico para as 3 valas de filtração nas diferentes taxas hidráulicas; assim qualquer perturbação no sistema (entrada ou saída) poderá causar mudanças nas características do escoamento. Nota-

se também que os valores de $D/\mu\text{L}$ são próximos a 0 (zero), indicando um escoamento pistonado (tubular).

▪ **MODELO PROPOSTO POR REBHUN & ARGAMAN (1965)**

Estes autores propuseram um modelo hidrodinâmico que dividiam os reatores em várias regiões, dentre elas: mistura completa, tubular ideal e zonas mortas.

A partir das Tabelas 2 a 16 do Anexo 2, obteve-se o tempo decorrido para o aparecimento do pico na curva (T_p), o tempo que representa 10% do valor cumulativo nas tabelas (T_{10}) e o tempo que representa 90% do valor cumulativo das mesmas tabelas (T_{90}). As tabelas 5.11 a 5.15 mostram os resultados obtidos.

Tabela 5.11 - Resultados dos parâmetros hidrodinâmicos para a taxa hidráulica de $20\text{L/m}^2.\text{dia}$.

Taxa $20\text{L/m}^2.\text{dia}$	TDH (min)	T_p (min)	T_{10} (min)	T_{90} (min)	T_m (min)	T_p/TDH	T_m/TDH	T_{90}/T_{10}	$D/\mu\text{L}$
Vala 0,25 m	1105	1105	302	1517	971,23	1	0,878	5,023	0,055
Vala 0,50 m	1319	1319	369	1617	1164,54	1	0,883	4,382	0,059
Vala 0,75 m	1458	1458	586	1587	1278,70	1	0,877	2,709	0,037

Tabela 5.12 - Resultados dos parâmetros hidrodinâmicos para a taxa hidráulica de $25\text{L/m}^2.\text{dia}$.

Taxa $25\text{L/m}^2.\text{dia}$	TDH (min)	T_p (min)	T_{10} (min)	T_{90} (min)	T_m (min)	T_p/TDH	T_m/TDH	T_{90}/T_{10}	$D/\mu\text{L}$
Vala 0,25 m	845	845	457	1469	957	1	1,132	3,214	0,0629
Vala 0,50 m	1018	1018	368	1484	1027	1	1,008	4,032	0,0372
Vala 0,75 m	1080	1080	421	1519	1002	1	0,927	3,609	0,0690

Tabela 5.13 - Resultados dos parâmetros hidrodinâmicos para a taxa hidráulica de $30\text{L/m}^2.\text{dia}$.

Taxa $30\text{L/m}^2.\text{dia}$	TDH (min)	T_p (min)	T_{10} (min)	T_{90} (min)	T_m (min)	T_p/TDH	T_m/TDH	T_{90}/T_{10}	$D/\mu\text{L}$
Vala 0,25 m	540	540	322	1106	595	1	1,102	3,435	0,0661
Vala 0,50 m	720	720	300	1159	659	1	0,915	3,863	0,0553
Vala 0,75 m	800	800	454	1208	737	1	0,921	2,661	0,0584

Tabela 5.14 - Resultados dos parâmetros hidrodinâmicos para a taxa hidráulica de 35L/m².dia.

Taxa 35L/m ² .dia	TDH (min)	Tp (min)	T10 (min)	T90 (min)	Tm (min)	Tp/TDH	Tm/TDH	T90/T10	D/μL
Vala 0,25 m	540	540	439	1146	623,65	1	1,155	2,610	0,0451
Vala 0,50 m	635	635	508	1280	734,12	1	1,157	2,519	0,0468
Vala 0,75 m	665	665	315	1236	705,79	1	1,061	3,924	0,0278

Tabela 5.15 - Resultados dos parâmetros hidrodinâmicos para a taxa hidráulica de 40L/m².dia.

Taxa 40L/m ² .dia	TDH (min)	Tp (min)	T10 (min)	T90 (min)	Tm (min)	Tp/TDH	Tm/TDH	T90/T10	D/μL
Vala 0,25 m	396	396	243	1229	532	1	1,343	5,057	0,0815
Vala 0,50 m	520	520	423	1249	639	1	1,229	2,953	0,0744
Vala 0,75 m	831	831	237	1246	747	1	0,899	1,499	0,0509

Estes parâmetros indicam o provável comportamento hidrodinâmico das valas muito próximo ao fluxo pistonado. Pode-se observar que os valores de T_m/TDH são menores que 1,0 nas taxas de 20 L/m².dia (Valas 0,25 m; 0,50 m e 0,75m), 25 L/m².dia (Vala 0,75m), 30 L/m².dia (Valas 0,50 m e 0,75m) e 35 L/m².dia (Vala 0,75m). Isto demonstra a maior presença de zonas mortas na vala 0,75 m e para as menores taxas de aplicação ($T_m/TDH < 1,0$ indica a presença de zona morta). O valor T_{90}/T_{10} indica o índice de dispersão de Morril e confirma uma forte tendência de que as varias configurações de operação apresentaram um comportamento hidrodinâmico mais próximo ao fluxo pistonado (T_{90}/T_{10} próximo a 1,0 → escoamento tipo pistão).

Portanto, pelos dados obtidos e pelos modelos analisados, para o estudo das valas observou-se que o escoamento real das valas teve uma tendência ao escoamento pistonado com presença de zona morta (principalmente na vala 0,75 m).

5.2 ABERTURA DAS VALAS

No mês de Janeiro/2002 (210º dia de operação) abriu-se as valas a fim de verificar-se o andamento da franja de distribuição longitudinal do efluente no tubo perfurado e a formação do biofilme na camada de brita envolvente do tubo de distribuição e na camada de areia, bem como no interior do tudo de distribuição.

Desta forma, a abertura das três valas deu-se em três pontos:

- No início da aplicação do efluente (1º Ponto),
- 1,40 m do início da aplicação do efluente (2º Ponto), e
- 2,80 m do início da aplicação do efluente (3º Ponto).

A Figura 5.1 ilustra as valas abertas e os pontos:

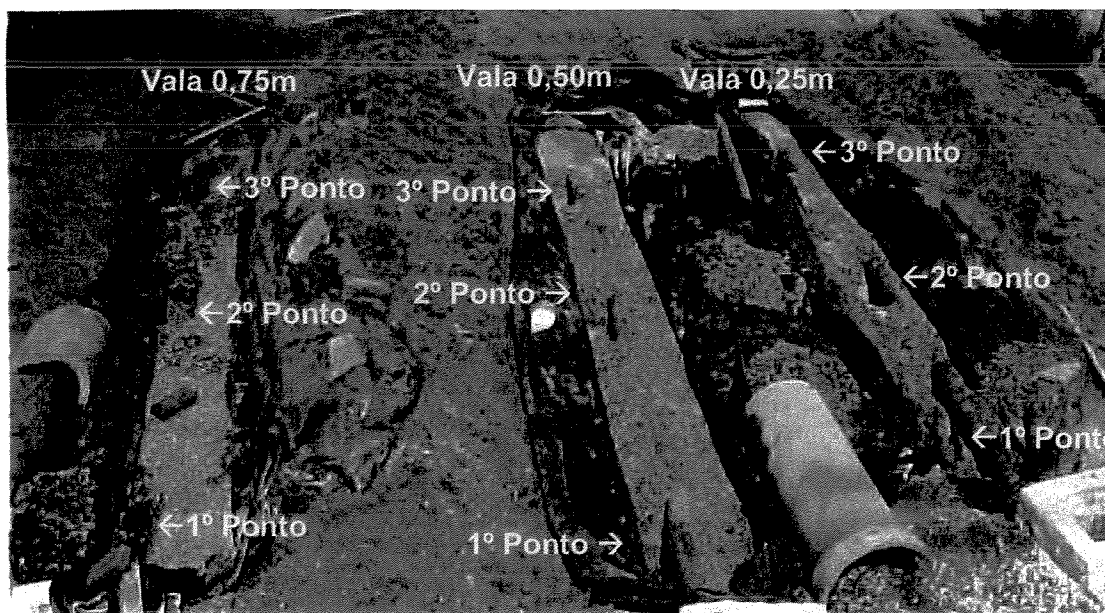


Figura 5.1 – Valas abertas com os pontos de abertura no 210º dia de operação

A adoção destes pontos deveu-se a suposição de que a distribuição no tubo não se comporta como um manifold ideal, concentrando-se no início do tubo a distribuição

do efluente, fato este suposto desde o início, na fase de montagem das valas, quando se fez o teste com água nos tubos de distribuição

Na análise da formação do biofilme no interior do tubo de distribuição, na camada de brita e na camada de areia pode-se observar que a havia mais biofilme no 1º Ponto em relação ao 3º Ponto, principalmente na camada brita e de areia nas três valas estudadas. Na Figura 5.2, observa-se na parte superior a vista lateral do tubo de distribuição, da camada de brita e da camada de areia, nos 3 Pontos analisados. Na parte inferior, tem-se as amostras da camada superior de areia que estava em contato com a camada de brita. A formação do biofilme na camada de areia concentrou-se nos 5 primeiros centímetros da camada, onde nota-se a coloração mais escura da areia, fato este já relatado por KRISTIANSEN (1981). A formação do biofilme no tubo de distribuição, na camada de brita e na areia foi semelhante nas 3 valas estudadas.

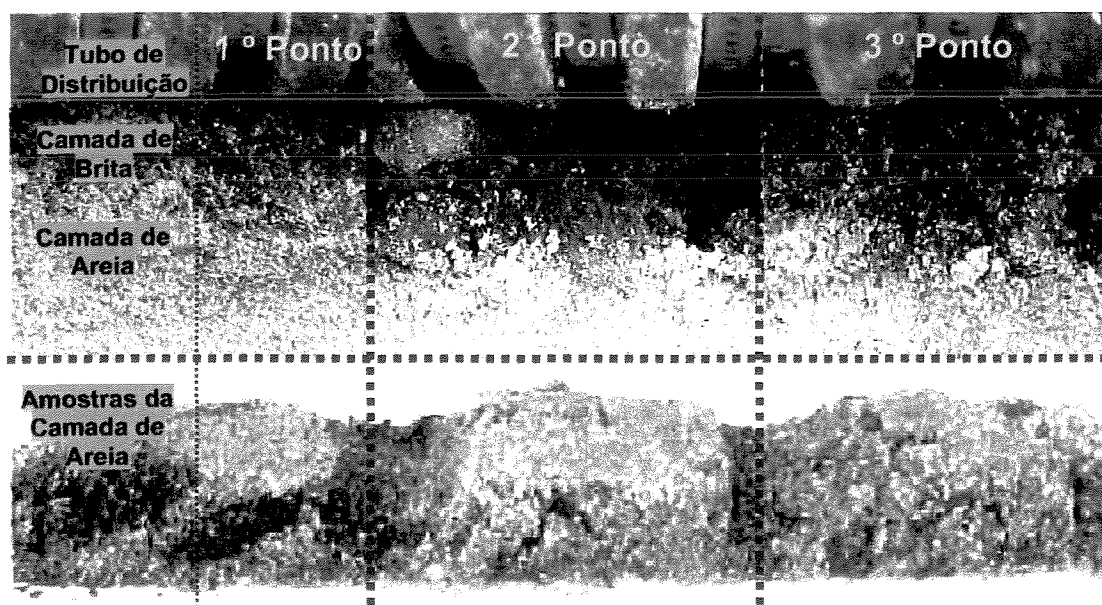


Figura 5.2 – Biofilme no tubo de distribuição, na camada de brita e na camada de areia

Notou-se também, nas três valas estudadas, a formação do biofilme dentro do tubo de distribuição, principalmente no início do mesmo, ou seja, próximo ao 1º Ponto – Figura 5.3.

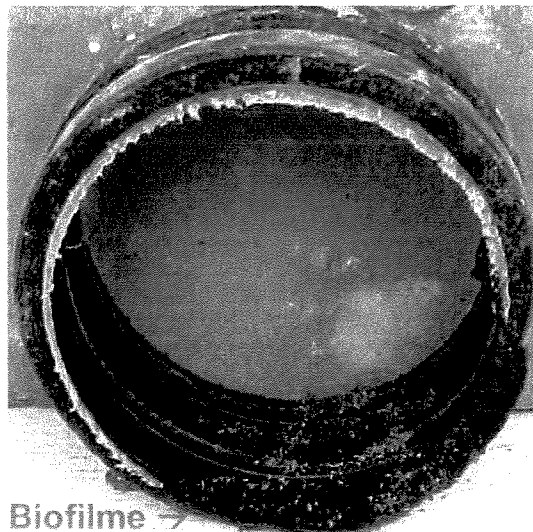


Figura 5.3 – Biofilme no interior do tubo de distribuição (1º Ponto)

Na Figura 5.4 mostra-se a formação fungos ao longo de toda a camada de brita que envolvia o tubo de distribuição e na interface desta brita com a lona de PVC. A formação desses fungos deveu-se, provavelmente, às condições propícias para o seu desenvolvimento como umidade, oxigênio e matéria orgânica.

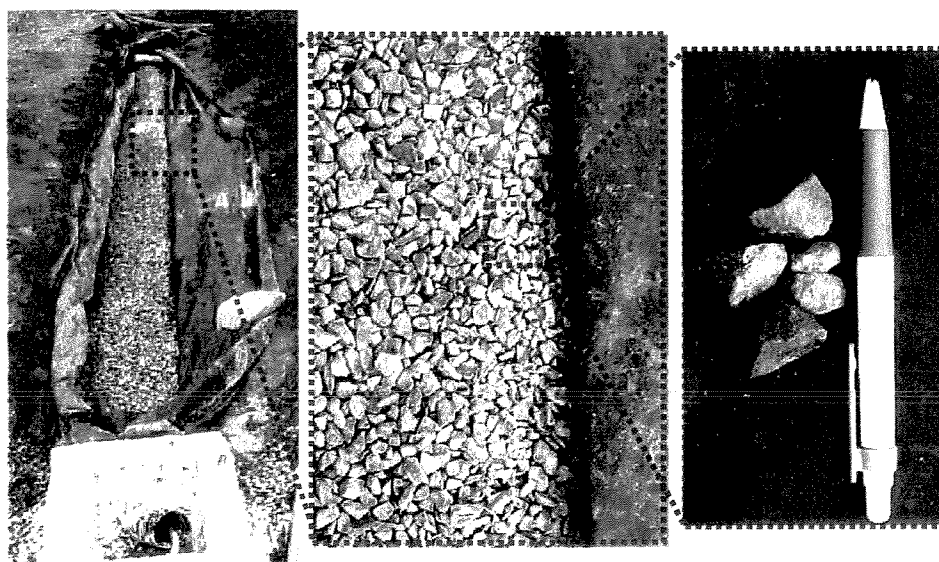


Figura 5.4 – Fungos na camada de brita e na lona de PVC

Outro motivo que comprova que o tubo de distribuição não se comporta como um manifold ideal é a maior formação do biofilme no início das valas, tanto no interior do tubo de distribuição e na camada de brita como nos primeiros cinco centímetros camada de areia. Logo, pode-se concluir que a frente de distribuição longitudinal concentrou-se nos 3 primeiros metros da vala. Acredita-se que com o decorrer do tempo, haverá a colmatção dos furos do tubo, ou da camada de brita, ou da camada de areia e com isso a franja de distribuição caminha para o restante do tubo até que toda a vala fique colmatada, fato este que fará com que a vala seja desativada por um período para que este biofilme seja digerido.

5.3 - AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS

Na avaliação da eficiência de remoção dos parâmetros: Fósforo, DQO (total e filtrada), DBO (total e filtrada), SST, SSF, SSV, ST, STF, STV, N_{Total} , Coliformes Fecais e *e. coli*, considerou-se apenas a eficiência da valas de filtração nas diversas taxas estudadas. A eficiência do sistema filtros anaeróbios e valas de filtração está no item 5.3.9 - Eficiência do sistema Filtros Anaeróbios e Valas De Filtração.

5.3.1 - pH

Os valores de pH no esgoto bruto, efluente dos filtros anaeróbios (afluente às valas) e os efluentes das três valas estiveram, na média, na faixa de 6,00 a 8,00 durante o período de estudo nas três valas – Figura 5.5.

Independentemente do valor de entrada (Efluente Bruto), o pH de saída também se manteve próximo a 7,00 nos filtros anaeróbios e para as três valas nas taxas estudadas. Evidencia-se isto nos 238º e 420º dias de operação onde os valores do pH de entrada (efluente bruto) foram superiores a 9,00 e o valor de pH de saída dos filtros anaeróbios foram próximos a 7,60 e para as valas foram próximos a 8,00; demonstrando que os filtros anaeróbios e as valas, nas taxas estudadas, têm uma boa estabilidade em suportarem os choques de pH sem comprometer o desempenho dos mesmos.

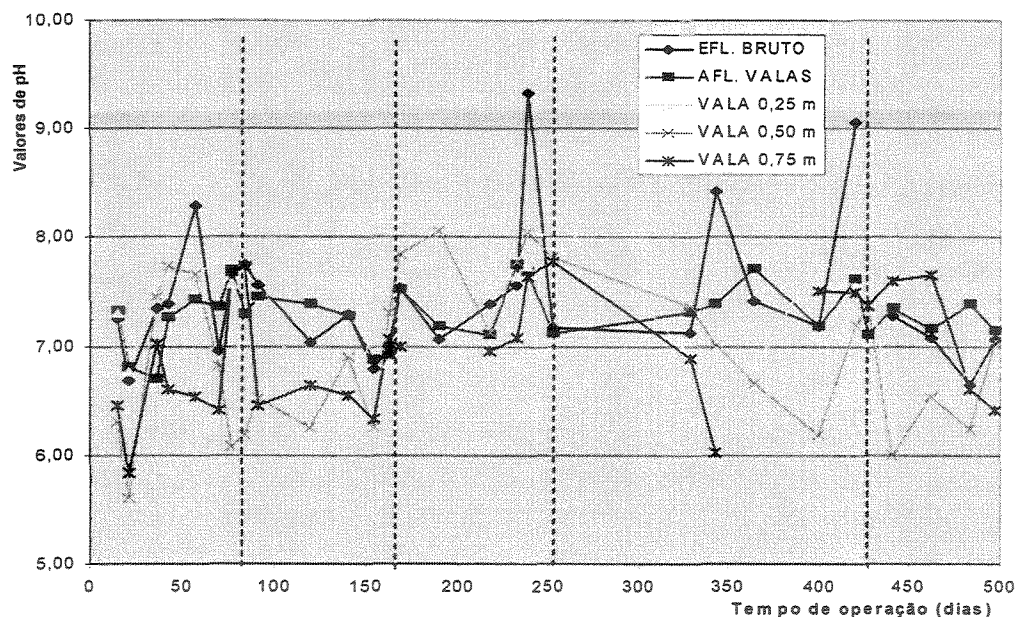


Figura 5.5 – Valores de pH durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração

Os valores de pH no efluente bruto variaram de 6,65 (483º dia de operação) a 9,32 (238º dia de operação) e no afluente às valas de 6,70 (36º dia de operação) a 7,75 (232º dia de operação). A faixa de valores de pH nas valas nas taxas estudadas estão na Tabela 5.16:

Tabela 5.16 – Faixa de valores de pH nas valas nas taxas estudadas

	Taxa 20 L/m ² .dia	Taxa 25 L/m ² .dia	Taxa 30 L/m ² .dia	Taxa 35 L/m ² .dia	Taxa 40 L/m ² .dia
Vala 0,25 m	6,40 a 7,77	6,16 a 7,74	6,92 a 8,21	6,92 a 7,81	6,32 a 6,82
Vala 0,50 m	5,60 a 7,73	6,25 a 7,85	7,13 a 8,06	6,18 a 7,36	6,00 a 7,05
Vala 0,75 m	5,84 a 7,02	6,34 a 7,06	6,95 a 7,78	6,02 a 7,60	6,42 a 7,66

Pode-se observar que os valores médios de pH de saída das três valas nas taxas estudadas estiveram entre 6,00 e 8,21 demonstrando que as valas tem seu valor de pH do efluente próximo ao neutro, independente dos valores de entrada (afluente às

valas), fato este importante que garante a qualidade deste efluente como um pós-tratamento de efluente anaeróbio.

Limeira era conhecida como a “Capital da Laranja” e nos dias atuais mudou sua principal atividade econômica para a produção artesanal de bijuterias em pequenas empresas caseiras que utilizam produtos químicos e, após o uso, são despejados na rede coletora de esgotos. Estes produtos químicos causam quedas abruptas de pH e nem sempre são detectadas, pois as coletas foram quinzenais e o monitoramento pontual durante o período de tempo estudado.

5.3.2 - ALCALINIDADE TOTAL

A alcalinidade é um parâmetro que indica a capacidade de tamponamento do sistema e é responsável por boa parte do equilíbrio do pH. Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos (OH^-). A distribuição entre estas três formas é função do pH, sendo:

- pH > 9,4: Hidróxidos e carbonatos;
- pH entre 8,3 e 9,4: carbonatos e bicarbonatos; e,
- pH entre 4,4 e 8,3: apenas bicarbonato.

Deve-se levar em consideração que processos oxidativos (como a Nitrificação) tendem a consumir alcalinidade, a qual, caso atinja baixos teores, pode levar a valores reduzidos de pH, afetando a própria taxa de crescimento dos microrganismos responsáveis por esta oxidação.

Nota-se, na Figura 5.6, que os valores da alcalinidade total tiveram seus valores reduzidos nas valas quando comparados ao efluente bruto e aos filtros anaeróbios, sendo que os menores valores ocorreram nos 77º, 119º, 232º, 238º, 343º, 462º e 483º justamente quando se teve os maiores valores de nitrito e nitrato nas valas. Estes maiores valores de nitrato e nitrito (principalmente nos 77º, 238º, 343º, 462º e 483º dias de operação) nas valas ocorreram por uma parada de um dia, dia este anterior ao dia da coleta no sistema, tornando o interior das valas aeróbio e que favoreceram a formação destes e consumiram a alcalinidade nas mesmas. Os valores de pH não foram afetados pela diminuição da alcalinidade, mas se a parada do sistema permanecesse por vários dias o metabolismo dos microrganismos formadores de nitrito e nitrato poderia ser afetado pela provável queda de pH, consequência do consumo da alcalinidade presente nas valas. Vale salientar que nos filtros anaeróbios os maiores valores de alcalinidade são devido a atividade metanogênica da degradação anaeróbia e a quase inexistência da formação de nitrito e nitrato.

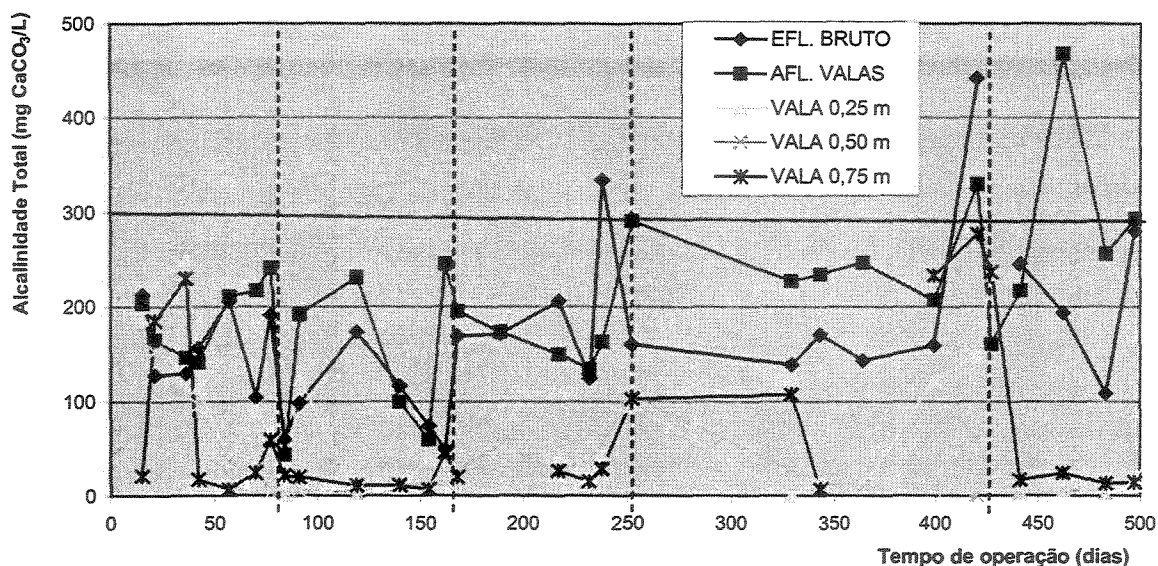


Figura 5.6 – Valores da Alcalinidade Total (mg CaCO_3 /L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração

A Tabela 5.17 contém resultados dos valores médios e desvio padrão (DP) dos valores de alcalinidade total, nas taxas estudadas, no efluente bruto, afluente às valas e nas três valas durante o período estudado. Os maiores valores de Desvio Padrão (DP), em relação aos valores médios, são observados nas valas devido às paradas no sistema e conseqüente consumo da alcalinidade. A taxa 40 $\text{L/m}^2\cdot\text{dia}$ teve sua alcalinidade total reduzida nas três valas devido a formação de nitrato, principalmente após as interrupções no funcionamento do sistema.

Tabela 5.17 – Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de Alcalinidade Total (mg CaCO_3 /L) nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração

ALCALINIDADE TOTAL	Taxa 20 L/m ² .dia		Taxa 25 L/m ² .dia		Taxa 30 L/m ² .dia		Taxa 35 L/m ² .dia		Taxa 40 L/m ² .dia	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
EFL. BRUTO	148,33	53,40	113,21	50,38	199,42	80,73	210,70	129,69	206,96	74,49
AFL. VALAS	170,91	62,59	170,53	74,31	182,28	62,39	234,18	55,67	308,41	110,59
VALA 0,25 m	121,16	90,95	34,00	45,68	50,18	31,90	88,10	95,38	5,70	3,90
VALA 0,50 m	76,24	91,35	11,94	7,82	56,20	30,45	21,17	25,79	7,87	7,99
VALA 0,75 m	70,54	86,65	18,88	14,11	43,13	40,37	172,08	112,29	16,98	5,09

5.3.3 - FÓSFORO

O Fósforo apresenta-se principalmente na formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. Os ortofosfato são diretamente disponíveis para o metabolismo biológico sem necessidade de conversões a formas mais simples. As formas em que os ortofosfatos se apresentam (PO_4^{-3} , H PO_4^{-2} , $\text{H}_2 \text{PO}_4^-$, $\text{H}_3 \text{PO}_4$) dependem do pH, sendo a mais comum na faixa usual de pH (neutro) o HPO_4^{-2} , faixa esta em que estão operando as valas de filtração. Os polifosfatos são moléculas mais complexas com dois ou mais átomos de fósforo.

Nota-se na Figura 5.7 que os valores de fósforo nas valas são, na maioria das vezes, menores que os valores dos filtros anaeróbios (afluente às valas) e estes menores que os valores do efluente bruto indicando que houve uma boa remoção de fósforo nos filtros anaeróbios e principalmente nas valas.

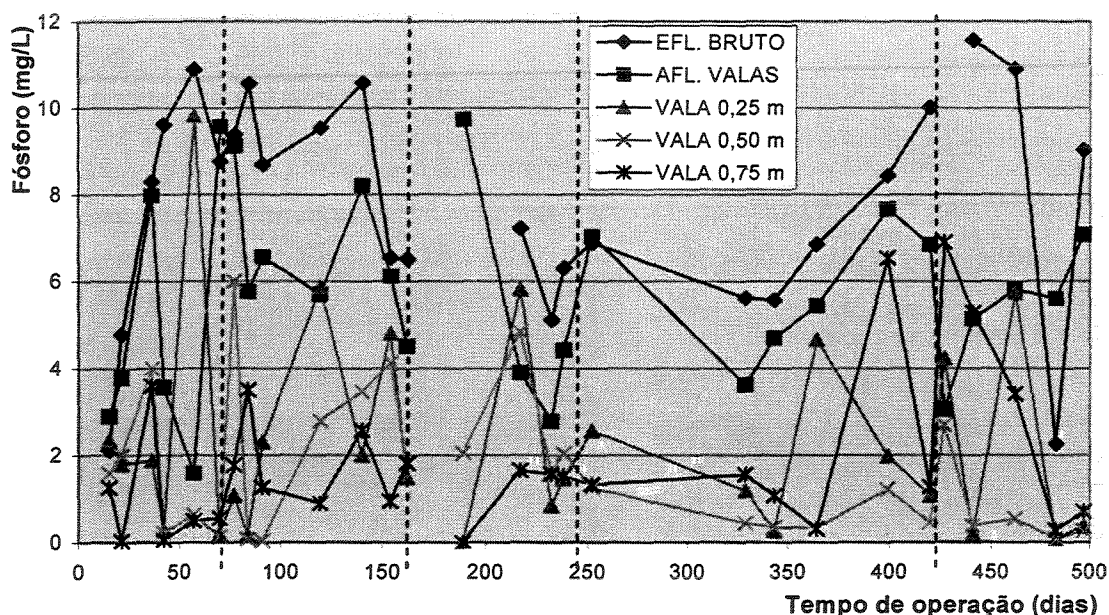


Figura 5.7 – Valores de Fósforo (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração

Na Tabela 5.18, tem-se os valores médios de fósforo no efluente bruto, no afluente às valas e saída das três valas nas taxas estudadas.

Tabela 5.18 – Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de Fósforo (mg/L) nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração

FÓSFORO	Taxa 20 L/m ² .dia		Taxa 25 L/m ² .dia		Taxa 30 L/m ² .dia		Taxa 35 L/m ² .dia		Taxa 40 L/m ² .dia	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
EFL. BRUTO	8,05	3,05	8,37	1,81	6,38	0,93	7,30	1,92	8,44	4,25
AFL. VALAS	5,53	3,04	6,22	1,35	5,57	2,81	5,22	1,80	5,90	0,83
VALA 0,25 m	2,20	3,20	3,29	1,92	2,14	2,26	2,24	1,80	1,60	2,76
VALA 0,50 m	1,83	2,14	2,44	1,60	2,36	1,42	0,91	0,93	0,31	0,19
VALA 0,75 m	1,41	1,44	1,50	0,71	1,22	0,69	2,94	2,95	2,42	2,36

Na Tabela 5.19, nota-se que as taxas estudadas mostraram-se eficientes na remoção de fósforo, sendo que a taxa de 20 L/m².dia, em média, teve uma eficiência ligeiramente maior para as três valas estudadas, mas a vala 0,50 m, na taxa 40 L/m².dia foi a com melhor desempenho. Nas taxas 20, 25 e 30 L/m².dia a vala 0,75 m foi a mais eficiente enquanto que nas taxas 35 e 40 L/m².dia foi a vala 0,50m.

Tabela 5.19 – Remoção de Fósforo (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas

FÓSFORO	Taxa 20 L/m ² .dia	Taxa 25 L/m ² .dia	Taxa 30 L/m ² .dia	Taxa 35 L/m ² .dia	Taxa 40 L/m ² .dia
Filtro Anaeróbio	31,28	25,75	12,63	28,51	30,01
VALA 0,25 m	60,32	47,00	61,64	57,14	72,95
VALA 0,50 m	66,94	60,69	57,60	82,51	94,71
VALA 0,75 m	74,52	75,86	78,17	43,59	59,07

Quando se compara os resultados de remoção de fósforo nas valas desta pesquisa com os resultados encontrados na literatura, vê-se que com taxas maiores, ou seja até 100 L/m².dia, pode-se chegar a eficiência entre 30 e 70 %; valores estes constantes na NBR 13.969/1997 para valas de filtração tratando efluente de tanque séptico, com altura da camada de areia filtrante igual a 0,70 m. Os resultados encontrados por VAN BUUREN (1999) foram iguais a 40% de remoção de fósforo com

recirculação do efluente em valas de filtração tratando efluente de tanque séptico com camada de areia filtrante variando entre 0,50 e 1,20 m e com taxa de aplicação variando de 50 a 100 L/m².dia.

Valores superiores a 45% de remoção de Fósforo, sem recirculação, foram obtidos nas valas desta pesquisa nas taxas estudadas. Necessita-se, portanto, de estudos com taxas maiores e de estudos com recirculação deste efluente nas valas para saber se a eficiência de remoção do fósforo pode aumentar. Vale salientar que com o passar do tempo de operação das valas, elas poderão perder esta capacidade de retenção de fósforo em seu meio filtrante e passarão a liberar este elemento no seu efluente. Os filtros anaeróbios tiveram uma baixa remoção no período estudado, fato este já esperado, uma vez que os sistemas anaeróbios de tratamento não são eficientes na remoção deste elemento.

5.3.4 - DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO – DQO

5.3.4.1 - DQO_{Total}

Como ilustrado na Figura 5.8, houve uma grande variação nos valores de DQO_{Total} no esgoto bruto e correspondentemente no efluente dos filtros anaeróbios (afluente às valas), indicando que os filtros não suportaram bem grande cargas, fato este que pode ser observado no 36º, 70º, 154º, 162º e 399º dias de operação. Nota-se que os valores de saída das três valas foram baixos e com pouca variação, indicando que as valas absorveram as variações afluentes de DQO_{Total}.

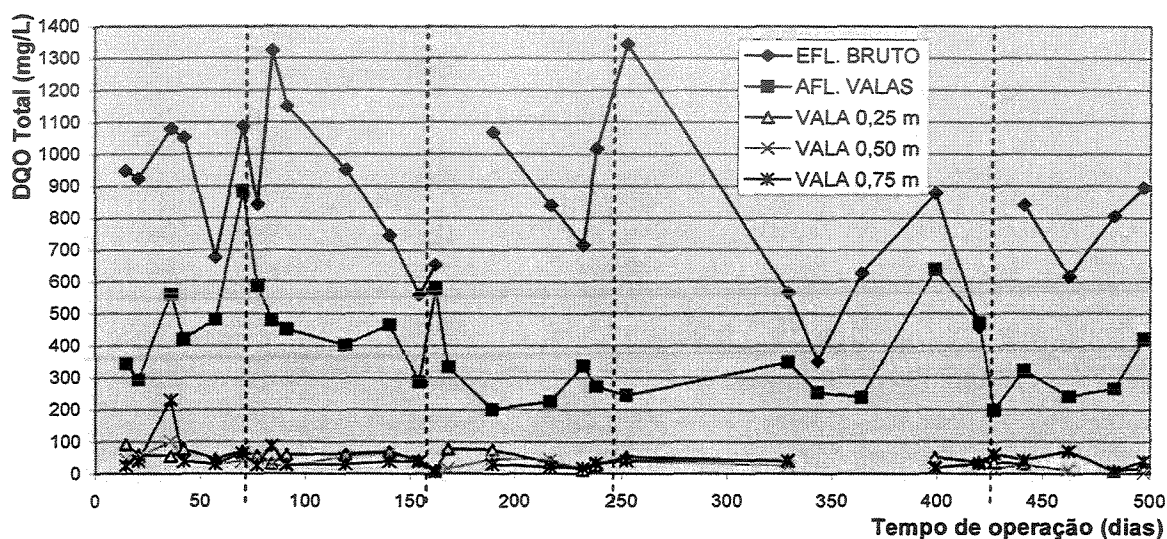


Figura 5.8 – Valores de DQO_{Total} (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração

Na Tabela 5.20, nota-se que os valores médios de DQO_{Total}, em mg/L, do Efluente Bruto, estiveram entre 576,06 e 996,40 e os valores de saída (Afluente às Valas) entre 256,19 e 506,91. Para as valas estes valores médios ficaram entre 14,57, na vala 0,75 na taxa 40 L/m².dia e 68,21 na vala 0,75 na taxa 20 L/m².dia, valores estes próximos e que indicam também que as valas suportaram bem os picos de DQO_{Total} afluente.

Tabela 5.20 – Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de DQO_{Total} nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração

DQO TOTAL	Taxa 20 L/m ² .dia		Taxa 25 L/m ² .dia		Taxa 30 L/m ² .dia		Taxa 35 L/m ² .dia		Taxa 40 L/m ² .dia	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
EFL. BRUTO	991,73	192,38	811,59	238,25	996,40	239,74	576,06	198,61	789,78	120,97
AFL. VALAS	506,91	181,90	419,55	103,18	256,19	52,46	358,80	168,88	313,48	80,57
VALA 0,25 m	61,33	19,17	53,47	24,75	39,78	24,77	41,00	6,83	18,73	10,80
VALA 0,50 m	48,24	23,19	32,78	22,41	35,46	11,73	23,90	8,39	14,57	12,51
VALA 0,75 m	68,21	69,58	27,91	13,76	28,20	8,74	38,55	18,12	40,23	26,02

Na Tabela 5.21 pode-se observar que as três valas tiveram desempenho semelhante nas taxas estudadas, valores sempre superiores a 85% de eficiência na remoção de DQO_{Total}, porém com um melhor desempenho na vala 0,50m na taxa 40 L/m².dia (95,35%). Estes resultados demonstram que com taxas maiores de aplicação de efluente podemos, ainda assim, conseguir bons resultados. Os filtros anaeróbios tiveram um desempenho razoável, já esperado devido ao baixo tempo de detenção hidráulico em que estão operando (3 horas); exceção para a taxa 30 L/m².dia em que se nota um excelente resultado para as condições em que se estavam operando os filtros.

Tabela 5.21 – Remoção de DQO_{Total} (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas

DQO TOTAL	Taxa 20 L/m ² .dia	Taxa 25 L/m ² .dia	Taxa 30 L/m ² .dia	Taxa 35 L/m ² .dia	Taxa 40 L/m ² .dia
Filtro Anaeróbio	48,89	48,31	74,29	37,71	60,31
VALA 0,25 m	87,90	87,26	84,47	88,57	94,02
VALA 0,50 m	90,48	92,19	86,16	93,34	95,35
VALA 0,75 m	86,54	93,35	88,99	89,26	87,17

Quando se compara os resultados de DQO_{Total} desta pesquisa com os resultados encontrados na literatura, ve-se que com taxas maiores, ou seja até 100 L/m².dia, pode-se chegar a eficiência entre 40 e 75 %; valores estes constantes na NBR 13.969/1997 para valas de filtração tratando efluente de tanque séptico, com altura da camada de areia filtrante igual a 0,70 m. Segundo VAN BUUREN (1999), a eficiência de valas de

filtração tratando efluente de tanque séptico com camada de areia filtrante variando entre 0,50 e 1,20 m, com taxa de aplicação variando de 50 a 100 L/m².dia, a remoção de DQO_{Total}, foi em média igual a 90%.

Valores próximos a 90% de remoção de DQO_{total} foram obtidos nas valas desta pesquisa nas taxas estudadas, necessita-se, portanto, de estudos com taxas maiores e um maior tempo de operação para saber-se se estes valores mantêm-se em taxas mais elevadas, como no estudo realizado por VAN BUUREN (1999) e como sugere a NBR 13.969/1997.

5.3.4.2 - DQO Filtrada

Semelhante aos resultados de DQO_{Total} , ilustra-se na Figura 5.9 uma grande variação nos valores de $DQO_{Filtrada}$ no esgoto bruto e correspondentemente no efluente dos filtros anaeróbios (afluente às valas), indicando que os filtros não suportaram bem grande cargas, fato este que pode ser observado no 36º, 70º, 162º, 399º e 441º dias de operação. Nota-se que os valores de saída das três valas foram baixos e com pouca variação, indicando que as valas suportaram as variações afluentes de $DQO_{Filtrada}$.

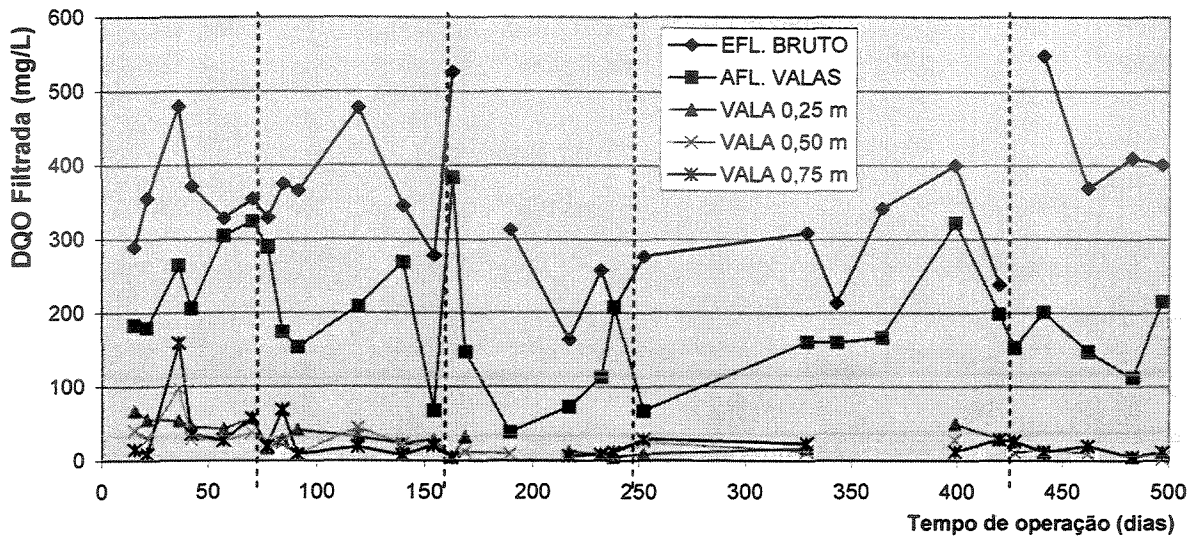


Figura 5.9 – Valores de $DQO_{Filtrada}$ (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração

Na Tabela 5.22, nota-se que os valores médios de $DQO_{Filtrada}$, em mg/L, do Efluente Bruto, estiveram entre 243,52 e 431,94 e os valores de saída (Afluente às Valas) entre 100,20 e 240,60. Para as valas estes valores médios ficaram entre 9,05, na vala 0,25 na taxa 30 L/m².dia e 46,25 na vala 0,25 na taxa 20 L/m².dia, valores estes próximos e que indicam também que as valas suportaram bem os picos de $DQO_{Filtrada}$ afluente.

Tabela 5.22 – Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de DQO_{Filtrada} nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração

DQO FILTRADA	Taxa 20 L/m ² .dia		Taxa 25 L/m ² .dia		Taxa 30 L/m ² .dia		Taxa 35 L/m ² .dia		Taxa 40 L/m ² .dia	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
EFL. BRUTO	360,29	55,67	398,79	101,28	243,52	58,95	300,42	76,08	431,84	79,10
AFL. VALAS	240,60	61,70	205,05	110,61	100,20	65,82	193,37	65,19	169,05	48,01
VALA 0,25 m	46,25	16,51	27,20	12,62	9,05	2,98	30,43	14,03	9,47	3,35
VALA 0,50 m	38,98	24,16	18,70	14,47	13,70	7,57	17,33	9,45	9,50	6,12
VALA 0,75 m	49,23	49,02	12,29	7,33	14,12	10,60	22,83	7,41	12,35	6,22

Na Tabela 5.23 pode-se observar que as três valas tiveram desempenho semelhante nas taxas estudadas, valores sempre superiores a 79% de eficiência na remoção de DQO_{Filtrada}, porém com um melhor desempenho na vala 0,25 m na taxa 40 L/m².dia (94,40%). Estes resultados demonstram que com taxas maiores de aplicação de efluente podemos, ainda assim, conseguir bons resultados. Os filtros anaeróbios tiveram um desempenho razoável, já esperado devido ao baixo tempo de detenção hidráulico em que estão operando (3 horas); exceção para a taxa 30 e 40 L/m².dia em que se nota um bom resultado para as condições em que estavam-se operando os filtros. Isto demonstra que houve remoção biológica e não somente remoção física da matéria orgânica, tanto nas valas como nos filtros anaeróbios; o que é desejável.

Tabela 5.23 – Remoção de DQO_{Filtrada} (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas

DQO FILTRADA	Taxa 20 L/m ² .dia	Taxa 25 L/m ² .dia	Taxa 30 L/m ² .dia	Taxa 35 L/m ² .dia	Taxa 40 L/m ² .dia
Filtro Anaeróbio	33,22	48,58	58,85	35,63	60,85
VALA 0,25 m	80,78	86,74	90,97	84,27	94,40
VALA 0,50 m	83,80	90,88	86,33	91,04	94,38
VALA 0,75 m	79,54	94,01	85,91	88,20	92,69

5.3.5 - DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO – DBO

5.3.5.1 - DBO_{Total}

Como ilustrado na Figura 5.10, houve uma grande variação nos valores de DBO_{Total} no esgoto bruto, mas para o efluente dos filtros anaeróbios (afluente às valas), ao contrário da DQO_{Total}, os valores foram mais constantes indicando que os filtros suportaram bem as grande cargas de DBO_{Total}, fato este que pode ser observado nos 36°, 70°, 91° e 252° dias de operação. Exceção, no 399° dia de operação, onde a DBO_{Total} no efluente bruto foi igual a 360,7 mg/L e no afluente às valas 235,6 mg/L; neste mesmo dia a DQO_{Total} tinha valores elevados, tanto no efluente bruto como no afluente às valas (877,5 e 639,4 mg/L respectivamente).

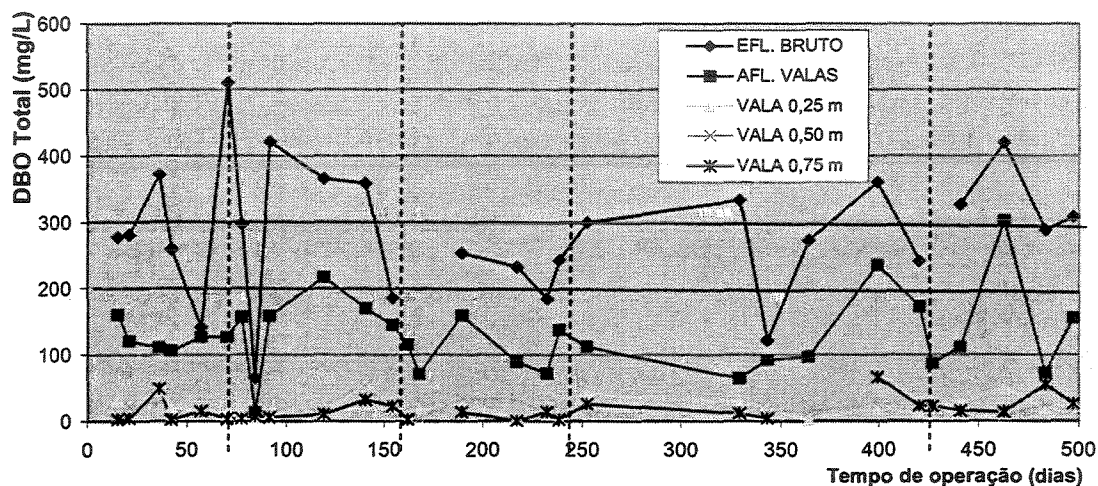


Figura 5.10 – Valores de DBO_{Total} (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração

Na Tabela 5.24, nota-se que os valores médios de DBO_{Total}, em mg/L, do Efluente Bruto, estiveram entre 242,56 e 332,83 e os valores de saída (Afluente às Valas) entre 114,13 e 1160,77. Para as valas estes valores médios ficaram entre 11,34, na vala 0,75 na taxa 20 L/m².dia e 30,30 na vala 0,25 m na taxa 40 L/m².dia, valores estes próximos e que indicam também que as valas suportaram bem os picos de DBO_{Total} afluente, assim como ocorrido na DQO_{Total}.

Tabela 5.24 – Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de DBO_{Total} nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração

DBO TOTAL	Taxa 20 L/m ² .dia		Taxa 25 L/m ² .dia		Taxa 30 L/m ² .dia		Taxa 35 L/m ² .dia		Taxa 40 L/m ² .dia	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
EFL BRUTO	275,67	134,75	332,83	101,95	242,56	41,24	265,90	93,70	335,71	58,32
AFL VALAS	115,60	45,79	146,21	49,83	114,13	35,39	124,81	65,49	160,77	99,89
VALA 0,25 m	19,83	13,22	19,41	19,47	17,47	15,76	16,87	9,22	30,30	13,77
VALA 0,50 m	11,95	9,31	16,89	19,92	25,34	9,31	19,54	5,20	16,36	6,90
VALA 0,75 m	11,34	15,93	14,85	12,31	11,57	10,25	25,90	23,89	27,98	19,11

Na Tabela 5.25 pode-se observar que as três valas tiveram desempenho semelhante nas taxas estudadas, valores sempre superiores a 77% de eficiência na remoção de DBO_{Total} , porém com um melhor desempenho na vala 0,75 m na taxa 20 L/m².dia (90,19%). Estes resultados demonstram que com taxas maiores de aplicação de efluente podemos, ainda assim, conseguir bons resultados. Os filtros anaeróbios tiveram um bom desempenho apesar de estarem operando com um baixo tempo de detenção hidráulico (3 horas); mostrando resultados semelhantes ao o ocorrido com a DQO_{Total} .

Tabela 5.25 – Remoção de DBO_{Total} (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas

DBO TOTAL	Taxa 20 L/m ² .dia	Taxa 25 L/m ² .dia	Taxa 30 L/m ² .dia	Taxa 35 L/m ² .dia	Taxa 40 L/m ² .dia
Filtro Anaeróbio	58,07	56,07	52,95	53,06	52,11
VALA 0,25 m	82,85	86,73	84,69	86,48	81,15
VALA 0,50 m	89,66	88,45	77,80	84,35	89,82
VALA 0,75 m	90,19	89,84	89,87	79,25	82,60

Quando se compara os resultados de DBO_{Total} desta pesquisa com os resultados encontrados na literatura, vemos que com taxas maiores, ou seja até 100 L/m².dia, pode-se chegar a eficiência entre 50 e 80 %; valores estes constantes na NBR 13.969/1997 para valas de filtração tratando efluente de tanque séptico, com altura da camada de areia filtrante igual a 0,70 m. Segundo VAN BUUREN (1999), a eficiência de

valas de filtração tratando efluente de tanque séptico com camada de areia filtrante variando entre 0,50 e 1,20 m, com taxa de aplicação variando de 50 a 100 L/m².dia, a remoção de DBO_{Total}, foi em média igual a 95%. Quando compara-se este valores com os relatados na USEPA (1999), em que se estudou 30 sistemas de valas de filtração que receberam efluentes de tanques sépticos, e mostraram remoção 98% de DBO_{Total} (redução de 160,2 para 2,17 mg/L) nota-se que as valas desta pesquisa foram menos eficientes, além dos valores de DBO_{Total} na saída serem sempre maiores.

Valores entre 85 e 90% de remoção de DBO_{Total} foram obtidos nas valas desta pesquisa nas taxas estudadas, necessita-se, portanto, de estudos com taxas maiores e um maior tempo de operação para saber-se se estes valores mantêm-se em taxas mais elevadas, como no estudo realizado por VAN BUUREN (1999) e como sugere a NBR 13.969/1997.

5.3.5.2 - $DBO_{Filtrada}$

Como ilustrado na Figura 5.11, houve uma grande variação nos valores de $DBO_{Filtrada}$ no esgoto bruto, mas para o efluente dos filtros anaeróbios (afluente às valas), semelhante a DBO_{Total} , os valores foram mais constantes indicando que os filtros suportaram bem as grande cargas de $DBO_{Filtrada}$, fato este que pode ser observado nos 36º, 91º, 119º, 252º e 329º dias de operação. Exceção, no 399º dia de operação, onde a $DBO_{Filtrada}$ no efluente bruto foi igual a 189,25 mg/L e no afluente às valas 130,26 mg/L; neste mesmo dia a DBO_{Total} tinha valores elevados, tanto no efluente bruto como no afluente às valas (360,70 e 235,60 mg/L respectivamente).

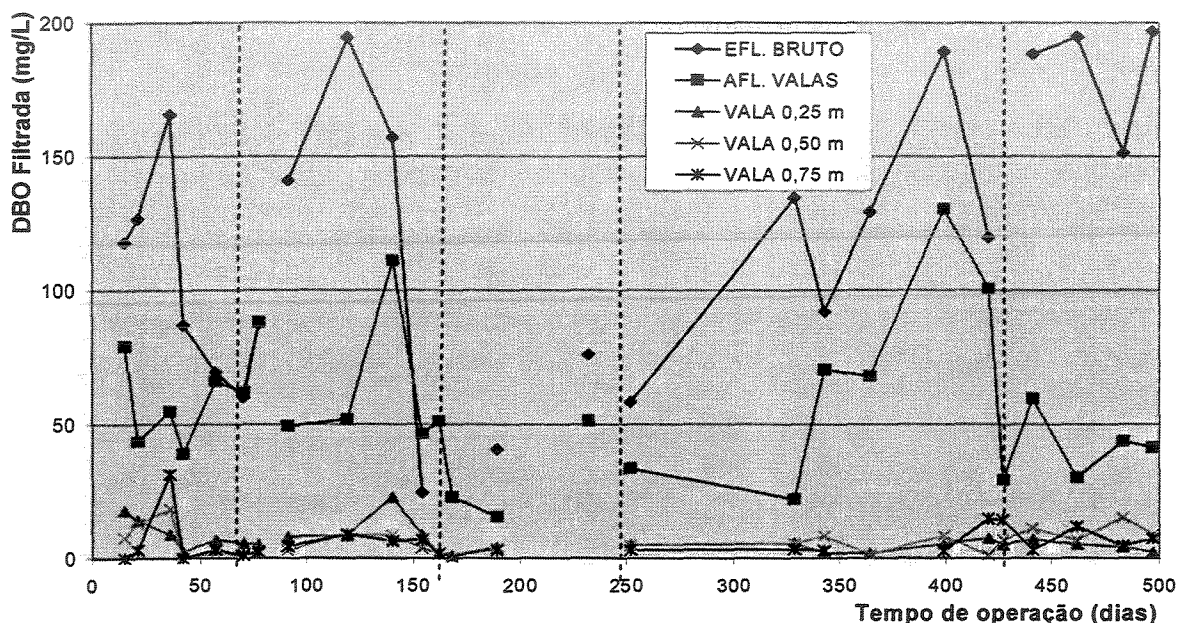


Figura 5.11 – Valores de $DBO_{filtrada}$ (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração

Na Tabela 5.26, nota-se que os valores médios de $DBO_{Filtrada}$, em mg/L, do Efluente Bruto, estiveram entre 58,29 e 182,72 e os valores de saída (Afluente às Valas) entre 33,40 e 69,99. Para as valas estes valores médios ficaram entre 4,25, na vala 0,25 na taxa 30 L/m².dia e 10,48 na vala 0,50 na taxa 240 L/m².dia, valores estes próximos e que indicam também que as valas suportaram bem os picos de $DBO_{Filtrada}$ afluente, assim como ocorrido na $DQO_{Filtrada}$.

Tabela 5.26 – Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de DBO_{Total} nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração

DBO FILTRADA	Taxa 20 L/m ² .dia		Taxa 25 L/m ² .dia		Taxa 30 L/m ² .dia		Taxa 35 L/m ² .dia		Taxa 40 L/m ² .dia	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
EFL BRUTO	101,96	36,88	129,21	73,37	58,29	17,75	132,89	35,51	182,72	21,29
AFL VALAS	61,77	17,86	55,39	29,36	33,40	17,92	69,99	41,32	43,60	12,15
VALA 0,25 m	8,75	5,44	8,49	7,80	4,49	0,71	4,60	2,24	4,71	2,04
VALA 0,50 m	6,39	6,97	4,41	3,63	4,25	0,85	5,23	3,26	10,48	3,63
VALA 0,75 m	5,88	11,30	5,71	2,76	3,05	0,07	7,62	6,30	6,71	3,86

Na Tabela 5.27 pode-se observar que as três valas tiveram desempenho semelhante nas taxas estudadas, valores sempre superiores a 75% de eficiência na remoção de $DBO_{Filtrada}$, porém com um melhor desempenho na vala 0,50 m na taxa 35 L/m².dia (92,52%). Estes resultados demonstram que com taxas maiores de aplicação de efluente podemos, ainda assim, conseguir bons resultados. Os filtros anaeróbios tiveram um bom desempenho apesar de estarem operando com um baixo tempo de detenção hidráulico (3 horas). Isto demonstra que houve remoção biológica e não somente remoção física da matéria orgânica, tanto nas valas como nos filtros anaeróbios, o que é desejável

Tabela 5.27 – Remoção de $DBO_{Filtrada}$ (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas

DBO FILTRADA	Taxa 20 L/m ² .dia	Taxa 25 L/m ² .dia	Taxa 30 L/m ² .dia	Taxa 35 L/m ² .dia	Taxa 40 L/m ² .dia
Filtro Anaeróbio	39,42	57,13	42,70	47,34	76,14
VALA 0,25 m	85,83	84,67	86,55	93,43	89,19
VALA 0,50 m	89,65	92,03	87,28	92,52	75,97
VALA 0,75 m	90,49	89,69	90,87	89,11	84,61

5.3.6 - NITROGÊNIO

Na Figura 5.12, ilustra-se os valores de NTK, onde, na maioria das vezes, os valores desta forma do Nitrogênio no Efluente Bruto são maiores que o do Afluente às Valas e estes maiores que nas saídas das valas. Exceção no 400º dia de operação onde o efluente da vala 0,75 m foi ligeiramente maior que o do Afluente às valas. Os valores de NTK no Efluente Bruto, em mg/L, variaram de 20,40 a 112,00, no Afluente às Valas de 23,40 a 102,00 e nas saídas das valas variaram de 0,03 a 55,00. Os valores médios, em mg/L, no Efluente Bruto variaram de 50,22 a 83,90 e no Afluente às valas variaram de 36,98 a 62,66. Na vala 0,25 m, estes valores médios, em mg/L, nas diversas taxas aplicadas, variaram de 3,75 a 27,14; na vala 0,50 variaram de 4,53 a 21,13 e na vala 0,75 m de 8,48 a 24,31. Estes valores médios estão apresentados na Tabela 5.28.

Os valores de N-NH_3 são apresentados na Figura 5.13 e, como ocorrido com o NTK, na maioria das vezes, estes valores no Efluente Bruto são maiores que o do Afluente às Valas e estes maiores que nas saídas das valas. Exceção no 15º, 140º e 427º dias de operação onde o efluente das valas foi ligeiramente maior que o do Afluente às valas. Os valores de N-NH_3 no Efluente Bruto, em mg/L, variaram de 2,60 a 49,30, no Afluente às Valas de 0,96 a 43,70 e nas saídas das valas variaram de 0,02 a 30,80. Os valores médios, em mg/L, no Efluente Bruto variaram de 14,08 a 34,23 e no Afluente às valas variaram de 18,43 a 26,21. Na vala 0,25 m, estes valores médios, em mg/L, nas diversas taxas aplicadas, variaram de 1,67 a 9,26; na vala 0,50 variaram de 1,79 a 6,97 e na vala 0,75 m de 5,20 a 13,05. Estes valores médios estão apresentados na Tabela 5.28.

A Figura 5.14 ilustra os valores da forma orgânica do Nitrogênio – N_{org} , ou seja, a diferença entre NTK e N-NH_3 ($\text{N}_{\text{org}} = \text{NTK} - \text{N-NH}_3$). Assim sendo, os valores de N_{org} no Efluente Bruto, em mg/L, variaram de 9,60 a 100,00, no Afluente às Valas de 2,40 a 65,55 e nas saídas das valas variaram de 0,01 a 44,96. Os valores médios, em mg/L, no Efluente Bruto variaram de 29,92 a 68,85 e no Afluente às valas variaram de 12,72 a

44,05. Na vala 0,25 m, estes valores médios, em mg/L, nas diversas taxas aplicadas, variaram de 1,24 a 17,91; na vala 0,50 variaram de 2,15 a 16,12 e na vala 0,75 m de 3,02 a 14,81. Estes valores médios estão apresentados na Tabela 5.28.

Os valores de Nitrito (NO_2) são apresentados na Figura 5.15 e, na maioria das vezes, estes valores ficaram abaixo de 1,00 mg/L no Efluente Bruto, no Afluente às Valas e nas saídas das valas. Exceção no 189°, 217°, 232°, 238°, 399°, 420°, 462° e 483° dias de operação. Os valores de Nitrito no Efluente Bruto, em mg/L, variaram de 0,03 a 5,00, no Afluente às Valas de 0,02 a 3,60 e nas saídas das valas variaram de 0,00 a 2,70. Os valores médios, em mg/L, no Efluente Bruto variaram de 0,16 a 4,08 e no Afluente às valas variaram de 0,04 a 2,57. Na vala 0,25 m, estes valores médios, em mg/L, nas diversas taxas aplicadas, variaram de 0,18 a 1,43; na vala 0,50 variaram de 0,05 a 0,65 e na vala 0,75 m de 0,12 a 0,65. Estes valores médios estão apresentados na tabela 5.28.

Os valores de Nitrato (NO_3) são apresentados na Figura 5.16 e, na maioria das vezes, estes valores ficaram abaixo de 20,00 mg/L no Efluente Bruto, no Afluente às Valas e nas saídas das valas. Exceção no 57°, 77°, 119°, 343°, 364°, 420°, 462° e 483° dias de operação pois houveram interrupções na entrada do efluente nos dias anteriores (por motivos operacionais) fazendo com que o ambiente no interior das mesmas tornasse-se aeróbio e favorecesse o aumento do Nitrato e Nitrito no efluente das valas. Os valores de Nitrato no Efluente Bruto, em mg/L, variaram de 0,10 a 0,78, no Afluente às Valas de 0,02 a 2,30 e nas saídas das valas variaram de 0,02 a 58,50. Os valores médios, em mg/L, no Efluente Bruto variaram de 0,28 a 1,72 e no Afluente às valas variaram de 0,20 a 0,65. Na vala 0,25 m, estes valores médios, em mg/L, nas diversas taxas aplicadas, variaram de 3,48 a 19,26; na vala 0,50 variaram de 5,41 a 21,20 e na vala 0,75 m de 0,59 a 8,52. Estes valores médios estão apresentados na Tabela 5.28.

Os valores de N_{total} são apresentados na Figura 5.17, onde nota-se que o sistema de pós-tratamento de efluente anaeróbio por valas de filtração mostrou uma

boa remoção de Nitrogênio Total, sendo que os valores de N_{Total} no Efluente Bruto sempre foram maiores que no Afluente às valas e estes maiores que na saída das valas. Verifica-se tal fato com a soma das parcelas das diferentes espécies químicas do N_{Total} ($NTK+NO_2+NO_3$), justificando-se essa diminuição do N_{Total} nas valas, provavelmente, pela volatilização da amônia e desnitrificação ocorrida nas mesmas. Desta forma, os valores médios, em mg/L apresentados na Tabela 5.28, no Efluente Bruto variaram de 51,00 a 84,86 e no Afluente às valas variaram de 37,87 a 63,02. Na vala 0,25 m, estes valores médios, em mg/L, nas diversas taxas aplicadas, variaram de 12,85 a 37,94; na vala 0,50 variaram de 14,63 a 31,00 e na vala 0,75 m de 13,16 a 33,17. A eficiência de remoção de N-total é mostrada na Tabela 5.29, sendo que a vala 0,75 m na taxa 30 L/m².dia foi a mais eficiente (65,26 %) e a vala 0,50 m na taxa 35 L/m².dia foi a menos eficiente (18,51 %). A taxa 30 L/m².dia foi a mais eficiente e a taxa 35 L/m².dia a menos eficiente na remoção de N_{Total} .

Quando se compara os resultados de N_{Total} desta pesquisa com os resultados encontrados por VAN BUUREN (1999), onde a eficiência de valas de filtração tratando efluente de tanque séptico com camada de areia filtrante variando entre 0,50 e 1,20 m, com taxa de aplicação variando de 50 a 100 L/m².dia, foi em média igual a 30% sem recirculação e igual a 70% com recirculação. Em relação aos valores relatados na USEPA (1999), em que se estudou 30 sistemas de valas de filtração que receberam efluentes de tanques sépticos, e mostraram remoção 40% de N_{Total} (redução de 61,8 para 37,4 mg/L), sem recirculação, nota-se que as valas desta pesquisa foram menos eficientes, mas os valores de N_{Total} na saída foram próximos ou menores a 37,4 mg/L.

Valores próximos a 30% de remoção de N_{Total} , sem recirculação, foram obtidos nas valas desta pesquisa nas taxas estudadas. Necessita-se, portanto, de estudos com taxas maiores e um maior tempo de operação, além de estudos com recirculação deste efluente das valas para saber se estes valores aproximam-se a 70% como no estudo de VAN BUUREN.

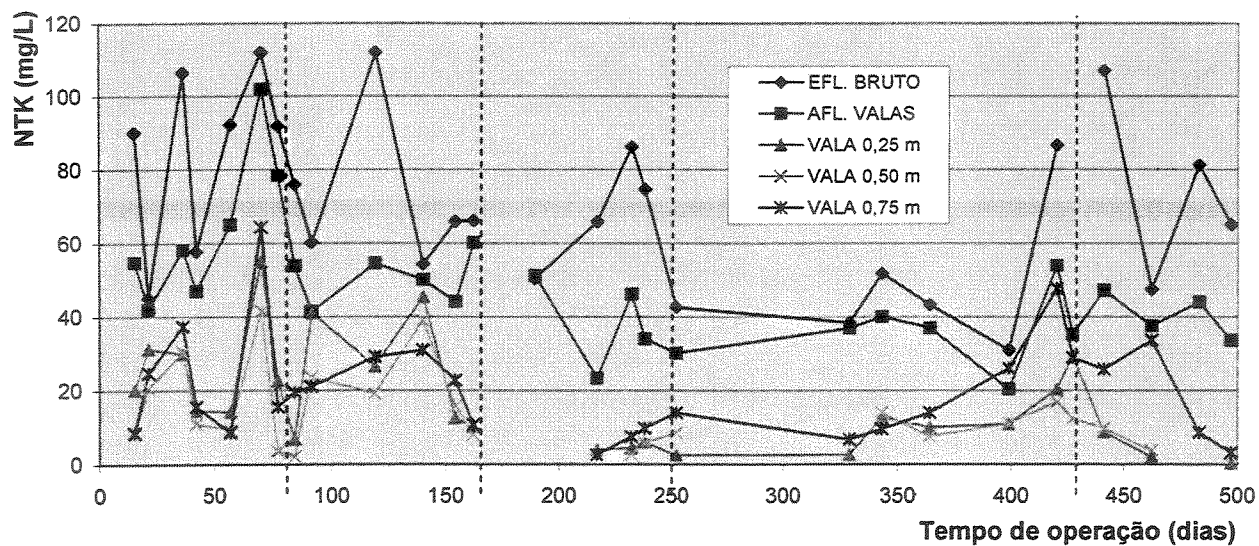


Figura 5.12 – Valores de NTK (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração

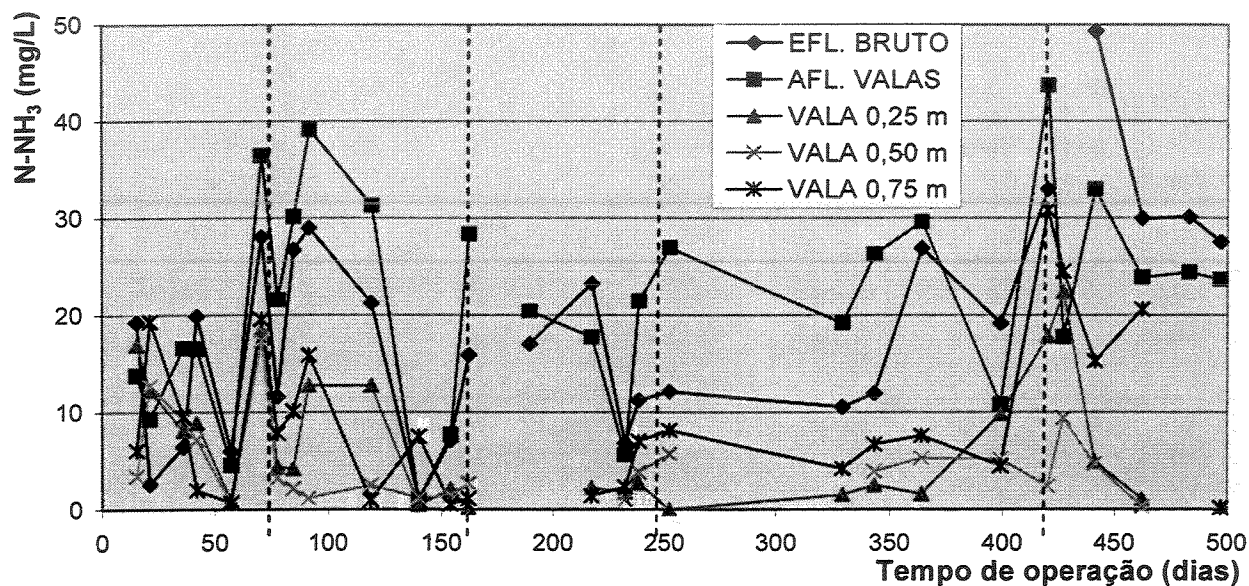


Figura 5.13 – Valores de N-NH₃ (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração

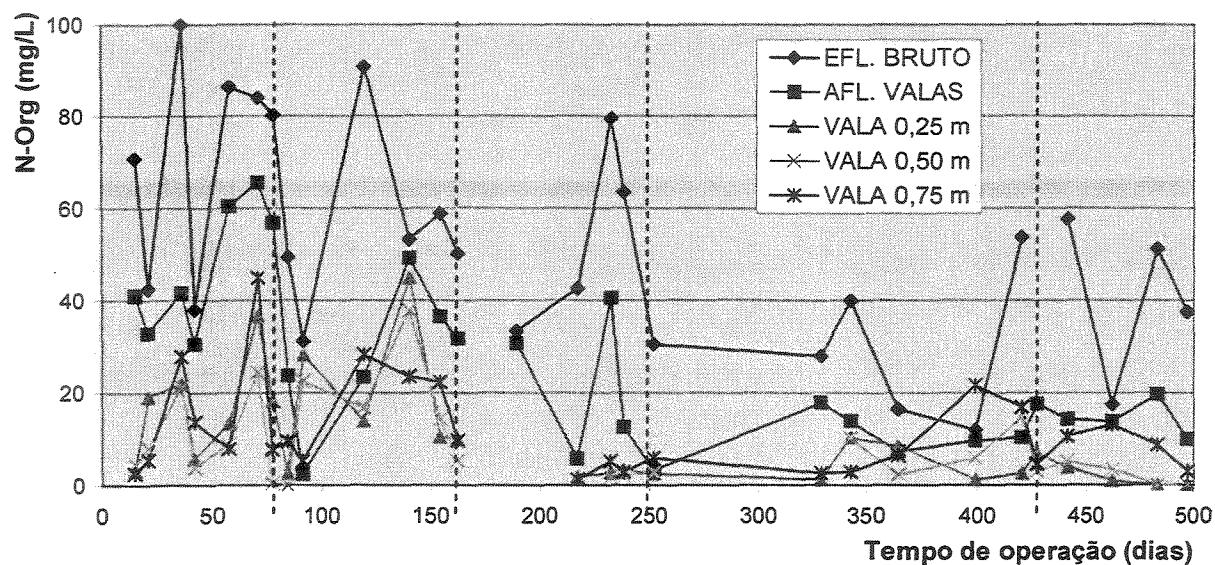


Figura 5.14 – Valores de N-org (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração

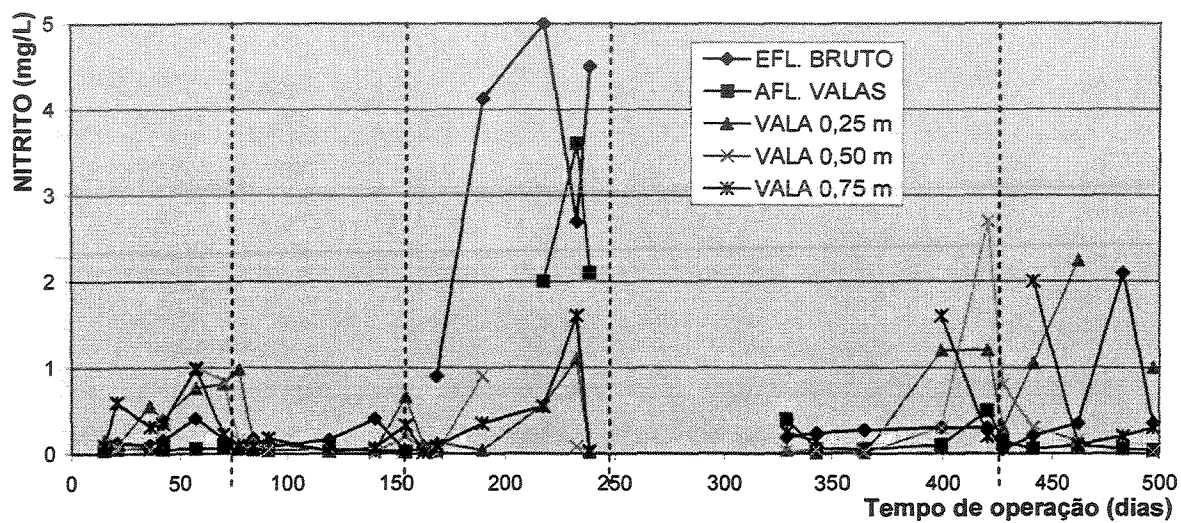


Figura 5.15 – Valores de Nitrito (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração

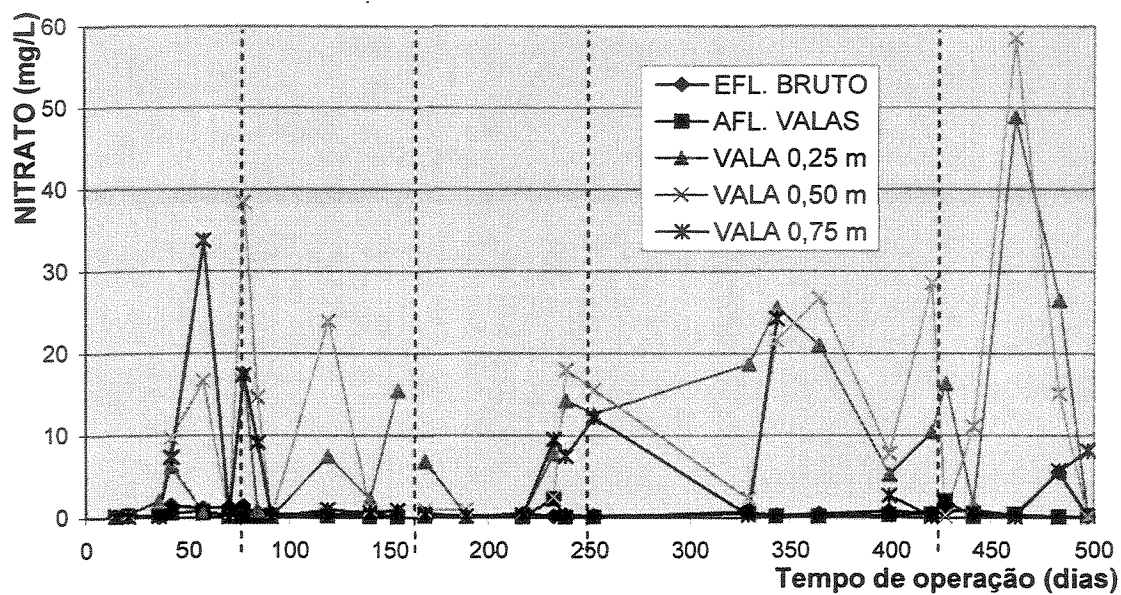


Figura 5.16 – Valores de Nitrato (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração

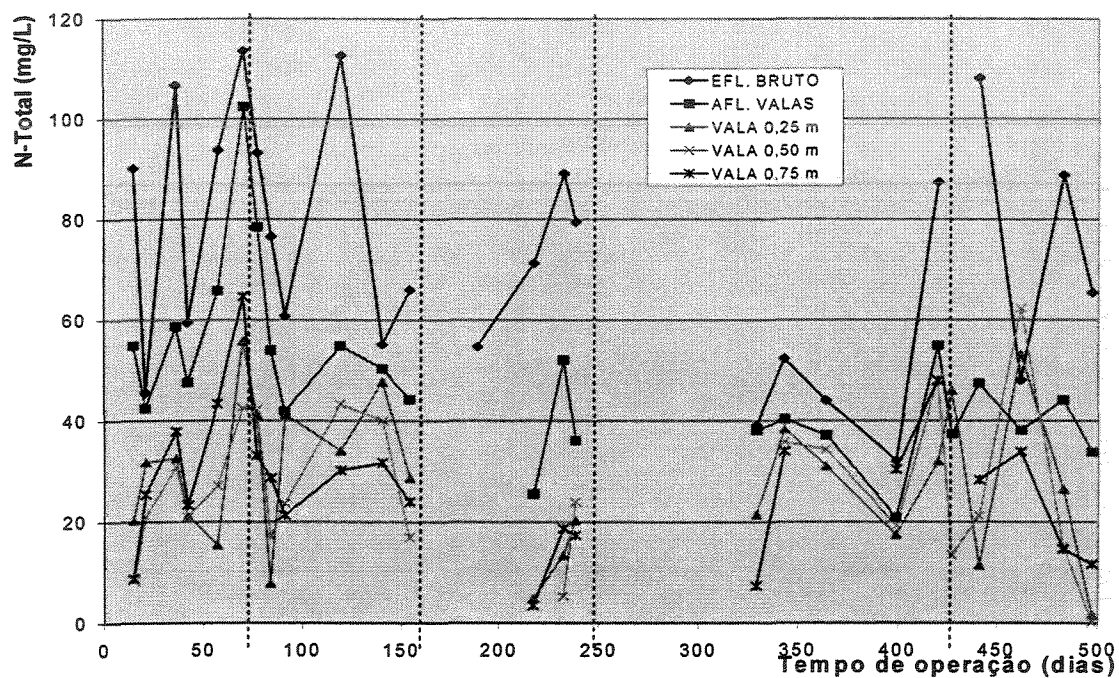


Figura 5.17 – Valores de N-Total (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração

Tabela 5.28 – Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de NTK, N-NH₃, N-org, NITRITO, NITRATO e N-total nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração

		Taxa 20 L/m ² .dia		Taxa 25 L/m ² .dia		Taxa 30 L/m ² .dia		Taxa 35 L/m ² .dia		Taxa 40 L/m ² .dia	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
NTK	EFL. BRUTO	83,90	23,06	71,68	23,06	63,92	17,69	50,22	21,69	75,15	25,33
	AFL. VALAS	62,66	19,38	50,09	7,59	36,98	11,45	37,26	10,74	40,60	6,14
	VALA 0,25 m	24,32	14,87	27,14	16,02	4,25	1,44	14,39	9,29	3,75	4,46
	VALA 0,50 m	15,88	14,00	21,13	11,51	5,69	2,90	12,45	3,50	4,53	4,96
	VALA 0,75 m	24,31	18,70	22,98	7,99	8,48	4,77	22,18	15,30	17,85	14,29
N-NH ₃	EFL. BRUTO	15,05	9,78	14,85	11,11	14,08	6,29	20,30	9,61	34,23	10,12
	AFL. VALAS	18,61	10,54	21,47	16,32	18,43	7,92	24,54	11,49	26,21	4,50
	VALA 0,25 m	9,26	6,24	5,65	6,52	1,67	1,18	9,26	9,06	2,10	2,46
	VALA 0,50 m	6,97	5,80	1,79	0,75	3,49	2,37	5,23	2,61	2,49	3,12
	VALA 0,75 m	9,39	7,04	5,20	6,64	4,71	3,35	13,05	11,56	12,01	10,59
N-ORG (NTK-NH ₃)	EFL. BRUTO	68,85	22,90	47,36	30,20	49,84	20,96	24,94	19,60	40,93	17,78
	AFL. VALAS	44,05	15,28	23,85	19,45	18,55	16,32	12,72	4,34	14,39	3,97
	VALA 0,25 m	15,06	11,48	17,91	16,09	2,06	1,28	5,13	3,97	1,24	1,83
	VALA 0,50 m	8,91	9,19	16,12	13,33	1,32	1,26	6,02	5,49	2,15	2,57
	VALA 0,75 m	14,92	14,33	14,81	11,40	3,02	2,53	9,13	8,06	8,85	4,28
NITRITO (NO ₂)	EFL. BRUTO	0,16	0,11	0,32	0,36	4,08	0,99	0,23	0,10	0,75	0,90
	AFL. VALAS	0,05	0,01	0,04	0,01	2,57	0,90	0,21	0,19	0,06	0,03
	VALA 0,25 m	0,49	0,34	0,18	0,24	0,43	0,51	0,46	0,58	1,43	0,71
	VALA 0,50 m	0,33	0,38	0,05	0,08	0,34	0,49	0,65	1,05	0,16	0,14
	VALA 0,75 m	0,34	0,31	0,12	0,12	0,63	0,68	0,55	0,70	0,65	0,90
NITRATO (NO ₃)	EFL. BRUTO	0,80	0,60	0,35	0,18	0,28	0,12	0,56	0,20	1,72	2,57
	AFL. VALAS	0,30	0,27	0,20	0,06	0,62	1,12	0,65	0,72	0,21	0,12
	VALA 0,25 m	3,48	6,07	6,45	5,92	7,04	6,63	16,21	7,35	19,26	23,12
	VALA 0,50 m	10,06	13,41	5,41	10,39	9,27	8,76	14,53	12,61	21,20	25,67
	VALA 0,75 m	8,52	11,97	0,59	0,38	5,96	5,45	6,86	11,63	3,61	3,94
N-TOTAL (NTK+NO ₂ +NO ₃)	EFL. BRUTO	84,86	23,09	73,62	26,33	73,63	14,58	51,00	21,66	77,62	26,32
	AFL. VALAS	63,02	19,36	47,82	5,92	37,87	13,32	38,12	10,83	40,87	6,07
	VALA 0,25 m	28,29	15,35	37,94	8,30	12,85	7,70	31,06	10,55	23,15	22,49
	VALA 0,50 m	26,27	11,98	31,00	12,70	14,63	13,13	30,20	13,93	24,71	26,62
	VALA 0,75 m	33,17	16,41	26,80	4,95	13,16	8,40	29,93	16,83	22,11	10,70

Tabela 5.29 – Remoção de N-total (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas

Ntotal	Taxa 20 L/m ² .dia	Taxa 25 L/m ² .dia	Taxa 30 L/m ² .dia	Taxa 35 L/m ² .dia	Taxa 40 L/m ² .dia
Filtro Anaeróbio	25,74	35,05	48,56	25,26	47,35
VALA 0,25 m	55,12	20,66	66,07	18,51	43,34
VALA 0,50 m	58,31	35,18	61,39	20,77	39,54
VALA 0,75 m	47,37	43,95	65,26	21,48	45,89

5.3.7 - COLIFORMES TOTAIS e *e. coli*

Analizou-se a remoção de Coliformes Totais e *e. coli*. nos filtros anaeróbios e nas valas, sendo que estas tiveram uma boa remoção destes organismos indicadores de patogenicidade. Nota-se na Tabela 5.30 que o número de Coliformes Totais no efluente bruto, em média no período estudado, variou de $9,35 \times 10^7$ a $8,64 \times 10^8$, no afluente as valas variou de $2,85 \times 10^7$ a $1,64 \times 10^8$. Os valores médios de saída das valas variaram de $2,13 \times 10^3$ (vala 0,75 m na taxa 30 L/m².dia) a $7,39 \times 10^4$ (vala 0,25 m na taxa 40 L/m².dia). Os valores médios de *e. coli* estão na Tabela 5.31, onde se pode notar que no efluente bruto variou de $3,70 \times 10^6$ a $4,96 \times 10^7$ e na entrada das valas de $6,74 \times 10^6$ a $4,26 \times 10^7$. Na saída das valas estes valores variaram de $1,17 \times 10^3$ (vala 0,50 m na taxa 35 L/m².dia) a $1,06 \times 10^5$ (vala 0,25 m na taxa 30 L/m².dia).

Tabela 5.30 – Valores Médios de Coliformes totais nas valas de filtração nas taxas de aplicação estudadas

COLIFORMES TOTAIS	Taxa 20 L/m ² .dia		Taxa 25 L/m ² .dia		Taxa 30 L/m ² .dia		Taxa 35 L/m ² .dia		Taxa 40 L/m ² .dia	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
EFL. BRUTO	7,03E+08	6,05E+08	4,71E+08	5,49E+08	9,35E+07	9,06E+07	8,64E+08	1,35E+09	1,69E+08	1,56E+08
AFL. VALAS	1,64E+08	4,51E+07	1,20E+08	1,15E+08	2,85E+07	2,19E+07	1,01E+08	8,46E+07	5,36E+07	6,69E+07
VALA 0,25 m	2,36E+04	3,51E+04	5,86E+04	6,27E+04	1,22E+05	8,98E+04	2,25E+04	1,52E+04	7,39E+04	8,96E+04
VALA 0,50 m	7,45E+03	5,18E+03	6,81E+04	6,00E+04	3,21E+03	2,42E+03	1,60E+04	2,18E+04	1,64E+04	2,23E+04
VALA 0,75 m	3,46E+04	3,23E+04	6,62E+04	8,81E+04	2,13E+03	1,30E+03	2,81E+04	9,12E+03	7,71E+03	5,91E+03

Tabela 5.31 – Valores Médios de *e. coli* nas valas de filtração nas taxas de aplicação estudadas

e. coli	Taxa 20 L/m ² .dia		Taxa 25 L/m ² .dia		Taxa 30 L/m ² .dia		Taxa 35 L/m ² .dia		Taxa 40 L/m ² .dia	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
EFL. BRUTO	4,96E+07	6,98E+07	4,66E+06	4,51E+06	2,50E+07	2,39E+07	3,70E+06	2,65E+06	5,49E+06	6,87E+06
AFL. VALAS	1,14E+07	2,11E+06	8,56E+06	2,61E+06	4,26E+07	1,70E+07	6,74E+06	7,31E+06	1,01E+07	2,51E+06
VALA 0,25 m	6,68E+03	5,58E+03	1,90E+03	1,20E+03	1,06E+05	1,23E+05	9,75E+03	4,51E+03	7,10E+03	5,90E+03
VALA 0,50 m	4,40E+03	5,08E+03	6,61E+03	6,89E+03	3,65E+03	3,75E+03	1,17E+03	9,33E+02	8,61E+03	8,44E+03
VALA 0,75 m	1,18E+03	9,82E+02	9,34E+03	1,66E+04	1,76E+03	1,59E+03	1,87E+03	-	1,26E+03	1,34E+03

Na Tabela 5.32 tem-se a eficiência dos filtros anaeróbios e das valas na remoção de coliformes totais em função das taxas aplicadas. Pode-se notar que a eficiência mínima foi igual a 99,5714 % na vala 0,25 m e taxa 30 L/m².dia e que a máxima eficiência foi igual a 99,9955 % na vala 0,50 e taxa 20 L/m².dia. Nos filtros anaeróbios a remoção mínima de Coliformes Totais foi de 68,2290%.

Tabela 5.32 – Remoção de Coliformes Totais (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas

COLIFORMES TOTAIS	Taxa 20 L/m ² .dia	Taxa 25 L/m ² .dia	Taxa 30 L/m ² .dia	Taxa 35 L/m ² .dia	Taxa 40 L/m ² .dia
Filtro Anaeróbio	76,6674	74,5503	69,4892	88,2646	68,2290
VALA 0,25 m	99,9856	99,9512	99,5714	99,9778	99,8621
VALA 0,50 m	99,9955	99,9433	99,9887	99,9842	99,9693
VALA 0,75 m	99,9789	99,9448	99,9925	99,9723	99,9856

Quando se compara os resultados de Coliforme Total desta pesquisa com os resultados encontrados na literatura, vê-se que com taxas maiores, ou seja até 100 L/m².dia, pode-se chegar a eficiência entre 99,5 %; valores estes constantes na NBR 13.969/1997 para valas de filtração tratando efluente de tanque séptico, com altura da camada de areia filtrante igual a 0,70 m. Segundo KRISTIANSEN (1981), há a redução de 10⁶ para 10² Coliformes Totais para valas de filtração tratando efluente de tanque séptico com camada de areia filtrante igual a 0,75 m, Quando comparado com os valores relatados na USEPA (1999), em que se estudou 30 sistemas de valas de filtração que receberam efluentes de tanques sépticos, e mostraram remoção 99% de

Coliformes Totais (redução de $6,82 \times 10^5$ para $7,30 \times 10^2$), sem recirculação, nota-se que as valas desta pesquisa foram mais eficientes, além de ter havido a redução de 10^7 para 10^3 Coliforme Total. Valores próximos e na maioria das vezes superiores a 99,57% de remoção de Coliformes Totais foram obtidos nas valas desta pesquisa nas taxas estudadas, necessita-se, portanto, de estudos com taxas maiores e um maior tempo de operação para saber-se se estes valores mantêm-se em taxas mais elevadas, como sugere a NBR 13.969/1997 e a USEPA (1999).

Na Tabela 5.33 tem-se a eficiência de cada vala na remoção de *e. coli* em função das taxas aplicadas. Pode-se notar que a eficiência mínima foi igual a 99,7510 % na vala 0,25 m e taxa 30 L/m².dia e que a máxima eficiência foi igual a 99,9959 % também na vala 0,75 também na taxa 30 L/m².dia. Nos filtros anaeróbios não houve remoção de *e.coli*, exceto na taxa 20 L/m².dia.

Tabela 5.33 – Remoção de *e. coli* (%) nas valas de filtração nas taxas estudadas

e. coli	Taxa 20 L/m ² .dia	Taxa 25 L/m ² .dia	Taxa 30 L/m ² .dia	Taxa 35 L/m ² .dia	Taxa 40 L/m ² .dia
Filtro Anaeróbio	77,0472	83,6910	69,9734	-82,1608	-84,4660
VALA 0,25 m	99,9413	99,9778	99,7510	99,8553	99,9299
VALA 0,50 m	99,9614	99,9228	99,9914	99,9826	99,9151
VALA 0,75 m	99,9896	99,8908	99,9959	99,9723	99,9876

Tanto a remoção de *e. coli* como de Coliformes Totais, foram elevadas nas valas de filtração, mas para um futuro reuso deste efluente, visando a segurança sanitária, necessita-se de desinfecção do mesmo, pois a OMS fixa em 10^3 NMP/100 mL de *e.coli* para reuso direto de efluentes.

5.3.8 – ST, STF, STV, SST, SSF e SSV

5.3.8.1 - ST, STF e STV

Os Sólidos Totais (ST) são a soma de Sólidos Totais Fixos (STF) e Sólidos Totais Voláteis (STV); assim sendo, os valores médios de STF, em mg/L, no efluente bruto no período estudado, variaram de 318,75 (taxa 30 L/m².dia) a 544,63 (taxa 20 L/m².dia) – Figura 5.19. Esses valores foram na maioria das vezes superiores aos valores do afluente às valas, onde estes ficaram na média, em mg/L, entre 217,75 (taxa 30 L/m².dia) e 338,60 (taxa 25 L/m².dia). Os valores médios de saída das valas nem sempre foram sempre inferiores ao afluente, assim sendo, os valores médios, em mg/L, na vala 0,25 m variaram de 224,00 (taxa 35 L/m².dia) a 419,33 (taxa 40 L/m².dia); na vala 0,50 m de 63,70 (taxa 25 L/m².dia) a 356,00 (taxa 40 L/m².dia) e na vala 0,75 m de 149,00 (taxa 30 L/m².dia) a 271,60 (taxa 35 L/m².dia) – Tabela 5.35.

Como ilustrado na Figura 5.20, os valores médios de STV, em mg/L, no efluente bruto no período estudado, variaram de 419,50 (taxa 30 L/m².dia) a 941,50 (taxa 35 L/m².dia). Na Tabela 5.36 nota-se que esses valores foram na maioria das vezes superiores aos valores do afluente às valas, onde estes ficaram na média, em mg/L, entre 246,25 (taxa 30 L/m².dia) e 531,80 (taxa 35 L/m².dia). Os valores médios de STV na saída das valas foram sempre inferiores ao afluente, exceção na vala 0,50 na taxa 40 L/m².dia. Os valores médios, em mg/L, na vala 0,25 m variaram de 106,91 (taxa 20 L/m².dia) a 356,40 (taxa 25 L/m².dia); na vala 0,50 m de 99,25 (taxa 20 L/m².dia) a 315,33 (taxa 40 L/m².dia) e na vala 0,75 m de 82,33 (taxa 30 L/m².dia) a 164,80 (taxa 25 L/m².dia). Observa-se que os valores de STV no efluente das valas são menores na taxa 35 L/m².dia. A eficiência de remoção, nesta taxa nas três valas, sempre superior a 51%; mas nas demais taxas a eficiência foi sempre superior a 30%, exceção na vala 0,50 na taxa 40 L/m².dia – Tabela 5.39.

Como o ocorrido com os STF e STV, a remoção de ST foi satisfatória, sendo que os valores médios de ST, em mg/L, no efluente bruto no período estudado, variaram de 738,25 (taxa 30 L/m².dia) a 1544,20 (taxa 25 L/m².dia) – Figura 5.18. Esses valores foram na maioria das vezes superiores aos valores do afluente às valas, onde estes

ficaram na média, em mg/L, entre 464,00 (taxa 30 L/m².dia) e 854,80 (taxa 25 L/m².dia). Os valores médios de ST, na saída das valas, foram sempre inferiores ao afluente, exceção na vala 0,25 e 0,50 na taxa 40 L/m².dia; assim sendo, os valores médios, em mg/L, na vala 0,25 m variaram de 345,41 (taxa 20 L/m².dia) a 682,67 (taxa 40 L/m².dia); na vala 0,50 m de 231,36 (taxa 25 L/m².dia) a 671,36 (taxa 40 L/m².dia) e na vala 0,75 m de 231,33 (taxa 30 L/m².dia) a 420,60 (taxa 35 L/m².dia) – Tabela 5.34. Nota-se que a eficiência de remoção, nas três valas, foi sempre superior a 20% (tabela 5.37) na taxa 20, 25, 30 e 35 L/m².dia; mas na taxa 40 L/m².dia não houve remoção de ST nas valas 0,25 e 0,50 m.

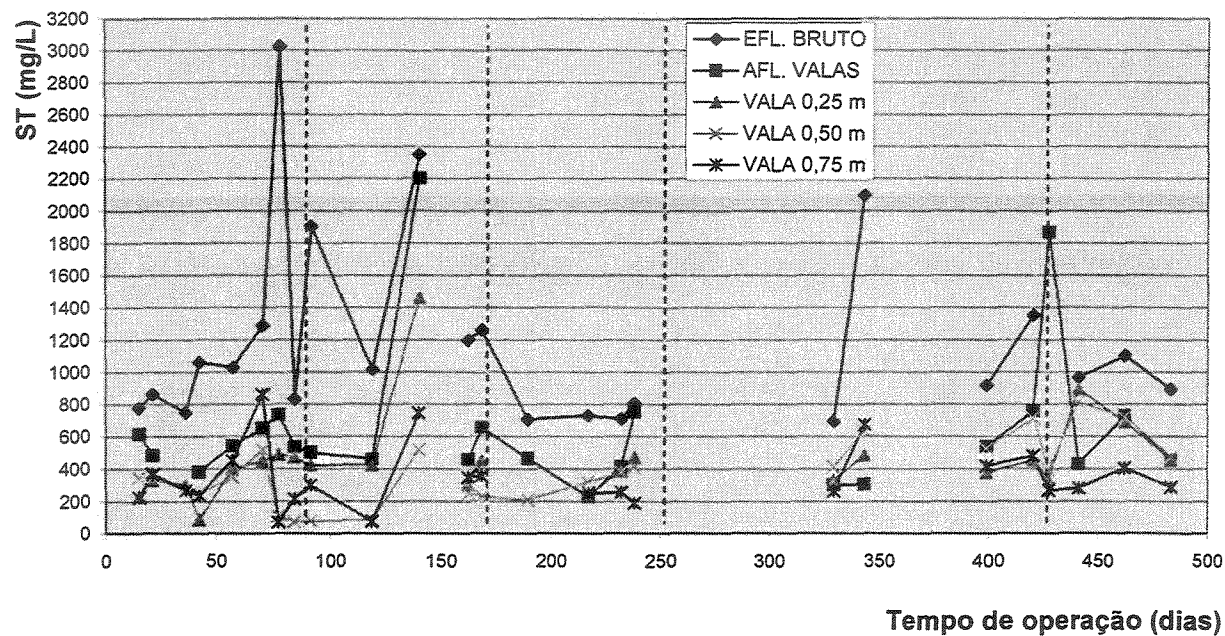


Figura 5.18 – Valores de ST (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração

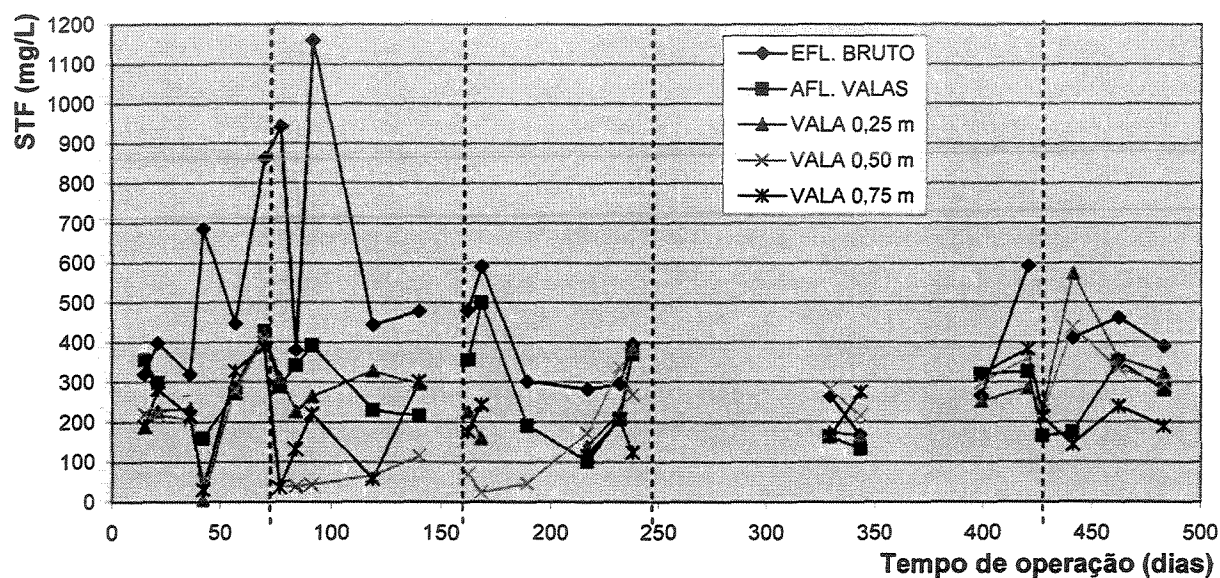


Figura 5.19 – Valores de STF (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração

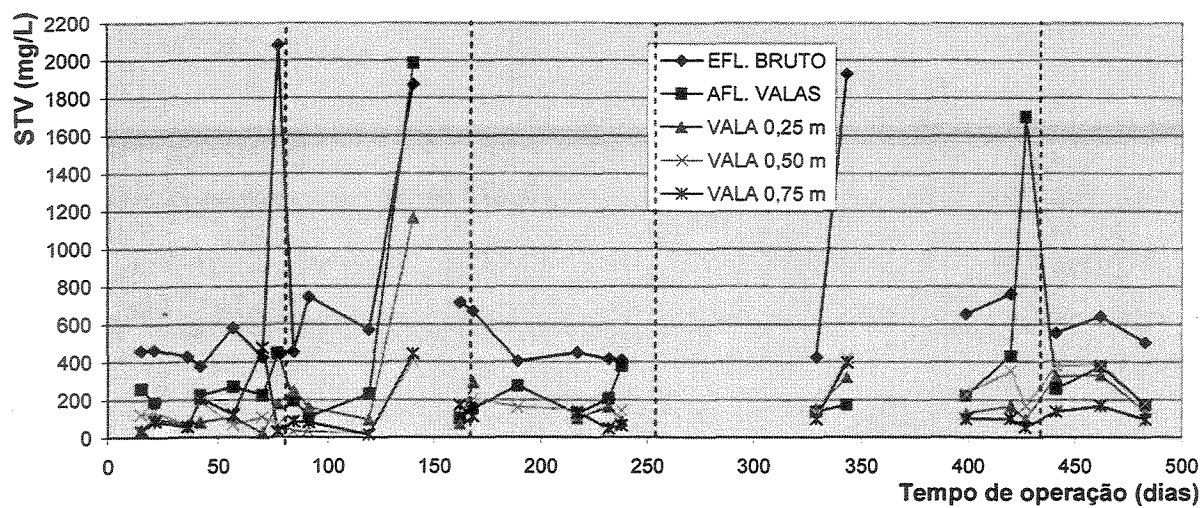


Figura 5.20 – Valores de STV (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração

Tabela 5.34 – Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de ST nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração

ST	Taxa 20 L/m2.dia		Taxa 25 L/m2.dia		Taxa 30 L/m2.dia		Taxa 35 L/m2.dia		Taxa 40 L/m2.dia	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
EFL BRUTO	1202,75	757,27	1544,20	561,28	738,25	45,94	1264,50	618,30	986,00	106,71
AFL VALAS	563,71	115,44	854,80	756,81	464,00	215,50	753,80	649,92	537,33	165,56
VALA 0,25 m	345,41	136,97	611,20	477,52	367,00	115,94	396,00	69,21	682,67	217,09
VALA 0,50 m	281,88	143,90	231,36	179,32	329,00	88,52	536,00	137,53	671,33	173,64
VALA 0,75 m	337,13	240,23	364,64	241,94	231,33	37,65	420,60	170,60	324,00	71,08

Tabela 5.35 – Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de STF nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração

STF	Taxa 20 L/m2.dia		Taxa 25 L/m2.dia		Taxa 30 L/m2.dia		Taxa 35 L/m2.dia		Taxa 40 L/m2.dia	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
EFL BRUTO	544,63	250,01	630,60	301,00	318,75	52,16	323,00	185,19	420,67	37,17
AFL VALAS	306,29	83,48	338,60	118,61	217,75	111,59	222,00	93,09	268,67	89,54
VALA 0,25 m	238,50	119,63	254,80	65,37	248,33	123,96	224,00	51,36	419,33	135,15
VALA 0,50 m	182,63	131,86	63,70	34,08	205,75	126,18	276,80	58,04	356,00	73,51
VALA 0,75 m	200,37	130,45	199,84	91,70	149,00	50,39	271,60	86,45	191,33	48,01

Tabela 5.36 – Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de STV nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração

STV	Taxa 20 L/m2.dia		Taxa 25 L/m2.dia		Taxa 30 L/m2.dia		Taxa 35 L/m2.dia		Taxa 40 L/m2.dia	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
EFL BRUTO	658,12	578,24	913,60	538,69	419,50	20,82	941,50	672,23	565,33	69,69
AFL VALAS	257,43	89,03	516,20	823,26	246,25	106,78	531,80	663,06	268,67	101,59
VALA 0,25 m	106,91	73,27	356,40	458,87	118,67	40,82	172,00	85,98	263,33	108,62
VALA 0,50 m	99,25	50,76	167,66	156,44	123,25	55,51	259,20	122,28	315,33	115,63
VALA 0,75 m	136,75	147,53	164,80	165,41	82,33	45,37	149,00	140,64	132,67	35,12

Tabela 5.37 – Remoção de ST (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas

ST	Taxa 20 L/m ² .dia	Taxa 25 L/m ² .dia	Taxa 30 L/m ² .dia	Taxa 35 L/m ² .dia	Taxa 40 L/m ² .dia
Filtro Anaeróbio	53,13	44,64	37,15	40,39	45,50
VALA 0,25 m	38,73	28,50	20,91	47,47	-27,05
VALA 0,50 m	50,00	72,93	29,09	28,89	-24,94
VALA 0,75 m	40,20	57,34	50,14	44,20	39,70

Tabela 5.38 – Remoção de STF (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas

STF	Taxa 20 L/m ² .dia	Taxa 25 L/m ² .dia	Taxa 30 L/m ² .dia	Taxa 35 L/m ² .dia	Taxa 40 L/m ² .dia
Filtro Anaeróbio	43,76	46,31	31,69	31,27	36,13
VALA 0,25 m	22,13	24,75	-14,05	-0,90	-56,08
VALA 0,50 m	40,37	81,19	5,51	-24,68	-32,51
VALA 0,75 m	34,58	40,98	31,57	-22,34	28,78

Tabela 5.39 – Remoção de STV (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas

STV	Taxa 20 L/m ² .dia	Taxa 25 L/m ² .dia	Taxa 30 L/m ² .dia	Taxa 35 L/m ² .dia	Taxa 40 L/m ² .dia
Filtro Anaeróbio	60,88	43,50	41,30	43,52	52,48
VALA 0,25 m	58,47	30,96	51,81	67,66	1,99
VALA 0,50 m	61,45	67,52	49,95	51,26	-17,37
VALA 0,75 m	46,88	68,07	66,57	71,98	50,62

5.3.8.2 - SST, SSF e SSV

Os Sólidos Suspensos Totais (SST) são a soma de Sólidos Suspensos Fixos (SSF) e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV). Na Figura 5.22 tem-se os valores de SSF no efluente bruto, do afluente às valas e efluente das valas. Pelos valores médios, em mg/L, apresentados na Tabela 5.41, tem-se que no efluente bruto no período estudado, variaram de 46,38 (taxa 40 L/m².dia) a 186,51 (taxa 20 L/m².dia). Esses valores foram na maioria das vezes superiores aos valores do afluente às valas, onde estes ficaram na média, em mg/L, entre 19,39 (taxa 20 L/m².dia) e 47,63 (taxa 35 L/m².dia). Os valores médios de saída das valas foram sempre inferiores ao afluente, assim sendo, os valores médios, em mg/L, na vala 0,25 m variaram de 0,63 (taxa 40 L/m².dia) a 6,21 (taxa 35 L/m².dia); na vala 0,50 m de 0,32 (taxa 40 L/m².dia) a 3,09 (taxa 20 L/m².dia) e na vala 0,75 m de 1,75 (taxa 40 L/m².dia) a 12,79 (taxa 35 L/m².dia). Nota-se que os valores de SSF no efluente das valas são menores na taxa 40 L/m².dia e a eficiência de remoção, nesta taxa nas três valas, sempre superior a 95%; mas nas demais taxas a eficiência foi sempre superior a 73% o que mostra que as valas de filtração são eficientes na remoção de SSF – Tabela 5.44.

Os valores médios de SSV, na Figura 5.23, em mg/L, no efluente bruto no período estudado, variaram de 207,42 (taxa 35 L/m².dia) a 356,78 (taxa 20 L/m².dia). Esses valores foram na maioria das vezes superiores aos valores do afluente às valas, onde estes ficaram na média, em mg/L, entre 84,92 (taxa 40 L/m².dia) e 121,52 (taxa 25 L/m².dia) – Tabela 5.42. Na mesma Tabela, nota-se que os valores médios de SSV na saída das valas foram sempre inferiores ao afluente, assim sendo, os valores médios, em mg/L, na vala 0,25 m variaram de 2,82 (taxa 30 L/m².dia) a 7,15 (taxa 20 L/m².dia); na vala 0,50 m de 1,31 (taxa 30 L/m².dia) a 5,99 (taxa 35 L/m².dia) e na vala 0,75 m de 1,73 (taxa 30 L/m².dia) a 17,90 (taxa 35 L/m².dia). Os valores de SSV no efluente das valas são menores na taxa 30 L/m².dia e a eficiência de remoção, nesta taxa nas três valas, sempre superior a 97%; mas nas demais taxas a eficiência foi sempre superior a 83% o que mostra que as valas de filtração são eficientes na remoção de SSV – Tabela 5.45.

Como o ocorrido com os SSF e SSV, a remoção de SST foi ótima, sendo que os valores médios de SST, em mg/L, no efluente bruto no período estudado, variaram de 333,81 (taxa 35 L/m².dia) a 543,29 (taxa 20 L/m².dia) – Figura 5.21. Esses valores foram na maioria das vezes superiores aos valores do afluente às valas, onde estes ficaram na média, em mg/L, entre 122,50 (taxa 40 L/m².dia) e 178,35 (taxa 35 L/m².dia). Os valores médios de SST na saída das valas foram sempre inferiores ao afluente, assim sendo, os valores médios, em mg/L, na vala 0,25 m variaram de 4,04 (taxa 40 L/m².dia) a 12,70 (taxa 35 L/m².dia); na vala 0,50 m de 1,84 (taxa 40 L/m².dia) a 8,87 (taxa 20 L/m².dia) e na vala 0,75 m de 4,42 (taxa 35 L/m².dia) a 34,38 (taxa 35 L/m².dia) – Tabela 5.40. Nota-se que a eficiência de remoção, nas três valas, foi sempre superior a 96% (Tabela 5.43) na taxa 30 e 40 L/m².dia; mas nas demais taxas a eficiência foi sempre superior a 80% o que mostra que as valas de filtração são eficientes na remoção de SST. Quando se compara este valores com os relatados na USEPA (1999), em que se estudou 30 sistemas de valas de filtração que receberam efluentes de tanques sépticos, e mostraram remoção 78% de SST (redução de 72,9 para 16,2 mg/L) nota-se que as valas desta pesquisa foram mais eficientes, além dos valores de SST na saída serem sempre menores. Isto indica que as valas desta pesquisa, se submetidas a maiores taxas hidráulicas de aplicação podem ter um ótimo desempenho na remoção de SST.

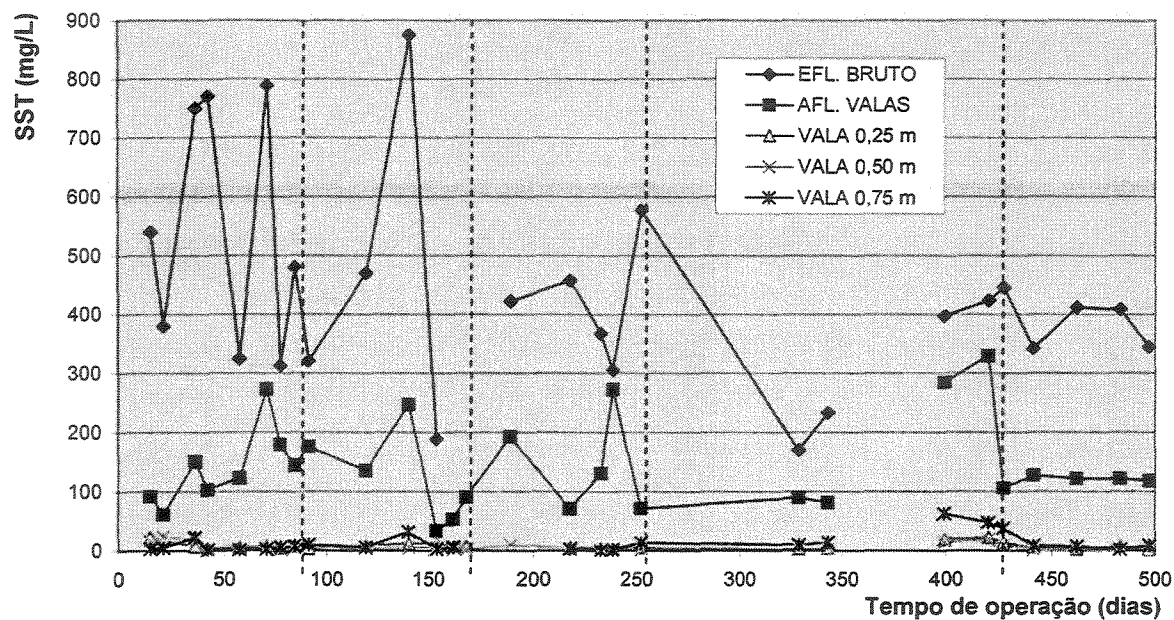


Figura 5.21 – Valores de SST (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração

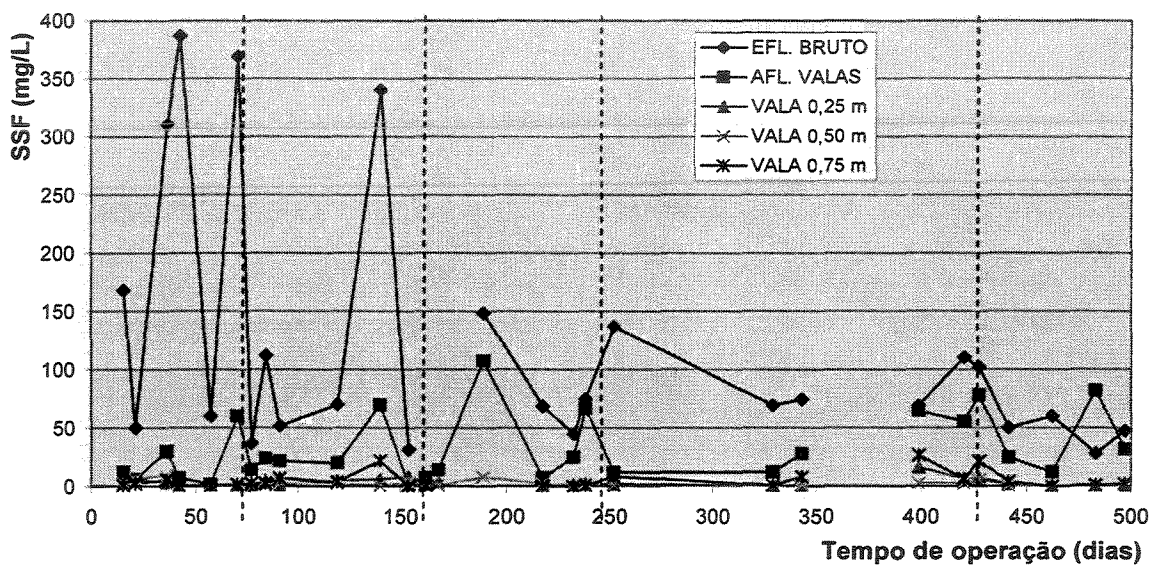


Figura 5.22 – Valores de SSF (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração

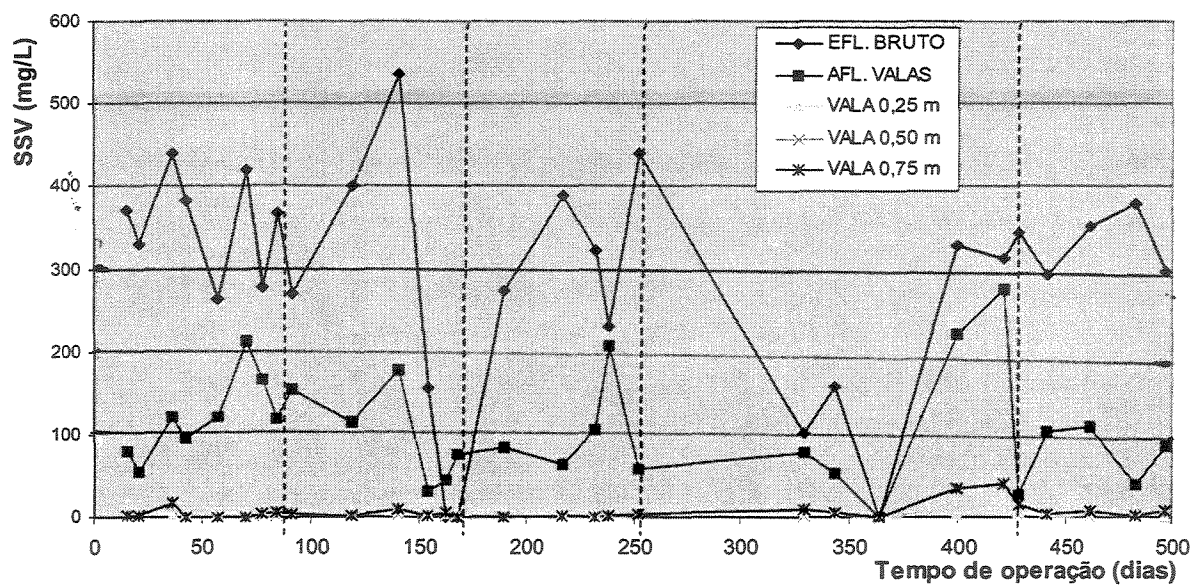


Figura 5.23 – Valores de SSV (mg/L) durante o tempo de operação dos filtros anaeróbios e das valas de filtração

Tabela 5.40 – Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de SST nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração

SST	Taxa 20 L/m ² .dia		Taxa 25 L/m ² .dia		Taxa 30 L/m ² .dia		Taxa 35 L/m ² .dia		Taxa 40 L/m ² .dia	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
EFL BRUTO	543,29	202,18	463,57	297,41	425,85	101,95	333,81	123,90	376,83	38,36
AFL VALAS	140,92	65,16	122,73	80,62	147,78	86,35	178,35	119,14	122,50	3,88
VALA 0,25 m	9,74	6,90	8,67	3,67	5,22	0,34	12,70	8,74	4,04	3,38
VALA 0,50 m	8,87	9,12	4,33	1,66	3,95	3,47	9,65	6,73	1,84	0,90
VALA 0,75 m	5,97	7,22	11,42	11,50	4,42	5,83	34,38	22,18	6,70	3,19

Tabela 5.41 – Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de SSF nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração

SSF	Taxa 20 L/m ² .dia		Taxa 25 L/m ² .dia		Taxa 30 L/m ² .dia		Taxa 35 L/m ² .dia		Taxa 40 L/m ² .dia	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
EFL BRUTO	186,51	147,12	123,29	145,33	94,53	45,24	84,91	19,76	46,38	13,39
AFL VALAS	19,39	18,87	22,47	24,47	43,64	42,73	47,63	26,96	37,58	30,71
VALA 0,25 m	2,59	2,24	4,58	2,52	1,69	0,68	6,21	6,46	0,63	0,95
VALA 0,50 m	3,09	3,16	1,75	1,04	2,64	3,12	2,47	2,00	0,32	0,47
VALA 0,75 m	2,05	1,69	6,76	8,95	2,25	4,17	12,79	10,83	1,75	1,71

Tabela 5.42 – Média e Desvio Padrão (DP) dos valores de SSV nas taxas estudadas nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração

SSV	Taxa 20 L/m ² .dia		Taxa 25 L/m ² .dia		Taxa 30 L/m ² .dia		Taxa 35 L/m ² .dia		Taxa 40 L/m ² .dia	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
EFL BRUTO	356,78	62,97	226,85	216,56	331,31	84,29	207,42	142,10	330,45	42,66
AFL VALAS	121,52	49,57	100,26	59,01	104,14	60,23	108,93	111,63	84,92	31,51
VALA 0,25 m	7,15	5,91	4,08	1,36	2,82	1,79	5,41	5,47	3,41	3,35
VALA 0,50 m	5,77	6,45	2,58	1,16	1,31	0,92	5,99	6,38	1,52	0,67
VALA 0,75 m	3,92	5,60	3,88	3,36	1,73	1,91	17,99	16,71	4,95	2,99

Tabela 5.43 – Remoção de SST (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas

SST	Taxa 20 L/m2.dia	Taxa 25 L/m2.dia	Taxa 30 L/m2.dia	Taxa 35 L/m2.dia	Taxa 40 L/m2.dia
Filtro Anaeróbio	74,06	73,52	65,30	46,57	67,49
VALA 0,25 m	93,09	92,94	96,47	92,88	96,71
VALA 0,50 m	93,71	96,47	97,33	94,59	98,50
VALA 0,75 m	95,77	90,70	97,01	80,72	94,53

Tabela 5.44 – Remoção de STF (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas

SSF	Taxa 20 L/m2.dia	Taxa 25 L/m2.dia	Taxa 30 L/m2.dia	Taxa 35 L/m2.dia	Taxa 40 L/m2.dia
Filtro Anaeróbio	89,60	81,77	53,84	43,90	18,96
VALA 0,25 m	86,64	79,61	96,12	86,97	98,34
VALA 0,50 m	84,05	92,21	93,95	94,82	99,14
VALA 0,75 m	89,43	69,92	94,84	73,16	95,34

Tabela 5.45 – Remoção de SSV (%) nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas

SSV	Taxa 20 L/m2.dia	Taxa 25 L/m2.dia	Taxa 30 L/m2.dia	Taxa 35 L/m2.dia	Taxa 40 L/m2.dia
Filtro Anaeróbio	65,94	55,80	68,57	47,48	74,30
VALA 0,25 m	94,12	95,93	97,29	95,03	95,98
VALA 0,50 m	95,25	97,42	98,74	94,50	98,21
VALA 0,75 m	96,78	96,13	98,34	83,48	94,17

5.4 - EFICIÊNCIA DO SISTEMA FILTROS ANAERÓBIOS E VALAS DE FILTRAÇÃO

Nas Tabelas 5.46 a 5.51 tem-se a eficiência de remoção de Fósforo, DQO (total e filtrada), DBO (total e filtrada), Coliformes Totais, *e.coli*, SST, SSF, SSV, ST, STF, STV, N_{Total} , no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas. Nota-se que o sistema tem sempre a sua eficiência de remoção, destes parâmetros analisados, maior que as valas de filtração.

Tabela 5.46 – Remoção de Fósforo (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas

FÓSFORO	Taxa 20 L/m 2.dia	Taxa 25 L/m 2.dia	Taxa 30 L/m 2.dia	Taxa 35 L/m 2.dia	Taxa 40 L/m 2.dia
Filtro Anaeróbio	31,28	25,75	12,63	28,51	30,01
VALA 0,25 m	72,73	60,65	66,49	69,36	81,06
VALA 0,50 m	77,28	70,81	62,96	87,50	96,30
VALA 0,75 m	82,49	82,08	80,92	59,68	71,35

Tabela 5.47 – Remoção de DQO_{total} (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas

DQO TOTAL	Taxa 20 L/m 2.dia	Taxa 25 L/m 2.dia	Taxa 30 L/m 2.dia	Taxa 35 L/m 2.dia	Taxa 40 L/m 2.dia
Filtro Anaeróbio	48,89	48,31	74,29	37,71	60,31
VALA 0,25 m	93,82	93,41	96,01	92,88	97,63
VALA 0,50 m	95,14	95,96	96,44	95,85	98,16
VALA 0,75 m	93,12	96,56	97,17	93,31	94,91

Tabela 5.48 – Remoção de DQO_{filtrada} (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas

DQO FILTRADA	Taxa 20 L/m 2.dia	Taxa 25 L/m 2.dia	Taxa 30 L/m 2.dia	Taxa 35 L/m 2.dia	Taxa 40 L/m 2.dia
Filtro Anaeróbio	33,22	48,58	58,85	35,63	60,85
VALA 0,25 m	87,16	93,18	96,28	89,87	97,81
VALA 0,50 m	89,18	95,31	94,37	94,23	97,80
VALA 0,75 m	86,34	96,92	94,20	92,40	97,14

Tabela 5.49 – Remoção de DBO_{total} (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas

DBO TOTAL	Taxa 20 L/m 2.dia	Taxa 25 L/m 2.dia	Taxa 30 L/m 2.dia	Taxa 35 L/m 2.dia	Taxa 40 L/m 2.dia
Filtro Anaeróbio	58,07	56,07	52,95	53,06	52,11
VALA 0,25 m	92,81	94,17	92,80	93,66	90,97
VALA 0,50 m	95,67	94,93	89,55	92,65	95,13
VALA 0,75 m	95,89	95,54	95,23	90,26	91,67

Tabela 5.50 – Remoção de $\text{DBO}_{\text{filtrada}}$ (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas

DBO FILTRADA	Taxa 20 L/m 2.dia	Taxa 25 L/m 2.dia	Taxa 30 L/m 2.dia	Taxa 35 L/m 2.dia	Taxa 40 L/m 2.dia
Filtro Anaeróbio	39,42	57,13	42,70	47,34	76,14
VALA 0,25 m	91,42	93,43	92,29	96,54	97,42
VALA 0,50 m	93,73	96,58	92,71	96,06	94,27
VALA 0,75 m	94,24	95,58	94,77	94,27	96,33

Tabela 5.51 – Remoção de N_{Total} (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas

N-total	Taxa 20 L/m 2.dia	Taxa 25 L/m 2.dia	Taxa 30 L/m 2.dia	Taxa 35 L/m 2.dia	Taxa 40 L/m 2.dia
Filtro Anaeróbio	25,74	35,05	48,56	25,26	47,35
VALA 0,25 m	66,67	48,47	82,55	39,09	70,17
VALA 0,50 m	69,04	57,90	80,14	40,78	68,17
VALA 0,75 m	60,91	63,60	82,13	41,31	71,51

Tabela 5.52 – Remoção de Coliformes Totais (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas

COLIFORMES TOTAIS	Taxa 20 L/m2.dia	Taxa 25 L/m2.dia	Taxa 30 L/m2.dia	Taxa 35 L/m2.dia	Taxa 40 L/m2.dia
Filtro Anaeróbio	76,6674	74,5503	69,4892	88,2646	68,2290
VALA 0,25 m	99,9966	99,9876	99,8692	99,9974	99,9562
VALA 0,50 m	99,9989	99,9856	99,9966	99,9981	99,9903
VALA 0,75 m	99,9951	99,9860	99,9977	99,9968	99,9954

Tabela 5.53 – Remoção de *e.coli* (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas

e. coli	Taxa 20 L/m2.dia	Taxa 25 L/m2.dia	Taxa 30 L/m2.dia	Taxa 35 L/m2.dia	Taxa 40 L/m2.dia
Filtro Anaeróbio	77,0472	-83,6910	-69,9734	-82,1608	-84,4660
VALA 0,25 m	99,9865	99,9592	99,5768	99,7364	99,8707
VALA 0,50 m	99,9911	99,8583	99,9854	99,9684	99,8433
VALA 0,75 m	99,9976	99,7995	99,9930	99,9495	99,9771

Tabela 5.54 – Remoção de SST (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas

SST	Taxa 20 L/m 2.dia	Taxa 25 L/m 2.dia	Taxa 30 L/m 2.dia	Taxa 35 L/m 2.dia	Taxa 40 L/m 2.dia
Filtro Anaeróbio	74,06	73,52	65,30	46,57	67,49
VALA 0,25 m	98,21	98,13	98,77	96,20	98,93
VALA 0,50 m	98,37	99,07	99,07	97,11	99,51
VALA 0,75 m	98,90	97,54	98,96	89,70	98,22

Tabela 5.55 – Remoção de SSF (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas

SSF	Taxa 20 L/m 2.dia	Taxa 25 L/m 2.dia	Taxa 30 L/m 2.dia	Taxa 35 L/m 2.dia	Taxa 40 L/m 2.dia
Filtro Anaeróbio	89,60	81,77	53,84	43,90	18,96
VALA 0,25 m	98,61	96,28	98,21	92,69	98,65
VALA 0,50 m	98,34	98,58	97,21	97,09	99,31
VALA 0,75 m	98,90	94,52	97,62	84,94	96,23

Tabela 5.56 – Remoção de SSV (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas

SSV	Taxa 20 L/m 2.dia	Taxa 25 L/m 2.dia	Taxa 30 L/m 2.dia	Taxa 35 L/m 2.dia	Taxa 40 L/m 2.dia
Filtro Anaeróbio	65,94	55,80	68,57	47,48	74,30
VALA 0,25 m	98,00	98,20	99,15	97,39	98,97
VALA 0,50 m	98,38	98,86	99,60	97,11	99,54
VALA 0,75 m	98,90	98,29	99,48	91,33	98,50

Tabela 5.57 – Remoção de ST (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas

ST	Taxa 20 L/m 2.dia	Taxa 25 L/m 2.dia	Taxa 30 L/m 2.dia	Taxa 35 L/m 2.dia	Taxa 40 L/m 2.dia
Filtro Anaeróbio	53,13	44,64	37,15	40,39	45,50
VALA 0,25 m	71,28	60,42	50,29	68,68	30,76
VALA 0,50 m	76,56	85,02	55,44	57,61	31,91
VALA 0,75 m	71,97	76,39	68,66	66,74	67,14

Tabela 5.58 – Remoção de SSF (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas

STF	Taxa 20 L/m 2.dia	Taxa 25 L/m 2.dia	Taxa 30 L/m 2.dia	Taxa 35 L/m 2.dia	Taxa 40 L/m 2.dia
Filtro Anaeróbio	43,76	46,31	31,69	31,27	36,13
VALA 0,25 m	56,21	59,59	22,09	30,65	0,32
VALA 0,50 m	66,47	89,90	35,45	14,30	15,37
VALA 0,75 m	63,21	68,31	53,25	15,91	54,52

Tabela 5.59 – Remoção de SSV (%) no sistema de filtros anaeróbios e valas de filtração nas taxas estudadas

STV	Taxa 20 L/m 2.dia	Taxa 25 L/m 2.dia	Taxa 30 L/m 2.dia	Taxa 35 L/m 2.dia	Taxa 40 L/m 2.dia
Filtro Anaeróbio	60,88	43,50	41,30	43,52	52,48
VALA 0,25 m	83,75	60,99	71,71	81,73	53,42
VALA 0,50 m	84,92	81,65	70,62	72,47	44,22
VALA 0,75 m	79,22	81,96	80,37	84,17	76,53

5.5 - AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO EFLUENTE ANAERÓBIO E DAS VALAS DE FILTRAÇÃO

Durante todo o período de estudo das valas notou-se que o aspecto do efluente das valas era inodoro e claro, devido principalmente a remoção de sólidos, uma vez que o efluente anaeróbio (afluente às valas) era escuro e com odor característico. A amostra apresentada na Figura 5.24 corresponde ao 483º dia de operação (taxa 40 L/m².dia).

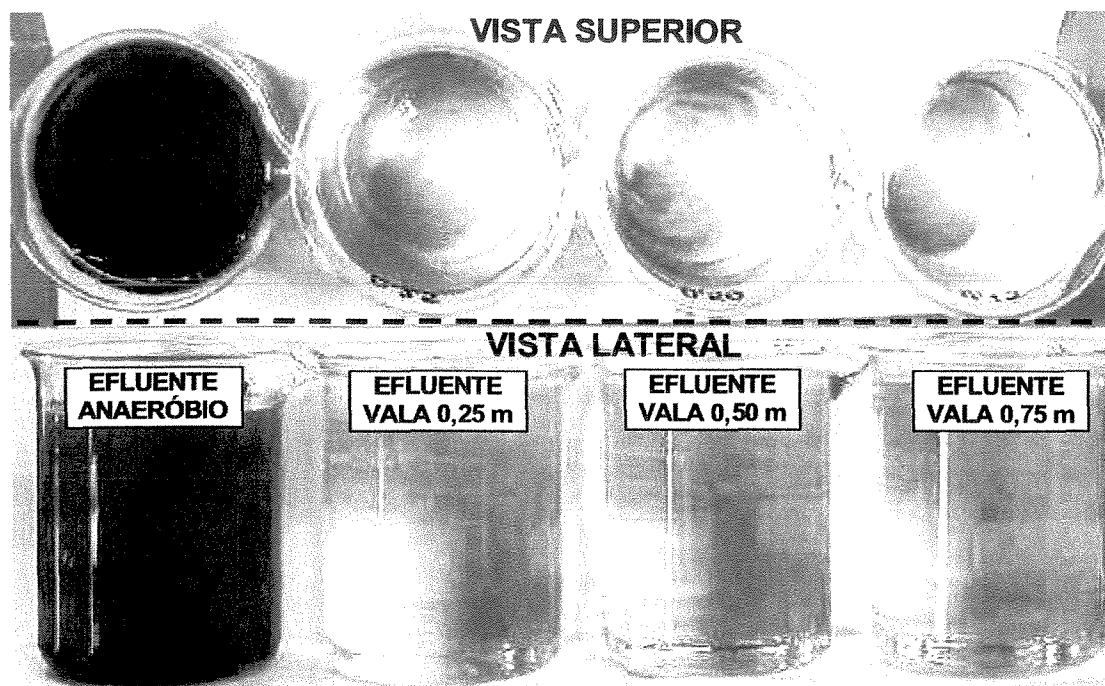


Figura 5.24 – Copos de Becker, em vista superior e lateral, com efluente anaeróbio e das valas na taxa 40 L/m².dia

5.6 - DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DO CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE TANQUE SÉPTICO E VALA DE FILTRAÇÃO

O custo total de implantação do sistema em uma residência, ou conjunto de residências, geralmente, é inferior ao custo de implantação de rede coletora de esgoto e seguinte estação de tratamento quando o local tem baixa densidade demográfica, o terreno é acidentado e há outros fatores que aumentam o custo de implantação de uma rede coletora.

Para o levantamento do custo de implantação do sistema, considerou-se uma residência com 5 habitantes, na cidade de Campinas/SP, no mês de outubro de 2002, com duas valas de filtração de 15 m de comprimento, largura igual a 0,5 m e altura da camada filtrante da areia igual a 50 cm. A contribuição diária de efluente/habitante considerada foi igual a 130 L/habitante.dia (padrão médio segundo a NBR 13.969/1997) e a taxa de aplicação 40 L/m².dia. Optou-se por esta espessura da camada de areia por ser um valor intermediário entre as outras estudadas (0,25 e 0,75m).

As dimensões das valas são:

- Geração de diária de efluente = número de habitantes x contribuição diária de efluente/habitante = 5 x 130 = 650 L/dia
- Área da vala = Geração de diária de efluente / taxa de aplicação = 650/40 = 16,25 m²
- Comprimento da vala = Área da vala / Largura da vala = 16,25 / 0,50 = 32,5 m

Assim sendo analisaram-se duas situações:

- **Situação 1** (valores apresentados nas colunas Preço Unitário 1 e Total 1 da Tabela 5.60):
 - Uso de tubo de distribuição em PVC perfurado, com lona de PVC e=1mm.
 - Sistema que utiliza tanque séptico, caixa de distribuição e caixa de gordura em polietileno (comercializados em lojas de materiais de construção),
 - Uso de lona impermeabilizante de PVC e=1mm.

- **Situação 2** (valores apresentados nas colunas Preço Unitário 2 e Total 2 da Tabela 5.60):
 - Uso de tijolos cerâmicos de oito furos, como utilizou ANDRADE NETO (1999) em valas de infiltração, ou manilhas cerâmicas perfuradas (o custo em relação ao tubo de distribuição em PVC pode ser reduzido em aproximadamente 90%).
 - Uso da caixa de gordura, da caixa de distribuição e do tanque séptico em solo cimento ou alvenaria (o custo pode ser reduzido em aproximadamente 50% em relação ao polietileno).
 - Dispensar o uso da lona impermeabilizante de PVC e=1 mm caso o solo seja argiloso e o lençol freático esteja a mais de 3 metros de profundidade do fundo das valas (cuidado que deve ser levado em conta para evitar a contaminação do lençol freático).
 - Custo da areia em regiões próximas a jazidas pode ser 50 % do custo na cidade de Campinas/SP.
 - Custo da mão-de-obra para construção sistema com o uso do solo cimento ou alvenaria aumenta em aproximadamente 70%.

Tabela 5.60 – Custo de implantação do sistema nas situações 1 e 2 estudadas

	Quantidade	Unidade	Preço Unitário 1	Total 1	Preço Unitário 2	Total 2
caixa de gordura	1,00	unidade	R\$ 100,00	R\$ 100,00	R\$ 50,00	R\$ 50,00
tanque séptico/filtro aneróbio(1500 L)	1,00	unidade	R\$ 460,00	R\$ 460,00	R\$ 250,00	R\$ 250,00
caixa de distribuição	1,00	unidade	R\$ 50,00	R\$ 50,00	R\$ 30,00	R\$ 30,00
tubo PVC perfurado diam 100 mm	130,00	m	R\$ 6,00	R\$ 780,00	R\$ 1,00	R\$ 130,00
areia	16,25	m3	R\$ 25,00	R\$ 406,25	R\$ 13,00	R\$ 211,25
brita	16,25	m3	R\$ 25,00	R\$ 406,25	R\$ 25,00	R\$ 406,25
lona plastica PVC e =1 mm	70,00	m2	R\$ 30,00	R\$ 2.100,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
demais tubulações PVC diam 100 mm	1,00	unidade	R\$ 50,00	R\$ 50,00	R\$ 50,00	R\$ 50,00
Mão-de-obra	1,00	unidade	R\$ 200,00	R\$ 200,00	R\$ 350,00	R\$ 350,00
				R\$ 4.552,50		R\$ 1.477,50

O custo total deste sistema, na situação 1, é de R\$4.552,50, ou seja R\$ 910,00/habitante. Já para a situação 2, o custo pode ficar próximo a R\$ 1.477,00, ou seja cerca de 67% mais barato que na situação 1, o que corresponde a R\$ 300,00/habitante. Tanto na primeira situação como na segunda o custo de implantação do sistema é viável, mas na segunda, com o uso de materiais alternativos este custo é consideravelmente menor.

A viabilidade do sistema, além do baixo custo de implantação e manutenção, deve-se ao fato de não requerer mão-de-obra especializada para implantação e manutenção, uma vez que a manutenção é quase inexistente. A manutenção requerida consiste apenas na retirada anual de parte do lodo acumulado no fundo do tanque séptico ou do filtro anaeróbio e da retirada quinzenal de gorduras e óleos que ficam retidos na caixa de gordura, com seguinte disposição adequada destes em ETEs ou leitos de secagem. Outro cuidado que se faz necessário quando notar-se a saturação de uma das valas deve-se proceder o desvio do fluxo na caixa de distribuição para a outra vala que estiver em repouso, deixando assim descansar a vala que hora estava sendo utilizada. Este período de descanso será até o momento que a outra vala saturar, e assim por diante. Nota-se, portanto, a importância de haver, no mínimo, duas valas por sistema para se garantir esta alternância entre elas.

6. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração pode-se concluir que:

- Os valores médios de pH de saída das três valas nas taxas estudadas estiveram entre 6,00 e 8,21 demonstrando que as valas produziram um efluente com valor de pH próximo ao neutro, independente dos valores de entrada (afluente às valas), fato este importante que garante a qualidade deste efluente como um pós-tratamento de efluente anaeróbio e demonstra a capacidade de equilíbrio do sistema; além de atender a imposição da Resolução CONAMA nº20/1986 para lançamento em corpos d'água.
- Nos filtros anaeróbios os maiores valores de alcalinidade são devido provavelmente a atividade metanogênica da degradação anaeróbia e a quase inexistência da formação de nitrito e nitrato. Nas valas, mesmo havendo nitrificação acompanhada da redução alcalinidade (principalmente na taxa 40 L/m².dia), o pH manteve-se inalterado indicando que pode haver um efeito tampão no sistema.
- As valas suportaram bem as variações afluentes das concentrações de DQO_{Total}, pois notou-se que os valores de saída de DQO_{Total} das três valas foram baixos e com desvio padrão pequeno. Nas três valas, nas taxas estudadas, observou-se valores próximos a 90% de remoção de DQO_{total}. Houve uma grande variação nos valores de DQO_{Total} no efluente bruto e correspondentemente no efluente dos filtros anaeróbios (afluente às valas), indicando que os filtros não absorveram bem grandes cargas, fato este que pode ser observado no 36º, 70º, 154º, 162º e 399º dias de operação.
- Semelhante aos resultados de DQO_{Total}, houve uma grande variação nos valores de DQO_{Filtrada} no esgoto bruto e correspondentemente no efluente dos filtros anaeróbios

(afluente às valas), indicando que os filtros não suportaram bem grandes cargas, fato este que pode ser observado no 36º, 70º, 162º, 399º e 441º dias de operação. Notou-se também que os valores de saída das três valas foram baixos e com desvio padrão, indicando que estas suportaram as variações afluentes de $DQO_{Filtrada}$, sendo seu desempenho semelhante em todas as valas nas taxas estudadas e superiores a 79% de eficiência na remoção. Observou-se um melhor desempenho na vala 0,25 m na taxa 40 L/m².dia (94,40%).

- Quanto a DBO_{Total} pode-se observar que as três valas tiveram desempenho semelhante nas taxas estudadas, valores sempre superiores a 77% de eficiência na remoção de DBO_{Total} , porém com um melhor desempenho na vala 0,75 m na taxa 20 L/m².dia (90,19%).
- Valores sempre superiores a 75% de eficiência na remoção de $DBO_{Filtrada}$, indicaram o bom desempenho das valas neste parâmetro; porém a vala 0,50 m na taxa 35 L/m².dia foi a mais eficiente (92,52%).
- A eficiência de remoção de SST nas três valas, nas taxas estudadas, foi sempre superior a 96% nas taxas 30 e 40 L/m².dia e nas demais taxas sempre superior a 80%.
- As taxas estudadas foram eficientes na remoção de fósforo (sempre superior a 40%), sendo que a taxa de 20 L/m².dia, em média, teve uma eficiência ligeiramente maior para as três valas estudadas (superior a 60%).
- Valores próximos a 30% de remoção de N_{Total} foram obtidos nas valas desta pesquisa nas taxas estudadas sendo que a vala 0,75 m na taxa 30 L/m².dia foi a mais eficiente (65,26%).
- A medida que se aumentava a taxa hidráulica aplicada havia o avanço da franja de distribuição longitudinalmente, justificando portanto a irregularidade dos valores de N e P.
- Toda vez que interrompeu a aplicação de efluente anaeróbico nas valas houve a liberação de N e P, o que pode ser um problema sanitário mas uma vantagem caso opte-se pelo uso na agricultura.
- O número de Coliformes Totais no afluente as valas variou, em média, de $2,85 \times 10^7$ a $1,64 \times 10^8$ e na saída das valas de $2,13 \times 10^3$ (vala 0,75 m na taxa 30 L/m².dia) a

$7,39 \times 10^4$ (vala 0,25 m na taxa 40 L/m².dia). Os valores nas saídas das valas estão próximos ao desejável para lançamento em corpos d'água segundo a Resolução CONAMA nº20/1986 que é de 5×10^3 NMP/100 mL.

- O número de *e. coli* na entrada das valas variou, em média, de $6,74 \times 10^6$ a $4,26 \times 10^7$ e na saída das valas de $1,17 \times 10^3$ (vala 0,50 m na taxa 35 L/m².dia) a $1,06 \times 10^5$ (vala 0,25 m na taxa 30 L/m².dia). Os valores nas saídas das valas de *e. coli* estão próximos ao desejável para lançamento em corpos d'água segundo a Resolução CONAMA nº20/1986 que é de 10^3 NMP/100 mL.
- O tubo de drenagem em PEAD, funcionando como tubo de distribuição, não se comporta como um manifold ideal pois a franja de distribuição longitudinal concentrou-se nos 3 primeiros metros da vala, fato evidenciado pela maior formação do biofilme no início das valas, tanto no interior do tubo de distribuição e na camada de brita como nos primeiros cinco centímetros camada de areia.
- O comportamento hidrodinâmico real das valas teve uma tendência ao escoamento pistonado com presença de zona morta (principalmente na vala 0,75 m).
- Quanto ao aspecto construtivo, o sistema é viável pois não requer mão-de-obra especializada para implantação e manutenção, uma vez que a manutenção é quase inexistente e o custo de implantação é pode ser de aproximadamente R\$ 300,00/habitante.
- Durante o período de operação das valas de filtração não ocorreu saturação da camada filtrante de areia.
- A vala 0,25 m na taxa 40 L/m².dia pode ser considerada a mais eficiente e viável economicamente para a remoção de C, N, P e Coliformes Totais e *e.coli*, pois seu custo de implantação é menor. Salienta-se que a vida útil desta poderá ser menor que as demais pois pode ocorrer mais rapidamente a saturação da camada de areia filtrante.

7. RECOMENDAÇÕES

Tendo em vista o planejamento de futuras pesquisas no pós-tratamento de efluentes anaeróbios utilizando-se valas de filtração, recomenda-se:

- Estudar o funcionamento das valas de filtração por um período de tempo maior para determinar a vida útil das mesmas e principalmente a eficiência na remoção de fósforo, nitrogênio, coliformes totais e *e.coli* ao longo do tempo.
- Estudar taxas de aplicação de efluente anaeróbio até 200 L/m².dia.
- Estudar a recirculação do efluente das valas para verificar a eficiência na remoção de N e P, principalmente após interrupções de aplicação de efluente anaeróbio e período de descanso, pois nestas ocasiões pode ocorrer a liberação de N e P.
- Estudar quais os microrganismos presentes no biofilme do tubo de distribuição, na brita e na areia.
- Estudar a remoção de vírus, ovos de helmintos e cistos (giárdia e ameba) e oocistos (*cryptosporidium* ssp) de protozoários nas valas.
- Estudar o efeito da redução da alcalinidade total na capacidade de tamponamento das valas ao longo do tempo e na formação de nitrato.
- Utilizar bombas do tipo dosadoras para aplicação de efluente anaeróbio nas valas.
- Estudar o desempenho das valas substituindo o tubo de drenagem de PEAD por manilhas cerâmicas perfuradas como elementos de distribuição e coleta de efluente nas valas.
- Estudar a aplicação diária descontínua e com picos de efluente anaeróbio nas valas simulando o funcionamento no dia a dia de uma residência.
- Estudar valas de filtração com comprimentos menores que 15 m.
- Avaliar a interferência no desempenho das valas de filtração com tubos de ventilação intermediários.

- Estudar valas de filtração com aplicação de efluente em pontos intermediários, ou com valas sucessivas, principalmente no desempenho da remoção de N e P.
- Estudar a viabilidade do reuso do efluente das valas na agricultura, aquicultura e hidroponia.
- Estudar o desempenho de valas de filtração com outras granulometrias de areia e brita.
- Comparar os resultados de remoção de C, N, P, coliformes totais e *e.coli* com os resultados de filtros de areia, com mesma altura da camada filtrante de areia, em taxa de até 200 L/m².dia.

ANEXOS

ANEXO 1 – Tabela com os valores dos parâmetros analisados nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas.

ANEXO 2 – Curva de condutividade em função da concentração de NaCl, gráficos da condutividade por tempo nas valas nas taxas aplicadas, e Tabelas com valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico nas valas nas taxa aplicadas.

141

Tabela 1-Valores dos parâmetros analisados nos filtros anaeróbios e nas valas de filtração nas taxas estudadas

Tabela de valores dos parâmetros analisados em função das taxas de aplicação																																									
pH		Taxa 20 L/m2 dia								Taxa 25 L/m2 dia								Taxa 30 L/m2 dia								Taxa 35 L/m2 dia								Taxa 40 L/m2 dia							
TEMPO DE OPERAÇÃO (dias)	15	21	36	42	57	70	77	84	91	119	140	154	162	168	189	217	232	238	252	329	343	354	399	420	427	441	462	483	497												
EFL. BRUTO	7,25	6,89	7,34	7,38	8,29	6,96	7,67	7,75	7,56	7,03	7,29	6,76	7,00	7,54	7,05	7,39	7,56	7,82	7,17	7,12	6,42	7,41	7,18	9,06	7,28	7,07	6,65	7,02													
AFI. VALIAS	2,32	0,81	6,70	7,27	7,42	6,88	7,69	7,29	7,45	7,39	7,26	6,88	6,92	7,22	7,10	7,10	7,75	6,38	7,17	7,31	7,39	7,21	7,18	7,62	7,10	7,25	7,39	7,14													
VALIA 0,25 m	0,31	0,78	7,60	7,64	7,67	7,77	7,56	6,46	7,74	6,23	6,16	7,29	6,46	7,22	6,31	6,58	7,64	7,11	6,92	6,98	6,81	6,81	7,55	7,64	6,32	6,48	6,76	6,02													
VALIA 0,50 m	9,30	5,60	7,45	7,73	7,45	6,08	6,08	6,08	6,08	6,08	6,08	6,25	7,30	7,85	8,05	9,13	7,78	8,04	7,82	7,38	7,01	6,66	6,18	7,20	7,36	6,00	0,53	0,24	0,05												
VALIA 0,75 m	6,48	5,84	7,70	6,61	6,54	6,42	7,58	6,73	6,46	6,65	6,55	6,34	7,06	7,00	6,95	7,93	7,68	7,64	7,78	6,89	6,02	7,51	7,49	7,37	7,00	7,66	6,24	7,42													
ALCALINIDADE TOTAL (mg CaCO3/L)																																									
TEMPO DE OPERAÇÃO (dias)	15	21	36	42	57	70	77	84	91	119	140	154	162	168	189	217	232	238	252	329	343	354	399	420	427	441	462	483	497												
EFL. BRUTO	212,60	127,56	129,26	156,24	206,15	104,16	190,06	59,68	97,65	173,60	116,22	73,78	40,00	169,00	171,43	206,15	124,78	334,16	160,58	138,68	170,35	143,22	156,45	441,59	547,60	245,21	194,22	109,50	279,93												
AFI. VALIAS	203,25	256,08	146,27	141,05	210,49	217,00	240,87	43,40	129,05	231,11	90,82	59,68	245,21	195,30	173,60	149,73	134,54	162,75	238,16	226,76	234,36	246,29	207,24	329,84	160,58	217,00	467,64	256,08	297,95												
VALIA 0,25 m	187,09	184,21	250,02	115,01	38,89	90,09	92,63	1,09	122,69	3,26	8,38	39,08	10,85	18,45	41,23	20,62	43,40	95,48	35,40	14,11	8,58	12,52	146,84	234,36	326	6,51	21,17	10,85	10,85												
VALIA 0,50 m	253,65	153,09	165,13	36,69	27,43	4,31	2,17	5,43	13,82	1,13	0,82	1,13	2,17	2,64	55,34	23,87	40,15	56,42	42,19	9,77	8,93	13,92	9,77	8,93	9,77	8,93	9,77	8,93	9,77												
VALIA 0,75 m	21,20	185,30	229,81	17,38	6,51	23,87	58,59	21,70	19,53	10,85	10,85	6,51	45,57	19,95	26,04	26,04	15,19	28,21	103,08	107,41	6,51	23,87	276,67	236,53	16,50	24,30	13,02	14,11													
FÓSFORO (mg/L)																																									
TEMPO DE OPERAÇÃO (dias)	15	21	36	42	57	70	77	84	91	119	140	154	162	168	189	217	232	238	252	329	343	354	399	420	427	441	462	483	497												
EFL. BRUTO	2,12	4,77	6,29	9,81	10,89	8,77	9,39	10,56	8,09	9,54	10,58	6,54	6,51	6,48	1,89	2,22	2,31	6,31	6,89	5,62	5,56	6,85	8,43	10,02	4,27	11,56	10,90	2,26	9,02												
AFI. VALIAS	2,90	3,78	7,98	3,58	1,59	6,58	9,12	5,76	6,56	5,69	8,21	6,12	4,50	4,50	0,75	3,89	2,79	4,42	7,03	3,62	4,69	5,44	7,66	6,84	3,04	5,14	5,82	5,08	7,07												
VALIA 0,25 m	2,35	1,70	1,88	0,28	0,83	0,20	1,08	0,16	2,30	5,87	2,01	6,80	1,49	1,49	0,00	5,82	0,95	1,46	2,54	1,19	0,26	4,66	1,08	4,23	0,20	0,74	0,08	0,37													
VALIA 0,50 m	1,59	1,99	4,00	0,22	0,64	0,13	0,60	0,07	0,04	2,78	3,47	4,12	1,80	1,80	2,65	4,84	1,84	2,04	1,25	0,44	0,35	0,31	1,22	0,45	2,69	0,38	0,54	0,08	0,26												
VALIA 0,75 m	1,29	0,03	3,60	0,06	0,50	0,56	1,78	3,50	1,26	0,90	2,58	0,94	1,82	1,82	0,00	1,68	1,57	1,53	1,33	1,56	1,07	0,31	6,53	1,28	6,90	5,28	3,41	0,28	0,71												
DOO TOTAL (mg/L)																																									
TEMPO DE OPERAÇÃO (dias)	15	21	36	42	57	70	77	84	91	119	140	154	162	168	189	217	232	238	252	329	343	354	399	420	427	441	462	483	497												
EFL. BRUTO	948,80	923,00	1079,80	1052,40	876,40	1087,20	842,60	1323,80	1149,20	952,00	745,08	559,80	652,10	668	1067,50	839,60	714,80	1016,40	1343,50	568,00	351,40	626,70	877,50	458,70	427	841,7	818,9	802,5	895												
AFI. VALIAS	345,00	293,50	562,20	422,50	482,20	883,60	587,00	479,30	451,60	402,50	465,21	287,50	577,40	333,10	261,03	225,60	337,80	271,70	244,80	348,30	234,10	239,40	639,40	472,7	199,90	323,1	242,6	26,1	423,1												
VALIA 0,25 m	92,90	68,40	55,90	77,50	61,10	71,20	58,00	30,80	59,20	62,00	69,24	43,60	8,89	78,10	70,60	34,40	11,40	25,30	52,80	39,20					41,2	37,2	36,50	30,3	8,9	1,7											
VALIA 0,50 m	44,60	52,50	102,30	39,60	30,80	39,90	47,00	29,30	23,30	54,23	62,38	36,30	4,40	15,70	46,70	43,90	17,30	31,40	38,00	25,30					31,50	14,90	28,2	11,9	3,6												
VALIA 0,75 m	25,40	39,40	232,30	39,60	30,80	64,90	26,50	86,70	29,40	29,95	37,89	39,60	4,70	20,90	29,10	18,00	31,90	40,30	41,10					16,60	32,6	61,90	42,7	7,1	7,4	39,8											
DOO FILTRADA (mg/L)																																									
TEMPO DE OPERAÇÃO (dias)	15	21	36	42	57	70	77	84	91	119	140	154	162	168	189	217	232	238	252	329	343	354	399	420	427	441	462	483	497												
EFL. BRUTO	289,10	355,40	479,40	371,70	328,10	354,20	328,80	375,20	368,00	478,00	535,30	279,20	523,40	523,40	317,90	163,00	258,20	205,80	276,80	308,50	213,40	341,70	400,00	238,20	427	841,7	818,9	802,5	895												
AFI. VALIAS	160,71	121,00	264,30	205,70	240,30	354,20	289,20	174,10	151,50	268,00	382,23	146,70	388,23	146,70	317,90	131,10	228,00	208,00	276,00	308,50	159,80	318,00	322,40	159,80	102,30	201,30	147,60	50,10	215,40												
VALIA 0,25 m	67,70	55,60	54,30	46,40	32,80	42,60	57,40	28,90	20,00	41,80	32,47	23,50	28,70	4,52	32,20	12,60	6,10	5,30	9,20	16,90					41,2	37,2	36,50	30,3	8,9	1,7											
VALIA 0,50 m	40,60	29,50	97,10	29,60	25,50	37,00	26,60	24,30	8,00	44,69	22,90	19,50	4,10	12,20	9,90	6,20	8,00	10,50	25,00	23,80					28,20	11,00	15,30	10,10	3,10	12,10											
VALIA 0,75 m	15,30	6,41	19,10	36,10	27,50	57,40	18,60	69,00	8,00	10,67	7,80	21,10	4,58	12,90	6,20	8,56	12,10	29,60	12,80					12,20	28,9	26,60	11,90	20,30	5,10	12,10											
DBO TOTAL (mg/L)																																									
TEMPO DE OPERAÇÃO (dias)	15	21	36	42	57	70	77	84	91	119	140	154	162	168	189	217	232	238	252	329	343	354	399	420	427	441	462	483	497												
EFL. BRUTO	278,26	290,77	371,97	259,59	141,95	510,29	297,69	65,55	421,00	386,00	550,06	185,71			253,6	232,86	184,52	242,50	299,30	333,63	121,47	272,91	360,72	240,76	427	841,7	818,9	802,5	895												
AFI. VALIAS	160,71	121,00	111,87	127,21	127,21	127,21	127,21	127,21	127,21	127,21	127,21	127,21	127,21	127,21	115,81	70,56	92,67	72,72	127,37	119,30	64,39	62,77	87,92	86,68	102,30	201,30	147,60	50,10	215,40												
VALIA 0,25 m	70,87	29,07	20,87	15,87	8,25	11,00	15,15	10,15	15,15	57,20	20,70	2,72	16,88	2,72	25,8	12,60	6,10	5,30	9,20	16,90					41,2	37,2	36,50	30,3	8,9	1,7											
VALIA 0,50 m	13,31	21,48	29,22	5,18	12,38	2,15	4,96	6,90	3,48	23,50	54,00	13,80	1,99	4,55	33,3	34,00	11,11	25,40	22,90	19,10	17,10	13,60	27,77	23,41	18,24	16,90	8,65	25,30	14,60												
VALIA 0,75 m	3,26	4,72	48,44	2,69	15,13	3,90	3,92	7,94	3,82	10,99	32,00	22,88	2,57	14,23	11,35	14,00	11,50	2,06	25,90	12,80	12,46	4,45	66,25	23,15	23,19	16,20	14,20	55,60	25,90												
DBO FILTRADA (mg/L)																																									
TEMPO DE OPERAÇÃO (dias)	15	21	36	42	57	70	77	84	91	119	140	154	162	168	189	217	232	238	252	329	343	354	399	420	427	441	462	483	497												
EFL. BRUTO	117,81	126,48	165,60	87,06	65,40	60,00	87,00		140,64	194,48	157,00	24,44			40,54	78,03	58,29	33,04	51,96	129,16	189,25	119,60	169,21	102,30	427	841,7	818,9	802,5	895												
AFI. VALIAS	78,17	43,68	54,78	39,00	69,99	61,89	88,05		49,13	51,88	111,05	44,44	51,06	22,80	15,49	51,32	33,40	22,04	70,24	127,77	130,26	109,50	29,12	59,28	10,40	30,00	43,68	41,67	116,78												
VALIA 0,25 m	17,74	14,04	6,00	2,62	7,90	5,71	5,14		9,04	8,51	22,78	8,71	1,91	3,90	2,91	4,99	5,53	2,90	1,86	5,71	7,60	5,23	7,20	5,20	4,27	3,70	2,30	2,30	2,30												
VALIA 0,50 m	7,11	12,09	15,61	0,00	1,01	1,01	2,18		8,04	8,18	1,73	7,90	1,40	2,18	1,40	4,81	5,40	8,20	1,40	8,10	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40												
VALIA 0,75 m	0,60	3,00	31,32	0,00	3,76	1,19	2,28		3,47	8,96	6,58	6,94	1,72	3,40	3,30	3,10	3,42	2,90	1,68	2,37	14,68	14,35	3,00	11,84	4,65	7,35															
SS (mg/L)																																									
TEMPO DE OPERAÇÃO (dias)	15	21	36	42	57	70	77	84	91	119	140	154	162	168	189	217	232	238	252	329	343	354	399	420	427	441	462</														

ANEXO 2

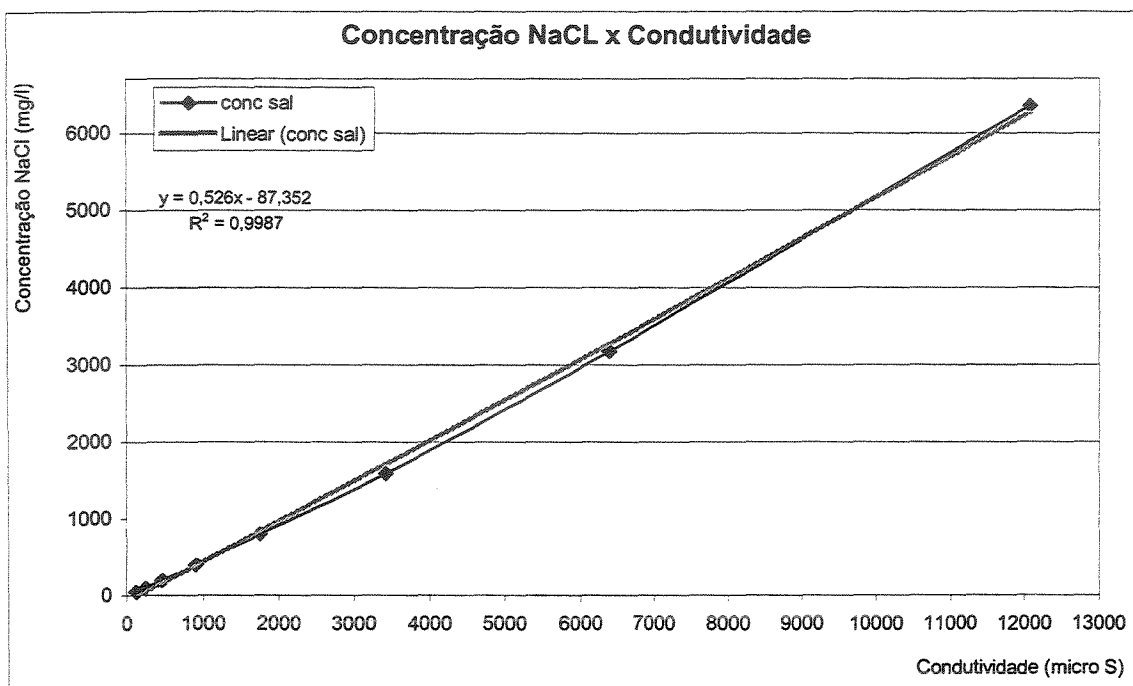


Figura 1 - Curva de condutividade em função da concentração de NaCl.

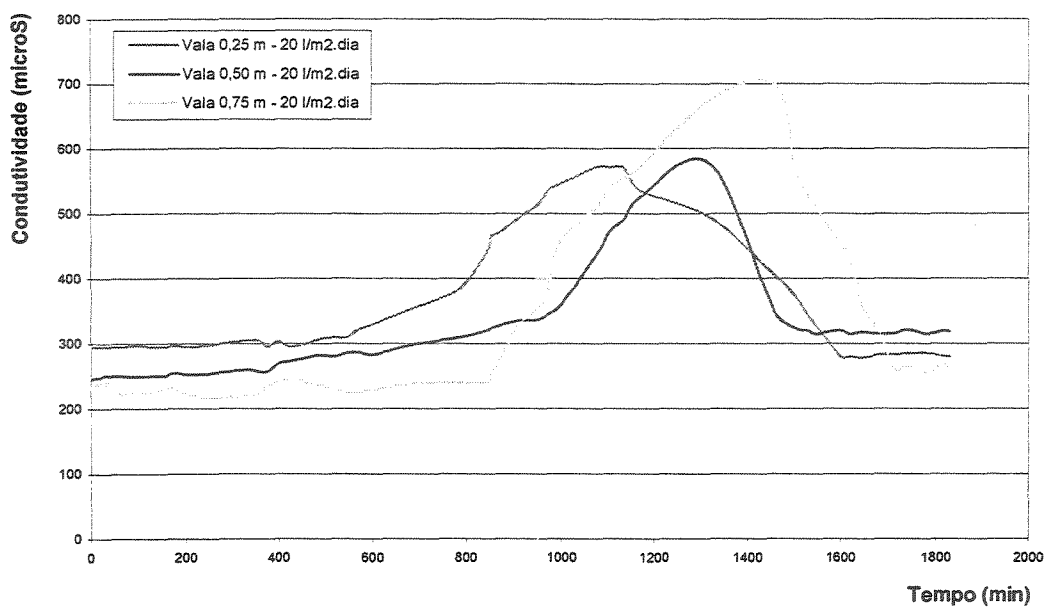


Figura 2 – Condutividade por tempo nas valas 0,25; 0,50 e 0,75 com taxa de aplicação de 20 L/m².dia.

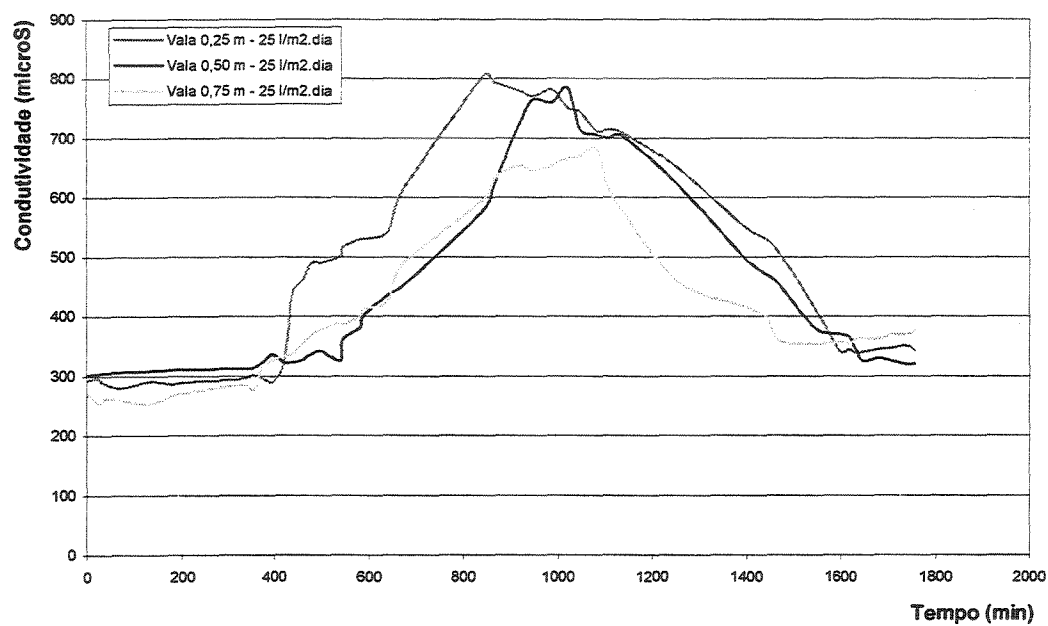


Figura 3 – Condutividade por tempo nas valas 0,25; 0,50 e 0,75 com taxa de aplicação de 25 L/m².dia.

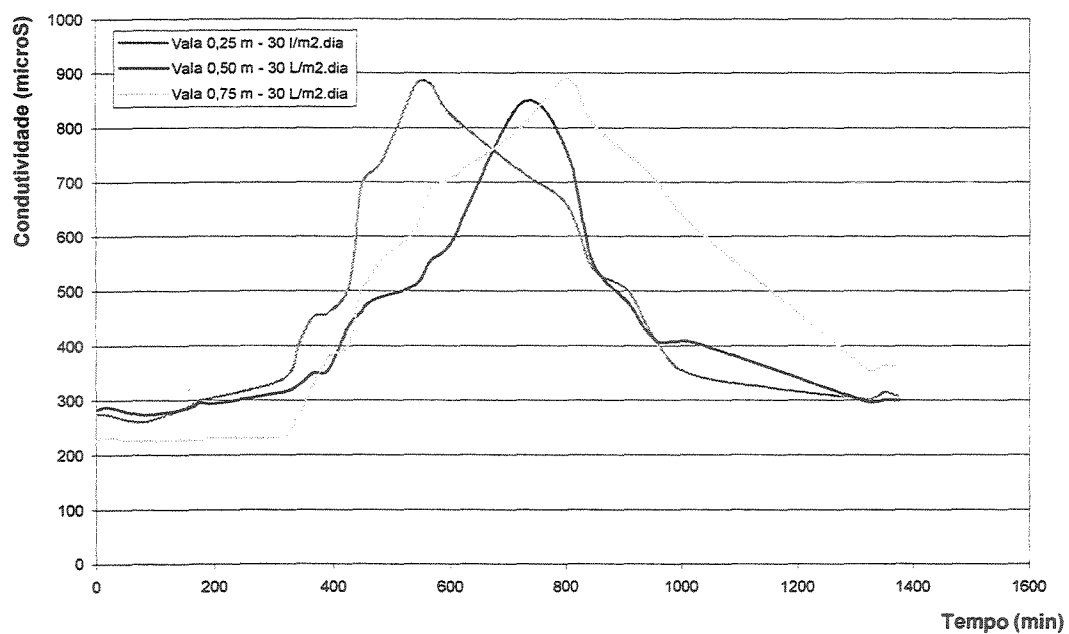


Figura 4 – Condutividade por tempo nas valas 0,25; 0,50 e 0,75 com taxa de aplicação de 30 L/m².dia.

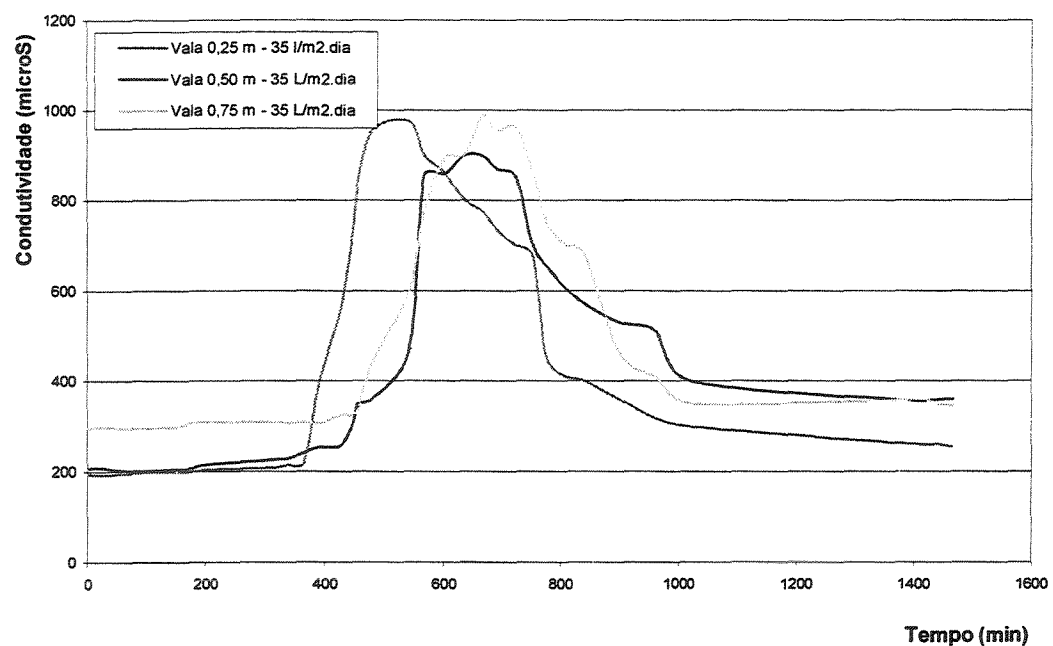


Figura 5 – Condutividade por tempo nas valas 0,25; 0,50 e 0,75 com taxa de aplicação de 35 L/m².dia.

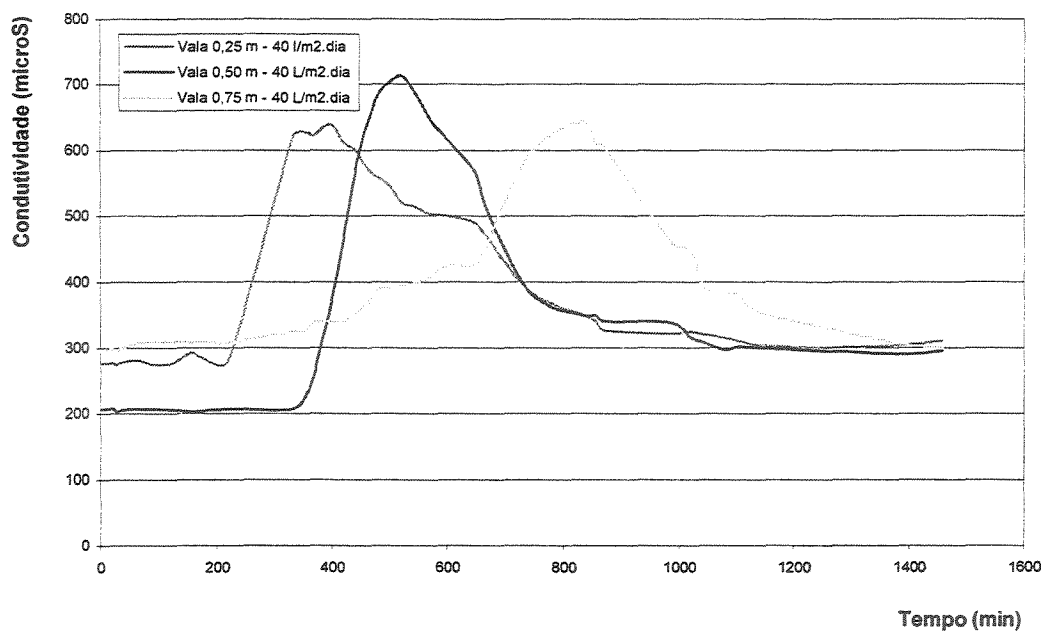


Figura 6 – Condutividade por tempo nas valas 0,25; 0,50 e 0,75 com taxa de aplicação de 40 L/m².dia.

Tabela 2 - Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da 0,25 m e taxa de aplicação 20 L/m2.dia

Vala 0,25 m - 20 l/m2.dia		Conc (mg/l)	Cl (mg/l)	Co (Cl/Cl máx)	θ (t/t _{TDH})	t.Cl (min)	t ² .Cl (min ²)	Cumulativo	
Tempo (min)	Condutividade								
0	295	67,818	8,942	0,057823	0,00000	0,0	0,0	0,00	
22	295	67,818	8,942	0,057823	0,01991	196,7	4327,9	0,72	
29	295	67,818	8,942	0,057823	0,02624	259,3	7520,2	0,95	
40	295	67,818	8,942	0,057823	0,03620	357,7	14307,2	1,31	
65	295	67,818	8,942	0,057823	0,05882	581,2	37780,0	2,13	
95	297	68,870	9,994	0,064626	0,08597	949,4	90195,9	3,12	
125	295	67,818	8,942	0,057823	0,11312	1117,8	139718,8	4,11	
155	295	67,818	8,942	0,057823	0,14027	1386,0	214831,6	5,09	
175	296	68,344	9,468	0,061224	0,15837	1656,9	289957,5	5,75	
220	295	67,818	8,942	0,057823	0,19910	1967,2	432792,8	7,22	
330	305	73,078	14,202	0,091837	0,29864	4686,7	1546597,8	10,97	T10=302
354	305	73,078	14,202	0,091837	0,32036	5027,5	1779737,8	11,81	
374	295	67,818	8,942	0,057823	0,33846	3344,3	1250771,2	12,49	
396	303	72,026	13,150	0,085034	0,35837	5207,4	2062130,4	13,23	
420	295	67,818	8,942	0,057823	0,38009	3755,6	1577368,8	14,04	
440	296	68,344	9,468	0,061224	0,39819	4165,9	1833004,8	14,70	
460	300	70,448	11,572	0,074830	0,41629	5323,1	2448635,2	15,37	
480	305	73,078	14,202	0,091837	0,43439	6817,0	3272140,8	16,06	
500	309	75,182	16,306	0,105442	0,45249	8153,0	4076500,0	16,78	
520	310	75,708	16,832	0,108844	0,47059	8752,6	4551372,8	17,51	
545	310	75,708	16,832	0,108844	0,49321	9173,4	4999524,8	18,42	
570	322	82,020	23,144	0,149660	0,51584	13192,1	7519485,6	19,37	
600	330	86,228	27,352	0,176871	0,54299	16411,2	9846720,0	20,59	
685	354	98,852	39,976	0,258503	0,61991	27383,6	18757738,6	24,39	
789	387	116,210	57,334	0,370748	0,71403	45236,5	35691619,0	29,79	
845	444	146,192	87,316	0,564626	0,76471	73782,0	62345806,9	33,33	
853	464	156,712	97,836	0,632653	0,77195	83454,1	71186354,1	33,92	
866	468	158,816	99,940	0,646259	0,78371	86548,0	74950602,6	34,91	
907	490	170,388	111,512	0,721088	0,82081	101141,4	91735235,3	38,16	
951	514	183,012	124,136	0,802721	0,86063	118053,3	112268722,5	41,92	
972	536	194,584	135,708	0,877551	0,87964	131908,2	128214747,1	43,83	
996	545	199,318	140,442	0,908163	0,90136	139880,2	139320711,1	46,11	
1080	571	212,994	154,118	0,996599	0,97738	166447,4	179763235,2	54,47	
1105	572	213,520	154,644	1,000000	1,00000	170881,6	188824190,1	57,04	Tp=1105
1136	570	212,468	153,592	0,993197	1,02805	174480,5	198209861,6	60,23	
1170	536	194,584	135,708	0,877551	1,05882	158778,4	185770681,2	63,57	
1319	494	172,492	113,616	0,734694	1,19367	149859,5	197664685,8	76,77	
1458	405	125,678	66,802	0,431973	1,31946	97397,3	142005286,7	86,77	
1501	374	109,372	50,496	0,326531	1,35837	75794,5	113767538,5	89,21	

1533	340	91,488	32,612	0,210884	1,38733	49994,2	76641102,5	90,76	T90=1517
1545	330	86,228	27,352	0,176871	1,39819	42258,8	65289907,8	91,28	
1599	280	59,928	1,052	0,006803	1,44706	1682,1	2689754,7	93,18	
1617	280	59,928	1,052	0,006803	1,46335	1701,1	2750652,8	93,70	
1632	279	59,402	0,526	0,003401	1,47692	858,4	1400961,0	94,13	
1648	278	58,876	0,000	0,000000	1,49140	0,0	0,0	94,59	
1681	283	61,506	2,630	0,017007	1,52127	4421,0	7431751,4	95,55	
1715	283	61,506	2,630	0,017007	1,55204	4510,5	7735421,8	96,56	
1742	285	62,558	3,682	0,023810	1,57647	6414,0	11173264,6	97,37	
1781	286	63,084	4,208	0,027211	1,61176	7494,4	13347611,9	98,55	
1815	281	60,454	1,578	0,010204	1,64253	2864,1	5198287,1	99,56	
1830	280	59,928	1,052	0,006803	1,65611	1925,2	3523042,8	100,00	
Somatório			2087,694			2027632,7	2185654196,5		

Tabela 3 - Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da 0,50 m e taxa de aplicação 20 L/m2.dia

Vale 0,50 m - 20 l/m2.dia		Conc (mg/l)	Cl (mg/l)	Co (Cl/Cl máx)	Ø (l/TDH)	tl.Cl (min)	tl².Cl (min²)	Cumulativo	
Tempo (min)	Condutividade								
0	245	41,518	0,000	0,000000	0,00000	0,0	0,0	0,00	
22	248	43,096	1,578	0,009036	0,01668	34,7	763,8	0,55	
29	251	44,674	3,156	0,018072	0,02199	91,5	2654,2	0,73	
40	250	44,148	2,630	0,015060	0,03033	105,2	4208,0	1,02	
65	250	44,148	2,630	0,015060	0,04928	171,0	11111,8	1,68	
95	249	43,622	2,104	0,012048	0,07202	199,9	18988,6	2,46	
125	250	44,148	2,630	0,015060	0,09477	328,7	41093,7	3,24	
155	250	44,148	2,630	0,015060	0,11751	407,6	63185,7	4,03	
175	255	46,778	5,260	0,030120	0,13268	920,5	161087,5	4,57	
220	252	45,200	3,682	0,021084	0,16679	810,0	178208,8	5,79	
330	260	49,408	7,890	0,045181	0,25019	2603,7	859221,0	8,88	
354	257	47,830	6,312	0,036145	0,26839	2234,4	790994,6	9,57	
374	257	47,830	6,312	0,036145	0,28355	2360,7	882897,3	10,14	T10=369
396	268	53,616	12,098	0,069277	0,30023	4790,8	1897160,0	10,80	
420	272	55,720	14,202	0,081325	0,31842	5964,8	2505232,8	11,58	
440	275	57,298	15,780	0,090361	0,33359	6943,2	3055008,0	12,25	
460	278	58,876	17,358	0,099398	0,34875	7984,7	3672952,8	12,94	
480	282	60,980	19,462	0,111446	0,36391	9341,8	4484044,8	13,65	
500	282	60,980	19,462	0,111446	0,37908	9731,0	4865500,0	14,37	
520	280	59,928	18,410	0,105422	0,39424	9573,2	4978064,0	15,09	
545	286	63,084	21,566	0,123494	0,41319	11753,5	6405641,2	16,00	
570	287	63,610	22,092	0,126506	0,43215	12592,4	7177690,8	16,94	
600	283	61,506	19,988	0,114458	0,45489	11992,8	7195680,0	18,06	
685	298	69,396	27,878	0,159639	0,51933	19096,4	13081054,6	21,36	
789	310	75,708	34,190	0,195783	0,59818	26975,9	21283993,0	25,83	
845	320	80,968	39,450	0,225904	0,64064	33335,3	28168286,3	28,44	
853	324	83,072	41,554	0,237952	0,64670	35445,6	30235064,4	28,83	
866	326	84,124	42,606	0,243976	0,65656	36896,8	31952625,3	29,47	
907	335	88,858	47,340	0,271084	0,68764	42937,4	38944203,7	31,57	
951	337	89,910	48,392	0,277108	0,72100	46020,8	43765773,2	33,91	
972	345	94,118	52,600	0,301205	0,73692	51127,2	49695638,4	35,05	
996	357	100,430	58,912	0,337349	0,75512	58676,4	58441646,6	36,44	
1080	440	144,088	102,570	0,587349	0,81880	110775,6	119637648,0	42,53	
1105	473	161,446	119,928	0,686747	0,83776	132520,4	146435086,2	44,80	
1136	490	170,388	128,870	0,737952	0,86126	146396,3	166306219,5	47,85	
1170	525	188,798	147,280	0,843373	0,88704	172317,6	201611592,0	51,47	
1319	577	216,150	174,632	1,000000	1,00000	230339,6	303817943,0	69,37	Tp=1319
1458	348	95,696	54,178	0,310241	1,10538	78991,5	115169642,0	82,22	
1501	324	83,072	41,554	0,237952	1,13798	62372,6	93621203,6	84,50	

1533	319	80,442	38,924	0,222892	1,16224	59670,5	91474864,2	86,06	T90=1617
1545	314	77,812	36,294	0,207831	1,17134	56074,2	86634685,4	86,62	
1599	320	80,968	39,450	0,225904	1,21228	63080,6	100865799,5	89,16	
1617	314	77,812	36,294	0,207831	1,22593	58687,4	94897522,6	90,01	
1632	315	78,338	36,820	0,210843	1,23730	60090,2	98067271,7	90,71	
1648	317	79,390	37,872	0,216867	1,24943	62413,1	102856716,3	91,45	
1681	314	77,812	36,294	0,207831	1,27445	61010,2	102558169,7	92,99	
1715	315	78,338	36,820	0,210843	1,30023	63146,3	108295904,5	94,57	
1742	321	81,494	39,976	0,228916	1,32070	69638,2	121309730,5	95,85	
1781	314	77,812	36,294	0,207831	1,35027	64639,6	115123152,5	97,69	
1815	319	80,442	38,924	0,222892	1,37604	70647,1	128224413,9	99,29	
1830	318	79,916	38,398	0,219880	1,38741	70268,3	128591062,2	100,00	
Somatório			1841,526			2144527,2	2790318301,8		

Tabela 4 - Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da 0,75 m e taxa de aplicação 20 L/m2.dia

Tempo (min)	Vala 0,75 m - 20 l/m2.dia Condutividade	Conc (mg/l)	Cl (mg/l)	Co (Cl/Cl máx)	Ø (li/TDH)	ti.Cl (min)	ti².Cl (min²)	Cumulativo	
0	233	35,206	7,364	0,029106	0,00000	0,0	0,0	0,00	
22	239	38,362	10,520	0,041580	0,01509	231,4	5091,7	0,42	
29	235	36,258	8,416	0,033264	0,01989	244,1	7077,9	0,55	
40	241	39,414	11,572	0,045738	0,02743	462,9	18515,2	0,77	
65	222	29,420	1,578	0,006237	0,04458	102,6	6667,1	1,21	
95	227	32,050	4,208	0,016632	0,06516	399,8	37977,2	1,69	
125	225	30,998	3,156	0,012474	0,08573	394,5	49312,5	2,17	
155	229	33,102	5,260	0,020790	0,10631	815,3	126371,5	2,67	
175	231	34,154	6,312	0,024948	0,12003	1104,6	193305,0	3,02	
220	219	27,842	0,000	0,000000	0,15089	0,0	0,0	3,73	
330	219	27,842	0,000	0,000000	0,22634	0,0	0,0	5,31	
354	223	29,946	2,104	0,008316	0,24280	744,8	263664,9	5,67	
374	234	35,732	7,890	0,031185	0,25652	2950,9	1103621,6	6,01	
396	241	39,414	11,572	0,045738	0,27160	4582,5	1814674,8	6,44	
420	245	41,518	13,676	0,054054	0,28807	5743,9	2412446,4	6,94	
440	246	42,044	14,202	0,056133	0,30178	6248,9	2749507,2	7,37	
460	239	38,362	10,520	0,041580	0,31550	4839,2	2226032,0	7,78	
480	238	37,836	9,994	0,039501	0,32922	4797,1	2302617,6	8,18	
500	234	35,732	7,890	0,031185	0,34294	3945,0	1972500,0	8,55	
520	229	33,102	5,260	0,020790	0,35665	2735,2	1422304,0	8,91	
545	226	31,524	3,682	0,014553	0,37380	2006,7	1093646,1	9,33	
570	226	31,524	3,682	0,014553	0,39095	2098,7	1196281,8	9,73	
600	229	33,102	5,260	0,020790	0,41152	3156,0	1893600,0	10,23	T10=586
685	238	37,836	9,994	0,039501	0,46982	6845,9	4689434,7	11,79	
789	239	38,362	10,520	0,041580	0,54115	8300,3	6548920,9	13,83	
845	241	39,414	11,572	0,045738	0,57956	9778,3	8262697,3	14,95	
853	251	44,674	16,832	0,066528	0,58505	14357,7	12247114,7	15,13	
866	269	54,142	26,300	0,103950	0,59396	22775,8	19723842,8	15,46	
907	325	83,598	55,756	0,220374	0,62209	50570,7	45867617,6	16,91	
951	354	98,852	71,010	0,280665	0,65226	67530,5	64221515,0	18,98	
972	385	115,158	87,316	0,345114	0,66667	84871,2	82494759,7	20,14	
996	456	152,504	124,662	0,492723	0,68313	124163,4	123666698,6	21,80	
1080	512	181,960	154,118	0,609148	0,74074	166447,4	179763235,2	29,04	
1105	540	196,688	168,846	0,667360	0,75789	186574,8	206165187,2	31,48	
1136	554	204,052	176,210	0,696466	0,77915	200174,6	227398300,2	34,68	
1170	570	212,468	184,626	0,729730	0,80247	216012,4	252734531,4	38,33	
1319	675	267,698	239,856	0,948025	0,90466	316370,1	417292114,4	56,78	
1458	700	280,848	253,006	1,000000	1,00000	368882,7	537831046,6	76,43	Tp=1458
1501	574	214,572	186,730	0,738046	1,02949	280281,7	420702876,7	81,93	

1533	523	187,746	159,904	0,632017	1,05144	245132,8	375788631,5	85,24	T90=1587
1545	512	181,960	154,118	0,609148	1,05967	238112,3	367883519,0	86,39	
1599	452	150,400	122,558	0,484407	1,09671	195970,2	313356417,0	91,02	
1617	439	143,562	115,720	0,457380	1,10905	187119,2	302571811,1	92,38	
1632	401	123,574	95,732	0,378378	1,11934	156234,6	254974906,4	93,41	
1648	358	100,956	73,114	0,288981	1,13032	120491,9	198570605,1	94,34	
1681	319	80,442	52,600	0,207900	1,15295	88420,6	148635028,6	95,88	
1715	260	49,408	21,566	0,085239	1,17627	36985,7	63430458,4	97,02	
1742	265	52,038	24,196	0,095634	1,19479	42149,4	73424310,5	97,73	
1781	255	46,778	18,936	0,074844	1,22154	33725,0	60064253,5	98,72	
1815	268	53,616	25,774	0,101871	1,24486	46779,8	84905355,2	99,60	
1830	261	49,934	22,092	0,087318	1,25514	40428,4	73983898,8	100,00	
Somatório			2817,782			3603091,6	4948094302,1		

Tabela 5 - Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,25 m e taxa de aplicação 25 L/m2.dia

Tempo (min)	Vala 0,25 m - 25 l/m2.dia Condutividade	Conc (mg/l)	Cl (mg/l)	Co (Cl/Cl máx)	θ (l/TDH)	tl.Cl (min)	tl ² .Cl (min ²)	Cumulativo
0	293	66,766	6,838	0,024668	0,00000	0,0	0,0	0,00
22	296	68,344	8,416	0,030361	0,02604	185,2	4073,3	0,46
29	290	65,188	5,260	0,018975	0,03432	152,5	4423,7	0,60
40	287	63,610	3,682	0,013283	0,04734	147,3	5891,2	0,82
65	280	59,928	0,000	0,000000	0,07692	0,0	0,0	1,30
95	284	62,032	2,104	0,007590	0,11243	199,9	18988,6	1,87
125	290	65,188	5,260	0,018975	0,14793	657,5	82187,5	2,46
155	290	65,188	5,260	0,018975	0,18343	815,3	126371,5	3,06
175	286	63,084	3,156	0,011385	0,20710	552,3	96652,5	3,46
220	290	65,188	5,260	0,018975	0,26036	1157,2	254584,0	4,35
330	295	67,818	7,890	0,028463	0,39053	2603,7	859221,0	6,61
354	302	71,500	11,572	0,041746	0,41893	4096,5	1450156,8	7,13
375	295	67,818	7,890	0,028463	0,44379	2958,8	1109531,3	7,58
396	290	65,188	5,260	0,018975	0,46864	2083,0	824852,2	8,01
420	316	78,864	18,936	0,068311	0,49704	7953,1	3340310,4	8,55
440	440	144,088	84,160	0,303605	0,52071	37030,4	16293376,0	9,24
460	460	154,608	94,680	0,341556	0,54438	43552,8	20034288,0	10,16
480	489	169,862	109,934	0,396584	0,56805	52768,3	25328793,6	11,17
500	490	170,388	110,460	0,398482	0,59172	55230,0	27615000,0	12,22
540	500	175,648	115,720	0,417457	0,63905	62488,8	33743952,0	14,36
545	516	184,064	124,136	0,447818	0,64497	67654,1	36871495,4	14,64
581	529	190,902	130,974	0,472486	0,68757	76095,9	44211714,4	16,72
588	530	191,428	131,500	0,474383	0,69586	77322,0	45465336,0	17,14
640	543	198,266	138,338	0,499051	0,75740	88536,3	56663244,8	20,27
670	612	234,560	174,632	0,629981	0,79290	117003,4	78392304,8	22,28
845	807	337,130	277,202	1,000000	1,00000	234235,7	197929158,1	37,75
864	794	330,292	270,364	0,975332	1,02249	233594,5	201825644,5	39,71
915	781	323,454	263,526	0,950664	1,08284	241126,3	220630555,4	44,86
945	770	317,668	257,740	0,929791	1,11834	243564,3	230168263,5	47,84
985	782	323,980	264,052	0,952562	1,16568	260091,2	256189851,7	51,81
1018	750	307,148	247,220	0,891841	1,20473	251670,0	256200019,3	55,03
1044	745	304,518	244,590	0,882353	1,23550	255352,0	266587446,2	57,49
1080	712	287,160	227,232	0,819734	1,27811	245410,6	265043404,8	60,78
1105	715	288,738	228,810	0,825427	1,30769	252835,1	279382730,3	63,01
1136	709	285,582	225,654	0,814042	1,34438	256342,9	291205584,4	65,76
1255	650	254,548	194,620	0,702087	1,48521	244248,1	306531365,5	75,70
1396	550	201,948	142,020	0,512334	1,65207	198259,9	276770848,3	85,65
1441	530	191,428	131,500	0,474383	1,70533	189491,5	273057251,5	88,39
1468	507	179,330	119,402	0,430740	1,73728	175282,1	257314175,6	89,93
1545	414	130,412	70,484	0,254269	1,82840	108897,8	168247070,1	93,62
1599	340	91,488	31,560	0,113852	1,89231	50464,4	80692639,6	95,48
1617	345	94,118	34,190	0,123340	1,91361	55285,2	89396216,9	95,99

T10=457

Tr=845

T90=1469

1632	338	90,436	30,508	0,110057	1,93136	49789,1	81255739,4	96,42
1648	340	91,488	31,560	0,113852	1,95030	52010,9	85713930,2	96,87
1681	345	94,118	34,190	0,123340	1,98935	57473,4	96612768,6	97,82
1710	347	95,170	35,242	0,127135	2,02367	60263,8	103051132,2	98,67
1740	351	97,274	37,346	0,134725	2,05917	64982,0	113068749,6	99,56
1755	343	93,066	33,138	0,119545	2,07692	58157,2	102065868,5	100,00
Somatório			4743,468			4540072,2	4891737163,0	

Tabela 6 - Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da 0,50 m e taxa de aplicação 25 L/m2.dia

Vala 0,50 m - 25 l/m2.dia								
Tempo (min)		Conc (mg/l)	Cl (mg/l)	Co (Cl/Cl máx)	Ø (l/TDH)	tl.Cl (min)	ti².Cl (min²)	Cumulativo
Condutividade								
0	302	71,500	0,000	0,000000	0,00000	0,0	0,0	0,00
22	303	72,026	0,526	0,002070	0,02161	11,6	254,6	0,57
29	304	72,552	1,052	0,004141	0,02849	30,5	884,7	0,75
40	305	73,078	1,578	0,006211	0,03929	63,1	2524,8	1,04
65	306	73,604	2,104	0,008282	0,06385	136,8	8889,4	1,70
95	307	74,130	2,630	0,010352	0,09332	249,9	23735,8	2,50
125	308	74,656	3,156	0,012422	0,12279	394,5	49312,5	3,31
155	309	75,182	3,682	0,014493	0,15226	570,7	88460,1	4,12
175	310	75,708	4,208	0,016563	0,17191	736,4	128870,0	4,66
220	311	76,234	4,734	0,018634	0,21611	1041,5	229125,6	5,90
330	312	76,760	5,260	0,020704	0,32417	1735,8	572814,0	8,93
354	313	77,286	5,786	0,022774	0,34774	2048,2	725078,4	9,60
375	323	82,546	11,046	0,043478	0,36837	4142,3	1553343,8	10,21
396	336	89,384	17,884	0,070393	0,38900	7082,1	2804497,3	10,86
420	323	82,546	11,046	0,043478	0,41257	4639,3	1948514,4	11,60
440	323	82,546	11,046	0,043478	0,43222	4860,2	2138505,6	12,20
460	326	84,124	12,624	0,049689	0,45187	5807,0	2671238,4	12,80
480	336	89,384	17,884	0,070393	0,47151	8584,3	4120473,6	13,42
500	342	92,540	21,040	0,082816	0,49116	10520,0	5260000,0	14,08
540	325	83,598	12,098	0,047619	0,53045	6532,9	3527776,8	15,35
545	360	102,008	30,508	0,120083	0,53536	16626,9	9061638,7	15,52
581	380	112,528	41,028	0,161491	0,57073	23837,3	13849452,7	16,91
588	400	123,048	51,548	0,202899	0,57760	30310,2	17822411,7	17,21
640	437	142,510	71,010	0,279503	0,62868	45446,4	29085696,0	19,70
670	451	149,874	78,374	0,308489	0,65815	52510,6	35182088,6	21,28
845	580	217,728	146,228	0,575569	0,83006	123562,7	104410447,7	32,89
864	620	238,768	167,268	0,658385	0,84872	144519,6	124864892,9	34,45
915	720	291,368	219,868	0,865424	0,89882	201179,2	184078986,3	39,33
945	765	315,038	243,538	0,958592	0,92829	230143,4	217485522,5	42,61
985	760	312,408	240,908	0,948240	0,96758	237294,4	233734964,3	47,14
1018	785	325,558	254,058	1,000000	1,00000	258631,0	263286402,8	50,94
1044	716	289,264	217,764	0,857143	1,02554	227345,6	237348823,1	53,82
1080	706	284,004	212,504	0,836439	1,06090	229504,3	247864665,6	57,55
1105	700	280,848	209,348	0,824017	1,08546	231329,5	255619141,7	60,09
1136	704	282,952	211,452	0,832298	1,11591	240209,5	272877960,2	63,25
1255	621	239,294	167,794	0,660455	1,23281	210581,5	264279744,9	74,46
1396	498	174,596	103,096	0,405797	1,37132	143922,0	200915134,3	84,99
1441	470	159,868	88,368	0,347826	1,41552	127338,3	183494473,0	87,70
1468	454	151,452	79,952	0,314700	1,44204	117369,5	172298478,8	89,22
T10=368								
Tp=1018								

1545	380	112,528	41,028	0,161491	1,51768	63388,3	97934861,7	92,89	T90=1484
1599	370	107,268	35,768	0,140787	1,57073	57193,0	91451658,2	95,03	
1617	366	105,164	33,664	0,132505	1,58841	54434,7	88020890,5	95,72	
1632	345	94,118	22,618	0,089027	1,60314	36912,6	60241324,0	96,26	
1648	325	83,598	12,098	0,047619	1,61886	19937,5	32857006,6	96,77	
1681	330	86,228	14,728	0,057971	1,65128	24757,8	41617808,0	97,78	
1710	325	83,598	12,098	0,047619	1,67976	20687,6	35375761,8	98,67	
1740	320	80,968	9,468	0,037267	1,70923	16474,3	28665316,8	99,56	
1755	321	81,494	9,994	0,039337	1,72397	17539,5	30781769,9	100,00	
Somatório			3175,462			3262174,2	3600361623,0		

Tabela 7 - Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da 0,75 m e taxa de aplicação 25 L/m2.dia

Tempo (min)	Vala 0,75 m - 25 l/m2.dia Condutividade	Conc (mg/l)	Cl (mg/l)	Co (Cl/Cl máx)	Ø (li/TDH)	ti.Cl (min)	ti².Cl (min²)	Cumulativo
0	269	54,142	8,416	0,037296	0,00000	0,0	0,0	0,00
22	256	47,304	1,578	0,006993	0,02037	34,7	763,8	0,46
29	254	46,252	0,526	0,002331	0,02685	15,3	442,4	0,60
40	263	50,986	5,260	0,023310	0,03704	210,4	8416,0	0,82
65	260	49,408	3,682	0,016317	0,06019	239,3	15556,5	1,33
95	256	47,304	1,578	0,006993	0,08796	149,9	14241,5	1,93
125	253	45,726	0,000	0,000000	0,11574	0,0	0,0	2,51
155	259	48,882	3,156	0,013986	0,14352	489,2	75822,9	3,09
175	265	52,038	6,312	0,027972	0,16204	1104,6	193305,0	3,51
220	273	56,246	10,520	0,046620	0,20370	2314,4	509168,0	4,51
330	285	62,558	16,832	0,074592	0,30556	5554,6	1833004,8	7,21
354	277	58,350	12,624	0,055944	0,32778	4468,9	1581989,2	7,81
375	315	78,338	32,612	0,144522	0,34722	12229,5	4586062,5	8,40
396	326	84,124	38,398	0,170163	0,36667	15205,6	6021420,8	9,11
420	333	87,806	42,080	0,186480	0,38889	17673,6	7422912,0	9,96
440	336	89,384	43,658	0,193473	0,40741	19209,5	8452188,8	10,69
460	354	98,852	53,126	0,235431	0,42593	24438,0	11241461,6	11,46
480	369	106,742	61,016	0,270396	0,44444	29287,7	14058086,4	12,31
500	378	111,476	65,750	0,291375	0,46296	32875,0	16437500,0	13,21
540	389	117,262	71,536	0,317016	0,50000	38629,4	20859897,6	15,10
545	387	116,210	70,484	0,312354	0,50463	38413,8	20935510,1	15,34
581	399	122,522	76,796	0,340326	0,53796	44618,5	25923334,6	17,11
588	412	129,360	83,634	0,370629	0,54444	49176,8	28915953,7	17,48
640	426	136,724	90,998	0,403263	0,59259	58238,7	37272780,8	20,33
670	487	168,810	123,084	0,545455	0,62037	82466,3	55252407,6	22,22
845	598	227,196	181,470	0,804196	0,78241	153342,2	129574116,8	36,52
864	632	245,080	199,354	0,883450	0,80000	172241,9	148816963,6	38,37
915	654	256,652	210,926	0,934732	0,84722	192997,3	176592520,4	43,65
945	645	251,918	206,192	0,913753	0,87500	194851,4	184134610,8	46,79
985	654	256,652	210,926	0,934732	0,91204	207762,1	204645678,4	50,99
1018	665	262,438	216,712	0,960373	0,94259	220612,8	224583846,7	54,52
1044	669	264,542	218,816	0,969697	0,96667	228443,9	238495435,8	57,35
1080	682	271,380	225,654	1,000000	1,00000	243706,3	263202825,6	61,33
1105	619	238,242	192,516	0,853147	1,02315	212730,2	235066848,9	63,96
1136	578	216,676	170,950	0,757576	1,05185	194199,2	220610291,2	66,87
1255	459	154,082	108,356	0,480186	1,16204	135986,8	170663408,9	75,97
1396	416	131,464	85,738	0,379953	1,29259	119690,2	167087586,2	84,27
1441	400	123,048	77,322	0,342657	1,33426	111421,0	160557663,9	86,63
1468	359	101,482	55,756	0,247086	1,35926	81849,8	120155518,1	87,89

T10=421

Tp=1080

1545	354	98,852	53,126	0,235431	1,43056	82079,7	126813090,2	91,07	T90=1519
1599	357	100,430	54,704	0,242424	1,48056	87471,7	139867241,9	93,29	
1617	354	98,852	53,126	0,235431	1,49722	85904,7	138907967,8	94,03	
1632	361	102,534	56,808	0,251748	1,51111	92710,7	151303790,6	94,65	
1648	364	104,112	58,386	0,258741	1,52593	96220,1	158570770,9	95,33	
1681	362	103,060	57,334	0,254079	1,55648	96378,5	162012181,2	96,74	
1710	370	107,268	61,542	0,272727	1,58333	105236,8	179954962,2	98,00	
1740	370	107,268	61,542	0,272727	1,61111	107083,1	186324559,2	99,33	
1755	375	109,898	64,172	0,284382	1,62500	112621,9	197651364,3	100,00	
Somatório			3805,084			3812585,8	4347205469,7		

Tabela 8 - Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,25 m e taxa de aplicação 30 L/m².dia

Tempo (min)	Hora	Vala 0,25 m - 30 l/m ² .dia Condutividade	Conc (mg/l)	CI (mg/l)	Co (CI/CI máx)	Ø (li/TDH)	ti.CI (min)	ti ² .CI (min ²)	Cumulativo	
0	00:00	275	57,298	7,364	0,022581	0,00000	0,0	0,0	0,00	
20	00:22	274	56,772	6,838	0,020968	0,03704	136,8	2735,2	0,52	
80	00:29	261	49,934	0,000	0,000000	0,14815	0,0	0,0	1,98	
155	00:40	289	64,662	14,728	0,045161	0,28704	2282,8	353840,2	3,93	
175	01:05	300	70,448	20,514	0,062903	0,32407	3590,0	628241,3	4,55	
200	01:35	306	73,604	23,670	0,072581	0,37037	4734,0	946800,0	5,37	
315	02:05	339	90,962	41,028	0,125806	0,58333	12923,8	4071003,3	9,68	
340	02:35	402	124,100	74,166	0,227419	0,62963	25216,4	8573589,6	10,90	T10=322
365	02:55	452	150,400	100,466	0,308065	0,67593	36670,1	13384582,9	12,47	
390	03:40	459	154,082	104,148	0,319355	0,72222	40617,7	15840910,8	14,20	
425	05:30	509	180,382	130,448	0,400000	0,78704	55440,4	23562170,0	16,87	
445	05:54	689	275,062	225,128	0,690323	0,82407	100182,0	44580972,2	18,94	
455	06:15	712	287,160	237,226	0,727419	0,84259	107937,8	49111712,7	20,22	
480	06:36	736	299,784	249,850	0,766129	0,88889	119928,0	57565440,0	23,56	
540	07:00	881	376,054	326,120	1,000000	1,00000	176104,8	95096592,0	32,80	TP=540
565	07:20	880	375,528	325,594	0,998387	1,04630	183960,6	103937744,7	37,08	
600	07:40	823	345,546	295,612	0,906452	1,11111	177367,2	106420320,0	42,82	
720	08:00	719	290,842	240,908	0,738710	1,33333	173453,8	124886707,2	60,21	
800	08:20	659	259,282	209,348	0,641935	1,48148	167478,4	133982720,0	70,23	
845	08:40	543	198,266	148,332	0,454839	1,56481	125340,5	105912756,3	74,92	
905	09:05	501	176,174	126,240	0,387097	1,67593	114247,2	103393716,0	80,04	
955	09:41	406	126,204	76,270	0,233871	1,76852	72837,9	69560146,8	83,48	
1020	09:48	346	94,644	44,710	0,137097	1,88889	45604,2	46516284,0	86,75	
1320	10:40	302	71,500	21,566	0,066129	2,44444	28467,1	37576598,4	98,10	T90=1106
1350	11:10	316	78,864	28,930	0,088710	2,50000	39055,5	52724925,0	99,13	
1375	14:05	307	74,130	24,196	0,074194	2,54630	33269,5	45745562,5	100,00	
Somatório				3103,400			1846846,5	1244376070,9		

Tabela 9 - Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da 0,50 m e taxa de aplicação 30 L/m2.dia

Tempo (min)	Vala 0,50 m - 30 l/m2.dia Condutividade	Conc (mg/l)	CI (mg/l)	Co (CI/CI máx)	\emptyset (ti/TDH)	ti.CI (min)	ti ² .CI (min ²)	Cumulativo	
0	283	61,506	4,734	0,015817	0,00000	0,0	0,0	0,00	
20	287	63,610	6,838	0,022847	0,02778	136,8	2735,2	0,64	
80	274	56,772	0,000	0,000000	0,11111	0,0	0,0	2,48	
155	285	62,558	5,786	0,019332	0,21528	896,8	139008,7	4,77	
175	296	68,344	11,572	0,038664	0,24306	2025,1	354392,5	5,43	
200	294	67,292	10,520	0,035149	0,27778	2104,0	420800,0	6,30	
315	315	78,338	21,566	0,072056	0,43750	6793,3	2139886,4	10,57	T10=300
340	326	84,124	27,352	0,091388	0,47222	9299,7	3161891,2	11,61	
365	349	96,222	39,450	0,131810	0,50694	14399,3	5255726,3	12,76	
390	354	98,852	42,080	0,140598	0,54167	16411,2	6400368,0	14,00	
425	436	141,984	85,212	0,284710	0,59028	36215,1	15391417,5	16,15	
445	459	154,082	97,310	0,325132	0,61806	43303,0	19269812,8	17,67	
455	475	162,498	105,726	0,353251	0,63194	48105,3	21887925,2	18,47	
480	489	169,862	113,090	0,377856	0,66667	54283,2	26055936,0	20,59	
540	512	181,960	125,188	0,418278	0,75000	67601,5	36504820,8	25,98	
565	556	205,104	148,332	0,495606	0,78472	83807,6	47351282,7	28,45	
600	589	222,462	165,690	0,553603	0,83333	99414,0	59648400,0	32,27	
720	843	356,066	299,294	1,000000	1,00000	215491,7	155154009,6	49,98	TP=720
800	756	310,304	253,532	0,847100	1,11111	202825,6	162260480,0	63,59	
845	554	204,052	147,280	0,492091	1,17361	124451,6	105161602,0	69,49	
905	479	164,602	107,830	0,360281	1,25694	97586,2	88315465,8	75,14	
955	407	126,730	69,958	0,233743	1,32639	66809,9	63803445,0	78,85	
1020	406	126,204	69,432	0,231986	1,41667	70820,6	72237052,8	83,05	
1320	298	69,396	12,624	0,042179	1,83333	16663,7	21996057,6	98,02	T90=1159
1350	301	70,974	14,202	0,047452	1,87500	19172,7	25883145,0	99,10	
1375	300	70,448	13,676	0,045694	1,90972	18804,5	25856187,5	100,00	
Somatório			1998,274			1317422,2	964651848,3		

Tabela 10 - Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,75 m e taxa de aplicação 30 L/m2.dia

Vala 0,75 m - 30 l/m2.dia		Conc (mg/l)	Cl (mg/l)	Co (Cl/Cl máx)	Ø (li/TDH)	li.Cl (min)	li².Cl (min²)	Cumulativo	
Tempo (min)	Condutividade								
0	228	32,576	1,052	0,003012	0,00000	0,0	0,0	0,00	
20	231	34,154	2,630	0,007530	0,02500	52,6	1052,0	0,27	
80	226	31,524	0,000	0,000000	0,10000	0,0	0,0	1,06	
155	228	32,576	1,052	0,003012	0,19375	163,1	25274,3	2,03	
175	227	32,050	0,526	0,001506	0,21875	92,0	16108,7	2,29	
200	233	35,206	3,682	0,010542	0,25000	736,4	147280,0	2,63	
315	235	36,258	4,734	0,013554	0,39375	1491,2	469731,1	4,28	
340	275	57,298	25,774	0,073795	0,42500	8763,2	2979474,4	4,75	
365	325	83,598	52,074	0,149096	0,45625	19007,0	6937558,7	5,46	
390	379	112,002	80,478	0,230422	0,48750	31386,4	12240703,8	6,44	
425	403	124,626	93,102	0,266566	0,53125	39568,4	16816548,8	8,10	
445	503	177,226	145,702	0,417169	0,55625	64837,4	28852638,6	9,32	
455	514	183,012	151,488	0,433735	0,56875	68927,0	31361803,2	10,04	T10=454
480	556	205,104	173,580	0,496988	0,60000	83318,4	39992832,0	11,99	
540	615	236,138	204,614	0,585843	0,67500	110491,6	59665442,4	17,32	
565	690	275,588	244,064	0,698795	0,70625	137896,2	77911330,4	19,89	
600	708	285,056	253,532	0,725904	0,75000	152119,2	91271520,0	23,83	
720	800	333,448	301,924	0,864458	0,90000	217385,3	156517401,6	38,76	
800	890	380,788	349,264	1,000000	1,00000	279411,2	223528960,0	50,25	Tp=800
845	806	336,604	305,080	0,873494	1,05625	257792,6	217834747,0	56,74	
905	752	308,200	276,676	0,792169	1,13125	250391,8	226604560,9	64,52	
955	700	280,848	249,324	0,713855	1,19375	238104,4	227389721,1	70,44	
1020	619	238,242	206,718	0,591867	1,27500	210852,4	215069407,2	77,22	
1320	359	101,482	69,958	0,200301	1,65000	92344,6	121894819,2	97,71	T90=1208
1350	364	104,112	72,588	0,207831	1,68750	97993,8	132291630,0	98,95	
1375	364	104,112	72,588	0,207831	1,71875	99808,5	137236687,5	100,00	
Soma			3342,204			2462934,5	2027057232,9		

Tabela 11 - Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,25 m e taxa de aplicação 35 L/m2.dia

Tempo (min)	Vala 0,25 m - 35 l/m2.dia Condutividade	Conc (mg/l)	Cl (mg/l)	Co (Cl/Cl máx)	\emptyset (li/IDH)	ti.Cl (min)	ti².Cl (min²)	Cumulativo	
0	195	15,218	0,526	0,001280	0,00000	0,0	0,0	0,00	
20	194	14,692	0,000	0,000000	0,03704	0,0	0,0	0,16	
80	198	16,796	2,104	0,005122	0,14815	168,3	13465,6	0,67	
155	200	17,848	3,156	0,007682	0,28704	489,2	75822,9	1,38	
175	200	17,848	3,156	0,007682	0,32407	552,3	96652,5	1,57	
200	205	20,478	5,786	0,014085	0,37037	1157,2	231440,0	1,83	
315	209	22,582	7,890	0,019206	0,58333	2485,4	782885,3	3,18	
340	215	25,738	11,046	0,026889	0,62963	3755,6	1276917,6	3,50	
365	219	27,842	13,150	0,032010	0,67593	4799,8	1751908,8	3,87	
390	400	123,048	108,356	0,263764	0,72222	42258,8	16480947,6	4,89	
425	559	206,682	191,990	0,467350	0,78704	81595,8	34678193,8	8,02	
445	715	288,738	274,046	0,667093	0,82407	121950,5	54267959,2	10,70	<i>T10=147</i>
455	851	360,274	345,582	0,841229	0,84259	157239,8	71544113,6	12,46	
480	957	416,030	401,338	0,976953	0,88889	192642,2	92468275,2	17,73	
540	975	425,498	410,806	1,000000	1,00000	221835,2	119791029,6	31,42	<i>Tp=540</i>
565	900	386,048	371,356	0,903969	1,04630	209816,1	118546119,1	36,92	
600	860	365,008	350,316	0,852753	1,11111	210189,6	126113760,0	44,05	
635	800	333,448	318,756	0,775928	1,17593	202410,1	128530388,1	50,67	
665	774	319,772	305,080	0,742638	1,23148	202878,2	134914003,0	55,99	
690	735	299,258	284,566	0,692702	1,27778	196350,5	135481872,6	60,18	
720	700	280,848	266,156	0,647887	1,33333	191632,3	137975270,4	64,90	
750	677	268,750	254,058	0,618438	1,38889	190543,5	142907625,0	69,37	
775	452	150,400	135,708	0,330346	1,43519	105173,7	81509617,5	72,21	
805	412	129,360	114,668	0,279129	1,49074	92307,7	74307730,7	74,49	
840	400	123,048	108,356	0,263764	1,55556	91019,0	76455993,6	76,89	
900	359	101,482	86,790	0,211268	1,66667	78111,0	70299900,0	80,54	
960	317	79,390	64,698	0,157490	1,77778	62110,1	59625676,8	83,48	
1020	300	70,448	55,756	0,135723	1,88889	56871,1	58008542,4	85,92	
1410	259	48,882	34,190	0,083227	2,61111	48207,9	67973139,0	98,54	<i>T90=1146</i>
1440	261	49,934	35,242	0,085787	2,66667	50748,5	73077811,2	99,34	
1465	256	47,304	32,612	0,079385	2,71296	47776,6	69992689,7	100,00	
Somatório			4597,240			2867076,1	1949179750,6		

Tabela 12 - Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,50 m e taxa de aplicação 35 L/m2.dia

Tempo (min)	Vala 0,50 m - 35 l/m2.dia Condutividade	Conc (mg/l)	CI (mg/l)	Co (CI/CI máx)	Ø (ti/TDH)	ti.Ci (min)	ti2.Ci (min2)	Cumulativo	
0	207	21,530	2,630	0,007163	0,00000	0,0	0,0	0,00	
20	208	22,056	3,156	0,008596	0,03150	63,1	1262,4	0,22	
80	202	18,900	0,000	0,000000	0,12598	0,0	0,0	0,83	
155	206	21,004	2,104	0,005731	0,24409	326,1	50548,6	1,57	
175	207	21,530	2,630	0,007163	0,27559	460,3	80543,8	1,78	
200	215	25,738	6,838	0,018625	0,31496	1367,6	273520,0	2,07	
315	226	31,524	12,624	0,034384	0,49606	3976,6	1252616,4	3,71	
340	229	33,102	14,202	0,038682	0,53543	4828,7	1641751,2	4,11	
365	241	39,414	20,514	0,055874	0,57480	7487,6	2732977,7	4,56	
390	254	46,252	27,352	0,074499	0,61417	10667,3	4160239,2	5,09	
425	257	47,830	28,930	0,078797	0,66929	12295,3	5225481,3	5,91	
445	300	70,448	51,548	0,140401	0,70079	22938,9	10207792,7	6,50	
455	350	96,748	77,848	0,212034	0,71654	35420,8	16116482,2	6,91	
480	360	102,008	83,108	0,226361	0,75591	39891,8	19148083,2	8,14	
540	468	158,816	139,916	0,381089	0,85039	75554,6	40799505,6	12,03	<i>T10=508</i>
565	854	361,852	342,952	0,934097	0,88976	193767,9	109478852,2	15,26	
600	857	363,430	344,530	0,938395	0,94488	206718,0	124030800,0	21,56	
635	900	386,048	367,148	1,000000	1,00000	233139,0	148043252,3	28,07	<i>Tp=635</i>
665	898	384,996	366,096	0,997135	1,04724	243453,8	161896803,6	33,81	
690	869	369,742	350,842	0,955587	1,08661	242081,0	167035876,2	38,50	
720	854	361,852	342,952	0,934097	1,13386	246925,4	177786316,8	43,95	
750	702	281,900	263,000	0,716332	1,18110	197250,0	147937500,0	48,74	
775	654	256,652	237,752	0,647564	1,22047	184257,8	142799795,0	52,08	
805	607	231,930	213,030	0,580229	1,26772	171489,2	138048765,8	55,72	
840	571	212,994	194,094	0,528653	1,32283	163039,0	136952726,4	59,59	
900	529	190,902	172,002	0,468481	1,41732	154801,8	139321620,0	65,60	
960	509	180,382	161,482	0,439828	1,51181	155022,7	148821811,2	71,13	
1020	400	123,048	104,148	0,283668	1,60630	106231,0	108355579,2	75,65	
1410	356	99,904	81,004	0,220630	2,22047	114215,6	161044052,4	97,23	<i>T90=1280</i>
1440	359	101,482	82,582	0,224928	2,26772	118918,1	171242035,2	98,73	
1465	361	102,534	83,634	0,227794	2,30709	122523,8	179497381,7	100,00	
Soma			4180,648			3069112,7	2463983972,1		

Tabela 13 - Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,75 m e taxa de aplicação 35 L/m2.dia

Tempo (min)	Vala 0,75 m - 35 l/m2.dia Condutividade	Conc (mg/l)	Cl (mg/l)	Co (Cl/Cl máx)	Ø (li/TDH)	ti.Cl (min)	ti².Cl (min²)	Cumulativo	
0	295	67,818	0,000	0,000000	0,00000	0,0	0,0	0,00	
20	298	69,396	1,578	0,004335	0,03008	31,6	631,2	0,61	
80	296	68,344	0,526	0,001445	0,12030	42,1	3366,4	2,43	
155	300	70,448	2,630	0,007225	0,23308	407,7	63185,8	4,73	
175	307	74,130	6,312	0,017341	0,26316	1104,6	193305,0	5,37	
200	309	75,182	7,364	0,020231	0,30075	1472,8	294560,0	6,19	
315	310	75,708	7,890	0,021676	0,47368	2485,4	782885,3	10,02	T10=315
340	308	74,656	6,838	0,018786	0,51128	2324,9	790472,8	10,85	
365	309	75,182	7,364	0,020231	0,54887	2687,9	981068,9	11,68	
390	307	74,130	6,312	0,017341	0,58647	2461,7	960055,2	12,50	
425	325	83,598	15,780	0,043353	0,63910	6706,5	2850262,5	13,72	
445	326	84,124	16,306	0,044798	0,66917	7256,2	3228995,7	14,46	
455	338	90,436	22,618	0,062139	0,68421	10291,2	4682491,5	14,85	
480	443	145,666	77,848	0,213873	0,72180	37367,0	17936179,2	16,15	
540	598	227,196	159,378	0,437861	0,81203	86064,1	46474624,8	21,09	
565	772	318,720	250,902	0,689306	0,84962	141759,6	80094191,0	24,10	
600	893	382,366	314,548	0,864162	0,90226	188728,8	113237280,0	29,52	
635	902	387,100	319,282	0,877168	0,95489	202744,1	128742484,5	35,46	
665	987	431,810	363,992	1,000000	1,00000	242054,7	160966362,2	40,89	Tp=665
690	953	413,926	346,108	0,950867	1,03759	238814,5	164782018,8	45,56	
720	963	419,186	351,368	0,965318	1,08271	252985,0	182149171,2	51,07	
750	863	366,586	298,768	0,820809	1,12782	224076,0	168057000,0	56,28	
775	754	309,252	241,434	0,663295	1,16541	187111,4	145011296,3	60,01	
805	703	282,426	214,608	0,589595	1,21053	172759,4	139071349,2	63,93	
840	679	269,802	201,984	0,554913	1,26316	169666,6	142519910,4	68,19	
900	459	154,082	86,264	0,236994	1,35338	77637,6	69873840,0	73,81	
960	409	127,782	59,964	0,164740	1,44361	57565,4	55262822,4	77,54	
1020	351	97,274	29,456	0,080925	1,53383	30045,1	30646022,4	80,52	
1410	359	101,482	33,664	0,092486	2,12030	47466,2	66927398,4	97,63	T90=1236
1440	349	96,222	28,404	0,078035	2,16541	40901,8	58898534,4	98,94	
1465	347	95,170	27,352	0,075145	2,20301	40070,7	58703546,2	100,00	
Somatório			3506,842			2475090,4	1844185311,4		

Tabela 14 - Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala
taxa de aplicação 40 L/m2.dia

0,25 m e

Tempo (min)	Vala 0,25 m - 40 l/m2.dia Condutividade	Conc (mg/l)	Cl (mg/l)	Co (Cl/Cl máx)	Ø (li/TDH)	ti.Cl (min)	ti².Cl (min²)	Cumulativo	
0	275	57,298	0,526	0,002740	0,00000	0,0	0,0	0,00	
22	277	58,350	1,578	0,008219	0,05556	34,7	763,8	0,76	
29	274	56,772	0,000	0,000000	0,07323	0,0	0,0	1,01	
40	278	58,876	2,104	0,010959	0,10101	84,2	3366,4	1,39	
65	281	60,454	3,682	0,019178	0,16414	239,3	15556,5	2,28	
95	274	56,772	0,000	0,000000	0,23990	0,0	0,0	3,34	
125	276	57,824	1,052	0,005479	0,31566	131,5	16437,5	4,37	
155	292	66,240	9,468	0,049315	0,39141	1467,5	227468,7	5,49	
175	285	62,558	5,786	0,030137	0,44192	1012,6	177196,3	6,26	
220	280	59,928	3,156	0,016438	0,55556	694,3	152750,4	7,92	
330	620	238,768	181,996	0,947945	0,83333	60058,7	19819364,4	17,79	T10=146
354	626	241,924	185,152	0,964384	0,89394	65543,8	23202508,0	21,25	
365	622	239,820	183,048	0,953425	0,92172	66812,5	24386569,8	22,84	
396	639	248,762	191,990	1,000000	1,00000	76028,0	30107103,8	27,39	TP=396
420	611	234,034	177,262	0,923288	1,06061	74450,0	31269016,8	30,87	
440	600	228,248	171,476	0,893151	1,11111	75449,4	33197753,6	33,65	
460	572	213,520	156,748	0,816438	1,16162	72104,1	33167876,8	36,30	
480	557	205,630	148,858	0,775342	1,21212	71451,8	34296883,2	38,82	
500	544	198,792	142,020	0,739726	1,26263	71010,0	35505000,0	41,25	
520	520	186,168	129,396	0,673973	1,31313	67285,9	34988678,4	43,56	
545	513	182,486	125,714	0,654795	1,37626	68514,1	37340200,9	46,33	
570	503	177,226	120,454	0,627397	1,43939	68658,8	39135504,6	49,03	
600	500	175,648	118,876	0,619178	1,51515	71325,6	42795360,0	52,21	
648	490	170,388	113,616	0,591781	1,63636	73623,2	47707812,9	57,20	
670	468	158,816	102,044	0,531507	1,69192	68369,5	45807551,6	59,37	
744	384	114,632	57,860	0,301370	1,87879	43047,8	32027593,0	65,45	
831	350	96,748	39,976	0,208219	2,09848	33220,1	27605866,5	70,97	
855	340	91,488	34,716	0,180822	2,15909	29682,2	25378263,9	72,33	
870	326	84,124	27,352	0,142466	2,19697	23796,2	20702728,8	73,12	
985	321	81,494	24,722	0,128767	2,48737	24351,2	23985902,5	78,84	
1018	325	83,598	26,826	0,139726	2,57071	27308,9	27800427,6	80,47	
1044	320	80,968	24,196	0,126027	2,63636	25260,6	26372091,5	81,76	
1080	315	78,338	21,566	0,112329	2,72727	23291,3	25154582,4	83,48	
1105	310	75,708	18,936	0,098630	2,79040	20924,3	23121329,4	84,64	
1136	305	73,078	16,306	0,084932	2,86869	18523,6	21042827,8	86,02	
1252	300	70,448	13,676	0,071233	3,16162	17122,4	21437184,7	91,02	T90=1229
1396	305	73,078	16,306	0,084932	3,52525	22763,2	31777393,7	97,23	
1458	310	75,708	18,936	0,098630	3,68182	27608,7	40253467,1	100,00	
Somatório			2617,376			1391250,0	859980383,0		

Tabela 15 - Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,50 m e taxa de aplicação 40 L/m².dia

Tempo (min)	Vala 0,50 m - 40 l/m ² .dia Condutividade	Conc (mg/l)	Cl (mg/l)	Co (Cl/Cl máx)	Ø (li/TDH)	li.Cl (min)	li ² .Cl (min ²)	Cumulative	
0	207	21,530	2,630	0,009785	0,00000	0,0	0,0	0,00	
22	208	22,056	3,156	0,011742	0,04231	69,4	1527,5	0,34	
29	202	18,900	0,000	0,000000	0,05577	0,0	0,0	0,44	
40	206	21,004	2,104	0,007828	0,07692	84,2	3366,4	0,60	
65	207	21,530	2,630	0,009785	0,12500	171,0	11111,8	0,97	
95	207	21,530	2,630	0,009785	0,18269	249,9	23735,8	1,43	
125	206	21,004	2,104	0,007828	0,24038	263,0	32875,0	1,88	
155	203	19,426	0,526	0,001957	0,29808	81,5	12637,2	2,31	
175	204	19,952	1,052	0,003914	0,33654	184,1	32217,5	2,59	
220	207	21,530	2,630	0,009785	0,42308	578,6	127292,0	3,25	
330	207	21,530	2,630	0,009785	0,63462	867,9	286407,0	4,92	
354	229	33,102	14,202	0,052838	0,68077	5027,5	1779737,8	5,38	
365	251	44,674	25,774	0,095890	0,70192	9407,5	3433741,2	5,69	
396	360	102,008	83,108	0,309198	0,76154	32910,8	13032664,1	7,29	
420	468	158,816	139,916	0,520548	0,80769	58764,7	24681182,4	9,51	
440	572	213,520	194,620	0,724070	0,84615	85632,8	37678432,0	12,14	T10=423
460	640	249,288	230,388	0,857143	0,88462	105978,5	48750100,8	15,41	
480	687	274,010	255,110	0,949119	0,92308	122452,8	58777344,0	19,11	
500	704	282,952	264,052	0,982387	0,96154	132026,0	66013000,0	23,05	
520	713	287,686	268,786	1,000000	1,00000	139768,7	72679734,4	27,08	TP=520
545	685	272,958	254,058	0,945205	1,04808	138461,6	75461577,5	32,04	
570	645	251,918	233,018	0,866928	1,09615	132820,3	75707548,2	36,68	
600	615	236,138	217,238	0,808219	1,15385	130342,8	78205680,0	41,85	
648	567	210,890	191,990	0,714286	1,24615	124409,5	80617369,0	49,44	
670	509	180,382	161,482	0,600783	1,28846	108192,9	72489269,8	52,48	
744	382	113,580	94,680	0,352250	1,43077	70441,9	52408788,5	60,17	
831	349	96,222	77,322	0,287671	1,59808	64254,6	53395557,6	66,62	
855	349	96,222	77,322	0,287671	1,64423	66110,3	56524315,1	68,26	
870	340	91,488	72,588	0,270059	1,67308	63151,6	54941857,2	69,25	
985	338	90,436	71,536	0,266145	1,89423	70463,0	69406015,6	76,65	
1018	316	78,864	59,964	0,223092	1,95769	61043,4	62142132,3	78,62	
1044	307	74,130	55,230	0,205479	2,00769	57660,1	60197165,3	80,03	
1080	297	68,870	49,970	0,185910	2,07692	53967,6	58285008,0	81,85	
1105	302	71,500	52,600	0,195695	2,12500	58123,0	64225915,0	83,09	
1136	300	70,448	51,548	0,191781	2,18462	58558,5	66522487,8	84,64	
1252	295	67,818	48,918	0,181996	2,40769	61245,3	76679160,7	90,31	T90=1249
1396	290	65,188	46,288	0,172211	2,68462	64618,0	90206795,0	97,08	
1458	295	67,818	48,918	0,181996	2,80385	71322,4	103988123,4	100,00	
Soma			3362,718			2149705,7	1578761872,6		

Tabela 16 - Valores experimentais de concentração em função do tempo, valores normalizados e valores de variância das curvas experimentais do teste hidrodinâmico da vala 0,75 m e taxa de aplicação 40 L/m2.dia

Tempo (min)	Vala 0,75 m - 40 l/m2.dia Condutividade	Conc (mg/l)	Cl (mg/l)	Co (Cl/Cl máx)	\emptyset (l/TDH)	ti.Cl (min)	ti².Cl (min²)	Cumulativo	
0	295	67,818	0,000	0,000000	0,00000	0,0	0,0	0,00	
22	298	69,396	1,578	0,008621	0,02647	34,7	763,8	0,86	
29	296	68,344	0,526	0,002874	0,03490	15,3	442,4	1,14	
40	300	70,448	2,630	0,014368	0,04813	105,2	4208,0	1,57	
65	307	74,130	6,312	0,034483	0,07822	410,3	26668,2	2,60	
95	309	75,182	7,364	0,040230	0,11432	699,6	66460,1	3,88	
125	310	75,708	7,890	0,043103	0,15042	986,3	123281,3	5,17	
155	308	74,656	6,838	0,037356	0,18652	1059,9	164283,0	6,46	
175	309	75,182	7,364	0,040230	0,21059	1288,7	225522,5	7,31	
220	307	74,130	6,312	0,034483	0,26474	1388,6	305500,8	9,23	
330	325	83,598	15,780	0,086207	0,39711	5207,4	1718442,0	14,18	T10=237
354	326	84,124	16,306	0,089080	0,42599	5772,3	2043402,7	15,33	
365	338	90,436	22,618	0,123563	0,43923	8255,6	3013283,1	15,88	
396	340	91,488	23,670	0,129310	0,47653	9373,3	3711834,7	17,49	
420	339	90,962	23,144	0,126437	0,50542	9720,5	4082601,6	18,74	
440	352	97,800	29,982	0,163793	0,52948	13192,1	5804515,2	19,81	
460	365	104,638	36,820	0,201149	0,55355	16937,2	7791112,0	20,97	
480	389	117,262	49,444	0,270115	0,57762	23733,1	11391897,6	22,23	
500	390	117,788	49,970	0,272989	0,60168	24985,0	12492500,0	23,58	
520	395	120,418	52,600	0,287356	0,62575	27352,0	14223040,0	24,94	
545	399	122,522	54,704	0,298851	0,65584	29813,7	16248455,6	26,67	
570	407	126,730	58,912	0,321839	0,68592	33579,8	19140508,8	28,45	
600	425	136,198	68,380	0,373563	0,72202	41028,0	24616800,0	30,70	
648	425	136,198	68,380	0,373563	0,77978	44310,2	28713035,5	34,43	
670	457	153,030	85,212	0,465517	0,80626	57092,0	38251666,8	36,24	
744	596	226,144	158,326	0,864943	0,89531	117794,5	87639140,7	44,25	
831	643	250,866	183,048	1,000000	1,00000	152112,9	126405809,9	56,09	Tp=831
855	610	233,508	165,690	0,905172	1,02888	141665,0	121123532,3	59,40	
870	605	230,878	163,060	0,890805	1,04693	141862,2	123420114,0	61,39	
985	460	154,608	86,790	0,474138	1,18532	85488,2	84205827,8	74,04	
1018	450	149,348	81,530	0,445402	1,22503	82997,5	84491495,7	76,90	
1044	390	117,788	49,970	0,272989	1,25632	52168,7	54464101,9	78,88	
1080	385	115,158	47,340	0,258621	1,29964	51127,2	55217376,0	81,28	
1105	380	112,528	44,710	0,244253	1,32972	49404,6	54592027,8	82,90	
1136	355	99,378	31,560	0,172414	1,36703	35852,2	40728053,8	84,77	
1252	330	86,228	18,410	0,100575	1,50662	23049,3	28857748,6	90,92	T90=1246
1396	305	73,078	5,260	0,028736	1,67990	7343,0	10250772,2	97,46	
1458	300	70,448	2,630	0,014368	1,75451	3834,5	5590759,3	100,00	
Soma			1741,060			1301040,5	1071146985,4		

9. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT – Associação de Normas Técnicas. NBR 13969. Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. 60 p. 1997.

ABNT – Associação de Normas Técnicas. NBR 7229. Projeto, construção e operação de tanques sépticos. 15 p. 1993.

ANDRADE NETO, C. O. Alternativa Tecnológica para Valas de Infiltração. In: 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – ABES. Rio de Janeiro, RJ, 1999.

ANDRADE NETO, C. O. Sistemas Simples para Tratamento de Esgotos Sanitários: Experiência Brasileira. Rio de Janeiro, RJ, ABES, 1997. 301p.

ANDREOLI, F. N. Estudo da Influência da Taxa de Aplicação e Profundidades do Leito Filtrante no Desempenho do Processo de Infiltração Rápida, para Tratamento Secundário de Esgoto Sanitário. 1996. 95p Dissertação (Mestrado). CT-UFES. Vitória, ES.

APHA; AWWA; WPCF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19.ed. Washington D. C. USA. 1995.

AZEVEDO NETTO, J. M. Tratamento de águas residuárias. 1984. 218p.

BATALHA, B. H. L. Fossa Séptica. 2. edição, São Paulo, SP: CETESB, 1989. 20p.

BUNNEL, J. F., ZAMPELLA, R. A., MORGAN, M. D. & GRAY, D. M. A Comparison of Nitrogen Removal by Subsurface Pressure Dosing and Standard Septic System in Sandy Soils. *Journal of Environmental Management*, Vol. 56, p 209-219, 1999.

CAMPOS, J. R. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Cap. 2 e 5, 1º ed., Rio de Janeiro: ABES, 1999, 464p.

CHERNICHARO (a), C. A. L. (Coordenador). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Belo Horizonte, Projeto PROSAB, 2001, 544 p.

CHERNICHARO (b), C. A. L. (Coordenador). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios – Coletânea de Trabalhos Técnicos. Belo Horizonte, Projeto PROSAB, 2001.

CHERNICHARO, C. A. L.. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias - Reatores Anaeróbios. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, v. 5. 1997. 245p.

CHERNICHARO, C. A. & Von SPERLING, M. In: Seminário Internacional – Tendências no Tratamento Simplificado de Águas Residuárias Domésticas e Industriais. 1996. Anais. Belo Horizonte, MG.

CHRYSIKOPOULOS, C. V. & SIM, Y. One-Dimensional Vírus Transport in Heterogenous Porous Media With Time-Dependent Distribution Coefficient.

Journal of Hidrology. Vol. 185. p. 199-219. 1996.

CORAUCCI, F. B., FIGUEIREDO, STEFANUTTI, R., FIGUEIREDO R. F., NOUR, E. A. A., KUHNE, E., Avaliação do Comportamento do Tubo de Drenagem na Distribuição de Efluentes em Valas de Filtração: Modelo Simulado - ABNT 7.229/1993. In: 27º CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Porto Alegre, 2000.

CORAUCCI, F. B., FIGUEIREDO, STEFANUTTI, R., FIGUEIREDO R. F., NOUR, E. A. BROLEZE, S. T. KLUSNER, L. C. F. Pós-tratamento de Efluente de Filtro Anaeróbio: Modelo Reduzido de Valas de Filtração – ABNT 7.229/1993. In: 29º CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Porto Alegre, 2000.

EDWARDS, D. E. & DE CARVALHO, A. J. Assessing the Impact of Household Cleaning Products on Wastewater Treatment Systems. The Small Flows Journal, Vol. 4, Issue 1, p. 15-27. Spring 1998.

FIGUEIREDO, R. F., CORAUCCI, F. B., NOUR, E. A. A., SANTOS, V. F. Tratamento de um efluente industrial pelo processo do filtro anaeróbio. Revista Bio. Ano II. p. 63-66, Abr/Jun. 1989.

FORESTI, E. Efeitos da Concentração Inicial do Substrato no Desempenho de Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente com Manta de Lodo. 1987. 147p. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos.

GOMES, F.P. 1987. Curso de Estatística Experimental. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". USP. 12a edição. Piracicaba, 467p.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. "Tratamento de Esgotos Doméstico". 3º ed. Editora ABES. Rio de Janeiro/RJ. 1995. 720 p.

KRISTIANSEN, R. Sand-filter trenches for purification of septic tank effluents: I. The clogging mechanism and soil physical environment. II. The fate of Nitrogen. III. The microflora. Journal of Environmental Quality, vol.10, nº 3, pp. 353-364, 1983

LETTINGA, G., VAN VELSEN, A.F.M., HOBMA, S.W. et al. Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. Biotechnology and Bioengineering. Vol. 22. p. 699-734. 1980.

LEVENSPIEL, O. "Engenharia das Reações Químicas – Cálculo de Reatores", São Paulo, SP: Edgar Blucher, vol. 2. 1987.

LOUNDON, T.L., THOMPSON, D.B., FAY, L. & REESE, L.E. Cold climate performance of recirculating sand filter, p. 333-342. Onsite wastewater treatment (1985). Proc. of the 4th Natl. Symp. On Individual and Small Community Sewage System, New Orleans, LA. 10-11 Dec. 1984. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI.

MALINA, J. F. B. Design of biological wastewater treatment systems. In: SEMINÁRIOS DE TRANSFERÊNCIAS DE TECNOLOGIA - TRATAMENTO DE ESGOTOS, 1992, Rio de Janeiro. Trabalhos Apresentados... Rio de Janeiro: ABES / Water Environmental Federation, 1992, p.165-171.

MCCARTY, P.L. One hundred years of anaerobic treatment. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANAEROBIC DIGESTION, 2, 1981, Traralshöfen. Proceedings... Amsterdam: Elsevier Biomedical Press B. V., 1982, p.3-22.

METCALF & EDDY. Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse.

3. ed.. 1991.

ONSITE Wastewater Treatment and Disposal System. Design Manual. U.S. Environmental Agency. EPA. 1980. p.113-140.

NEW TRENDS IN SMALL SCALE WASTEWATER TREATMENT. Water Quality International. p. 35, May-June. 1998.

PANSWAD, T. & KOMOLMETHEE, L. Effects of Hydraulics Shocks Loads on Small on-site Sewage Treatment Unit. Water Science Technologic, vol. 35, nº 8, p. 145-152, 1997.

PERFORMANCE OF TRENCHES RECEIVING SAND FILTER EFFLUENT IN SLOWLY PERMEABLE SOILS. Proceeding of the Sixth National Symposium on Individual and Small Community Sewage System – ASAE, On Site Wastewater Treatment, Chicago, Illinois. p. 313-323. 1991.

REBUN, M. & ARGAMAN, Y. Evaluation of hydraulic efficiency of sedimentation basis. ASCE Journal of Sanitary Engineering, vol. 91, n. 5, p. 37-45, 1965

ROZON, S. A. Filtro Anaeróbio com enchimento de bambu para tratamento de esgotos sanitários: Avaliação da partida e operação. Dissertação (Mestrado). 2000, 181p. – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, SP.

SANTOS, J. A. Avaliação dos Impactos Causados pela Operação de uma Bacia de Infiltração para Tratamento de Esgoto Sanitário Sobre a Qualidade da Água de um Aquífero Freático. In: 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – ABES. 1998.

SCANDURA, J. E. & SOBSEY, M. D. Viral and Bacterial Comtamination of

Groundwater from on-site sewage treatment system. Water Science Technologic, v. 35, n. 11-12, p. 141-146. 1997.

SOUBES, M. Microbiologia de la digestión anaerobia. In: TALLER Y SEMINARIO LATINOAMERICANO TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES, 3, 1994, Montevideo. Proceedings... Montevideo: Graphis Ltda. Juan C. Gomez, 1994, p.15-28.

STRAUSS, M., LARMIE, S. A., HEINSS, U. Treatment of Sludge from On-site Sanitation – Low-Cost Options. Water Science Technologic, v. 35, n. 6, pp 129-136, 1997.

TCHOBANOGLIOUS, G. & ANGELAKIS, A.N. Technologies for wastewater treatment appropriate for reuse: potencial for applications in Greece. Water Science Technologic, nº 10-11, p. 15-24, 1996.

TEIXEIRA, E. C. Tratamento de Esgoto Sanitário por Infiltração em Pequena Profundidade de Areia de Alta Condutividade Hidráulica na Remoção de DQO e SS. In: 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – ABES. 1998.

USEPA. Wastewater Tecnology Fact Sheet: Intermittent Sand Filters. EPA/932/F-99/067. Washington D.C. September. 1999.

USEPA. Manual: Wastewater Treatment/Disposal for Small Comunities. EPA/625/R-2/005. Washington D.C. September. 1992.

Van BUUREN, J. C. L., ABUSAM, A., ZEEMAN, G. & LETTINGA, G. Primary Effluent Filtration in Small-Scale Installations. Water Science Technologic, v. 39, n. 5, p 195-202, 1999.

Van HAANDEL, A. C., LETTINGA, G. Tratamento anaeróbio de esgotos – Um manual para regiões de clima quente. Campina Grande, PB, 1994, 240 p.

Van HAANDEL, A., LETTINGA, G. Tratamento anaeróbio de esgotos - Um manual para regiões de clima quente. Campina Grande: Guerreiro e Catunda, 1994. 125p.

ZEEMAN, G. & LETTINGA, G. The Role of Anaerobic Digestion of Domestic Sewage in Closing The Water and Nutrient Cycle at Community Level. Water Science Technologic, v. 39, n. 5, p. 187-194, 1999.

ABSTRACT

Natalin Junior, Osvaldo. **Avaliação das valas de filtração como método de pós-tratamento de efluentes anaeróbios.** Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2002. 167 pp. Mastership dissertation.

For the research work herein were analyzed three filtration ditches with 15 m length and 0,5 m width, coated with PVC cloth 1,00 mm thickness, filtering sand layer with heights equal to 0,25, 0,50 and 0,75m using a PEAD draining pipe with 0,10 m diameter and installed with a slant of 1:300. Those four anaerobic filters received uphill flow effluents filled with bamboo rings and working with 3 hours HDT. The filtration ditches were located at wastewater treatment works - Graminha in Limeira/SP/Brazil and operated for 497 days, split in five periods according to the following hydraulic rates: 20, 25, 30, 35, 40 L/m².day. The pH values of the anaerobic filters effluents and the three filtration ditches exits were between 6,00 and 8,00, as an average. The best BOD_{Total} removal values were found in the filtration ditch 0,75m and the rate was 20 L/m².day (90,19%); for CDO_{total} and phosphorus, the most efficient filtration ditch was the 0,50 m with a 40 L/m².day rate (95,35 and 94,71% respectively). The N_{Total} removal was more efficient in filtration ditch 0,25 m with a rate of 40L/m².dia (70,17%). The filtration ditch 0,50 m with a rate of 20 L/m².dia was more effective in Total Coliform removal (99,9955%) and the filtration ditch 0,75 m with a rate of 30 L/m².day had the best performance in *e. coli* removal (99,9959%). The Total Suspended Solids removal rate have always been above 80,72% for the three filtration ditches analyzed. Generally speaking, the filtration ditch performance as anaerobic post treatment, was effective in C, N and P removal with medium final concentration for all rates applied (19,03, 25,68 and 1,92 mg/l respectively). Its use is a feasible alternative as anaerobic post treatment in accordance with Brazilian legislation and demonstrated an easy operation during the whole research period.

Keywords: filtration ditches, sanitary wastewater, anaerobic post treatment, sand filters, NBR 7.229(1993), NBR 13.969(1997).