

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

GIOVANA MARTINELLI DA SILVA

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE PÓS-TRATAMENTO
DE EFLUENTES DE UASB ATRAVÉS DE FILTROS
BIOLÓGICOS PERCOLADORES SEM ETAPA DE
CLARIFICAÇÃO**

VITÓRIA
2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

GIOVANA MARTINELLI DA SILVA

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES
DE UASB ATRAVÉS DE FILTROS BIOLÓGICOS PERCOLADORES
SEM ETAPA DE CLARIFICAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves.

VITÓRIA
2005

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

S586e Silva, Giovana Martinelli da, 1976-
Estudo de viabilidade de pós-tratamento de efluentes de UASB através de filtros biológicos percoladores sem etapa de clarificação / Giovana Martinelli da Silva. – 2005.
162 f. : il.

Orientador: Ricardo Franci Gonçalves.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Águas residuais. 2. Águas residuais – Purificação – Filtração. 3. Águas residuais – Purificação - Tratamento biológico.
I. Gonçalves, Ricardo Franci. II. Universidade Federal do Espírito Santo Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 628



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

GIOVANA MARTINELLI DA SILVA

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES
DE UASB ATRAVÉS DE FILTROS BIOLÓGICOS PERCOLADORES
SEM ETAPA DE CLARIFICAÇÃO**

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves.
Orientador - UFES

Prof^a. Dr^a. Regina de Pinho Keller
Gonçalves.
Examinador Interno - UFES

Prof. Dr. Roque Passos Piveli.
Examinador Externo - USP

Coordenadora do PPGEA: Prof^a. Dra. Jane Meri Santos

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
Vitória, 25 de Maio de 2005.

Aos que não possuem saneamento básico em suas moradias.

Agradecimentos

A DEUS que em sua magnífica sabedoria me concedeu este desafio e permitiu a conclusão deste trabalho.

Aos meus pais e a minha querida irmã Ana Luiza, minha grande gratidão. Eles são os responsáveis por todas as minhas vitórias. Sempre plantaram a semente da VIDA, da LUTA, da CORAGEM, da FÉ,...com eles aprendi que o amanhã sempre será melhor e que por maior que seja o desafio...NUNCA desista.

Ao meu amado FELIPPE, toda admiração e respeito. Minha fonte de inspiração...

Ao meu professor orientador Ricardo Franci Gonçalves, pelo incentivo ao desenvolvimento desta pesquisa, pela grande sabedoria e amizade...muito obrigada!...você é o responsável por tudo. Minha gratidão por tantas oportunidades de conhecimento!!

A todos os amigos que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos voluntários desta pesquisa que sem eles NADA seria possível, obrigada pela participação imprescindível de cada um: Renato Frasson, Helder, Manuela, Rita, Germana, Alex (ETE/UFES), seu Pires e Taís (pelas fotos).

A Renate pela paciência e apoio quando da minha ausência na Fluir Eng. Ambiental.

Ao Dalton (CESAN), Lima, Veiga (Metalúrgica Veiga) e LABSAN, pelo apoio na montagem e manutenção dos pilotos. E em especial ao meu irmão Eduardo, pelos árduos momentos que foram dedicados à montagem dos pilotos.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Roque Passos Piveli e Prof^a Regina de P. Keller Gonçalves, pela honra da participação no julgamento deste trabalho, e pelas sugestões apresentadas.

“Um objetivo na vida é a única fortuna valiosa que se encontra; não se deve procurá-lo em terras estranhas, mas dentro do coração.”

Robert Louis Stevenson

Resumo

A associação em série de UASB com filtros biológicos percoladores (FB), denominada nesta pesquisa como UASB + FB, enquadra-se dentre as novas tecnologias desenvolvidas no Brasil para o tratamento de esgoto sanitário. Compacidade e simplicidade operacional destacam-se como as principais virtudes das estações de tratamento que utilizam esta proposta. Não obstante, a presença obrigatória de uma etapa de clarificação do efluente do FB nesta associação, resulta no principal ponto de demanda operacional. Principalmente pela necessidade de gerenciar o lodo ali sedimentado. O principal objetivo dessa pesquisa foi estudar a remoção de matéria orgânica e a produção de lodos em FBs submetidos a diferentes cargas orgânicas, visando avaliar a possibilidade de eliminação do clarificador secundário deste tipo de processo. Os testes foram realizados em 6 FBs em escala piloto, tratando o efluente do UASB em escala real. Ambos localizados na ETE da UFES. O processo anaeróbio, submetido a tempos de detenção hidráulica da ordem de 7 horas, apresentou ao longo de toda a pesquisa desempenho compatível com outros UASB (eficiências médias de 62% (DQO) e 72% (SST)). Os resultados obtidos no sistema UASB + FB com decantação, confirmam os resultados de outras pesquisas. Apresentaram consistentemente um efluente de boa qualidade, com concentrações de $DQO < 90 \text{ mgO}_2/\text{L}$ e $SST < 30 \text{ mg/L}$. Nesta pesquisa, este padrão de qualidade foi obtido em FBs submetidos a taxas hidráulicas de 8,9 a 27,6 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; cargas orgânicas volumétricas de 2,6 a 3,6 $\text{KgDQO}/\text{m}^3.\text{d}$ e 1,5 a 2,1 $\text{KgSST}/\text{m}^3.\text{d}$. Entretanto, sistemas UASB + FB sem decantação submetidos às mesmas condições operacionais, tendem a produzir um efluente com $DQO < 120 \text{ mgO}_2/\text{L}$ e $SST < 60 \text{ mg/L}$. Os melhores efluentes produzidos pelos FBs sem decantação, foram observados nas seguintes condições operacionais: taxa hidráulica de 8,9 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; cargas orgânicas volumétricas de 0,4 a 1,4 $\text{KgDQO}/\text{m}^3.\text{d}$ e 0,1 a 0,7 $\text{KgSST}/\text{m}^3.\text{d}$. Sob tais condições, as características médias destes efluentes foram: 84 mgO_2/L (DQO) e 40 mg/L . (SST) Considerando as simplificações operacionais, os custos envolvidos e a qualidade do efluente possível de ser produzido, esta pesquisa indica que o sistema UASB + FB sem decantação pode ser uma opção interessante para pequenas ETEs.

Abstract

The serial association of an Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor with Trickling Filters (TFs) developed in Brazil like a trend among another technologies for domestic wastewater treatment is this research focus. Compactness and operational simplicity are the most evident advantages of this kind of systems but the real necessity of TFs effluent clarification steps is not a benefit such the view of operational stuff demanded for managing bottom sludge. This work ideal was to evaluate the results of organic matter removal and sludge production in TFs applied to different organic loads by considering the possibility of eliminating the secondary settling tank. The experiments had been done with six TFs in a pilot system, treating a real scale UASB located at a UFES WasteWater Treatment Plant (WWTP). This anaerobic process submitted to approximated seven hours hydraulics detention times presents compatible performance comparing with other UASB Reactors over all the situation tested (average efficiency of 62 % for COD and 72% for TSS). COD and TSS concentration obtained in UASB plus TFs systems with settling (<math> < 90 \text{ mgO}_2 / \text{L}</math> and <math> < 30 \text{ mg/L}</math>) just confirms the theory that themselves are able to product an effluent with a good quality. The association of 8,9 to 27,6 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ hydraulics rates with 2,6 to 3,6 $\text{KgCOD}/\text{m}^3.\text{d}$ and 1,5 to 2,1 $\text{KgTSS}/\text{m}^3.\text{d}$ organic loading rates applied to the TFs warrantied the target standart. As a matter of fact, at same conditions, not settling tank systems trend to produce a COD <math> < 120 \text{ mgO}_2 / \text{L}</math> and TSS <math> < 60 \text{ mg/L}</math> effluent; in this situation, the best effluent were obtained at 8,9 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ hydraulics rates among 0,4 to 1,4 $\text{KgCOD}/\text{m}^3.\text{d}$ and 0,1 to 0,7 $\text{KgTSS}/\text{m}^3.\text{d}$ organic loading rates with COD/TSS averages rates of 84 mgO_2 / L and 40 mg/L , fact that considering the operational simplifying, costs involved and quality of the result effluent suggests the UASB plus TFs no settling tank systems like an interesting option to small WWTPs.

Lista de Figuras

Figura 3.1 – Esquema proposto por Gonçalves – ETE UASB + FBs	35
Figura 3.2 – Mecanismos e processo envolvidos com o transporte e a degradação de substratos em biofilmes.....	39
Figura 3.3 – Mecanismos e processo envolvidos com o transporte e a degradação de substratos em biofilmes. Characklis, 1989	41
Figura 3.4 – As fases de desenvolvimento do biofilme em função do tempo. Characklis, 1989.....	42
Figura 3.5 – Partes componentes do FB.....	49
Figura 3.6 – Tipos de meio suporte para FBs	52
Figura 3.7 – Arranjos de filtros percoladores, primários, secundários e recirculação.....	54
Figura 4.1 – Estação Experimental de Tratamento de Esgotos (ETE-UFES)	63
Figura 4.2 – Gradeamento (cesto removível) – Entrada EEE/UFES.....	64
Figura 4.3 – Caixa de areia (entrada UASB).....	66
Figura 4.4 – Planta baixa do UASB.....	66
Figura 4.5 – Corte vertical do UASB (ETE-UFES)	67
Figura 4.6 – Esquema geral do FBs.....	70
Figura 4.7 – Detalhes dos FBs	70
Figura 4.8 – Procedimento de coleta amostra do efluente decantado	72
Figura 4.9 – Procedimento de coleta amostra do efluente não decantado	72
Figura 4.10 – Pontos de coleta.....	73
Figura 4.11 – Reservatórios de coleta de efluente	73
Figura 4.12 – Caixa distribuidora de vazão com parafusos ajustáveis.....	75
Figura 4.13 – Medição de vazão	75
Figura 4.14 – Representação do gráfico de caixa (‘boxplot’)	80
Figura 5.1 – Concentrações de SST no efluente do FB1 após decantação.....	83
Figura 5.2 – Concentrações de SST no efluente do FB2 após decantação.....	83
Figura 5.3 – Concentrações de SST no efluente do FB3 após decantação.....	84
Figura 5.4 – Concentrações de SST no efluente do FB4 após decantação.....	84
Figura 5.5 – Concentrações de SST no efluente do FB5 após decantação.....	85
Figura 5.6 – Concentrações de SST no efluente do FB6 após decantação.....	85

Figura 5.7 – Concentrações de SST no efluente sem decantação do FB1	87
Figura 5.8 – Concentrações de SST no efluente sem decantação do FB2	87
Figura 5.9 – Concentrações de SST no efluente sem decantação do FB3	88
Figura 5.10 – Concentrações de SST no efluente sem decantação do FB4	88
Figura 5.11 – Concentrações de SST no efluente sem decantação do FB5	88
Figura 5.12 – Concentrações de SST no efluente sem decantação do FB6	88
Figura 5.13 – Freqüência de distribuição dos resultados de SST nos FB1, 2 e 3 após decantação	90
Figura 5.14 – Freqüência de distribuição dos resultados de SST nos FB4, 5 e 6 após decantação	90
Figura 5.15 – Monitoramento da concentração de SS no efluente do sistema UASB + FB com decantação	91
Figura 5.16 – Freqüência de distribuição dos resultados de SST nos FB1, 2 e 3 efluente sem decantação	93
Figura 5.17 – Freqüência de distribuição dos resultados de SST nos FB4, 5 e 6 efluente sem decantação	93
Figura 5.18 – Monitoramento da concentração de SST no efluente do sistema UASB + FB sem decantação	94
Figura 5.19 – Concentrações de DQO no efluente do FB1 após decantação secundária	96
Figura 5.20 – Concentrações de DQO no efluente do FB2 após decantação secundária	96
Figura 5.21 – Concentrações de DQO no efluente do FB3 após decantação secundária	97
Figura 5.22 – Concentrações de DQO no efluente do FB4 após decantação secundária	97
Figura 5.23 – Concentrações de DQO no efluente do FB5 após decantação secundária	97
Figura 5.24 – Concentrações de DQO no efluente do FB6 após decantação secundária	97
Figura 5.25 – Concentrações de DQO no efluente sem decantação do FB1	99
Figura 5.26 – Concentrações de DQO no efluente sem decantação do FB2	99
Figura 5.27 – Concentrações de DQO no efluente sem decantação do FB3	100

Figura 5.28 – Concentrações de DQO no efluente sem decantação do FB4.....	100
Figura 5.29 – Concentrações de DQO no efluente sem decantação do FB5.....	101
Figura 5.30 – Concentrações de DQO no efluente sem decantação do FB6.....	101
Figura 5.31 – Freqüência de distribuição dos resultados de DQO nos efluentes dos FB1, 2 e 3 com etapa de decantação.....	102
Figura 5.32 – Freqüência de distribuição dos resultados de DQO nos efluentes dos FB4, 5 e 6 com etapa de decantação.....	102
Figura 5.33 – Monitoramento da concentração de DQO no efluente do sistema UASB + FB com decantação	103
Figura 5.34 – Freqüência de distribuição dos resultados de DQO nos efluentes dos FB1, 2 e 3 sem decantação secundária	105
Figura 5.35 – Freqüência de distribuição dos resultados de DQO nos efluentes dos FB4, 5 e 6 sem decantação secundária	105
Figura 5.36 – Monitoramento da concentração de DQO no efluente do sistema UASB + FB sem decantação secundária	106
Figura 5.37 – Concentrações de DQO _{filtrada} no efluente do FB1.....	108
Figura 5.38 – Concentrações de DQO _{filtrada} no efluente do FB2.....	108
Figura 5.39 – Concentrações de DQO _{filtrada} no efluente do FB3.....	109
Figura 5.40 – Concentrações de DQO _{filtrada} no efluente do FB4.....	109
Figura 5.41 – Concentrações de DQO _{filtrada} no efluente do FB5.....	109
Figura 5.42 – Concentrações de DQO _{filtrada} no efluente do FB6.....	109
Figura 5.43 – Freqüência de distribuição dos resultados de DQO _{filtrada} no efluente dos FB1, 2 e 3.....	111
Figura 5.44 – Freqüência de distribuição dos resultados de DQO _{filtrada} no efluente dos FB4, 5 e 6.....	111
Figura 5.45 – Comparação entre as DQOs monitoradas nos efluentes dos sistemas UASB + FBs com e sem decantação	111
Figura 5.46 – Comparação entre a CV SS aplicada e a concentração de SST no efluente do sistema UASB + FB com decantação secundária	116
Figura 5.47 – Comparação entre a CV SS aplicada e a concentração de SS no efluente do sistema UASB + FB sem decantação.....	117
Figura 5.48 – Correlação entre a carga volumétrica aplicada e removida em relação a DQO (FB1) – Efluente Decantado.....	118

Figura 5.49 – Correlação entre a carga volumétrica aplicada e removida em relação a DQO (FB2) – Efluente Decantado	118
Figura 5.50 – Correlação entre a carga volumétrica aplicada e removida em relação a DQO (FB3) – Efluente Decantado	119
Figura 5.51 – Correlação entre a carga volumétrica aplicada e removida em relação a DQO (FB4) – Efluente Decantado	119
Figura 5.52 – Correlação entre a carga volumétrica aplicada e removida em relação a DQO (FB5) – Efluente Decantado	119
Figura 5.53 – Correlação entre a carga volumétrica aplicada e removida em relação a DQO (FB6) – Efluente Decantado	119
Figura 5.54 – Comparação entre a CV DQO aplicada e a concentração de SST no efluente do sistema UASB + FB com decantação.....	120
Figura 5.55 – Comparação entre a CV DQO aplicada e a concentração de DQO no efluente do sistema UASB + FB com decantação.....	120
Figura 5.56 – Comparação entre a CV DQO aplicada e a concentração de SS no efluente do sistema UASB + FB sem decantação secundária	121
Figura 5.57 – Comparação entre a CV DQO aplicada e a concentração de DQO no efluente do sistema UASB + FB sem decantação secundária	121
Figura 5.58 – Relação (DQO/SST) nos sólidos suspensos presentes nos efluentes dos filtros biológicos percoladores antes e após a decantação.....	126

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios	26
Tabela 3.2 – Padrões de qualidade a serem mantidos no corpo receptor (Resolução CONAMA nº 357, 17/05/2005)	26
Tabela 3.3 – Padrões de lançamento do CONAMA 357 x Legislação Estadual	27
Tabela 3.4 – Características dos sistemas de tratamento de esgotos com maior potencial de uso no Brasil	29
Tabela 3.5 – Opções de pós-tratamento de efluentes anaeróbio pesquisadas no PROSAB, Edital 2	31
Tabela 3.6 – Principais características relativas ao uso de sistemas com reator UASB seguido de pós-tratamento aeróbio	32
Tabela 3.7 – Classificação dos novos processos mecanizados de tratamento aeróbios com relação ao estado da biomassa (adaptado Lazarova e Manem, 1993 apud Gonçalves et al., 2001).....	34
Tabela 3.8 – Parâmetros para dimensionamento de ETEs UASB + BFs.....	36
Tabela 3.9 – Estágios da formação do biofilme.....	40
Tabela 3.10 – Diferentes tipos de filtros biológicos percoladores.....	47
Tabela 3.11 – Valores de coeficiente de crescimento de biomassa (Y) de lodo de reatores UASB obtidos por outros autores	58
Tabela 3.12 – Valores de coeficiente de crescimento de biomassa (Y) de lodos aeróbios obtidos por outros autores	59
Tabela 4.1 – Caracterização do esgoto bruto da ETE-UFES	62
Tabela 4.2 – Critérios e parâmetros hidráulicos do UASB ETE-UFES.....	65
Tabela 4.3 – Dados da ETE-UFES para obtenção da relação DQO/DBO	68
Tabela 4.4 – Resumo das principais características do sistema piloto UASB + FBs	70
Tabela 4.5 – Condições Operacionais dos Filtros Biológicos Percoladores.....	71
Tabela 4.6 – Plano de monitoramento do sistema UASB + FBs	74
Tabela 4.7 – Metodologias utilizadas para análise dos parâmetros de monitoramento	78
Tabela 4.8 – Estatística básica de uma amostra.....	79

Tabela 5.1 – Análise comparativa entre os resultados do monitoramento obtidos nesta pesquisa e os resultados obtidos em outras pesquisas utilizando reatores UASB	82
Tabela 5.2 – Monitoramento do desempenho da ETE-UFES	82
Tabela 5.3 – Valores médios de entrada e saída de SST nos efluentes decantados dos FBs	85
Tabela 5.4 – Valores médios de entrada e saída de SST nos efluentes sem decantação dos FBs.....	89
Tabela 5.5 – Valores médio de entrada e saída de DQO no efluente decantado dos FBs.....	98
Tabela 5.6 – Valores médio de entrada e saída de DQO no efluente sem decantação dos FBs	101
Tabela 5.7 – Valores médio de entrada e saída de DQO _{filtrada} no efluente dos FBs	110
Tabela 5.8 – Valores da concentração de Oxigênio Dissolvido (mgO ₂ /l) no efluente dos FBs	112
Tabela 5.9 – Valores médio de entrada e saída de turbidez no efluente decantado dos FBs	113
Tabela 5.10 – Valores médio de entrada e saída de turbidez no efluente sem decantação dos FBs.....	113
Tabela 5.11 – Valores médio de entrada e saída de pH no efluente dos FBs	114
Tabela 5.12 – Valores médio de entrada e saída da temperatura no efluente dos FBs.....	114
Tabela 5.13 – Valores de coeficiente de crescimento bacteriano para os filtros biológicos percoladores.....	124
Tabela 5.14 – Coeficiente de crescimento de biomassa (Y) de lodos aeróbios	125

Lista de Siglas

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FB – Filtro Biológico ou Filtro Biológico Percolador

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

BF – Biofiltro Aerado Submerso

N – Nitrogênio

P – Fósforo

EUA – Estados Unidos da América

DQO – Demanda Química de Oxigênio

DBO₅ – Demanda Bioquímica de Oxigênio

SS – Sólidos Suspensos

SST – Sólidos Suspensos Totais

NTK – Nitrogênio Total de Kjeldahl

OD – Oxigênio Dissolvido

pH – Potencial de Hidrogênio

CESAN – Companhia Espírito Santense de Saneamento

EEE – Estação Elevatória de Esgoto

ETE-UFES – Estação Experimental de Tratamento de Esgotos da UFES

PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

DAFA – Digestor Anaeróbico de Fluxo Ascendente

DP – Desvio Padrão

DQO_{filtrada} – Demanda Química de Oxigênio do Esgoto Filtrado

COMDEMA – Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente, de Vitória/ES

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPAM – Conselho de Política Ambiental do Estado de Minas Gerais

CEE – Padrões estabelecidos pela norma europeia para lançamento de efluentes

DQO_{entrada} – concentração de DQO no afluente ao FB (Kg/m³)

DQO_{saída} – concentração de DQO no efluente ao FB após decantação (Kg/m³)

n – número de amostras

NRC – National Research Council

Lista de Símbolos

TDH – Tempo de Detenção Hidráulica

CV_{aplic} – Carga Volumétrica Aplicada

CH_{aplic} – Carga Hidráulica Aplicada

Y – Coeficiente de crescimento de biomassa em termos de $KgST/KgDQO_{remov}$

Y' – Coeficiente de crescimento de biomassa em termos de $KgST/KgDQO_{aplic}$

Y'_J – Coeficiente de crescimento de biomassa em termos de $KgSV/KgDQO_{aplic}$

CV – Coeficiente de Variação

Y_{obs} – coeficiente de crescimento bacteriano ou coef. de produção de lodo nos FBs
($KgSST/KgDQO_{removida}$)

S – concentração de SST no efluente do FB sem decantação ($kgSST/m^3$)

S_d – concentração de SST no efluente do FB com decantação ($kgSST/m^3$)

P_{lodo (FB)} – produção de lodo no FB em termos de SST ($KgSST/dia$)

M_{lodo (FB)} – massa de lodo em termos de SST produzida no FB ($KgSST/dia$)

M_{lodo_FB (sem dec.)} – massa de lodo em termos de SST produzida no FB sem decantação ($KgSST/dia$)

M_{lodo_FB (com dec.)} – massa de lodo em termos de SST produzida no FB com decantação ($KgSST/dia$)

E – representa a eficiência na remoção de DBO através do filtro.

W – carga de DBO aplicada ao filtro (kg/dia)(%)

V – volume do filtro (m^3)

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	21
2 OBJETIVOS.....	24
2.1 OBJETIVO GERAL	24
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
3.1 A ASSOCIAÇÃO ANAERÓBIA-AERÓBIA COMO OPÇÃO PREFERENCIAL DE TRATAMENTO DE ESGOTOS NO BRASIL	25
3.2 OPÇÕES DE PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES DE REATORES UASB ..	31
3.2.1 Reatores com biofilme no pós-tratamento de reatores UASB	32
3.2.2 Mecanismos e processos envolvidos na depuração dos esgotos por biofilmes.....	36
3.2.2.1 Conceitos Iniciais.....	36
3.2.2.2 Processos envolvidos na depuração através de biofilmes	38
3.3 UMA REVISÃO GERAL DOS FILTROS BIOLÓGICOS PERCOLADORES (FBS)	44
3.3.1 Filtro biológico percolador (FB).....	44
3.3.2 Classificação dos filtros biológicos percoladores (FBs).....	46
3.3.2.1 Classificação em função da carga aplicada.....	47
3.3.3 Características dos filtros biológicos percoladores FBs	49
3.3.3.1 Mecanismo de distribuição dos esgotos	50
3.3.3.2 Meio suporte	51
3.3.3.3 Sistemas de drenagem de fundo	52
3.3.3.4 Ventilação.....	52
3.3.3.5 Tipos de recirculação.....	53
3.3.4 Principais vantagens e desvantagens dos FBs em unidades de tratamento de esgotos de pequenas comunidades	54
3.3.5 As eficiências e capacidades dos FBs.....	56

3.4	PRODUÇÃO DE LODO	57
3.5	FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR (FB) UTILIZADO NO PÓS-TRATAMENTO DE REATORES UASB	59
4	MATERIAL E MÉTODOS	61
4.1	ASPECTOS GERAIS DA PESQUISA	61
4.2	ETAPAS EXPERIMENTAIS	61
4.3	ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE TRATAMENTO DE ESGOTOS (ETE-UFES)	62
4.4	ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO BRUTO - EEE /ETE-UFES	63
4.5	REATOR UASB (TRATAMENTO PRIMÁRIO)	64
4.6	DESCRIÇÃO DO PILOTO EM ESTUDO: FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR (FB)	68
4.7	CONDIÇÕES OPERACIONAIS	71
4.8	MÉTODOS DE MONITORAMENTO E TIPOS DE AMOSTRAGEM	72
4.8.1	Pontos de coleta de amostras	73
4.9	PRODUÇÃO DE LODO	75
4.10	MÉTODOS LABORATORIAIS	78
4.11	MÉTODOS MATEMÁTICOS E ESTATÍSTICOS	78
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
5.1	DESEMPENHO DO UASB NO PERÍODO DA PESQUISA	81
5.2	DESEMPENHO DOS FILTROS BIOLÓGICOS PERCOLADORES SOB ALIMENTAÇÃO CONTÍNUA	83
5.2.1	Remoção de sólidos suspensos totais (SST)	83
5.2.1.1	Monitoramento de SST no efluente decantado	83
5.2.1.2	Monitoramento de SST no efluente sem decantação	86
5.2.1.3	Discussão dos resultados de SST	89
5.2.2	Remoção de matéria carbonácea na forma de DQO	95
5.2.2.1	Monitoramento de DQO no efluente decantado	95
5.2.2.2	Monitoramento de DQO no efluente sem decantação	98
5.2.2.3	Discussão dos resultados de DQO	102
5.2.3	Remoção de matéria carbonácea solúvel na forma de DQO_{filtrada}	107
5.2.3.1	Monitoramento de DQO _{filtrada}	107

5.2.3.2 Discussão dos resultados de DQO _{filtrada}	110
5.2.4 Monitoramento de oxigênio dissolvido (O.D) no efluente dos FBs	112
5.2.5 Monitoramento de turbidez	113
5.2.5.1 Monitoramento de turbidez no efluente decantado.....	113
5.2.5.2 Monitoramento de turbidez no efluente sem decantação	113
5.2.6 Monitoramento de pH	114
5.2.6.1 Monitoramento do pH no efluente dos FBs	114
5.2.7 Monitoramento da temperatura	114
5.2.7.1 Temperatura nos efluentes dos FBs.....	114
5.2.8 Influência das cargas volumétricas de SS e DQO na qualidade dos efluentes dos sistemas UASB + FB com decantação e sem decantação	115
5.2.8.1 Carga volumétrica aplicada de SS.....	115
5.2.8.2 Carga volumétrica aplicada de DQO	118
5.2.9 Resultados da produção de biomassa nos filtros biológicos percoladores	122
6 CONCLUSÃO	127
7 RECOMENDAÇÕES	129
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	130
ANEXOS	136

1 INTRODUÇÃO

Em 2000 os dados referentes ao saneamento no Brasil apontam para um quadro caótico e doentio. Somente 10% da população brasileira possui sistema completo de tratamento de esgotos (coleta, transporte, tratamento e disposição final) (IBGE, 2000). Esse déficit apresenta-se, muitas vezes, relacionado com a falta de recursos para investimento no setor sanitário brasileiro. Constata-se então a necessidade de desenvolvimento de tecnologias de baixos custos de implantação e operação, aliados a simplicidade operacional.

Diante deste quadro e a partir de iniciativas de programas governamentais, em especial o PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico), novas tecnologias de tratamento de esgotos estão sendo estudadas e desenvolvidas.

No Brasil o tratamento de esgoto sanitário pela associação de processos anaeróbios e aeróbios em série, tem sido amplamente difundido e utilizado. As vantagens desta associação e as favoráveis condições climáticas de nosso país contribuem para a crescente aceitação desses processos em conjunto. Segundo Gonçalves & Pinto (2000), futuras Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) deverão possuir características de compacidade, simplicidade operacional, baixos custos de implantação e operação e baixo impacto ambiental (principalmente ruídos, odores e impacto visual). Dentre essas características muitas se apresentam como vantagens dos sistemas anaeróbio-aeróbio.

Após a crise energética nos anos 70, os processos anaeróbios de tratamento de esgotos assumiram posição de destaque, principalmente os reatores de manta de lodo (UASB) por apresentarem características favoráveis tais como o baixo custo, simplicidade operacional e baixa produção de sólidos (Vieira, 2000 apud Bauer, 2003). Entretanto reatores UASB apresentam dificuldades em produzir um efluente compatível com a maioria dos padrões de lançamento, tornando-se necessária a implantação de uma unidade de tratamento complementar para adequação do efluente aos níveis preconizados pela legislação (Bof, 1999).

Os reatores com biofilme são uma boa opção de pós-tratamento de reatores UASB apresentando-se como unidades compactas, passíveis de implantação em ambientes urbanos com impactos relativamente baixos (Rogalla, et al., 1992 apud Gonçalves, 1995).

Outra vantagem dos reatores com biofilme é a resistência a choques de carga, de temperatura e de toxicidade (Arvin & Harramoes, 1991 apud Gonçalves, 1995).

Os filtros biológicos percoladores (FB), ou simplesmente filtros biológicos, são sistemas de tratamento de esgotos relativamente simples e reconhecidos como um dos primeiros processos utilizados para o tratamento de esgoto sanitário. Entretanto, originalmente os filtros biológicos percoladores eram utilizados após a decantação primária do esgoto bruto e necessitavam de decantação secundária para o polimento do efluente. O filtro biológico percolador consiste de um tanque preenchido com meio filtrante (ex. brita), por onde o esgoto percola e o substrato é assimilado pela biomassa que cresce aderida ao meio suporte.

Os estudos acerca de filtros biológicos percoladores, que tratam águas residuárias, são abrangentes e vastos, sendo facilmente encontrados na literatura técnica específica. No entanto, a utilização de filtros biológicos percoladores como unidades de pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, encontra-se em fase inicial de pesquisa. Os dados e parâmetros para dimensionamento de filtros biológicos percoladores como pós-tratamento de UASB são relativamente recente e, de certa forma, incipientes (Nascimento, 2000 b).

Nascimento (2000 a e b) e Aisse (2001 a e b) atestam que os FB podem promover uma importante remoção adicional de DQO e DBO, além de produzir um efluente com baixos teores de SST. Sendo assim, os filtros biológicos percoladores configuram-se como mais uma alternativa de pós-tratamento de efluentes anaeróbios, principalmente pelas enormes vantagens relativas a simplicidade operacional e baixos custos (Nascimento, 2000 b).

Tradicionalmente os filtros biológicos percoladores são reatores que necessitam de uma etapa de clarificação para se produzir um efluente de alta qualidade ($SST \leq 30,0$ mg/L). Entretanto, os decantadores apresentam uma operação mais complexa e delicada.

Na tentativa de se eliminar os decantadores, estudaram-se os FB aplicados como etapa única de pós-tratamento. Nesta pesquisa os FB operaram sob condições de cargas variadas de modo a não comprometer a qualidade do efluente final.

Desta forma objetivou-se o desenvolvimento de unidades mais compactas, de simples operação e principalmente indicadas para pequenas comunidades onde, requisitos como estes, são fundamentais para a sustentabilidade do sistema de tratamento de esgoto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O principal objetivo desta pesquisa foi estudar a remoção de matéria orgânica e a produção de lodos em filtros biológicos percoladores (FB) sob condições de fluxo contínuo e variações de cargas hidráulicas e orgânicas, visando avaliar a possibilidade de eliminação do decantador secundário desse tipo de processo.

2.2 Objetivos Específicos

- Estudar o desempenho de seis FBs em escala piloto, submetidos a diferentes cargas orgânicas (0,8 a 4,5 KgDQO/m³.dia), na remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos do efluente de um reator UASB;
 - Quantificar a produção de biomassa em excesso, liberada nos efluentes dos FBs submetidos a diferentes cargas orgânicas sob a forma de SST e DQO;
 - Avaliar o nível de estabilização da biomassa em excesso em função da variação de carga orgânica aplicada sobre os filtros biológicos percoladores;
 - Definir parâmetros de dimensionamento de um sistema UASB associado em série com FB sem decantador para tratamento de esgoto sanitário.
-

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A associação anaeróbia-aeróbia como opção preferencial de tratamento de esgotos no Brasil

Os novos sistemas de tratamento de esgotos apresentam um conceito diferenciado, no qual as ETEs do século XXI devem conjugar os seguintes requisitos: adequada eficiência de tratamento, compacidade, economia de energia, produção e processamento de lodo, controle de odores e integração com o ambiente, automação, redução do impacto visual, sustentabilidade, novos materiais e métodos construtivos e modernas práticas de gestão (Gonçalves & Pinto, 2000).

As características favoráveis dos sistemas anaeróbios, como o baixo custo, simplicidade operacional e baixa produção de lodo, aliadas às condições ambientais no Brasil, onde há a predominância de elevadas temperaturas, têm posicionado esses sistemas como uma opção ideal de tratamento de esgotos, principalmente os reatores UASB. Dados de 2002 apontam que os reatores anaeróbios encontram-se instalados em mais de 297 localidades em todo o país (BIO, ano XI nº 22- abr/jun 2002).

A utilização de processos anaeróbios para tratamento de águas residuárias teve um grande impulso após a crise energética dos anos 70 (Vieira, 2000 apud Bauer, 2003). Segundo van Handeel & Lettinga (1994) apud Bof (1999) o reator UASB constitui o sistema de tratamento anaeróbio de mais alta aplicação na prática, principalmente em regiões de clima tropical e subtropical.

Na Tabela 3.1 apresentam-se as principais vantagens e desvantagens que contribuem para a crescente aceitação de reatores UASB nas ETEs brasileiras.

Tabela 3.1 – Vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Baixa produção de sólidos, cerca de 5 a 10 vezes inferior à que se produz nos processos aeróbios; • Baixo consumo de energia, necessário somente para a elevatória de chegada; • Baixa demanda de área; • Baixos custos de implantação, cerca de R\$ 20,0 a R\$ 40,0 per capita; • Produção de metano, um gás combustível de elevado teor calorífico; • Possibilidade de preservação de biomassa, sem alimentação do reator, por vários meses; • Tolerância a elevadas cargas orgânicas; • Aplicabilidade em pequena e grande escala. 	<ul style="list-style-type: none"> • As bactérias anaeróbias são susceptíveis à inibição por um grande número de compostos; • Partida do processo pode ser lenta, na ausência de lodo de semente adaptado; • Alguma forma de pós-tratamento é usualmente necessária, eficiência limitada em aproximadamente 70%; • A bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexas e ainda precisam ser mais estudadas; • Possibilidade de geração de efluente com aspecto agradável; • Geração de odores; • Remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória.

Fonte: Adaptado de Chernicharo, 1997 apud Chernicharo, 2001

Os reatores UASB nem sempre atendem aos padrões estabelecidos para lançamento de efluentes, tornando-se necessário uma etapa de pós-tratamento. Esta necessidade, em muitos casos dependendo da capacidade de autodepuração do corpo receptor, torna-se uma obrigatoriedade tendo em vista que a maioria dos corpos d'água receptores do Brasil são enquadrados na classe 2, onde se destacam os parâmetros indicados na Tabela 3.2 (Chernicharo, 2001).

Tabela 3.2 – Padrões de qualidade a serem mantidos no corpo receptor (Resolução CONAMA nº 357, 17/05/2005)

Parâmetro	Valor limite no corpo receptor
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	≤ 5,0 mg/l
Oxigênio dissolvido (OD)	≥ 5,0 mg/l
Nitrogênio amoniacal	≤ 3,0 ⁽¹⁾ mg/l
Nitrato	≤ 10,0 mg/l
Fósforo	≤ 0,03 mg P/l (ambientes lênticos)
Fósforo	≤ 0,05 mg P/l (ambientes intermediários)
Coliformes fecais*	≤ 1.000 CF/100 ml
Coliformes totais	≤ 5.000 CT/100 ml

⁽¹⁾ Para pH = 7 e temperatura de 20°C, correspondente à concentração máxima de amônia, não ionizável, de 0,02 mg/l NH₃

* em 80% ou mais de 6 amostras coletadas durante o período de 1 ano com frequência bimestral.

Além das limitações impostas pela qualidade do corpo receptor, os limites estabelecidos para a DBO em alguns estados brasileiros acabam por restringir o uso de sistemas anaeróbios sem pós-tratamento (Tabela 3.3).

Desta forma, existe hoje no Brasil, uma forte tendência à utilização da combinação em série de processos anaeróbios e aeróbios, para se ter um efluente de qualidade combinado com as vantagens desse tipo de associação (Além Sobrinho, 2000).

Essa tendência decorre da necessidade de se manter a qualidade das águas residuárias dos corpos receptores, exigindo a implantação de sistemas de tratamento de esgotos cada vez mais eficientes (Bof, 1999).

Tabela 3.3 – Padrões de lançamento do CONAMA 357 x Legislação Estadual

Parâmetro	Brasil CONAMA	Vitória COMDEMA	Paraná	CEE	Rio G. do Sul	Rio de Janeiro	São Paulo	Minas Gerais
Cor (mgPt/l)	-	Ausente			Ausente	Ausente	-	-
Odor	-	-			Livre	-	-	-
Óleos e Graxas (mg/L)	50	20			10	20	100	20
pH	5 a 9	6 a 9			6 a 8	5 a 9	5 a 9	6,5 a 8,5
DBO₅ (mg/L)	-	E ≥ 90% (*)	-	60	120 a 20 (¹)	E ≥ 90% (*)	E ≥ 80% Ou 60	60
DQO (mg/L)	-	200	150	125	360 a 100 (¹)	-	-	90 Méd =60
SST (mg/L)	-	100	60	35	120 a 40	-	-	Max= 100

(1) variável: ETEs de capacidade maior que 1000 EH. Função do porte da ETE.

COMDEMA – Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente, de Vitória/ES

COPAM – Conselho de Política Ambiental do Estado de Minas Gerais – Deliberação Normativa N^o 10, de 1986

Fonte: CONAMA 357 (2005), COMDEMA 02 (1991), Giordano (2001), Bof (1999)

No Brasil algumas opções de pós-tratamento de reatores UASB encontram-se em desenvolvimento dentre as quais se destacam: pós-tratamento no solo; lagoas de polimento; reatores com biofilme; reatores de lodos ativados; sistemas de flotação; sistemas de filtração e sistemas de desinfecção.

A grande aceitação do sistema anaeróbio-aeróbio para o tratamento de águas residuárias, e o esforço contínuo para o melhoramento da tecnologia na sua aplicação mais eficiente e rentável, têm gerado um interesse por investigar os aspectos que possam simplificar a operação global do processo (Ortega et al, 1996).

No Brasil os reatores UASB são a principal opção tecnológica para o tratamento primário dos esgotos, e a importância da associação de reatores anaeróbios e aeróbios para o tratamento de esgotos é reconhecida por diversos pesquisadores no âmbito do PROSAB.

Pode-se citar como vantagens da associação: melhor qualidade do efluente tratado, menor custo de energia, menores volumes de lodo, menos unidades a serem implantadas, menos equipamentos e simplicidade operacional (von Sperling & Chernicharo, 1998 apud Veronez, 2001).

Em comparação a uma ETE convencional (decantador primário + tratamento biológico aeróbio + decantadores + adensador e digestor de lodo), pode-se dizer que uma ETE do tipo UASB seguido de tratamento biológico aeróbio (com recirculação do lodo aeróbio para o UASB), pode apresentar as seguintes vantagens (Além Sobrinho, 2000):

- substituição dos decantadores primários e secundários, inclusive seus equipamentos, por reatores UASB;
 - redução do volume dos reatores biológicos aeróbios para cerca da metade do volume dos tanques ou reatores das ETEs convencionais devido a maior eficiência do UASB na remoção de DBO, como etapa de tratamento primário;
 - para o caso de sistemas de lodos ativados, o consumo de energia para a aeração cairá para cerca de 50 a 55% da ETE convencional, quando não se tem nitrificação, e para cerca de 65 a 70% quando se tem nitrificação;
 - custo de implantação da ETE com reator UASB seguido de tratamento biológico aeróbio será no máximo de 80% daquele de uma ETE convencional e o custo operacional, devido à maior simplicidade e menor
-

consumo de energia do sistema combinado anaeróbio-aeróbio, pode representar ainda uma vantagem maior para este sistema (Silva, 1993 apud Além Sobrinho, 2000).

A Tabela 3.4 apresenta as principais características dos sistemas convencionais para tratamento de esgoto sanitário comparados aos sistemas de UASB + pós-tratamento.

Tabela 3.4 – Características dos sistemas de tratamento de esgotos com maior potencial de uso no Brasil

Sistema Convencional		Sistema UASB + Pós-tratamento	
ETE Convencional c/ lodos ativados: - decantador primário - tanque aeração - decantador secundário - adensador de lodo - digestor anaeróbio * Operação c/ alta taxa (Tdh ≤ 3 dias) s/ nitrificação	- Efluente: DBO ≤ 30 mg/L SST < 30 mg/L N _{amonic} ≥ 15 mg/L - Lodo: 35 - 40 gSST/hab.d - Lodo estabilizado - Custo: R\$ 100 a 130/hab - Energia: ~ 12 Kwh/hab.ano	ETE UASB seguido de lodos ativados * Operação c/ alta taxa (Tdh ≤ 3 dias) s/ nitrificação	- Efluente: DBO < 20 mg/L SST < 30 mg/L N _{amonic} > 20 mg/L - Lodo: < 25 -30 gSST/hab.d - Lodo digerido - Custo: R\$ 50 a 80/hab - Energia: 6 Kwh/hab.ano
ETE Convencional c/ lodos ativados: - decantador primário - tanque aeração - decantador secundário - adensador de lodo - digestor anaeróbio * Operação c/ baixa taxa (Tdh 4 a 7 dias) c/ nitrificação	- Efluente: DBO < 20 mg/L SST < 30 mg/L N _{amonic} < 5 mg/L - Lodo: 30 - 35 gSST/hab.d - Lodo estabilizado - Custo: R\$ 120 a 160/hab - Energia: ~ 20 Kwh/hab.ano	ETE UASB seguido de lodos ativados * Operação c/ alta convencional (Tdh 4 a 7 dias) c/ nitrificação	- Efluente: DBO < 20 mg/L SST < 30 mg/L N _{amonic} < 5 mg/L - Lodo: 22 - 27 gSST/hab.d - Lodo digerido - Custo: R\$ 70 a 100/hab - Energia: 15 Kwh/hab.ano

<p>ETE Convencional c/ filtro biológico de alta taxa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - decantador primário - filtro biológico - decantador secundário - adensador de lodo - digestor anaeróbio 	<p>- Efluente: DBO < 30 mg/L SST < 30 mg/L N_{amonic} > 15 mg/L</p> <p>- Lodo: 35 - 40 gSST/hab.d</p> <p>- Lodo digerido</p> <p>- Custo: R\$ 100 a 130/hab</p> <p>- Energia: ~ 12 Kwh/hab.ano</p>	<p>ETE UASB seguido de filtro biológico de alta taxa</p>	<p>- Efluente: DBO < 30 mg/L SST < 30 mg/L N_{amonic} > 20 mg/L</p> <p>- Lodo: 25 -30 gSST/hab.d</p> <p>- Lodo digerido</p> <p>- Custo: R\$ 50 a 80/hab</p>
<p>ETE Reator UASB, sem tratamento complementar</p>	<p>- Efluente: DBO 60 a 100 mg/L SST 40 a 80 mg/L N_{amonic} > 30 mg/L</p> <p>- Lodo: 15 - 20 gSST/hab.d</p> <p>- Lodo estabilizado</p> <p>- Custo: R\$ 25 a 35/hab</p>	<p>ETE UASB seguido de filtro biológico aerado submerso (sem nitrificação)</p>	<p>- Efluente: DBO < 20 mg/L SST < 30 mg/L N_{amonic} > 20 mg/L</p> <p>- Lodo: 25 -30 gSST/hab.d</p> <p>- Lodo digerido</p> <p>- Custo: R\$ 80 a 100/hab</p> <p>- Energia: ~ 6 Kwh/hab.ano</p>
<p>Lagoas aeradas aeróbias seguidas de lagoas de decantação</p>	<p>- Efluente: DBO < 30 mg/L SST < 40 mg/L N_{amonic} > 25 mg/L</p> <p>- Lodo: 15 - 25 gSST/hab.d</p> <p>- Custo: R\$ 50 a 70/hab</p> <p>- Energia: 22 Kwh/hab.ano</p>	<p>ETE UASB seguido de lagoas aeróbias e lagoas de decantação</p>	<p>- Efluente: DBO < 30 mg/L SST < 40 mg/L N_{amonic} > 25 mg/L</p> <p>- Lodo: 25 -30 gSST/hab.d</p> <p>- Lodo digerido</p> <p>- Custo: R\$ 60 a 90/hab</p> <p>- Energia: ~ 15 Kwh/hab.ano</p>

Fonte: Adaptado de Além Sobrinho (2000)

3.2 Opções de pós-tratamento de efluentes de Reatores UASB

Conforme abordado anteriormente, o emprego de reatores UASB no tratamento de esgotos sanitários predominantemente domésticos vem sendo largamente difundido no Brasil, em função principalmente, da compactidade e baixo custo energético (Hirakawa, 2001). Porém sua aplicação tem se mostrado insuficiente para isoladamente assegurar atendimento à legislação ambiental fazendo-se necessário à implantação de etapas de pós-tratamento.

Na Tabela 3.5 apresentam-se as modalidades de pós-tratamento de efluentes anaeróbios e temas de pesquisas abordados no PROSAB – Edital 2.

Tabela 3.5 – Opções de pós-tratamento de efluentes anaeróbio pesquisadas no PROSAB, Edital 2

Modalidades de Pós-Tratamento	Temas de Pesquisa
Pós-tratamento no solo	<ul style="list-style-type: none"> - vala de filtração - infiltração rápida - irrigação subsuperficial - escoamento superficial
Pós-tratamento em lagoas de estabilização	<ul style="list-style-type: none"> - Lagoas de polimento - Lagoa de alta taxa de produção de algas
Pós-tratamento em reatores com biofilme	<ul style="list-style-type: none"> - Filtro biológico percolador - Biofiltro aerado submerso - Leito fluidizado aeróbio - Filtro anaeróbio - Reator anaeróbio horizontal de leito fixo - Reator anaeróbio de leito granular expandido
Pós-tratamento em reatores de lodos ativados	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de lodos ativados convencional - Sistema de reatores seqüenciais em batelada
Pós-tratamento em sistemas de flotação	<ul style="list-style-type: none"> - Microaeração e flotação - Flotação por ar dissolvido
Pós-tratamento em sistemas de filtração	<ul style="list-style-type: none"> - Filtração ascendente em leito de pedregulho
Pós-tratamento em sistemas de desinfecção	<ul style="list-style-type: none"> - Fotoreator de ultra violeta

Fonte: Adaptado de Chernicharo et al. (2001).

Dentre as opções disponíveis para pós-tratamento de reatores UASB destacam-se os processos de reatores com biofilme.

No Brasil, a associação em série de reatores do tipo UASB e reatores com biofilme do tipo Biofiltros Aerados Submersos (BFs) vem recentemente sendo utilizada como solução para o tratamento de esgotos em pequenos e médios municípios.

Em relação aos processos similares da Europa, os biofiltros surgidos no Brasil geram ETEs compactas, com baixos custos de implantação, operação e manutenção, que não demandam mão-de-obra qualificada e apresentam baixos consumo energético e produção de lodo (Bof et al.,2001).

A Tabela 3.6 apresenta as principais características dos sistemas com reator UASB + pós-tratamento aeróbio.

Tabela 3.6 – Principais características relativas ao uso de sistemas com reator UASB seguido de pós-tratamento aeróbio

Sistema	Qualidade esperada do efluente (mg/L)		Produção de lodo (L lodo / hab.dia)	Custo de implantação (R\$ / hab)	Demanda de área (m ² / hab)
	DBO ₅	SST			
1	≤ 20	≤ 30	0,08 a 0,11	80 a 110	0,03 a 0,10
2	≤ 30	≤ 30	0,10 a 0,12	60 a 90	0,03 a 0,10
3	≤ 30	≤ 30	0,10 a 0,12	70 a 120	0,03 a 0,10
4	≤ 30	≤ 30	0,10 a 0,12	65 a 100	0,02 a 0,08
5	≤ 30	≤ 40	0,08 a 0,10	60 a 90	0,20 a 0,30
6	≤ 40	≤ 20	0,13 a 0,16	60 a 80	0,03 a 0,10

Fonte: Adaptado de Chernicharo et al. (2001) apud Santos Neto, 2004.

1 – UASB + Lodos Ativados

2 – UASB + Filtro Biológico de Alta Taxa

3 – UASB + Filtro Aerado Submerso ou Biodisco

4 – UASB + Biofiltro aerado submerso

5 – UASB + Lagoas Aeradas Aeróbias + Lagoas de Decantação

6 – UASB + Flotação por ar dissolvido

3.2.1 Reatores com biofilme no pós-tratamento de reatores UASB

Reatores com biofilme são sistemas anaeróbios ou aeróbios que utilizam microorganismos fixos sobre um meio suporte para remoção de matéria orgânica presente no esgoto sanitário (U.S. EPA, 2000).

A partir do século XX o tratamento de esgoto sanitário se evidenciou resultando em significantes evoluções na provisão de controles de doenças e de proteção ambiental. Os reatores com biofilme se tornaram um marco ao longo dessa história particularmente pelo fato de representarem um mecanismo biológico natural (Trickling Filter, 2005).

Por várias décadas os sistemas de biofilme (filtros biológicos percoladores, filtros intermitentes, e tanques de leito de contato), dominaram a tecnologia de tratamento de esgoto sanitário. O surgimento dos processos de biomassa suspensa (lodos ativados) diminuiu a aplicação de reatores com biofilme. Entretanto, é inquestionável o resurgimento de interesses por esses processos.

A grande aceitação dos reatores aeróbios com biofilme fundamenta-se nas seguintes vantagens (Gonçalves et al., 2001):

- (a) custo relativamente baixo do material suporte (areia, brita, plástico, polietireno, outros);
- (b) altas concentrações de biomassa podem ser obtidas no volume reacional, resultando em ETEs mais compactas;
- (c) capacidade para tratamento de grandes vazões;
- (d) relativa estabilidade operacional;
- (e) são resistentes a choques de carga, temperatura e de toxicidade.

A partir da década de 70 surgiu uma grande variedade de processos com biomassa aderida, principalmente devido ao melhor entendimento dos mecanismos e processos envolvidos na depuração dos esgotos nesses sistemas (Atkinson, 1981 apud Gonçalves, 1995).

Com base no estado de fixação da biomassa os biofiltros podem ser classificados em biomassa em suspensão ou biomassa aderida. Lazarova e Manem em 1993 apud Gonçalves, 1995 desenvolveram uma classificação alternativa. Esta última diferencia-se com relação às antigas classificações devido ao aparecimento de um novo grupo: Reatores Híbridos, caracterizados pela mistura de biomassa em suspensão e fixa num mesmo volume reacional (Gonçalves et al., 2001).

A Tabela 3.7 apresenta a classificação dos novos processos mecanizados de tratamento aeróbios em função do estado da biomassa, seja em biomassa em suspensão, reatores híbridos ou biomassa fixa.

Tabela 3.7 – Classificação dos novos processos mecanizados de tratamento aeróbios com relação ao estado da biomassa (adaptado Lazarova e Manem, 1993 apud Gonçalves et al., 2001)

Biomassa em Suspensão	Reatores Híbridos	Biomassa Fixa
<ul style="list-style-type: none"> • Lodos ativados e suas variantes; • Poços profundos (Deep Shaft, Biotorres) e • Bioreatores com membranas • Lagoas aeradas 	<ul style="list-style-type: none"> • Leitos agitados mecanicamente; • Suportes estruturados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Filtros biológicos percoladores; • Biodiscos; • Biofiltros aerados submersos; • Filtros biológicos aerados submersos; • Leitos móveis e seus variantes.

Fonte: Adaptado de Gonçalves et al. (2001)

Dentre os processos com biomassa fixa os mais antigos são: os filtros biológicos percoladores e os biodiscos. Entretanto, no que se refere a esse tipo de sistema dois novos reatores surgiram: biofiltros aerados submersos e os reatores de leito móvel.

Os processos biológicos aeróbios de biomassa fixa ou os reatores com biofilme são normalmente utilizados para remover a matéria orgânica dos esgotos sanitários (Tchobanoglous & Burton, 1991).

Os processos com leitos móveis possuem o meio suporte em permanente movimento e utilizam material de grande superfície específica ou material de grande porosidade. A principal vantagem deste processo é a ausência de colmatação do leito filtrante e suas principais desvantagens são os elevados gastos operacionais (energia) e os dispositivos de distribuição de fluxo e aeração (Gonçalves et al., 2001).

Os biofiltros aerados submersos, que consistem em um processo de biomassa fixa, porém submersa constituem-se hoje em dia numa tecnologia madura originando ETEs compactas, de baixo impacto ambiental, passíveis de serem cobertas e desodorizadas (Gonçalves et al., 1999). Neste tipo de processo é factível a construção em módulos, o sistema permite rápida entrada em regime, não necessitam de clarificação e possuem estabilidade operacional. Em contrapartida

requerem lavagens constantes do meio filtrante sob pena de colmatação e colapso de sistema.

O sistema proposto por Gonçalves (1995) apresenta inúmeras simplificações com relação aos processos similares europeus. A principal diferença reside no tratamento primário e no fluxograma de tratamento de lodo. Na configuração convencional, a função principal do decantador primário é limitar o processo de colmatação dos BFs através da remoção de SS no esgoto pré-tratado, e o lodo misto nele formado não é digerido, requerendo estabilização complementar (Gonçalves & Pinto, 2000).

Na configuração proposta pelo menos 70% do material carbonáceo afluyente ao sistema é metabolizado anaerobicamente no UASB, resultando numa baixa produção de lodo e uma significativa economia de energia (Figura 3.1). O lodo de excesso produzido nos biofiltros é recirculado para o reator UASB, onde ocorre a digestão e adensamento pela via anaeróbia (Gonçalves et al., 2001).

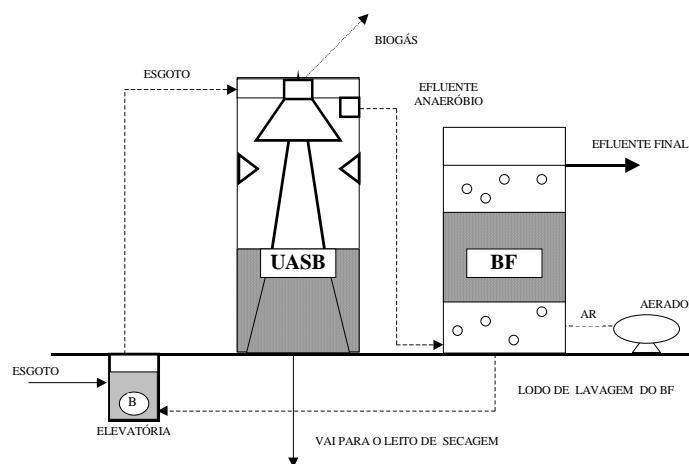


Figura 3.1 – Esquema proposto por Gonçalves – ETE UASB + BFs

Atualmente mais de 50 municípios contam com sistemas do tipo UASB + BFs tratando o esgoto sanitário de aproximadamente um milhão de habitantes.

Na Tabela 3.8 são apresentados os principais critérios e parâmetros de dimensionamento de ETEs UASB + BFs.

Tabela 3.8 – Parâmetros para dimensionamento de ETEs UASB + BFs

Parâmetro	UASB	BFs	UASB + BFs
Carga orgânica volumétrica (Kg DBO / m ³ .dia)	0,85 a 1,2	3,0 a 4,0	-
Taxa de aplicação superficial (Kg DQO / m ² .dia)	15,0 a 18,0	55 a 80	-
Eficiência remoção DBO (%)	65 a 75	60 a 75	85 a 95
Eficiência de remoção SS (%)	65 a 75	60 a 75	85 a 95
Eficiência de remoção DQO (%)	60 a 70	55 a 65	80 a 90
Taxa de aeração (Nm ³ /kgDBO _{removido})	-	25 a 40	-
Produção de lodo (kgST/kgDBO _{removida})	0,15 a 0,20	0,25 a 0,40	-
Teor de SV no lodo (% SV/ST)	0,50 a 0,60	0,55 a 0,80	-
Eficiência de digestão do lodo aeróbio no UASB (% SV)	0,15 a 0,25	-	-

Fonte: Gonçalves et al. (2001)

O filtro biológico aerado submerso (FBAS) também é uma opção muito interessante. São reatores com biofilme submerso, de fluxo ascendente, meio suporte de pedras ou meio plástico que não necessitam de lavagens. Estes filtros operam sob condições de carga orgânica volumétrica variando de 1,0 a 1,8 KgDBO/m³.d e altura de leito de 1,5 a 3,5 metros. Apesar de necessitarem de um decantador secundário, são mais simples operacionalmente do que os BFs. A biomassa em excesso é removida no decantador secundário, que retorna para o sistema na forma de lodo aeróbio recirculado para o UASB para digestão e adensamento.

Aisse et al. (2001 b) pesquisaram um sistema piloto de FBAS utilizado no pós-tratamento de UASB, e obteve um efluente com concentrações de DBO ≤ 30 mgO₂/L, para taxas de aplicação superficial de até 30 m³/m².d e cargas orgânicas volumétricas de até 1,0 KgDBO/m³.d.

3.2.2 Mecanismos e processos envolvidos na depuração dos esgotos por biofilmes

3.2.2.1 Conceitos Iniciais

Biofiltros são caracterizados pelo crescimento de bactérias aderidas a uma superfície sólida na forma de um biofilme (Harremões and Henze, 1997).

Para Characklis et al. (1989) um biofilme consiste de células aderidas sobre o suporte e freqüentemente envolvidas por uma matriz de polímeros orgânicos de origem microbiológica. Uma grande parte dos microrganismos imobilizados tem a aptidão de sintetizar polímeros extracelulares, formando uma matriz de fibras que serve de sustentação ao conjunto denominado biofilme (Gonçalves, 2001).

Em função das suas propriedades físico-químicas, essa matriz de polímeros preserva a integridade do biofilme e determina as interações entre as células, o suporte e outras células.

O mesmo biofilme pode oferecer uma grande variedade de microambientes para o crescimento microbiano. O mais freqüente é um meio heterogêneo composto por partículas biodegradáveis, partículas inertes, uma grande variedade de microrganismos e, em alguns casos, organismos superiores tais como protozoários, larvas e vermes.

Nos filtros biológicos percoladores o esgoto ao percolar o meio suporte desenvolve uma cultura de microrganismos, camada gelatinosa denominada zoogléia, que tem como função oxidar a matéria orgânica presente nos esgotos, determinando uma floculação final que normalmente é removida nos decantadores secundário (Britto, 1994).

No meio suporte dos FBs a zoogléia é formada por um grande número de espécies de bactérias, protozoários, algas, fungos e metazoários, que ficam distribuídos em camada cuja diferença de pressão permite a ventilação do meio para a absorção do oxigênio pelos microrganismos para a estabilização da matéria orgânica presente nos esgotos através do processo enzimático decorrente principalmente da ação das bactérias (Britto, 1994).

Segundo Characklis et al. (1989) apud Vianna (2003) a ecologia dos biofilmes é de particular interesse para os ecologistas microbianos porque:

- 1) A presença inicial de dois compartimentos, água, e substrato, conduz a forças físicas peculiares que se tornam operativas na interface substrato-água. A atividade microbiana em tais interfaces é modificada por mudanças microambientais, como a concentração ou depressão de nutrientes ou inibidores, atividade extracelular, alterações na disponibilidade de gases, mudanças de pH, e adsorção macromolecular, que conduzem a possíveis modificações nas propriedades do substrato.
- 2) O desenvolvimento subsequente do biofilme é o resultado da adsorção, crescimento e produção, pelos microorganismos, de substâncias poliméricas extracelulares, na superfície do substrato.

A identificação dos microorganismos presentes nos filtros percoladores, ou em seus efluentes, traz informações importantes não só sobre a composição de seu biofilme, mas também sobre as condições de operação que se encontra submetido.

3.2.2.2 Processos envolvidos na depuração através de biofilmes

Em todos os reatores com biomassa fixa, os processos metabólicos de conversão de matéria orgânica ocorrem no interior do biofilme. No biofilme, os compostos necessários para o desenvolvimento bacteriano, como matéria orgânica, oxigênio e micronutrientes, são adsorvidos à superfície (von Sperling, 1996 b). Após a aderência, o transporte de substratos se realiza através de processos de difusão, inicialmente através do filme líquido na interface líquido/biofilme e, em seguida, através do próprio biofilme (Figura 3.2), onde então são metabolizados pelos microorganismos (Gonçalves et al., 2001).

Os produtos finais do metabolismo são transportados em sentido contrário, na direção da fase líquida (Iwai e Kitao, 1994 apud von Sperling, 1996 b). Tanto o substrato doador quanto o receptor de elétrons devem penetrar o biofilme para que a reação bioquímica se processe.

Um biofilme espesso pode conter compartimentos aeróbios e anaeróbios, devido à difusão parcial do oxigênio no seu interior. Pode-se ter, portanto, uma camada externa com oxigênio, e outra, interna, desprovida de oxigênio (von Sperling, 1996 b). O OD (oxigênio dissolvido) é o fator determinante no estabelecimento das camadas.

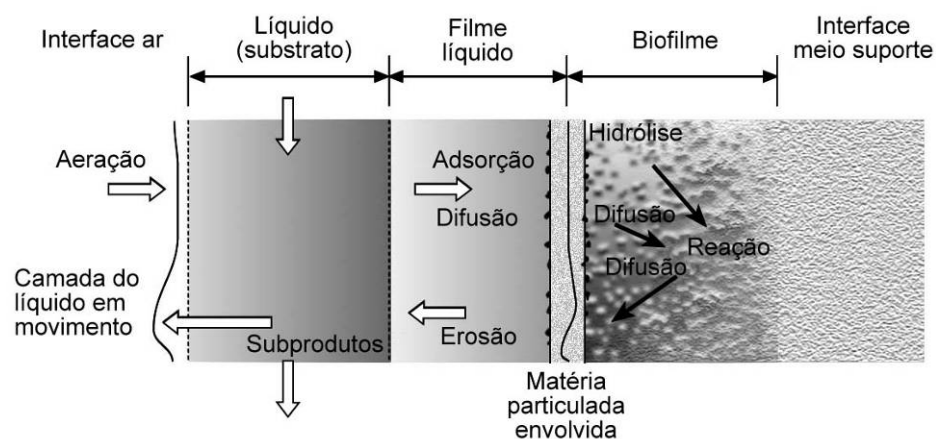


Figura 3.2 – Mecanismos e processo envolvidos com o transporte e a degradação de substratos em biofilmes

Fonte: Gonçalves et al. (2001)

O processo de formação de um biofilme pode ser compreendido como ocorrendo em três estágios (Iwa e Kitao, 1994 apud von Sperling, 1996 b). Na Tabela 3.9 apresenta-se as principais características destas três etapas, associadas à espessura do biofilme.

Tabela 3.9 – Estágios da formação do biofilme

Espessura do biofilme	Características
Fina	<ul style="list-style-type: none"> - o filme é fino e frequentemente não cobre toda a superfície do meio suporte - o crescimento bacteriano se dá segundo uma taxa logarítmica - todos os microorganismos crescem nas mesmas condições, com o crescimento sendo similar ao de uma biomassa dispersa
Intermediária	<ul style="list-style-type: none"> - a espessura do filme torna-se maior - a taxa de crescimento bacteriano torna-se constante - a espessura da camada ativa permanece inalterada, independentemente do aumento da espessura total do biofilme - caso o suprimento de matéria orgânica seja limitado, os microorganismos assumem um metabolismo suficiente apenas para a sua manutenção, não havendo crescimento bacteriano - caso o crescimento de matéria orgânica seja inferior aos requisitos para manutenção, a espessura do biofilme torna-se menor
Elevada	<ul style="list-style-type: none"> - a espessura do biofilme atinge um valor bastante elevado - o crescimento bacteriano é contraposto pelo próprio decaimento dos organismos, pelo consumo por outros organismos e pela tensão de cisalhamento - partes do biofilme podem ser desalojadas do meio suporte - caso o biofilme continue a crescer, sem ser desalojado do meio suporte, ocorrerão entupimentos do biofiltro

Fonte: Baseado em Iwai e Kiato, 1994 apud von Sperling, 1996 b.

Os mecanismos de fixação e desenvolvimento de colônias de microrganismos sobre um suporte ainda não são totalmente conhecidos. A diversidade de reações envolvidas (físicas, químicas e biológicas) e a dificuldade de realização de medidas diretas na escala de micrômetros são dificuldades superadas apenas parcialmente (Figura 3.3). Sabe-se, no entanto, que o desenvolvimento do biofilme reflete o resultado da combinação dos seguintes processos simultâneos (Characklis et al., 1989):

1. Condicionalmento do meio suporte - logo que o reator entra em operação, moléculas orgânicas são transportadas da fase líquida para o meio suporte. Algumas destas moléculas aderem-se ao suporte, resultando em um substrato condicionado.
2. Transporte de células para o suporte - uma parte das células planctônicas são transportadas da fase líquida para o suporte condicionado.

3. Adsorção reversível - algumas das células que se chocam com o suporte são adsorvidas. A adsorção não é permanente, desfazendo-se após um período de tempo definido.
4. Dessorção (desadsorção) - resulta no desprendimento da célula do meio suporte, podendo ser causada por forças de cisalhamento do fluido ou por outros fatores físicos, químicos ou biológicos.
5. Adsorção irreversível - uma fração das células adsorvidas reversivelmente permanecem imobilizadas por um período de tempo crítico, sendo adsorvidas de forma irreversível ao suporte.
6. Crescimento do biofilme - a multiplicação do número de células adsorvidas irreversivelmente sobre o suporte decorre da utilização de substrato e nutrientes da fase líquida. O metabolismo microbiano contribui significativamente para a acumulação de biofilme, utilizando energia do substrato aportado pela fase líquida.
7. Fixação de material no biofilme - células e material particulado presentes na fase líquida também aderem sobre o biofilme, aumentando o processo de acumulação. O processo de adesão refere-se à imobilização de células e outros materiais sobre o biofilme, enquanto que a adsorção refere-se aos mesmos processos ocorrendo no meio suporte.
8. Desprendimento de material do biofilme - o desprendimento refere-se ao material que se solta do biofilme, enquanto que a dessorção refere-se ao material que se desprende do suporte. Tal processo também é denominado erosão do biofilme.

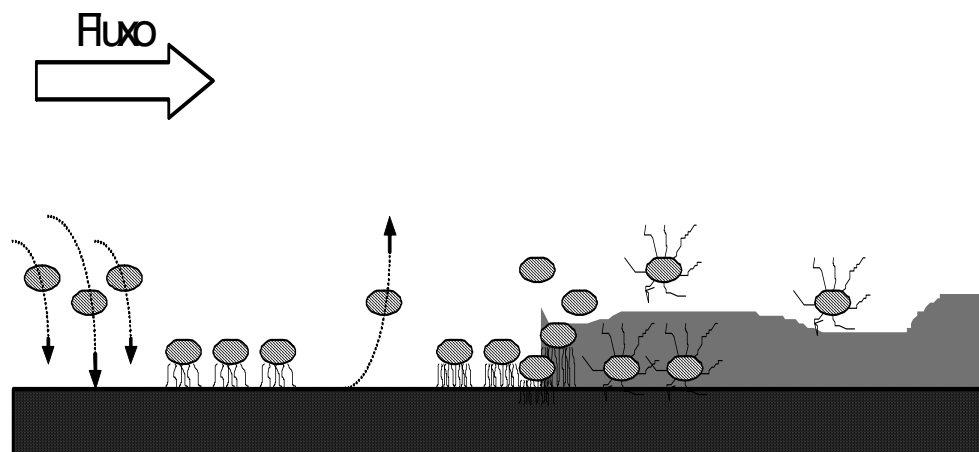


Figura 3.3 – Mecanismos e processo envolvidos com o transporte e a degradação de substratos em biofilmes. Characklis, 1989

Analisando do ponto de vista do desenvolvimento do biofilme em função do tempo, seis fases podem ser identificadas nitidamente, Figura 3.4 (Characklis et al., 1989):

1. Fase de latência - fase inicial em que a colonização depende sobretudo das propriedades de superfície do suporte.
2. Fase de crescimento dinâmico - crescimento acelerado do biofilme, sob taxa constante e máxima, até a cobertura total da superfície.
3. Fase de crescimento linear - o biofilme cresce a taxas constantes devido ao acúmulo de biomassa inativa, enquanto que o crescimento de biomassa ativa permanece constante e máximo.
4. Fase de desaceleração - a estrutura do biofilme passa a sofrer influência dos fatores hidrodinâmicos, condicionando sua espessura.
5. Fase de estabilização - o desenvolvimento do biofilme atinge o regime estacionário no tocante à massa e a sua espessura, que atingem valores constantes e máximos.
6. Fase de desprendimento - fase marcada pelo desprendimento aleatório total ou parcial do biofilme do suporte.

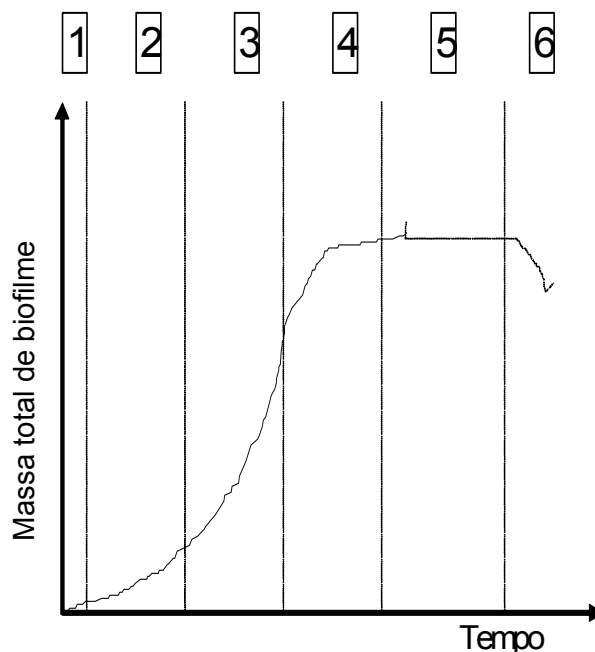


Figura 3.4 – As fases de desenvolvimento do biofilme em função do tempo. Characklis, 1989

Em classificação alternativa proposta por Characklis et al., 1989, as fases 1 e 2 acima são chamadas de fases de eventos iniciais ou de indução. As fases 3, 4 e 5 constituem a fase exponencial ou de crescimento logarítmico e a fase 5 é denominada fase de regime estacionário. O autor não considera a fase de desprendimento (fase 6) em sua caracterização da evolução temporal do biofilme.

O projeto e operação de estações de tratamento de esgotos faz uso destes conceitos de crescimento bacteriano para situar a operação dentro de uma faixa (fase) desejada (von Sperling, 1996 b). A generalização é difícil, mas as seguintes tendências podem ser observadas:

- a) **Sistemas de altíssima carga:** na fase de crescimento exponencial a disponibilidade de substrato é elevada, o que indica que a concentração de substrato no efluente será também elevada. Desta forma, a maior parte das ETEs não opera nesta fase.
 - b) **Sistemas de alta carga** (ex: lodos ativados convencional, filtros biológicos de alta carga): a concentração de substrato no efluente é mais reduzida, mas a massa celular tem um alto componente orgânico, requerendo estabilização separada do lodo excedente. O volume do reator é menor do que nos sistemas de baixa carga.
 - c) **Sistemas de baixa carga** (ex: lodos ativados tipo aeração prolongada, filtros biológicos de baixa carga): a concepção destes sistemas é fornecer uma quantidade mínima de alimento aos organismos, para incentivar a respiração endógena. Tal propicia que os organismos se autometabolizem, ou seja, exerçam uma digestão aeróbia da massa celular, a concentração de substrato no efluente é mínima. O volume requerido é maior do que os sistemas de alta carga.
-

3.3 Uma revisão geral dos filtros biológicos percoladores (FBs)

3.3.1 Filtro biológico percolador (FB)

Séguret et al. (2000) apud Vianna (2003), definem os filtros percoladores (FB) ou filtros biológicos (definição mais recente, preferida por alguns autores), como sendo reatores biológicos de leito fixo, utilizados para o tratamento de esgoto.

Filtro biológico percolador (FB) é uma unidade de tratamento de esgoto utilizada desde o século passado. Surge na Inglaterra, em 1897, o primeiro processo de tratamento de esgotos através da filtração biológica, em Lancashire na ETE-Salford (Bolton and Klein, 1973 apud Jordão & Pessôa, 1995).

No Brasil em 1910 foi construída a ETE Paquetá, no Rio de Janeiro, pela concessionária inglesa “Rio de Janeiro Improvement City”, a primeira estação de tratamento secundária constituída de filtro biológico, entre unidades de tanques ou tanques hidrolíticos (Silva, 1988 apud Jordão & Pessôa, 1995).

Sua origem está na evolução dos então chamados “filtros de contato”, que eram tanques preenchidos com pedras, alimentados com esgoto pela superfície, até completar o volume do tanque, e após certo período de tempo de contato entre esgoto e as pedras (tipicamente 6 horas), o tanque era drenado e o leito de pedras deixado em repouso por um período (normalmente também de 6 horas), antes de se repetir o ciclo (Gonçalves et al., 2001).

Jordão & Pessôa (1995) alertam para a incorreção do termo “filtro”, visto que o processo não envolve qualquer ação de peneiramento ou filtração. Na realidade há apenas o efeito de contato com uma cultura biológica. Portanto, o termo mais adequado seria “câmara de contato para oxidação biológica”, contudo a denominação “Filtro Biológico” é amplamente adotada.

Gonçalves et al. (2001), descreve os filtros percoladores como um tanque preenchido com material de alta permeabilidade, tal como pedras, ripas ou material plástico, sobre o qual os esgotos são aplicados sob a forma de gotas ou jatos. A percolação dos esgotos sobre o meio suporte faz com que haja um crescimento bacteriano na superfície da pedra ou do material de enchimento, na forma de uma fina película fixa denominada biofilme.

Os FB são sistemas aeróbios, portanto as condições aeróbias necessárias à reação bioquímica exigem ampla ventilação através dos interstícios, suficiente para manter o suprimento de oxigênio. Normalmente, nos FBs a ventilação é natural.

Segundo Matasci et al. (1988) apud Vianna (2003), em 1975 aproximadamente 4.300 unidades de filtros biológicos percoladores operavam nos EUA, representando o dobro do número de instalações de lodos ativados. Entretanto, sua popularidade declinou na década de setenta e no início da década de oitenta porque os valores de DBO_5 e SST de seus efluentes excediam os limites máximos permissíveis pela nova norma de qualidade de efluentes secundário, ambos fixados em 30 mg/L.

Segundo U.S. EPA, 2000, as principais vantagens e desvantagens dos filtros biológicos percoladores são:

a) Vantagens:

- Processos biológicos de tratamento simples e confiáveis;
 - Requerem pouca área, podendo ser inseridos em ambientes urbanos;
 - Produzem efluentes com nível de tratamento secundário;
 - Apropriados para implantação em pequenas e médias comunidades;
 - Reduzem rapidamente a DBO solúvel presente no esgoto a ser tratado;
 - Unidades de nitrificação eficientes;
 - Não necessitam de mão-de-obra especializada para operação e manutenção.
-

b) Desvantagens:

- Necessitam de tratamento adicional para atendimento a padrões de efluentes mais restritos;
- Possibilidade de acumulação de biomassa em excesso que não pode ser retida em condições aeróbias e que pode comprometer o desempenho dos FBs (a espessura máxima do biofilme é controlada pela taxa hidráulica aplicada, tipo de meio suporte, tipo de matéria orgânica, temperatura e natureza do crescimento biológico);
- Requerem atenção regular do operador;
- Incidência de colmatação do meio suporte é relativamente alta;
- Requerem baixas cargas dependendo do meio suporte;
- Controle e flexibilidade operacional limitados quando comparados com sistemas de lodos ativados;
- Problemas de odores e vetores;
- Problemas com caramujos.

No Brasil, devido as suas características de baixo custo e simplicidade operacional, os filtros biológicos percoladores podem assumir papel de destaque entre as tecnologias sugeridas para pequenas comunidades. Entretanto, poucas são as unidades implantadas no território nacional, conduzindo a necessidade de estudos relacionados com o tratamento de esgoto sanitário em unidades de filtro percolador, seja ele como etapa principal ou como pós-tratamento de reatores UASB, tendo em vista a forte tendência do uso de reatores UASB na etapa primária do tratamento.

3.3.2 Classificação dos filtros biológicos percoladores (FBs)

Os filtros biológicos percoladores podem ser classificados segundo as cargas aplicadas e os tipos de recirculação adotada. Quanto às cargas aplicadas, estas podem ser hidráulicas ou orgânicas. A carga hidráulica é definida como a razão entre a vazão de esgoto afluente e área superficial do FB, geralmente é expressa em $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. A carga orgânica é a relação entre a massa de DBO (5 dias, 20°C)

contida no esgoto afluente ao FB durante um dia, e o volume do meio suporte, normalmente é expressa em Kg/m³.dia (Jordão & Pessoa, 1995). Alguns autores utilizam a terminologia de taxa na classificação dos FBs.

3.3.2.1 Classificação em função da carga aplicada

As agências norte-americanas WEF e ASCE não explicitam uma classificação oficial para os FBs, em virtude da polêmica que cerca esse tema, entretanto na Tabela 3.10 se apresentam o que denominam “classificação histórica” (Vianna, 2003).

Tabela 3.10 – Diferentes tipos de filtros biológicos percoladores

Condições Operacionais	Baixa Taxa	Taxa Intermediária	Alta Taxa	Taxa Super Alta	Grossoiro
Meio suporte	Pedra	Pedra	Pedra	Pedra	Pedra/Plástico
Taxa de aplicação superficial (m ³ /m ² .dia)	1,0 a 4,0	3,5 a 10,0	10,0 a 40,0	12,0 a 70,0	45,0 a 185,0
Carga orgânica volumétrica (kgDBO/m ³ .d)	0,1 a 0,4	0,2 a 0,5	0,5 a 1,0	0,5 a 1,6	Até 8
Recirculação	Mínima	Eventual	Sempre**	Sempre	Sempre
Moscas	Muitas	Variável	Variável	Poucas	Poucas
Arraste de biofilme	Intermitente	Variável	Contínuo	Contínuo	Contínuo
Profundidade (m)	1,8 a 2,5	1,8 a 2,5	0,9 a 3,0	3,0 a 12,0	0,9 a 6,0
Remoção de DBO* (%)	80 a 85	50 a 70	65 a 80	65 a 85	40 a 65
Nitrificação	Intensa	Parcial	Parcial	Limitada	Ausente

Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy (1991), WEF (1996) e Gonçalves et al. (2001).

* Faixas de remoção de DBO típicas para alimentação do FB com efluentes de decantadores primários. Para a alimentação do FB com efluentes de reatores anaeróbios são esperadas eficiências menores

** Para efluentes de reatores anaeróbios, a recirculação é normalmente desnecessária

Gonçalves et al. (2001) comentam sobre as principais classes de FBs em função das cargas hidráulicas e orgânicas aplicadas.

a) FB de baixa taxa:

Simple conceitualmente e eficiência comparável à do sistema de lodos ativados, entretanto a operação é mais simples, porém menos flexível do que lodos ativados. Em função da pequena quantidade de DBO aplicada, por unidade de volume, a disponibilidade de alimentos é menor, resultando numa estabilização

parcial do lodo (fase endógena) e numa maior eficiência na remoção de DBO e de nitrificação. Esses filtros demandam uma área maior e um dos principais problemas é o desenvolvimento de moscas. A alimentação do sistema pode ser contínua ou descontínua, entretanto deve-se garantir um curto intervalo entre as molhagens para que o leito filtrante não fique seco.

b) FB de taxa intermediária:

As taxas de aplicação são mais elevadas nestes filtros que às dos filtros de baixa taxa. Normalmente a alimentação deste sistema é de forma contínua, embora o fluxo intermitente também possa ser aplicado. Com o objetivo de controlar a espessura do biofilme e a melhoria da eficiência do sistema, prevê-se nesta modalidade a recirculação do efluente tratado. Operacionalmente há a inconveniência de surgirem moscas e o efluente final destes filtros é parcialmente nitrificado.

c) FB de alta taxa:

São sistemas similares ao anterior, entretanto com a diferença de que a carga de DBO aplicada é maior. As bactérias (lodo excedente) necessitam de estabilização no tratamento do lodo (von Sperling, 1996 b). Como consequência da maior carga de DBO por unidade de volume de leito, os FB de alta taxa apresentam menor requisitos de área e uma ligeira redução na eficiência de remoção de matéria orgânica. Nos filtros que tratam esgoto decantado a alimentação é contínua e a recirculação é praticada regularmente. Já nos filtros que tratam efluentes de reatores UASB a recirculação se torna desnecessária. A espessura do biofilme é limitada pelas elevadas taxas hidráulicas e a remoção de DBO é em torno de 70 a 80%. Os sólidos produzidos nestes sistemas são de difícil sedimentação no clarificador.

d) FB de taxa super alta:

A principal diferença destes filtros, além das taxas hidráulicas serem maiores, é o meio granular sintético de profundidade variando entre 3,0 a 12,0 metros. Não se observam moscas e o efluente final não sofre nitrificação.

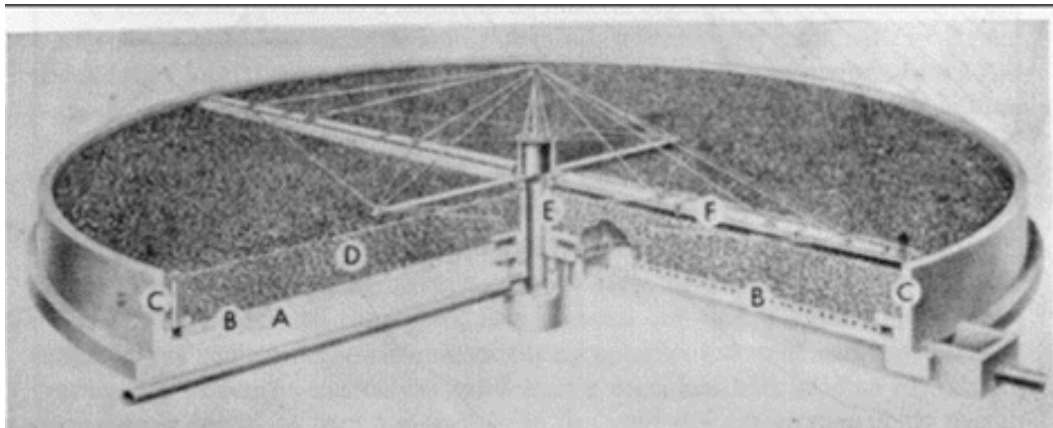
e) FB grosseiro:

Estes filtros de alta taxa são aplicáveis no pré-tratamento de esgotos, a montante do tratamento secundário. O meio filtrante é sintético e a alimentação é contínua. O seu uso é mais comum para efluentes com concentrações de DBO elevadas. Com o desenvolvimento dos reatores UASB o FB grosseiro perdeu sua aplicação.

3.3.3 Características dos filtros biológicos percoladores FBs

O reator biológico convencional empregado para o processo de filtração biológica é constituído dos seguintes componentes (Figura 3.5):

- Mecanismo de distribuição (fixo ou rotatório);
- Meio suporte;
- Sistema de drenagem do efluente;
- Tanque;
- Sistema de alimentação (e de recirculação) e
- Clarificadores.



- a) Tubulação do afluente
- b) Sistema de drenagem
- c) Parede do tanque
- d) Meio suporte (brita)
- e) Distribuidor rotativo (Coluna central)
- f) Braço do distribuidor rotativo

Figura 3.5 – Partes componentes do FB

Fonte : Jordão & Pessoa (1995)

3.3.3.1 Mecanismo de distribuição dos esgotos

A alimentação do FB com esgoto pode ser realizada através de distribuidores fixos ou móveis (rotatórios). Os primeiros FB eram dotados de sistemas de distribuição fixos, compostos por tubulação dotada de aspersores. Este tipo de sistema ainda hoje é utilizado, principalmente em instalações de pequeno porte. Entretanto, a maioria dos FB projetados a partir de 1930 possuem formato circular, com um sistema rotatório de distribuição da alimentação (Gonçalves et al., 2001).

1) Sistema fixo de distribuição: são constituídos de sistemas de canalizações com bocais aspersores alimentados intermitentemente por uma câmara de dosagem (Jordão & Pessoa, 1995). Em geral a distribuição de esgoto realizada através deste tipo de sistema de distribuição sobre a superfície do meio granular é relativamente boa (Gonçalves et al., 2001). Esses sistemas de distribuição apresentam como desvantagens a não distribuição uniforme da carga hidráulica sobre o meio suporte, grandes extensões de dutos de distribuição, frequente entupimento dos aspersores e a dificuldade de manutenção no caso de grandes FBs. Estima-se que, para se atingir a mesma distribuição alcançada através de distribuidores rotatórios, a vazão aplicada deve ser de 3 a 4 vezes superior nos sistemas fixos (Gonçalves et al., 2001).

2) Sistema rotatório de distribuição: os distribuidores móveis podem ser dotados com movimentos de translação ou de rotação. Os de translação são menos eficientes que os rotatórios. Os sistemas rotatórios apresentam características favoráveis à distribuição uniforme, semelhante a uma chuva contínua sobre toda a superfície do meio suporte (Jordão & Pessoa, 1995). Nesses sistemas os braços rotatórios são atirantados a uma coluna central que gira sobre uma base ligada à tubulação afluenta.

3.3.3.2 Meio suporte

O material utilizado como meio suporte depende principalmente da disponibilidade local de material adequado e de seus custos. Tradicionalmente tem-se utilizados como meio suporte pedregulhos, cascalhos, pedras britadas, escórias de fornos de fundição e outros meios inertes (Jordão & Pessôa, 1995).

Usualmente utilizam-se pedras, como a brita 4, com diâmetro variando entre 5 e 8 cm, com área superficial bastante limitada (55 a 80 m²/m³) e índice de vazios de 55 a 60% (Gonçalves et al., 2001). Nesses filtros podem aparecer problemas de colmatação devido ao crescimento excessivo de biomassa, resultando em inundações e falhas no sistema.

A eficiência de um filtro percolado, dentre outros aspectos, está correlacionada com a área ocupada pelos microorganismos em relação à quantidade de esgoto que percola o leito filtrante. Desta forma, surgiram vários materiais de enchimento do leito filtrante que fossem capazes de oferecer grande superfície sobre a qual a biomassa ficasse aderida (Vianna, 2003).

Devido à necessidade de redução da área requerida para a implantação dos FBs e para superar as limitações dos meios suportes de pedra, surgiram recentemente os meios plásticos, com maiores superfícies para fixação da biomassa. Esses materiais incluem módulos de plástico corrugado, tablados de ripas e anéis de plástico, com áreas superficiais bem maiores (100 a 250 m²/m³) e com índices de vazios de 90 a 97% que permitem maior quantidade de biomassa aderida (Gonçalves et al., 2001), Figura 3.6.

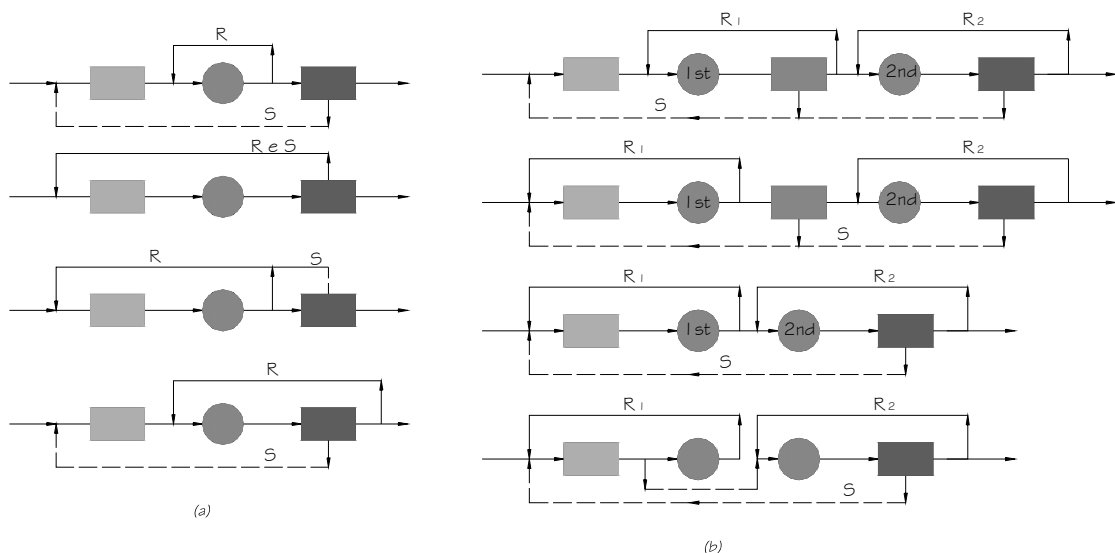
Estes materiais, por serem mais leves, podem ser empilhados uns sobre os outros, constituindo torres de grande altura. Estas torres passaram a exigir ventilação forçada, para assegurar o suprimento de oxigênio necessário às atividades vitais dos organismos aeróbios. Entretanto, Logan (1987) apud Vianna (2003) concluiu que torres mais altas são apenas ligeiramente mais eficientes que as menores, e

A ventilação natural normalmente satisfaz com folga a demanda do esgoto percolado, entretanto algumas unidades de FBs cobertas podem exigir uma ventilação artificial (Jordão & Pessoa, 1995).

3.3.3.5 Tipos de recirculação

Em WEF/ASCE (1991) diversos arranjos para os filtros percoladores foram esquematizados, desde os precedidos de decantadores primários, intermediários e secundários, isoladamente ou em série e com diversos arranjos para a recirculação do efluente tratado (Figura 3.7). Os arranjos em série são também denominados de filtros de primeiro e segundo estágio.

Nas aplicações de FBs no pós-tratamento de UASB não são necessárias as manobras de recirculação do efluente, tendo em vista que o afluente já se encontra diluído.



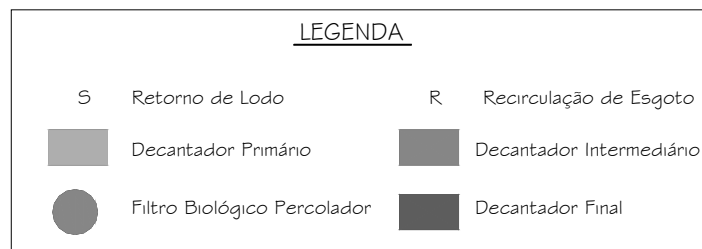


Figura 3.7 – Arranjos de filtros percoladores, primários, secundários e recirculação

Fonte : WEF/ASCE (1991)

3.3.4 Principais vantagens e desvantagens dos FBs em unidades de tratamento de esgotos de pequenas comunidades

a) Filtro Biológico de baixa taxa (ou carga):

Vantagens:

- boa eficiência na remoção de DBO;
- nitrificação freqüente;
- requisitos de área relativamente baixos;
- mais simples conceitualmente do que lodos ativados;
- índice de mecanização relativamente baixo;
- equipamentos mecânicos simples;
- estabilização do lodo no próprio filtro.

Desvantagens:

- menor flexibilidade operacional que lodos ativados;
- elevados custos de implantação;
- requisitos de área mais elevados do que os filtros de alta taxa;
- relativa dependência da temperatura do ar;
- relativamente sensível a descargas tóxicas;
- necessidade de remoção da umidade do lodo e da sua disposição final;

- possíveis problemas com moscas;
- elevada perda de carga.

b) Filtro Biológico de alta taxa (ou carga):

Vantagens:

- boa eficiência na remoção de DBO (embora ligeiramente inferior que nos filtros de baixa taxa);
- mais simples conceitualmente do que lodos ativados;
- maior flexibilidade operacional que filtros de baixa taxa;
- melhor resistência a variações de carga que filtros de baixa taxa;
- reduzidas possibilidade de maus odores.

Desvantagens:

- operação ligeiramente mais sofisticada do que os filtros de baixa taxa;
- elevados custos de implantação;
- requisitos de área mais elevados do que os filtros de alta taxa;
- relativa dependência da temperatura do ar;
- necessidade de remoção da umidade do lodo e da sua disposição final;
- elevada perda de carga.

Parker et al, 1999 apresentam e discutem o que denominam de “mitos” que cercam os filtros percoladores, reunidos nos seguintes grupos: (1) filtros percoladores são menos confiáveis que lodos ativados; (2) filtros percoladores apresentam baixo desempenho em tempo frio; (3) filtros percoladores são mais caros; (4) são sempre necessários controladores de velocidade de rotação para o distribuidor motorizado; (5) meio do tipo “cross flow” não devem ser utilizados em cargas orgânicas totais superiores a 1,6 KgDBO_{5,20}/m³.dia, e (6) todos os biofilmes são criados de modo semelhante.

3.3.5 As eficiências e capacidades dos FBs

Os critérios de projetos ou modelos matemáticos para o dimensionamento de filtros biológicos percoladores, para tratamento de esgoto decantado, são baseados em inúmeras pesquisas e observações de instalações pilotos ou em ETEs existentes (Jordão & Pessôa, 1995).

Os estudos a cerca de FBs originaram uma dezena de fórmulas com elevado grau de empirismo e de aplicação regional, entre elas a fórmula do NRC desenvolvida pelo National Research Council (EUA) (Gonçalves et al., 2001).

O dimensionamento de um filtro biológico único, ou o primeiro filtro de um sistema de duplo estágio, recebendo esgoto decantado, pode ser realizado pela equação:

Fórmula NRC:

$$E = \frac{100}{1 + 0,443 \cdot \left(\frac{W}{VF}\right)^{0,5}}$$

Onde:

E = representa a eficiência na remoção de DBO através do filtro.

W = carga de DBO aplicada ao filtro (em kg/dia).

V = volume do filtro.(em m³)

Gonçalves et al. (2001) alertam que a fórmula de NRC deve ser utilizada com ressalvas no caso da estimativa de eficiência de FBs aplicados no pós-tratamento de efluentes de UASB, pois as informações para essas aplicações são ainda recentes.

3.4 Produção de Lodo

Numa ETE do tipo UASB + FB as fontes de produção de lodo são: lodo anaeróbio (reator UASB) e lodo aeróbio (filtro biológico percolador). Em geral ETEs deste tipo utilizam a prática de recircular o lodo secundário, proveniente dos decantadores secundários, para o reator UASB. Isto se deve ao fato de que lodos secundários provenientes de processos aeróbios possuem uma grande quantidade de matéria orgânica biodegradável, na forma de sólidos suspensos voláteis, que devem ser digeridos (estabilizados) e adensados antes de seu descarte final (Nascimento et al, 2001).

O lodo produzido em reatores anaeróbios não requer tratamento para a estabilização antes do desaguamento. Este fato, aliado ao reduzido volume de lodo produzido, que se situa na faixa de 1/6 da produção de lodo em sistema aeróbios, torna o tratamento e destino de lodo em sistema de tratamento anaeróbio muito mais simples do que em sistemas de tratamento aeróbio (Aisse et al, 1999).

Na etapa biológica do tratamento de esgotos, parte da DQO removida é convertida em biomassa, que vem a constituir o lodo biológico (von Sperling & Gonçalves, 2001). A produção de lodo secundário (biológico) deve ser estimada tendo por base os coeficientes cinéticos e estequiométricos do processo biológico adotado, o lodo é composto de: sólidos biológicos e sólidos inertes do esgoto bruto (von Sperling & Gonçalves, 2001).

A produção de lodo pode ser expressa em forma de $\text{KgST/KgDQO}_{\text{removida}}$, $\text{KgST/KgDQO}_{\text{aplicada}}$ ou $\text{KgSV/KgDQO}_{\text{aplicada}}$.

A produção de lodo num reator UASB normalmente está na faixa de 0,07 a 0,39 $\text{KgST/KgDQO}_{\text{removida}}$ de 0,05 a 0,28 $\text{KgST/KgDQO}_{\text{aplicada}}$ e de 0,03 a 0,21 $\text{KgSV/KgDQO}_{\text{aplicada}}$, dependendo da composição do esgoto bem como das condições operacionais do reator (Veronez, 2001), Tabela 3.11.

Tabela 3.11 – Valores de coeficiente de crescimento de biomassa (Y) de lodo de reatores UASB obtidos por outros autores

Fonte	Y (KgST/KgDQO _{rem})	Y' (KgST/KgDQO _{aplic})	Y' _J (KgSV/KgDQO _{aplic})
Araujo (1996) ¹	0,1 – 0,2	-	-
Bof (1999) ²	0,07	0,05	0,03
Medeiros et al apud Bof (1999)	0,13 – 0,15	-	-
Coura & van Haandel (1999) ³	-	0,28	0,21
Chernicharo (1997)	-	0,1 – 0,2	-
Chacon (1994) ⁴	-	0,02	-
Van Haandel & Lettinga (1994)	0,14 – 0,2	-	-
Sistema de Cali, São Paulo e Kampur citados por van Haandel & Lettinga (1994) ⁵	0,29 – 0,39	0,2 – 0,27	0,07 – 0,1
Veronez (2001)	0,11	-	-
Andreoli (2001)	-	0,12 – 0,18	-

Fonte: Veronez (2001)

¹ UASB+BF em escala piloto, sem retorno de lodo aeróbio

² UASB+BF em escala piloto, com retorno de lodo aeróbio para o UASB

³ UASB+lodos ativados com retorno de lodo aeróbio para o UASB

⁴ ETE Rio Frio

⁵ DAFA

A produção de lodo em reatores aeróbios está na faixa de 0,1 a 0,2 KgST/KgDQO_{removida} e de 0,01 a 0,52 KgSV/KgDQO_{removida}.

O lodo de esgoto pode ser submetido a diferentes tipos de adensamento, estabilização, condicionamento e desidratação antes de sua disposição final. A estabilização é utilizada para a redução de massa de lodo, redução de microorganismos patogênicos e controle de odores, enquanto que o adensamento, o condicionamento, a desidratação e a secagem, para a remoção de água e redução de volume de lodo (Tsutya, 2000 apud Veronez 2001).

Tabela 3.12 – Valores de coeficiente de crescimento de biomassa (Y) de lodos aeróbios obtidos por outros autores

Fonte	Y (KgST/KgDQO _{rem})	Y' (KgSV/KgDQO _{remov})
Araujo (1996)	0,02 – 0,14	0,01 – 0,03
Canler & Perret (1993)	0,41	-
Bof (1999)	0,11 – 0,27	0,06 – 0,22
EPA (1993); Orthon & Artan (1994) apud von Sperling (1996)	-	0,3 – 0,7
Chernicharo (1997)	-	0,1 – 0,2
Chacon (1994) ⁴	-	0,02
Van Haandel & Marais (1999)	-	0,35 – 0,52
Van Haandel & Lettinga (1994)	-	> 0,2
Veronez (2001)	0,20	-
Andreoli (2001)	-	0,08 – 0,14

Fonte: Veronez (2001)

3.5 Filtro biológico percolador (FB) utilizado no pós-tratamento de Reatores UASB

Filtros percoladores utilizados no pós-tratamento de reatores UASB foram concebidos em uma instalação piloto construída na PUC-PR, em 1980, tratando esgotos de uma população de 500 habitantes (Gomes & Aisse, 1985 apud Gonçalves et al., 2001).

Nascimento et al., 2000 e 2001, pesquisaram um sistema de tratamento de esgoto, em escala piloto, constituído de reatores UASB + FB (incluindo unidade de decantação acoplada) operando em série. Observaram que filtros biológicos podem promover uma importante remoção adicional de DQO e DBO no efluente de reatores UASB. Segundo os autores, bons resultados foram obtidos quando o filtro foi operado com taxas de aplicação hidráulica e orgânica, que variaram de 6,8 a 17,1 m³/m².dia de 1,0 a 2,7 KgDQO/m³.dia e 0,7 a 1,4 KgDBO/m³.dia. Para estas condições operacionais, obteve-se um efluente final com concentrações média de DQO, DBO e SS em torno de 90 mgDQO/L, 30 mgDBO/L e 25 mgSS/L. O sistema

UASB + FB pôde atender o padrão de lançamento do Estado de Minas Gerais em mais de 70% dos resultados de DQO e aproximadamente 100% nos de DBO.

Aisse et al. (2001 a) monitoraram um sistema piloto constituído de reator UASB + filtro biológico aerado submerso + decantador secundário. O lodo biológico excedente era recirculado ao reator UASB. Foram aplicadas taxas hidráulicas no filtro biológico de $30 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e o efluente do decantador secundário apresentou valores de $71 \pm 18 \text{ mgDQO/L}$, $17 \pm 16 \text{ mgDBO/L}$ e $26 \pm 11 \text{ mgSST/L}$, correspondendo uma eficiência de remoção de 81%, 88% e 83% de DQO, DBO e SST respectivamente.

Aisse et al. (2001 b) também estudaram um sistema de filtração biológica aplicada ao pós-tratamento de um reator UASB através de um sistema UASB + Filtro biológico percolador + decantador secundário de alta taxa. O filtro biológico foi submetido a taxas hidráulicas de $30 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, e o efluente do decantador secundário apresentou concentrações médias de $81 \pm 18 \text{ mgDQO/L}$, $18 \pm 11 \text{ mgDBO/L}$ e $24 \pm 9 \text{ mgSST/L}$, correspondendo uma eficiência de remoção de 78%, 88% e 84% de DQO, DBO e SST respectivamente.

A ETE Caçadores com capacidade para 140 L/s, efetua o tratamento dos esgotos domésticos da localidade de Cambé/PR através de um reator anaeróbio tipo UASB (RALF), com pós-tratamento em um filtro biológico percolador. O FB apresenta diâmetro de 20 m e altura do meio suporte de 2,0 m, sendo brita 4 o material de enchimento do filtro. O FB tem operado, desde abril de 1998, com cargas orgânicas volumétricas na faixa de 0,5 a $1,0 \text{ kgDBO}/\text{m}^3.\text{dia}$ e taxas de aplicação superficial entre 20 e $30 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$. Para essas condições operacionais e concentrações de DBO no efluente do reator anaeróbio na ordem de 65 mgDBO/L , o FB têm apresentado eficiências de remoção de DBO na ordem de 65%, suficientes para manter as concentrações de DBO no efluente final usualmente abaixo de 30 mgDBO/L . Como o efluente do reator anaeróbio já apresenta DBO inferior a 100 mg/L , a recirculação de efluente final para a entrada do filtro não se faz necessária.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Aspectos gerais da pesquisa

A presente pesquisa foi desenvolvida na Estação de Tratamento de Esgotos da Universidade Federal do Espírito Santo (ETE-UFES), localizada no Campus Universitário de Goiabeiras – Vitória/ES.

O sistema estudado constituía-se de um reator UASB, em escala real, seguido de Filtro Biológico Percolador (FB), sem decantador secundário, em escala piloto. A montagem do piloto experimental teve início em agosto/2002 e o monitoramento foi realizado entre outubro/2002 a março/2004.

O reator UASB (escala real) da ETE-UFES encontra-se em operação desde 1999 e foi utilizado como unidade de tratamento primário da planta piloto em estudo. O período de estabilização do sistema UASB + FB foi de aproximadamente 3 meses.

A fim de se otimizar o estudo optou-se pelo desenvolvimento de 6 (seis) FB com diâmetros variando entre 150mm a 350mm, alimentados com uma mesma vazão sob diferentes cargas orgânicas.

4.2 Etapas experimentais

A pesquisa foi desenvolvida em uma única etapa conforme descrito abaixo.

Etapa	Característica	Período
1	Filtro biológico condicionado ao fluxo contínuo . Carga orgânica aplicada de 0,8 a 4,5 KgDQO/m ³ .dia.	Jan. / 2003 a Març. / 2004

A partida do sistema ocorreu em outubro/2002 a janeiro/2003, neste período o piloto foi operado inicialmente com fluxo intermitente. Entretanto não serão abordados neste estudo os resultados referentes ao período de partida. Em janeiro de 2003

iniciou-se o monitoramento sob condições de fluxo contínuo com cargas variadas. Dentro desta abordagem buscou-se qualificar o efluente e quantificar a produção de biomassa em excesso liberada no efluente aeróbio sob a forma de SS e DQO. Posteriormente foi avaliada a qualidade do efluente sem decantação secundária.

4.3 Estação Experimental de Tratamento de Esgotos (ETE-UFES)

A ETE-UFES foi projetada para atender uma população de aproximadamente 1.000 habitantes com uma vazão nominal de 1,0 L/s. O esgoto tratado na ETE possui características domésticas conforme demonstrado na Tabela 4.1. Atualmente o sistema é composto de uma estação elevatória (6,5 m³), um reator UASB (26,5 m³), 3 biofiltros aerados submersos (9 m³), 1 filtro terciário de fluxo descendente (3m³), uma unidade de desidratação de lodo constituída de 2 células de leito de secagem (10 m³) e um reator ultravioleta de lâmpadas emersas para desinfecção do efluente da ETE.

Tabela 4.1 – Caracterização do esgoto bruto da ETE-UFES

Parâmetros	SST mg/L	DQO mgO ₂ /L	DQO _{filtrad} mgO ₂ /L	DBO mgO ₂ /L
n	25	36	20	16
média	410	388	147	174
máximo	1685	1036	229	305
mínimo	132	119	51	11
desvio padrão	403	186	53	93
CV	0,98	0,48	0,36	0,53

Fonte: LABSAN / DHS – UFES – Período out 2002 / nov 2003

O esgoto bruto que alimenta a ETE-UFES é proveniente do bairro Jardim da Penha – adjacente a Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). O recalco do esgoto à UFES é realizado por um conjunto moto-bomba submersível instalado na elevatória (EEE) da Praça da Igreja Católica São Francisco de Assis, atualmente operada pela Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN).

O esgoto bruto bombeado da EEE de Jardim da Penha é conduzido à elevatória da ETE-UFES e desta para o reator UASB.



Figura 4.1 – Estação Experimental de Tratamento de Esgotos (ETE-UFES)

4.4 Estação Elevatória de Esgoto Bruto - EEE /ETE-UFES

O principal objetivo de uma estação elevatória de esgoto bruto é “elevar” o esgoto à unidade de tratamento primário em situações em que o esgoto não pode ser conduzido por gravidade. E conseqüentemente a EEE torna-se também uma unidade equalizadora de vazão e homogeneizadora de esgoto. Ambas funções são favoráveis ao bom desempenho da Estação de Tratamento de Esgotos.

Além das funções descritas acima, no caso de sistemas do tipo UASB + Biofiltros Aerados Submersos, sistema da ETE-UFES, a elevatória é fundamental na recirculação de lodo de lavagem dos biofiltros para digestão e adensamento no

UASB. Sistemas de tratamento UASB + BF resultam em estações compactas cuja única fonte de emissão de lodo é o reator UASB.

A estação elevatória da ETE-UFES possui um volume de 6,50 m³ e está localizada no canto direito da ETE. Na entrada da elevatória o esgoto bruto é gradeado por um cesto removível para remoção de sólidos grosseiros. Atualmente o tratamento preliminar da ETE-UFES foi modificado inserindo-se uma peneira estática (gradeamento fino) e caixa retentora de gordura.



Figura 4.2 – Gradeamento (cesto removível) – Entrada ETE/UFES

4.5 Reator UASB (Tratamento Primário)

O sistema de tratamento adotado na ETE-UFES combina os processos anaeróbio e aeróbio através da associação em série de um Reator UASB e Biofiltros Aerados Submersos (UASB+BFs).

Gonçalves & Pinto (2000) comentam que a configuração UASB + BFs é um dos exemplos mais importantes de desenvolvimento tecnológico do país. A associação anaeróbio-aeróbio é uma via preferencial de desenvolvimento tecnológico no Brasil, fomentada oficialmente pelo Programa Nacional de Pesquisa em Saneamento

(PROSAB). A ETE Experimental da UFES (mentora da associação UASB + BFs) possui o reator UASB como unidade de tratamento primário de esgoto.

O reator UASB, denominado como Reator Anaeróbio de Manta de Lodo e Fluxo Ascendente, foi construído em aço carbono protegido internamente com pintura betuminosa e projetado para operar com um TDH médio de 7,0 horas com seção quadrada de 2,3 m de lado, altura útil de 5,0 m e altura total de 5,3 m. As principais características geométricas são: (a) Área = 5,29 m²; (b) Volume = 26,45 m³ e (c) Hu = 5,0 m. As condições operacionais do UASB estão apresentadas na tabela abaixo.

Tabela 4.2 – Critérios e parâmetros hidráulicos do UASB ETE-UFES

Critério/Parâmetro	Faixa de valores, em função da vazão média Q = 3,6 m ³ /h	
	Valor Real	Valor Literatura
Carga hidráulica volumétrica (m ³ /m ² .d)	3,08 (m ³ /m ² .d)	< 4,0 (m ³ /m ² .d)
Tempo de detenção hidráulica (h)	7,3 h	6 – 9 h
Velocidade ascendente do fluxo (m/h)	0,68 m/h	0,5 – 0,7 m/h
Velocidade nas aberturas para o decantador (m/h)	2,0 m/h	2,0 – 2,3 m/h
Taxa de aplicação superficial do decantador (m/h)	0,6 m/h	0,6 – 0,8 m/h
Tempo de detenção hidráulica no decantador (m/h)	1,5 m/h	1,5 – 2,0 h

A alimentação do UASB é realizada com esgoto bruto previamente gradeado e desarenado. Uma caixa de areia localizada a montante do UASB (Figura 4.3) remove partículas de areia de até 0,2 mm e periodicamente a areia depositada no fundo da caixa é descartada por gravidade para limpeza.

Após a caixa de areia o esgoto é conduzido à caixa distribuidora de vazão situada no topo do UASB. A caixa distribuidora de vazão é dotada de 4 vertedores triangulares responsáveis pela distribuição do esgoto no fundo do UASB.



Figura 4.3 – Caixa de areia (entrada UASB)

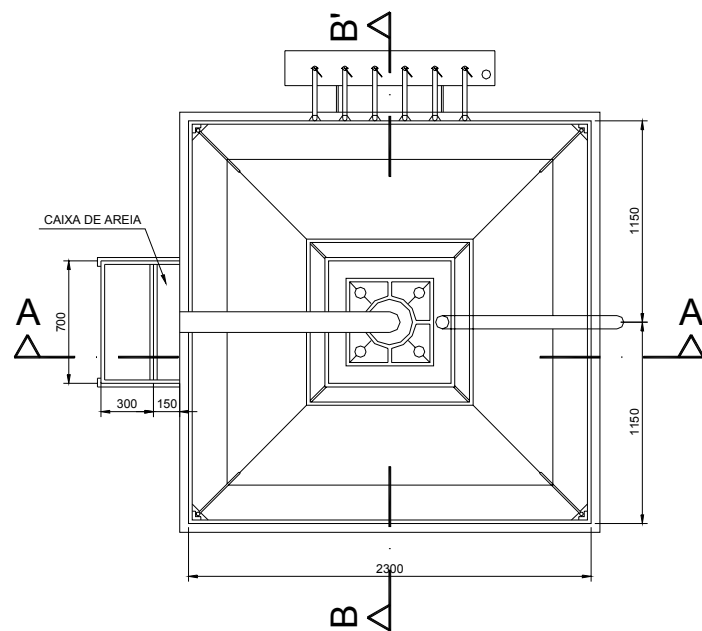


Figura 4.4 – Planta baixa do UASB

Um único separador de fases, também de seção quadrada, foi instalado concentricamente, assegurando assim a separação das fases líquida, gasosa e sólida do esgoto tratado anaerobicamente. Os flocos de biomassa sedimentam naturalmente neste compartimento, retornando para a parte baixa do UASB,

enquanto que o efluente final clarificado é descartado do processo. O perfil de lodo e a altura da manta de lodo são monitorados pelas 12 torneiras (6 de cada lado) acopladas nas laterais do reator (Figura 4.5).

Na calha do efluente final foi instalada uma placa retentora de gordura que promove o acúmulo de gordura na superfície líquida do reator. Periodicamente (1vez/semana) a camada de gordura acumulada era removida e disposta em aterro sanitária.

O lodo de excesso produzido no UASB é removido por descarga hidráulica até os leitos de secagem para a etapa de desaguamento do lodo.

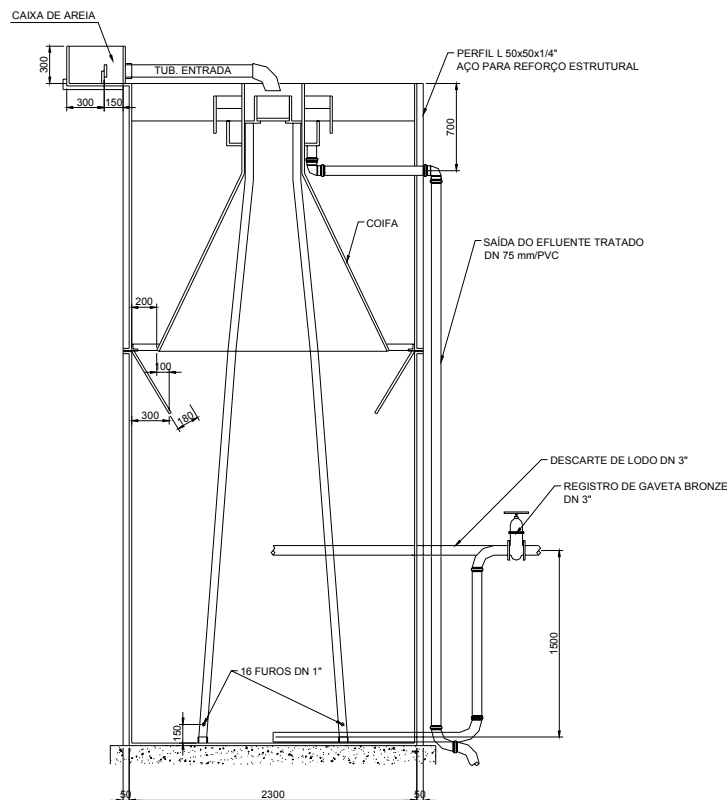


Figura 4.5 – Corte vertical do UASB (ETE-UFES)

Na ETE-UFES o efluente do reator UASB é tratado nos biofiltros aerados submersos e destes no filtro terciário.

Tabela 4.3 – Dados da ETE-UFES para obtenção da relação DQO/DBO

Concentração de DQO (mg/L)			
Efluentes	Bruto	Caixa de Areia	UASB
média	379,94	408,28	166,29
n	16	64	68
desvio padrão	115,06	152,13	51,77
CV	0,30	0,37	0,31

Concentração de DBO (mg/L)			
Efluentes	Bruto	Caixa de Areia	UASB
média	182,45	176,67	55,00
n	11	30	30
desvio padrão	52,65	63	25,81
CV	0,29	0,36	0,47

Fonte: Bauer (2003) – LABSAN / DHS – UFES – Período abril/2000 a outubro/2001

4.6 Descrição do piloto em estudo: Filtro Biológico Percolador (FB)

O estudo foi realizado em um reator UASB, escala real, seguido de filtro biológico percolador sem decantador secundário, em escala piloto.

Os filtros biológicos percoladores (FBs) foram, em sua maioria, construídos com tubos de PVC exceto nos casos em que o diâmetro adotado não permitiu. Neste caso se utilizou tubos de aço galvanizado. Foram montados 6 (seis) pilotos com diâmetros de 150, 175, 200, 250, 300 e 350 mm. A altura total dos filtros foi de 2,0 m, sendo a altura da camada filtrante de 1,5 m (Figura 4.6).

Na parte superior e interna de cada filtro foi instalado um sistema de distribuição composto por uma grelha perfurada (11 furos com DN de 3,0 mm) e espaçamento entre furos de 40 a 95 mm, esta grelha foi instalada a 200 mm do topo dos filtros. O meio suporte foi constituído de brita de gneiss nº 4, suportado por uma grelha de chapa expandida de aço carbono, localizada a 1,70 m do topo dos filtros (Figura 4.7).

A condição aeróbia foi garantida pela aeração natural realizada nas aberturas superior e inferior de cada piloto. O efluente final foi armazenado em reservatórios de fibra de vidro com capacidade individual de 500 litros.

No topo dos FBs foi instalada uma caixa distribuidora dotada de 6 (seis) vertedouros triangulares. Uma bomba centrífuga do tipo DANCOR com 0,5 HP de potência foi utilizada para o recalque do efluente anaeróbio à caixa distribuidora. A vazão do sistema era controlada por um registro localizado na linha de recalque e por uma plataforma regulável instalada para fins de suporte a esta caixa distribuidora. A caixa distribuidora de vazões era composta de 6 vertedores triangulares, que eram constantemente regulados pelos de 3 pinos giratórios da caixa.

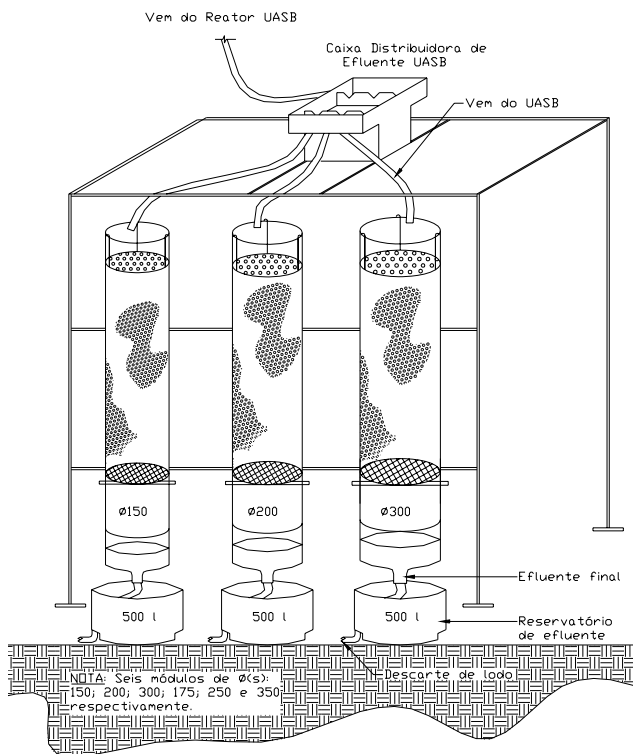


Figura 4.6 – Esquema geral do FBs

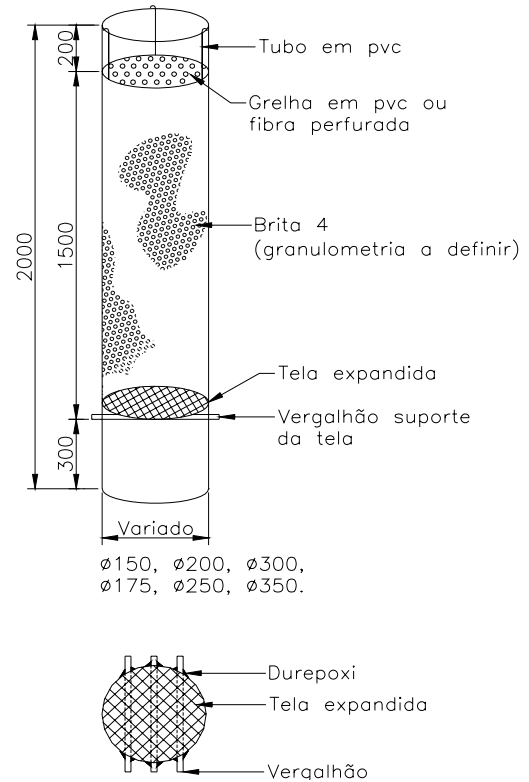


Figura 4.7 – Detalhes dos FBs

Os FBs foram alimentados com mangueiras cristal DN ¾” que eram conectadas na saída de cada vertedor. Os esgotos após percolarem os FBs, eram coletados individualmente em reservatórios de fibra de vidro de capacidade de 500 litros.

Tabela 4.4 – Resumo das principais características do sistema piloto UASB + FBs

Características	Reator UASB	Filtro Biológico Percolador					
		FB 1	FB 2	FB 3	FB 4	FB 5	FB 6
Diâmetro (mm)	2,3 x2,3 m	150	175	200	250	300	350
Altura total (m)	6,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Altura leito (m)	-	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Volume útil (m³)	28,0	0,03	0,04	0,05	0,07	0,11	0,14
Área superf (m²)	5,29	1,8 x 10 ⁻²	2,4 x 10 ⁻²	3,1 x 10 ⁻²	4,9 x 10 ⁻²	7,1 x 10 ⁻²	9,6 x 10 ⁻²

4.7 Condições Operacionais

A pesquisa ocorreu no período de janeiro/2003 a março/2004. Neste período o piloto foi alimentado de forma contínua através de uma bomba centrífuga que succionava o efluente anaeróbio (UASB – ETE/UFES) e o recalrava a caixa distribuidora de vazão. O acionamento da bomba centrífuga era controlado por uma bóia de nível instalada no UASB (captação de efluente anaeróbio).

A vazão média de alimentação dos pilotos foi de 35,0 L/h e as cargas orgânicas aplicadas variaram de 0,3 a 1,5 KgDBO₅/m³.dia e de 0,8 a 4,5 KgDQO/m³.dia.

Tabela 4.5 – Condições Operacionais dos Filtros Biológicos Percoladores

Parâmetro		FB1	FB2	FB3	FB4	FB5	FB6
Vazão (L/h)	N	38	38	38	38	38	38
	Média	35,4	34,8	35,6	35,5	37,2	35,5
	Des.padrão	3,0	3,6	3,4	3,0	5,2	3,8
	Coef.var.	0,08	0,10	0,09	0,08	0,14	0,11
CH (m ³ /m ² .d)	N	38	38	38	38	38	38
	Média	47,2	34,8	27,6	17,4	12,6	8,9
	Des.padrão	4,0	3,6	2,6	1,5	1,7	0,9
	Coef.var.	0,08	0,10	0,09	0,09	0,13	0,10
CV DQO (Kg/m ³ .d)	N	26	26	26	26	26	26
	Média	4,5	3,2	2,5	1,6	1,1	0,8
	Des.padrão	1,4	1,0	0,7	0,5	0,4	0,3
	Coef.var.	0,31	0,31	0,28	0,31	0,36	0,38
CS DQO (Kg/m ² .d)	N	26	26	26	26	26	26
	Média	6,7	4,8	3,8	2,4	1,7	1,2
	Des.padrão	2,1	1,5	1,1	0,8	0,6	0,4
	Coef.var.	0,31	0,31	0,29	0,33	0,35	0,33

4.8 Métodos de monitoramento e tipos de amostragem

O monitoramento do sistema foi realizado através de coletas, dos pontos de entrada e saída do efluente, tendo sido subdivididas em dois grupos:

1) Coleta conforme o *tipo de amostragem*:

(a) Amostra simples: a amostra era coletada instantaneamente no ponto definido.

(b) Amostra composta: amostra representativa de um efluente produzido em um determinado período. Nesta pesquisa a amostra composta foi coletada num período de 12,0 horas consecutivas. Durante o período de coleta o efluente foi armazenado na caixa de saída e após as 12 horas era coletada uma alíquota representativa desta amostra.



Figura 4.8 – Procedimento de coleta amostra do efluente decantado



Figura 4.9 – Procedimento de coleta amostra do efluente não decantado

2) Coleta conforme o *tipo de efluente*:

(a) Efluente DECANTADO: efluente coletado na superfície da lâmina d'água armazenada na caixa de efluente final, sem agitação.

(b) Efluente NÃO DECANTADO: efluente coletado após agitação do efluente armazenado no período das 12,0 horas de amostragem composta.

4.8.1 Pontos de coleta de amostras

Os pontos de amostragens considerados na pesquisa se basearam na coleta dos dados de entrada e saída do sistema. Foram coletadas amostras de 7 (sete) pontos, sendo ainda coletadas amostras decantadas e não decantadas, totalizando 15 amostras, conforme segue:



Figura 4.10 – Pontos de coleta



Figura 4.11 – Reservatórios de coleta de efluente

- (1) Efluente do reator UASB: foi coletado logo na saída do reator UASB (1 ponto);
- (2) Efluente final decantado: amostras coletadas em cada reservatório de fibra de vidro (500 litros) localizados na parte inferior de cada piloto (6 pontos – FB1 a FB6);
- (3) Efluente final não decantado: amostras coletadas em cada reservatório de fibra de vidro (500 litros) localizados na parte inferior de cada piloto (6 pontos – FB1 a FB6);

Os parâmetros físico-químicos: DQO, DQO filtrada e SST foram monitorados por amostragem composta do efluente decantado e não decantado. E as análises de turbidez, pH, temperatura e OD foram realizadas em campo através de amostras simples. Na amostra composta de SST o efluente foi revolvido para que os sólidos decantados fossem misturados ao efluente para a avaliação da produção de sólidos do sistema. A frequência das análises variou de diariamente a 2 vezes/semana.

Tabela 4.6 – Plano de monitoramento do sistema UASB + FBs

Parâmetro	Pontos / Frequência da Amostragem	
	Efluente UASB	Efluente FBs
Temperatura (°C)	2 x semana	2 x semana
pH	2 x semana	2 x semana
O.D (mg/L)	2 x semana	2 x semana
Turbidez (UT)	2 x semana	2 x semana
DQO total (mg/L)	2 x semana	2 x semana
DQO filtrada (mg/L)	2 x semana	2 x semana
SST (mg/L)	2 x semana	2 x semana
Vazão (L/s)	diária	diária

As cargas hidráulicas e orgânicas aplicadas foram monitoradas pela medida periódica das vazões de alimentação (Figura 4.12 e Figura 4.13).



Figura 4.12 – Caixa distribuidora de vazão com parafusos ajustáveis



Figura 4.13 – Medição de vazão

4.9 Produção de Lodo

A produção de lodo dos filtros biológicos percoladores foi avaliada com intuito de quantificar a massa de lodo ou o volume de lodo liberado no decantador secundário, que poderiam ser recirculados para o reator UASB ou descartado do sistema juntamente com o efluente do FB sem etapa de clarificação.

O coeficiente de crescimento bacteriano (Y_{obs}) do lodo aeróbio proveniente dos FBs, foi estimado como a relação entre a massa de lodo produzida em função da massa de DQO removida. Para simplificar, foi considerado que a massa total de sólidos suspensos produzida é igual à diferença entre a concentração de SST no efluente sem decantação e o efluente decantado. Não foi considerada a concentração ou a quantidade de lodo que sai do sistema na forma de SST no efluente final após a decantação.

A produção de lodo nos FBs em termos de SST foi estimada pela seguinte equação:

$$P_{\text{lodo (FB)}} = M_{\text{lodo (FB)}} = M_{\text{lodo_FB (sem dec.)}} - M_{\text{lodo_FB (com dec.)}} \quad (\text{Equação 4.1})$$

Onde:

$P_{\text{lodo (FB)}}$: produção de lodo no FB em termos de SST (KgSST/dia)

$M_{\text{lodo (FB)}}$: massa de lodo em termos de SST produzida no FB (KgSST/dia)

$M_{\text{lodo_FB (sem dec.)}}$: massa de lodo em termos de SST produzida no FB sem decantação (KgSST/dia)

$M_{\text{lodo_FB (com dec.)}}$: massa de lodo em termos de SST produzida no FB com decantação (KgSST/dia)

A massa de lodo pode ser calculada mediante conhecimento da vazão aplicada e do teor de sólidos suspensos no efluente do FB com e sem decantação (Equação 4.2).

$$M_{\text{lodo_FB (sem dec.)}} = S \text{ (kgSST/m}^3\text{)} \times Q \text{ (m}^3\text{/d)} \quad \text{(Equação 4.2a)}$$

$$M_{\text{lodo_FB (com dec.)}} = S_d \text{ (kgSST/m}^3\text{)} \times Q \text{ (m}^3\text{/d)} \quad \text{(Equação 4.2b)}$$

Onde:

S : concentração de SST no efluente do FB sem decantação (kgSST/m³)

S_d : concentração de SST no efluente do FB com decantação (kgSST/m³)

Q : vazão de esgoto aplicada no FB (m³/d)

Substituindo a equação 4.2a e 4.2b em 4.1, temos:

$$M_{\text{lodo (FB)}} = (Q \times S) - (Q \times S_d)$$

$$M_{\text{lodo (FB)}} = (S - S_d) \times Q$$

Sendo a massa de DQO removida, no FB após decantação, calculada como:

$$M_{\text{DQO_removida}} = (\text{DQO}_{\text{entrada}} - \text{DQO}_{\text{saída}}) \times Q \quad \text{(Equação 4.3)}$$

Onde:

$M_{\text{DQO_removida}}$: massa de DQO removida (KgDQO/dia)

$\text{DQO}_{\text{entrada}}$: concentração de DQO no afluente ao FB (Kg/m³)

$\text{DQO}_{\text{saída}}$: concentração de DQO no efluente ao FB após decantação (Kg/m³)

Q : vazão de esgoto aplicada (m³/dia)

O coeficiente de crescimento bacteriano (biomassa) no FB é expresso como:

$$Y_{obs} = P_{lodo} / M_{DQO_removida} \quad (\text{Equação 4.4})$$

Onde:

Y_{obs} : coeficiente de crescimento bacteriano ou coef. de produção de lodo (KgSST/KgDQO_{removida})

P_{lodo} : produção de lodo ou massa de lodo produzida diariamente nos FBs (KgSST/d)

$M_{DQO_removida}$: massa de DQO removida diariamente nos FBs (KgDQO/dia)

Dessa forma podemos expressar a equação 4.4:

$$Y_{obs} = [(S - S_d) \times Q] / [(DQO_{entrada} - DQO_{saída}) \times Q]$$

Na qual:

P_{lodo} : produção de lodo ou massa de lodo no FB (KgSST/d)

Y_{obs} : coeficiente de crescimento bacteriano ou coef. de produção de lodo (KgSST/KgDQO_{removida})

S : concentração de SST no efluente do FB sem decantação (kgSST/m³)

S_d : concentração de SST no efluente do FB com decantação (kgSST/m³)

$DQO_{entrada}$: concentração de DQO no afluente ao FB (Kg/m³)

$DQO_{saída}$: concentração de DQO no efluente ao FB após decantação (Kg/m³)

Q : vazão de esgoto aplicada no FB (m³/d)

Substituindo todos os valores na equação 4.4, o valor obtido para Y_{obs} indica o coeficiente de crescimento bacteriano (biomassa) do lodo aeróbio.

4.10 Métodos laboratoriais

As técnicas analíticas utilizadas obedeceram aos procedimentos estabelecidos pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20^a ed., e CETESB 1^a ed., 1978.

Tabela 4.7 – Metodologias utilizadas para análise dos parâmetros de monitoramento

Parâmetro	Método de Análise	Técnica
DQO (mg/L)	Método da oxidação por dicromato de potássio em meio ácido sulfúrico	Standard Methods
DQO _{filtrada}	Idem DQO, porém com amostra filtrada em membrana de fibra de vidro	Standard Methods
DBO ₅ (mg/L)	Método da diluição e incubação (20 ^o C e 5 dias)	CETESB – L5.120
SST (mg/L)	Método Gravimétrico	CETESB – L5.149
pH	Método Eletrométrico	CETESB – 15.145
OD (mgO ₂ /L)	Oxímetro	-
Turbidez (UNT)	Turbidímetro	-
Temperatura (°C)	-	-

4.11 Métodos matemáticos e estatísticos

A análise estatística dos resultados foi realizada utilizando o programa EXCEL (windows 98) e o programa estatístico SPSS versão 12.0.

Para interpretação dos dados foi utilizada uma análise descritiva através de um resumo dos dados por meio de medidas de tendência central (média e mediana) e medidas de variabilidade (coeficiente de variação e desvio padrão). Além da estatística básica descritiva foram utilizados gráficos para visualização imediata dos resultados das amostras.

Na tabela que segue encontram-se listadas as estatísticas associadas a medidas de tendência central e medidas de dispersão, que são as mais básicas e simples que compõe qualquer análise descritiva (von Sperling, 1996).

Tabela 4.8 – Estatística básica de uma amostra

Tipo	Estatística
Caracterização da amostra	Número de dados
Medida de tendência central	Média (*)
	Valor mínimo
	Valor máximo
	Desvio padrão (**)
Medidas de variação	Coef. variação (desv padrão / média) (***)

(*) Média (\bar{x}) – medida de tendência central, pois representa os fenômenos pelos seus valores médios, em torno dos quais tendem a concentrar-se os dados.

(**) Desvio padrão (DP) – medida da dispersão ou o grau de concentração dos valores em torno da média, ou seja, desvio de cada valor em relação à média dos dados.

(***) Coeficiente de variação (CV) – medida relativa de dispersão. Utilizada para a comparação em termos relativos do grau de concentração em torno da média de séries distintas.

A interpretação dos dados pode ser facilitada através da análise visual de gráficos. Foram utilizados, na análise exploratória de dados quantitativos, os gráficos de linha (série histórica), gráficos de percentis e gráficos de caixa (“boxplot”). O gráfico de caixas (“boxplot”) é utilizado para permitir uma visualização da tendência central e da variabilidade dos dados de uma amostra.

O programa estatístico SPSS (12.0) foi utilizado para a representação dos dados na forma de gráficos de caixa (“boxplot”). Estes gráficos são uma útil representação gráfica dos dados na detecção de outliers, e na análise da simetria e de sub-intervalos de concentração da amostra de valores (Ferreira, 1999).

O gráfico de caixa ou “boxplot” baseia-se na localização dos quartis (1^o quartil, 2^o quartil ou mediana, 3^o quartil), que definem assim 4 sub-intervalos, cada um com 25% das observações: 1^o intervalo quartílico, delimitado pelo x_{\min} e quartil₁; 2^o intervalo quartílico, delimitado pelo quartil₁ e quartil₂; 3^o intervalo quartílico, definido

pelo quartil₂ e quartil₃; 4^o intervalo quartílico, desde o quartil₃ ao x_{\max} (Ferreira, 1999).

São considerados outliers as observações que fiquem abaixo do limete definido pela expressão $q_1 - 1,5 \times (q_3 - q_1)$ ou acima do limite $q_3 + 1,5 \times (q_3 - q_1)$; caso existam outliers, o limite do “bigode” do diagrama passa a ser a observação extrema que se situe dentro dos limites dos outliers atrás definidos (Ferreira, 1999).

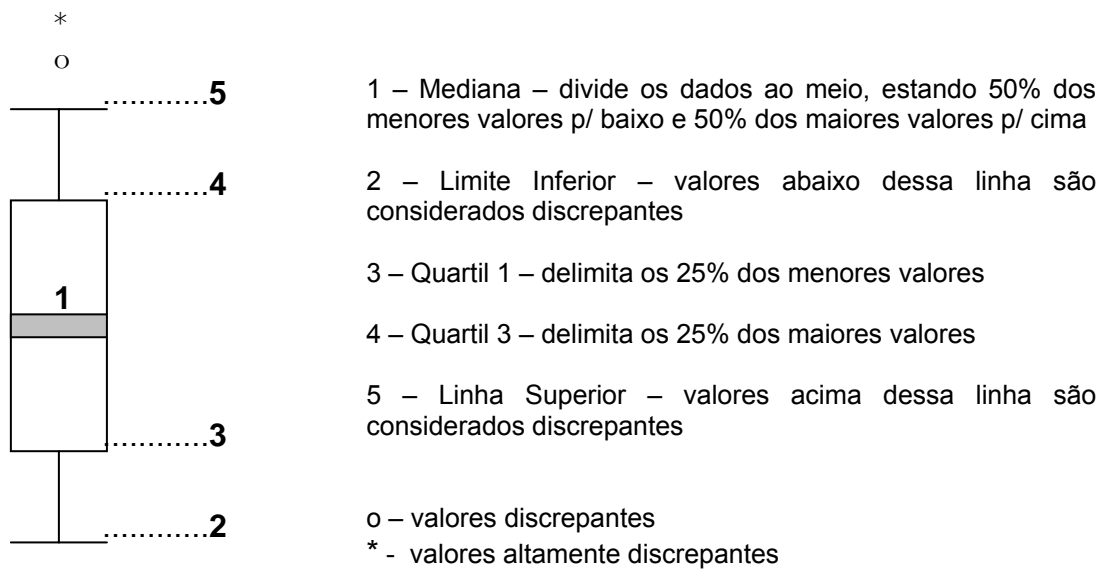


Figura 4.14 – Representação do gráfico de caixa (“boxplot”)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Desempenho do UASB no período da pesquisa

Este item aborda o desempenho do reator UASB (ETE-UFES) durante o período desta pesquisa. O UASB foi avaliado através de amostras simples e compostas realizadas no efluente do reator. O monitoramento do esgoto bruto, afluente a ETE, não foi avaliado nesta pesquisa, entretanto os resultados considerados foram extraídos da planilha de monitoramento da equipe de operação da ETE-UFES.

A Tabela 5.1 compara os resultados desta pesquisa com os valores obtidos por outros pesquisadores. Em todos os casos os valores são próximos, o que indica que o reator UASB da ETE-UFES está operando dentro do padrão esperado para reatores anaeróbios.

O esgoto bruto afluente a ETE-UFES apresenta concentrações médias de 388 ± 186 mgO₂/L (DQO), 410 ± 403 mg/L (SST), 147 ± 53 mgO₂/L (DQO_{filtrada}) e 174 ± 93 mgO₂/L (DBO₅) conforme pode ser observado na Tabela 5.2.

A DQO média de 388 mgO₂/L do esgoto bruto afluente a ETE-UFES, apresenta-se como um valor médio abaixo do esperado para esgoto tipicamente doméstico que é da ordem de 700 mgO₂/L, podendo variar de 400 a 800 mgO₂/L (von Sperling, 1996).

A baixa concentração de matéria carbonácea pode ser devido ao elevado tempo de detenção hidráulico do esgoto bruto na tubulação a montante a ETE, entretanto os valores encontrados no efluente do UASB atestam a eficiência destes processos na remoção de matéria carbonácea e sólidos suspensos.

Conforme pode ser observado na Tabela 5.2, os resultados obtidos no monitoramento do UASB indicam um efluente com características médias de 137 ± 42 mgO₂/L (DQO), 67 ± 34 mg/L (SST) e 68 ± 15 mgO₂/L (DQO_{filtrada}). A eficiência

média do UASB na remoção de matéria carbonácea e sólidos suspensos totais foi de 62% e 72% respectivamente.

Tabela 5.1 – Análise comparativa entre os resultados do monitoramento obtidos nesta pesquisa e os resultados obtidos em outras pesquisas utilizando reatores UASB

Fonte	Padrão de efluente (mg/L)		Eficiência de remoção (%)	
	SST	DQO	SST	DQO
Araújo (1996) ¹	40	118	70	69
Bof (1999) ²	42	123	76	79
Bof et al. (2001) ³	30	101	86	79
Veronez (2001) ⁴	52	161	66	60
Bauer (2003) ⁴	69	171	60	60
Valores obtidos⁴	67	137	72	62

(1) UASB+BF sem retorno de lodo aeróbio (escala piloto)

(2) UASB+BF com retorno de lodo aeróbio (escala piloto)

(3) UASB+BF com retorno de lodo aeróbio (escala real)

(4) UASB+BF com retorno de lodo aeróbio (escala real)

Tabela 5.2 – Monitoramento do desempenho da ETE-UFES

Parâmetro		Esg. Bruto (mg/L)	UASB (mg/L)	Eficiência (%)
SST	N	25	25	25
	Média	410	67	72
	Máximo	1685	147	97
	Mínimo	132	12	46
	Desvio Padrão	403	34	17
DQO	N	36	26	26
	Média	388	137	62
	Máximo	1036	225	86
	Mínimo	119	65	20
	Desvio Padrão	186	42	17
DQO Filtrada	N	20	24	20
	Média	147	68	59
	Máximo	229	106	78
	Mínimo	51	35	44
	Desvio Padrão	53	15	8
DBO	N	16	17	15
	Média	174	76	58
	Máximo	305	155	80
	Mínimo	11	22	37
	Desvio Padrão	93	41	13

Fonte: LABSAN / DHS – UFES – Período out 2002 / nov 2003

5.2 Desempenho dos filtros biológicos percoladores sob alimentação contínua

5.2.1 Remoção de sólidos suspensos totais (SST)

5.2.1.1 Monitoramento de SST no efluente decantado

Os resultados apresentados nas figuras 5.1a 5.6 retratam o monitoramento de um período de 200 dias em relação à concentração de SST do efluente decantado de um sistema UASB + FB com decantação.

Os reservatórios de coleta de efluente final foram utilizados como decantadores, e o tempo médio de decantação foram de aproximadamente 12,0 horas.

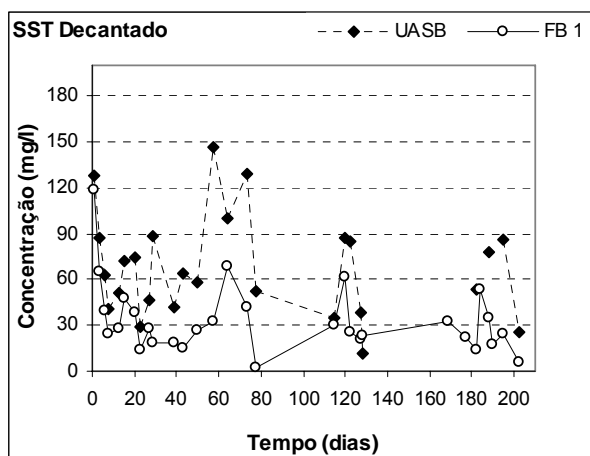


Figura 5.1 – Concentrações de SST no efluente do FB1 após decantação

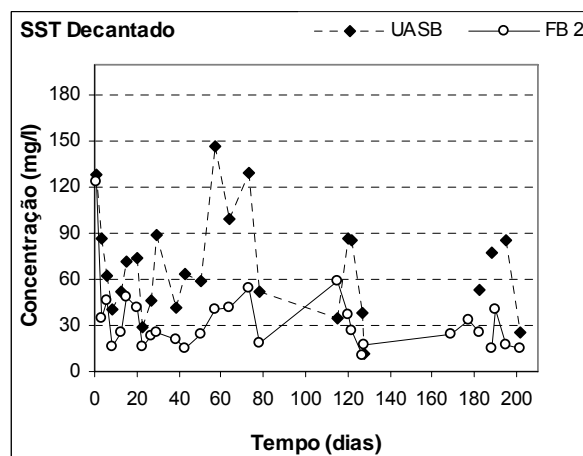


Figura 5.2 – Concentrações de SST no efluente do FB2 após decantação

Durante o período operacional observou-se uma variação de 2 a 147 mgSST/L no afluente aos FBs. Entretanto, a concentração média de SST no afluente foi de 67 mg/L (Figuras 5.1a 5.6).

Apesar da variação da concentração de SST no afluente, o FB1 foi capaz de produzir um efluente com um valor médio de 33 mg/L (SST). Observa-se também uma variação na concentração de SST no efluente do FB1 ($2 \leq \text{SST} \leq 119$ mg/L) (Figura 5.1). Similar ao FB1, o efluente final do FB2 apresentou uma concentração média de 32 mg/L (SST) com uma variação de 10 a 124 mg/L (Figura 5.2).

Os maiores valores de SST (119 e 124 mg/L) obtidos nos efluentes dos FB1 e 2, respectivamente, foram encontrados uma única vez e no início do período operacional. Tal fato pode ser devido ao período de partida e estabilização do sistema ou erro na amostragem e análise laboratorial. A partida do sistema ocorreu em meados de outubro/2002, entretanto somente em janeiro/2003 iniciou-se o monitoramento da pesquisa.

Importante observar que embora os FB1 e 2 apresentaram um efluente de boa qualidade (SST ~ 30 mg/L) estes filtros operaram sob elevadas cargas hidráulicas: 47,2 m³/m².dia (FB1) e 34,8 m³/m².dia (FB2).

O FB3 produziu um efluente de excelente qualidade com uma concentração média de 24 mg/L (SST). A maior parte do período operacional o efluente manteve-se abaixo de 30 mg/L com um valor máximo de 54 mg/L (SST) (Figura 5.3).

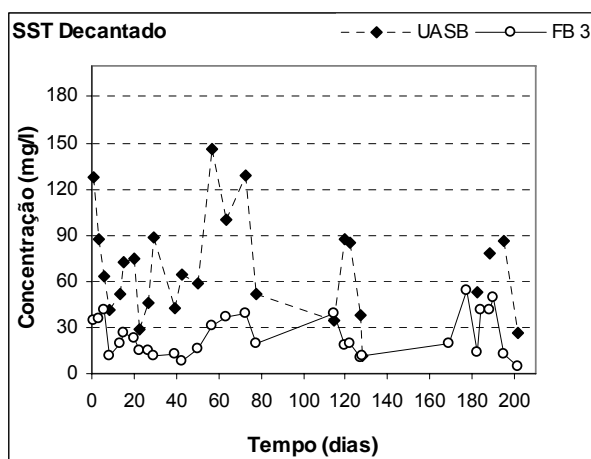


Figura 5.3 – Concentrações de SST no efluente do FB3 após decantação

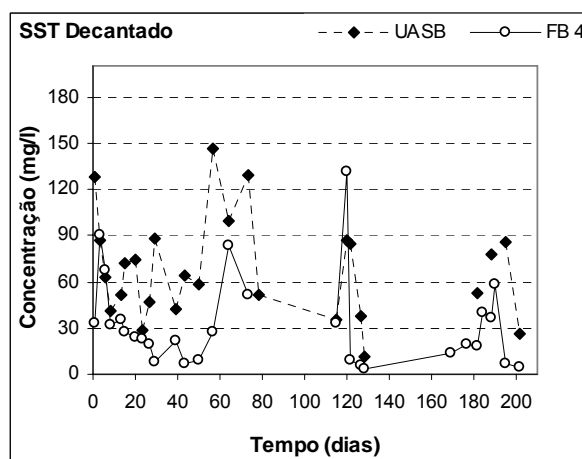


Figura 5.4 – Concentrações de SST no efluente do FB4 após decantação

O FB4 operou com uma $CH_{aplic} = 17,4 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$ e obteve uma concentração média de 33 mg/L (SST). Na Figura 5.4 observa-se uma grande variação na qualidade do efluente final do FB4 com picos de 4 a 132 mg/L (SST).

As concentrações médias de SST nos efluentes decantado dos FB5 e FB6 foram de ambos 27 mg/L (Tabela 5.3). Estes filtros operaram sob cargas hidráulicas de 12,6 e 8,9 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, nesta ordem. O efluente final do FB5 variou de 2 a 76 mgSST/L e o FB6 de 4 a 78 mgSST/L (Figura 5.5 e Figura 5.6).

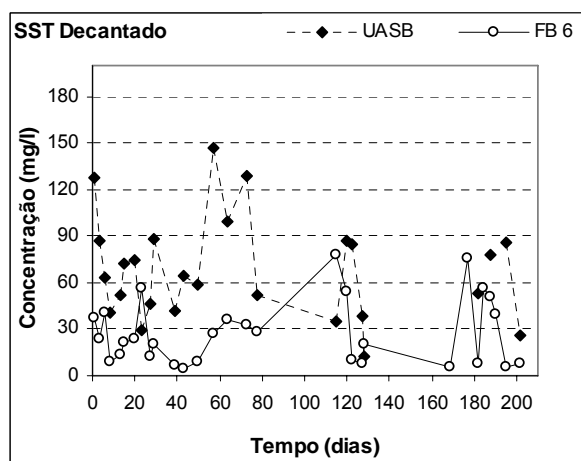
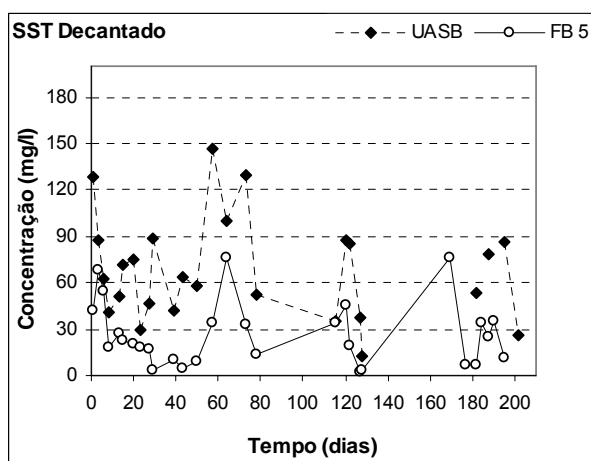


Figura 5.5 – Concentrações de SST no efluente do FB5 após decantação

Figura 5.6 – Concentrações de SST no efluente do FB6 após decantação

Dentre os FBs testados o FB3 apresentou um efluente com a menor concentração de sólidos suspensos totais (

Tabela 5.3). A carga hidráulica operacional deste filtro foi de 27,6 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

Tabela 5.3 – Valores médios de entrada e saída de SST nos efluentes decantados dos FBs

Parâmetro		UASB	FB1	FB2	FB3	FB4	FB5	FB6
SST mg/L	n	25	30	29	30	29	29	30
	média	67	33	32	24	33	27	27
	desvio padrão	34	23	22	13	30	21	21
	máximo	147	119	124	54	132	76	78
	mínimo	2	2	10	5	4	2	4

	CV	0,50	0,69	0,68	0,55	0,91	0,79	0,77
--	----	------	------	------	------	------	------	------

As eficiências globais dos sistemas na remoção de SST com etapa decantação são de 92%, 92%, 94%, 92%, 93% e 93% nos respectivos FB1, FB2, FB3, FB4, FB5 e FB6.

Evidentemente, observa-se uma significativa melhora na qualidade do efluente com o compartimento de decantação.

5.2.1.2 Monitoramento de SST no efluente sem decantação

Os resultados apresentados a seguir retratam o monitoramento de um período de 200 dias em relação à concentração de SST do efluente de um sistema UASB + FB sem decantação secundária.

Os resultados obtidos foram observados nas amostras de efluente não decantado onde os efluentes finais dos FBs eram agitados para que os sólidos decantados fossem misturados a amostra líquida.

Nas figuras 5.7a 5.12 estão apresentados os valores obtidos para a série histórica de SS de entrada (UASB) e saída dos FBs de 1a 6. Neste período o FB1 operou com uma $CV_{aplicada}$ média de 4,5 KgDQO/m³.d, o FB2 com 3,2 KgDQO/m³.d, o FB3 com 2,5 KgDQO/m³.d, o FB4 com 1,6 KgDQO/m³.d, o FB5 com 1,1 KgDQO/m³.d e o FB6 com 0,8 KgDQO/m³.d.

Embora mencionado anteriormente, observa-se que o afluente aos FBs apresentou uma concentração média de 67 mgSST/L e uma variação de 2 a 147 mg/L (SST).

A concentração média de SST no efluente do FB1 foi de 47 mg/L e do FB2 de 52 mg/L. Os valores de SST no efluente do FB1 variaram de 5 a 179 mg/L e de 15 a 262 mg/L no FB2 (Figura 5.7 e Figura 5.8).

Dos resultados obtidos o FB2 ($CV_{aplic} = 3,2 \text{ KgDQO/m}^3 \cdot \text{d}$; $CH_{aplic} = 34,8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$) apresentou a maior concentração de SST e conseqüentemente o pior desempenho na remoção de sólidos suspensos. Os valores monitorados no efluente deste filtro apresentaram a maior dispersão entre os dados obtidos para os outros FBs.

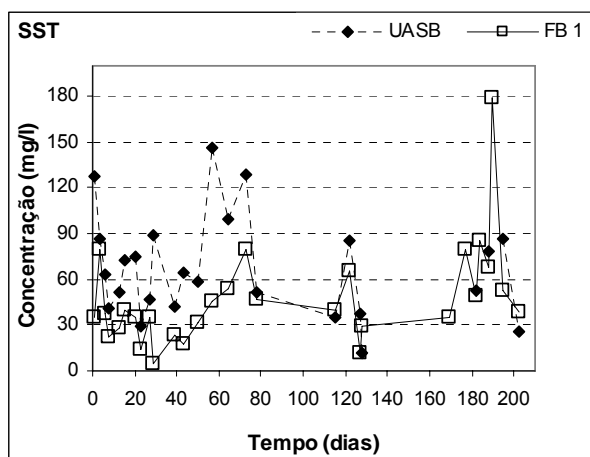


Figura 5.7 – Concentrações de SST no efluente sem decantação do FB1

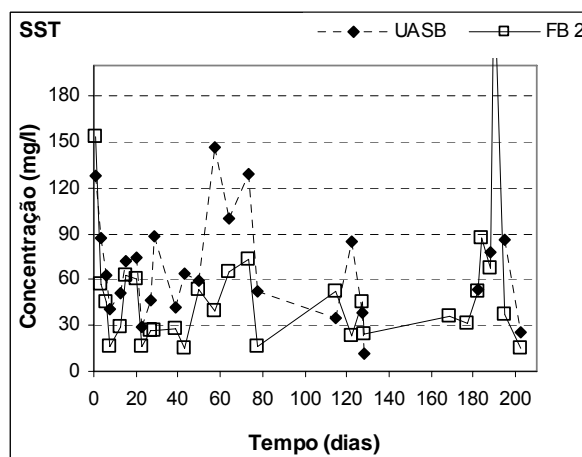


Figura 5.8 – Concentrações de SST no efluente sem decantação do FB2

O efluente do FB3 sem decantação apresentou uma concentração média de 40 mg/L (SST) e uma variação de 15 a 125 mg/L (Figura 5.9 e Tabela 5.4). Novamente o FB3 apresentou o melhor desempenho na remoção de sólidos suspensos e, portanto a menor concentração de SST entre os efluentes pesquisados. A carga hidráulica operacional foi de $27,6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$.

Na Figura 5.10 observa-se uma variação na qualidade do efluente do FB4 com picos de 13 a 177 mg/L (SST) e uma concentração média de 48 mg/L (SST). O FB4 operou com uma $CH_{aplic} = 17,4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$.

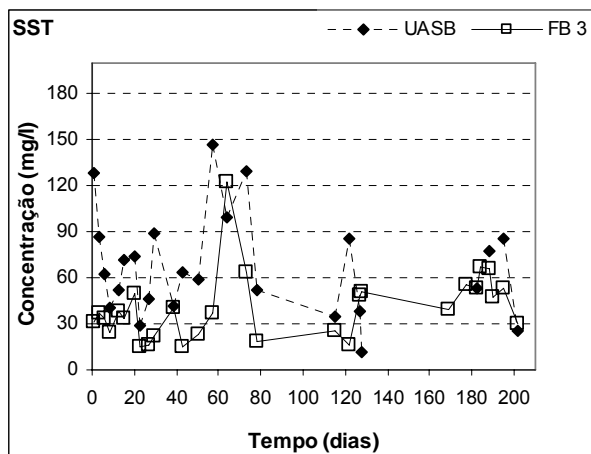


Figura 5.9 – Concentrações de SST no efluente sem decantação do FB3

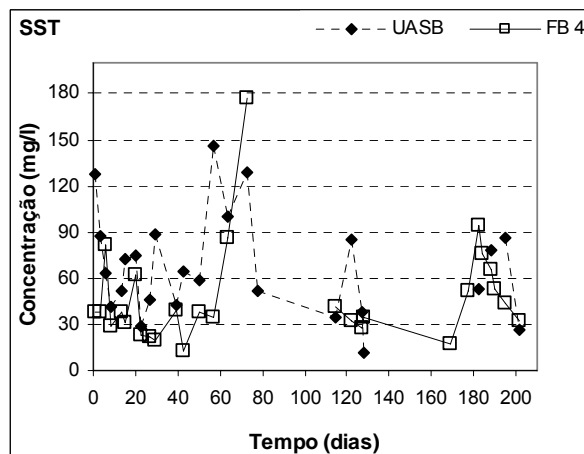


Figura 5.10 – Concentrações de SST no efluente sem decantação do FB4

As concentrações médias de SST nos efluentes sem decantação dos FB5 e FB6 foram de 44 e 48 mg/L, respectivamente (Tabela 5.4). Estes filtros operaram sob cargas hidráulicas de 12,6 e 8,9 m³/m².dia, nesta ordem. O efluente final do FB5 variou de 12 a 189 mgSST/L e o FB6 de 9 a 127 mgSST/L (Figura 5.10 e Figura 5.11).

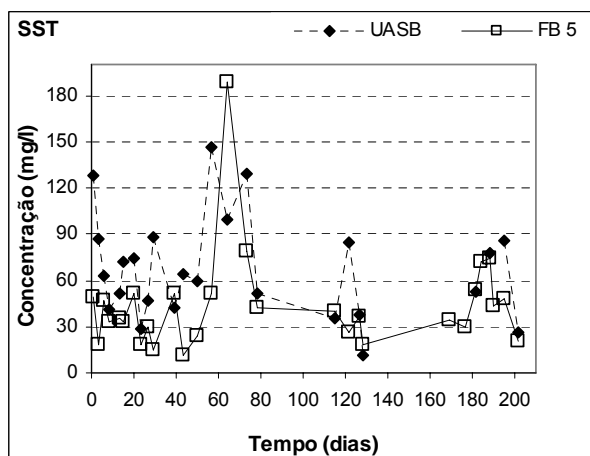


Figura 5.11 – Concentrações de SST no efluente sem decantação do FB5

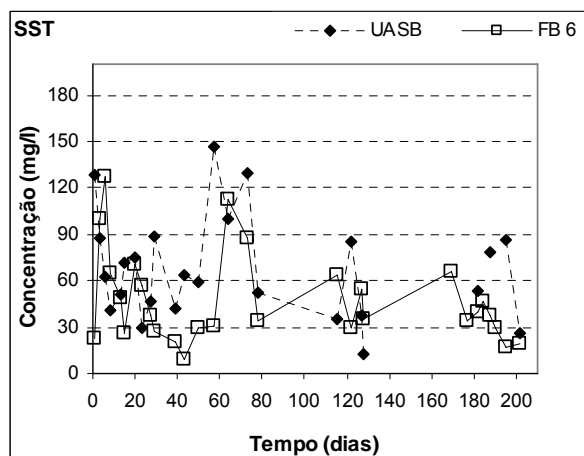


Figura 5.12 – Concentrações de SST no efluente sem decantação do FB6

Tabela 5.4 – Valores médios de entrada e saída de SST nos efluentes sem decantação dos FBs

Parâmetro		UASB	FB1	FB2	FB3	FB4	FB5	FB6
SST mg/L	n	25	29	29	29	28	29	29
	média	67	47	52	40	48	44	48
	desvio padrão	34	33	49	22	33	33	29
	máximo	147	179	262	125	177	189	127
	mínimo	2	5	15	15	13	12	9
	CV	0,50	0,70	0,95	0,55	0,69	0,75	0,61

Os FBs apresentaram uma eficiência média de remoção de SST de 22 a 40% quando operados sem a etapa de decantação.

As eficiências globais dos sistemas na remoção de SST sem decantação foram: 89%, 87%, 90%, 88%, 89% e 88% nos respectivos FB1, FB2, FB3, FB4, FB5 e FB6, ao tratar efluente de UASB.

Apesar de não possuírem etapa de decantação o efluente final dos FBs apresentaram relativa redução da concentração de SST em referência ao afluente.

5.2.1.3 Discussão dos resultados de SST

Efluente Decantado:

De acordo com a série histórica de SST as concentrações médias dos efluentes dos FBs com decantação variaram de 24 a 33 mg/L. Comparando-se o valor médio do afluente, UASB = 67 mgSST/L, pode se dizer que os FBs promoveram um polimento complementar em relação à concentração de SST.

O FB com etapa de decantação que produziu o melhor efluente em termos de SST foi o FB3, com 24 mg/L operando com uma $CV_{aplic} = 2,5 \text{ KgDQO/m}^3.d$ e $CH_{aplic} = 27,6 \text{ m}^3/\text{m}^2.d$.

Os FBs 1, 2 e 3 com decantação apresentaram um efluente final com SST em torno de 33, 32 e 24 mg/L e os FBs 4, 5 e 6 apresentaram um efluente com 33, 27 e 27 mg/L. Tal comportamento induz a determinação de um ponto ótimo de trabalho (FB3), pois se observa que FBs que operaram acima ou abaixo da carga hidráulica de 27,6 m³/m².d, apresentaram uma deteriorização na qualidade do efluente em termos de SST (Tabela 5.3).

Os FBs com decantação que operaram dentro da faixa de carga hidráulica de 27,6 - 47,2 m³/m², obtiveram aproximadamente 75% dos efluentes < 30 mgSST/L e 95% dos efluentes < 60 mgSST/L.. Estes valores estão em conformidade com a maioria dos padrões nacionais de lançamento, atendendo as legislações de Vitória (COMDEMA < 100 mgSST/L), Paraná (< 60 mgSST/L), Rio G. do Sul (40 < SST < 120 mg/L), Minas Gerais (méd < 60 e max < 100 mgSST/L) e até mesmo os padrões internacionais mais restritos CEE < 35 mgSST/L (Figura 5.13 e Figura 5.14).

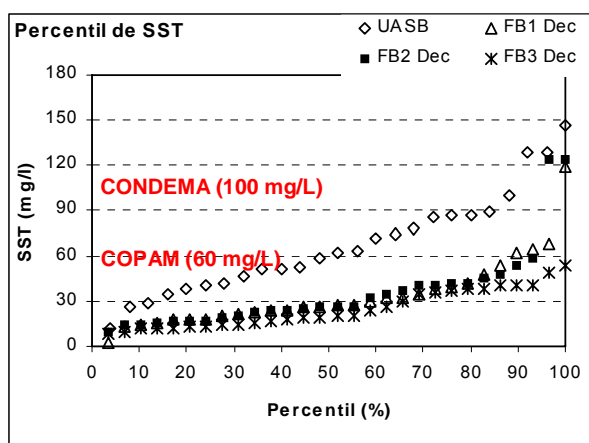


Figura 5.13 – Frequência de distribuição dos resultados de SST nos FB1, 2 e 3 após decantação

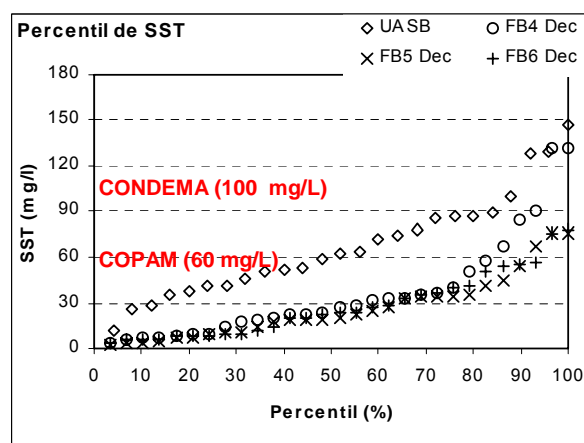


Figura 5.14 – Frequência de distribuição dos resultados de SST nos FB4, 5 e 6 após decantação

O FB3 ($CV_{\text{aplic}} = 2,5 \text{ KgDQO/m}^3.\text{d}$; $CH_{\text{aplic}} = 27,6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$), apresentou o menor valor médio de SST, e atendeu em 100% dos resultados o padrão de lançamento nacional mais exigente (< 60 mgSST/L). O mesmo FB atendeu em 85% dos casos o padrão de lançamento internacional mais restrito (CEE < 35 mgSST/L), conforme Figura 5.13.

Os diagramas de caixas ou “*boxplots*” revelam as tendências centrais e a dispersão dos dados. Na Figura 5.15 pode-se observar os dados relativos ao monitoramento de SST no sistema UASB + FB com etapa de decantação. Os resultados referentes ao desempenho do reator UASB indicam uma pequena dispersão dos dados com ausência de “*outliers*” e conseqüentemente a média próxima da mediana. Desta maneira observa-se uma grande amortização de SST no reator anaeróbio em relação ao esgoto bruto, cabendo aos FBs o papel de polimento do efluente final.

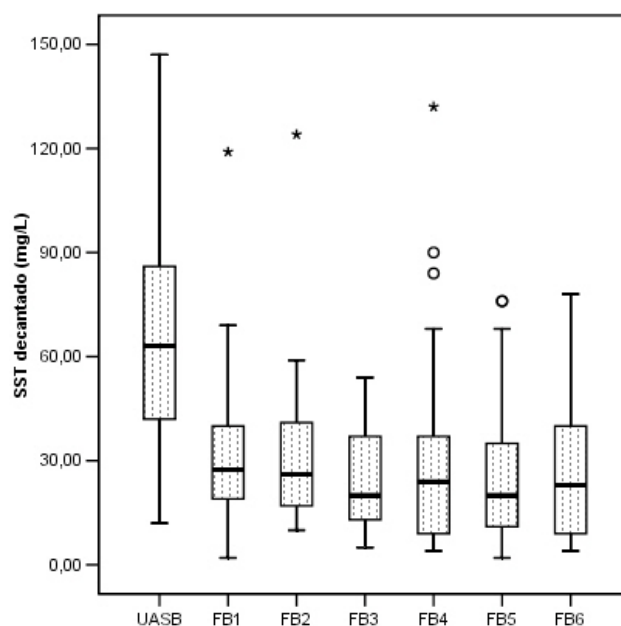


Figura 5.15 – Monitoramento da concentração de SS no efluente do sistema UASB + FB com decantação

A dispersão apresentada nos resultados de SS dos efluentes dos FBs pode ser explicada por algum erro de amostragem (procedimento de coleta) ou de desprendimento de sólidos em excesso do biofilme.

Nascimento et al., (2001) ao estudarem um sistema do tipo UASB + FB também encontraram um efluente final de excelente qualidade, com concentrações médias de SST abaixo de 30 mg/L, porém operando com taxas de aplicação hidráulica e cargas orgânicas volumétricas variando de 6,8 a 17,1 m³/m².d, 1,0 a 2,7 KgDQO/m³.d e 0,7 a 1,4 KgDBO/m³.d, ou seja, valores abaixo dos testados nesta pesquisa.

Valores próximos a estes foram encontrados também por Aisse (2001), que monitorou um sistema piloto UASB + FB de alta taxa, operando com taxas hidráulicas de 20 m³/m².d (Fase I) e 30 m³/m².d (Fase II). Na fase II, o efluente do decantador apresentou valores de 81 ± 18 mgO₂/L, 18 ± 11 mgO₂/L e 24 ± 9 mg/L, respectivamente para a DQO, DBO₅ e SST. A eficiência do sistema foi de 78%, 88% e 84% para os parâmetros citados.

As eficiências dos FBs, para efluente decantado, na remoção de SST variaram de 51 a 64%, enquanto que as eficiências dos sistemas UASB + FBs com decantação foram de 92 a 94%.

Como era de se esperar a decantação do efluente dos FBs proporcionou uma melhora significativa na qualidade do efluente final.

Efluente sem decantação:

De acordo com a série histórica de SST as concentrações médias dos efluentes dos FBs sem decantação variaram de 40 a 52 mg/L. Comparando-se o valor médio do afluente, UASB = 67 mgSST/L, pode se dizer que os FBs mesmo sem a etapa de decantação promoveram um polimento complementar em relação à concentração de sólidos suspensos.

Durante todo o monitoramento, o efluente dos FBs apresentou aparência clarificada apesar da concentração de SST remanescente.

A concentração média de SST no efluente foi de 47, 52, 40, 48, 44 e 48 mg/L nos FB1, 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente.

Os FBs operaram sob cargas hidráulicas de 47,2 m³/m².d para o FB1; 34,8 m³/m².d para o FB2; 27,6 m³/m².d para o FB3; 17,4 m³/m².d para o FB4; 12,6 m³/m².d para o FB5 e 8,9 m³/m².d para o FB6.

Na Tabela 5.4 pode se observar uma grande dispersão dos valores em torno da média, representada pelos altos coeficientes de variação (CV), o que pode ser explicado pela variação das concentrações de SST do afluente, tipicamente de reatores UASB, e também erros nos procedimentos de coleta, visto que o efluente era coletado após uma breve mistura do material decantado nos reservatórios de coleta.

Novamente pode-se observar que o FB3 apresentou o melhor desempenho na remoção de SST obtendo-se um efluente com uma média de 40 mgSST/L.. O FB3 operou com uma $CV_{aplic} = 2,5 \text{ KgDQO/m}^3.d$; $CH_{aplic} = 27,6 \text{ m}^3/\text{m}^2.d$, conduzido ser esta a faixa ótima de operação para filtros biológicos percoladores aplicados no pós-tratamento de UASB.

Os valores de SST nos efluentes sem decantação apresentaram, em 80% dos casos, $SST < 60,0 \text{ mg/L}$. Estes valores estão em conformidade com a maioria dos padrões nacionais de lançamento, atendendo as legislações de Vitória (COMDEMA $< 100 \text{ mgSST/L}$), Paraná ($< 60 \text{ mgSST/L}$), Rio G. do Sul ($40 < SST < 120 \text{ mg/L}$), Minas Gerais (méd < 60 e max $< 100 \text{ mgSST/L}$), conforme pode ser visto na Figura 5.16 e na Figura 5.17.

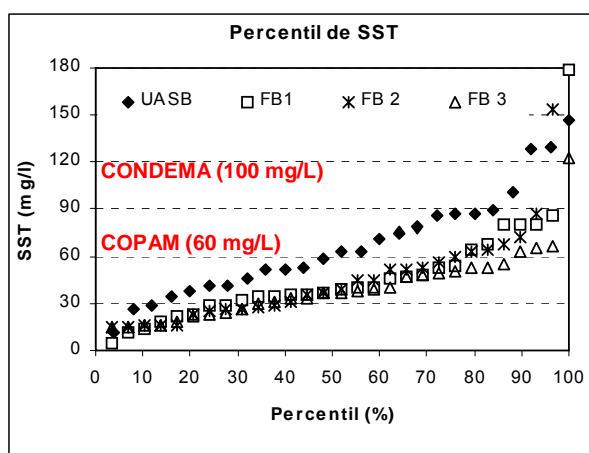


Figura 5.16 – Freqüência de distribuição dos resultados de SST nos FB1, 2 e 3 efluente sem decantação

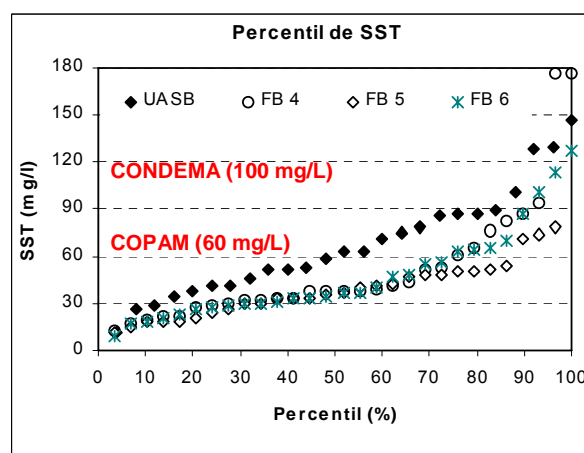


Figura 5.17 – Freqüência de distribuição dos resultados de SST nos FB4, 5 e 6 efluente sem decantação

Em 95% dos resultados apresentados se obteve um efluente com concentração de SST < 90 mg/L (Figura 5.16 e Figura 5.17).

As eficiências médias de remoção de SST nos sistemas UASB+BF sem decantação variaram de 87 a 90%.

Os diagramas de caixas ou “*boxplots*” revelam as tendências centrais e a dispersão dos dados. Na Figura 5.18 pode-se observar os dados relativos ao monitoramento de SST no sistema UASB + FB sem etapa de decantação. Os resultados referentes ao desempenho do reator UASB indicam uma pequena dispersão dos dados com ausência de “*outliers*” e consequentemente a média próxima da mediana. Desta maneira observa-se uma grande amortização de SST no reator anaeróbio em referência ao esgoto bruto, cabendo aos FBs o papel de polimento do efluente final.

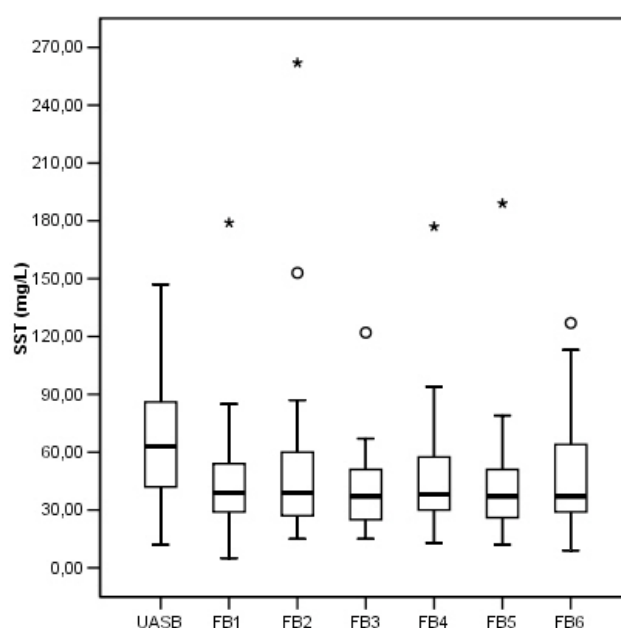


Figura 5.18 – Monitoramento da concentração de SST no efluente do sistema UASB + FB sem decantação

Observa-se que em relação ao teor de SST de entrada (67 mg/L) os FBs quando operados sem a etapa de decantação possuem uma baixa eficiência na remoção de sólidos, o que demonstra que o processo de remoção de sólidos ocorre na etapa de decantação.

Apesar de não apresentarem etapa de decantação e estarem submetidos a elevadas cargas hidráulicas variando de 8,9 a 47,2 m³/m².d, os FBs produziram um efluente com relativa redução da concentração de sólidos suspensos totais (SST). Tal fato atesta a aplicabilidade de filtros biológicos percoladores sem etapa de clarificação no pós-tratamento de UASB, principalmente pela simplicidade operacional e baixo custo.

De uma maneira geral os valores obtidos nos FBs sem decantação apresentaram uma maior dispersão dos dados do que os dos sistemas com decantação. Isto pode ser explicado pelo tipo específico de lodo biológico e sua decantabilidade ou erros nos procedimentos de mistura dos sólidos, coleta e análise laboratorial.

Filtros biológicos de alta taxa tendem a formar um biofilme mais espesso e produzem um lodo mais leve (menos digerido) e os filtros de baixa e taxa intermediária tendem a produzir um biofilme mais fino e um lodo mais denso (mais digerido, menor a relação de SV/ST). Tal fato pode explicar os maiores valores de SST encontrados nos filtros de alta taxa, tanto para o sistema com decantação quanto para o de sem decantação.

5.2.2 Remoção de matéria carbonácea na forma de DQO

5.2.2.1 Monitoramento de DQO no efluente decantado

Os resultados apresentados nas Figura 5.19 a Figura 5.24 retratam o monitoramento de um período de 200 dias em relação à concentração de DQO do efluente de um sistema UASB + FB com decantação secundária.

Os reservatórios de coleta de efluente final foram utilizados como decantador e o tempo médio de decantação foi de até 12 horas.

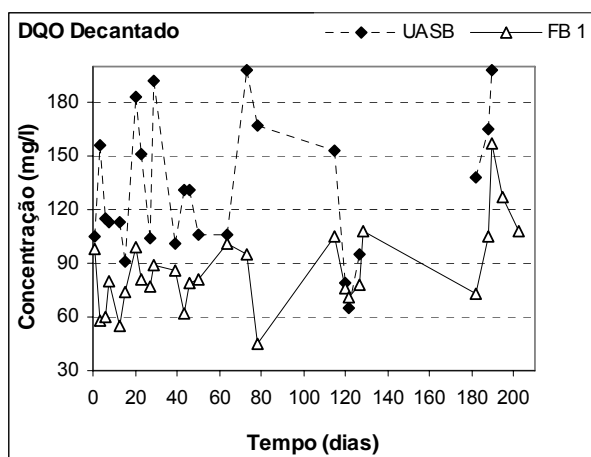


Figura 5.19 – Concentrações de DQO no efluente do FB1 após decantação secundária

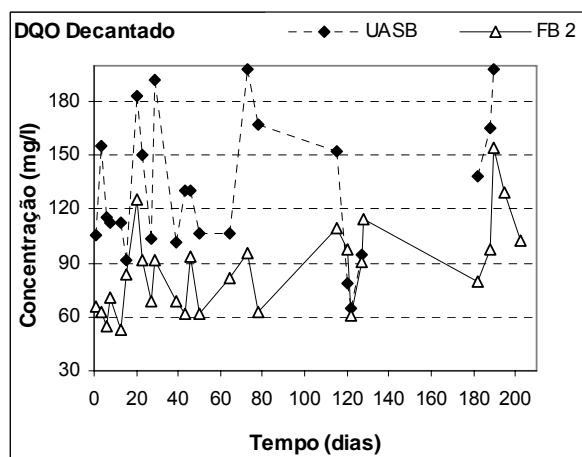


Figura 5.20 – Concentrações de DQO no efluente do FB2 após decantação secundária

O afluente aos FBs apresentou uma concentração média de DQO de 137 mgO₂/L e um valor mínimo de 65 mgO₂/L e um valor máximo de 225 mgO₂/L.

Os filtros biológicos percoladores (FB1 e FB2) operaram sob condições elevadas de cargas orgânica e hidráulica. O FB1 operou em média com uma $CV_{aplic} = 4,5$ KgDQO/m³.d; $CH_{aplic} = 47,2$ m³/m².d e o FB2 com uma carga média de $CV_{aplic} = 3,2$ KgDQO/m³.d; $CH_{aplic} = 34,8$ m³/m².d.

Os efluentes dos FB1 e 2, com decantação, apresentaram ambos uma concentração média de DQO de 86 mgO₂/L.

A concentração de DQO no efluente do FB1 variou de 45 a 157 mgO₂/L (DQO) e a do FB2 entre 53 a 154 mgO₂/L (DQO) (Figura 5.19 e Figura 5.20).

Os resultados obtidos no monitoramento do FB3 apresentaram uma concentração média de DQO de 79 mgO₂/L. O valor mínimo de DQO observado no efluente do FB3 foi de 45 mgO₂/L e o valor máximo de 201 mgO₂/L (Figura 5.21).

Entre os FBs testados o FB3 apresentou o maior valor máximo de DQO e a maior dispersão entre os resultados. Isto pode ser explicado por algum erro de amostragem ou laboratorial, ou pela inconsistência do efluente produzido.

A concentração média de DQO no efluente do FB4 foi de 71 mgO₂/L, variando entre 40 e 165 mgO₂/L (Figura 5.22). A carga hidráulica operacional neste FB foi de 17,4 m³/m².d.

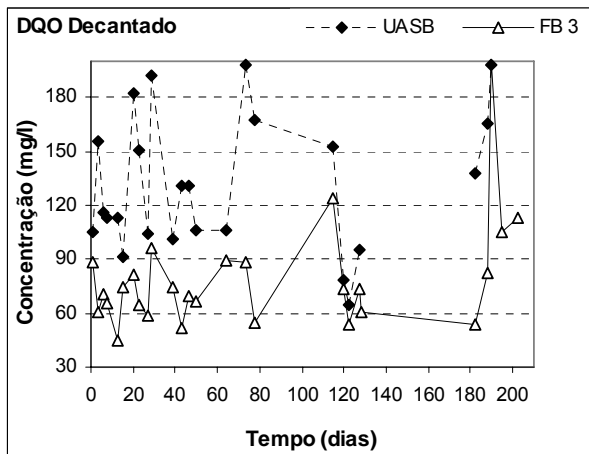


Figura 5.21 – Concentrações de DQO no efluente do FB3 após decantação secundária

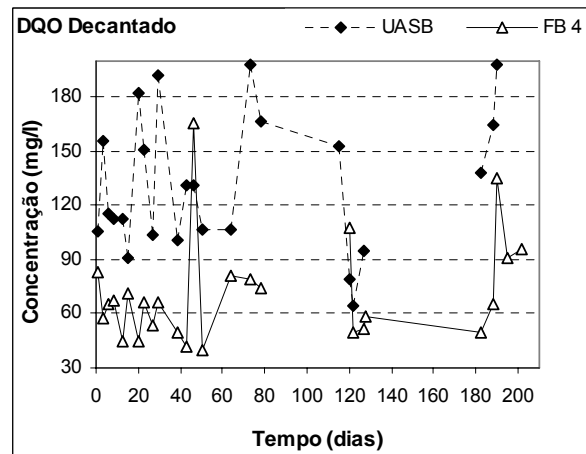


Figura 5.22 – Concentrações de DQO no efluente do FB4 após decantação secundária

É importante ressaltar que durante o período da pesquisa buscou-se manter as condições operacionais (vazão e cargas orgânicas e volumétricas), entretanto em alguns momentos isto não foi possível.

As concentrações de DQO nos efluentes com decantação dos FB5 e FB6 foram de 62 e 58 mgO₂/L, respectivamente (Figura 5.23 e Figura 5.24). Estes filtros operaram sob condições moderadas de carga hidráulica: 12,6 e 8,9 m³/m².dia, nesta ordem.

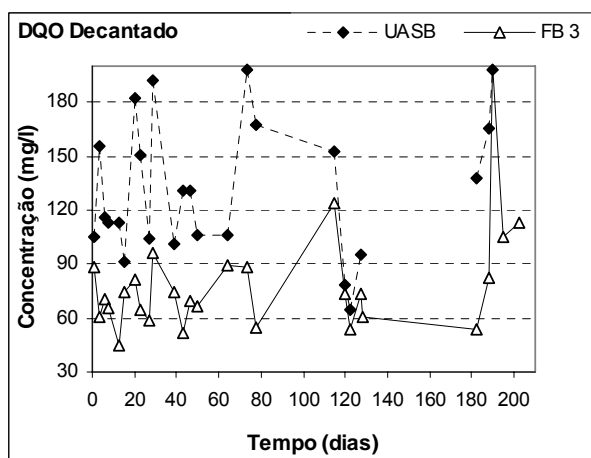


Figura 5.23 – Concentrações de DQO no efluente do FB5 após decantação secundária

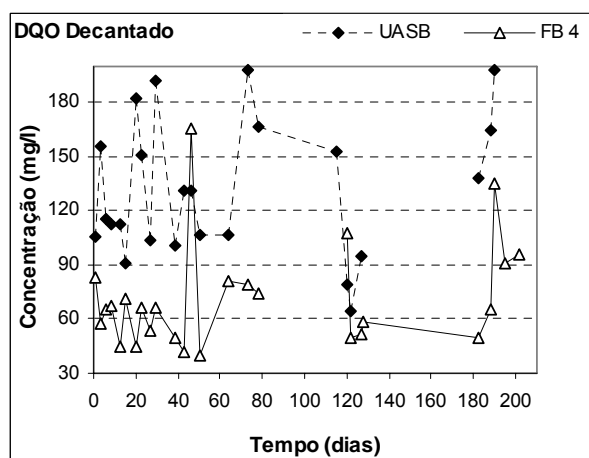


Figura 5.24 – Concentrações de DQO no efluente do FB6 após decantação secundária

O FB6 apresentou um efluente com 58 mgO₂/L de DQO, a menor concentração entre os FBs pesquisados (Tabela 5.5).

Tabela 5.5 – Valores médio de entrada e saída de DQO no efluente decantado dos FBs

Parâmetro		UASB	FB1	FB2	FB3	FB4	FB5	FB6
DQO mgO ₂ /L	n	26	26	26	26	25	26	26
	média	137	86	86	79	71	62	58
	desvio padrão	42	24	26	31	29	24	24
	máximo	225	157	154	201	165	137	136
	mínimo	65	45	53	45	40	27	24
	CV	0,31	0,28	0,30	0,39	0,41	0,39	0,41

As eficiências globais dos sistemas com etapa de decantação na remoção de DQO foram de 78%, 78%, 80%, 82%, 84% e 85% nos respectivos FB1, FB2, FB3, FB4, FB5 e FB6. O esgoto bruto afluente ao sistema apresentou uma DQO de 388 ± 186 mgO₂/L, e o efluente do reator UASB uma DQO de 137 ± 42 mgO₂/L.

Na Tabela 5.5 observa-se que as maiores concentrações de DQO foram obtidas nos efluentes dos FB1 e FB2. Nestes sistemas a eficiência global na remoção de matéria carbonácea foi de 78%.

Embora o reator UASB (afluente ao FBs) tenha apresentado eficiências consideráveis em termos de remoção de DQO, aproximadamente 65%, foi observado que o filtro biológico promove uma remoção complementar de matéria carbonácea, elevando a eficiência global do sistema UASB + FB com decantação secundária para valores em torno de 80%.

5.2.2.2 Monitoramento de DQO no efluente sem decantação

Os resultados apresentados a seguir retratam o monitoramento do efluente de um sistema UASB + FB sem decantação secundária com relação à concentração de DQO.

As amostras eram preparadas agitando-se os efluentes dos FBs de modo que os sólidos decantados fossem misturados a amostra líquida.

No período monitorado o FB1 operou com uma CH_{aplic} média de $47,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; o FB2 com de $34,8 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; o FB3 com $27,6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; o FB4 com $17,4 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; o FB5 com $12,6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; e o FB6 com $8,9 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$.

Embora mencionado anteriormente, observa-se que o afluente aos FBs apresentou uma concentração média de $137 \text{ mgO}_2/\text{L}$ (DQO) e uma variação de 65 a $225 \text{ mgO}_2/\text{L}$ (DQO).

A concentração média de DQO no efluente do FB1 foi de $113 \text{ mgO}_2/\text{L}$ e do FB2 de $107 \text{ mgO}_2/\text{L}$, estes filtros operaram sob as maiores cargas orgânicas e hidráulicas.

O FB1 apresentou um efluente com uma concentração de DQO variando entre 69 e $198 \text{ mgO}_2/\text{L}$ (Figura 5.25) e o FB2 entre 59 e $190 \text{ mgO}_2/\text{L}$ (Figura 5.26).

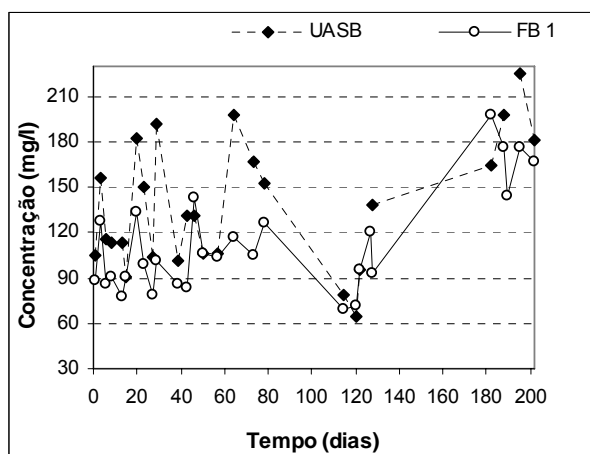


Figura 5.25 – Concentrações de DQO no efluente sem decantação do FB1

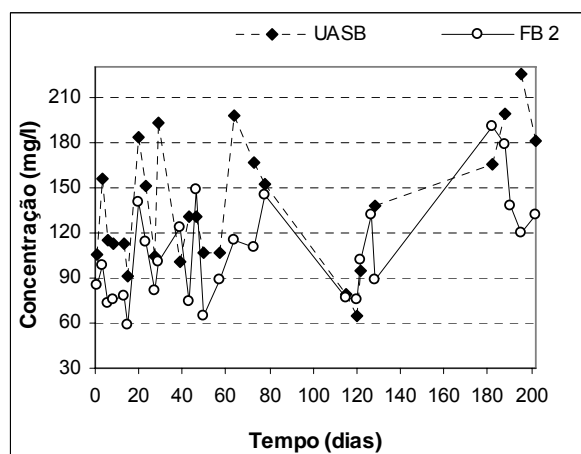


Figura 5.26 – Concentrações de DQO no efluente sem decantação do FB2

Entre os FBs testados, o FB1 - sem etapa de decantação - apresentou a maior concentração média de DQO ($113 \text{ mgO}_2/\text{L}$).

O FB3 apresentou valores bem próximos ao FB2, com uma concentração média de 107 mgO₂/L (DQO). O valor máximo de DQO no FB3 foi de 210 mgO₂/L e os resultados apresentaram um desvio padrão de 35 mgO₂/L (Figura 5.27).

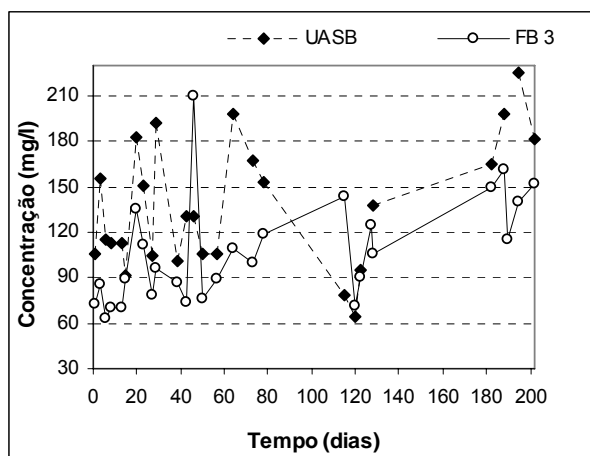


Figura 5.27 – Concentrações de DQO no efluente sem decantação do FB3

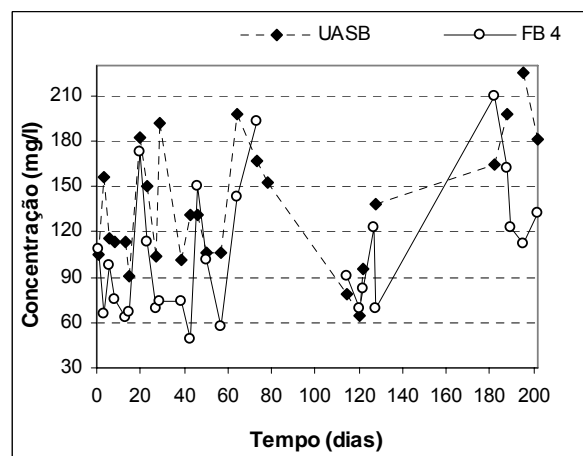


Figura 5.28 – Concentrações de DQO no efluente sem decantação do FB4

A concentração média de DQO no efluente sem decantação do FB4 foi de 105 mgO₂/L, variando entre 49 e 210 mgO₂/L (Figura 5.28). A carga hidráulica operacional do FB4 foi de 17,4 m³/m².d.

As concentrações de DQO nos efluentes não decantados dos FB5 e FB6 foram de 94 e 84 mgO₂/L, respectivamente (Figura 5.29 e Figura 5.30). Estes filtros operaram sob condições moderadas de carga hidráulica: 12,6 e 8,9 m³/m².dia, nesta ordem.

Dos resultados obtidos o FB6 ($CV_{aplic} = 0,8$ KgDQO/m³.d; $CH_{aplic} = 8,9$ m³/m².d) novamente apresentou o melhor desempenho na remoção de matéria carbonácea (efluente final com 84 mgO₂/L). Dentre as condições testadas o FB6 operou com as menores cargas orgânica e hidráulica.

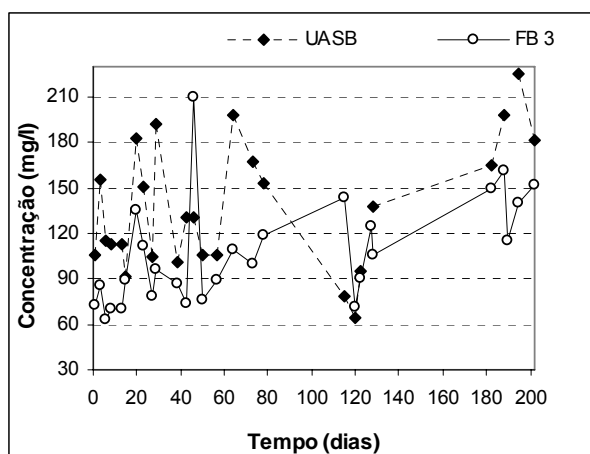


Figura 5.29 – Concentrações de DQO no efluente sem decantação do FB5

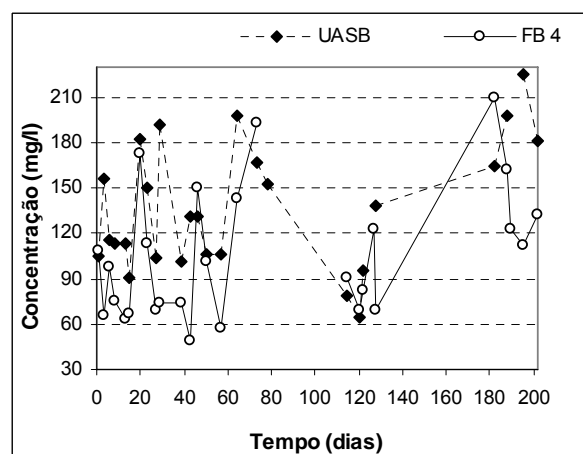


Figura 5.30 – Concentrações de DQO no efluente sem decantação do FB6

Apesar de não apresentarem etapa de decantação e estarem submetidos a elevadas cargas orgânicas volumétricas variando entre 4,5 e 0,8 KgDQO/m³.dia, os FBs produziram um efluente com relativa redução da concentração de SST e de matéria carbonácea.

A Tabela 5.6 apresenta as concentrações médias de DQO nos efluentes dos FBs pesquisados, considerando um sistema de UASB+FB sem etapa de decantação secundária.

Tabela 5.6 – Valores médio de entrada e saída de DQO no efluente sem decantação dos FBs

Parâmetro		UASB	FB1	FB2	FB3	FB4	FB5	FB6
DQO mgO ₂ /L	n	26	28	28	28	27	27	27
	média	137	113	107	107	105	94	84
	desvio padrão	42	34	34	35	44	35	26
	máximo	225	198	190	210	210	180	131
	mínimo	65	69	59	63	49	40	42
	CV	0,31	0,30	0,32	0,33	0,42	0,37	0,31

As eficiências globais dos sistemas na remoção de DQO sem etapa decantação foram: 71%, 72%, 72%, 73%, 76% e 78% respectivamente nos FB1, FB2, FB3, FB4, FB5 e FB6.

Mesmo sem a etapa de decantação secundária, observou-se que o filtro biológico promove uma remoção complementar de matéria carbonácea, elevando a eficiência global do sistema UASB + FB para valores em torno de 75.

5.2.2.3 Discussão dos resultados de DQO

Efluente Decantado:

De acordo com a série histórica de DQO as concentrações médias dos efluentes dos FBs com decantação secundária foi da ordem de 58 a 86 mgO₂/L. Pode-se dizer que os FBs promoveram uma remoção adicional de DQO tendo em vista que o afluente aos FBs apresentou uma concentração média de DQO de 137 ± 42 mgO₂/L..

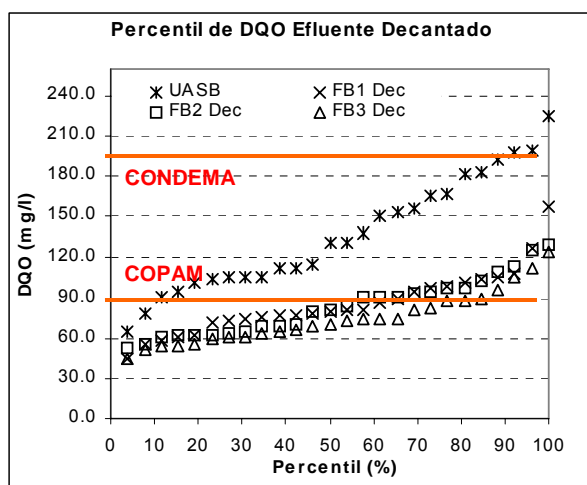


Figura 5.31 – Frequência de distribuição dos resultados de DQO nos efluentes dos FB1, 2 e 3 com etapa de decantação

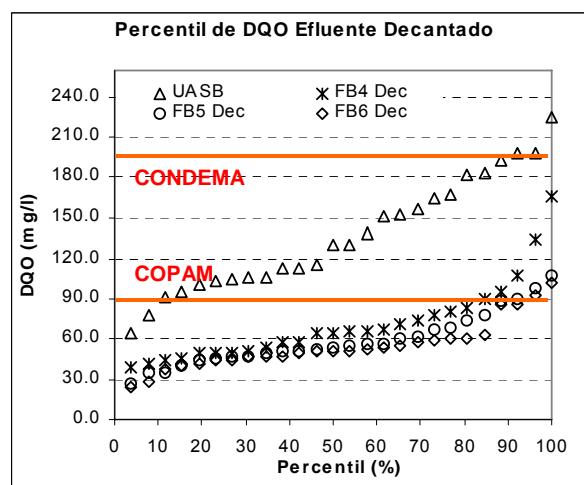


Figura 5.32 – Frequência de distribuição dos resultados de DQO nos efluentes dos FB4, 5 e 6 com etapa de decantação

O efluente decantado apresentou elevada eficiência na remoção de DQO produzindo um efluente com concentrações médias de DQO ≤ 120,0 mgO₂/L e SST ≤ 60 mg/L (Figura 5.31 e Figura 5.32). Esta observação se aplica mesmo aos FBs submetidos a cargas hidráulicas variando de 8,9 a 47,2 m³/m².dia.

Os efluentes com etapa de decantação secundária apresentaram, em 85% dos casos, uma DQO < 90,0 mgO₂/L. Estes valores estão em conformidade com a maioria dos padrões nacionais de lançamento, atendendo as legislações de Vitória (COMDEMA < 200 mgO₂/L), Paraná (< 150 mgO₂/L), Rio G. do Sul (100 < DQO < 360 mgO₂/L), Minas Gerais (< 90 mgO₂/L) e até mesmo ao padrão internacional da CEE < 125,0 mgO₂/L, conforme pode ser visto na Figura 5.31 e na Figura 5.32.

Em 100% dos resultados apresentados se obteve um efluente com concentração de DQO < 120 mgO₂/L.

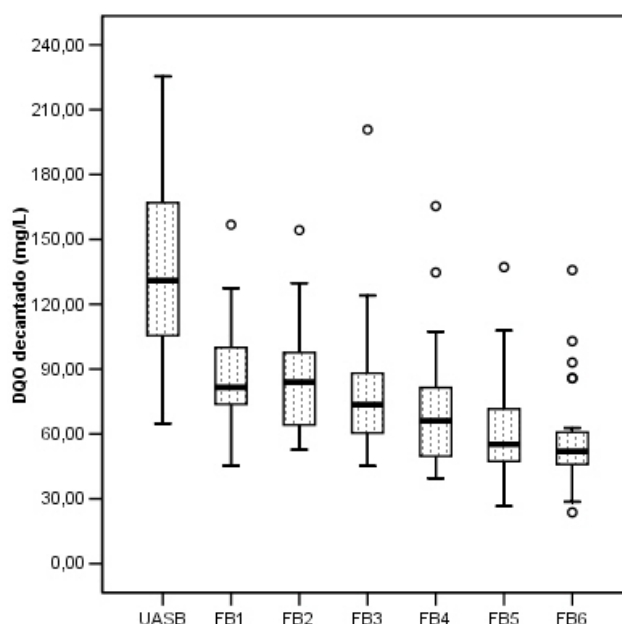


Figura 5.33 – Monitoramento da concentração de DQO no efluente do sistema UASB + FB com decantação

Os diagramas de caixas ou “*boxplots*” revelam as tendências centrais e a dispersão dos dados. Na Figura 5.33 pode-se observar os dados relativos ao monitoramento de DQO no sistema UASB + FB com etapa de decantação. Os resultados referentes ao desempenho do reator UASB indicam uma dispersão dos dados com ausência de “*outliers*” e conseqüentemente a média próxima da mediana. Desta maneira observa-se uma grande amortização de DQO no reator anaeróbico em relação ao esgoto bruto, cabendo aos FBs o papel de polimento do efluente final.

O FB1 apesar das elevadas cargas orgânica e hidráulica apresentou efluentes mais consistentes com uma pequena dispersão dos resultados.

Dentre os resultados obtidos o FB6 ($CV_{aplic} = 0,8 \text{ KgDQO/m}^3\cdot\text{d}$; $CH_{aplic} = 8,9 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$) apresentou o melhor desempenho na remoção de matéria carbonácea. O efluente deste filtro apresentou uma concentração média de $58 \text{ mgO}_2/\text{L}$ (DQO).

Nascimento et al. (2001) também encontraram as maiores eficiências de remoção de matéria orgânica e os efluentes de melhor qualidade em filtros biológicos operando com taxas hidráulica de 6,8 a $17,1 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ e cargas orgânicas volumétricas de 1,0 a $2,7 \text{ KgDQO/m}^3\cdot\text{d}$ e 0,7 a $1,4 \text{ Kg DBO/m}^3\cdot\text{d}$. Para estas condições operacionais o FB produziu um efluente com concentração média de 90 mgDQO/L e 30 mgDBO/L .

Valores próximos a estes também foram encontrados por Aisse (2001), que monitorou um sistema piloto UASB + FB de alta taxa, operando com taxas hidráulicas de $20 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ (Fase I) e $30 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ (Fase II). Na fase II, o efluente do decantador apresentou valores de $81 \pm 18 \text{ mgO}_2/\text{L}$, $18 \pm 11 \text{ mgO}_2/\text{L}$ e $24 \pm 9 \text{ mg/L}$, respectivamente para a DQO, DBO_5 e SST. A eficiência do sistema foi de 78%, 88% e 84% para os parâmetros citados.

Os resultados da ETE Caçadores (57.618 habitantes, Cambé/PR) obtidos por Aisse (2001) relatam um efluente final com concentrações média de $100 \text{ mgO}_2/\text{L}$ (DQO) e $24 \text{ mgO}_2/\text{L}$ (DBO_5) e eficiências de 84% para a DQO e 93% para a DBO_5 .

Os piores resultados foram observados nos FB1 e FB2. O efluente final do FB1 apresentou uma concentração média de DQO de $113 \text{ mgO}_2/\text{L}$, o mesmo foi observado por Nascimento et al. (2001) onde as menores eficiências e piores qualidades foram obtidas para FB exposto a taxas de aplicação hidráulica de 20,4 a $30,6 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ e cargas orgânicas volumétricas de 3,7 a $5,6 \text{ Kg KgDQO/m}^3\cdot\text{d}$ e 2,0 a $3,9 \text{ Kg DBO/m}^3\cdot\text{d}$. Nestas condições obteve-se um efluente final com concentrações médias de DQO também de $113 \text{ mgO}_2/\text{L}$.

Efluente sem decantação:

De acordo com a série histórica de DQO as concentrações médias dos efluentes dos FBs sem decantação secundária foi da ordem de 84 a 113 mgO₂/L.. Pode-se dizer que os FBs promoveram uma remoção adicional de DQO tendo em vista que o afluente apresentou uma concentração média de DQO de 137 ± 42 mgO₂/L.

Dentre os filtros testados sem etapa de decantação, os que produziram efluentes de melhor qualidade foram os FB5 e FB6, cujas cargas orgânicas volumétricas são de 1,1 e 0,8 KgDQO/m³.dia e CH_{aplic} de 12,6 e 8,9 m³/m³.d., respectivamente. Estes filtros apresentaram efluentes com concentrações médias de DQO < 94 mgO₂/L e SST < 48 mg/L.

Os teores de DQO próximos de 90 mgO₂/L atestam o satisfatório nível de estabilização do efluente final dos FB5 a FB6. No caso do FB6, submetido à carga volumétrica variando de 0,4 a 0,8 kg DQO/m³.dia e CH_{aplic} média de 8,9 m³/m².d, 80% das amostras de efluente não decantado apresentaram concentração final de DQO inferior a 120 mgO₂/L (Figura 5.35).

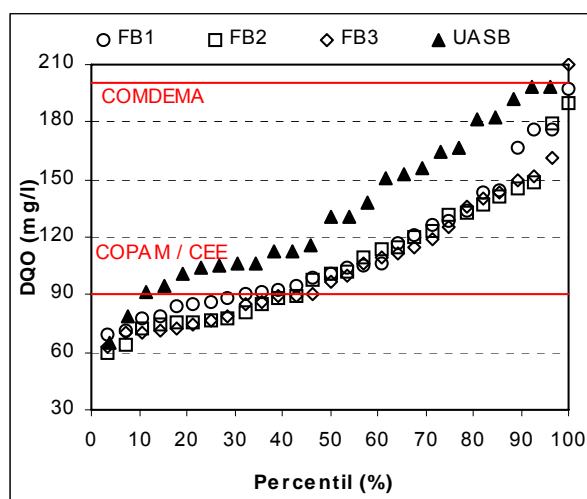


Figura 5.34 – Frequência de distribuição dos resultados de DQO nos efluentes dos FB1, 2 e 3 sem decantação secundária

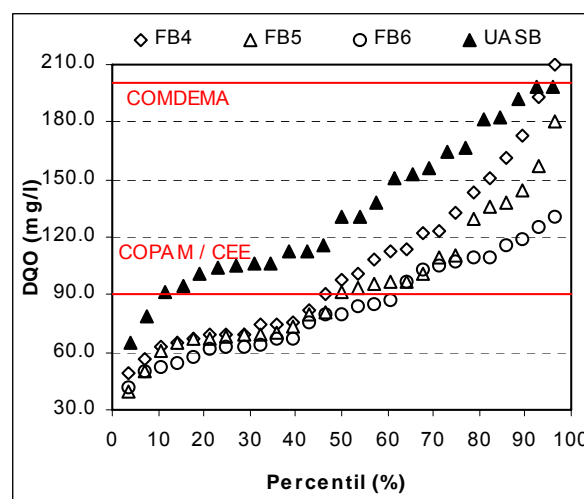


Figura 5.35 – Frequência de distribuição dos resultados de DQO nos efluentes dos FB4, 5 e 6 sem decantação secundária

O efluente não decantado apresentou relativa eficiência na remoção de DQO produzindo um efluente com concentrações médias de DQO $\leq 120,0$ mgO₂/L e SST ≤ 60 mg/L. Esta observação se aplica mesmo aos FBs submetidos a cargas variando de 0,8 a 4,5 kg DQO/m³.dia e de 8,9 a 47,2 m³/m².d.

Os efluentes de FBs sem etapa de decantação não atendem aos padrões estabelecidos pelo COPAM e CEE, entretanto 95% dos resultados atendem ao padrão de DQO estabelecido pelo COMDEMA (Vitória/ES) com teores de DQO < 200 mgO₂/L, Paraná (< 150 mgO₂/L) e Rio G. do Sul (100 < DQO < 360 mgO₂/L), conforme apresenta-se na Figura 5.34 e Figura 5.35.

Os efluentes dos FBs sem decantação apresentaram concentrações menores do que os valores característicos de sistemas de lagoas de estabilização, podendo ser utilizado nas localidades que permitem este tipo de tratamento.

Dentre os resultados obtidos, o FB6 ($CV_{aplic} = 0,8$ KgDQO/m³.d; $CH_{aplic} = 8,9$ m³/m².d) apresentou o melhor desempenho na remoção de matéria carbonácea. O efluente deste filtro apresentou uma concentração média de 84 mgO₂/L (Figura 5.36).

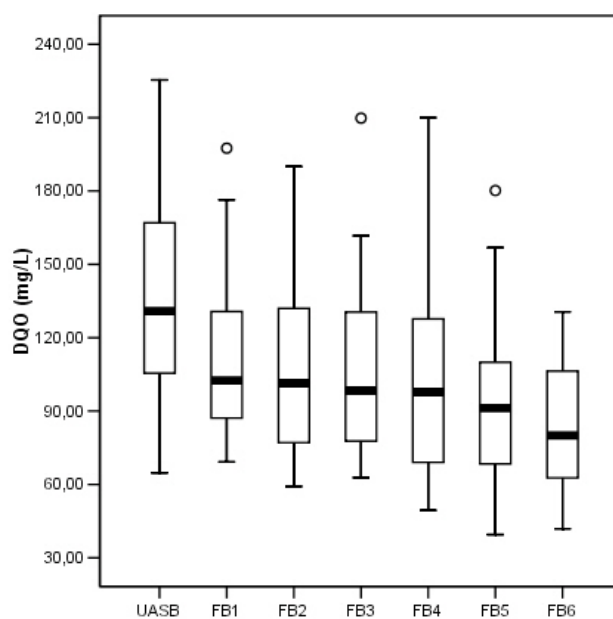


Figura 5.36 – Monitoramento da concentração de DQO no efluente do sistema UASB + FB sem decantação secundária

Os diagramas de caixas ou “*boxplots*” revelam as tendências centrais e a dispersão dos dados. Na Figura 5.36 pode-se observar os dados relativos ao monitoramento de DQO no sistema UASB + FB sem etapa de decantação. Os resultados referentes ao desempenho do reator UASB indicam uma dispersão dos dados com ausência de “*outliers*” e conseqüentemente a média próxima da mediana. Desta maneira observa-se uma grande amortização de DQO no reator anaeróbio em relação ao esgoto bruto, cabendo aos FBs o papel de polimento do efluente final.

O FB1 apesar das elevadas cargas orgânica e hidráulica apresentou efluentes mais consistentes com uma pequena dispersão dos resultados.

De uma maneira geral os valores obtidos nos FBs sem decantação apresentaram uma maior dispersão dos dados do que os dos sistemas com decantação. Isto pode ser explicado pelo tipo específico de lodo biológico e sua decantabilidade ou erros nos procedimentos de mistura dos sólidos, coleta e análise laboratorial.

5.2.3 Remoção de matéria carbonácea solúvel na forma de DQO_{filtrada}

5.2.3.1 Monitoramento de DQO_{filtrada}

Os resultados apresentados abaixo retratam o monitoramento operacional de 200 dias em relação à concentração de DQO filtrada do efluente de um sistema UASB + FB sem etapa de decantação secundária.

Não foi monitorada a DQO filtrada do efluente decantado, tendo em vista que a DQO filtrada não se altera em função do compartimento de decantação.

A análise de DQO filtrada é similar a DQO total, entretanto a amostra é filtrada por uma membrana para eliminação dos sólidos suspensos.

A concentração média de $DQO_{filtrada}$ do afluente aos FBs foi de $68 \text{ mgO}_2/\text{L}$. Este valor encontra-se um pouco abaixo dos resultados encontrados por outros autores: Veronez (2001) ao estudar o mesmo UASB encontrou uma $DQO_{filtrada}$ de $95 \text{ mgO}_2/\text{L}$ e Bauer (2003) observou uma $DQO_{filtrada}$ média de $85 \text{ mgO}_2/\text{L}$.

O efluente do FB1 apresentou uma concentração média de $DQO_{filtrada}$ de $58 \text{ mgO}_2/\text{L}$ e o FB2 de $62 \text{ mgO}_2/\text{L}$ (Figura 5.37 e Figura 5.38). A carga hidráulica média operacional destes filtros foi de $47,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ e de $34,8 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, respectivamente para os FB1 e FB2.

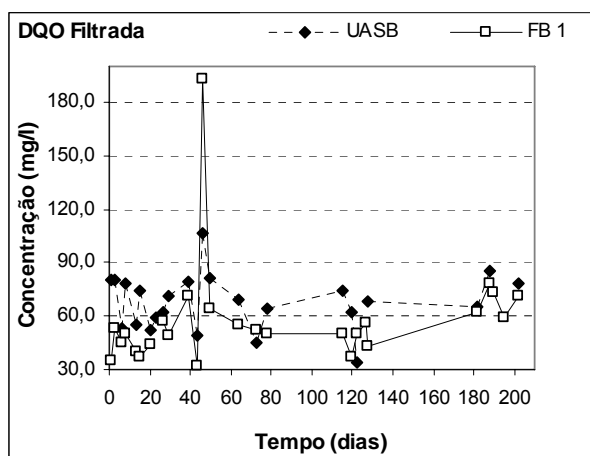


Figura 5.37 – Concentrações de $DQO_{filtrada}$ no efluente do FB1

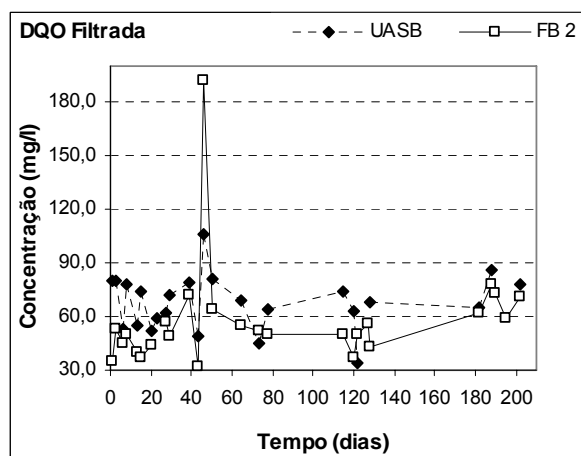


Figura 5.38 – Concentrações de $DQO_{filtrada}$ no efluente do FB2

A maior concentração de $DQO_{filtrada}$ foi observada no efluente do FB2 com uma concentração média de $62 \text{ mgO}_2/\text{L}$.

A concentração média de $DQO_{filtrada}$ no efluente do FB3 foi de $56 \text{ mgO}_2/\text{L}$, variando entre 30 e $117 \text{ mgO}_2/\text{L}$ (Figura 5.39). A carga hidráulica operacional deste FB foi de $27,6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$.

Valores próximos a estes também foram encontrados no FB4 com uma $DQO_{filtrada}$ média de $51 \text{ mgO}_2/\text{L}$ (Figura 5.40).

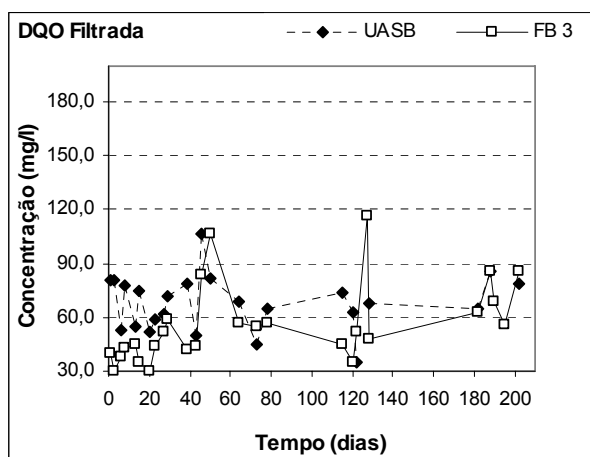


Figura 5.39 – Concentrações de $DQO_{filtrada}$ no efluente do FB3

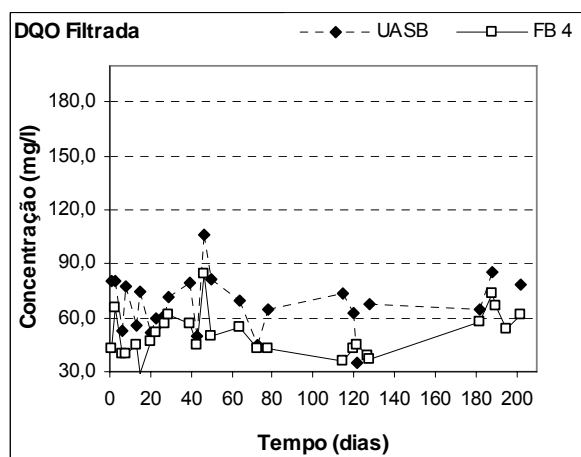


Figura 5.40 – Concentrações de $DQO_{filtrada}$ no efluente do FB4

As concentrações de DQO nos efluentes dos FB5 e FB6 foram de 47 e 43 mgO_2/L , respectivamente (Figura 5.41 e Figura 5.42). Estes filtros operaram sob condições moderadas de carga hidráulica: 12,6 e 8,9 $m^3/m^2.dia$, nesta ordem.

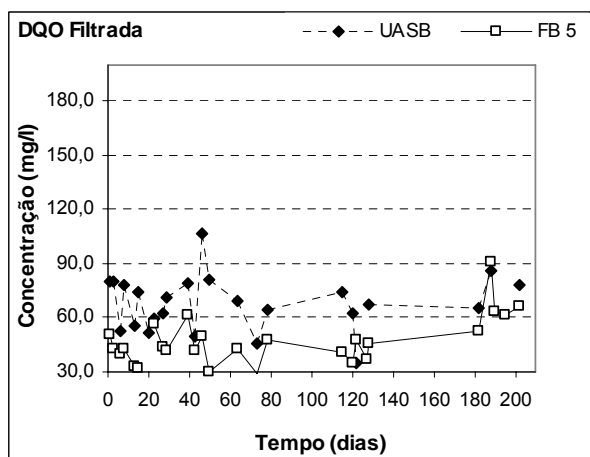


Figura 5.41 – Concentrações de $DQO_{filtrada}$ no efluente do FB5

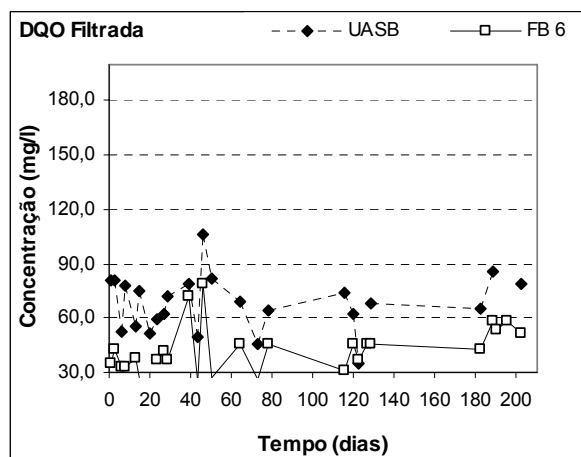


Figura 5.42 – Concentrações de $DQO_{filtrada}$ no efluente do FB6

As eficiências médias dos sistemas na remoção de $DQO_{filtrada}$ foram: 61%, 58%, 62%, 65%, 68% e 71% para os FB1, FB2, FB3, FB4, FB5 e FB6.

Dos resultados obtidos o FB6 ($CV_{aplic} = 0,8 \text{ KgDQO/m}^3\cdot\text{d}$; $CH_{aplic} = 8,9 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$) apresentou o melhor desempenho na remoção de matéria orgânica solúvel (efluente final com $43 \text{ mgO}_2/\text{L}$), Tabela 5.7. Dentre as condições testadas o FB6 operou com as menores cargas orgânica e hidráulica.

Tabela 5.7 – Valores médio de entrada e saída de $DQO_{filtrada}$ no efluente dos FBs

Parâmetro		UASB	FB1	FB2	FB3	FB4	FB5	FB6
DQO _{filtr.} mgO ₂ /L	n	24	26	27	27	27	26	26
	média	68	58	62	56	51	47	43
	desvio padrão	15	30	30	22	12	14	13
	máximo	106	193	193	117	84	91	79
	mínimo	35	32	31	30	30	29	25
	CV	0,22	0,52	0,48	0,39	0,24	0,30	0,30

5.2.3.2 Discussão dos resultados de $DQO_{filtrada}$

De acordo com a série histórica de $DQO_{filtrada}$ as concentrações médias dos efluentes dos FBs foi da ordem de 43 a $62 \text{ mgO}_2/\text{L}$. Pode-se dizer que os FBs promoveram uma remoção adicional, embora pequena, de $DQO_{filtrada}$ tendo em vista que o afluente aos FBs apresentou uma concentração média de $DQO_{filtrada}$ de $68 \pm 15 \text{ mgO}_2/\text{L}$.

Em todos os FBs pesquisados a concentração de $DQO_{filtrada}$ foi abaixo de $90 \text{ mgO}_2/\text{L}$ e observa-se uma tendência similar para as concentrações de DQO em todos os FBs (Figura 5.43 e Figura 5.44).

Os resultados monitorados mostram que independentemente das condições operacionais de cargas orgânica e hidráulica, todos os FBs obtiveram uma $DQO_{filtrada}$ entre 30 a $90 \text{ mgO}_2/\text{L}$.

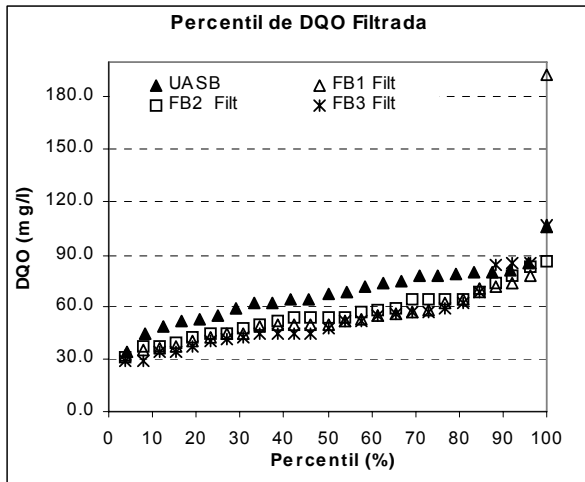


Figura 5.43 – Frequência de distribuição dos resultados de DQO_{filtrada} no efluente dos FB1, 2 e 3

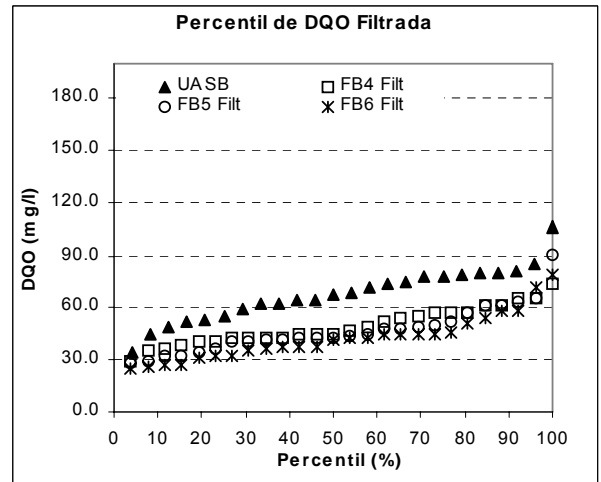


Figura 5.44 – Frequência de distribuição dos resultados de DQO_{filtrada} no efluente dos FB4, 5 e 6

Conforme pode ser visto na Figura 5.45 há uma clara tendência de concentrações menores de DQO_{filtrada} nos FB de cargas menores. Observa-se que nestas condições estes FBs atuaram diretamente na DQO solúvel presente no esgoto a ser tratado.

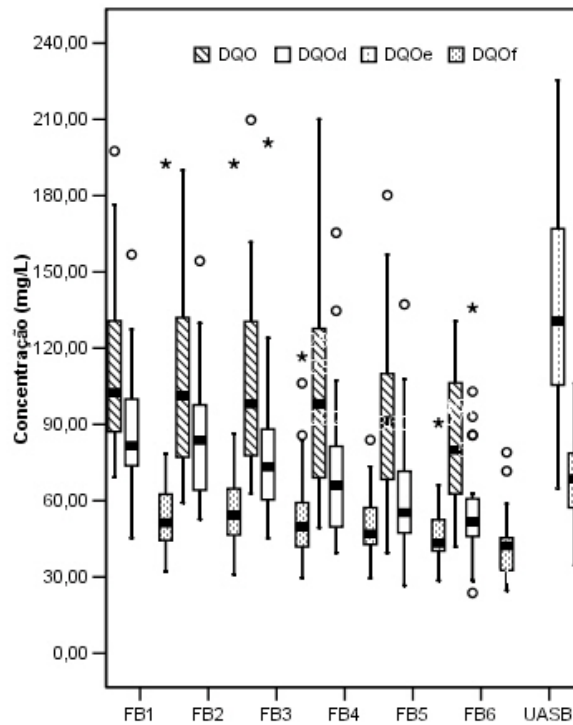


Figura 5.45 – Comparação entre as DQOs monitoradas nos efluentes dos sistemas UASB + FBs com e sem decantação

5.2.4 Monitoramento de oxigênio dissolvido (O.D) no efluente dos FBs

As medições de oxigênio dissolvido foram realizadas em campo através do equipamento oxímetro. As amostras coletadas eram do tipo simples (pontual), coletadas na saída de cada FB. Os procedimentos de coleta e avaliação do OD foram normalmente realizadas pelo período da manhã por volta das 9:00 horas.

A Tabela 5.8 apresenta o monitoramento de oxigênio dissolvido no efluente de cada FB. Observa-se que a concentração de OD nos efluentes ficaram próximas a 4,5 mg/L.

Tabela 5.8 – Valores da concentração de Oxigênio Dissolvido (mgO_2/l) no efluente dos FBs

Parâmetro		UASB	FB1	FB2	FB3	FB4	FB5	FB6
O.D mgO_2/L	n	-	32	32	31	32	30	32
	média	-	4,0	3,9	4,5	4,5	4,7	4,8
	desvio padrão	-	1,2	1,2	1,3	1,0	0,9	1,1
	máximo	-	6,3	5,9	6,4	6,7	6,0	6,5
	mínimo	-	1,9	1,5	2,0	2,6	2,5	2,9
	CV	-	0,30	0,31	0,29	0,22	0,19	0,23

A ventilação dos plíotos, e portanto oxigenação dos efluentes, era realizada naturalmente através de aberturas na parte inferior e superior dos FBs.

As partes superiores dos FBs eram totalmente abertas, e a parte inferior possuía um anel de abertura de aproximadamente 5,0 cm.

O fluxo de ar pode ter o sentido para cima ou para baixo, dependendo da densidade do ar que por sua vez depende da temperatura ambiente do reator (Jordão & Pessoa, 1995). Por consequência acredita-se que o fluxo de ar nos FBs pesquisados era de cima para baixo conforme normalmente ocorre em regiões de clima quente.

O FB6 apresentou a maior média de OD com 4,8 mg/L e o FB2 a menor média, 3,9 mg/L. Observa-se que a concentração de OD foi gradativamente aumentando à medida que as cargas hidráulica e orgânica foram diminuindo.

5.2.5 Monitoramento de turbidez

5.2.5.1 Monitoramento de turbidez no efluente decantado

A faixa de turbidez característica dos efluentes decantados foi de 11 a 22 UNT, enquanto que no efluente não decantado esta foi de 19 a 29 UNT (Tabela 5.9 e Tabela 5.10).

Tabela 5.9 – Valores médio de entrada e saída de turbidez no efluente decantado dos FBs

Parâmetro		UASB	FB1	FB2	FB3	FB4	FB5	FB6
Turbidez (UNT)	n	22	27	27	27	26	27	27
	média	55	22	21	17	14	12	11
	desvio padrão	27	11	9	10	7	8	5
	máximo	150	50	45	55	45	45	24
	mínimo	18	8	8	8	7	4	5
	CV	0,49	0,50	0,43	0,59	0,50	0,67	0,45

5.2.5.2 Monitoramento de turbidez no efluente sem decantação

Na tabela abaixo são apresentados os valores médios da turbidez do efluente final do sistema sem decantação.

Tabela 5.10 – Valores médio de entrada e saída de turbidez no efluente sem decantação dos FBs

Parâmetro		UASB	FB1	FB2	FB3	FB4	FB5	FB6
Turbidez (UNT)	n	22	27	27	27	26	27	27
	média	55	29	26	22	23	20	19
	desvio padrão	27	15	12	11	14	11	9
	máximo	150	65	60	60	69	60	35
	mínimo	18	11	11	11	9	7	7
	CV	0,49	0,52	0,46	0,50	0,61	0,55	0,47

5.2.6 Monitoramento de pH

5.2.6.1 Monitoramento do pH no efluente dos FBs

Na tabela abaixo são apresentados os valores médios de pH do efluente final do sistema sem decantação. A faixa de pH característica dos efluentes sem decantação foi de 7,5 a 7,8.

Tabela 5.11 – Valores médio de entrada e saída de pH no efluente dos FBs

Parâmetro		UASB	FB1	FB2	FB3	FB4	FB5	FB6
pH	n	23	30	30	30	30	30	30
	média	7,0	7,5	7,5	7,7	7,8	7,8	7,7
	desvio padrão	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3
	máximo	7,4	8,2	8,1	8,1	8,1	8,2	8,1
	mínimo	6,6	6,8	6,9	6,8	6,9	6,5	6,6
	CV	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04

5.2.7 Monitoramento da temperatura

5.2.7.1 Temperatura nos efluentes dos FBs

A temperatura média dos efluentes dos FBs foi de 28,0 a 29,3 °C, conforme pode ser observado abaixo (Tabela 5.12).

Tabela 5.12 – Valores médio de entrada e saída da temperatura no efluente dos FBs

Parâmetro		UASB	FB1	FB2	FB3	FB4	FB5	FB6
Temperatura (°C)	n	23	32	32	31	32	30	32
	média	29,0	29,2	29,3	29,0	29,0	28,4	28,0
	desvio padrão	3,7	3,5	3,5	3,8	3,5	3,7	3,2
	máximo	35,0	36,0	36,0	36,0	36,0	37,0	36,0
	mínimo	22,8	21,7	21,6	21,8	21,6	21,5	21,8
	CV	0,13	0,12	0,12	0,13	0,12	0,13	0,11

5.2.8 Influência das cargas volumétricas de SS e DQO na qualidade dos efluentes dos sistemas UASB + FB com decantação e sem decantação

5.2.8.1 Carga volumétrica aplicada de SS

Efluente Decantado:

A carga aplicada de SS foi de 2,2 KgSS/m³.d para o FB1; 1,6 KgSS/m³.d para o FB2; 1,2 KgSS/m³.d para o FB3; 0,8 KgSS/m³.d para o FB4; 0,5 KgSS/m³.d para o FB5 e 0,4 KgSS/m³.d para o FB6. Nestas condições as concentrações médias de SST nos efluentes foram: 33 mg/L para o FB1; 32 mg/L para o FB2; 24 mg/L para o FB3; 33 mg/L para o FB4; 27 mg/L para o FB5 e 27 mg/L para o FB6.

O FB3 ($CV_{aplic} = 2,5 \text{ KgDQO/m}^3.d$; $CH_{aplic} = 27,6 \text{ m}^3/m^2.d$ e $CV_{aplic} = 0,8 \text{ KgSS/m}^3.d$) apresentou o melhor desempenho na remoção de sólidos com 24 mg/L de SST no efluente final.

Os filtros que apresentaram as maiores concentrações de SST (33 mg/L) no efluente final foram os FB1($CV_{aplic} = 4,5 \text{ KgDQO/m}^3.d$; $CH_{aplic} = 47,2 \text{ m}^3/m^2.d$ e $CV_{aplic} = 2,2 \text{ KgSS/m}^3.d$) e FB4 ($CV_{aplic} = 1,6 \text{ KgDQO/m}^3.d$; $CH_{aplic} = 17,4 \text{ m}^3/m^2.d$ e $CV_{aplic} = 0,8 \text{ KgSS/m}^3.d$).

O gráfico da Figura 5.46 apresenta tendência de linearidade. Quanto maior a carga aplicada de SS maior é a concentração de SST no efluente final, ou seja, menor eficiência na remoção de SST. Entretanto pode-se perceber uma tendência de deteriorização da qualidade do efluente e das eficiências de remoção quando a carga orgânica de SS é maior que 2,1 KgSS/m³.d.

Os FBs que operaram com uma carga média de SST de 2,2 KgSS/m³.d obtiveram uma eficiência de remoção de SST de 92%, e assim sucessivamente: 1,6 KgSS/m³.d e eficiência média de também 92%; 1,2 KgSS/m³.d e eficiência média de 94%; 0,8

KgSS/m³.d e eficiência média de 92%; 0,5 KgSS/m³.d e eficiência média de 93% e 0,4 KgSS/m³.d também resultou numa eficiência média de 93%

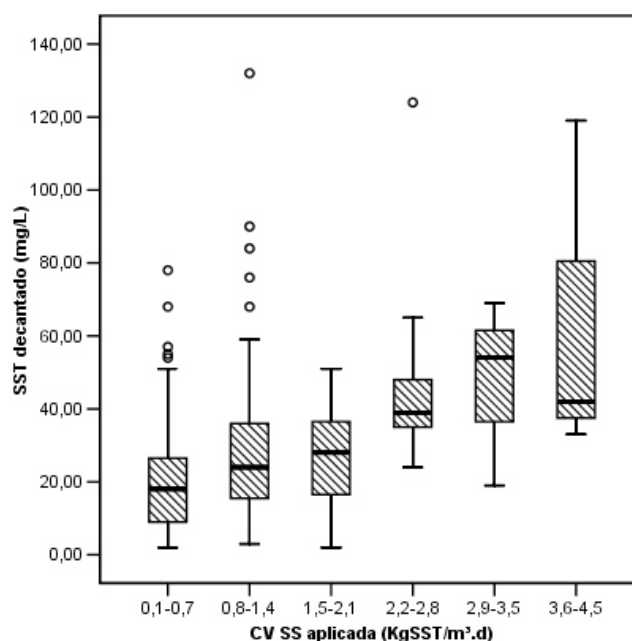


Figura 5.46 – Comparação entre a CV SS aplicada e a concentração de SST no efluente do sistema UASB + FB com decantação secundária

Apesar da grande variação e de elevadas cargas de SS (0,1 a 4,5 kgSS/m³.d) o sistema UASB + FB com etapa de decantação apresentou bons resultados de SST com concentrações médias variando de 30 a 50 mg/L.

Os resultados obtidos de SST no efluente final para a faixa de carga aplicada de SS de 3,6 – 4,5 Kg/m³.d apresentou a maior dispersão entre todas as cargas, isto se deve ao menor número de resultados nesta faixa (Figura 5.46).

Em relação à concentração de SST observou-se que os melhores resultados foram obtidos com FBs com etapa de decantação que operaram com carga aplicada de SS de 1,5 a 2,1 KgSS/m³.d. Nestas condições o FB foi capaz de manter concentrações de SST < 60 mg/L, atendendo a maioria das legislações brasileiras: Vitória (COMDEMA < 100 mgSST/L), Paraná (< 60 mgSST/L), Rio G. do Sul (40 < SST < 120 mg/L) e Minas Gerais (méd < 60 e max < 100 mgSST/L).

Efluente Não Decantado:

A carga aplicada de SS variou de 0,1 a 4,5 KgSS/m³.dia sendo que as cargas médias aplicadas de SS foram: 2,2 KgSS/m³.d no FB1; 1,6 KgSS/m³.d no FB2; 1,2 KgSS/m³.d no FB3; 0,8 KgSS/m³.d no FB4; 0,5 KgSS/m³.d no FB5 e 0,4 KgSS/m³.d no FB6.

Nessas condições as concentrações médias de SST nos efluentes foram: 47 mg/L para o FB1; 52 mg/L para o FB2; 40 mg/L para o FB3; 48 mg/L para o FB4; 44 mg/L para o FB5 e 48 mg/L para o FB6.

Apesar da grande variação e de elevadas cargas de SS (0,1 a 4,5 kgSS/m³.d) o sistema UASB + FB sem etapa de decantação apresentou bons resultados de SST com concentrações médias variando de 40 a 52 mg/L, e produziram um efluente com relativa redução da concentração de SS.

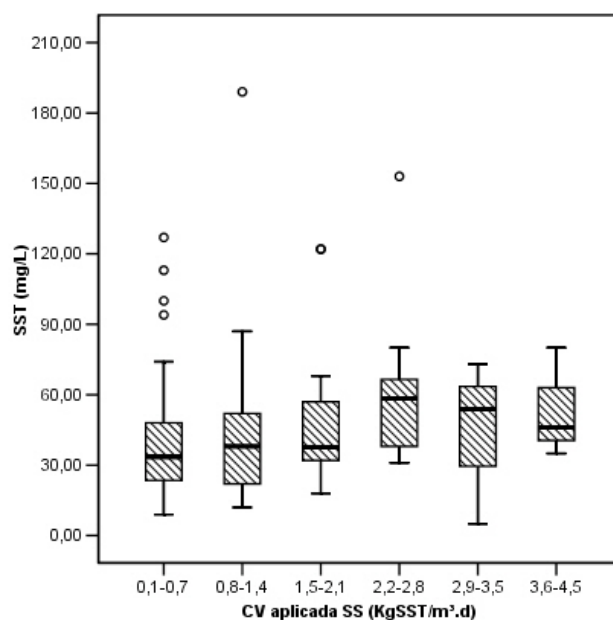


Figura 5.47 – Comparação entre a CV SS aplicada e a concentração de SS no efluente do sistema UASB + FB sem decantação

Em relação à concentração de SST observou-se que os melhores resultados foram obtidos com FBs sem etapa de decantação que operaram com carga aplicada de SS de 0,1 a 0,7 KgSS/m³.d (Figura 5.47). Nestas condições o FB foi capaz de manter concentrações de SST < 60 mg/L é média de 40 mg/L, atendendo a maioria das legislações brasileiras: Vitória (COMDEMA < 100 mgSST/L), Paraná (< 60 mgSST/L), Rio G. do Sul (40 < SST < 120 mg/L) e Minas Gerais (méd < 60 e max < 100 mgSST/L).

5.2.8.2 Carga volumétrica aplicada de DQO

Eluente Decantado:

A carga média aplicada de DQO foi de 4,5 KgDQO/m³.d para o FB1; 3,2 KgDQO/m³.d para o FB2; 2,5 KgDQO/m³.d para o FB3; 1,6 KgDQO/m³.d para o FB4; 1,1 KgDQO/m³.d para o FB5 e 0,8 KgDQO/m³.d para o FB6.

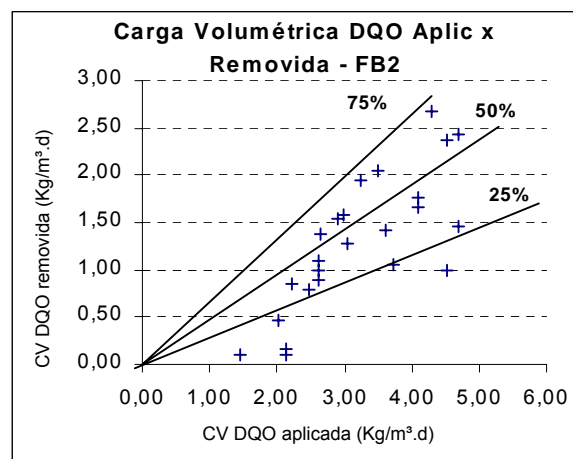
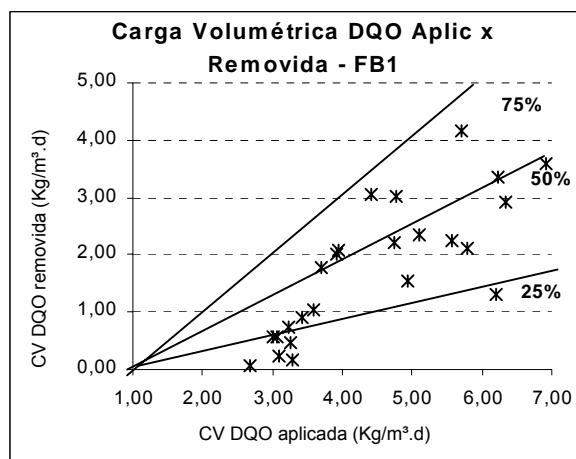


Figura 5.48 – Correlação entre a carga volumétrica aplicada e removida em relação a DQO (FB1) – Efluente Decantado

Figura 5.49 – Correlação entre a carga volumétrica aplicada e removida em relação a DQO (FB2) – Efluente Decantado

Os FBs 1 e 2 apresentaram eficiências de remoção de matéria carbonácea na faixa de 25 a 50%, com predominância de eficiência na faixa de 25% (Figura 5.48 e

Figura 5.49). Esses sistemas operaram sob condições elevadas de cargas hidráulica e orgânica resultando na formação de um biofilme espesso e de baixa atividade metabólica. Normalmente FBs sob condições de alta carga possuem massa celular com um alto componente orgânico, requerendo estabilização separada do lodo excedente.

Nos demais FBs (FB 3 a FB6), as eficiências de remoção de matéria carbonácea se situaram entre 50 a 75%, conforme é apresentado nas Figura 5.50 a Figura 5.53.

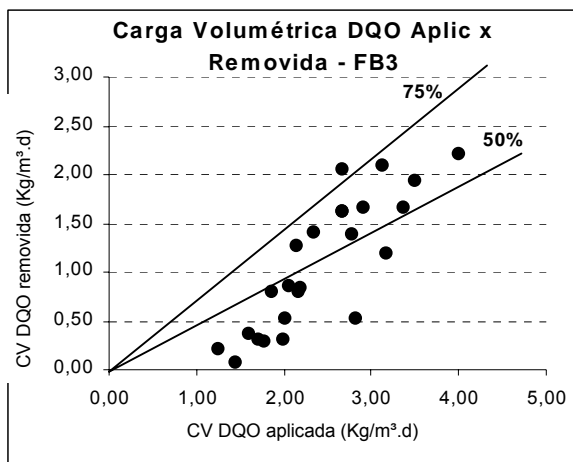


Figura 5.50 – Correlação entre a carga volumétrica aplicada e removida em relação a DQO (FB3) – Efluente Decantado

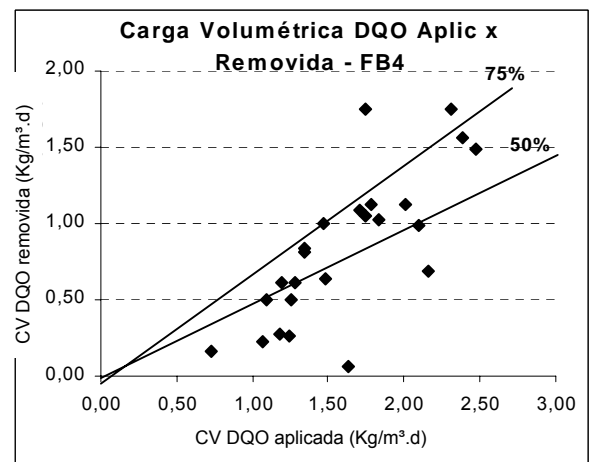


Figura 5.51 – Correlação entre a carga volumétrica aplicada e removida em relação a DQO (FB4) – Efluente Decantado

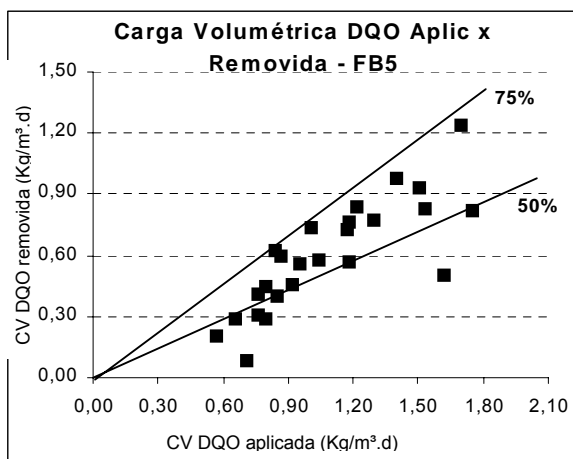


Figura 5.52 – Correlação entre a carga volumétrica aplicada e removida em relação a DQO (FB5) – Efluente Decantado

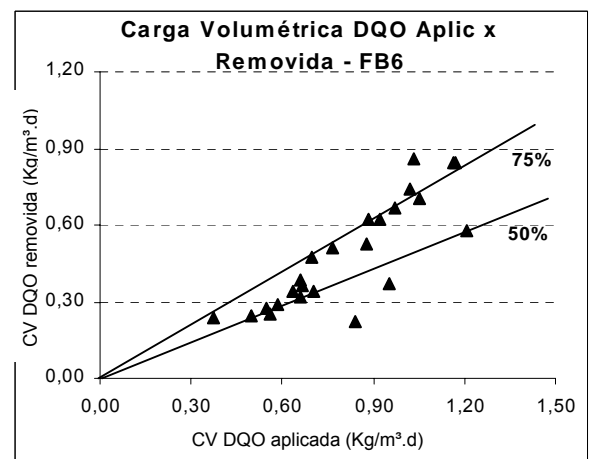


Figura 5.53 – Correlação entre a carga volumétrica aplicada e removida em relação a DQO (FB6) – Efluente Decantado

Os FBs 5 e 6 apresentaram consistentemente eficiências na ordem de 75%, como já era de se esperar para sistemas de baixas cargas (Figura 5.52 e Figura 5.53). Nos sistemas de baixa carga a concepção é fornecer uma quantidade mínima de substrato (alimento) aos microorganismos, para incentivar a respiração endógena, como conseqüência a concentração de substrato no efluente é mínima.

Um bom padrão de qualidade foi possível de ser obtido com os FBs com decantação submetidos a taxas hidráulicas de 8,9 a 27,6 m³/m².d; cargas orgânicas volumétricas de 2,6 a 3,6 KgDQO/m³.d e 1,5 a 2,1 KgSST/m³.d. Nesta condições as concentrações médias observadas foram: DQO < 90 mgO₂/L e SST < 30 mg/L.

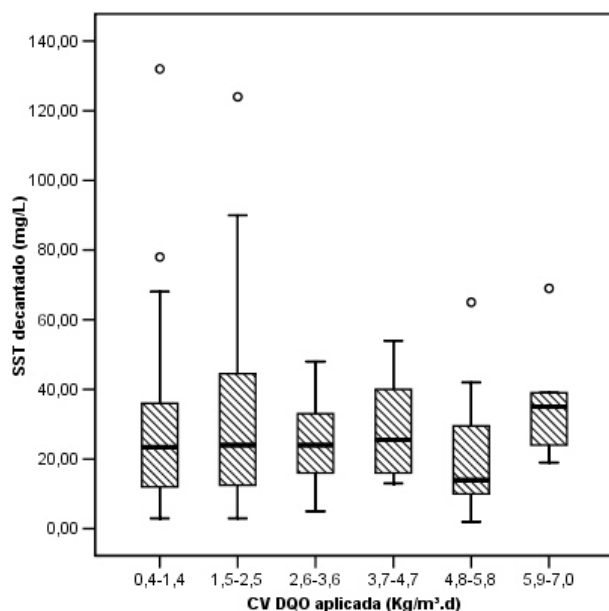


Figura 5.54 – Comparação entre a CV DQO aplicada e a concentração de SST no efluente do sistema UASB + FB com decantação

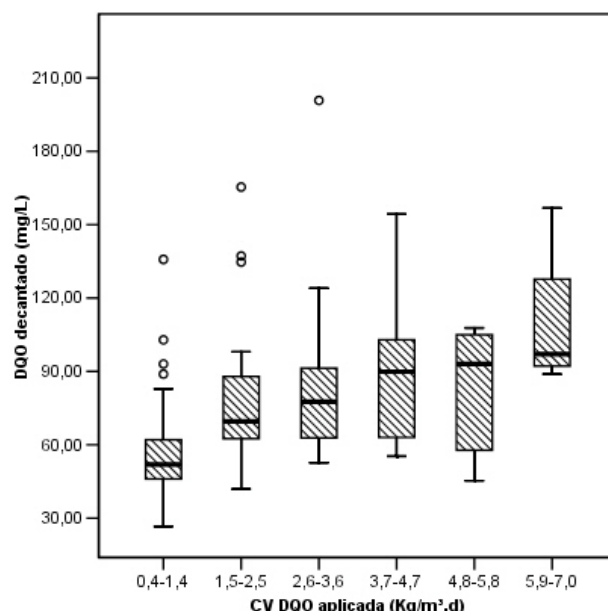


Figura 5.55 – Comparação entre a CV DQO aplicada e a concentração de DQO no efluente do sistema UASB + FB com decantação

Apesar da grande variação e de elevadas cargas de DQO (0,4 a 7,0 kgDQO/m³.d) o sistema UASB + FB com etapa de decantação apresentou bons resultados de SST com concentrações médias variando de 30 a 50 mg/L. Observa-se pouca influência da carga aplicada de DQO nos resultados de SS no efluente final, o que pode levar a concluir que a remoção de SS num sistema UASB + FB é realizada pelo compartimento de decantação, enquanto que a matéria carbonácea é removida pelas reações bio-químicas que ocorrem no interior do biofilme (Figura 5.54).

Na Figura 5.55 observa-se uma linearidade relativa à carga DQO aplicada e a qualidade do efluente final referente a DQO, ou seja, quanto maior a CV aplicada maior a concentração de DQO no efluente final.

Efluente não decantado:

Os melhores efluentes produzidos pelos FBs sem decantação foram observados nas seguintes condições operacionais cargas orgânicas volumétricas de 0,4 a 1,4 KgDQO/m³.d e 0,1 a 0,7 KgSST/m³.d. Sob tais condições, as características médias destes efluentes foram: DQO = 84 mgO₂/L e SST = 40 mg/L (Figura 5.56 e Figura 5.57).

Nos sistemas sem decantação secundária também observa-se uma linearidade relativa à carga DQO aplicada e a qualidade do efluente final referente a DQO, ou seja, quanto maior a CV aplicada maior a concentração de DQO no efluente final (Figura 5.57).

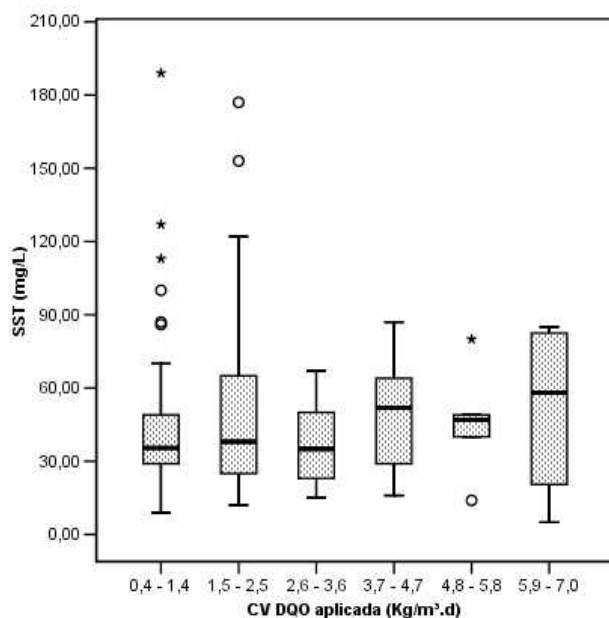


Figura 5.56 – Comparação entre a CV DQO aplicada e a concentração de SS no efluente do sistema UASB + FB sem decantação secundária

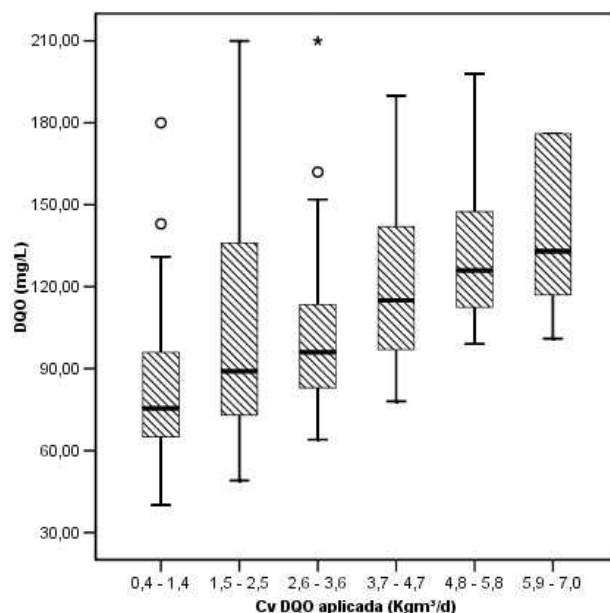


Figura 5.57 – Comparação entre a CV DQO aplicada e a concentração de DQO no efluente do sistema UASB + FB sem decantação secundária

5.2.9 Resultados da produção de biomassa nos filtros biológicos percoladores

Como mencionado anteriormente (ver Capítulo 4), a produção de lodo e o coeficiente de crescimento de biomassa foram estimados com base nas amostras compostas de SST e DQO do efluente misturado e decantado.

A produção de lodo nos FBs em termos de SST foi estimada pela seguinte equação:

$$P_{\text{lodo (FB)}} = M_{\text{lodo (FB)}} = M_{\text{lodo_FB (sem dec.)}} - M_{\text{lodo_FB (com dec.)}} \quad (\text{Equação 4.1})$$

Onde:

$P_{\text{lodo (FB)}}$: produção de lodo no FB em termos de SST (KgSST/dia)

$M_{\text{lodo (FB)}}$: massa de lodo em termos de SST produzida no FB (KgSST/dia)

$M_{\text{lodo_FB (sem dec.)}}$: massa de lodo em termos de SST produzida no FB sem decantação (KgSST/dia)

$M_{\text{lodo_FB (com dec.)}}$: massa de lodo em termos de SST produzida no FB com decantação (KgSST/dia)

A massa de lodo foi calculada mediante conhecimento da vazão aplicada e do teor de sólidos suspensos no efluente do FB com e sem decantação (Equação 4.2).

$$M_{\text{lodo_FB (sem dec.)}} = S \text{ (kgSST/m}^3\text{)} \times Q \text{ (m}^3\text{/d)} \quad (\text{Equação 4.2a})$$

$$M_{\text{lodo_FB (com dec.)}} = S_d \text{ (kgSST/m}^3\text{)} \times Q \text{ (m}^3\text{/d)} \quad (\text{Equação 4.2b})$$

Onde:

S : concentração de SST no efluente do FB sem decantação (kgSST/m³)

S_d : concentração de SST no efluente do FB com decantação (kgSST/m³)

Q : vazão de esgoto aplicada no FB (m³/d)

Substituindo a equação 4.2a e 4.2b em 4.1, temos:

$$M_{\text{lodo (FB)}} = (Q \times S) - (Q \times S_d)$$

$$M_{\text{lodo (FB)}} = (S - S_d) \times Q$$

Sendo a massa de DQO removida, no FB após decantação, calculada como:

$$M_{\text{DQO_removida}} = (\text{DQO}_{\text{entrada}} - \text{DQO}_{\text{saída}}) \times Q \quad (\text{Equação 4.3})$$

Onde:

$M_{\text{DQO_removida}}$: massa de DQO removida (KgDQO/dia)

$\text{DQO}_{\text{entrada}}$: concentração de DQO no afluente ao FB (Kg/m³)

$\text{DQO}_{\text{saída}}$: concentração de DQO no efluente ao FB após decantação (Kg/m³)

Q: vazão de esgoto aplicada (m³/dia)

Dessa forma, o valor médio da massa de DQO removida foi de 51 KgDQO/dia para o FB1, 51 KgDQO/dia para o FB2, 58 KgDQO/dia para o FB3, 66 KgDQO/dia para o FB4, 75 KgDQO/dia para o FB5 e 79 KgDQO/dia para o FB6, quando aplicada uma carga de DQO de 0,8 a 4,5 KgDQO_{aplic}/m³.d.

O coeficiente de crescimento bacteriano (biomassa) no FB é expresso como:

$$Y_{\text{obs}} = P_{\text{lodo}} / M_{\text{DQO_removida}} \quad (\text{Equação 4.4})$$

Onde:

Y_{obs} : coeficiente de crescimento bacteriano ou coef. de produção de lodo (KgSST/KgDQO_{removida})

P_{lodo} : produção de lodo ou massa de lodo produzida diariamente nos FBs (KgSST/d)

$M_{\text{DQO_removida}}$: massa de DQO removida diariamente nos FBs (KgDQO/dia)

Dessa forma podemos expressar a equação 4.4:

$$Y_{\text{obs}} = [(S - S_d) \times Q] / [(\text{DQO}_{\text{entrada}} - \text{DQO}_{\text{saída}}) \times Q]$$

Na qual:

P_{lodo} : produção de lodo ou massa de lodo no FB (KgSST/d)

Y_{obs} : coeficiente de crescimento bacteriano ou coef. de produção de lodo (KgSST/KgDQO_{removida})

S : concentração de SST no efluente do FB sem decantação (kgSST/m³)

S_d : concentração de SST no efluente do FB com decantação (kgSST/m³)

DQO_{entrada}: concentração de DQO no afluente ao FB (Kg/m³)

DQO_{saída}: concentração de DQO no efluente ao FB após decantação (Kg/m³)

Q : vazão de esgoto aplicada no FB (m³/d)

Substituindo todos os valores na equação 4.4, o valor obtido para Y_{obs} indica o coeficiente de crescimento bacteriano (biomassa) do lodo aeróbio.

A Tabela 5.13 apresenta os resultados relativos ao coeficiente de crescimento bacteriano (biomassa) para cada filtro biológico percolador. A diferença nos resultados pode ser relacionada às diferentes cargas aplicadas.

Tabela 5.13 – Valores de coeficiente de crescimento bacteriano para os filtros biológicos percoladores

Parâmetros	Unidade						
		FB1	FB2	FB3	FB4	FB5	FB6
Y_{obs}	KgSST/KgDQO _{removida}	0,27	0,39	0,28	0,23	0,23	0,27

O coeficiente de crescimento bacteriano (biomassa) ou a produção específica de lodo nos FBs foi em média de 0,28 KgSST/KgDQO_{removida}.

De uma maneira geral, os valores encontrados para o coeficiente de crescimento de biomassa para lodo aeróbio estão dentro da faixa de valores encontrados por outros autores.

A produção específica de lodo no tratamento secundário em biofiltros aerados submersos (BFs) é da ordem de 0,4 KgSST/KgDQO_{remov} ou de 0,8 a 1,0 KgSST/KgQBO_{5 remov} (Pujol et al, 1992; Richard & Cyr, 1990 apud Chernicharo, 2001), Tabela 5.14.

Tabela 5.14 – Coeficiente de crescimento de biomassa (Y) de lodos aeróbios

Fonte	Y (KgST/KgDQO _{rem})	Y' (KgSV/KgDQO _{remov})
Araujo (1996)	0,02 – 0,14	0,01 – 0,03
Canler & Perret (1993)	0,41	-
Bof (1999)	0,11 – 0,27	0,06 – 0,22
EPA (1993); Orthon & Artan (1994) apud von Sperling (1996)	-	0,3 – 0,7
Chernicharo (1997)	-	0,1 – 0,2
Chacon (1994) ⁴	-	0,02
Van Haandel & Marais (1999)	-	0,35 – 0,52
Van Haandel & Lettinga (1994)	-	> 0,2
Veronez (2001)	0,20	-
Andreoli (2001)	-	0,08 – 0,14

Fonte: Veronez (2001)

Do ponto de vista da estabilização dos lodos de excesso dos filtros percoladores, que correspondem aos sólidos suspensos nos efluentes tratados, optou-se por utilizar a relação (DQO/SST) como parâmetro balisador da análise, calculado a partir dos resultados de caracterização dos efluentes decantados e não decantados dos filtros.

A relação (DQO/SST) assumiu valores médios variando na faixa de 0,6 a 0,8 gDQO/gSST nos efluentes decantados e de 0,9 a 1,3 gDQO/gSST nos efluentes não decantados (Figura 5.58). Considerando que a relação média (DQO/DBO₅) no efluente do UASB da UFES é de 1,80, calculada a partir dos dados apresentados na tabela 5.2, estima-se que a carga volumétrica nominal recomendada por outros autores para dimensionamento dos FBs (1,0 kgDBO₅/m³.d) foi aplicada com maior frequência sobre o FB3. A relação DQO/SST calculada para o efluente não decantado deste filtro foi de 1,3 gDQO/gSST, que vem a ser a maior obtida dentre os seis filtros. Os testes com o FB1 apresentaram resultados semelhantes em termos da relação DQO/SST.

A partir do FB3, a relação referente ao efluente não decantado decresce quase que de maneira linear, até atingir o valor de 0,9 gDQO/gSST no FB6. Este fato pode ser observado também na relação DQO/SST dos efluentes decantados dos filtros 4, 5 e

6, inferior a 0,6 gDQO/gSST. Supõe-se que, a partir das condições operacionais impostas ao FB4, submetido a uma carga volumétrica média de DQO de 1,6 kgDQO/m³.d, a respiração endógena passa atuar de maneira mais determinante nas condições de estabilização da biomassa.

A relação DQO/SST no efluente não decantado referente ao FB6 foi cerca de 33% inferior ao valor referente ao FB3, evidenciando o melhor nível de estabilização dos sólidos suspensos que escapam do processo. A carga volumétrica média de DQO aplicada sobre este filtro foi 0,8 kg DQO/m³.dia, o que corresponde a uma carga volumétrica média de DBO de 0,45 kgDBO₅/m³.dia. Deve ser observado que a diferença da concentração média de DQO no efluente não decantado com relação ao decantado foi de apenas 26 mgO₂/L, denotando que os sólidos suspensos encontram-se em avançado estado de estabilização.

É importante salientar que os FBs 2 e 6 foram constituídos de aço galvanizado e que foi observado uma forte corrosão do material durante a pesquisa. Tal fato pode ter interferido nos valores de SST encontrados nos efluentes desses filtros.

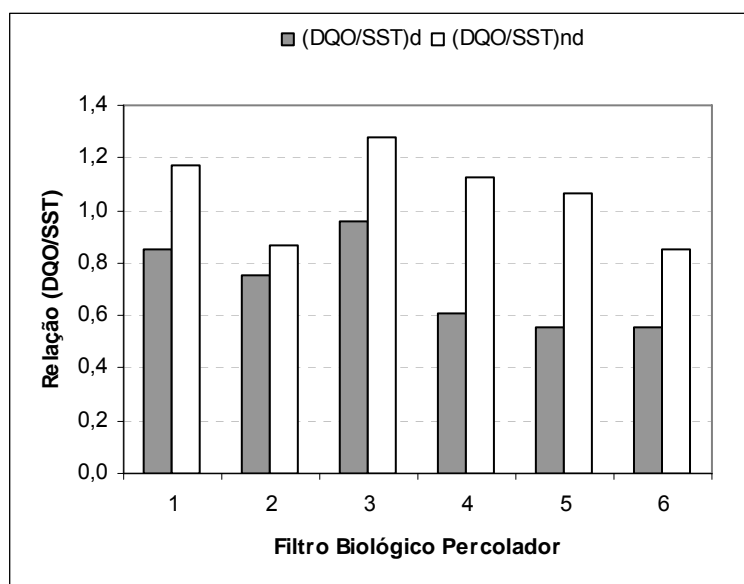


Figura 5.58 – Relação (DQO/SST) nos sólidos suspensos presentes nos efluentes dos filtros biológicos percoladores antes e após a decantação

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nos sistemas UASB + FB com decantação confirmam os resultados de outras pesquisas, indicando que os mesmos são capazes de produzir consistentemente um efluente de boa qualidade, com concentrações de DQO < 90 mgO₂/L e SST < 30 mg/L.

Nesta pesquisa, este padrão de qualidade foi possível de ser obtido com os FBs submetidos a taxas hidráulicas de 8,9 a 27,6 m³/m².d; cargas orgânicas volumétricas de 2,6 a 3,6 KgDQO/m³.d e 1,5 a 2,1 KgSST/m³.d. As eficiências dos sistemas UASB + FBs com etapa de decantação foram de 92 a 94% e de 78% a 85% para a remoção de SST e DQO, respectivamente.

Entretanto, sistemas UASB + FB sem decantação submetidos às mesmas condições operacionais, tendem a produzir um efluente com DQO < 120 mgO₂/L e SST < 60 mg/L.

Os melhores efluentes produzidos pelos FBs sem decantação foram observados nas seguintes condições operacionais: taxa hidráulica de 8,9 m³/m².d; cargas orgânicas volumétricas de 0,4 a 1,4 KgDQO/m³.d e 0,1 a 0,7 KgSST/m³.d. Sob tais condições, as características médias destes efluentes foram: DQO = 84 mgO₂/L e SST = 40 mg/L.

Para o tratamento de esgoto sanitário em um sistema UASB associado em série com FB sem decantador secundário, pode-se adotar como parâmetro de dimensionamento os seguintes valores: taxa hidráulica de 8,9 m³/m².d; cargas orgânicas volumétricas de 1,4 KgDQO/m³.d e 0,7 KgSST/m³.d

Os teores de DQO próximos de 90 mgO₂/L atestam o satisfatório nível de estabilização do efluente final dos FB5 a FB6. No caso do FB6, submetido à carga volumétrica variando de 0,4 a 0,8 kg DQO/m³.dia e CH_{aplic} média de 8,9 m³/m².d, 80% das amostras de efluente não decantado apresentaram concentração final de DQO inferior a 120 mgO₂/L.

Há uma clara tendência de concentrações menores de $DQO_{filtrada}$ nos filtros biológicos percoladores de cargas menores. Observa-se que nessas condições estes FBs atuaram diretamente na DQO solúvel presente no esgoto a ser tratado.

A produção específica de lodo aeróbio, avaliada em média $0,28 \text{ KgSST/KgDQO}_{remov}$ pode ser associada às baixas

Os resultados obtidos indicam que um FB operando sob baixa taxa de carregamento orgânico, propiciando o crescimento sobre o meio suporte de um biofilme fino, com idade de lodo avançada, pode vir a produzir um efluente com nível de estabilização satisfatório para descarte direto sem clarificação. Os resultados indicaram que, a partir das condições operacionais caracterizadas por uma carga volumétrica média de DQO de $1,6 \text{ kgDQO/m}^3\cdot\text{d}$, a respiração endógena passa atuar de maneira mais determinante nas condições de estabilização da biomassa. A relação DQO/SST nos sólidos suspenso em excesso no efluente não decantado foi $0,9 \text{ gDQO/gSST}$, valor 33% inferior ao característico do FB operando sob condições de carga nominal recomendada para esse tipo de processo ($1,0 \text{ kgDBO}_5/\text{m}^3\cdot\text{dia}$).

Considerando as simplificações operacionais, os custos envolvidos e a qualidade do efluente possível de ser produzido, esta pesquisa indica que o sistema UASB + FB sem decantação pode ser uma opção interessante para pequenas ETEs.

7 RECOMENDAÇÕES

- ✓ Estudar a associação UASB + filtros biológicos percoladores preenchidos com diferentes meios suportes e sob condições de cargas variadas;
 - ✓ Estudar modelos matemáticos para previsão da eficiência dos FBs em termos de DQO quando aplicados no pós-tratamento de reatores UASB;
 - ✓ Avaliar parâmetros microbiológicos no efluente da associação UASB + FBs sem etapa de decantação;
 - ✓ Avaliar o grau de estabilização do lodo descartado no sistema UASB + FB sem etapa de decantação, em termos de SV/ST;
 - ✓ Pesquisar dispositivos alternativos de separação sólido-líquido para clarificação de efluentes de FB.
-

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AISSE, Miguel Mansur, et al. Tratamento e destino final do lodo gerado em reatores anaeróbios. In: CAMPOS, José Roberto (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. (Projeto PROSAB). cap. 11, p. 271 – 299.

AISSE, Miguel Mansur. et al. **Avaliação do sistema reator UASB e filtro biológico para o tratamento de esgoto sanitário**. Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa: ABES, 2001a.II – 051.

AISSE, Miguel Mansur. et al. **Avaliação do sistema reator UASB e filtro biológico aerado submerso para o tratamento de esgoto sanitário**. Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa: ABES, 2001b.II – 052.

ÁLEM SOBRINHO, Pedro. **Tratamento de esgoto e geração de lodo**. In: Impacto ambiental do uso agrícola de lodo de esgoto. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. Cap 1, p. 11-24.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th Edition, 1995.

ARAÚJO, Vera Lúcia de. **Estudo do Desempenho de um Biofiltro Aerado Submerso na Oxidação de Matéria Carbonácea e Nitrificação Secundária de Esgoto Sanitário da Região Metropolitana de Vitória (ES)**. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1996.

BAUER, Danyelle Grecco. **Nitrificação do Efluente de um Reator Anaeróbio do Tipo UASB e de um Decantador Primário em um Sistema de Biofiltros Aerados Submersos**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa

de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2003.

BOF, Vanicleide Soeiro. **Desempenho da Associação em Série de um Reator UASB e um Biofiltro Aerado Submerso Tratando Esgoto Sanitário sob Condições de Cargas e Retorno de Lodo Aeróbio para o UASB**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1999.

BOF, Vanicleide Soeiro. et al. **ETEs compactas associando reatores anaeróbios e aeróbios ampliam a cobertura do saneamento no estado do Espírito Santo**. Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa: ABES, 2001.II – 170.

BRITTO, Evandro Rodrigues. **Introdução à biologia sanitária**. Rio de Janeiro: DTP Graphics, 1994.

CETESB. **Sistemas de Esgotos Sanitários**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, 1977.

CHARACKLIS, William G. Part. III: Process Rates – Biofilm process. In: _____. **Biofilms**. USA: A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, INC., 1989. cap. 7, p. 195 – 231. ISBN 0-471-82663-4.

CHARACKLIS, William G.; MARSHALL, Kevin C. and MCFETERS, Gordon, A. Part. II: Constitutive properties of biofilm systems – The microbial cell. In: CHARACKLIS, William G.; MARSHALL, Kevin C. **Biofilms**. USA: A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, INC., 1989. cap. 5, p. 131 – 159. ISBN 0-471-82663-4.

CHARACKLIS, William G.; MARSHALL, Kevin C. Part. I. Introduction – Biofilmes: A basis for interdisciplinary approach. In: _____. **Biofilms**. USA: . A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, INC., 1989. cap. 1, p. 1 – 15. ISBN 0-471-82663-4.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos, et al. Introdução. In: CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos (Coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: [s.n], 2001. (Projeto PROSAB). cap. 1, p. 19 – 34. ISBN 85-901640-2-0.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos, et al. Reatores anaeróbios de manta de lodo. In: CAMPOS, José Roberto (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. (Projeto PROSAB). cap. 7, p. 155 – 198.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Reatores anaeróbios**. In: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Vol.5. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, 1997.

GONÇALVES, Ricardo Franci, et al. **Combining upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors and submerged aerated biofilters for secondary domestic wastewater treatment**. Water Science and Technology. Vol. 40, N^o 8, pp. 71-79, 1999.

GONÇALVES, Ricardo Franci, et al. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por reatores com biofilme. In: CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos (Coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: [s.n], 2001. (Projeto PROSAB). cap. 4, p. 171 – 278. ISBN 85-901640-2-0.

GONÇALVES, Ricardo Franci. **Estado atual de desenvolvimento da tecnologia dos biofiltros aerados submersos para o tratamento de águas residuárias**. Anais do 18^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Salvador: ABES, 1995.

GONÇALVES, Ricardo Franci; PINTO, Marcelo Teixeira. **Opções tecnológicas no início do século XXI para tratamento de esgotos sanitários das grandes Regiões Metropolitanas Brasileiras**. Anais do IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Seguro: ABES, 2000. III-004.

HARREMÖES, Paul and HENZE, Mogens. Biofilters. In : **Wastewater Treatment: biological and chemical process**. 2 ed. Berlin; New York; London; Paris; Tokyo; Hong Kong; Barcelona; Budapest: Springer, 1997.

HIRAKAWA, Carlos et al. **Biofiltro aerado submerso aplicado no pós-tratamento de efluentes de reator UASB – estudo em escala piloto com esgoto sanitário**. Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa: ABES, 2001.II – 032.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. In: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais, 2000.

JORDÃO, Eduardo Pacheco & PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de Esgotos Domésticos**, 3ª ed., Rio de Janeiro: ABES, 1995.

NASCIMENTO, Mauro César Pinto. et al. **Comportamento de um sistema UASB/Filtro biológico aeróbio quando exposto a choques de carga hidráulica**. Anais do XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Lãs Américas y la Acción por el Medio Ambiente en el Milênio. Porto Alegre: EXPO AIDIS, 2000 a.I – 049.

NASCIMENTO, Mauro César Pinto; CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos; GARCIA, Paulo Belling Silva. **Avaliação de filtros biológicos aeróbios como pós-tratamento de efluentes de reatores UASB**. Anais do IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Seguro: ABES, 2000 b. III-078.

NASCIMENTO, Mauro César Pinto; CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos; BEJAR, Deneb Oliveira. **Filtros biológicos aplicados ao pós-tratamento de efluentes de reatores UASB**. Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa: ABES, 2001.II – 194.

O SANEAMENTO no Brasil do ano 2000. **BIO – Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente**, Porto Alegre, ano XI, n. 22, abril/junho. 2002. ISSN 0103-5134.

ORTEGA, Luis Charleston; NOYOLA, Adalberto Robles; SAVAL, Susana Bohórques. **Efecto de lodos activados de purga sobre el funcionamiento de un reactor UASB piloto y las características del lecho de lodo granular**. XXV Congreso Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. México: AIDIS, 1996. Arquivo de referência: 01056E14.

SANTOS NETO, José Venâncio dos. **Filtração terciária precedida de coagulação – floculação para remoção de turbidez e fósforo do efluente de uma ETE UASB + BFs**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004.

SPIEGEL, Murray R. **Estatística**. 3ªed. São Paulo: Makron Books, 1993. (Coleção Schaum).

TCHOBANOGLIOUS, George; BURTON, Franklin L. Metcalf & Eddy, Inc. **Wastewater Engineering: treatment, disposal, and reuse**. 3rd edition, McGraw-Hill, Inc. New York, 1334 p., 1991.

TRICKLING FILTER. The history of fixed-film wastewater treatment systems. Disponível em: <<http://www.deu.edu.tr/atiksu/toprak/ani4041.html>> . Acesso em: 07 maio. 2005.

U.S. EPA, 2000. **Wastewater technology fact sheet trickling filters**. EPA 832-F-00-014, EPA Office of Water Washington, D.C. Disponível em: <<http://www.epa.gov/owmitnet/mtfact.htm>>. Acesso em: 07 maio. 2005.

VERONEZ, Fernanda Aparecida. **Desempenho de um Reator UASB Tratando Esgoto Sanitário e Realizando Concomitantemente o Adensamento e a Digestão do Lodo de Descarte de Biofiltros Aerados Submersos**. 2001.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.

VIANNA, Marcos Rocha. **Utilização do fruto seco descascado da *luffa cylindrica* como meio suporte para filtros percoladores**. 2003. Qualificação (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais – Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2003.

VON SPERLING, Marcos e GONÇALVES, Ricardo Franci. Lodos de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, Cleverson V., et al. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. cap. 2, p. 17 – 67.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. In: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Vol.1. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, 1996 a.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios básicos do Tratamento de esgotos**. In: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Vol.2. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, 1996 b.

WEF. **Operation of municipal wastewater treatment plants**. Water Environment Federation. V. III, 15th Edition, 1996.

WEF/ASCE. **Design of municipal wastewater treatment plants: Attached growth and dual biological treatment**. Brattleboro: Book Press, v.1, 829 p., 1991.

ANEXOS

ANEXO A

Planilhas de Monitoramento – Série histórica (Sistema com Decantação)

ANEXO A1:**Monitoramento das vazões afluente aos FBPs**

Data	Dias de monit.	Vazão Média (l/h)					
		FB 1	FB 2	FB 3	FB 4	FB 5	FB 6
28/01/03	1	32,3	31,7	33,0	36,3	33,3	31,2
30/01/03	3	33,9	31,4	33,6	35,1	33,5	33,9
03/02/03	6	35,4	34,5	37,1	39,3	36,5	34,5
05/02/03	8	35,1	34,8	35,7	34,2	33,3	37,5
10/02/03	13	38,4	39,6	37,1	36,6	33,9	40,7
12/02/03	15	36,5	35,0	36,5	35,7	31,8	32,7
17/02/03	20	38,4	38,6	37,7	38,7	33,8	30,3
20/02/03	23	37,4	36,2	37,8	37,4	35,7	38,9
24/02/03	27	36,5	38,0	35,1	37,7	38,9	38,6
26/02/03	29	35,7	35,3	34,2	38,1	39,0	36,6
06/03/03	39	35,4	36,6	39,0	36,0	34,8	34,8
10/03/03	43	33,3	33,3	35,1	34,5	33,9	32,0
13/03/03	46	37,2	40,2	39,9	38,4	39,6	38,7
17/03/03	50	33,6	37,2	39,9	38,7	34,8	37,5
24/03/03	57	34,2	28,5	36,6	34,2	31,8	36,0
01/04/03	64	38,6	35,6	39,6	38,4	34,2	35,4
03/04/03	66	37,2	30,6	38,1	34,2	33,3	36,0
10/04/03	73	37,8	38,6	36,8	36,9	27,5	37,2
15/04/03	78	35,7	36,6	36,3	35,1	34,2	37,5
23/04/03	86	39,3	42,0	38,4	37,5	37,8	42,6
25/04/03	88	21,0	20,7	19,8	21,0	20,4	19,8
22/05/03	115	37,5	36,6	36,0	35,1	39,6	36,9
27/05/03	120	35,4	33,6	37,8	34,2	38,7	34,8
29/05/03	122	35,7	33,6	33,0	35,4	35,4	35,4
04/06/03	127	35,4	33,6	35,1	34,8	37,8	36,6
05/06/03	128	37,8	33,0	37,8	37,8	41,4	38,4
09/07/03	162	36,0	36,6	36,9	35,4	45,6	37,8
16/07/03	169	37,5	36,9	39,0	39,0	45,6	27,6
24/07/03	177	34,2	34,2	36,0	34,8	42,0	37,2
29/07/03	182	38,7	37,2	33,0	32,4	40,2	37,2
31/07/03	184	34,2	33,9	33,9	34,2	42,6	34,8
05/08/03	188	34,5	34,2	33,6	33,3	36,0	36,6
07/08/03	190	33,0	33,0	36,9	34,5	42,6	37,2
12/08/03	195	34,5	34,8	33,6	35,4	43,5	35,4
19/08/03	202	33,9	33,9	34,2	35,4	42,6	34,8
28/08/03	211	34,2	33,6	34,5	35,4	44,1	35,4
02/09/03	215	35,4	34,2	32,1	34,2	42,3	35,4
04/09/03	217	34,2	33,3	33,3	33,6	40,8	34,5
n		38	38	38	38	38	38
media		35,4	34,8	35,6	35,5	37,2	35,5
desvio		3,0	3,6	3,4	3,0	5,2	3,8
max		39,3	42,0	39,9	39,3	45,6	42,6
min		21,0	20,7	19,8	21,0	20,4	19,8

ANEXO A2:**Monitoramento de SST – Sistema com Decantação**

Monitoramento de SST dec:								
Data	Dias de monit.	SST (mg/L)						
		UASB	FB 1	FB 2	FB 3	FB 4	FB 5	FB 6
28/01/03	1	128	119	124	35	33	42	37
30/01/03	3	87	65	35	36	90	68	24
03/02/03	6	63	40	46	41	68	55	41
05/02/03	8	41	25	16	12	33	19	9
10/02/03	13	52	28	26	20	36	28	14
12/02/03	15	72	48	48	27	27	23	22
17/02/03	20	75	39	42	24	24	20	24
20/02/03	23	29	14	17	15	23	19	57
24/02/03	27	47	28	23	16	19	18	12
26/02/03	29	89	19	26	12	9	3	20
06/03/03	39	42	19	21	13	22	11	7
10/03/03	43	64	16	15	9	7	5	4
17/03/03	50	59	27	24	17	9	10	9
24/03/03	57	147	33	41	31	28	35	27
01/04/03	64	100	69	42	37	84	76	36
10/04/03	73	129	42	54	39	51	33	33
15/04/03	78	52	2	19	20		14	28
22/05/03	115	35	30	59	39	33	34	78
27/05/03	120	87	62	37	18	132	45	54
29/05/03	122	85	26	27	19	9	19	10
04/06/03	127	38	21	10	10	6	2	8
05/06/03	128	12	23	17	12	4	3	20
16/07/03	169	*	32	24	20	14	76	6
24/07/03	177	*	22	33	54	20	7	76
29/07/03	182	53	14	25	14	18	7	8
31/07/03	184	*	54	*	41	40	34	56
05/08/03	188	78	35	15	41	37	25	51
07/08/03	190		18	41	49	58	35	40
12/08/03	195	86	24	17	13	7	11	6
19/08/03	202	26	6	15	5	5		8
	n	26	30	29	30	29	29	30
	media	68	33	32	24	33	27	27
	desvio	33	23	22	13	30	21	21
	max	147	119	124	54	132	76	78
	min	12	2	10	5	4	2	4

(*) – Valores Perdidos

ANEXO A3:**Monitoramento de DQO – Sistema com Decantação**

Monitoramento de DQO dec.:							
Data	Dias de monit.	DQO dec. (mg/l)					
		FB 1	FB 2	FB 3	FB 4	FB 5	FB 6
28/01/03	1	97,9	65,3	87,9	82,9	67,8	52,7
30/01/03	3	57,8	62,8	60,3	57,8	55,3	62,8
03/02/03	6	60,3	55,3	70,3	65,3	47,7	60,3
05/02/03	8	80,4	70,3	65,3	67,8	60,3	57,8
10/02/03	13	55,3	52,7	45,2	45,2	35,2	37,7
12/02/03	15	74,1	83,9	74,1	71,6	51,8	46,9
17/02/03	20	98,7	125,9	81,5	44,4	54,3	59,2
20/02/03	23	81,5	91,3	64,2	66,6	46,9	46,9
24/02/03	27	77,0	69,0	59,0	54,0	52,0	47,0
26/02/03	29	88,9	91,3	96,3	66,6	51,8	54,3
06/03/03	39	86,4	69,1	74,1	49,4	44,4	51,8
10/03/03	43	61,7	61,7	51,8	41,9	34,6	41,9
13/03/03	46	79,0	93,8	69,1	165,4	88,9	135,8
17/03/03	50	81,5	61,7	66,7	39,5	26,6	44,4
24/03/03	57	101,2	81,5	88,9	81,4	49,4	49,4
01/04/03	64	95,4	95,4	88,3	78,7	90,6	54,9
10/04/03	73	45,3	63	54,9	73,9	73,9	28,6
15/04/03	78	104,9	109,7	124	*	78,7	93,03
22/05/03	115	76,3	97,8	73,9	107,3	69,2	85,9
27/05/03	120	71,2	60,5	54	49,7	41	23,7
29/05/03	122	77,7	90,7	73,4	51,8	56,1	51,8
04/06/03	127	107,9	114,4	60,5	58,3	45,3	51,8
05/06/03	128	73,4	79,9	53,9	49,7	56,1	41
29/07/03	182	105	97,5	82,5	65	62,5	45
05/08/03	188	156,8	154,3	200,8	134,7	137,2	102,9
07/08/03	190	127,4	129,8	105,3	90,6	107,8	85,7
19/08/03	195	107,8	102,9	112,7	95,5	98	61,24
	n	26	26	26	25	26	26
	media	86	86	79	71	62	58
	desvio	24	26	31	29	24	24
	max	157	154	201	165	137	136
	min	45	53	45	40	27	24

(*) – Valores Perdidos

ANEXO A4:**Monitoramento de DQO filtrada – Sistema com Decantação**

Monitoramento de DQO filtrada:								
Data	Dias de monit.	DQO filt (mg/l)						
		UASB	FB 1	FB 2	FB 3	FB 4	FB 5	FB 6
28/01/03	1	80,4	35,2	77,9	40,2	42,7	50,2	35,2
30/01/03	3	80,4	52,7	47,7	29,6	65,3	42,7	42,7
03/02/03	6	52,7	45,2	37,7	37,7	40,2	40,2	32,6
05/02/03	8	77,9	50,2	45,2	42,7	40,2	42,7	32,6
10/02/03	13	55,3	40,2	37,7	45,2	45,2	32,6	37,7
12/02/03	15	74,5	37,4	42,7	34,8	29,5	32,1	26,9
17/02/03	20	51,8	44,4	54,3	29,6	46,9	*	*
20/02/03	23	59,2	*	64,2	44,4	51,8	56,8	37,0
24/02/03	27	62,0	57,0	59,0	52,0	57,0	44,0	42,0
26/02/03	29	71,6	49,4	64,2	59,2	61,7	41,9	37,0
06/03/03	39	79,0	71,6	51,8	41,9	56,8	61,7	71,6
10/03/03	43	49,4	32,1	39,5	44,4	44,4	41,9	24,7
13/03/03	46	106,2	192,5	69,1	83,9	83,9	49,4	79,0
17/03/03	50	81,5	64,2	192,5	106,2	49,4	29,6	27,2
01/04/03	64	69,2	54,9	64,4	57,3	54,9	42,9	45,3
10/04/03	73	45,3	52,5	31,0	54,9	42,9	28,6	26,2
15/04/03	78	64,4	50,0	57,3	57,3	42,9	47,7	45,3
22/05/03	115	73,9	50,1	50,1	45,3	35,8	40,6	31,0
27/05/03	120	62,6	36,7	54,0	34,5	43,2	34,5	45,4
29/05/03	122	34,5	49,7	54,0	51,8	45,3	47,5	36,7
04/06/03	127	*	56,1	86,4	116,6	38,9	36,7	45,3
05/06/03	128	67,8	43,2	45,3	47,5	36,7	45,3	45,3
29/07/03	182	65,0	62,5	65,0	62,5	57,5	52,5	42,5
05/08/03	188	85,7	78,4	73,5	85,7	73,5	90,6	58,8
07/08/03	190	*	73,5	58,8	68,6	66,1	63,7	53,9
12/08/03	195	*	58,8	53,9	56,3	53,9	61,24	58,8
19/08/03	202	78,4	71	83,3	85,7	61,24	66,1	51,4
	n	24	26	27	27	27	26	26
	media	68	58	62	56	51	47	43
	desvio	15	30	30	22	12	14	13
	max	106	193	193	117	84	91	79
	min	35	32	31	30	30	29	25

(*) – Valores Perdidos

ANEXO A5:**Monitoramento de Turbidez – Sistema com Decantação**

Monitoramento turbidez:								
Data	Dias de monit.	Turbidez dec. (UTN)						
		UASB	FB 1	FB 2	FB 3	FB 4	FB 5	FB 6
28/01/03	1	18	8	8	8	8	9	6
30/01/03	3	47	18	18	14	12	11	10
03/02/03	6	46	17	14	11	13	10	13
05/02/03	8	40	14	14	10	10	8	9
10/02/03	13	32	12	13	9	7	6	7
12/02/03	15	30	14	15	12	10	8	5
17/02/03	20	50	21	19	17	17	11	13
20/02/03	23	50	19	22	12	11	10	9
24/02/03	27	45	20	19	14	11	7	6
26/02/03	29	66	20	24	17	11	6	8
06/03/03	39	59	19	18	16	13	12	11
10/03/03	43	52	16	18	12	8	4	8
13/03/03	46	150	16	18	11	8	8	5
17/03/03	50	50	17	15	12	7	4	6
24/03/03	57	104	22	18	18	12	7	6
01/04/03	64	51	16	13	18	12	14	8
10/04/03	73	65	20	20	12	16	11	12
15/04/03	78	75	50	45	36	*	27	24
27/05/03	120	40	19	14	11	16	10	7
29/05/03	122	61	18	16	13	11	12	10
04/06/03	127	52	19	17	10	13	12	11
05/06/03	128	36	23	23	15	12	10	12
16/07/03	169	*	39	29	18	19	20	19
24/07/03	177	*	40	35	35	20	10	10
29/07/03	182	*	24	25	18	15	12	11
31/07/03	184	*	28	24	25	18	19	18
05/08/03	188	*	50	45	55	45	45	24
	n	22	27	27	27	26	27	27
	media	55	22	21	17	14	12	11
	desvio	27	11	9	10	7	8	5
	max	150	50	45	55	45	45	24
	min	18	8	8	8	7	4	5

(*) – Valores Perdidos

ANEXO B

Planilhas de Monitoramento – Série histórica (Sistema sem Decantação)

ANEXO B1:**Monitoramento das vazões afluente aos FBPs**

Data	Dias de monit.	Vazão Média (l/h)					
		FB 1	FB 2	FB 3	FB 4	FB 5	FB 6
28/01/03	1	32,3	31,7	33,0	36,3	33,3	31,2
30/01/03	3	33,9	31,4	33,6	35,1	33,5	33,9
03/02/03	6	35,4	34,5	37,1	39,3	36,5	34,5
05/02/03	8	35,1	34,8	35,7	34,2	33,3	37,5
10/02/03	13	38,4	39,6	37,1	36,6	33,9	40,7
12/02/03	15	36,5	35,0	36,5	35,7	31,8	32,7
17/02/03	20	38,4	38,6	37,7	38,7	33,8	30,3
20/02/03	23	37,4	36,2	37,8	37,4	35,7	38,9
24/02/03	27	36,5	38,0	35,1	37,7	38,9	38,6
26/02/03	29	35,7	35,3	34,2	38,1	39,0	36,6
06/03/03	39	35,4	36,6	39,0	36,0	34,8	34,8
10/03/03	43	33,3	33,3	35,1	34,5	33,9	32,0
13/03/03	46	37,2	40,2	39,9	38,4	39,6	38,7
17/03/03	50	33,6	37,2	39,9	38,7	34,8	37,5
24/03/03	57	34,2	28,5	36,6	34,2	31,8	36,0
01/04/03	64	38,6	35,6	39,6	38,4	34,2	35,4
03/04/03	66	37,2	30,6	38,1	34,2	33,3	36,0
10/04/03	73	37,8	38,6	36,8	36,9	27,5	37,2
15/04/03	78	35,7	36,6	36,3	35,1	34,2	37,5
23/04/03	86	39,3	42,0	38,4	37,5	37,8	42,6
25/04/03	88	21,0	20,7	19,8	21,0	20,4	19,8
22/05/03	115	37,5	36,6	36,0	35,1	39,6	36,9
27/05/03	120	35,4	33,6	37,8	34,2	38,7	34,8
29/05/03	122	35,7	33,6	33,0	35,4	35,4	35,4
04/06/03	127	35,4	33,6	35,1	34,8	37,8	36,6
05/06/03	128	37,8	33,0	37,8	37,8	41,4	38,4
09/07/03	162	36,0	36,6	36,9	35,4	45,6	37,8
16/07/03	169	37,5	36,9	39,0	39,0	45,6	27,6
24/07/03	177	34,2	34,2	36,0	34,8	42,0	37,2
29/07/03	182	38,7	37,2	33,0	32,4	40,2	37,2
31/07/03	184	34,2	33,9	33,9	34,2	42,6	34,8
05/08/03	188	34,5	34,2	33,6	33,3	36,0	36,6
07/08/03	190	33,0	33,0	36,9	34,5	42,6	37,2
12/08/03	195	34,5	34,8	33,6	35,4	43,5	35,4
19/08/03	202	33,9	33,9	34,2	35,4	42,6	34,8
28/08/03	211	34,2	33,6	34,5	35,4	44,1	35,4
02/09/03	215	35,4	34,2	32,1	34,2	42,3	35,4
04/09/03	217	34,2	33,3	33,3	33,6	40,8	34,5
n		38	38	38	38	38	38
media		35,4	34,8	35,6	35,5	37,2	35,5
desvio		3,0	3,6	3,4	3,0	5,2	3,8
max		39,3	42,0	39,9	39,3	45,6	42,6
min		21,0	20,7	19,8	21,0	20,4	19,8

ANEXO B2:**Monitoramento de SST – Sistema sem Decantação**

Monitoramento de SST:								
Dias de monit.	Data	SST (mg/L)						
		UASB	FB 1	FB 2	FB 3	FB 4	FB 5	FB 6
28/01/03	1	128	35	153	31	38	49	23
30/01/03	3	87	80	57	37	38	18	100
03/02/03	6	63	37	45	33	82	47	127
05/02/03	8	41	22	17	25	29	33	65
10/02/03	13	52	29	29	38	38	36	49
12/02/03	15	72	40	63	34	31	34	27
17/02/03	20	75	36	60	50	62	51	70
20/02/03	23	29	14	17	15	23	19	57
24/02/03	27	47	36	27	16	22	30	37
26/02/03	29	89	5	27	23	20	15	28
06/03/03	39	42	24	28	40	39	51	21
10/03/03	43	64	18	15	16	13	12	9
17/03/03	50	59	32	53	23	38	24	30
24/03/03	57	147	46	39	37	34	52	31
01/04/03	64	100	54	65	122	86	189	113
10/04/03	73	129	80	73	64	177	79	87
15/04/03	78	52	47	16	19	*	42	34
22/05/03	115	35	40	52	26	41	40	64
29/05/03	122	85	65	23	16	32	26	29
04/06/03	127	38	12	45	49	28	37	55
05/06/03	128	12	29	25	51	34	18	35
16/07/03	169	*	35	36	39	17	34	66
24/07/03	177	*	80	31	55	52	30	34
29/07/03	182	53	49	52	53	94	54	40
31/07/03	184	*	85	87	67	76	72	47
05/08/03	188	78	68	68	66	66	74	37
07/08/03	190	*	179	262	47	53	43	30
12/08/03	195	86	53	37	53	44	48	17
19/08/03	202	26	39	15	30	32	21	19
	n	25	29	29	29	28	29	29
	media	67	47	52	40	48	44	48
	desvio	34	33	49	22	33	33	29
	max	147	179	262	122	177	189	127
	min	12	5	15	15	13	12	9

(*) – Valores Perdidos

ANEXO B3:**Monitoramento de DQO – Sistema sem Decantação**

Monitoramento de DQO:								
Data	Dias de monit.	DQO (mg/L)						
		UASB	FB 1	FB 2	FB 3	FB 4	FB 5	FB 6
28/01/03	1	105,5	87,9	85,4	72,8	108,0	100,5	62,8
30/01/03	3	155,7	128,1	97,9	85,4	65,3	67,8	57,8
03/02/03	6	115,5	85,4	72,8	62,8	97,9	70,3	130,6
05/02/03	8	113,0	90,4	75,3	70,3	75,3	65,3	85,4
10/02/03	13	113,0	77,9	77,9	70,3	62,8	60,3	50,2
12/02/03	15	91,3	91,3	59,2	88,9	66,7	69,1	51,8
17/02/03	20	182,7	133,3	140,7	135,8	172,8	*	*
20/02/03	23	150,6	98,7	113,5	111,1	113,6	93,8	116,0
24/02/03	27	104,0	79,0	81,0	79,0	69,0	69,0	67,0
26/02/03	29	192,5	101,2	101,2	96,3	74,1	66,7	54,3
06/03/03	39	101,2	86,4	123,4	86,4	74,1	91,3	80,0
10/03/03	43	130,8	83,9	74,1	74,1	49,4	39,5	41,9
13/03/03	46	130,8	143,2	148,1	209,8	150,6	96,3	64,2
17/03/03	50	106,2	106,2	64,2	76,5	101,2	49,6	66,7
24/03/03	57	106,2	103,7	88,9	88,9	56,8	180,2	61,7
01/04/03	64	198,0	116,9	114,5	109,7	143,1	135,9	104,9
10/04/03	73	167,0	105,0	109,7	100,2	193,2	81,1	109,7
15/04/03	78	152,7	126,4	145,5	119,3	*	95,8	119,3
22/05/03	115	78,7	69,2	76,3	143,1	90,6	109,7	109,7
27/05/03	120	64,8	71,2	75,6	71,2	69,0	73,4	62,6
29/05/03	122	95,0	95,0	101,5	90,7	82,0	79,9	84,2
04/06/03	127	*	120,9	131,7	125,2	123,1	97,2	97,2
05/06/03	128	138,2	92,8	88,5	105,8	69,1	66,9	79,9
29/07/03	182	165,0	197,5	190,0	150,0	210,0	137,5	87,5
05/08/03	188	198,4	176,4	178,8	161,7	161,7	156,8	102,9
07/08/03	190	*	144,5	137,2	115,1	122,5	129,8	107,8
12/08/03	195	225,4	176,4	120,0	139,6	112,7	110,2	75,9
19/08/03	202	181,3	166,6	132,3	151,9	132,3	144,5	124,9
	n	26	28	28	28	27	27	27
	media	137	113	107	107	105	94	84
	desvio	42	34	34	35	44	35	26
	max	225	198	190	210	210	180	131
	min	65	69	59	63	49	40	42

(*) – Valores Perdidos

ANEXO B4:**Monitoramento de DQO filtrada – Sistema sem Decantação**

Monitoramento de DQO filtrada:								
Data	Dias de monit.	DQO filt (mg/l)						
		UASB	FB 1	FB 2	FB 3	FB 4	FB 5	FB 6
28/01/03	1	80,4	35,2	77,9	40,2	42,7	50,2	35,2
30/01/03	3	80,4	52,7	47,7	29,6	65,3	42,7	42,7
03/02/03	6	52,7	45,2	37,7	37,7	40,2	40,2	32,6
05/02/03	8	77,9	50,2	45,2	42,7	40,2	42,7	32,6
10/02/03	13	55,3	40,2	37,7	45,2	45,2	32,6	37,7
12/02/03	15	74,5	37,4	42,7	34,8	29,5	32,1	26,9
17/02/03	20	51,8	44,4	54,3	29,6	46,9	*	*
20/02/03	23	59,2	*	64,2	44,4	51,8	56,8	37,0
24/02/03	27	62,0	57,0	59,0	52,0	57,0	44,0	42,0
26/02/03	29	71,6	49,4	64,2	59,2	61,7	41,9	37,0
06/03/03	39	79,0	71,6	51,8	41,9	56,8	61,7	71,6
10/03/03	43	49,4	32,1	39,5	44,4	44,4	41,9	24,7
13/03/03	46	106,2	192,5	69,1	83,9	83,9	49,4	79,0
17/03/03	50	81,5	64,2	192,5	106,2	49,4	29,6	27,2
01/04/03	64	69,2	54,9	64,4	57,3	54,9	42,9	45,3
10/04/03	73	45,3	52,5	31,0	54,9	42,9	28,6	26,2
15/04/03	78	64,4	50,0	57,3	57,3	42,9	47,7	45,3
22/05/03	115	73,9	50,1	50,1	45,3	35,8	40,6	31,0
27/05/03	120	62,6	36,7	54,0	34,5	43,2	34,5	45,4
29/05/03	122	34,5	49,7	54,0	51,8	45,3	47,5	36,7
04/06/03	127	*	56,1	86,4	116,6	38,9	36,7	45,3
05/06/03	128	67,8	43,2	45,3	47,5	36,7	45,3	45,3
29/07/03	182	65,0	62,5	65,0	62,5	57,5	52,5	42,5
05/08/03	188	85,7	78,4	73,5	85,7	73,5	90,6	58,8
07/08/03	190	*	73,5	58,8	68,6	66,1	63,7	53,9
12/08/03	195	*	58,8	53,9	56,3	53,9	61,24	58,8
19/08/03	202	78,4	71	83,3	85,7	61,24	66,1	51,4
	n	24	26	27	27	27	26	26
	media	68	58	62	56	51	47	43
	desvio	15	30	30	22	12	14	13
	max	106	193	193	117	84	91	79
	min	35	32	31	30	30	29	25

(*) – Valores Perdidos

ANEXO B5:**Monitoramento de Turbidez – Sistema sem Decantação**

Monitoramento turbidez:								
Data	Dias de monit.	Turbidez (UTN)						
		UASB	FB 1	FB 2	FB 3	FB 4	FB 5	FB 6
28/01/03	1	18	11	11	13	13	14	8
30/01/03	3	47	26	22	20	18	15	13
03/02/03	6	46	17	15	14	26	13	32
05/02/03	8	40	19	14	13	13	11	21
10/02/03	13	32	15	14	14	14	12	11
12/02/03	15	30	19	24	14	12	13	7
17/02/03	20	50	28	26	23	32	27	25
20/02/03	23	50	21	24	18	20	19	29
24/02/03	27	45	23	23	18	15	14	13
26/02/03	29	66	16	27	19	13	10	10
06/03/03	39	59	22	20	19	21	19	13
10/03/03	43	52	20	17	14	9	7	10
13/03/03	46	150	18	21	13	11	10	8
17/03/03	50	50	23	22	14	14	9	10
24/03/03	57	104	31	23	22	12	15	13
01/04/03	64	51	25	21	18	25	32	19
10/04/03	73	65	33	28	25	69	31	33
15/04/03	78	75	60	55	50	*	38	35
27/05/03	120	40	19	16	11	16	13	12
29/05/03	122	61	20	20	17	17	15	19
04/06/03	127	52	30	27	25	21	22	28
05/06/03	128	36	32	27	29	22	21	23
16/07/03	169	*	45	33	30	19	25	24
24/07/03	177	*	61	34	26	31	15	20
29/07/03	182	*	43	41	34	41	24	25
31/07/03	184	*	50	39	32	30	29	19
05/08/03	188	*	65	60	60	55	60	28
	n	22	27	27	27	26	27	27
	media	55	29	26	22	23	20	19
	desvio	27	15	12	11	14	11	9
	max	150	65	60	60	69	60	35
	min	18	11	11	11	9	7	7

(*) – Valores Perdidos

ANEXO B6:**Monitoramento da Temperatura – Sistema sem Decantação**

Monitoramento Temperatura									
Data	Dias de monit.	Temperatura (°C)							
		UASB	FB 1	FB 2	FB 3	FB 4	FB 5	FB 6	
28/01/03	1	29	29	29	30	29	29	29	28
30/01/03	3	33	34	34	34	34	34	34	33
03/02/03	6	31	30	33	32	32	31	30	
10/02/03	13	*	31	31	33	31	31	28	
12/02/03	15	*	32	31	*	32	*	29	
17/02/03	20	32	32	32	31	29	*	29	
20/02/03	23	35	36	36	36	36	37	36	
24/02/03	27	33	33	34	34	33	32	33	
06/03/03	39	33	33	32	33	33	33	30	
10/03/03	43	34	34	34	34	34	33	32	
13/03/03	46	33	34	33	34	34	32	32	
17/03/03	50	32	32	32	32	32	31	31	
24/03/03	57	32	32	32	31	31	31	30	
01/04/03	64	31	33	33	33	33	32	31	
10/04/03	73	30	32	32	32	33	32	31	
15/04/03	78	*	27	28	27	27	27	27	
22/05/03	115	27	28	28	27	26	26	27	
27/05/03	120	25	26	26	26	26	25	25	
29/05/03	122	26	27	27	26	26	26	26	
04/06/03	127	28	30	30	29	29	29	29	
05/06/03	128	26	28	28	27	27	27	27	
16/07/03	169	*	22	22	22	22	22	22	
24/07/03	177	*	26	26	25	26	26	26	
29/07/03	182	25	28	28	27	28	26	27	
31/07/03	184	26	27	27	27	27	26	26	
05/08/03	188	24	26	27	26	26	26	25	
07/08/03	190	*	27	28	27	27	27	27	
12/08/03	195	23	26	27	26	26	25	25	
19/08/03	202	23	27	26	26	27	26	25	
28/08/03	211	*	25	25	24	25	25	25	
02/09/03	215	*	24	24	24	24	23	23	
04/09/03	217	*	26	26	25	26	24	24	
	n	23	32	32	31	32	30	32	
	media	29,0	29,2	29,3	29,0	29,0	28,4	28,0	
	desvio	3,7	3,5	3,5	3,8	3,5	3,7	3,2	
	max	35,0	36,0	36,0	36,0	36,0	37,0	36,0	
	min	22,8	21,7	21,6	21,8	21,6	21,5	21,8	

(*) – Valores Perdidos

ANEXO B7:**Monitoramento do pH – Sistema sem Decantação**

Monitoramento do pH									
Data	Dias de monit.	pH							
		UASB	FB 1	FB 2	FB 3	FB 4	FB 5	FB 6	
28/01/03	1	7,2	8,2	8,1	8,1	8,1	8,2	8,1	8,1
30/01/03	3	*	*	*	*	*	*	*	*
03/02/03	6	7,0	7,9	7,8	8,0	8,0	8,1	8,0	8,0
10/02/03	13	*	8,1	7,9	8,0	8,1	8,1	8,0	8,0
12/02/03	15	*	*	*	*	*	*	*	*
17/02/03	20	7,0	8,0	7,9	7,9	8,1	8,1	8,0	8,0
20/02/03	23	6,8	7,6	7,5	7,7	7,8	7,8	7,9	7,9
24/02/03	27	7,1	7,7	7,6	8,0	7,8	7,9	7,9	7,9
06/03/03	39	6,8	7,5	7,4	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7
10/03/03	43	6,9	7,3	7,3	7,4	7,7	7,6	7,4	7,4
13/03/03	46	6,8	7,5	7,4	7,4	7,7	7,6	7,6	7,6
17/03/03	50	7,1	7,4	7,4	7,5	7,8	7,7	7,7	7,7
24/03/03	57	7,3	7,6	7,7	7,6	7,9	7,8	7,8	7,8
01/04/03	64	7,0	7,6	7,7	7,7	7,9	8,0	7,9	7,9
10/04/03	73	6,9	7,7	7,6	7,7	8,0	8,0	8,0	7,8
15/04/03	78	7,0	7,6	7,5	7,6	7,9	7,8	7,7	7,7
22/05/03	115	7,1	7,6	7,7	7,7	8,0	8,0	7,9	7,9
27/05/03	120	7,2	7,6	7,7	7,6	8,0	7,8	7,8	7,8
29/05/03	122	7,0	7,6	7,6	7,6	8,0	7,9	7,8	7,8
04/06/03	127	7,1	7,4	7,6	7,7	7,9	7,8	7,7	7,7
05/06/03	128	6,6	7,1	7,1	7,2	7,5	7,5	7,4	7,4
16/07/03	169	*	7,4	7,3	7,5	7,7	7,8	7,7	7,7
24/07/03	177	*	7,1	7,2	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
29/07/03	182	7,0	7,1	7,1	7,6	7,7	7,7	7,5	7,5
31/07/03	184	7,0	7,3	7,3	7,8	7,8	7,8	7,7	7,7
05/08/03	188	7,4	7,0	6,9	6,8	6,9	6,5	6,6	6,6
07/08/03	190	*	6,8	7,0	7,7	7,7	7,8	7,5	7,5
12/08/03	195	7,2	7,4	7,4	7,7	7,8	7,9	7,6	7,6
19/08/03	202	7,1	7,3	7,3	7,8	7,8	7,8	7,6	7,6
28/08/03	211	*	7,2	7,3	7,9	7,9	7,9	7,7	7,7
02/09/03	215	*	7,3	7,3	7,6	7,8	7,7	7,7	7,7
04/09/03	217	*	7,3	7,3	7,9	7,9	7,9	7,6	7,6
	n	23	30	30	30	30	30	30	30
	media	7,0	7,5	7,5	7,7	7,8	7,8	7,7	7,7
	desvio	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3
	max	7,4	8,2	8,1	8,1	8,1	8,2	8,1	8,1
	min	6,6	6,8	6,9	6,8	6,9	6,5	6,6	6,6

(*) – Valores Perdidos

ANEXO B8:**Monitoramento do Oxigênio Dissolvido (OD) – Sistema sem Decantação**

Monitoramento do OD							
Data	Dias de monit.	OD (mg/l)					
		FB 1	FB 2	FB 3	FB 4	FB 5	FB 6
28/01/03	1	4,2	4,2	4,6	4,7	4,3	4,8
30/01/03	3	5,8	5,7	6,1	5,9	5,6	6,4
03/02/03	6	4,1	3,0	4,0	4,0	4,2	4,7
10/02/03	13	3,6	3,5	3,1	3,5	3,6	4,1
12/02/03	15	3,6	3,5	*	3,6	*	3,9
17/02/03	20	5,2	5,1	5,1	5,3	*	5,7
20/02/03	23	3,6	3,6	3,4	3,2	3,6	3,7
24/02/03	27	6,2	5,7	5,2	5,0	5,6	5,4
06/03/03	39	6,3	5,9	5,4	4,9	5,2	6,0
10/03/03	43	4,7	5,0	6,3	4,9	5,0	6,5
13/03/03	46	5,3	5,4	5,2	4,8	5,1	5,2
17/03/03	50	4,8	4,6	5,5	5,0	5,4	6,3
24/03/03	57	4,7	5,0	6,4	5,3	5,7	6,2
01/04/03	64	6,1	5,7	6,1	5,2	5,2	5,4
10/04/03	73	5,0	4,8	4,6	4,8	5,0	5,9
15/04/03	78	2,3	1,5	2,0	3,8	4,2	3,3
22/05/03	115	4,0	3,9	3,8	4,0	4,5	4,1
27/05/03	120	2,2	1,8	2,2	2,9	3,8	3,5
29/05/03	122	1,9	2,2	2,8	3,3	3,5	2,9
04/06/03	127	2,6	2,5	2,8	3,4	3,2	3,1
05/06/03	128	3,4	3,5	4,2	3,8	4,7	4,3
16/07/03	169	3,2	3,1	3,3	3,5	4,2	4,3
24/07/03	177	3,7	3,4	4,3	4,2	4,0	4,1
29/07/03	182	2,4	1,9	2,5	2,6	2,5	3,2
31/07/03	184	2,9	3,0	3,8	3,7	4,1	3,8
05/08/03	188	4,4	4,2	6,1	6,7	6,0	5,5
07/08/03	190	3,2	2,9	4,1	4,8	4,5	3,5
12/08/03	195	4,0	3,9	5,5	5,3	5,6	5,8
19/08/03	202	4,0	4,7	6,0	5,0	5,5	5,9
28/08/03	211	3,9	3,9	5,2	4,9	4,8	3,9
02/09/03	215	4,6	5,3	5,4	6,3	6,0	6,4
04/09/03	217	2,8	3,1	4,4	4,5	5,6	5,4
	n	32	32	31	32	30	32
	media	4,0	3,9	4,5	4,5	4,7	4,8
	desvio	1,2	1,2	1,3	1,0	0,9	1,1
	max	6,3	5,9	6,4	6,7	6,0	6,5
	min	1,9	1,5	2,0	2,6	2,5	2,9

(*) – Valores Perdidos

ANEXO C

Planilhas de Monitoramento – Cargas Hidráulica e Orgânicas

ANEXO C1:**Monitoramento da Carga Superficial Aplicada (m³/m².d)**

Data	Dias de monit.	Taxa Superficial (m ³ /m ² dia)					
		FB 1	FB 2	FB 3	FB 4	FB 5	FB 6
28/01/03	1	43,0	31,7	25,5	17,8	11,3	7,8
30/01/03	3	45,2	31,4	26,0	17,2	11,3	8,5
03/02/03	6	47,2	34,5	28,7	19,2	12,3	8,6
05/02/03	8	46,8	34,8	27,6	16,8	11,3	9,4
10/02/03	13	51,2	39,6	28,7	17,9	11,5	10,2
12/02/03	15	48,6	35,0	28,2	17,5	10,7	8,2
17/02/03	20	51,2	38,6	29,1	19,0	11,4	7,6
20/02/03	23	49,8	36,2	29,3	18,3	12,1	9,7
24/02/03	27	48,6	38,0	27,2	18,4	13,1	9,6
26/02/03	29	47,6	35,3	26,5	18,7	13,2	9,2
06/03/03	39	47,2	36,6	30,2	17,6	11,8	8,7
10/03/03	43	44,4	33,3	27,2	16,9	11,5	8,0
13/03/03	46	49,6	40,2	30,9	18,8	13,4	9,7
17/03/03	50	44,8	37,2	30,9	19,0	11,8	9,4
24/03/03	57	45,6	28,5	28,3	16,8	10,7	9,0
01/04/03	64	51,4	35,6	30,7	18,8	11,6	8,9
03/04/03	66	49,6	30,6	29,5	16,8	11,3	9,0
10/04/03	73	50,4	38,6	28,5	18,1	9,3	9,3
15/04/03	78	47,6	36,6	28,1	17,2	11,6	9,4
23/04/03	86	52,4	42,0	29,7	18,4	12,8	10,7
25/04/03	88	28,0	20,7	15,3	10,3	6,9	5,0
22/05/03	115	50,0	36,6	27,9	17,2	13,4	9,2
27/05/03	120	47,2	33,6	29,3	16,8	13,1	8,7
29/05/03	122	47,6	33,6	25,5	17,3	12,0	8,9
04/06/03	127	47,2	33,6	27,2	17,0	12,8	9,2
05/06/03	128	50,4	33,0	29,3	18,5	14,0	9,6
09/07/03	162	48,0	36,6	28,6	17,3	15,4	9,5
16/07/03	169	50,0	36,9	30,2	19,1	15,4	6,9
24/07/03	177	45,6	34,2	27,9	17,0	14,2	9,3
29/07/03	182	51,6	37,2	25,5	15,9	13,6	9,3
31/07/03	184	45,6	33,9	26,2	16,8	14,4	8,7
05/08/03	188	46,0	34,2	26,0	16,3	12,2	9,2
07/08/03	190	44,0	33,0	28,6	16,9	14,4	9,3
12/08/03	195	46,0	34,8	26,0	17,3	14,7	8,9
19/08/03	202	45,2	33,9	26,5	17,3	14,4	8,7
28/08/03	211	45,6	33,6	26,7	17,3	14,9	8,9
02/09/03	215	47,2	34,2	24,9	16,8	14,3	8,9
04/09/03	217	45,6	33,3	25,8	16,5	13,8	8,6
n		38	38	38	38	38	38
media		47,2	34,8	27,6	17,4	12,6	8,9
desvio		4,0	3,6	2,6	1,5	1,7	0,9
max		52,4	42,0	30,9	19,2	15,4	10,7
min		28,0	20,7	15,3	10,3	6,9	5,0

ANEXO C2:**Monitoramento da Carga Volumétrica Aplicada de DQO (KgDQO/m³.d)**

Monitoramento de DQO:							
Data	Dias de monit.	CV DQO aplicada Kg/m³.dia					
		FB 1	FB 2	FB 3	FB 4	FB 5	FB 6
28/01/03	1	3,08	2,22	1,77	1,25	0,80	0,55
30/01/03	3	4,78	3,25	2,66	1,78	1,18	0,88
03/02/03	6	3,70	2,65	2,18	1,48	0,95	0,66
05/02/03	8	3,59	2,62	2,05	1,26	0,85	0,70
10/02/03	13	3,93	2,98	2,13	1,35	0,87	0,76
12/02/03	15	3,01	2,12	1,69	1,06	0,66	0,50
17/02/03	20	6,35	4,69	3,50	2,30	1,40	0,92
20/02/03	23	5,09	3,62	2,90	1,83	1,22	0,97
24/02/03	27	3,43	2,63	1,86	1,28	0,91	0,67
26/02/03	29	6,22	4,51	3,35	2,39	1,70	1,17
06/03/03	39	3,24	2,46	2,01	1,19	0,80	0,59
10/03/03	43	3,94	2,90	2,34	1,47	1,00	0,70
13/03/03	46	4,41	3,50	2,66	1,64	1,17	0,84
17/03/03	50	3,23	2,63	2,16	1,34	0,84	0,66
24/03/03	57	3,29	2,01	1,98	1,18	0,76	0,64
01/04/03	64	6,91	4,68	3,99	2,48	1,53	1,17
10/04/03	73	5,72	4,28	3,13	2,01	1,04	1,03
15/04/03	78	4,94	3,72	2,82	1,75	1,18	0,95
22/05/03	115	2,67	1,92	1,44	0,90	0,71	0,48
27/05/03	120	2,08	1,45	1,25	0,72	0,57	0,38
29/05/03	122	3,07	2,12	1,60	1,10	0,76	0,56
04/06/03	127	*	*	*	*	*	*
05/06/03	128	4,73	3,03	2,66	1,70	1,30	0,88
29/07/03	182	5,78	4,08	2,77	1,74	1,50	1,02
05/08/03	188	6,20	4,51	3,40	2,15	1,62	1,21
07/08/03	190	*	*	*	*	*	*
12/08/03	195	7,04	5,22	3,86	2,60	2,22	1,33
19/08/03	202	5,56	4,09	3,16	2,09	1,75	1,05
	n	26	26	26	26	26	26
	media	4,5	3,2	2,5	1,6	1,1	0,8
	desvio	1,4	1,0	0,7	0,5	0,4	0,3
	max	7,0	5,2	4,0	2,6	2,2	1,3
	min	2,1	1,4	1,2	0,7	0,6	0,4

(*) – Valores Perdidos

ANEXO C2:**Monitoramento da Carga Volumétrica Aplicada de SST (KgSST/m³.d)**

Monitoramento de SST:								
Dias de monit.	Data	CV SST aplicada/m³.dia						
		FB 1	FB 2	FB 3	FB 4	FB 5	FB 6	
28/01/03	1	3,74	2,69	2,15	1,51	0,96	0,66	
30/01/03	3	2,67	1,81	1,49	1,00	0,66	0,49	
03/02/03	6	2,02	1,45	1,19	0,81	0,52	0,36	
05/02/03	8	1,30	0,95	0,75	0,46	0,31	0,26	
10/02/03	13	1,79	1,36	0,97	0,61	0,40	0,35	
12/02/03	15	2,38	1,67	1,34	0,84	0,52	0,39	
17/02/03	20	2,59	1,91	1,43	0,94	0,57	0,38	
20/02/03	23	0,98	0,70	0,56	0,35	0,23	0,19	
24/02/03	27	1,53	1,17	0,83	0,57	0,41	0,30	
26/02/03	29	2,86	2,08	1,54	1,10	0,78	0,54	
06/03/03	39	1,35	1,02	0,83	0,49	0,33	0,24	
10/03/03	43	1,93	1,42	1,14	0,72	0,49	0,34	
17/03/03	50	1,79	1,46	1,20	0,74	0,46	0,37	
24/03/03	57	4,54	2,78	2,73	1,63	1,05	0,88	
01/04/03	64	3,49	2,36	2,02	1,25	0,77	0,59	
10/04/03	73	4,41	3,31	2,41	1,55	0,80	0,80	
15/04/03	78	1,68	1,27	0,96	*	0,40	0,32	
22/05/03	115	1,19	0,85	0,64	0,40	0,31	0,21	
29/05/03	122	2,75	1,90	1,43	0,98	0,68	0,50	
04/06/03	127	1,22	0,85	0,68	0,43	0,33	0,23	
05/06/03	128	0,41	0,26	0,23	0,15	0,11	0,08	
16/07/03	169	*	*	*	*	*	*	
24/07/03	177	*	*	*	*	*	*	
29/07/03	182	1,86	1,31	0,89	0,56	0,48	0,33	
31/07/03	184	*	*	*	*	*	*	
05/08/03	188	2,44	1,77	1,33	0,85	0,64	0,47	
07/08/03	190	*	*	*	*	*	*	
12/08/03	195	*	*	*	*	*	*	
19/08/03	202	*	*	*	*	*	*	
	n	23	23	23	22	23	23	
	media	2,2	1,6	1,2	0,8	0,5	0,4	
	desvio	1,1	0,7	0,6	0,4	0,2	0,2	
	max	4,5	3,3	2,7	1,6	1,1	0,9	
	min	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	

(*) – Valores Perdidos

ANEXO C3:

**Monitoramento da Carga Volumétrica Removida de DQO (KgDQO/m³.d)
Sistema Sem Decantação**

Monitoramento de DQO:							
Data	Dias de monit.	CV DQO_{removida} Kg/m³.dia					
		FB 1	FB 2	FB 3	FB 4	FB 5	FB 6
28/01/03	1	0,51	0,42	0,55		0,04	0,22
30/01/03	3	0,85	1,21	1,20	1,03	0,67	0,55
03/02/03	6	0,96	0,98	0,99	0,23	0,37	*
05/02/03	8	0,72	0,87	0,78	0,42	0,36	0,17
10/02/03	13	1,22	0,92	0,81	0,60	0,40	0,42
12/02/03	15	*	0,75	0,04	0,29	0,16	0,21
17/02/03	20	1,72	1,08	0,90	0,12	*	*
20/02/03	23	1,76	0,89	0,76	0,45	0,46	0,22
24/02/03	27	0,83	0,58	0,45	0,43	0,31	0,24
26/02/03	29	2,95	2,14	1,68	1,47	1,11	0,84
06/03/03	39	0,47		0,29	0,32	0,08	0,12
10/03/03	43	1,41	1,26	1,01	0,92	0,70	0,47
13/03/03	46	*		*	*	0,31	0,43
17/03/03	50	*	1,04	0,60	0,06	0,45	0,25
24/03/03	57	0,08	0,33	0,32	0,55	*	0,27
01/04/03	64	2,83	1,97	1,78	0,69	0,48	0,55
10/04/03	73	2,12	1,47	1,25	*	0,53	0,35
15/04/03	78	0,85	0,18	0,62	*	0,44	0,21
22/05/03	115	0,32	0,06	*	*	*	*
27/05/03	120	*	*	*	*	*	0,01
29/05/03	122	*	*	0,07	0,15	0,12	0,06
04/06/03	127	*	*	*	*	*	*
05/06/03	128	1,55	1,09	0,62	0,85	0,67	0,37
29/07/03	182	*	*	0,25	*	0,25	0,48
05/08/03	188	0,69	0,45	0,63	0,40	0,34	0,58
07/08/03	190	*	*	*	*	*	*
12/08/03	195	1,53	2,44	1,47	1,30	1,13	0,88
19/08/03	202	0,45	1,10	0,51	0,57	0,35	0,33
	n	20	21	23	19	22	23
	media	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,4
	desvio	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
	max	3,0	2,4	1,8	1,5	1,1	0,9
	min	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0

(*) – Valores Perdidos

ANEXO C4:

**Monitoramento da Carga Volumétrica Removida de DQO (KgDQO/m³.d)
Sistema Com Decantação**

Monitoramento de DQO dec.:							
Data	Dias de monit.	CV DQO dec. Removida Kg/m³.dia					
		FB 1	FB 2	FB 3	FB 4	FB 5	FB 6
28/01/03	1	0,22	0,85	0,30	0,27	0,28	0,27
30/01/03	3	3,00	1,94	1,63	1,12	0,76	0,52
03/02/03	6	1,77	1,38	0,85	0,64	0,56	0,32
05/02/03	8	1,04	0,99	0,87	0,50	0,40	0,34
10/02/03	13	2,01	1,59	1,28	0,81	0,60	0,51
12/02/03	15	0,57	0,17	0,32	0,23	0,28	0,24
17/02/03	20	2,92	1,46	1,94	1,74	0,98	0,62
20/02/03	23	2,34	1,43	1,66	1,02	0,84	0,67
24/02/03	27	0,89	0,88	0,80	0,61	0,46	0,37
26/02/03	29	3,35	2,37	1,68	1,56	1,24	0,84
06/03/03	39	0,47	0,78	0,54	0,61	0,45	0,29
10/03/03	43	2,08	1,53	1,41	1,00	0,74	0,47
13/03/03	46	1,74	0,99	1,25	*	0,38	0,43
17/03/03	50	0,75	1,10	0,80	0,84	0,63	0,39
24/03/03	57	0,15	0,47	0,32	0,28	0,41	0,34
01/04/03	64	3,58	2,43	2,21	1,49	0,83	0,84
10/04/03	73	4,17	2,67	2,10	1,12	0,58	0,86
15/04/03	78	1,55	1,05	0,53	*	0,57	0,37
22/05/03	115	0,08	0,06	0,09	*	0,09	*
27/05/03	120	*	0,10	0,21	0,17	0,21	0,24
29/05/03	122	0,56	0,10	0,36	0,50	0,31	0,25
04/06/03	127	*	*	*	*	*	*
05/06/03	128	2,22	1,28	1,62	1,09	0,77	0,62
29/07/03	182	2,10	1,67	1,39	1,06	*	*
05/08/03	188	1,30	1,00		0,69	*	*
07/08/03	190	*	*	*	*	*	*
19/08/03	195	1,53	2,44	1,47	1,30	1,13	0,88
	n	23	24	23	21	22	21
	media	1,7	1,2	1,1	0,8	0,6	0,5
	desvio	1,2	0,7	0,7	0,4	0,3	0,2
	max	4,2	2,7	2,2	1,7	1,2	0,9
	min	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2

(*) – Valores Perdidos

ANEXO D

Planilhas de Monitoramento da ETE-UFES

ANEXO D1:**Monitoramento de SST da ETE-UFES**

Nº	Data	Sólido Suspenso Total - SST		
		Bruto (mg/l)	UASB (mg/l)	Eficiência (%)
1	09/10/02	398	105	73,62
2	23/10/02	175	93	46,86
3	30/10/02	196	87	55,61
4	06/11/02	152	79	48,03
5	13/11/02	136	46	66,18
6	20/11/02	251	68	72,91
7	27/11/02	188	101	46,28
8	04/12/02	152	78	48,68
9	13/03/03	298		
10	19/03/03	132	58	56,06
11	27/03/03	211	87	58,77
12	02/04/03	190	35	81,58
13	07/05/03	334	14	95,81
14	14/05/03	326	112	65,64
15	21/05/03	292	79	72,95
16	28/05/03	346	58	83,24
17	08/07/03	132	23	82,58
18	16/07/03	838	57	93,20
19	23/07/03	380	89	76,58
20	30/07/03	546	113	79,30
21	06/08/03	302	87	71,19
22	13/08/03	1685	44	97,39
23	20/08/03	605		
24	28/08/03	1575	116	92,63
25	05/11/03	415	42	89,88
Média		410,20	72,65	71,95
Máximo		1685,00	116,00	97,39
Mínimo		132,00	14,00	46,28
Desvio Padrão		403,37	29,24	16,51

ANEXO D2:**Monitoramento de DQO da ETE-UFES**

Nº	Data	Demanda Química de Oxigênio - DQO		
		Bruto (mg/l)	UASB (mg/l)	Eficiência (%)
1	09/10/02	1036	245	76,35
2	23/10/02	472	194	58,90
3	30/10/02	564	138	75,53
4	06/11/02	502	163	67,53
5	13/11/02	493	145	70,59
6	20/11/02	541	145	73,20
7	27/11/02	373	131	64,88
8	04/12/02	376	173	53,99
9	05/02/03	385	60	84,42
10	19/03/03	212	51	75,94
11	26/03/03	301	41	86,38
12	02/04/03	202	102	49,50
13	09/04/03	200	44	78,00
14	07/05/03	200	42	79,00
15	14/05/03	186	51	72,58
16	21/05/03	262	63	75,95
17	28/05/03	181	51	71,82
18	25/06/03	119	95	20,17
19	02/07/03	138	100	27,54
20	08/07/03	196	150	23,47
21	16/07/03	782	219	71,99
22	23/07/03	382	172	54,97
23	30/07/03	487	172	64,68
24	06/08/03		198	
25	13/08/03	323	174	46,13
26	20/08/03	429	187	56,41
27	28/08/03	600		
28	03/09/03	343	257	25,07
29	11/09/03	282	120	57,45
30	15/10/03	512	207	59,57
31	29/10/03	490	142	71,02
32	05/11/03	441	162	63,27
33	12/11/03	294	166	43,54
34	12/11/03	332	112	66,27
35	17/12/03	495	149	69,90
36	14/01/04	385	126	67,27
37	28/01/04	464	129	72,20
Média		388,33	135,44	62,16
Máximo		1.036,00	257,00	86,38
Mínimo		119,00	41,00	20,17
Desvio Padrão		185,76	58,74	17,14

ANEXO D3:**Monitoramento de DQO filtrada da ETE-UFES**

Nº	Data	DQO Filtrada		
		Bruto (mg/l)	UASB (mg/l)	Eficiência (%)
1	09/10/02	207	84	59,42
2	23/10/02	224	80	64,29
3	30/10/02	154	58	62,34
4	06/11/02	201	85	57,71
5	13/11/02	229	70	69,43
6	20/11/02	156	62	60,26
7	27/11/02	137	61	55,47
8	04/12/02	185	74	60,00
9	25/06/03	51	24	52,94
10	02/07/03	93	44	52,69
11	08/07/03	104	55	47,12
12	16/07/03	198	74	62,63
13	30/07/03	198	93	53,03
14	06/08/03	130	29	77,69
15	13/08/03	158	89	43,67
16	20/08/03	119	39	67,23
17	28/08/03	102	42	58,82
18	03/09/03	129	45	65,12
19	11/09/03	62	32	48,39
20	12/11/03	105	36	65,71
Média		147,10	58,80	59,20
Máximo		229,00	93,00	77,69
Mínimo		51,00	24,00	43,67
Desvio Padrão		52,59	21,63	8,20

ANEXO D4:**Monitoramento de DBO₅ da ETE-UFES**

Nº	Data	Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO		
		Bruto (mg/l)	UASB (mg/l)	Eficiência (%)
1	24/10/02	205	40	80,49
2	07/11/02	165	52	68,48
3	28/11/02	11	40	
4	16/07/03	253	136	46,22
5	23/07/03	195	105	45,95
6	30/07/03	145	64	55,59
7	06/08/03	87	54	37,11
8	13/08/03		86	
9	03/09/03	290	155	46,53
10	08/10/03	271	147	45,51
11	15/10/03	177	99	43,80
12	22/10/03	105	39	62,30
13	29/10/03	138	61	55,80
14	05/11/03	63	22	65,12
15	12/11/3	68	24	64,41
16	21/01/04	305	72	76,39
17	28/01/04	305	86	71,80
Média		173,72	75,53	57,70
Máximo		305,00	154,80	80,49
Mínimo		11,00	21,80	37,11
Desvio Padrão		92,91	41,43	13,29

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)