

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA OPERAÇÃO DE DESCARTE DE LODO NO
DESEMPENHO DE REATORES UASB EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS NO DISTRITO FEDERAL**

RICARDO AUGUSTO RAMOS

ORIENTADOR: MARCO ANTONIO ALMEIDA DE SOUZA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS
HÍDRICOS**

PUBLICAÇÃO: PTARH.DM - 117/2008

BRASÍLIA/DF: 18 DE DEZEMBRO DE 2008.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA OPERAÇÃO DE DESCARTE DE LODO NO
DESEMPENHO DE REATORES UASB EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS NO DISTRITO FEDERAL**

RICARDO AUGUSTO RAMOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS.

APROVADA POR:

Prof. Marco Antonio Almeida de Souza, PhD. (ENC-UnB)
(ORIENTADOR)

Prof. Ariuska Karla Amorim, DSc. (ENC-UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

Prof. Mario Takayuki Kato, DSc. (UFPE)
(EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA, 18 DE DEZEMBRO DE 2008.

FICHA CATALOGRÁFICA

RAMOS, RICARDO AUGUSTO	
Avaliação da influência da operação de descarte de lodo no desempenho dos reatores UASB em estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal [Distrito Federal] 2008. xviii, 133p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2008). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.	
1. Tratamento anaeróbio. 3. UASB. 5. Escuma I. ENC/FT/UnB	2. Reator anaeróbio. 4. Lodo. II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

RAMOS, R. A. (2008). Avaliação da influência da operação de descarte de lodo no desempenho dos reatores UASB em estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM - 117/2008, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 133p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Ricardo Augusto Ramos.

TÍTULO DA DISSERAÇÃO DE MESTRADO: Avaliação da influência da operação de descarte de lodo no desempenho dos reatores UASB em estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal.

GRAU: Mestre

ANO: 2008

É concedida à Universidade de Brasília permissão para produzir cópias dessa dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado poderá ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Ricardo Augusto Ramos
SHCES Quadra 601, Bloco B, Apartamento 205
CEP: 70.655-612 – Brasília – DF – Brasil.
Endereço eletrônico: ricardoaugustoramos@hotmail.com

*A minha irmã,
Maria de Fátima Ramos,
Saudade.*

AGRADECIMENTOS

Ao professor Marco Antonio Almeida de Souza, pela orientação e amizade.

Aos professores, colegas e funcionários do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, pela dedicação e incentivo.

À Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB por proporcionar minha participação no curso de mestrado.

Aos funcionários do laboratório da ETE Gama pela colaboração e apoio na realização dos ensaios previstos no experimento.

RESUMO

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA OPERAÇÃO DE DESCARTE DE LODO NO DESEMPENHO DOS REATORES UASB EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS NO DISTRITO FEDERAL

Autor: Ricardo Augusto Ramos
Orientador: Marco Antonio Almeida de Souza
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos
Brasília, dezembro de 2008.

O emprego de reatores UASB em estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal vem sendo bastante difundido desde o início dos anos 1990, atendendo mais de um milhão de habitantes (POE/CAESB, 2005). Por outro lado, os problemas relativos ao manejo adequado do lodo produzido nos reatores ainda não foram suficientemente solucionados, gerando demandas crescentes de operação e manutenção. Ao avaliar a influência da operação de descarte de lodo no desempenho dos reatores UASB no DF, pretendeu-se determinar uma rotina eficiente de descarte de lodo que minimiza os problemas operacionais observados. Por meio da avaliação do desempenho dos reatores UASB da estação de tratamento de esgotos do Gama, submetidos a diferentes rotinas de descarte de lodo, buscou-se uma forma de generalização dos resultados para as demais estações de tratamento de esgotos do DF. Após monitoramento de dois reatores UASB da ETE Gama, avaliando os impactos da suspensão do descarte programado de lodo em uma das unidades, verificaram-se remoções médias de 69% de DQO, 86% de DBO e 58% para SST, superiores às observadas durante a operação regularmente adotada (DQO = 61%, DBO = 81%, SST = 44%). A análise estatística, por meio do teste t de Student, revelou que as duas modalidades de operação produziram efluentes de características distintas para DBO e DQO, nos níveis de 5 e 10% de significância e semelhantes para SST e sólidos sedimentáveis, apenas no nível de 5%. Observou-se que o excesso de espuma superficial é preocupante, podendo ter origem no fraco desempenho do tratamento preliminar e na ausência de uma estratégia de descarte de lodos bem definida. Utilizando uma metodologia proposta para amostragem do lodo e da espuma, foi definida uma rotina de periodicidade mensal para os descartes de lodo nos reatores. São ainda sugeridas alterações de projeto nos sistemas de descarte de espuma e para amostragem de lodo nos reatores UASB, buscando reduzir os gastos operacionais e de manutenção das unidades.

ABSTRACT

EVALUATING THE INFLUENCE OF SLUDGE DISCARD OVER UASB REACTORS PERFORMANCE IN SEWAGE TREATMENT PLANTS IN THE FEDERAL DISTRICT, BRAZIL

Author: Ricardo Augusto Ramos

Supervisor: Marco Antonio Almeida de Souza

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos
Brasília, december of 2008.

The use of UASB reactors as units of sewage treatment plants (STP) in the Federal District, Brazil, has been much disseminated since the beginning of the years 90, receiving sewage from more than a million inhabitants (POE/CAESB, 2005). On the other hand, the problems related to the appropriate handling of the sludge produced in the UASB reactors were not yet completely solved, generating growing demands on operation and maintenance. When evaluating the local influence of the operation of sludge discard in the UASB reactors' performance, it was intended to determine an efficient routine of sludge discard for minimizing the observed operational problems. Through the evaluation of the performance of the UASB reactors existing in the Gama sewage treatment plant, which were submitted to different routines of sludge discard, it was searched for a generalization of these results for other sewage treatment plants in the Federal District. Monitoring two UASB reactors in the Gama STP to evaluating the impacts of stopping the intentional discard of sludge in one of the units, it was verified removal efficiencies of 69% for COD, 86% for BOD, and 58% for TSS, which were higher than the observed ones during the regular operation (COD = 61%, BOD = 81%, TSS = 44%). The statistical analysis, using the Student test, showed that the two modalities of UASB reactors operation had produced effluents with distinct characteristics for BOD and COD, in the 5 and 10% significance levels, and that they were similar for SST and Settable Solids, only in the 5% significance level. It was observed that the excess of superficial scum is a problem, which may have its origin in the poor performance of the preliminary treatment and in the absence of a well defined strategy of sludge discard. Employing the proposed methodology for sampling the sludge and the scum inside the UASB reactors, an operational routine of monthly regularity for the sludge discards has been defined for the UASB reactors. Also, project alterations in the systems of discarding of scum and for sampling of sludge in the UASB reactors were suggested, looking for reducing the operational and maintenance expenses.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVOS GERAIS	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. O PROCESSO DE DEGRADAÇÃO ANAERÓBIA DA MATÉRIA ORGÂNICA	4
3.1.1. Hidrólise	6
3.1.2. Acidogênese	7
3.1.3. Acetogênese	8
3.1.4. Metanogênese	8
3.2. A CINÉTICA DA DIGESTÃO ANAERÓBIA	9
3.3. OS FATORES QUE INFLUENCIAM A DEGRADAÇÃO ANAERÓBIA	11
3.3.1. Temperatura	11
3.3.2. Nutrientes	12
3.3.3. Alcalinidade e pH	13
3.3.4. Cargas tóxicas e sobrecargas hidráulicas	14
3.3.5. Atividade metanogênica	14
3.4. O REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE E MANTA DE LODO	15
3.5. PARÂMETROS DE PROJETO EM REATORES UASB	19
3.6. A PRODUÇÃO DE LODO EM UM REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE	19
3.6.1. O crescimento da manta de lodo	19
3.6.2. Influência do descarte de lodo no desempenho do reator anaeróbio de fluxo ascendente	22
3.6.3. A produção de espuma no reator anaeróbio de fluxo ascendente	23
3.7. ASPECTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO EM REATORES UASB	25
3.8. BALANÇO DA DQO NA DEGRADAÇÃO ANAERÓBIA	27
3.9. REATORES UASB EM ESCALA REAL	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS REATORES UASB NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DO DISTRITO FEDERAL	29

4.2. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL.....	30
4.2.1. Considerações iniciais.....	30
4.2.2. A estação de tratamento de esgotos do Gama.....	31
4.2.3. Condicionantes para o desenvolvimento do experimento na metodologia inicialmente proposta.....	32
4.2.4. Adaptações na rotina operacional nas unidades de tratamento para a realização da nova metodologia.....	34
4.2.5. Coleta de amostras e exames realizados.....	37
4.2.6. Desenvolvimento dos amostradores de lodo e de espuma.....	41
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	46
5.1. VARIÁVEIS OPERACIONAIS DOS REATORES UASB NO DISTRITO FEDERAL A SEREM AVALIADAS NO EXPERIMENTO.....	46
5.1.2. A frequência do descarte de lodo.....	47
5.1.3. A frequência do descarte da camada de espuma.....	48
5.1.4. Outras características de desempenho de reatores UASB no DF.....	48
5.2. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE REATORES UASB NO DISTRITO FEDERAL.....	49
5.2.1. A eficiência do tratamento preliminar.....	49
5.2.2. A frequência de descarte de lodo de fundo.....	50
5.2.3. A frequência de descarte de espuma.....	52
5.2.4. Outros aspectos de desempenho nos reatores UASB do Distrito Federal.....	54
5.3. ESTUDO DE CASO: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DO GAMA/DF.....	59
5.3.1. Condicionantes ambientais.....	60
5.3.2. Dados básicos da estação de tratamento de esgotos do Gama.....	61
5.3.3. O tratamento preliminar da ETE Gama.....	65
5.3.4. O reator anaeróbio de fluxo ascendente a ser estudado.....	66
5.3.5. Avaliação comparativa dos parâmetros de projeto do reator em estudo com a bibliografia consultada.....	72
5.3.6. O sistema de descarte de lodo.....	75
5.3.7. O sistema de descarte da camada de espuma.....	76
5.4. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DOS REATORES UASB NA ETE GAMA.....	79
5.4.1. Monitoramento dos descartes de lodo.....	79

5.4.2. Monitoramento do tratamento preliminar	80
5.4.3. Monitoramento da vazão afluyente aos reatores	81
5.4.4. Monitoramento do reator sem descarte programado de lodo.....	83
5.4.5. Avaliação comparativa do desempenho entre o reator operado pela CAESB e reator operado sem descarte programado de lodo.....	100
5.4.6. Monitoramento do crescimento da manta de lodo	103
5.4.7. Monitoramento do crescimento da espuma.....	113
5.4.8. Caracterização morfológica do lodo anaeróbio.....	115
5.4.9. Aspectos de manutenção dos reatores.....	119
5.4.10. Aspectos de operação do reator.....	121
5.5. NOVAS PERSPECTIVAS PARA OS REATORES UASB NO DISTRITO FEDERAL	122
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	125
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	128

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIACÕES E NOMENCLATURAS

AI/AP – Relação alcalinidade intermediária/alcalinidade parcial

AGV – Ácidos graxos voláteis

AME – Atividade metanogênica específica

CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

d – dia

DBO – Demanda bioquímica de oxigênio

DQO – Demanda química de oxigênio

ETE – Estação de tratamento de esgotos

H₂S – Gás sulfídrico

kg – Quilograma

N – Nitrogênio

NH₃ – Amônia não ionizada

NH₄⁺ – Amônia ionizada

NO₃ – Nitrato

NTK – Nitrogênio total Kjeldhal

P – Fósforo

Pt – Fósforo total

pH – potencial hidrogeniônico

RALF – reator anaeróbio de leito fluidizado

SS – Sólidos em suspensão

SSed – Sólidos sedimentáveis

SST – Sólidos em suspensão totais

SSV – Sólidos em suspensão voláteis

ST – Sólidos totais

STV – Sólidos totais voláteis

TDH – Tempo de detenção hidráulica

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo)

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Plano de monitoramento dos reatores anaeróbios da ETE Gama.....	36
Tabela 4.2 – Alíquotas de compostagem de vazões de coleta na ETE Gama.	38
Tabela 4.3 – Equipamentos e métodos de análises laboratoriais empregados na pesquisa.	39
Tabela 5.1 – Quadro resumo das estações de tratamento de esgotos com UASB, adaptado de POE/CAESB, 2005.	46
Tabela 5.2 – Parâmetros de projeto da ETE Gama (POE/CAESB, 2005).	61
Tabela 5.3 – Quadro resumo das concentrações médias e desvio padrão das amostras dos poluentes na ETE Gama, Janeiro de 2004 a Julho de 2007 (POE/CAESB, 2007).	63
Tabela 5.4 – Remoção de poluentes dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo, nas estações de tratamento de esgotos da bacia Oeste do DF, em janeiro de 2007 (POE/CAESB, 2007).....	64
Tabela 5.5 – Resumo das médias das remoções mensais e desvios-padrão das amostras dos poluentes da ETE Gama, Janeiro de 2004 a Julho de 2007 (POE/CAESB, 2007).	64
Tabela 5.6 – Características dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente da ETE Gama..	72
Tabela 5.7 – Avaliação comparativa das características do reator UASB da ETE Gama com os dados da bibliografia de referência.....	73
Tabela 5.7 – Avaliação comparativa das características do reator UASB da ETE Gama com os dados da bibliografia de referência. (Continuação).....	74
Tabela 5.8 – Quadro resumo das concentrações médias e desvio padrão de SST e ST das amostras de lodo do reator UASB da ETE Gama (Dezembro de 2007 a Janeiro de 2008).	79
Tabela 5.9 – Quadro resumo das concentrações médias e desvio padrão das amostras de lodo do reator UASB da ETE Gama (Dezembro de 2007 a Janeiro de 2008).....	80
Tabela 5.10 – Monitoramento diário do tratamento preliminar da ETE Gama (Jan./Maio de 2008).	81
Tabela 5.11 – Monitoramento das vazões afluentes à ETE Gama e ao reator UASB sem descarte programado de lodo (Jan./Maio de 2008).	82
Tabela 5.12 – Concentrações de matéria orgânica, reator UASB, sem descarte programado de lodo.....	89
Tabela 5.13 – Concentrações de matéria orgânica, reator UASB, operação CAESB.....	90

Tabela 5.13 – Concentrações de matéria orgânica, reator UASB, operação CAESB (continuação).....	91
Tabela 5.14 – Valores máximos, mínimos e médios dos resultados das concentrações de matéria orgânica no reator UASB, sem descarte programado de lodo.	92
Tabela 5.15 – Valores máximos, mínimos e médios dos resultados das concentrações de matéria orgânica no reator UASB, operação CAESB.....	92
Tabela 5.16 – Parâmetros de estabilidade do processo de digestão anaeróbia do reator UASB da ETE Gama, sem descarte de lodo.	96
Tabela 5.16 – Parâmetros de estabilidade do processo de digestão anaeróbia do reator UASB da ETE Gama, sem descarte de lodo. (Continuação.)	97
Tabela 5.17 – Valores máximos, mínimos e médios dos parâmetros de estabilidade do processo de digestão anaeróbia do reator UASB da ETE Gama, sem descarte de lodo.	97
Tabela 5.18 – Parâmetros de estabilidade do processo de digestão anaeróbia do reator UASB da ETE Gama, operação CAESB.	98
Tabela 5.18 – Parâmetros de estabilidade do processo de digestão anaeróbia do reator UASB da ETE Gama, operação CAESB. (Continuação.)	99
Tabela 5.19 – Valores máximos, mínimos e médios dos parâmetros de estabilidade do processo de digestão anaeróbia do reator UASB da ETE Gama, operação CAESB. ...	99
Tabela 5.20 – Resultados do teste paramétrico t de Student para análises de DBO e DQO do efluente do reator operado pela CAESB e reator operado sem descarte programado de lodo, $\alpha = 0,05$ ou 5%.	101
Tabela 5.21 – Resultados do teste paramétrico t de Student para análises de DBO e DQO do efluente do reator operado pela CAESB e reator operado sem descarte programado de lodo, $\alpha = 0,10$ ou 10%.	101
Tabela 5.22 – Resultados do teste paramétrico t de Student para análises de sólidos em suspensão totais e sólidos sedimentáveis do efluente do reator operado pela CAESB e reator operado sem descarte programado de lodo, $\alpha = 0,05$ ou 5%.	102
Tabela 5.23 – Resultados do teste paramétrico t de Student para análises de sólidos em suspensão totais e sólidos sedimentáveis do efluente do reator operado pela CAESB e reator operado sem descarte programado de lodo, $\alpha = 0,10$ ou 10%.	102
Tabela 5.24 – Quadro comparativo das eficiências médias de remoção de poluentes nos reatores UASB da ETE Gama operados sem descarte de lodo e operação CAESB..	103

Tabela 5.25 – Dados da evolução da massa de sólidos no reator UASB sem descarte de lodo.....	104
Tabela 5.25 – Dados da evolução da massa de sólidos no reator UASB sem descarte de lodo (Continuação).....	105
Tabela 5.26 – Dados da evolução da biomassa e concentração média de sólidos na zona de digestão e em todo o reator UASB sem descarte programado de lodo.	107
Tabela 5.27 – Considerações para realização do descarte de lodo no reator UASB sem descartes programados de lodo.	109
Tabela 5.28 – Quadro resumo dos parâmetros cinéticos no reator UASB sem descartes programados de lodo.	110
Tabela 5.29 – Parâmetros de estabilidade do lodo do reator UASB, sem descarte programado de lodo.....	111
Tabela 5.29 – Parâmetros de estabilidade do lodo do reator UASB, sem descarte programado de lodo (Continuação).....	112
Tabela 5.30 - Caracterização morfológica do lodo do reator UASB, sem descarte de lodo.	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia (Chernicharo, 2007).....	6
Figura 3.2 – Esquema da digestão anaeróbia da matéria orgânica complexa, adaptado de Aquino e Chernicharo (2005).....	7
Figura 3.3 – Representação esquemática de um reator de manta de lodo (Chernicharo, 2007).	17
Figura 3.4 – Diagrama do balanço da DQO ao longo do processo de degradação anaeróbia, adaptado de Chernicharo, 2007.....	28
Figura 4.1 – Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa segundo a nova metodologia..	35
Figura 4.2 – Sistema de aquisição de imagens para realização de microscopia das morfologias presentes no lodo anaeróbio do reator UASB.....	40
Figura 4.3 – Garrafa de OD (Branco e Porto, 1991).	42
Figura 4.4 – Fotografia do amostrador de manta de lodos.	42
Figura 4.5 – Detalhes construtivos do amostrador de manta de lodos.	43
Figura 4.6 – Fotografia do medidor de espuma.	43
Figura 4.7 – Detalhes construtivos do medidor da camada de espuma.	44
Figura 5.1 – Percentuais indicativos da adequação do funcionamento do tratamento preliminar das estações de tratamento de esgotos no DF.....	50
Figura 5.2 – Percentuais relativos à frequência de descarte de lodo de fundo dos reatores UASB nas estações de tratamento de esgotos.....	51
Figura 5.3 – Percentuais relativos aos meios para determinação dos volumes de descarte de lodo de fundo dos reatores UASB nas estações de tratamento de esgotos.	52
Figura 5.4 – Percentuais relativos à frequência de descarte de espuma dos reatores UASB nas estações de tratamento de esgotos no DF.	54
Figura 5.5 – Percentuais relativos à frequência de problemas operacionais observados dos reatores UASB nas estações de tratamento de esgotos no DF.	56
Figura 5.6 – Percentuais relativos à realização de limpeza dos reatores UASB nas estações de tratamento de esgotos no DF.	57
Figura 5.7 – Percentuais relativos às razões para realização de limpeza dos reatores UASB nas estações de tratamento de esgotos no DF.	58

Figura 5.8 – Ações para realização de limpeza dos reatores UASB nas estações de tratamento de esgotos no DF.....	59
Figura 5.9 – Percentuais relativos às técnicas utilizadas para realização de limpeza dos reatores UASB nas estações de tratamento de esgotos no DF.	59
Figura 5.10 – Esquema básico da ETE Gama, adaptado de (POE/CAESB, 2005).....	62
Figura 5.11 – Vista aérea parcial da ETE Gama.	63
Figura 5.12 – Caixa de distribuição de vazão afluyente aos reatores anaeróbios da ETE Gama.	67
Figura 5.13 – Corte: Reator anaeróbio de fluxo ascendente da ETE Gama.....	68
Figura 5.14 – Corte: Esquema de descarte de lodo de fundo.	69
Figura 5.15 – Vista parcial das tubulações de distribuição e coleta dos esgotos e sistema de diluição e descarga de lodo dos reatores anaeróbios da ETE Gama.	70
Figura 5.16 – Corte: Detalhe do coletor de gás em concreto.	71
Figura 5.17 – Vista do sistema de descarga de lodo dos reatores anaeróbios da ETE Gama.	76
Figura 5.18 – Vista do sistema de remoção de espuma dos reatores anaeróbios ETE Gama.	77
Figura 5.19 – Vista parcial da lagoa de lodo da ETE Gama.	78
Figura 5.20 – Vista parcial da centrífuga decanter da ETE Gama.	79
Figura 5.21 – Boxplot mostrando a mediana, quartis 25% e 75% e observações máxima e mínima das vazões afluentes ao reator UASB sem descarte intencional de lodo.	82
Figura 5.22 – Valores obtidos para sólidos sedimentáveis das amostras coletadas do afluyente à estação, efluente do preliminar e efluente do reator UASB sem descarte programado de lodo.....	83
Figura 5.23 – Eficiência de remoção para sólidos sedimentáveis das amostras coletadas do efluente do preliminar e efluente UASB, sem descarte programado de lodo.	84
Figura 5.24 – Eficiência de remoção para sólidos sedimentáveis das amostras coletadas do efluente do preliminar e efluente UASB, operação CAESB.....	85
Figura 5.25 – Eficiência de remoção para sólidos sedimentáveis das amostras coletadas do efluente do preliminar e efluente UASB, operação CAESB.....	85
Figura 5.26 – Valores obtidos para sólidos em suspensão totais das amostras coletadas do afluyente à estação, efluente do preliminar e efluente UASB sem descarte programado de lodo.	86

Figura 5.27 – Eficiência de remoção para sólidos em suspensão totais das amostras coletadas do efluente do preliminar e efluente UASB, sem descarte programado de lodo.....	86
Figura 5.28 – Valores obtidos para sólidos em suspensão totais das amostras coletadas do afluente à estação, efluente do preliminar e efluente UASB, operação CAESB.	87
Figura 5.29 – Eficiência de remoção para sólidos em suspensão totais das amostras coletadas do efluente do preliminar e efluente UASB, operação CAESB.....	88
Figura 5.30 – Boxplot mostrando a mediana, quartis 25% e 75% e observações máxima e mínima dos dados de DQOTotal afluente e efluente e DQOFiltrada do efluente do reator UASB, sem descarte intencional de lodo.....	93
Figura 5.31 – Boxplot mostrando a mediana, quartis 25% e 75% e observações máxima e mínima dos dados de DQOTotal afluente e efluente e DQOFiltrada do efluente do reator UASB, operação CAESB.	94
Figura 5.32 – Evolução da biomassa nas três zonas amostradas no reator UASB sem descarte programado de lodo.	106
Figura 5.33 – Perfis da concentração de lodo (SST) nas três zonas amostradas em função da altura no reator UASB sem descarte programado de lodo.	108
Figura 5.34 – Evolução da alcalinidade total das amostras de lodo do reator UASB nas três zonas amostradas no reator UASB sem descarte programado de lodo.	112
Figura 5.35 – Formação de espuma de coloração esverdeada no reator anaeróbico de fluxo ascendente da estação de tratamento de esgotos do Gama.	113
Figura 5.36 – Formação de espuma de coloração acinzentada no reator anaeróbico de fluxo ascendente da estação de tratamento de esgotos do Gama.	114
Figura 5.37 – Histograma de distribuição de frequência do Deq (μm) do lodo do reator UASB operado sem descarte de lodo.....	115
Figura 5.38 – Representação esquemática de um agregado microbiano anaeróbico e filamentos, adaptado de Araya-Kroff <i>et al.</i> , 2004.....	116
Figura 5.39 – Histograma de distribuição de frequência relativa acumulada da circularidade dos flocos do lodo do reator UASB operado sem descarte programado de lodo.....	117
Figura 5.40 – Histograma de distribuição de frequência relativa acumulada da convexidade dos flocos do lodo do reator UASB operado sem descarte programado de lodo.....	118
Figura 5.41 – Imagem de flocos do lodo do reator UASB operado sem descarte de lodo (50x).	118

Figura 5.42 – Imagem de flocos do lodo do reator UASB operado sem descarte de lodo (50x).....	119
Figura 5.43 – Percentuais relativos às alterações de projeto sugeridas pelos gerentes das áreas operacionais, para os reatores UASB nas estações de tratamento de esgotos no DF.....	121
Figura 5.44 – Implantação de alterações de projeto nos reatores UASB da ETE Paranoá. Revestimento das caixas de coleta e separadores de fases em fibra de vidro.	123
Figura 5.45 – Implantação de alterações de projeto nos reatores UASB da ETE São Sebastião. Separadores de fases em laminado vinílico.	123

1. INTRODUÇÃO

Os índices de atendimento por sistemas de saneamento no Brasil ainda são insuficientes. Estatísticas elaboradas por órgãos federais revelam que parcela significativa da população brasileira não dispõe de água tratada nas residências e grande parte da população não é contemplada com coleta e destinação adequada dos esgotos produzidos (IBGE, 2000). O diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2006 indica apenas 48,3 % de cobertura com atendimento urbano por coleta de esgotos e 32,2 % de tratamento dos esgotos gerados (SNIS, 2006).

Um sistema de coleta e transporte dos esgotos sanitários, sem que haja o devido tratamento e a correta disposição final, conquanto afaste os esgotos do convívio mais imediato das pessoas, pouco contribui para as condições sanitárias gerais de uma cidade, pois efetua a transferência dos esgotos de uma área para outra, permanecendo os riscos sanitários devidos às formas diretas e indiretas de contaminação e o impacto concentrado na degradação do meio ambiente (Andrade Neto, 1994).

Nesse contexto é que se observa no início dos anos 1980 o desenvolvimento de novas alternativas para o tratamento de esgotos sanitários no Brasil. Havia certo desconhecimento e até mesmo rejeição no tocante a alternativas que não fossem àquelas mais sofisticadas e que implicassem em transferência de tecnologias desenvolvidas em outros países. Tais tecnologias muitas vezes eram de difícil adaptação às condições brasileiras e nem sempre apresentavam viabilidade econômica de implantação.

O tratamento anaeróbio de esgotos sanitários se mostra como uma possibilidade de reverter tal situação, ao passo que pode ser facilmente aplicado às condições climáticas e econômicas do Brasil. O tratamento anaeróbio apresenta vantagens como reduzidos custos de implantação e uma operação simplificada, fatores que até então tornavam proibitiva a expansão das unidades de tratamento de esgotos.

Com o desenvolvimento de diversas pesquisas e a implantação de unidades piloto, teve desenvolvimento a alternativa de tratamento de esgotos empregando reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo. Essa tecnologia foi desenvolvida inicialmente na

Holanda nos anos 1970, tendo sido objeto de diversas pesquisas posteriormente em todo o mundo. Observa-se ainda sua grande expansão, com a aplicação em sistemas de tratamento de efluentes industriais e no tratamento de esgotos domésticos. Pode-se afirmar que, atualmente, o emprego dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo é bastante difundido entre as diversas companhias de saneamento do Brasil, constituindo uma alternativa para a melhoria dos índices de tratamento de esgotos no país.

A CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, tem concebido e implantado estações de tratamento de esgotos cuja configuração prevê o emprego de reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo desde o fim dos anos 1990. Essas estações já atendem mais de um milhão de habitantes no Distrito Federal (POE/CAESB, 2005).

Apesar de ser considerada uma solução adequada ao tratamento de esgotos no Distrito Federal, a sua utilização ainda prescinde de uma melhor avaliação de desempenho dessas unidades quando operadas em escala real. Não está se tratando apenas de indicadores de qualidade dos efluentes, mas também de um aspecto de grande importância para o desempenho operacional dos reatores anaeróbios: o manejo dos lodos. Há questões ainda não completamente equacionadas no tocante à frequência e volume dos lodos descartados, além da formação da espuma superficial nos reatores. Campos (1999) revela que um aspecto operacional importante em sistemas com lodo em suspensão, como o reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo, é a descarga de lodo de excesso. Por meio desse procedimento, procura-se minimizar a descarga de lodo junto com o efluente, uma vez que tal descarga aumenta a concentração de poluentes do efluente. Essas são importantes estratégias de controle operacional, cujas influências no desempenho global da unidade e de toda a efetividade do tratamento dos esgotos pretende-se avaliar.

Por outro lado, aspectos como a produção e a destinação adequadas dos lodos produzidos nas diversas etapas de tratamento ainda não foram suficientemente solucionadas, gerando demandas crescentes de regulação para o seu aproveitamento e manejo adequados.

Espera-se com este trabalho propor rotinas de descarte de lodo dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo que favoreçam requisitos de desempenho esperados para a unidade, reduzindo sobremaneira os problemas operacionais.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GERAIS

O objetivo geral da pesquisa é avaliar a influência da operação de descarte de lodo no desempenho dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo em estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal, visando à determinação de uma rotina eficiente de monitoramento que oriente uma melhor operação dessas unidades.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Utilizando o método dedutivo, por meio da seleção de um estudo de caso, que são os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo da estação de tratamento de esgotos do Gama, objetiva-se:

1. Realizar um levantamento das estratégias operacionais e de manutenção empregadas nos reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo da estação de tratamento de esgotos do Gama, comparando-os com as realizadas nos demais reatores das estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal.
2. Observar a variação dos parâmetros de qualidade do efluente dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo da ETE Gama ao proceder sua operação segundo rotinas de descartes programados e interrupção dos descartes de lodo.
3. Monitorar o desempenho do tratamento preliminar e os fatores que influenciam o descarte de lodo dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo da estação de tratamento de esgotos do Gama, comparando-os com os das estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal.
4. Avaliar os resultados obtidos na estação de tratamento de esgotos do Gama, propondo melhorias nas rotinas operacionais e de manutenção das unidades e em novos projetos de reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo das demais estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O PROCESSO DE DEGRADAÇÃO ANAERÓBIA DA MATÉRIA ORGÂNICA

Água residuária ou esgoto é o líquido conduzido pelas canalizações de esgotamento das comunidades. Possui características variáveis, em função da sua origem, da hora de produção ou amostragem, da extensão da rede coletora e do seu estado de conservação (Aisse, 1999).

O parâmetro mais usado para caracterização da água residuária quanto ao seu grau de poluição é a DBO, demanda bioquímica de oxigênio. A DBO expressa a quantidade de oxigênio necessária para estabilização da matéria orgânica presente na água residuária. A DQO, demanda química de oxigênio, corresponde ao consumo de oxigênio pelas frações biodegradável e inerte da matéria orgânica contida na água residuária. O teste para a determinação da DQO é amplamente utilizado devido a sua maior rapidez em relação ao teste da DBO. A relação DQO/DBO expressa a biodegradabilidade da água residuária; quanto menor essa relação, maior a biodegradabilidade.

No processo de tratamento das águas residuárias, os processos biológicos são de grande importância devido a sua vasta aplicabilidade e eficiência. Os mecanismos de tratamento biológico procuram reproduzir os processos naturais de autodepuração dos corpos d'água, de forma mais acelerada, nas unidades de tratamento, na ausência de tóxicos.

De acordo com Metcalf & Eddy (1991), o tratamento biológico possui a capacidade de promover a remoção das substâncias orgânicas biodegradáveis (coloidais ou dissolvidas) e também de nutrientes (nitrogênio e fósforo), agindo com o objetivo de coagular e remover material coloidal não sedimentável para a estabilização da matéria orgânica. Diversos organismos atuam nos processos de tratamento biológicos, sendo os principais as bactérias. Protozoários, fungos, algas e vermes também desenvolvem papel importante no tratamento.

Os processos bioquímicos que ocorrem no interior das células dos microrganismos nos processos biológicos de tratamento são denominados metabolismo, que pode ser dividido

em catabolismo e anabolismo. No catabolismo ocorre a degradação do substrato pela produção de energia. No anabolismo, a energia produzida no catabolismo é utilizada para a formação de material celular. Esses dois processos ocorrem simultaneamente durante o tratamento das águas residuárias envolvendo enzimas específicas, convertendo grandes moléculas de substrato em moléculas menores, tornando-se disponíveis para consumo pela célula (von Sperling, 1996).

Nas águas residuárias, existem organismos adaptados às condições do meio sendo eles: aeróbios estritos, que utilizam oxigênio presente no meio para a sua respiração; organismos facultativos que utilizam tanto oxigênio livre como combinado como aceptores de elétron e os organismos anaeróbios estritos, que não obtêm energia por meio da respiração aeróbia. Distinguem-se, portanto, no tratamento biológico de águas residuárias quatro grupos de tratamento: os aeróbios, os anóxicos, os anaeróbios e os combinados.

O processo anaeróbio de conversão da matéria orgânica ocorre em condições de ausência de oxigênio molecular livre. Pode ser considerado um processo onde diversos grupos de microrganismos trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas.

De acordo com van Haandell e Lettinga (1994), um sistema de tratamento anaeróbio tenderá a desenvolver uma população bacteriana compatível com a natureza do material orgânico e das cargas orgânica e hidráulica, sendo importantes para sua eficiência os seguintes fatores:

- A natureza do material orgânico a ser digerido;
- A existência de fatores ambientais adequados para a digestão anaeróbia;
- Tamanho da população bacteriana (eficiência de retenção de lodo no sistema);
- Intensidade de contato entre o material orgânico afluyente e as populações bacterianas;
- Tempo de permanência do esgoto no sistema de tratamento.

Em geral, os microrganismos que participam do processo de decomposição anaeróbia podem ser divididos em três grupos de bactérias: fermentativas, acetogênicas e metanogênicas. No primeiro grupo, as bactérias fermentativas transformam por hidrólise os polímeros em monômeros, e estes em acetato, hidrogênio, dióxido de carbono, ácidos

orgânicos de cadeia curta, aminoácidos e outros produtos como glicose. As bactérias acetogênicas são produtoras de hidrogênio, que convertem os produtos gerados na etapa anterior em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. Os produtos do segundo grupo são utilizados por duas formas de bactérias metanogênicas, uma delas utiliza o acetato, convertendo-o em metano e dióxido de carbono, enquanto a outra produz metano por meio da redução do dióxido de carbono. No esquema apresentado na Figura 3.1 podem-se distinguir os grupos bacterianos e as fases da digestão anaeróbia: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

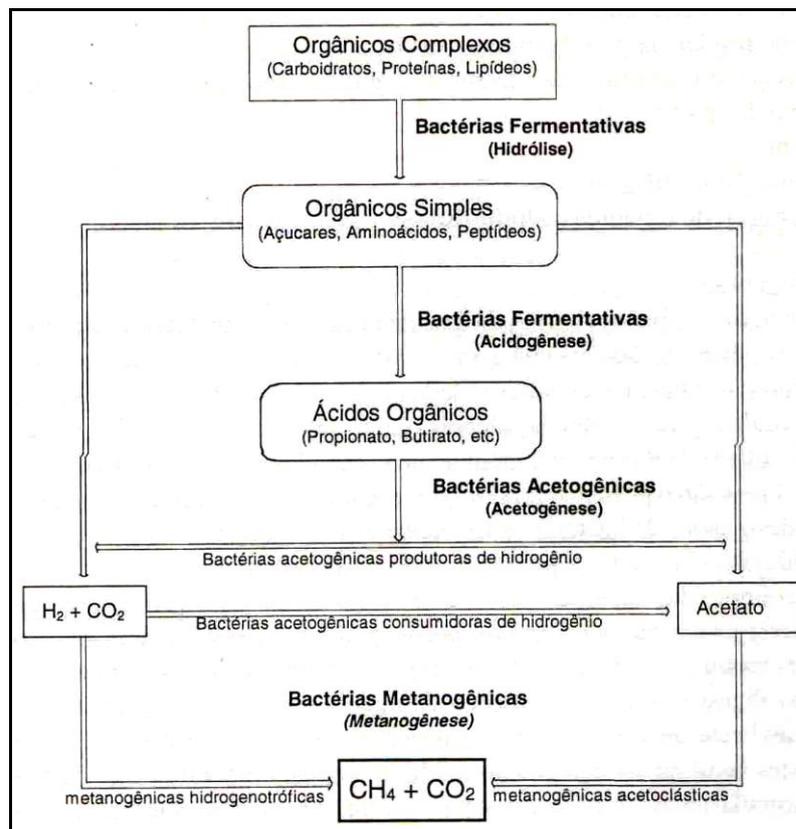


Figura 3.1 – Seqüências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia (Chernicharo, 2007).

3.1.1. Hidrólise

Neste processo, a matéria orgânica particulada é convertida em compostos dissolvidos de menor peso molecular, por meio da interferência das chamadas exo-enzimas que são excretadas pelas bactérias fermentativas. As proteínas são degradadas por meio de (poli)peptídeos para formar aminoácidos. Os carboidratos se transformam em açúcares

solúveis e os lipídios são convertidos em ácidos graxos de longa cadeia de carbono e glicerina (Campos, 1999).

A velocidade da hidrólise pode ser a etapa limitante para o processo da digestão anaeróbia, pois interfere na velocidade da conversão do material orgânico complexo para biogás.

3.1.2. Acidogênese

Os compostos dissolvidos gerados na etapa de hidrólise são absorvidos nas células das bactérias fermentativas e, após a acidogênese, excretados como substâncias orgânicas simples, tais como ácidos graxos voláteis de cadeia curta.

Em um processo de degradação anaeróbia da matéria orgânica ocorrendo em condições estáveis, sob condições ótimas de crescimento microbiano, e na ausência de fatores de estresse, as etapas acidogênica, acetogênica e metanogênica ocorrerão em passos similares, de modo a haver uma equalização nas taxas de produção e consumo dos compostos intermediários, conforme Figura 3.2. Nesses casos não haverá acumulação significativa de ácidos graxos voláteis e o processo deverá ocorrer próximo às condições de equilíbrio dinâmico.

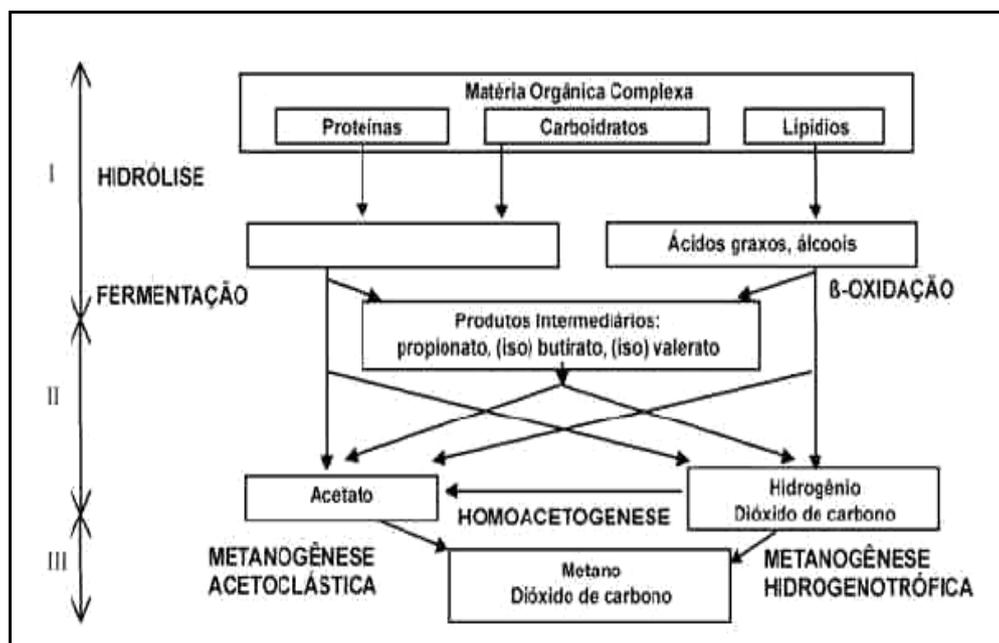


Figura 3.2 – Esquema da digestão anaeróbia da matéria orgânica complexa, adaptado de Aquino e Chernicharo (2005).

As condições de equilíbrio propostas raramente ocorrem, por exemplo, em estações de tratamento de esgotos, em função das variações na concentração, composição e vazão do afluente, e às mudanças das condições ambientais, quer sejam temperatura, nutrientes ou compostos tóxicos.

Tal situação foi avaliada por Aquino e Chernicharo (2005), mostrando que a acumulação de ácidos graxos voláteis, principalmente acetato, propionato e butirato, pode ocorrer em sistemas de tratamento em escala real como resultado da não observância das condições ideais de crescimento ou da não observância de limitações cinéticas e termodinâmicas. A presença em excesso de ácidos graxos voláteis foi relacionada a uma instabilidade do processo de digestão anaeróbia ao invés de uma deficiência dessa modalidade de tratamento. Como os ácidos graxos voláteis são o principal produto dos organismos fermentativos, estes são usualmente designados por bactérias fermentativas acidogênicas.

Coelho *et al.* (2005) avaliaram aspectos relativos à influência do tempo de detenção e da taxa de aplicação de lodo na hidrólise e acidogênese de lodos primários e concluíram que há predominância dos ácidos acético e propiônico na composição dos ácidos graxos voláteis, da ordem de 70%, e de 10 % de ácido isobutírico.

3.1.3. Acetogênese

A acetogênese é a conversão dos produtos da acidogênese em compostos que formam os substratos para produção de metano: acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. Uma fração de aproximadamente 70% da DQO originalmente presente se converte em ácido acético, enquanto o restante da DQO é concentrado no hidrogênio formado.

A taxa de produção de ácidos em geral por acetogênese é alta se comparada à taxa de produção de metano. Caso haja um acréscimo muito rápido da concentração de matéria orgânica, pode resultar no acréscimo da produção de ácidos com conseqüente queda do pH, podendo vir a prejudicar o desempenho da etapa metanogênica.

3.1.4. Metanogênese

A metanogênese, em geral, é o passo que limita a velocidade do processo de digestão como um todo. As condições do sistema devem satisfazer principalmente aos requerimentos das bactérias metanogênicas para uma máxima produção de metano, garantindo o equilíbrio do processo. O metano é produzido pelas bactérias acetotróficas, a partir da redução de ácido acético, ou pelas bactérias hidrogenotróficas, a partir da redução do dióxido de carbono. Têm-se as reações catabólicas:

- Metanogênese acetotrófica ou acetoclástica: $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}$;
- Metanogênese hidrogenotrófica: $4\text{H}_2 + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$.

A fermentação ácida tende a causar um abaixamento do valor do pH, devido à produção de ácidos graxos voláteis e outros produtos intermediários, como visto anteriormente. Entretanto, a metanogênese somente se desenvolverá quando o pH estiver próximo ao ponto neutro (pH = 7).

O perigo da acidificação do meio do reator anaeróbio é a causa mais comum de problemas operacionais observados. Ele pode ser evitado mantendo-se um equilíbrio entre as fermentações ácida e metanogênica, por meio da manutenção de uma capacidade metanogênica alta e quando se tem uma boa estabilidade do valor do pH por uma alta capacidade de tamponamento (van Haandel e Lettinga, 1994).

Além dos processos fermentativos que levam à produção de biogás, podem se desenvolver outros processos no reator anaeróbio na presença de oxidantes alternativos como o sulfato (Campos, 1999). A redução biológica do sulfato em reatores anaeróbios é em geral considerada indesejável, pois o sulfato oxida material orgânico que deixa de ser transformado em metano e forma gás sulfídrico no processo, que pode ser tóxico para a metanogênese. No tratamento anaeróbio de águas residuárias contendo sulfato, o biogás produzido contém, normalmente, altos teores de H_2S , um gás altamente tóxico, malcheiroso e corrosivo, cuja remoção do biogás é bastante dispendiosa (Subtil, 2007).

3.2. A CINÉTICA DA DIGESTÃO ANAERÓBIA

A cinética bioquímica estuda as velocidades de crescimento dos microrganismos, as velocidades de consumo de substratos e de formação de produtos. Alguns fatores podem influenciar a cinética das populações microbianas tais como o pH, a temperatura, a

adaptabilidade ao meio, a transferência de nutrientes entre a massa celular e o meio, dentre outras. Tais interações não são facilmente modeladas, devendo ser feitas simplificações a fim de se determinar um modelo aplicável.

Um modelo bastante difundido para descrever o metabolismo bacteriano é o modelo cinético de Monod. Os seus resultados podem ser resumidos em três equações básicas:

- A velocidade bruta de crescimento dos microrganismos é proporcional à velocidade de utilização do substrato:

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_c = Y_{X/S} \left(\frac{dS}{dt}\right)_u \quad (3.1)$$

Em que X é a concentração de microrganismos ($M.L^{-3}$), S é a concentração de substrato ($M.L^{-3}$), t é o tempo e $Y_{X/S}$ é o fator de crescimento ou a produção bruta de bactérias por unidade de massa de substrato (Mcélulas/Msubstrato). Os índices c e u representam o crescimento das bactérias e a utilização do material orgânico, respectivamente.

- A velocidade de crescimento dos microrganismos é proporcional à concentração dos mesmos e depende da concentração de substrato:

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_c = X \cdot \mu = \mu_m \frac{S \cdot X}{K_S + S} \quad (3.2)$$

Em que μ é a velocidade específica de crescimento celular (T^{-1}) e μ_m (velocidade específica máxima de crescimento celular) e K_S (constante de saturação do substrato para $\mu = 0,5 \cdot \mu_m$, são constantes cinéticas.

Observa-se ainda que, para concentrações elevadas de substrato, a razão $(S/(S+K_S))$ se aproxima da unidade e que, portanto, a velocidade de crescimento se torna independente da concentração do substrato: o crescimento é um processo de ordem zero. Se a concentração de substrato for muito baixa, $S \ll K_S$, a velocidade de crescimento se torna proporcional à concentração de substrato, o que caracteriza cinética de primeira ordem.

- Paralelo ao crescimento de microrganismos devido à atividade anabólica, há também decaimento devido à morte de células vivas, cuja velocidade é um processo de primeira ordem, segundo a equação:

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_d = -X \cdot K_d \quad (3.3)$$

No qual K_d é a constante da velocidade de decaimento, sendo o índice d representativo do decaimento da massa bacteriana.

A relação entre a velocidade específica de consumo de substrato (U) e μ , velocidade específica de crescimento celular pode ser expressa como:

$$U = \frac{\mu}{Y_{X/S}} = U_m \cdot \frac{S}{K_S + S} \quad (3.4)$$

No qual U_m é a velocidade específica máxima de consumo de substrato ($M_{\text{substrato}} \cdot M^{-1} \text{células} \cdot T^{-1}$).

Os parâmetros cinéticos μ_m , K_S , K_d e U_m são específicos para cada cultura em certo líquido em determinadas condições nutricionais e ambientais. Um modelo cinético deve, então, ser ajustado e as constantes cinéticas determinadas experimentalmente.

Conclui-se que a compreensão dos parâmetros cinéticos é essencial para o projeto de reatores anaeróbios e tem aplicação em diversos parâmetros operacionais como, por exemplo, a determinação da produção de lodo, pelo coeficiente de produção de biomassa determinado.

3.3. OS FATORES QUE INFLUENCIAM A DEGRADAÇÃO ANAERÓBIA

Diversos são os fatores que interferem no desempenho da degradação anaeróbia das águas residuárias. Fatores ambientais como temperatura, nutrientes e alcalinidade e outros como capacidade de assimilação de sobrecargas hidráulicas e de cargas tóxicas e a atividade metanogênica influenciam também o processo.

3.3.1. Temperatura

A temperatura afeta os processos biológicos de diversas maneiras, mas principalmente no tocante ao crescimento dos microrganismos. A temperatura no interior da célula dos

microrganismos é determinada pela temperatura ambiente externa. Alguns microrganismos se adaptam a uma dada temperatura que pode ser mais restritiva ao crescimento de outros.

Os sistemas anaeróbios dependem fortemente da temperatura, sendo que se procura atingir uma faixa de temperatura dentro da digestão mesofílica, entre 30° C a 40° C (van Haandel e Lettinga, 1994).

Singh e Viraraghavan (2002) apontaram ainda que a variação da temperatura também interfere nos valores dos parâmetros cinéticos como o máximo valor da taxa de utilização do substrato e da taxa de crescimento específico em sistemas anaeróbios. Em geral, os valores destas e de outras constantes indicaram um decréscimo na atividade bacteriana à medida que a temperatura do meio, nos experimentos, era reduzida.

3.3.2. Nutrientes

De maneira geral, nos processos biológicos de tratamento de águas residuárias, nutrientes como nitrogênio e fósforo são essenciais. Speece (1996, *apud* Campos, 1999) relata que em geral, admite-se a relação DQO : N : P de 500 : 5 : 1 como sendo suficiente para atender às necessidades de macronutrientes dos microrganismos anaeróbios. A relação entre a quantidade de nitrogênio e fósforo e a matéria orgânica presente nas águas residuárias depende da eficiência dos microrganismos em obter energia para síntese (Campos, 1999).

Além dos macronutrientes N e P, também existem micronutrientes essenciais ao tratamento anaeróbio, que sejam: enxofre, potássio, cálcio, magnésio, ferro, sódio e cloro, além de outros. O enxofre também é considerado um dos nutrientes essenciais para a metanogênese e sua concentração, em geral, deve ser da mesma ordem de grandeza ou levemente superior à de fósforo.

A quantidade requerida de cada nutriente é variável; se determinado nutriente não atingir a concentração mínima requerida, pode limitar o crescimento dos microrganismos. Por outro lado, se a concentração do nutriente exceder determinado valor, ela pode se tornar tóxica, inibindo a atividade e o crescimento bacteriano.

É pouco provável que os esgotos sanitários típicos apresentem deficiências nutricionais, ao contrário, em algumas situações, pode ser necessário empregar um pré-tratamento para a redução das concentrações.

3.3.3. Alcalinidade e pH

A atividade das bactérias anaeróbias metanogênicas é bastante sensível ao valor do pH; uma taxa elevada de metanogênese só se desenvolve quando o pH se mantém em uma faixa estreita próxima do valor neutro. Se o pH tiver um valor menor que 6,3 ou superior a 7,8, a taxa de metanogênese diminui rapidamente (van Haandel e Lettinga, 1994).

Compostos como CO₂ e ácidos graxos voláteis de cadeia curta tendem a abaixar o pH, enquanto cátions geradores de alcalinidade, como os íons de hidrogênio amoniacal provenientes da degradação de proteínas e o sódio originado da degradação de sabão, aumentam a alcalinidade e o pH.

Ainda no tocante ao tratamento anaeróbio de esgotos sanitários, caso o processo mantenha as fases de acidogênese e metanogênese em equilíbrio, o pH no interior do reator deverá manter-se próximo ou levemente superior a 7. No caso de esgotos sanitários originados do uso de águas de baixa alcalinidade, pode ser necessária a adição de substâncias alcalinas para corrigir o pH (Campos, 1999).

O equilíbrio da digestão anaeróbia está associado também à capacidade da alcalinidade do sistema em neutralizar ácidos formados e tamponar o pH. Na interação da alcalinidade com os ácidos orgânicos voláteis, a alcalinidade bicarbonato é convertida em alcalinidade de ácidos voláteis. Essas duas parcelas, alcalinidade bicarbonato (parcial) e alcalinidade de ácidos voláteis (intermediária) compõem a alcalinidade total do processo de digestão anaeróbia no reator. Ripley *et al.* (1986), sugerem que quando o valor da relação alcalinidade intermediária/alcalinidade parcial (AI/AP) encontra-se próximo a 0,3, indica boa estabilidade no processo de digestão anaeróbia no reator.

Diversas estratégias de controle da alcalinidade e de manutenção do pH em condições ótimas para a degradação anaeróbia têm sido avaliadas e só vêm comprovar que a etapa

limitante do processo de digestão anaeróbia é a metanogênese (Aquino e Chernicharo, 2005).

3.3.4. Cargas tóxicas e sobrecargas hidráulicas

Substâncias químicas como metais pesados e substâncias organo-cloradas têm alguma influência tóxica, mesmo em concentrações baixas. De maneira geral, os sistemas anaeróbios com alto tempo de retenção celular ou idade de lodo não são muito influenciados por compostos tóxicos, sendo que essa influência poderia se dar sobre as bactérias metanogênicas. A presença de oxigênio dissolvido na água residuária pode constituir problema por inibir a atividade dos microrganismos metanogênicos.

As sobrecargas hidráulicas podem constituir problema em alguns sistemas anaeróbios. Alguns autores indicaram que, quando há sobrecarga hidráulica, há a tendência de perda de sólidos orgânicos no efluente durante o período o qual o sistema esteve em sobrecarga.

3.3.5. Atividade metanogênica

A remoção de matéria orgânica nos sistemas anaeróbios ocorre, principalmente, pela conversão dos produtos finais da etapa da acetogênese em metano, um dos produtos finais do processo que é removido fisicamente da fase líquida e é liberado junto a outros gases formados no reator. A eficiência do processo depende, portanto da capacidade de transformar acetato, gás hidrogênio e gás carbônico em metano.

Considerando-se que a concentração de biomassa no reator está relacionada com a concentração de sólidos voláteis em suspensão (SSV), a atividade metanogênica do lodo pode ser obtida por meio da relação entre a quantidade de DQO convertida em metano, por unidade de tempo, e a concentração de SSV.

Deve-se destacar que cerca de 70% ou mais do metano produzido nos reatores anaeróbios é proveniente do acetato, gás hidrogênio e gás carbônico, sendo indicado que o lodo apresente atividade metanogênica acetoclástica. Dessa forma, o monitoramento ao longo do tempo da atividade metanogênica específica (AME) do lodo para o acetato pode indicar a evolução da atividade bacteriana no reator.

De acordo com Chernicharo (2007), o conhecimento da AME do lodo presente em um reator biológico permite estabelecer, em última análise, a capacidade máxima de remoção de DQO da fase líquida, e por isso permite estimar a carga orgânica máxima que pode ser aplicada, com minimização do risco de desbalanceamento do processo anaeróbio.

O desempenho do reator UASB, no tratamento de esgotos, se deve mais à possibilidade de retenção de uma grande quantidade de lodo do que a atividade metanogênica específica do mesmo, que é relativamente baixa (van Haandel *et al.*, 1993, *apud* Melo *et al.*, 2000).

3.4. O REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE E MANTA DE LODO

O reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo foi inicialmente desenvolvido e aplicado na Holanda na década de 1970. A utilização de reatores de manta de lodo para o tratamento de esgotos domésticos já é uma realidade no Brasil, sendo que são observadas experiências bem sucedidas em diversas localidades no Paraná, São Paulo, Paraíba e Minas Gerais, além de outros estados, indicando um bom potencial de aplicação.

Segundo Chernicharo (2007), o processo de tratamento por meio de reatores anaeróbios de manta de lodo apresenta inúmeras vantagens comparativas em relação aos processos convencionais, podendo-se esperar: sistema compacto, de baixos custos de implantação e operação, baixa demanda de área, baixa produção de lodo sendo este com elevada concentração e boa desidratabilidade. Dentre as desvantagens encontram-se a possível emissão de maus odores, baixa tolerância a cargas tóxicas, demora na partida do sistema e necessidade de pós-tratamento.

O processo consiste basicamente de um fluxo ascendente de esgotos por meio de um leito de lodo denso e de elevada atividade e com coleta do efluente na parte superior do reator. No fundo do reator há a formação de um leito de lodo mais denso até um lodo mais disperso próximo ao topo do reator. A estabilização da matéria orgânica ocorre pela passagem e mistura do esgoto no leito de lodo promovida pelo fluxo ascensional e das bolhas de gás formadas.

O bom desempenho do reator está relacionado à formação e desenvolvimento de partículas granulares que caracterizarão a biomassa ali presente. A partida do sistema muitas vezes se torna demorada em virtude da necessidade de formação da biomassa. Liu *et al.* (2003) e Hulshoff Pol *et al.* (2004) avaliaram diversos modelos propostos para descrever os mecanismos de formação dos grânulos em reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo e concluíram que estes dependem de várias condições. Existem diversos modelos que relacionam a formação da biomassa, como os que descrevem os mecanismos de contato entre as bactérias no meio, que depende da ação de forças hidrodinâmicas, gravitacionais, termodinâmicas e de difusão; os modelos que descrevem as forças de atração como forças de Van der Waals, atração eletrostática, de afinidade; modelos termodinâmicos, que envolvem forças químicas como formação de pares iônicos e de pontes e ainda os modelos que consideram mecanismos biológicos como as forças de agregação produzidas por polímeros extracelulares e outros mecanismos metabólicos.

No interior do reator, as partículas mais pesadas e com maior capacidade de sedimentação se depositam no fundo, enquanto as mais leves se desprendem da manta de lodo. Um dispositivo de separação de fases, localizado abaixo do decantador, garante que parte dessas partículas retorne à câmara de digestão, mantendo o tempo de residência de sólidos elevado, apesar do reduzido tempo de detenção hidráulica.

As idades de lodo verificadas em reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo são usualmente superiores a 30 dias, propiciando ao lodo excedente, ora descartado do sistema, alto grau de estabilização.

Os princípios fundamentais do processo são, portanto, a habilidade do reator desenvolver uma biomassa de elevada atividade e a presença de um dispositivo de separação de gases e sólidos, que propicia a formação de uma zona de sedimentação no extremo superior do reator, conforme Figura 3.3.

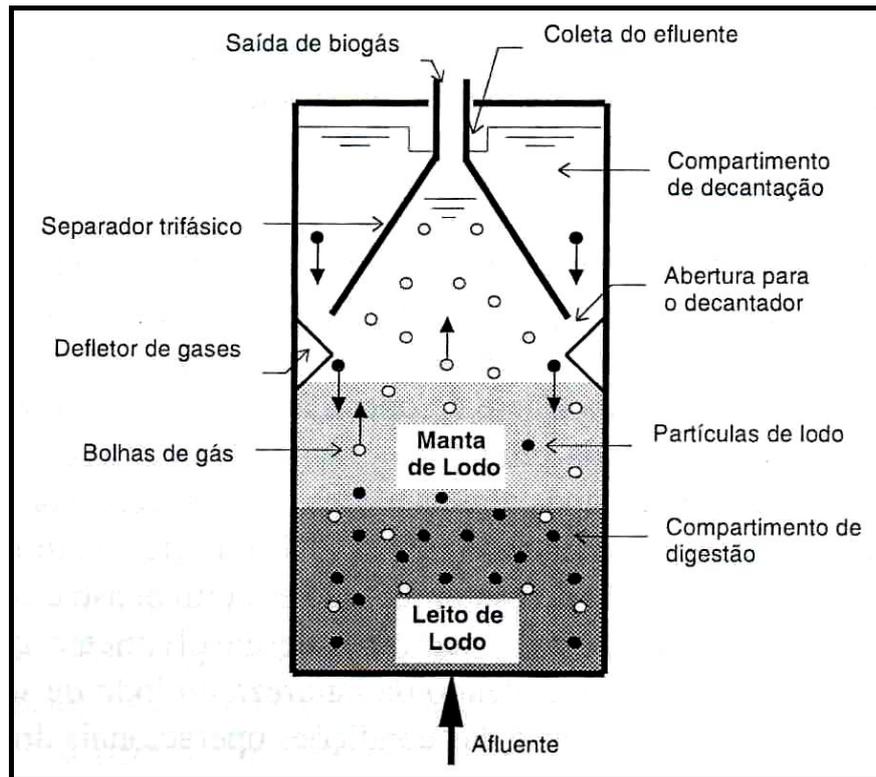


Figura 3.3 – Representação esquemática de um reator de manta de lodo (Chernicharo, 2007).

A velocidade ascensional apresenta-se também como um importante fator interveniente no desempenho de um reator anaeróbio de fluxo ascendente. Versiani *et al.* (2005) avaliaram o desempenho de um reator UASB submetido a diferentes condições operacionais e observaram que velocidades ascensionais relativamente baixas favoreceriam o desempenho da unidade, provavelmente devido a uma maior adsorção e captura de sólidos afluentes na manta de lodo. Velocidades ascensionais mais elevadas tenderiam a piorar a eficiência, provavelmente pelo aumento das forças de cisalhamento, desagregando os sólidos capturados.

A razão área/profundidade afeta o regime de escoamento do líquido e o leito de lodo no reator UASB: em reatores altos e portanto com área reduzida, a velocidade ascensional é elevada e o contato do material orgânico aflente com o leito de lodo é intenso (van Haandel *et al.*, 1999). Todavia, devido à velocidade ascensional elevada, existe a possibilidade de perda de lodo por arraste. Agora, se o reator tem pouca profundidade, a camada de lodo é relativamente fina, restringindo a intensidade do contato da matéria orgânica aflente com o lodo.

No tocante à necessidade de emprego de unidades de pré-tratamento dos esgotos antes dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente, Chernicharo (2007) recomenda a adoção de unidades de tratamento preliminar como gradeamento e caixa de areia. Tais unidades visam propiciar a remoção dos sólidos grosseiros e dos sólidos inorgânicos sedimentáveis presentes nos esgotos. Caso tais unidades não sejam implantadas à montante dos reatores de alta taxa, os mesmos estão sujeitos ao acúmulo indesejável de sólidos não biodegradáveis no sistema, levando à formação de zonas mortas e caminhos preferenciais, reduzindo a eficiência do tratamento.

Os reatores UASB podem apresentar eficiência de remoção de matéria orgânica da ordem de 60% a 80% (von Sperling, 1996). Após análise de resultados operacionais de alguns reatores, Chernicharo (2007) observou que as eficiências de remoção de DQO e DBO são afetadas pelo tempo de detenção hidráulica do sistema, tendo variado de 40% a 75% para DQO e de 45% a 85% para DBO. Há ainda algumas relações empíricas propostas por Chernicharo (2007), que tentam estimar a eficiência dos reatores, por meio dos resultados experimentais de unidades em operação, como as mostradas nas Equações 3.5 e 3.6:

$$E_{DQO} = 100(1 - 0,68t^{-0,35}) \quad (3.5)$$

$$E_{DBO} = 100(1 - 0,70t^{-0,50}) \quad (3.6)$$

No qual:

E_{DQO} : eficiência do reator UASB, em termos de remoção de DQO (%);

E_{DBO} : eficiência do reator UASB, em termos de remoção de DBO (%);

t: tempo de detenção hidráulica (h);

0,68, 0,35, 0,70, 0,50: constantes empíricas.

Embora apresentem grandes vantagens em relação a outras modalidades de tratamento, os reatores anaeróbios têm dificuldades de produzir um efluente que se enquadre nos padrões estabelecidos pela legislação ambiental. Vieira *et al.* (1994) avaliaram um reator UASB tratando esgotos de uma pequena comunidade na cidade de Sumaré, em São Paulo que, apesar de apresentar índices de remoção de DBO, DQO e SST bastante elevados, ainda não atingiam os padrões mínimos para disposição no corpo receptor requeridos pela legislação. Diante disso, torna-se necessário o emprego de um pós-tratamento dos efluentes de modo a proteger os corpos receptores. As unidades de pós-tratamento devem proporcionar uma

remoção complementar da matéria orgânica, bem como de nutrientes e de organismos patogênicos, indicadores pouco afetados no tratamento anaeróbio. Dentre as alternativas pesquisadas, encontram-se sistemas aeróbios e anaeróbios como lagoas de polimento, aplicação no solo, filtros biológicos, lodos ativados, dentre outros (Chernicharo, 2007). Aiyuk *et al.* (2006) sugerem que a integração de reatores UASB à unidades complementares de remoção de sólidos em suspensão e de nutrientes mostra-se como uma ótima alternativa para o tratamento de esgotos domésticos.

3.5. PARÂMETROS DE PROJETO EM REATORES UASB

A fim de que o reator UASB possua um lodo de elevada atividade e de excelentes características de sedimentação, responsável pelo bom desempenho do tratamento, diversos aspectos devem ser observados em relação ao projeto dos reatores. Alguns dos principais parâmetros hidráulicos a serem considerados são a carga hidráulica volumétrica, o tempo de detenção hidráulica, a velocidade ascendente do fluxo e as taxas de aplicação superficial no decantador. Outros parâmetros dizem respeito à carga orgânica volumétrica, que se refere à quantidade de esgotos e a quantidade de matéria orgânica aplicados diretamente ao reator, por unidade de volume do mesmo. A carga biológica ou carga de lodo refere-se à quantidade de matéria orgânica aplicada diariamente ao reator, por unidade de biomassa presente no mesmo.

Outros critérios importantes a serem considerados se referem ao sistema de distribuição do afluente, às características do separador trifásico e aos dispositivos de coleta do efluente.

3.6. A PRODUÇÃO DE LODO EM UM REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE

3.6.1. O crescimento da manta de lodo

Uma das rotas de conversão da matéria orgânica no tratamento anaeróbio é a do crescimento bacteriano. Os sistemas anaeróbios se caracterizam por baixas taxas de crescimento bacteriano, o que resulta em uma baixa produção de lodo, configurando-se como uma das principais vantagens dos processos anaeróbios em relação aos aeróbios.

Em um sistema operando em condições estacionárias, a produção de lodo do sistema pode ser determinada pela soma da massa de sólidos descartados do reator como lodo em excesso e dos sólidos sedimentáveis descarregados junto com o efluente. A produção de lodo em sistemas anaeróbios foi estimada por Campos (1999) da ordem de 0,10 a 0,20 kgSST/kgDQO_{aplicada}. Em reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo, a produção específica de lodo encontrada em algumas unidades avaliadas teve um valor em torno de 0,20 a 0,27 kgSST/kgDQO_{aplicada}, dependendo do tempo de permanência: quanto mais curto o tempo de permanência, maior é a produção específica de lodo (van Haandel e Lettinga, 1994). Um lodo estável é caracterizado por apresentar alta atividade metanogênica e baixa fração de material biodegradável. A estabilidade do lodo também depende do tempo de permanência no reator: quanto mais curto for o tempo de permanência, mais alta a produção de metano por unidade de massa de SSV incubada.

A fase de formação do leito de lodo, no interior de um reator UASB, pode inicialmente ser caracterizada por uma remoção intensa de sólidos totais, suspensos e sedimentáveis. A formação do leito de lodo tem uma relação intrínseca com a quantidade de sólidos no esgoto (Melo *et al.*, 2000).

A idade do lodo ou o tempo de permanência dos sólidos em um sistema de tratamento biológico é definido como a razão entre a massa de lodo no sistema e a produção diária de lodo sob condições estacionárias, determina o tempo médio de sólidos retidos no sistema. Quando o sistema está em equilíbrio, a massa de lodo no sistema não varia com o tempo, de modo que a taxa de produção de lodo se iguale à taxa de descarga intencional como lodo de excesso e como sólidos sedimentáveis no efluente.

Uma das rotinas operacionais mais importantes nas unidades de tratamento consiste em se determinar a quantidade e a atividade da biomassa presente no reator. Avaliando-se o perfil de sólidos e da massa de microrganismos presentes no reator e a atividade metanogênica específica da biomassa, pode-se identificar a altura e a concentração do leito de lodo no reator, possibilitando determinar os pontos e as rotinas de descarte mais indicadas (frequência e quantidade). A massa de sólidos na manta de lodo é parâmetro de controle do tempo de residência celular e serve para a caracterização da atividade metanogênica do processo anaeróbio (Versiani *et al.*, 2005).

Outra importante característica dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente é o fenômeno da expansão da manta de lodo. Esta característica pode ser relacionada com a capacidade desses reatores de reter sólidos, tanto durante a operação em estado de equilíbrio com altas velocidades ascendentes, quanto durante uma sobrecarga hidráulica ou orgânica. Se o regime de vazões é conhecido, é possível conhecer a variação que ocorre na altura do leito de lodo e assim evitar o seu carregamento durante uma sobrecarga hidráulica.

Estudos realizados em instalação experimental por Leitão *et al.* (2005) indicaram ser desnecessário operar um reator UASB com longos tempos de detenção hidráulica (TDH) com objetivo de melhorar sua capacidade de suportar sobrecargas hidráulicas, pois, nesses casos, ocorre a formação de lodo mais expansível, facilmente carregado em altas velocidades ascendentes. Ao contrário, diminuindo-se o TDH ou aumentando as velocidades ascensionais, conduz-se a um decréscimo da expansibilidade da manta de lodo.

Experimentos conduzidos por Zhou *et al.* (2007) também avaliaram os efeitos no processo de formação dos grânulos na biomassa sob diferentes cargas orgânicas em reatores UASB em escala de bancada. Ao passo que eram aplicadas maiores cargas orgânicas nos reatores, observou-se que o processo de formação de grânulos era fortemente favorecido. Entretanto, a aplicação de altas taxas orgânicas a reatores anaeróbios de fluxo ascendente, sob determinadas condições operacionais, pode inibir de modo irreversível a atividade metanogênica e causar um desequilíbrio entre o substrato disponível e os requisitos nutricionais dos microrganismos.

A partida dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo é uma fase de extrema importância para o desenvolvimento de um lodo com características adequadas ao tratamento dos esgotos. O lodo no interior do reator UASB pode ter características floculentas ou granulares. Lodos com características granulares indicam um processo de partida adequado do reator, além de apresentar diversas vantagens em relação aos lodos de características floculentas. Lodos granulares se caracterizam por possuírem elevadas idades de lodo em virtude da sua excelente capacidade de sedimentação, o que proporciona uma densidade maior de microrganismos na manta de lodo, o que possibilita os reatores UASB que trabalham sob estas condições serem submetidos a maiores cargas hidráulicas em comparação aos reatores UASB que possuem lodos floculentos. A carga orgânica aplicada

e a produção específica de lodo é que determinarão a capacidade de conversão da matéria orgânica pelos microrganismos no interior do reator (Ghangrekar, 2005). A formação de um lodo de características granulares pode ser considerado como a melhor razão para o sucesso no emprego de reatores UASB no tratamento de efluentes industriais (Hulshoff Pol *et al.*, 2004).

3.6.2. Influência do descarte de lodo no desempenho do reator anaeróbio de fluxo ascendente

Como todos os sistemas biológicos de tratamento de águas residuárias, os reatores anaeróbios produzem lodo que se acumula dentro do reator ao longo do tempo. Tendo em vista que a capacidade de acumulação do lodo no interior do reator é limitada, com o passar do tempo, parte desse lodo será perdida junto com o efluente. A fim de se evitar a perda de lodo no efluente, torna-se necessário promover o descarte desse lodo periodicamente, antes que a capacidade máxima de retenção de lodo dentro do reator seja atingida. A quantidade de lodo que deverá ser descartada será equivalente à quantidade de lodo produzida.

A presença de sólidos no efluente final de uma estação de tratamento pode ser minimizada pela adoção de descartes periódicos de lodo nos reatores anaeróbios. Uma alternativa que poderia ser empregada seria a implantação de uma unidade de pós-tratamento que promovesse a remoção dos sólidos descartados junto ao efluente do reator, alternativa esta mais cara.

Para simplificar todo o processo, Cavalcanti *et al.* (1999) concluíram que, a fim de se reduzir custos operacionais tais como transporte, armazenamento e disposição final do lodo, seria desejável se promover descartes de grandes volumes de lodo no reator, aumentando-se o período de tempo entre dois descartes sucessivos. Ocorre que essa prática pode afetar o desempenho global do reator, levando à produção de um efluente de menor qualidade. Torna-se necessário, portanto, determinar qual a massa mínima de lodo que deve permanecer no reator de modo que, após ter sido realizado o descarte, não se tenha impactos negativos no desempenho da unidade.

Aisse *et al.* (2000) monitoraram um reator anaeróbio de leito fluidizado, acompanhando o perfil de sólidos no interior do reator. Ao longo de 18 meses de monitoramento, verificaram que o lodo anaeróbio manteve-se confinado no compartimento de digestão do reator, não adentrando indevidamente no sedimentador. Assim, não havia sido evidenciada a necessidade de remoção de lodo, mesmo após 18 meses de observação.

Estudos realizados por Sato *et al.* (2005) em diversos reatores anaeróbios de manta de lodo localizados na bacia do rio Yamuna, cidade de Deli, Índia, relataram que as unidades avaliadas não estavam atingindo requisitos mínimos de qualidade do efluente no tocante a DBO, SST e coliformes fecais, dentre outros parâmetros avaliados. Os autores indicaram que uma melhor condição operacional e de manutenção dos reatores e o acompanhamento do processo por profissionais especializados, além do treinamento dos operadores das estações de tratamento, poderiam melhorar as condições observadas. Mais do que isso, concluíram ainda que o emprego de práticas operacionais mais rigorosas, como o descarte do excesso de lodo acumulado nos reatores e a remoção da espuma formada, conduziria a um incremento na eficiência no tratamento.

3.6.3. A produção de espuma no reator anaeróbio de fluxo ascendente

Em estações de tratamento de águas residuárias, um resíduo comumente gerado é a espuma, um subproduto sólido constituído de materiais flotáveis não degradados durante o tratamento. Segundo Metcalf e Eddy (1991), a espuma pode ser constituída de gordura, óleos, ceras, sabões, restos de comida, cascas de frutas e vegetais, cabelos, papel, algodão, pontas de cigarros, materiais plásticos, partículas de areia e materiais similares.

Uehara (1989) destaca que a formação de espuma em lagoas anaeróbias tende a aumentar quando maior for a carga orgânica aplicada. Revela ainda que a espuma é foco de reclamações constantes das equipes de operação dessas unidades: propicia um mau aspecto da lagoa, causa de maus odores e constitui-se num criadouro favorável para proliferação de mosquitos e moscas. Por outro lado, a presença de espuma nas lagoas anaeróbias favoreceria a exclusão do oxigênio e a manutenção do calor no conteúdo líquido das lagoas.

Gomes *et al.* (2005) caracterizaram as escumas em reatores UASB como materiais ricos em materiais fibrosos, especialmente cabelos, pêlos, fios, materiais têxteis, plásticos, filtros de cigarros, preservativos, sementes, etc., tudo misturado com um pouco de lodo anaeróbio e eventualmente com um pouco de óleos e graxas. As escumas drenam facilmente e não atraem ou reproduzem insetos e também não exalam maus odores típicos, perceptíveis.

A espuma, além de gerar problemas operacionais no reator, ocasiona uma diminuição na eficiência do tratamento quando presente no efluente final (Silva *et al.*, 2005). Segundo Raman *et al.* (1989, *apud* Souza *et al.*, 2005), o principal problema da espuma gerada nos digestores anaeróbios é a produção desuniforme de biogás, o que possibilita entupimento de tubulações de saída e conseqüente acúmulo de gás em espaços do reator projetados como volume de digestão.

De acordo com Silva *et al.* (2005), em experimentos realizados em escala piloto de reatores UASB abertos tratando esgotos domésticos, a espuma pode ser classificada de acordo com o aspecto visual: espuma de superfície esverdeada e espuma de superfície acinzentada. A espuma de coloração esverdeada, contém grande quantidade de microrganismos similares a cianobactérias do gênero *Oscillatoria*, cloroflagelados dos gêneros *Chlamydomonas* e *Euglena*, bactérias do enxofre do gênero *Beggiatoa* além de outros não identificados, indicando que estes grupos são pouco sensíveis ou especialmente adaptados ao alto teor de nutrientes e matéria orgânica. A espuma de coloração acinzentada apresentava diversidade menor de morfologias microbianas, principalmente pela ausência de algas e cianobactérias, provavelmente resultado das condições anaeróbias na espuma. Bacilos retos, bacilos curvos e filamentos com grânulos intracelulares, provavelmente adaptados às condições anaeróbias, constituem a espuma acinzentada.

Nos reatores UASB, o acúmulo de espuma pode ocorrer em dois compartimentos distintos: na superfície do compartimento de decantação e no interior do separador trifásico. Souza *et al.* (2005) afirmam que a formação de espuma no separador trifásico compromete a coleta do biogás, ocasionando seu eventual escape para a zona de decantação, o que comprometeria a sedimentação do lodo.

A taxa de acumulação de espuma nos decantadores dos reatores dependerá do correto gerenciamento do lodo no interior dos reatores, ou seja, a não retirada do lodo excedente

com a frequência adequada provocará uma maior perda de sólidos para o compartimento de decantação, ocasionando a elevação da taxa de produção de espuma e possível deterioração da qualidade do efluente final (Lobato *et al.*, 2007). Ainda de acordo com Souza (2006, *apud* Chernicharo, 2007), o acúmulo de espuma em reatores UASB teria ainda relação com o arraste de partículas de lodo biológico do compartimento de digestão para o compartimento de decantação, devido à imposição de elevadas velocidades ascensionais. Assim, baixo tempo de detenção hidráulico é acompanhado por elevada velocidade ascensional, a qual provoca arraste de sólidos afluentes, podendo intensificar o processo de formação de espuma na superfície do reator (Souza *et al.*, 2007).

Rissoli (2004) avaliou a produção de espuma em um reator UASB construído em escala piloto, determinando o volume de espuma produzido na retirada do material flutuante com o auxílio de uma escumadeira. Ele verificou que o crescimento da espuma se deu de forma mais acelerada, à medida que a vazão atingia seu valor integral. Tal fato poderia indicar haver relação com a velocidade ascensional e o processo de seleção de biomassa, que teria ocorrido entre a partida do reator até a estabilização da vazão de entrada.

A acumulação de espuma no decantador de reatores UASB em escala de demonstração também foi avaliada por Souza *et al.* (2007). A produção de espuma foi determinada retirando quinzenalmente todo o material flutuante por meio de uma peneira de limpeza de piscina e medindo o volume com o auxílio de um recipiente graduado.

Não foram encontradas, na literatura consultada, outras formas de se medir o volume de espuma produzido em reatores anaeróbios de fluxo ascendente quando operados em escala real.

Diante dos diversos estudos realizados, pode-se inferir que a formação de espuma em reatores anaeróbios de fluxo ascendente está ligada às condições operacionais impostas aos reatores, às características das águas residuárias afluentes, às suas características construtivas e à carga hidráulica a que são submetidos.

3.7. ASPECTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO EM REATORES UASB

O desempenho dos processos anaeróbios de tratamento de águas residuárias está intimamente ligado às práticas operacionais empregadas nas estações de tratamento. Apesar dos processos anaeróbios já estarem bastante difundidos no Brasil, torna-se necessário aferir se os parâmetros empregados na fase de projeto das unidades realmente representam as características desejáveis ao tratamento e a sua eficiência.

Dentre algumas condições que devem ser observadas nas unidades de tratamento durante a sua operação, Campos (1999) destaca a determinação da melhor rotina de descarte de lodo; uma frequência de descarte adequada resultará diretamente em menor perda de sólidos no efluente final, implicando em melhor qualidade do efluente em termos de SS e de DQO e DBO do material particulado.

Outro ponto destacado são as rotinas de operação e limpeza das unidades de gradeamento e desarenação; uma melhor eficiência destas unidades resultará na maximização da retirada de materiais grosseiros e areia presentes no esgoto afluente, evitando que estes sejam introduzidos no reator, reduzindo a sua eficiência.

A presença de sólidos em suspensão no afluente ao reator afeta de várias maneiras o processo de digestão anaeróbia. Ela pode limitar a atividade microbiana, reduzindo a degradação do substrato, reduz a atividade da biomassa por fenômenos de adsorção, pode inibir a granulação do lodo, pode levar a formação de camada de espuma e elevação na produção de lodo, aumentando a necessidade de freqüentes descartes (Aiyuk *et al.*, 2006).

É neste contexto que se busca identificar as possíveis causas dos problemas operacionais observados nos reatores anaeróbios de fluxo ascendente e alternativas que visem melhorar o seu desempenho.

Uma das mais importantes rotinas operacionais no sistema de tratamento consiste em se avaliar a quantidade e a atividade da biomassa presente no reator. Segundo Chernicharo (2007), a existência de um sistema de amostragem de lodo no reator permite a determinação do perfil de sólidos e da avaliação da atividade metanogênica específica da biomassa, possibilitando estabelecer estratégias de descarte (quantidade, frequência e pontos ideais de descarte).

O sistema de descarte de lodo destina-se à extração periódica dos sólidos que crescem no reator, possibilitando também a retirada de material inerte, que venha a se acumular. De acordo com Lobato *et al.* (2007), o descarte de lodo à meia altura do compartimento de digestão possibilita a retirada do lodo excedente mais disperso, de menor atividade e com piores condições de sedimentação, resultando em maiores volumes de lodo de descarte. Para compensar este maior volume de descarte, pode-se retirar uma parcela menor do lodo de fundo do reator, este já bastante concentrado.

A desvantagem em se descartar parte do lodo de fundo, que tende a apresentar atividade mais elevada e melhor sedimentação, pode ser compensada pelos menores volumes necessários no descarte e na menor sobrecarga das unidades de tratamento do lodo, tais como: lagoas de lodo, leitos de secagem e centrífugas.

A baixa eficiência do tratamento preliminar pode determinar o acúmulo de sólidos inertes no reator, os quais deverão ser descartados periodicamente (Chernicharo, 2007). O gerenciamento dos descartes de lodo de fundo do reator pode trazer importantes benefícios para o sistema de tratamento.

A necessidade de remoção de espuma nos reatores UASB pode ser determinada observando-se o aumento do teor de sólidos sedimentáveis e de sólidos em suspensão no efluente do reator, observação visual de eventual escape de material flotante junto aos dispositivos de coleta ou pela inspeção visual diretamente no interior dos separadores trifásicos.

3.8. BALANÇO DA DQO NA DEGRADAÇÃO ANAERÓBIA

A concentração das águas residuárias em termos de sólidos biodegradáveis é de fundamental importância para a determinação do melhor processo de tratamento a ser empregado bem como a estimativa de produção de sólidos biológicos, requisitos de nutrientes, dentre outras variáveis.

De acordo com Chernicharo (2007), uma forma de se expressar a tratabilidade do esgoto é pela DQO biodegradável (DQO_{bd}), definida como a parcela da DQO total (DQO_{tot}) presente nos despejos, que pode ser degradada biologicamente em condições anaeróbias. O

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foi realizada uma avaliação das estações de tratamento de esgotos sanitários operadas pela CAESB no Distrito Federal, a fim de se verificar as características de cada unidade e se determinar o horizonte de estudo.

Após terem sido determinadas as estações de tratamento de esgotos que possuem reatores UASB como unidades de tratamento, foram levantadas as estratégias de manejo de lodos adotadas, bem como outras características inerentes ao desempenho das estações.

Posteriormente avaliou-se a rotina operacional em cada estação de tratamento, possibilitando verificar como as estratégias de manejo de lodos nos reatores UASB implicavam no desempenho dessas unidades e nos demais aspectos de desempenho de toda a estação de tratamento de esgotos.

Após avaliação das características das estações de tratamento, foi determinada a escolha de uma estação estudo de caso, no qual seriam avaliadas de maneira mais próxima as rotinas operacionais empregadas nos reatores UASB bem como as ações de manutenção realizadas.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS REATORES UASB NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DO DISTRITO FEDERAL

Em uma primeira fase do trabalho foi realizado um levantamento de dados, utilizando um roteiro previamente elaborado e consulta aos dados disponíveis nas publicações e relatórios da CAESB, visando identificar as estações de tratamento de esgotos que apresentam unidades de tratamento biológico compostas por reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo.

Após a etapa de identificação, foi realizada a caracterização do tratamento preliminar de cada estação de tratamento de esgotos, o manejo de lodos nos reatores, estratégias de descarte, problemas operacionais dos reatores, periodicidade e modalidades de ações de manutenção realizadas e demais observações relevantes empregando um questionário com

perguntas específicas e espaço para sugestões, junto às gerências de operação de cada estação, anexo.

Em uma segunda etapa foram catalogados os resultados das avaliações realizadas, apresentados tabelas e gráficos acerca dos resultados obtidos, além de serem realizadas análises das demais observações realizadas. É importante observar que quando havia mais de uma resposta à mesma pergunta no questionário, os valores foram acumulados para fins de ilustração nos gráficos apresentados.

4.2. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

4.2.1. Considerações iniciais

Diversas localidades no Distrito Federal são atendidas por estações de tratamento de esgotos cuja configuração apresenta unidades de tratamento primário caracterizadas por reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo. Dentre estas estações pode-se relacionar as unidades de São Sebastião, Planaltina e Vale do Amanhecer na região leste; Paranoá e Torto na bacia do Paranoá e as unidades de Santa Maria, Alagado, Gama, Recanto das Emas, Samambaia e Melchior na área oeste do Distrito Federal (POE/CAESB, 2005).

As unidades de Samambaia e Planaltina apresentam concepção bastante particular. Os reatores anaeróbios são seguidos de lagoas facultativas a eles geminadas. Nestas estações não há descarte programado de lodo, sendo que o mesmo se acumula no próprio reator e, quando esse esgota sua capacidade de armazenamento, o lodo é perdido junto com o efluente para as células facultativas adjacentes.

As unidades do Vale do Amanhecer e do Torto atendem pequenas demandas localizadas, sendo, portanto, pouco representativas. A unidade de tratamento do Paranoá apresenta uma configuração de reator anaeróbio já em desuso na CAESB, sendo que o mesmo será objeto de reformulação em breve. Em operação desde 1997, apresenta também problemas operacionais em função do baixo índice de consumo per capita de água potável, o que leva a concentrações elevadas dos parâmetros de caracterização dos esgotos na unidade.

As estações de tratamento de esgotos de Santa Maria, Alagado e Recanto das Emas sofreram recentemente modificações e adaptações em suas unidades operacionais de modo a adequá-las aos projetos mais recentes em uso pela CAESB, encontrando-se ainda em fase de testes.

As estações de tratamento de esgotos do Gama e do Melchior foram implantadas há cerca de três anos, apresentando a configuração mais recente do projeto de reatores anaeróbios de fluxo ascendente desenvolvido pela CAESB. Ambas já se encontram em operação há pelo menos dois anos, propiciando certa estabilidade operacional.

Com o objetivo de se desenvolver a pesquisa, escolheu-se a estação de tratamento de esgotos do Gama. Esta unidade apresenta a última configuração desenvolvida pela CAESB para o reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo, além de operar com condições operacionais mais estáveis. A unidade do Melchior, apesar de possuir características semelhantes, apresenta reatores anaeróbios de volume muito superior e apresenta grandes choques de cargas hidráulicas, o que poderia influenciar algumas determinações da pesquisa.

4.2.2. A estação de tratamento de esgotos do Gama

A estação de tratamento de esgotos do Gama foi projetada para atender uma população de aproximada de 182.000 habitantes, com capacidade média de projeto de 328 L/s, tendo sido inaugurada em 14 de novembro de 2003 (POE/CAESB, 2007).

Os esgotos sanitários da cidade são coletados e encaminhados ao tratamento preliminar da estação, caracterizado por um sistema de gradeamento mecanizado e desarenação para remoção dos sólidos grosseiros e areia dos esgotos.

Após essa etapa, os esgotos são conduzidos aos reatores UASB, onde é estabilizada parte da matéria orgânica. Os gases formados são captados e queimados para o controle de odores. O lodo descartado dos reatores UASB é encaminhado para uma lagoa de lodo, sendo posteriormente desidratado em uma centrífuga.

Na ETE Gama, os reatores anaeróbios são constituídos por tanques de formato tronco-piramidal, escavados e moldados no próprio terreno a 45°, revestidos por camada de concreto reforçada em tela de polietileno. Os tanques apresentam zonas de decantação e de coleta de

gases definidos por painéis em telhas de alumínio. A vazão afluyente é repartida junto ao fundo do reator por meio de tubos de PVC perfurados progressivamente. A coleta de efluente dos tanques se dá por meio de tubos dispostos em posição afogada, perfurados progressivamente para melhor regularização da vazão. O descarte de lodo é realizado por meio de tubulações instaladas a 50 cm do fundo do reator e, eventualmente no interior da câmara de coleta de gás e na superfície dos decantadores, por meio do sistema de retirada de espuma.

O efluente dos reatores UASB alimenta dois tanques de aeração prolongada (ar difuso), com volume útil individual de 25.000 m³, revestidos de membrana de PEAD de alta resistência, onde ocorrem as remoções da matéria orgânica e dos nutrientes remanescentes (fósforo e nitrogênio). Esse processo biológico é o de lodos ativados, tendo sido adotada a configuração de “Phoredox modificado”. A biomassa presente nos tanques de aeração é separada do líquido tratado mediante processo de sedimentação realizado nos clarificadores, retornando, então, a os tanques de aeração para a continuação do tratamento. O lodo ativado descartado é adensado por flotação e desidratado na centrífuga. O efluente da estação é lançado no ribeirão Ponte Alta.

4.2.3. Condicionantes para o desenvolvimento do experimento na metodologia inicialmente proposta

Inicialmente foi realizado um levantamento minucioso das instalações da ETE Gama a fim de que se pudessem identificar as características das unidades e processos do tratamento. Foram levantados dados acerca do desempenho do tratamento de esgotos da estação como um todo e dos reatores UASB separadamente, ao longo do tempo de operação. Especial atenção também foi dada ao tratamento preliminar, com a determinação das suas características hidráulicas e de equipamentos.

Foi realizada ainda a caracterização dos reatores UASB, técnicas construtivas empregadas, materiais, demais especificações de projeto e ainda ações de operação e manutenção dessas unidades ao longo do tempo.

Quando da escolha da estação de tratamento de esgotos do Gama para avaliação do manejo de lodos nos reatores UASB, previa-se adotar três diferentes esquemas de descarte de lodo dos reatores, um para cada reator. Como a estação em análise possui quatro reatores, um destes

ficaria como uma unidade que poderia receber e absorver sobrecargas hidráulicas, de modo a se poder manter constante a carga hidráulica sobre os três reatores do experimento.

A instrumentação analítica disponível na ETE Gama (medidores eletrônicos de vazão) possibilitaria a leitura do biogás produzido, a medição de vazão de lodo e de espuma descartados do reator, além da vazão afluenta aos reatores.

Caso fosse possível implantar medidores eletrônicos de vazão nas linhas de coleta e queima de biogás dos reatores anaeróbios, seria medida a produção diária nos três reatores em estudo individualmente. Por meio da determinação da produção de CH₄, seria estabelecida uma relação entre a DQO afluenta e sua correspondente DQO removida, no balanço da DQO.

Os dados relativos às análises do afluenta e efluenta dos reatores anaeróbios, da leitura do biogás produzido e da determinação do volume e características do lodo descartado, sofreriam tratamento estatístico em cada ciclo do balanço de massa (período entre dois descartes sucessivos de lodo), a fim de determinar a avaliação do balanço de massa em termos da DQO no período, segundo a Equação 4.1:

$$DQO_{\text{afluenta}} = DQO_{\text{CH}_4} + DQO_{\text{LODO}} + DQO_{\text{efluenta}} \quad (4.1)$$

Inicialmente se faria a determinação da produção de lodo no sistema, quando os reatores já atingissem a sua capacidade máxima de armazenamento. A determinação da produção de lodo nos reatores poderia então ser realizada observando-se a massa de sólidos perdida junto ao efluenta, sem que houvesse descartes programados de lodo, acrescida do lodo acumulado dentro do reator, determinado pelas amostras das concentrações de lodo retiradas em determinadas profundidades na zona de digestão entre dois descartes. Quando o teor de sólidos no efluenta passa a aumentar significativamente, é dado o momento em que a capacidade de retenção de lodo no reator atinge seu limite máximo. A partir desse momento o lodo que entra no sistema é perdido juntamente com o efluenta.

Seguindo sugestões de Cavalcanti *et al.* (1999), seriam determinadas rotinas de descarte de lodo de fundo dos reatores em 80% e 50% da massa total disponível no sistema. Para um descarte de lodo da ordem de 50%, os dados por eles obtidos em escala de bancada revelaram que não havia impactos negativos na remoção de DQO. Para descartes da ordem de 80%, o

sistema tendia a perder eficiência em um primeiro momento, mas recuperava-se muito rapidamente, sem prejudicar a atividade metanogênica. Após a realização dos descartes, seriam acompanhados o desempenho das unidades e o processo de formação de espuma. Seriam realizadas medições desta camada procurando não removê-la até que os reatores se encontrassem novamente repletos de lodo. Caso houvesse risco de danos aos reatores durante esse intervalo, seria promovida a remoção da espuma e determinado o seu volume, dando continuidade ao experimento. No terceiro reator seria mantida a rotina operacional atualmente empregada na estação para o descarte de lodo de fundo e da espuma superficial, ou seja, descartes semanais de lodo de fundo e da espuma superficial, sendo avaliados aspectos como vazão de lodo e volume de espuma descartada.

4.2.4. Adaptações na rotina operacional nas unidades de tratamento para a realização da nova metodologia

Desde o início da operação da estação de tratamento de esgotos do Gama, os reatores UASB ainda não haviam sido submetidos a qualquer ação de manutenção. Em face das condições às quais os reatores estão submetidos, tornou-se necessária a parada dos mesmos para a recuperação da estrutura de concreto e aplicação de novo revestimento nas caixas de coleta do efluente dos reatores. Em função da realização destes serviços, não se tornaria mais possível realizar diferentes esquemas de descarte de lodo simultaneamente durante o período disponível para o desenvolvimento do experimento.

Dos 4 reatores, somente seriam disponibilizadas 2 unidades para a investigação. Diante dessa limitação, optou-se por avaliar isoladamente os 2 reatores: reator A, onde se suspendeu o descarte programado de lodo e reator B, submetido às condições atuais de operação preconizadas pela CAESB.

Para a determinação dos volumes de descarte de lodo dos reatores UASB, foi realizada manutenção do medidor eletrônico de vazão, de modo a torná-lo operacional. Seguindo as orientações do fabricante, foram instaladas curvas à montante e jusante do medidor de modo a deixá-lo afogado, viabilizando a realização das leituras.

Para cada procedimento de descarte de lodo ou espuma no reator operado pela CAESB, foram anotados os valores acumulados no mostrador do medidor e então determinados os volumes efetivamente descartados.

As atividades previstas para a realização da pesquisa, segundo as limitações impostas pelas condições operacionais da estação de tratamento de esgotos do Gama encontram-se ilustradas no fluxograma da Figura 4.1.

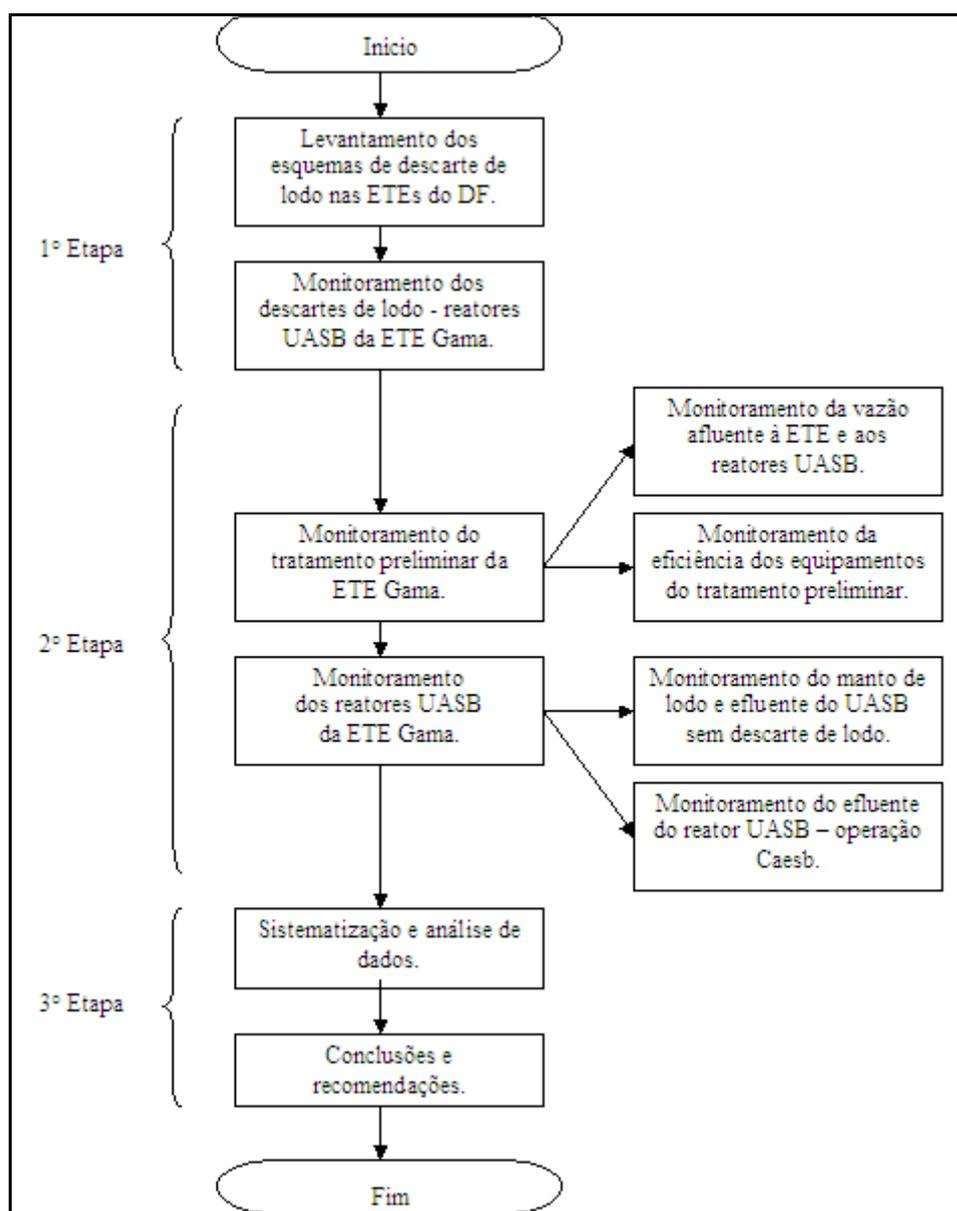


Figura 4.1 – Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa segundo a nova metodologia.

Com o objetivo de avaliar as características de qualidade do efluente e do lodo descartado, foram adotadas rotinas de análise para o esgoto afluente ao reator, efluente clarificado e

amostras da manta de lodo. As análises laboratoriais observaram as especificações da APHA, AWWA, WPCF (1999), com a periodicidade e frequência indicadas na Tabela 4.1.

Buscou-se ainda compatibilizar algumas das análises laboratoriais a serem desenvolvidas na pesquisa com as rotinas e equipamentos já empregados no laboratório da estação de tratamento de esgotos do Gama, otimizando, assim, o processo.

Tabela 4.1 – Plano de monitoramento dos reatores anaeróbios da ETE Gama.

PARÂMETRO	UNIDADE	FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM			
		AFLUENTE	REATOR	EFLUENTE	LODO
Temperaturas máxima e mínima	°C	Diária	-	-	1 x semana
PH	-	2 x semana	-	2 x semana	1 x semana
AGV	mg/L	-	-	2 x semana	-
Alcalinidade parcial e total	mg/L	2 x semana	-	2 x semana	1 x semana
ST	mg/L	-	-	-	1 x semana
STV	mg/L	-	-	-	1 x semana
SST	mg/L	2 x semana	-	2 x semana	1 x semana
SSV	mg/L	-	-	-	1 x semana
DBO	mg/L	2 x semana	-	2 x semana	-
DQO	mg/L	2 x semana	-	2 x semana	-
Volume de descarte de lodo	m ³	-	Variável	-	-
Volume de espuma	m ³	-	Variável	-	-

Dentre as variáveis de interesse quando da determinação da frequência adequada para a realização dos descartes de lodo dos reatores UASB, a carga orgânica afluyente é de extrema importância. Ao se operar o reator sob condições reais, torna-se necessária a determinação da vazão afluyente ao longo do período em análise.

Ao analisar o projeto de interligação de unidades da estação de tratamento de esgotos do Gama, percebeu-se que uma parcela da vazão afluyente aos reatores UASB poderia ser

desviada diretamente ao tratamento secundário da estação, fornecendo matéria orgânica suplementar ao processo de lodos ativados. Em face dessa alternativa, não seria possível determinar com exatidão a vazão afluyente aos reatores UASB sem a instalação de uma régua a montante do vertedor localizado na caixa de distribuição de vazão. Realizando leituras a cada 2 horas junto à calha parshall do tratamento preliminar e na régua instalada, foi possível determinar qual parcela da vazão afluyente à estação é direcionada aos reatores UASB e ao tratamento aeróbio.

O cálculo da vazão afluyente aos reatores UASB foi realizado de acordo com a Equação 4.2, fórmula de Francis com a correção recomendada para quando o vertedor apresenta contração lateral (Neves, 1986):

$$Q = 1,838 lH^{\frac{3}{2}} \quad (4.2)$$

No qual:

Q: vazão afluyente aos reatores UASB (m³/h);

l: largura do vertedor (m);

H: altura da lâmina d'água sobre o vertedor (m).

4.2.5. Coleta de amostras e exames realizados

Inicialmente foi medida a cada semana a massa de lodo no reator em estudo. Adotando sugestões de Campos (1999) e Chernicharo (2007), as amostras foram coletadas em três pontos de amostragem localizados no manta de lodo no interior da câmara de digestão: a 53 cm, 1,56 m e a 2,61 m do fundo do reator. Tais alturas foram determinadas em função da altura total do compartimento de digestão do reator igual a 3,14 m.

Dividiu-se o reator em três camadas imaginárias, tendo-se no centro de cada camada um dos três pontos de amostragem. Admitindo-se que a concentração no ponto de amostragem era característica para a concentração de toda camada, calculou-se a massa de lodo em cada camada e, somando os estes valores, estimou-se a massa de lodo no reator (van Haandel *et al.*, 1999).

De acordo com Lobato *et al.* (2007), uma das rotinas operacionais mais importantes no sistema de tratamento consiste em se avaliar a quantidade e a atividade da biomassa presente no reator, por meio da determinação do perfil de sólidos e da massa de microrganismos presentes no sistema.

Identificando a altura e a concentração do leito de lodo no reator, podem-se determinar as estratégias de descarte (quantidade e frequência) e os pontos ideais para o descarte.

Para a determinação das características do esgoto afluyente à estação, efluente do tratamento preliminar, além do afluyente e efluente dos reatores UASB, foi estabelecida a coleta de amostras em dois dias por semana. A amostra composta era formada obedecendo as alíquotas constantes da Tabela 4.2, coletadas a cada 2 horas, junto ao ponto de coleta de acordo com a análise a ser realizada. Seguiu-se para os dois reatores avaliados os mesmos procedimentos já empregados pela CAESB para a coleta e preservação das amostras.

Tabela 4.2 – Alíquotas de compostagem de vazões de coleta na ETE Gama.

Vazão (m ³ /h)	Alíquota (mL)
<300	70
300-400	90
400-500	110
500-600	120
600-700	140
700-800	180
800-900	200
900-1000	230
1000-1100	240
1100-1200	250
1200-1300	270
1300-1400	300
>1400	330

Na determinação dos parâmetros de eficiência de remoção de poluentes nos reatores anaeróbios da ETE Gama, foram adotadas rotinas de análise para o esgoto afluyente, efluente clarificado e amostras da manta de lodo. As análises laboratoriais foram realizadas por meio dos métodos e equipamentos descritos na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Equipamentos e métodos de análises laboratoriais empregados na pesquisa.

Parâmetro	Método	Equipamento
Temperatura máxima/mínima	-	Termômetro máxima/mínima Impac
pH	Potenciométrico*	pHmetro Denver UB-10
AGV	Titulação Potenciométrica**	pHmetro Denver UB-10
Alcalinidade parcial e total	Titulação Potenciométrica**	pHmetro Denver UB-10
ST	Gravimétrico*	Estufa Fanem, Balança Sartorius
STV	Gravimétrico*	Mufla Fanem, Balança Sartorius
SST	Gravimétrico*	Estufa Fanem, Balança Sartorius
SSV	Gravimétrico*	Mufla Fanem, Balança Sartorius
DBO	Manométrico*	Kit Orion DBO Fast Mod. 890
DQO	Titulométrico*	Baterias de Sebelin Quimis Q-308-26B, condensador de refluxo e erlenmeyer de 250 mL

*APHA, AWWA, WPCF (1999), **Foresti (2005).

Com o objetivo de se realizar a caracterização morfológica dos flocos constituintes do lodo anaeróbio proveniente do reator UASB operado sem descarte programado de lodo, foi realizada uma técnica de análise digital de imagens.

Extraiu-se uma amostra do lodo do reator às 10:00 horas do dia 12/02/2008, na camada localizada a 1,56 m do fundo do referido reator. Para efetuar a aquisição das imagens digitais dos flocos, uma amostra de 1 mL do lodo coletado foi depositada cuidadosamente em uma lâmina de Segdwick-Rafter, com o auxílio de uma pipeta, e, em seguida, coberta com uma lamínula.

As imagens digitais foram obtidas em um módulo de aquisição composto por um microscópio óptico Leica (DM LB2) acoplado a uma câmera de vídeo Leica (DFC 280), conforme mostrado na Figura 4.2.



Figura 4.2 – Sistema de aquisição de imagens para realização de microscopia das morfologias presentes no lodo anaeróbico do reator UASB.

Foram selecionadas oitenta imagens digitais com dimensões de 1280 x 1024 pixels em escala de cinza (256 níveis de cinza) empregando um aumento total de 50 X fazendo uso do software comercial Leica. Após a captura, as imagens foram salvas em formato JPEG.

Posteriormente, as imagens digitais dos flocos foram tratadas com auxílio do software comercial Leica Qwin Pro versão 3.2.0 (Leica Microsystem Image Solution, 2003), a fim de estimar vários descritores da geometria Euclidiana tais como Diâmetro Equivalente, Circularidade, Convexidade, Razão de Aspecto. O procedimento semi-automático para a realização desta etapa foi desenvolvido pela professora Dr^a. Yovanka Pérez Ginoris.

Dentre os parâmetros de estudos morfológicos que foram estudados nesta etapa da pesquisa o primeiro se refere ao diâmetro equivalente. Esse parâmetro é calculado por meio da área projetada do objeto pela Equação 4.3:

$$Deq. = 2x \sqrt{\left(\frac{\text{área}}{\pi} \right)} \quad (4.3)$$

A convexidade define-se como a relação entre o perímetro convexo de um objeto e o seu próprio perímetro; objetos regulares apresentam valores em torno de 1, já nos objetos irregulares a convexidade é menor que 1.

A circularidade é um fator adimensional que descreve a circularidade do objeto; quanto mais este parâmetro está próximo de 1, mais circular é o objeto.

A razão de aspecto é determinada a partir da relação entre o comprimento e a largura do objeto. A razão de aspecto é sensível à extensão do objeto. Objetos mais alongados apresentam maior valor deste parâmetro. A razão de espectro apresenta valor 1 para objetos circulares e valores maiores que um para objetos diferentes de um círculo.

4.2.6. Desenvolvimento dos amostradores de lodo e de espuma

Após a realização do levantamento das características dos reatores UASB das estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal, verificou-se que esses não possuem dispositivos que permitam fazer a retirada de amostras para a caracterização do lodo em diversas profundidades da manta de lodo. Na estação de tratamento de esgotos do Gama, a estrutura de concreto existente para a coleta de gases em conjunto ao separador de fases também dificulta a retirada de amostras de lodo do interior do reator.

Inicialmente foi avaliada a hipótese de se instalarem tubulações junto ao coletor de gases para realizar a amostragem do lodo. Haveria a necessidade de se fazer furos ao longo da estrutura de concreto, o que poderia favorecer o surgimento de fissuras e possível vazamento de gás. Diante das restrições encontradas, abandonou-se essa possibilidade.

Existe hoje uma grande variedade de equipamentos que permitem a coleta de amostras mecanicamente, de modo geral utilizados para coleta de amostras de mananciais de abastecimento de água. Foi avaliada a utilização de um equipamento do tipo para a determinação de gases dissolvidos em amostras de água, também denominado como amostrador de OD, para a extração das amostras de lodo do interior do reator. Esse amostrador, ilustrado na Figura 4.3, permite que a água entre por um tubo localizado na parte central da tampa que atinge o interior do frasco, permitindo que o ar contido seja

expulso por um orifício lateral à medida em que ele vai sendo completado com água (Branco *et al.*, 1991).

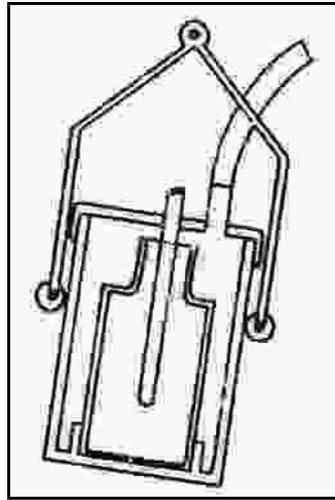


Figura 4.3 – Garrafa de OD (Branco e Porto, 1991).

Observando as características do amostrador do tipo para amostragem de gases dissolvidos, foi construído especialmente para a pesquisa o amostrador, mostrado na Figura 4.4, que possibilitou a extração das amostras do lodo a profundidades de 0,53, 1,56 e 2,61 m do fundo do reator (manta de lodo).

O amostrador de manta de lodos foi confeccionado com tubos e conexões de PVC reforçado de 100 mm de diâmetro, materiais de fácil aquisição e manipulação, conforme ilustrado na Figura 4.5.



Figura 4.4 – Fotografia do amostrador de manta de lodos.

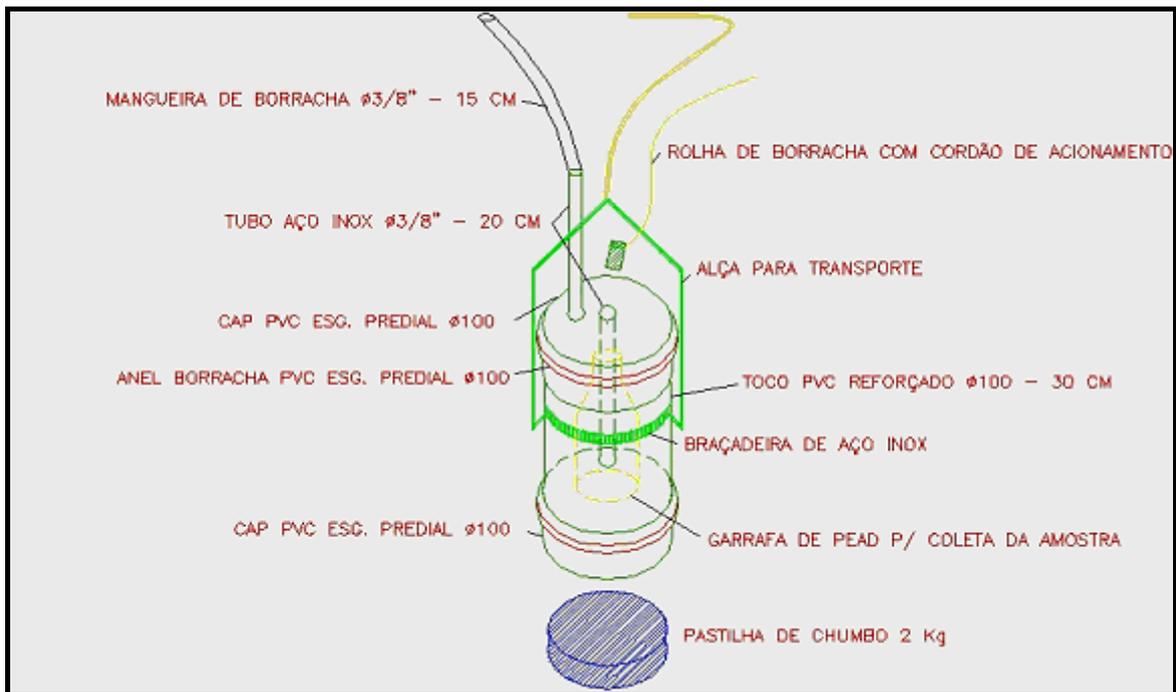


Figura 4.5 – Detalhes construtivos do amostrador de manta de lodos.

Para a determinação da espessura da camada de espuma, foi desenvolvido um instrumento confeccionado em PVC, conforme ilustração das Figuras 4.6 e 4.7. A utilização do medidor de espuma se dá por meio da sua inserção junto às visitas existentes na calha do coletor de gás. Quando a espessura relativa à quantidade de espuma acumulada na superfície do reator (interior do coletor de gás) for superior a 37 cm, altura limite entre o nível d'água e o ponto superior do separador de fases, se define o momento de se realizar o descarte da espuma.



Figura 4.6 – Fotografia do medidor de espuma.

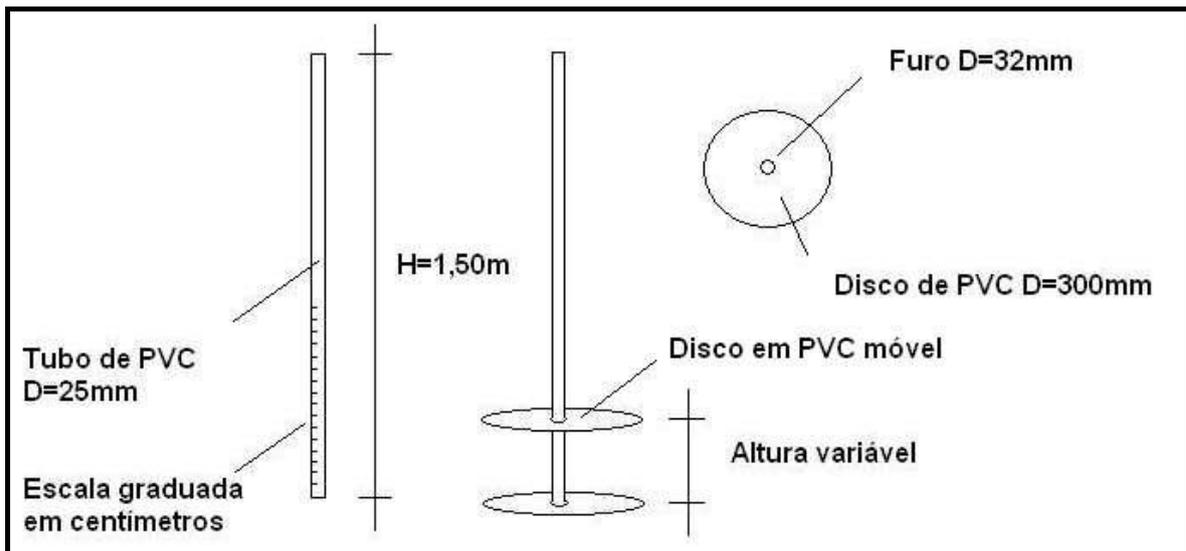


Figura 4.7 – Detalhes construtivos do medidor da camada de espuma.

Pretendia-se também utilizar o medidor de espuma para medir efetivamente o volume de espuma produzido pelo reator durante o período de controle na superfície dos decantadores do reator. O medidor seria inserido em vários pontos na superfície da zona de decantação de modo a ser estabelecida uma espessura média da camada de espuma. De posse da área compreendida na superfície da zona de decantação poder-se-ia determinar o volume de espuma produzido, conforme representa a Equação 4.3. Parte-se da hipótese de uma distribuição superficial homogênea da camada de espuma na superfície do decantador. Tal prática tornou-se inviável em função da interferência do período de chuvas, que desagregavam a massa de espuma formada no intervalo de tempo.

$$Vol.escuma(m^3) = ÁreaSup.Decantador(m^2) \times \sum_{E=1}^n \frac{Espessura(m)}{n} \quad (4.3)$$

Souza *et al.* (2007b) realizaram um método diferente ao proposto para os reatores da ETE Gama. Em um reator UASB em escala de demonstração, media-se a quantidade de espuma acumulada no decantador do reator a cada dois meses, relativa a uma porção de um quarto da área superficial deste. Retirava-se o material flutuante por meio de uma peneira de limpeza de piscina, medindo-se o volume com o auxílio de um recipiente graduado. O volume total de espuma existente seria igual a quatro vezes o volume retirado no quarto em questão.

Justifica-se a adoção do medidor proposto para a determinação da espessura e do volume de espuma no reator em função da simplicidade de manuseio e construção, além da simplicidade da determinação para grandes reatores UASB.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1. VARIÁVEIS OPERACIONAIS DOS REATORES UASB NO DISTRITO FEDERAL A SEREM AVALIADAS NO EXPERIMENTO

Dentre as 17 estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal, 12 possuem reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo como unidades de tratamento biológico dos esgotos. De forma simplificada, essas estações no Distrito Federal apresentam configuração do sistema de tratamento composto por unidade de tratamento preliminar, para remoção de sólidos grosseiros e areia, reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo, e unidades de pós-tratamento constituídas de diversas modalidades, conforme características ilustradas na Tabela 5.1:

Tabela 5.1 – Quadro resumo das estações de tratamento de esgotos com UASB, adaptado de POE/CAESB, 2005.

Unidade	Início da Operação	Processo de Tratamento	Q _{méd.} (L/s)	Q _{proj.} (L/s)	Popul. Atual	Popul. Projeto
ETE Torto	1994	UASB + INFIL+ CLORAÇÃO	1,9	6	796	2500
ETE Samambaia	1996	UASB / LF + LAT + LP + POL. FINAL	225,6	284	142986	180000
ETE Paranoá	1997	UASB + LAT + ES	32,1	112	17196	60000
ETE Vila Aeronáutica	1997	UASB / LF + LM	16,3	34	6716	14000
ETE Alagado	1998	UASB + LAT + ES	54,4	154	29974	84852
ETE Planaltina	1998	UASB / LF + LM	73,4	255	39722	138000
ETE Recanto das Emas	1998	UASB + LAMC + LAF	98,6	246	50302	125500
ETE São Sebastião	1998	UASB + ES + LM	98,2	226	33769	77717
ETE Vale Amanhecer	1998	UASB + LAF	16	35	6857	15000
ETE Santa Maria	2000	UASB + LAT + ES	27,4	154	15108	84852
ETE Gama	2003	UASB + RA + CLARIFICADOR	199,2	328	110914	182630
ETE Melchior	2005	UASB + UNITANK	765,2	2495	190865	896799

Legenda: LF - Lagoa Facultativa, LP - Lagoa de Polimento, RBN - Remoção Biológica de Nutrientes, LM - Lagoa de Maturação, UASB - Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo, LAMC - Lagoa Aerada de Mistura Completa, LAT - Lagoa de Alta Taxa, LAF - Lagoa Aerada Facultativa, INFIL – Infiltração, RA - Reator Aeróbio, ES - Escoamento Superficial, UNITANK - Reator Aeróbio.

Na maior parte das estações, os reatores UASB são constituídos por tanques de formato tronco-piramidal, escavados e moldados no próprio terreno a 45°, revestidos por camada de concreto reforçada em tela de polietileno, apresentando, como principal característica, baixos custos de implantação. Os tanques apresentam zonas de decantação e de coleta de gases definidos por painéis em telhas de alumínio. A vazão afluyente é repartida junto ao fundo do reator por meio de tubos de PVC perfurados progressivamente. A coleta de efluente dos tanques se dá por meio de tubos de PVC dispostos em posição afogada no tanque, perfurados progressivamente para melhor regularização da vazão coletada ao longo do tanque, levando à caixa de coleta. Quando há descarte de lodo nos reatores anaeróbios, esse é realizado por meio de tubulações instaladas em pontos localizados a 50 cm do fundo do reator e, eventualmente no interior da câmara de coleta de gás e na superfície dos decantadores, por meio de sistemas de diluição e retirada de espuma.

5.1.2. A frequência do descarte de lodo

Inicialmente, a frequência de descarte de lodo dos reatores UASB nas estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal era determinada em função da análise de sólidos sedimentáveis presentes no efluente do reator. De uma forma empírica, quando o valor atingia cerca de 5 mL/L, era o momento de se efetuar o descarte do lodo do reator (Neder *et al.*, 1999).

Atualmente, na operação das unidades, percebe-se que a periodicidade do descarte de lodo dos reatores influencia a maior formação de espuma superficial nos tanques. A frequência entre os descartes de lodo de fundo é que determinaria uma maior intensidade de formação de espuma. Essa espuma tenderia a se acumular durante o período compreendido entre dois descartes sucessivos de lodo e, quanto maior esse período, ela se tornaria mais espessa e densa. São relatados graves problemas operacionais relacionados à formação da espuma, desde dificuldades na sua retirada até a destruição da estrutura dos separadores de fase.

A preocupação com o correto gerenciamento do lodo no reator e suas implicações na produção de espuma foi relatada por Lobato *et al.* (2007), ao analisarem o desempenho de reatores UASB na ETE Onça em Minas Gerais. Observaram que a taxa de acumulação de espuma nos decantadores dos reatores UASB depende fortemente do correto gerenciamento do lodo no interior dos reatores. A não retirada do lodo excedente com a

frequência adequada certamente provocará uma maior perda de sólidos para o compartimento de decantação, ocasionando a elevação da produção de espuma e possível deterioração da qualidade do efluente final.

5.1.3. A frequência do descarte da camada de espuma

A partir do levantamento realizado nas diversas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal, pôde-se observar que houve uma constante evolução no projeto dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente.

No início de sua aplicação, os reatores UASB eram constituídos apenas por tanques escavados e moldados no terreno, tubulações de alimentação e de coleta e separadores de fases constituídos por estruturas de madeira e telhas em fibrocimento. Com a necessidade do controle de odores e dos danos causados pela formação de camada de espuma, foram implantados novos elementos construtivos como coletores de gás e sistemas de diluição e coleta de espuma, além de alterações na especificação de materiais.

Essas alterações vêm trazendo aumentos significativos nos custos construtivos dos reatores bem como de operação e manutenção, contrariando sua concepção inicial. Diante desse quadro, é necessário verificar se a inserção de elementos construtivos com a finalidade de diluição e remoção da camada de espuma superficial formada nos reatores anaeróbios tem se mostrado efetiva.

A preocupação com a excessiva formação de espuma nos reatores UASB compartimentados operados pela CAESB no DF foi avaliada por Neder *et al.* (1999). A ocorrência de lodo flotado na primeira câmara dos reatores foi justificada pela grande produção de gás formada no reator, que acabava por se tornar um flutador natural, provocando o arraste de uma grande quantidade de sólidos que passariam a se acumular na superfície dos tanques. O material flotado observado possuía grande quantidade de fibras, gordura e detritos diversos e era caracterizado por ser um lodo já estabilizado, isento de qualquer cheiro agressivo e de desidratação muito fácil.

5.1.4. Outras características de desempenho de reatores UASB no DF

Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo das estações de tratamento de esgotos no DF foram concebidos para serem de execução e operação simplificada, de custos de implantação reduzidos e de baixos custos de manutenção (Neder *et al.*, 1999).

Com o desenvolvimento de novos projetos e o atendimento de novas localidades, muito se tem investido em estruturas acessórias aos reatores anaeróbios tais como: novos dispositivos para diluição e remoção de espuma, distribuição do afluente aos reatores e sistemas de coleta e queima do biogás. Esse desenvolvimento, porém, não contemplou a implantação de um sistema de amostragem de lodo, o que inviabiliza o monitoramento do crescimento e da qualidade da biomassa no reator. É necessário verificar se as unidades apresentam desempenho adequado e quais seriam as melhorias que poderiam ser implantadas de modo a maximizá-lo.

Um aspecto relevante observado é que grandes dificuldades têm sido relatadas durante a operação de esvaziamento dos tanques para ações de manutenção. Os reatores não apresentam dispositivos de inspeção adequados ao esgotamento e retirada de material dos tanques. A presença acentuada de areia e de material grosseiro não removido no tratamento preliminar dificulta as ações de limpeza com o emprego de bombas, caminhões limpafossa, dentre outros.

5.2. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE REATORES UASB NO DISTRITO FEDERAL

5.2.1. A eficiência do tratamento preliminar

A partir do levantamento realizado nas 12 ETEs do DF que apresentam reatores UASB como unidades de tratamento biológico, de acordo com a Figura 5.1, verificou-se que em 50% das estações de tratamento de esgotos avaliadas, as unidades de tratamento preliminar não funcionam adequadamente (gradeamento fino e caixa de areia). Esse fato pode prejudicar o desempenho dos reatores UASB com o acúmulo de material inerte, reduzindo o volume útil dos reatores, prejudicando a qualidade do efluente.

A presença de areia no reator ocasiona uma diminuição do tempo de detenção devido à redução do volume útil do reator, além de haver uma dificuldade na mistura entre o afluente e a manta de lodo (Lima, 1998).

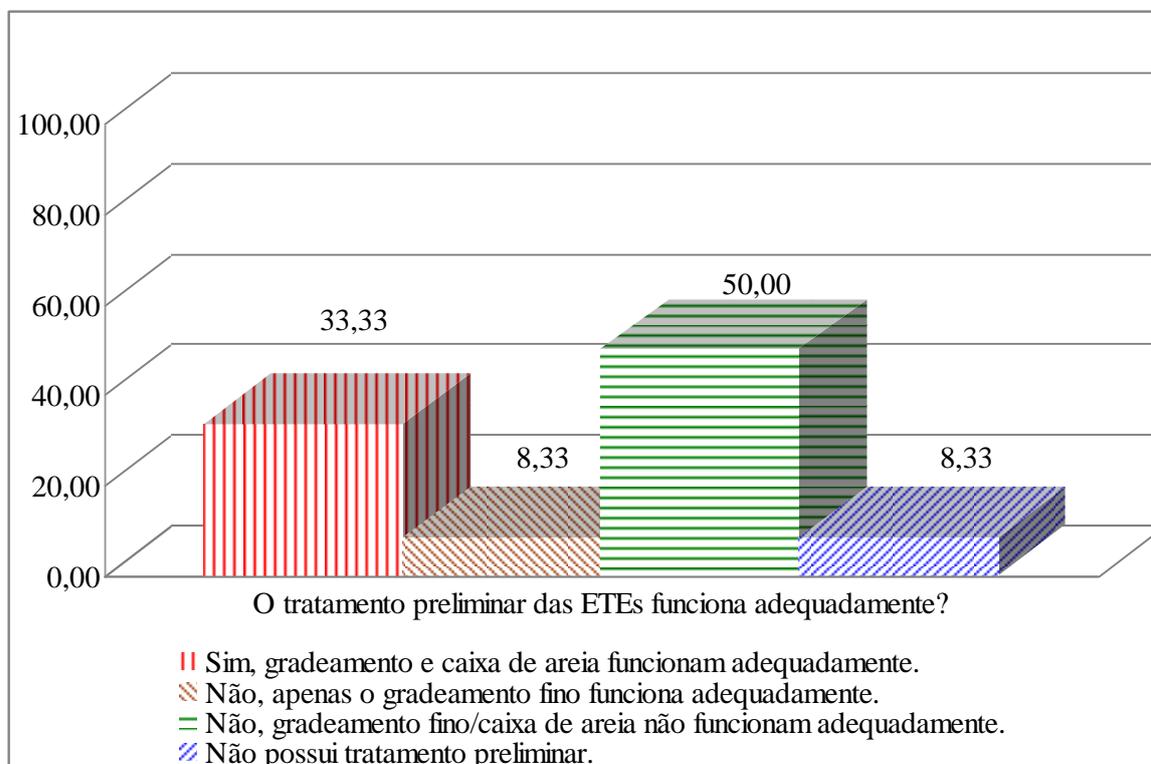


Figura 5.1 – Percentuais indicativos da adequação do funcionamento do tratamento preliminar das estações de tratamento de esgotos no DF.

O funcionamento inadequado do tratamento preliminar está intimamente relacionado à confiabilidade dos equipamentos (panes elétricas e defeitos mecânicos) e problemas hidráulicos nas unidades (depósitos de areia nos canais e sobrecargas hidráulicas). As ações de manutenção não têm sido ágeis o bastante para propiciar uma melhor funcionalidade dos equipamentos.

Na ETE Gama, o quadro não é diferente. Há problemas no funcionamento dos equipamentos que perduram por muito tempo em face da precária manutenção dos mesmos. Muito embora as unidades do tratamento preliminar das estações não apresentem desempenho satisfatório, os reatores UASB dessas estações têm mantido eficiência na remoção de poluentes.

5.2.2. A frequência de descarte de lodo de fundo

Observa-se que as equipes de operação das diversas unidades de tratamento de esgotos no Distrito Federal não realizam controle algum do crescimento da manta de lodo dos reatores UASB. As estratégias de descarte de lodo obedecem apenas observações empíricas e a conveniência da operação no tocante à disponibilidade de espaço das unidades de armazenamento e processamento do lodo.

Como já foi relatado anteriormente, percebe-se que a realização de descartes freqüentes do lodo de fundo dos reatores UASB reduziria a formação de espuma superficial, evitando, principalmente, danos nos separadores de fases. Observa-se, de acordo com a Figura 5.2, que, em 41,67% das estações, o descarte de lodo de fundo não segue uma periodicidade determinada, o que poderia indicar um maior controle das características da manta de lodo. Infelizmente não é isso que ocorre, o descarte é realizado em função da disponibilidade de mão de obra ou ainda de equipamentos como caminhão-fossa que possam fazê-lo, conforme apresentado na Figura 5.3. Novamente não são observados aspectos de eficiência dos reatores UASB quando da realização dos descartes de lodo.

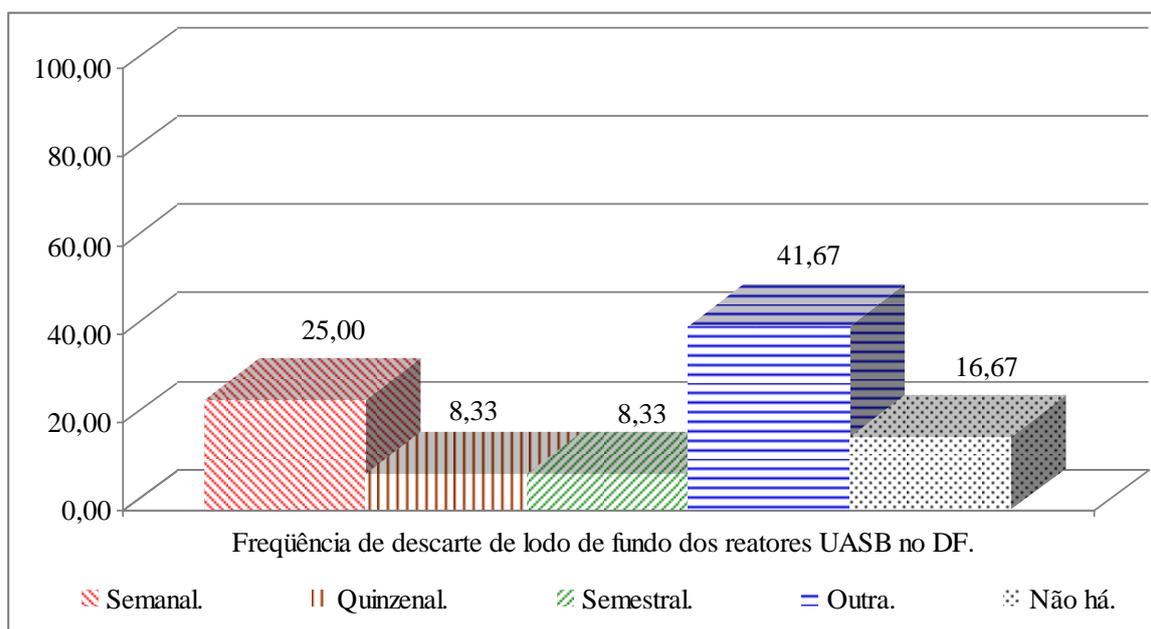


Figura 5.2 – Percentuais relativos à freqüência de descarte de lodo de fundo dos reatores UASB nas estações de tratamento de esgotos.

Souza *et al.* (2007b) também observaram a influência do descarte de lodo no acúmulo de espuma em um reator UASB em escala de demonstração. Perceberam que o descarte de lodo realizado após 151 dias do início do experimento teria influenciado na diminuição da

formação de espuma, a qual vinha de uma tendência crescente entre duas mensurações. Haveria tendência de diminuição, na medida em que um fator de formação da camada teve sua potencialidade diminuída, isto é, a quantidade de lodo presente no reator também diminuiria.

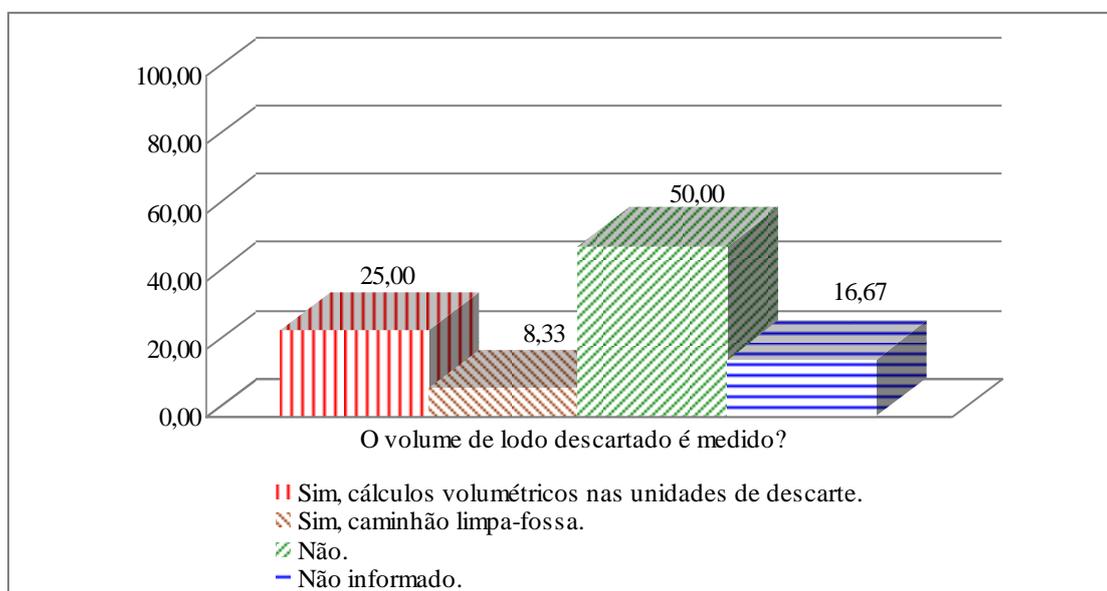


Figura 5.3 – Percentuais relativos aos meios para determinação dos volumes de descarte de lodo de fundo dos reatores UASB nas estações de tratamento de esgotos.

Devido à ausência de medidores de vazão nas linhas de descarte de lodo, na maioria das estações, a medição do volume de lodo descartado é realizada por meio de cálculos do volume armazenado, quando do descarte nas lagoas de lodo ou leitos de secagem, ou ainda pela quantidade removida nos caminhões limpa-fossa.

É importante salientar que na unidade de Samambaia, cuja configuração é de sistema australiano, não são previstos sistemas mecânicos para a remoção de lodo de fundo ou de espuma. Quando o reator não mais comporta o volume de lodo armazenado, o mesmo é carreado para a célula facultativa geminada aos reatores.

5.2.3. A frequência de descarte de espuma

A formação de espuma superficial nos reatores UASB é um problema operacional bastante freqüente nas ETEs do DF. Algumas estações possuem reatores que apresentam sistemas de diluição e remoção de espuma, outras não.

São relatados problemas operacionais decorrentes da formação e acumulação de espuma em reatores RALF e UASB desde 1984 em estações de tratamento de esgotos operadas pela SANEPAR no estado do Paraná (Gomes *et al.*, 2005). Desde então foram avaliados aspectos que interfeririam no problema, desde os aspectos geométricos dos reatores como da necessidade da presença de cortinas retentoras de espuma.

A existência de elementos retentores de espuma nos reatores UASB também é avaliada por Chernicharo (2007). A previsão de tais dispositivos não seria necessária quando os esgotos brutos apresentam concentrações típicas de esgotos domésticos mais diluídos (DQO<600 mg/L, DBO<300 mg/L, SST<300 mg/L). Nesses casos, os reatores têm sido projetados sem retentores de espuma, possibilitando a saída do material flotado juntamente com o efluente. O impacto negativo na qualidade do efluente dos reatores seria reduzido e, nos casos em que o efluente é encaminhado a unidades de pós-tratamento, haveria a garantia de atenuação de eventuais problemas advindos da perda de sólidos.

Conforme apresentado na Figura 5.4, a frequência da remoção da camada de espuma é realizada de forma diversa pelas equipes de operação, considerando apenas a possibilidade de danos aos separadores de fases.

É realizada uma avaliação apenas quanto ao aspecto visual da espuma formada, não havendo uma avaliação quantitativa ou qualitativa da espuma (ensaios de laboratório). O procedimento de retirada da espuma é realizado com bastante dificuldade, pois os dispositivos mecânicos previstos pouco contribuem para a facilitação do processo.

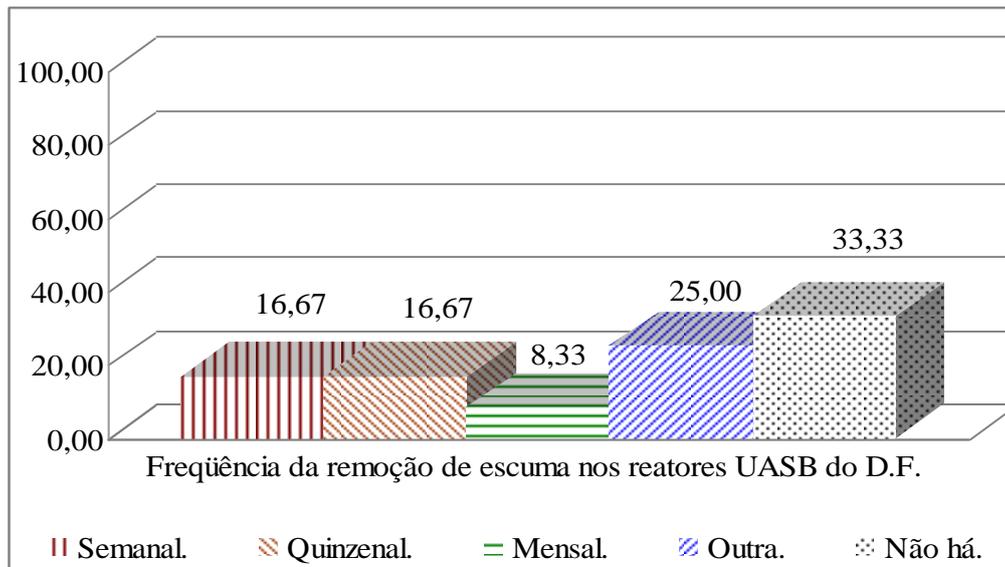


Figura 5.4 – Percentuais relativos à frequência de descarte de espuma dos reatores UASB nas estações de tratamento de esgotos no DF.

De acordo com Chernicharo (2007), a taxa de acumulação de espuma nos decantadores dos reatores UASB depende do gerenciamento do lodo nos reatores. A não retirada do lodo excedente com a frequência adequada certamente provocaria uma maior perda de sólidos para o compartimento de decantação, ocasionando a elevação da produção de espuma.

Avaliando reatores UASB em escala de demonstração, Souza *et al.* (2007a) sugerem que o tempo de detenção hidráulico tem papel importante no processo de acumulação da espuma. A diminuição do TDH nos compartimentos do reator e, conseqüentemente, o aumento da velocidade ascensional tendem a promover uma intensificação na concentração de espuma como função de um maior aporte de sólidos à camada de espuma. Sugere-se, portanto, verificar se os reatores UASB no DF vêm sofrendo sobrecargas hidráulicas constantes ou ainda verificar, por meio das vazões medidas e dos dados de projeto, se as velocidades ascensionais limites sugeridas na literatura estão sendo observadas.

Observa-se que em 25% das estações, o descarte de espuma não segue uma periodicidade determinada, o que pode ser atribuído também à frequência de descarte de lodo de fundo, que em muitas unidades é realizada simultaneamente ao descarte de espuma.

5.2.4. Outros aspectos de desempenho nos reatores UASB do Distrito Federal

Diversas observações podem ser realizadas acerca das características construtivas e de operação dos reatores UASB nas diversas unidades de tratamento de esgotos no DF. Alguns aspectos referem-se às especificações de materiais aplicados e algumas características de projeto.

Dentre as especificações de materiais que carecem de melhorias, pode-se citar as características do concreto empregado nas caixas de coleta do efluente dos reatores. Verifica-se que há ataque da estrutura de concreto provocado, principalmente, pela ação do gás sulfídrico (H_2S). Dentre as alternativas que vêm sendo avaliadas para minimizar o problema, pode-se citar o emprego de revestimento em fibra de vidro na superfície das caixas, principalmente onde a superfície está sujeita à ação dos gases.

Outra consideração diz respeito aos materiais empregados nos separadores de fases dos reatores. Nos primeiros reatores construídos, os separadores de fases eram confeccionados em estrutura de madeira e telhas de fibrocimento. Tal solução, apesar de apresentar custo de implantação inferior, não apresentava desempenho adequado, necessitando de ações de manutenção constantes. Com a implantação das estruturas para coleta de gases em diversas unidades, houve alteração dos coletores para estrutura mista de concreto armado e madeira e telhas de alumínio. Apesar da pretensa evolução, não se obteve o êxito desejado, já que em alguns reatores houve rompimento das fixações das telhas na estrutura e em outros, ataque à superfície das telhas.

No tocante às considerações de projeto, observam-se problemas como sobrecargas hidráulicas, extravasamento de caixas de entrada do afluente e entupimento de tubulações, conforme mostrado na Figura 5.5.

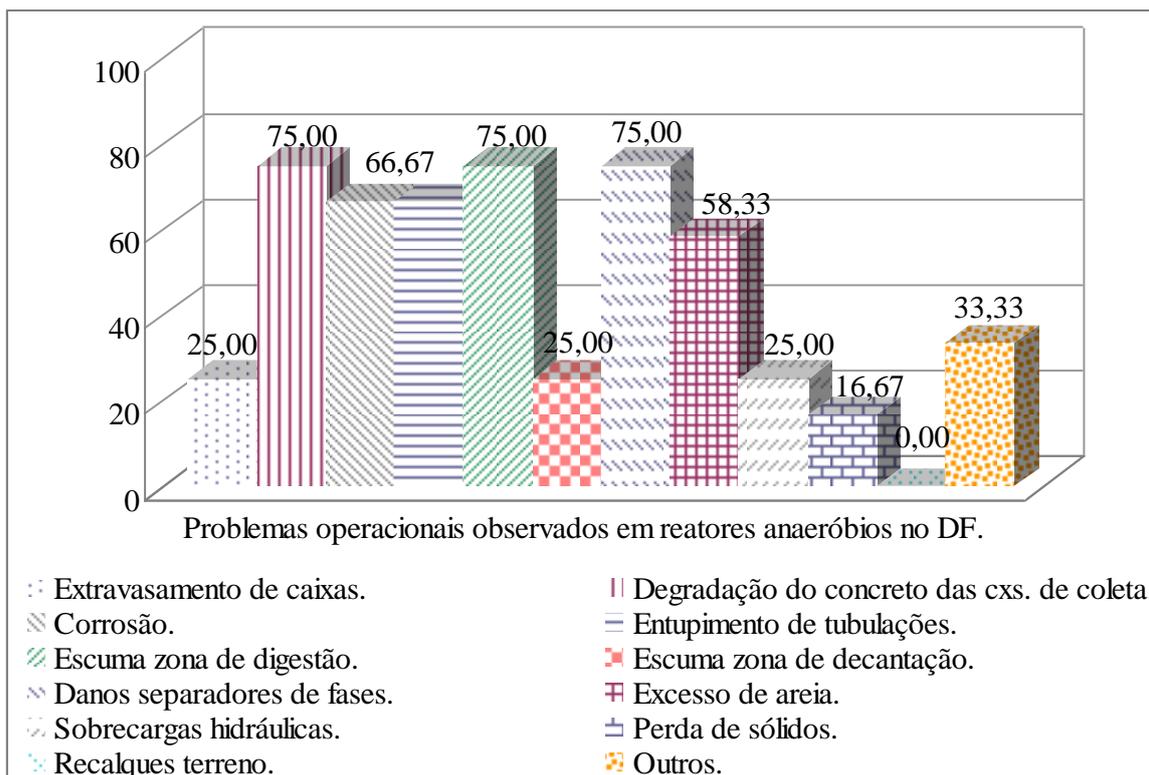


Figura 5.5 – Percentuais relativos à frequência de problemas operacionais observados dos reatores UASB nas estações de tratamento de esgotos no DF.

Quanto ao entupimento das tubulações de alimentação e coleta dos reatores, notadamente quando são utilizados tubos perfurados, este problema está normalmente relacionado a deficiências no tratamento preliminar (Chernicharo, 2007).

As características sócio-econômicas da população bem como de urbanização e ocupação do solo podem variar bastante, necessitando haver critérios diferenciados para se estabelecer consumos per-capita de água e, conseqüentemente, as contribuições de esgoto.

É importante ressaltar a observação realizada por Souza *et al.* (2007b) de que a espuma do decantador de reatores UASB abertos tende a não acumular em grandes quantidades por sofrer processos de amenização da progressão da acumulação, tal como chuvas fortes. No Distrito Federal, há excessiva acumulação de espuma na superfície dos decantadores em 25% das unidades avaliadas. No DF o período de chuvas é concentrado entre os meses de outubro e abril, minimizando a ocorrência de espuma nos decantadores durante este período, conforme foi observado nos reatores UASB da ETE Gama.

No tocante à corrosão de estruturas, Fortunato *et al.* (2000) observaram problemas de ataque das estruturas de reatores RALF localizados em Curitiba e operados pela SANEPAR. Nas paredes internas de algumas unidades, por onde o esgoto escoava, observaram-se os agregados já aparentes devido à agressão provocada pelos ácidos. As caixas de inspeção dos reatores são fechadas e nelas o esgoto apresenta alta turbulência com grande liberação de H₂S. As bactérias agiram na formação de ácido sulfúrico, provocando o estufamento e esfarelamento de grandes pedaços de concreto.

É necessário avaliar se as tubulações de distribuição dos reatores encontram-se subdimensionadas ou ainda se a altura dos vertedores das caixas de entrada não está adequada. Uma reavaliação dos projetos hidráulicos das estações de tratamento poderá ser realizada, a fim de verificar alguma inconsistência nas estruturas implantadas.

Observando as Figuras 5.6 e 5.7, verifica-se que as ações de reforma e de manutenção dos reatores são bastante freqüentes, podendo indicar deficiências nas especificações de materiais empregados nestas unidades. A soma dos percentuais pode ser superior a 100, em função de se considerar mais de uma razão para o esvaziamento do reator.

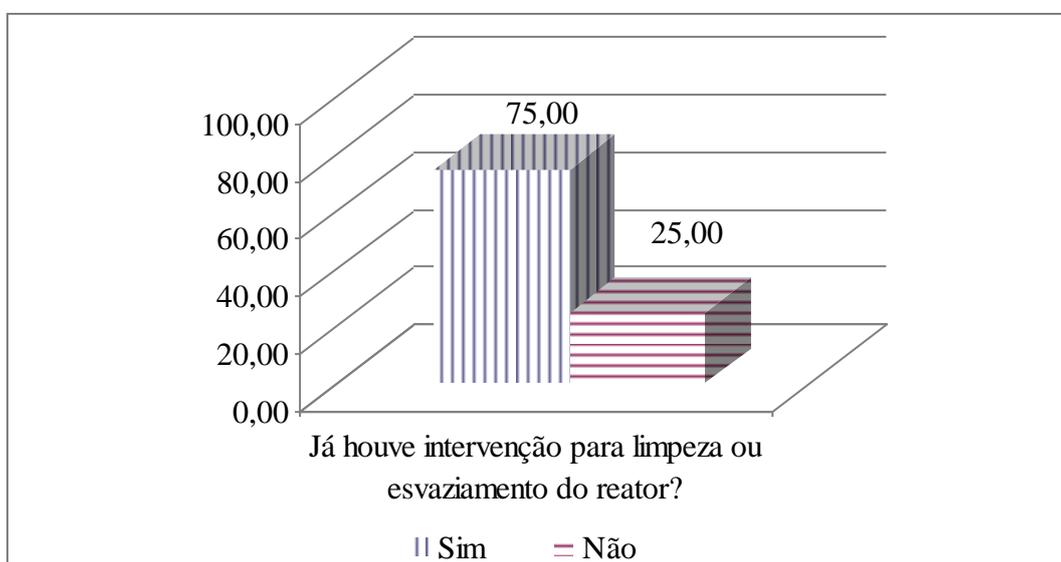


Figura 5.6 – Percentuais relativos à realização de limpeza dos reatores UASB nas estações de tratamento de esgotos no DF.

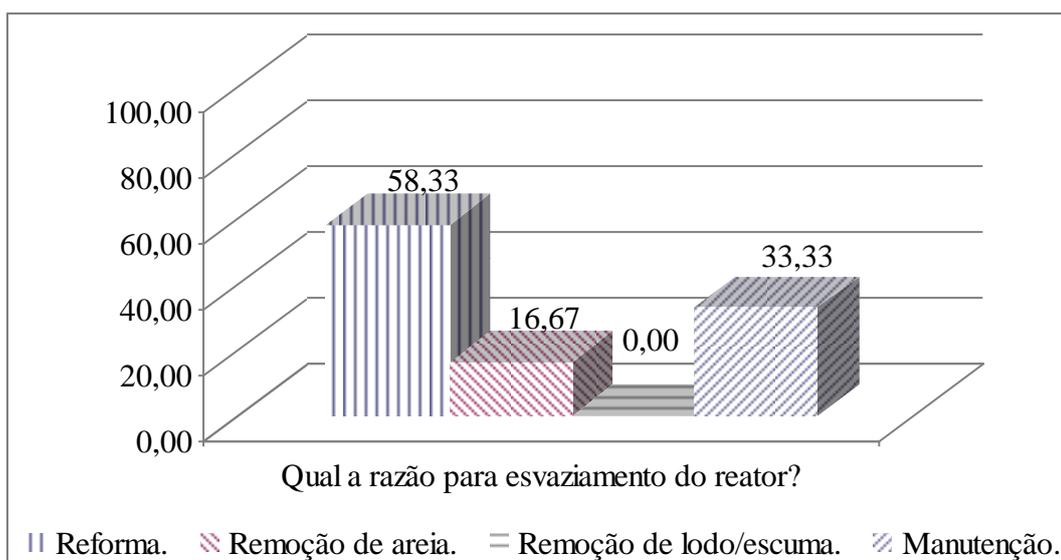


Figura 5.7 – Percentuais relativos às razões para realização de limpeza dos reatores UASB nas estações de tratamento de esgotos no DF.

As ações de manutenção são necessárias para pequenos reparos em tubulações e suportes, além de consertos de bombas, comportas ou válvulas.

Nas reformas são realizadas alterações construtivas nos reatores, substituição ou reposição de material, remanejamento de tubulações, reconstrução de caixas, vertedores, etc.

Quando há a necessidade de esvaziamento dos reatores para a realização de ações de manutenção, são inúmeras as dificuldades encontradas. O acúmulo de material inerte, material não gradeado e de areia no interior do reator dificulta as ações de limpeza realizadas com o emprego de caminhões limpa-fossa e bombas, conforme mostra a Figura 5.8.

O trabalho é demorado, dispendioso e exige a diluição do material para que os equipamentos possam fazer a retirada. Depois de determinada condição, os meios mecânicos por si sós não mais conseguem promover a remoção do material, sendo necessário o emprego de mão-de-obra da operação para a retirada do material por meio de baldes e carrinhos de mão.

Os trabalhadores são submetidos a condições extremamente insalubres por um período longo de tempo, até a completa limpeza do reator.



Figura 5.8 – Ações para realização de limpeza dos reatores UASB nas estações de tratamento de esgotos no DF.

A Figura 5.9 ilustra a frequência e as principais técnicas empregadas para o esvaziamento dos reatores UASB nas ETEs no DF, de acordo com a disponibilidade de pessoal e de equipamentos. A soma dos percentuais pode ser superior a 100, em função da possibilidade de ser utilizada mais de uma técnica durante a operação de esvaziamento do reator.

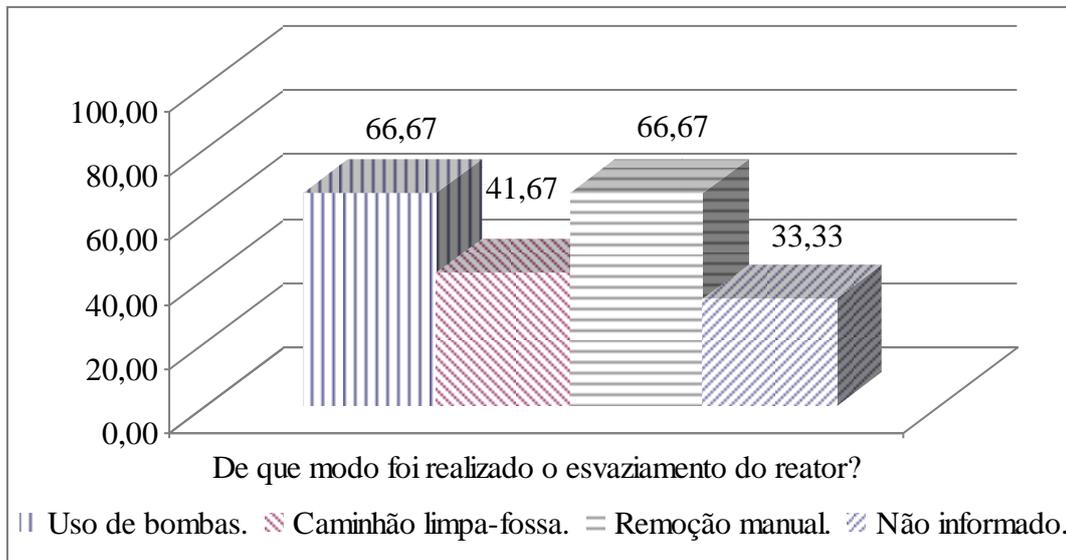


Figura 5.9 – Percentuais relativos às técnicas utilizadas para realização de limpeza dos reatores UASB nas estações de tratamento de esgotos no DF.

5.3. ESTUDO DE CASO: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DO GAMA/DF

Os dados obtidos no levantamento das estratégias de manejo de lodos nos reatores UASB das estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal revelaram que existem dificuldades

quanto à retirada de amostras para a caracterização e programação dos descartes de lodo dos reatores. Por meio da operação dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente da estação de tratamento de esgotos do Gama, comparando diferentes rotinas de descarte de lodo, buscou-se avaliar particularmente esses problemas bem como determinar qual a sua influência na eficiência do tratamento e na redução dos problemas operacionais nos reatores, como a formação da espuma.

5.3.1. Condicionantes ambientais

A região administrativa do Gama ocupa uma área de 276,34 km² e tem como sede a cidade satélite de mesmo nome, com 15,37 km² de área urbana, situada 33 km a sudoeste de Brasília. Os limites da região administrativa do Gama são formados ao sul, paralelo 16°03`S e limita a região com os municípios de Santo Antônio do Descoberto e Luziânia do estado de Goiás. O Rio Descoberto faz o limite oeste, a leste limita a região administrativa de Santa Maria e ao norte limitam as regiões de Recanto das Emas, Riacho Fundo e Núcleo Bandeirante. Os Decretos n.ºs 11.921/1989, 14.604/1993 e 15.046/1993 fixaram os limites das Regiões Administrativas do Distrito Federal.

Segundo a classificação de Köppen, internacionalmente adotada, os tipos de clima do Distrito Federal são o tropical - Aw e o tropical de altitude - Cwa e Cwb. O clima da região administrativa do Gama, que é o mesmo do Distrito Federal, caracteriza-se por dois períodos distintos: um seco, com ausência quase total de chuvas, no inverno, que vai de maio a setembro; e outro chuvoso, com abundância de águas, no verão, que vai de outubro a abril, com uma precipitação pluviométrica anual excedendo 1.500 mm. A temperatura média anual é de 23° C, sendo os meses de setembro e outubro os mais quentes e os meses de junho e julho os mais frios. A umidade relativa média anual é de 55%, porém nos meses mais secos, que são julho e agosto, chega a uma média de 18%.

O relevo da região, em quase sua totalidade, é suave plano e suave ondulado, tendo como característica própria um grande vale, denominado Vale do Tamanduá. As variações altimétricas do relevo apresentam níveis correspondentes: Superfícies planas, nas cotas acima de 1.200 m, sendo 1.271 m a altitude máxima aproximada, cobertas predominante por cerrado e cerradão; Superfície, nas cotas de 1.000 a 1.200 m, coberta por cerrado ralo, cerrado, cerradão e algumas manchas de mata ciliar; e Superfície, nas cotas inferiores a 900 m, indo

até 1.000 m, coberta por cerrado ralo, mata sub-caducifólia e algumas manchas de mata ciliar (CODEPLAN, 2006).

A região administrativa do Gama apresenta solos, em sua maioria, ácidos e com baixa fertilidade, predominando solos com horizonte B dos tipos câmbico, latossólico e textural, bem como algumas manchas de solo hidromórfico e, em pequena quantidade, os solos aluviais, situados nas baixadas às beiras dos ribeirões e córregos.

5.3.2. Dados básicos da estação de tratamento de esgotos do Gama

A ETE Gama está localizada em uma área a sudoeste da cidade. A população de projeto a ser atendida pela estação é de 182.730 habitantes. Para esta população, a vazão total média afluente prevista é de 328 L/s, implicando em uma carga orgânica diária de 9.867 kg DBO/dia. Algumas outras características que foram contempladas em projeto são apresentadas por meio de faixas de valores possíveis de ocorrência na Tabela 5.2. Infelizmente os dados de projeto não contemplaram os coeficientes de variação nesses parâmetros da estação bem como um índice de confiabilidade para essas determinações.

Tabela 5.2 – Parâmetros de projeto da ETE Gama (POE/CAESB, 2005).

PARÂMETRO	AFLUENTE	EFLUENTE UASB	UNIDADE
VAZÃO MÉDIA	328,15	328,15	(L/s)
VAZÃO MÁXIMA	544,72	544,72	(L/s)
DQO	580,06	246,00-333,00	(mg/L)
DBO	348,04	148,00-200,00	(mg/L)
SST	290,03	74,00-100,00	(mg/L)
NTK	56,00	38,00-51,00	(mg/L)
Pt	8,20	5,20-7,10	(mg/L)
NH ₄	35,00	-	(mg/L)
NO ₃	0,04	-	(mg/L)
COLIFORMES FECAIS	1,00E+07	-	NMP/100mL

Devido à localização da cidade do Gama, na bacia do Ribeirão Ponte Alta, o corpo receptor escolhido para receber os esgotos tratados da localidade é o próprio Ribeirão Ponte Alta, utilizando-se o emissário já existente no local.

A implantação do aproveitamento hidrelétrico de Corumbá IV, com previsão de uso do lago para abastecimento público, levou a necessidade do tratamento dos esgotos no nível terciário.

Como o Ribeirão Ponte Alta está na bacia do Rio Corumbá, à montante do barramento, essa necessidade configurou as características básicas da estação de tratamento.

Devido às características impostas, optou-se pelo uso de um sistema de tratamento utilizando reatores anaeróbios de fluxo ascendente seguidos de um sistema de lodos ativados de aeração prolongada, clarificadores, flotadores e sistema de desidratação mecânica do lodo.

A Figura 5.10 apresenta um esquema geral da estação de tratamento de esgotos do Gama.

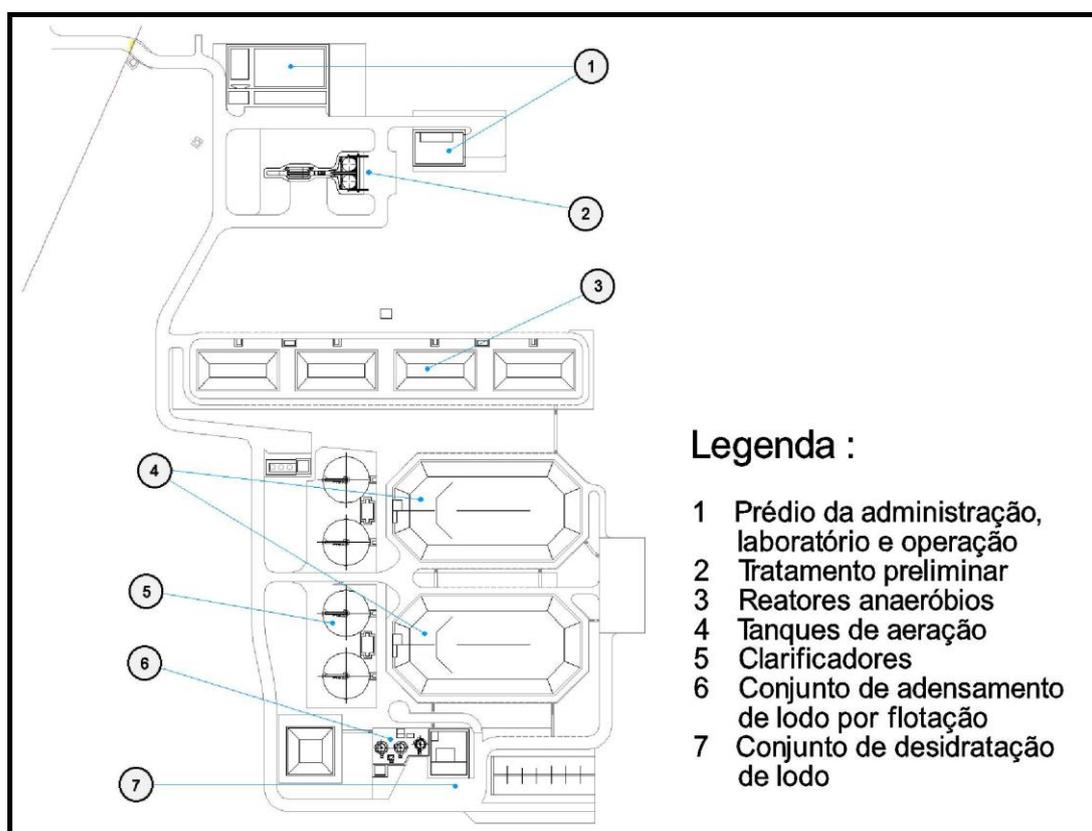


Figura 5.10 – Esquema básico da ETE Gama, adaptado de (POE/CAESB, 2005).

Tendo iniciado sua operação em 14 de novembro de 2003, a ETE Gama, ilustrada na Figura 5.11, vem apresentando resultados operacionais dentro do esperado, com remoção de matéria orgânica e sólidos em suspensão superior a 90 por cento. Valores de remoção próximos de 70 e 60 por cento foram obtidos no tocante aos nutrientes, nitrogênio e fósforo respectivamente (POE/CAESB, 2007).



Figura 5.11 – Vista aérea parcial da ETE Gama.

Decorridos 42 meses desde o início da operação, têm-se os valores das médias aritméticas e de desvios-padrão das amostras de DBO, DQO e SST que são indicados na Tabela 5.3. Ao longo do tempo foram realizadas amostragens com frequência de duas vezes por semana para cada ponto de coleta na estação: afluente à estação, coleta no canal de entrada; efluente UASB, vertedor da caixa de coleta do efluente tratado do UASB e vertedor de saída dos decantadores secundários para o efluente final da estação. Foram empregadas nas análises laboratoriais as rotinas preconizadas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995), para a DBO foi utilizado o método respirométrico e para a DQO o método titulométrico.

Tabela 5.3 – Quadro resumo das concentrações médias e desvio padrão das amostras dos poluentes na ETE Gama, Janeiro de 2004 a Julho de 2007 (POE/CAESB, 2007).

PARÂMETRO	AFLUENTE	EFLUENTE UASB	EFLUENTE FINAL	UNIDADE
VAZÃO AFLUENTE	490.550,69±75.299,32	-	490.550,69±75.299,32	(m ³ /Mês)
DQO	546±78	177±45	46±14	(mg/L)
DBO	334±74	85±36	13±11	(mg/L)
SST	274±42	74±32	15±6	(mg/L)
NTK	54±8	54±7	12±8	(mg/L)
Pt	8±1	8±1	3±2	(mg/L)
COL. FECAIS	6,4E+07±1,6E+8	-	1,6E+05±4,2E+5	NMP/100mL

Notas: Total de amostras = 336. COL. FECAIS: Coliformes fecais. Pt – Fósforo total.

As demais estações de tratamento de esgotos da bacia Oeste do DF, Santa Maria, Alagado e Recanto das Emas, sofreram recentemente modificações e adaptações em suas unidades

operacionais de modo a adequá-las aos projetos de reatores UASB similares aos da ETE Gama. A eficiência de remoção de poluentes dessas estações encontram-se na Tabela 5.4:

Tabela 5.4 – Remoção de poluentes dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo, nas estações de tratamento de esgotos da bacia Oeste do DF, em janeiro de 2007 (POE/CAESB, 2007).

PARÂMETRO	ETE ALAGADO	ETE SANTA MARIA	ETE RECANTO DAS EMAS
DBO	80,6 %	84,6 %	52,0 %
DQO	71,2 %	76,3 %	60,8 %
NTK	10,4 %	8,5 %	-5,5 %
Pt	33,6 %	35,5 %	6,9 %
SST	76,6 %	71,6 %	74,6 %

Pt – Fósforo total.

Na Tabela 5.5, são apresentados dados relativos às remoções de alguns poluentes na ETE Gama, decorridos cerca de 3 anos e seis meses do início da sua operação.

Tabela 5.5 – Resumo das médias das remoções mensais e desvios-padrão das amostras dos poluentes da ETE Gama, Janeiro de 2004 a Julho de 2007 (POE/CAESB, 2007).

PARÂMETRO	REMOÇÃO UASB (%)	REMOÇÃO UASB - LODOS ATIVADOS (%)
DQO	68±7	92±3
DBO	85±36	92±2
SST	73±11	94±2
NTK	0±7	76±14
Pt	7±7	62±29
COLIFORMES FECAIS	-	99,37±1,76

Notas: Total de amostras = 336.

Têm-se obtido valores médios para remoção de DBO e de sólidos em suspensão totais nos reatores UASB da ordem de 85% e 73%, respectivamente. No tocante à remoção de DQO, o valor médio alcançado é pouco inferior a 68%.

Comparando os dados da Tabela 5.5 com os mostrados por Freire *et al.* (1999), verifica-se que a ETE Gama apresenta desempenho satisfatório até então. Ao avaliar o desempenho de uma planta UASB - Lodos ativados em escala piloto em Minas Gerais, observaram remoções de DQO entre 85 a 93 % para o sistema conjugado, demonstrando a viabilidade técnica desse sistema.

5.3.3. O tratamento preliminar da ETE Gama

O tratamento preliminar inicia-se em um canal de concreto onde estão dispostos os equipamentos de gradeamento, medição de vazão e desarenação. Tanto os equipamentos do tratamento preliminar, como os canais e estruturas hidráulicas, têm capacidade para uma vazão de 840 L/s, permitindo-se assim, futuras expansões na estação. O canal de tratamento preliminar inicia-se com uma grade grossa de barras retas e limpeza manual, com abertura de 5 cm, basculável por meio de talha manual suspensa por pórtico metálico.

Após a grade grossa, o canal se divide em três ramos, podendo cada ramo ser isolado por meio de comportas de acionamento manual. Cada canal dispõe de uma grade com limpeza mecanizada com abertura de 1,5 cm. O equipamento possui um dispositivo controlador da frequência de limpeza da grade, de forma que seu funcionamento ocorra automaticamente, por temporizador. Cada grade comporta uma vazão máxima de 280 L/s cada, quando operando conjuntamente e eventualmente uma vazão de 420 L/s, na hipótese de paralisação de uma das unidades. Os detritos retirados nas grades mecanizadas são transportados por um sistema de correia transportadora côncava, lançando-os diretamente na caçamba de detritos.

Ao final das grades mecanizadas os canais são unidos novamente, sendo instalada neste estrangulamento uma calha parshall em fibra de vidro pré-moldada nas dimensões padronizadas para garganta de 3 pés, para controle do nível de montante, equipada com sensor de nível tipo ultra-som para o cálculo, registro e totalização da vazão afluente. Após a calha parshall o canal divide-se em dois de forma a alimentar duas caixas de areia. Cada caixa de areia pode ser isolada por comportas de acionamento manual.

O desarenador é do tipo circular, sendo o recolhimento da areia realizado por um raspador de fundo que encaminha a areia decantada para um poço de descarga, a partir de onde o mecanismo de lavagem de areia coleta o material. A areia recolhida pelo raspador de fundo é removida dos tanques desarenadores por meio de um dispositivo do tipo “air-lift”, sendo lançada em um lavador e transportador de areia, para sua retirada e separação, sendo então depositada em uma caçamba de detritos. O equipamento remove a areia do poço de descarga por raspagem e a empurra no sentido ascendente com pequenos movimentos à

frente, lavando a areia enquanto ainda está abaixo do nível de água do desarenador e separando-a da matéria orgânica ao longo do restante do equipamento.

Cada unidade dos desarenadores pode ser submetida à vazão máxima de 420 L/s, quando operando conjuntamente, e eventualmente uma vazão de 840 L/s, na hipótese de paralisação de uma das unidades. Cada desarenador deve ser capaz de remover a areia afluyente de diâmetro maior que 2 mm em condições de máxima vazão. A saída dos desarenadores se dá em um canal único interligando o tratamento preliminar aos reatores anaeróbios por uma tubulação em concreto armado.

O tratamento preliminar foi projetado de forma a garantir a retenção de sólidos de dimensão superior a 3 mm e a retenção de grãos de areia superiores a 0,1 mm nos tanques desarenadores.

5.3.4. O reator anaeróbio de fluxo ascendente a ser estudado

Depois de ter passado pelo tratamento preliminar, o esgoto é direcionado para os reatores anaeróbios por meio de duas tubulações em concreto. A vazão é depois dividida para quatro reatores, em uma seqüência de dois tipos de caixas de divisão de vazão.

Os reatores anaeróbios são constituídos de tanques escavados e moldados no próprio terreno, revestidos de uma camada de concreto de cinco centímetros de espessura e reforço de tela de polietileno.

Tal modalidade de construção visa reduzir os custos de implantação dessas unidades ao passo que reduz a necessidade de implantação de estruturas de concreto armado de grande porte, sejam elas erigidas sobre o nível do solo ou ainda submetidas a um meio altamente agressivo.

A distribuição do esgoto afluyente e a coleta dos esgotos tratados nos reatores UASB são realizadas por meio de uma série de tubulações em PVC Vinilfort, interligando as diversas caixas de distribuição e coletas previstas nesta unidade de tratamento.

A chegada do esgoto no reator se dá em uma caixa de distribuição executada em concreto, revestida com proteção impermeável, conforme Figura 5.12.

A distribuição do afluente no interior do reator se dá por meio de 20 tubos de PVC Vinilfort de 150 mm de diâmetro, que saindo da caixa de distribuição, onde a vazão afluente é repartida por 20 vertedores de igual altura e seção, perfurados progressivamente para propiciar uma boa distribuição da vazão ao longo de todo o fundo do reator.



Figura 5.12 – Caixa de distribuição de vazão afluente aos reatores anaeróbios da ETE Gama.

A coleta de efluente dos tanques se dá em 4 tubos de PVC Vinilfort com diâmetro de 300 mm dispostos em posição afogada no tanque, perfurados progressivamente para uma perfeita regularização da vazão coletada ao longo do tanque, levando à caixa de coleta.

As tubulações são apoiadas em mãos francesas e abraçadeiras e acessórios executados em aço, fixadas adequadamente na estrutura do reator, conforme mostrado na Figura 5.13. As caixas de saída possuem tampas confeccionadas em concreto para evitar a propagação de maus odores.

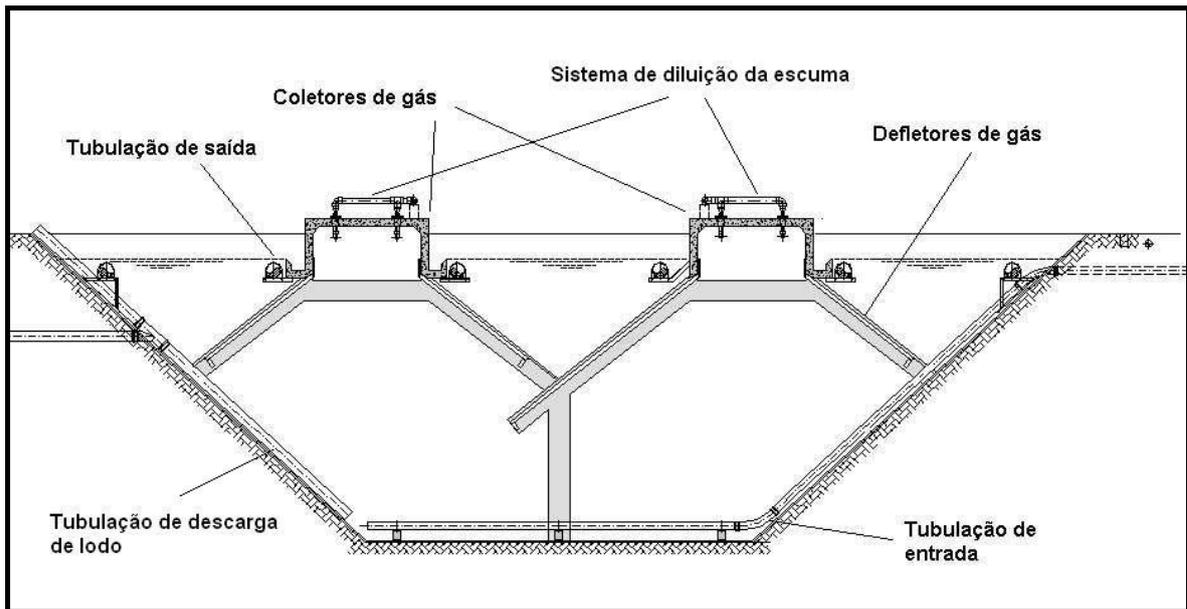


Figura 5.13 – Corte: Reator anaeróbico de fluxo ascendente da ETE Gama.

O lodo descartado dos reatores anaeróbios é coletado em três pontos distintos no reator: o primeiro por meio de duas tubulações de PVC de 200 mm que coletam o lodo de dois pontos localizados a 50 cm do fundo do reator, o segundo que coleta o lodo flotado no interior da câmara de coleta de gás, por meio de vertedores laterais de retirada de espuma e o terceiro, por meio de duas calhas laterais, que possibilitam a coleta do lodo flotado nos decantadores do reator. Os três pontos levam ao sistema de recolhimento de lodo dos reatores anaeróbios, constituído de uma rede em PVC Vinilfort de 300 mm de diâmetro. O descarte da tubulação de coleta de lodo de fundo do reator é controlada por um registro de 200 mm, disposto em um poço de visita em aduelas de concreto, junto ao reator. O descarte do lodo flotado na câmara de coleta de gás se dá em duas comportas em aço inoxidável, tipo guilhotina, de seção de 0,40 x 0,40 m, dispostas na caixa de descarte de lodo flotado, construídas na ponta do coletor de gás, em cada extremidade do reator. O descarte do lodo flotado nos reatores se dá com a abertura de uma comporta de aço inoxidável que libera o líquido da calhas de coleta para a rede de recolhimento de lodo.

O lodo descartado é conduzido por uma tubulação de coleta, mostrada na Figura 5.14, que recolhe o lodo de todos os reatores para a elevatória de lodo, disposta a jusante do conjunto.

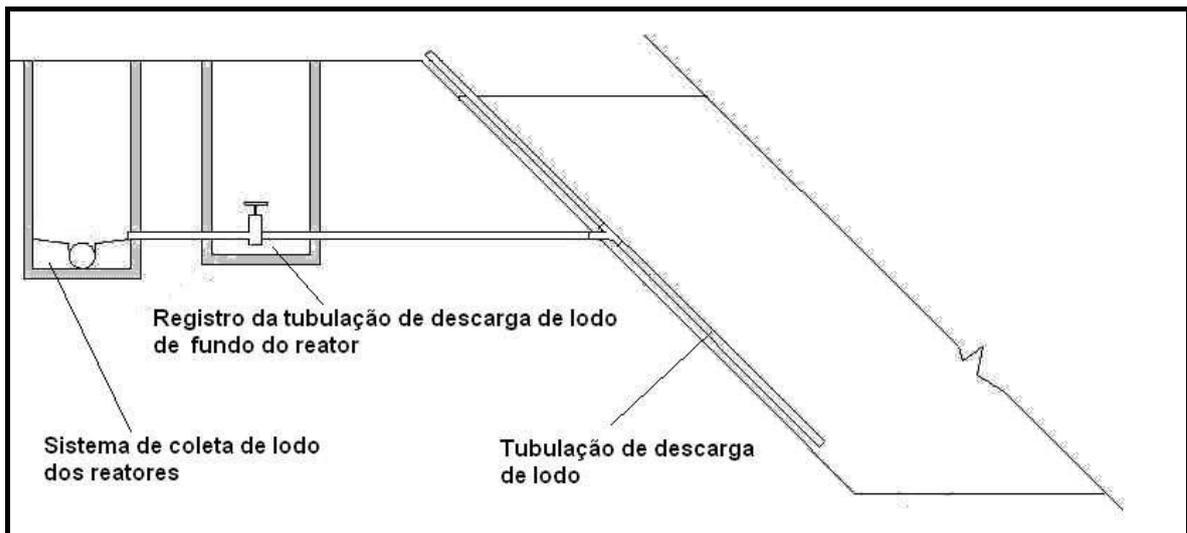


Figura 5.14 – Corte: Esquema de descarte de lodo de fundo.

Ao final da rede de coleta dos reatores anaeróbios está localizada a elevatória de lodo anaeróbio que permite a opção de recalque do lodo para a lagoa de lodo, normalmente utilizada para o lodo de fundo dos reatores, que não precisaria ser adensado ou disposição por gravidade para a linha de descarte de lodo ativado dos reatores aeróbios, que leva a unidade de flotação. A elevatória dispõe de um conjunto de bombas de recalque do tipo submersível com capacidade de recalcar 25 L/s a uma altura de 15 mca, bombeando lodo digerido do reator anaeróbio a uma concentração de 2,5% de sólidos. As redes de coleta de lodo são em PVC Vinilfort de 300 mm.

Os tanques, com um volume individual total de 2.966 m³, possuem câmara única, apresentando zonas de decantação e de coleta de gases definidos por painéis em telhas de alumínio, conforme mostrado na Figura 5.15. O defletor para coleta dos gases da digestão anaeróbia, executado pelas telhas de alumínio, tem a estrutura de sustentação feita em madeira de lei, de seção de 6 x 16 cm, protegida com tinta coaltar epóxi. As vigas de madeira são afixadas nas vigas de concreto que compreendem a estrutura do coletor de gases. A zona de coleta de gás possui um fechamento em um canal em concreto, na forma de “U” invertido, suspenso por uma série de pórticos de concreto armado, assentado sobre estacas de concreto de fundação. O canal em “U” invertido, ilustrado na Figura 5.16, possui ainda duas tampas de aberturas para limpeza, medindo 1,0 x 1,0 m, executadas em chapa de aço inoxidável, cuja estanqueidade contra a perda de gás é garantida por meio de um selo hídrico em seu caixilho de apoio. A calha invertida de concreto possui

revestimento impermeabilizante interno protegendo o concreto contra os gases agressivos que são formados no interior do reator.



Figura 5.15 – Vista parcial das tubulações de distribuição e coleta dos esgotos e sistema de diluição e descarga de lodo dos reatores anaeróbios da ETE Gama.

Cada reator conta com um sistema de diluição de espuma, com a aspersão de efluente do próprio reator, bombeado sob pressão. Este sistema conta com uma bomba submersível para esgotos, com vazão de 25 L/s e pressão de 15 mca, que distribui o efluente para os quatro reatores por meio de uma tubulação de PVC PBA de 160 mm de diâmetro. Cada reator recebe uma derivação desta rede, onde está instalado um registro de esfera para o isolamento de cada um dos quatro ramais.

Os ramais são dispostos sobre a laje do coletor de gás, de forma que os bocais de aspersão dirijam seu jato contra a espuma formada, direcionando a mesma para o vertedor de descarte de espuma. Cada reator possui oito bocais de aspersão de jatos de água sob alta pressão, confeccionados com materiais resistentes ao ambiente agressivo do coletor de gás. Os bocais são afixados na laje do coletor por um sistema de flanges que permite sua retirada para manutenção e limpeza. Todo o sistema é fixado com abraçadeiras de aço, adequadamente dimensionadas para resistir aos esforços originados pela pressão e vazão adotadas.

Toda tubulação e acessórios em PVC são protegidos contra a luz solar com o emprego de pintura com esmalte sintético.

Os gases produzidos nos reatores são coletados por uma tubulação de PVC Vinilfort de 150 mm de diâmetro, que conduz os gases para um sistema de queima de gás. A linha de gás permite o isolamento de cada reator, com uma válvula esfera de 150 mm.

Cada conjunto de quatro reatores é atendido por uma linha de coleta de gás que conduz a um conjunto de queima. O conjunto é composto de válvula corta chama e bico queimador, protegido por cobertura. A linha possui uma válvula purgadora instalada no ponto mais baixo da rede e um medidor e indicador de vazão de gás.

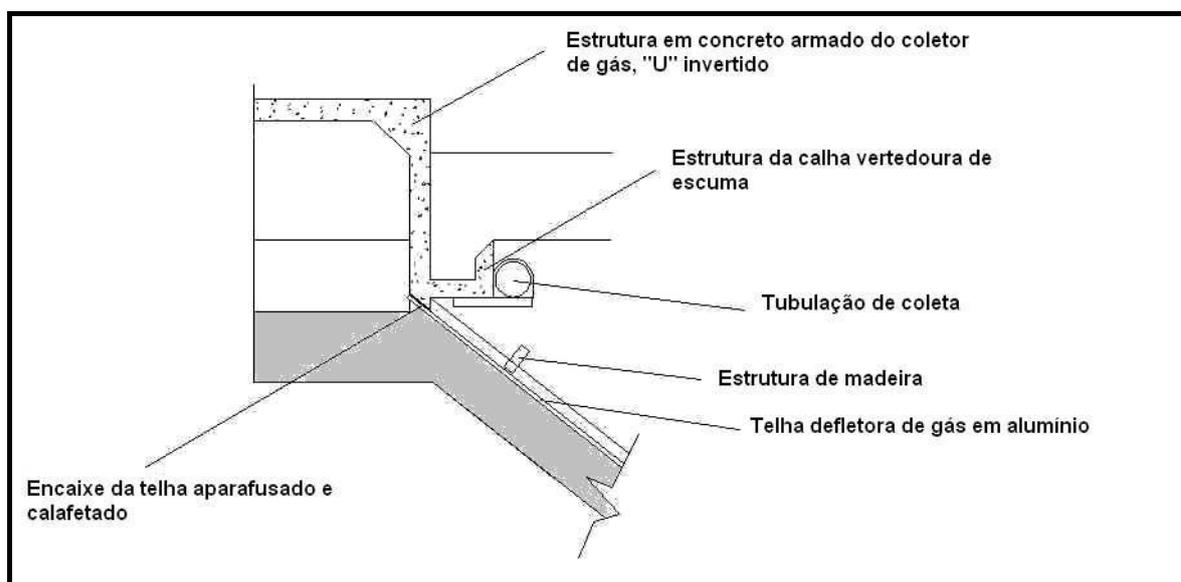


Figura 5.16 – Corte: Detalhe do coletor de gás em concreto.

As bordas dos tanques possuem passeio e meio fio. Toda superfície à sua volta é gramada. As vias para passagem de pedestres e veículos são revestidas com uma camada de 5 cm de brita 2. Os reatores são ainda circundados por guarda corpo. Próximo a cada reator, está instalado um acoplamento industrial trifásico para possibilitar o seu esvaziamento externo para fins de manutenção.

As demais características operacionais dos reatores anaeróbios da estação de tratamento de esgotos do Gama encontram-se relacionadas na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Características dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente da ETE Gama.

CARACTERÍSTICA	UNIDADE
Altura do reator	$H = 6,00 \text{ m}$
Nível d'água no reator	$NA = 5,50 \text{ m}$
Volume do reator	$V = 2,966 \text{ m}^3$
Área da seção transversal do reator	$A_T = 77,00 \text{ m}^2$
Área da seção longitudinal do reator	$A_L = 206,36 \text{ m}^2$
Altura do compartimento de decantação	$H_{DEC} = 2,36 \text{ m}$
Altura do compartimento de digestão	$H_{DIG} = 3,14 \text{ m}$
Vazão média	$Q_{MED} = 228,33 \text{ l/s}$
DQO afluente	$DQO_{afI} = 460 \text{ mg/l}$
DBO afluente	$DBO_{afI} = 320 \text{ mg/l}$
Temperatura do afluente	$T = 25^\circ \text{ C}$ (estimada)
TDH para 3 reatores em operação	$TDH = 10,83 \text{ horas}$
Coeficiente de produção de sólidos	$Y = 0,20 \text{ kg SST/kg DQO}_{aplicada}$ (estimado)
Carga orgânica volumétrica	$COV = 0,5011 \text{ kg SST/m}^3 \cdot \text{dia}$
Carga hidráulica volumétrica	$CHV = 2,22 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{dia}$
Produção de lodo estimada	$V_{LODO} = 71,17 \text{ m}^3/\text{dia}$
Velocidade superficial do fluxo	$V = 1,33 \text{ m/h}$

Fonte: (POE/CAESB, 2005).

5.3.5. Avaliação comparativa dos parâmetros de projeto do reator em estudo com a bibliografia consultada

A fim de se verificar a adequação dos parâmetros de projeto dos reatores UASB da ETE Gama, foram analisados os principais parâmetros de dimensionamento de acordo com valores recomendados por alguns autores. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Avaliação comparativa das características do reator UASB da ETE Gama com os dados da bibliografia de referência.

Parâmetro	Calculado	UNIDADE	OBSERVAÇÃO	RECOMENDADA
Volume	2802,53	m ³	Por reator	-
TDH p/ Vazão média, T>25°C	9,49	Horas	4 reatores operando.	Maior que 4,0 horas*
TDH p/ Vazão média, T>25°C	7,12	Horas	3 reatores operando.	Maior que 4,0 horas*
TDH p/ Vazão média, T>25°C	4,74	Horas	2 reatores operando.	Maior que 4,0 horas*
Coefficiente de produção de sólidos	0,20	kgSST/kgDQO _{aplicada}	Y adotado	0,10 a 0,20 kg SST/kg DQO _{aplicada} *
Coefficiente de produção de sólidos	0,20	kgDQO _{lodo} /kgDQO _{aplicada}	Yobs adotado	0,11 a 0,23 kgDQO _{lodo} /kgDQO _{aplicada} *
Carga orgânica volumétrica	0,39	kgSST/m ³ .dia	3 reatores operando.	-
Carga orgânica volumétrica	1,96	kgDQO/m ³ .dia	3 reatores operando.	2,5 a 3,5 kg DQO/m ³ .dia*
Carga hidráulica volumétrica	3,37	m ³ /m ³ .dia	3 reatores operando.	Até 5,0 m ³ /m ³ .dia*
Produção de lodo estimada	3289,19	kgSST/dia	Para Vazão média	-
Volume estimado de lodo	80,62	m ³	g = 1020 kgSST/m ³ e C = 4%	-
AME	-	kgDQO/kgSTV.dia	Estimada	0,10 a 0,40 kg DQO/kg STV.dia*
Altura do reator	5,50	m	-	4 a 5 metros*
Altura do compartimento de decantação	2,37	m	-	1,5 a 2,0 metros*
Altura do compartimento de digestão	3,14	m	-	2,5 a 3,5 metros*
Área de influência do distribuidor de vazão	?	m ²	-	P/DQO 400 a 600mg/l, 2,0 a 3,0m ² *
Área da interface líquido-gás por reator	211,20	m ²	Área das 2 câmaras = 2x2,40x44,00	-
Produção volumétrica de biogás	1394,36	m ³ /h	Qmédia, T=20°C, 75% CH ₄ no biogás	-
Taxa de liberação de biogás	2,20	m ³ gás/m ² .h	Nos 3 reatores	Mínima de 1,0 m ³ gás/m ² .h* Máxima: 3 a 5,0 m ³ gás/m ² .h*

*Segundo Chernicharo, 2007. **Segundo Van Haandel A.C. & Lettinga G, 1984.

Tabela 5.7 – Avaliação comparativa das características do reator UASB da ETE Gama com os dados da bibliografia de referência.
(Continuação).

Parâmetro	Calculado	UNIDADE	OBSERVAÇÃO	RECOMENDADA
Área superficial dos decantadores	673,84	m ²	Por reator	-
Taxa aplicação superficial decantador	0,58	m/h	Para vazão média	0,8 ≤ m/h p/ Vazão média*
Volume dos decantadores	798,51	m ³	Por reator	-
Tempo de detenção hidráulica no decantador	2,03	Horas	Para vazão média	TDH ≥ 1,5 hora*
Inclinação dos separadores de fase	52°	Graus	-	Mínima de 50°*
Aberturas para zonas de decantação laterais	0,50	m	-	-
Abertura para zona de decantação central	0,60	m	-	-
Área das aberturas para zonas de decantação	68,67	m ²	-	-
Velocidade superficial do fluxo nas aberturas de passagem ao decantador	5,73	m/h	Para 3 reatores operando.	2,5 ≤ m/h p/ vazão média*
Velocidade superficial do fluxo no reator	0,77	m/h	-	0,5 a 0,7 m/h p/ vazão média*

*Segundo Chernicharo, 2007. **Segundo Van Haandel ^aC. & Lettinga G., 1984.

Avaliando os dados apresentados na Tabela 5.7, considerando a operação simultânea de três dos quatro reatores existentes na ETE Gama, verifica-se que os parâmetros de projeto empregados na concepção dos reatores UASB encontram-se em geral adequados, quando comparados aos recomendados pela literatura consultada.

Ressalva pode ser feita em relação à velocidade superficial do fluxo nas aberturas de passagem ao decantador, que se encontra bastante superior à recomendada. Elevadas velocidades ascensionais podem favorecer o carreamento de sólidos no reator, favorecendo a formação de espuma (Souza *et al.*, 2007^a).

5.3.6. O sistema de descarte de lodo

A periodicidade dos descartes de lodo dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente da estação de tratamento de esgotos do Gama é bastante influenciada pela formação de uma camada densa de espuma superficial dentro dos tanques.

Essa camada de espuma tende a se acumular durante o período compreendido entre dois descartes sucessivos e, quanto maior esse período, mais espessa e densa ela se torna. São relatados eventos de formação dessa camada de espuma causando graves problemas operacionais, desde dificuldades no descarte do lodo superficial até a destruição da estrutura dos separadores de fase.

As rotinas de descarte de lodo empregadas até então visam minimizar a formação dessa camada de espuma, muitas vezes sem se considerar fatores como a idade de lodo e a qualidade do efluente das unidades.

As diversas unidades operacionais da CAESB empregam rotinas distintas de descarte de lodo de fundo e de espuma dos reatores anaeróbios. A frequência é determinada basicamente pela condição da unidade no tempo: se há maior formação de espuma superficial, a frequência de descartes de lodo de fundo é aumentada, caso contrário, procura-se estender a periodicidade entre os descartes. Percebe-se que a frequência entre os descartes de lodo de fundo é que determinaria uma maior intensidade de formação de espuma superficial.

Na estação de tratamento de esgotos do Gama é adotada a sistemática de descarte semanal do lodo de fundo dos reatores anaeróbios. O descarte é realizado pela manobra de dois registros posicionados em tubulações de coleta localizadas nos terços médios (comprimento) dos reatores, conforme Figura 5.17.

As válvulas são completamente abertas e posteriormente fechadas, sendo que o volume descartado de lodo é dado pelo tempo decorrido durante a manobra.



Figura 5.17 – Vista do sistema de descarga de lodo dos reatores anaeróbios da ETE Gama.

Até então, não estão sendo realizadas análises laboratoriais das características físico-químicas e microbiológicas do lodo de fundo e espuma superficial dos reatores anaeróbios.

5.3.7. O sistema de descarte da camada de espuma

O descarte da espuma superficial é realizado com frequência semanal em cada reator. As estruturas implantadas nos tanques: comportas, caixas coletoras e sistema de diluição, ilustradas na Figura 5.18, proporcionam a retirada da espuma dos reatores, sendo a mesma direcionada a uma estação elevatória e posteriormente à lagoa de lodo.



Figura 5.18 – Vista do sistema de remoção de espuma dos reatores anaeróbios ETE Gama.

Ocorre que o sistema de diluição por si só não garante a remoção da espuma do compartimento de coleta de gás. Por diversas vezes torna-se necessário abrir a tampa da visita localizada na calha de concreto dos reatores, promover o acionamento do sistema de diluição de espuma e arrastar manualmente a massa de espuma formada sob a calha até os vertedores das caixas de espuma.

Em um outro procedimento, procura-se reduzir a pressão interna no coletor de gás, com a abertura de válvulas e da tampa de visita e inspeção localizada sobre a calha de coleta de gás, elevando-se o nível d'água no compartimento para facilitar a descarga da espuma formada acima do compartimento de decantação dos reatores.

A espuma que é descartada dos reatores é reunida nas caixas de coleta de espuma, localizadas nos extremos opostos dos reatores, e depois é direcionada junto com o lodo de fundo, ora também descartado ao sistema de coleta de lodo dos reatores. Neste sistema não há separação entre o lodo de fundo e a espuma dos reatores. Ambos são conduzidos à lagoa de lodo, após terem sido bombeados pela estação elevatória de lodo. Ainda não existem rotinas de análise das características físico-químicas e biológicas da espuma produzida nos reatores.

A lagoa de lodo possui a função de homogeneizar o lodo afluyente bem como permitir seu armazenamento para o caso da necessidade da parada de algum equipamento para manutenção.

A lagoa de lodo, Figura 5.19, é constituída por um tanque escavado em solo, revestido por uma membrana de PEAD com espessura mínima de 2 mm, com a função de impermeabilização e proteção mecânica do solo. Esta membrana é ancorada às bordas por faixas concretadas, que se estendem em torno de todo o tanque. O volume da lagoa de lodo é de aproximadamente 1.650 m³, apresentando uma profundidade de 4 m (profundidade útil de 3,5 m).

A lagoa de lodo possui um misturador de eixo horizontal, montado sobre uma coluna de concreto armado, com o objetivo de promover mistura do líquido e manter todas as partículas em suspensão.



Figura 5.19 – Vista parcial da lagoa de lodo da ETE Gama.

O lodo digerido acumulado na lagoa de lodo pode ser transferido para a elevatória de alimentação da desidratação por meio de uma tubulação de PVC.

O lodo bombeado até o galpão de desidratação, tem parte de sua água retirada por uma centrífuga, Figura 5.20, com capacidade de desidratar 20 m³/hora de lodo digerido, até se atingir uma concentração mínima de 25% de sólidos no lodo. Neste processo, o lodo sofre a adição de um coagulante (polieletrólito) para auxiliar o processo de separação dos sólidos da água.



Figura 5.20 – Vista parcial da centrífuga decanter da ETE Gama.

5.4. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DOS REATORES UASB NA ETE GAMA

Durante o período inicial do experimento, foi acompanhada a rotina de operação dos reatores UASB da ETE Gama, seguindo as orientações da equipe operacional da estação.

5.4.1. Monitoramento dos descartes de lodo

Nos meses de dezembro de 2007 e janeiro de 2008 foi iniciado o monitoramento das características do lodo existente nos reatores em operação da estação, cujos dados se encontram nas Tabelas 5.8 e 5.9. Encontravam-se em operação apenas dois reatores, em virtude das outras duas unidades estarem em manutenção. Com o auxílio do amostrador de manta de lodos, foram extraídas semanalmente amostras do lodo a profundidades de 0,53, 1,56 e 2,61 m do fundo do reator (manta de lodo).

Tabela 5.8 – Quadro resumo das concentrações médias e desvio padrão de SST e ST das amostras de lodo do reator UASB da ETE Gama (Dezembro de 2007 a Janeiro de 2008).

H (m)	Sólidos em Suspensão (mg/L)			Sólidos Totais (mg/L)		
	SST	SSV	%SSV/SST	ST	STV	%STV/ST
0,53	19675±750	13825±780	70,3±3,7	21862±452	16325±119	74,7±1,6
1,56	17400±442	12800±303	73,6±1,4	19400±636	14175±753	73,1±2,9
2,53	14000±1507	10213±1059	73,0±1,3	15788±1693	11863±1409	75,1±3,5

N = 4 amostras.

Tabela 5.9 – Quadro resumo das concentrações médias e desvio padrão das amostras de lodo do reator UASB da ETE Gama (Dezembro de 2007 a Janeiro de 2008).

H (m)	T (°C)	pH	Alcalinidade Total (mgCaCO₃/L)
0,53	23,8±0,6	6,72±0,08	423,7±58,4
1,56	23,8±0,6	6,69±0,11	441,1±56,4
2,53	24,0±0,4	6,70±0,05	429,4±71,9

N = 4 amostras.

Observa-se uma grande variabilidade nas determinações, de certa forma justificada pela interferência do manejo do amostrador pelo operador e pelo pequeno número de amostras coletadas. Além de não possuir estruturas para amostragem do lodo, as características construtivas do reator dificultam a inserção do amostrador para a retirada das amostras do lodo. As determinações ainda sofreram a influência dos descartes intencionais de lodo realizados pela área operacional, cujos volumes descartados sofrem forte dependência do operador, conforme já relatado anteriormente. Como não se calculava os volumes de descarte de lodo, certamente em alguns descartes havia maior perda de sólidos, o que se refletiu na grande variabilidade das determinações.

Considerando apenas os valores médios, verifica-se certa coerência no tocante às determinações para sólidos totais e voláteis: à medida que se ascende o manta de lodo, há um decréscimo nos valores encontrados, indicando uma maior dispersão na parte superior da zona de digestão do reator. A relação SSV/SST apresentou valores em torno de 75%, característica presente em lodos pouco digeridos (Andreoli, 2001). Tal fato pode ser justificado pelo manejo empregado pela equipe operacional da CAESB para o descarte de lodo – descarte semanal sem controle do volume de lodo descartado do reator.

5.4.2. Monitoramento do tratamento preliminar

Com a finalidade de se avaliar a eficiência dos equipamentos instalados no tratamento preliminar da ETE Gama, foram determinados os dias em que esses se encontravam em operação. O levantamento compreendeu as grades mecanizadas (duas unidades A e B, cada uma recebendo 50% da vazão afluyente à estação) e desarenadores (duas unidades A e B responsáveis cada uma por 50% da vazão afluyente). Na Tabela 5.10 são apresentados os resultados encontrados.

Tabela 5.10 – Monitoramento diário do tratamento preliminar da ETE Gama (Jan./Maio de 2008).

Mês	N.º de dias monitorados	N.º de dias chuvosos	Grades em operação (n.º dias)		Desarenadores em operação (n.º dias)	
			A	B	A	B
Janeiro	4	3	4	4	0	4
Fevereiro	29	17	27	29	3	9
Março	31	15	7	7	4	21
Abril	30	10	30	30	0	30
Maio	19	1	19	19	0	19
Total	113	46	87	89	7	83
Percentuais	100,0 %	40,7 %	77,0 %	78,8 %	6,2 %	73,5 %

Analisando os dados apresentados, verificou-se que em grande parte dos meses de março e abril, os equipamentos do tratamento preliminar encontravam-se fora de operação. Como principal consequência desse fato e também como reflexo do período chuvoso, puderam-se observar valores mais elevados nas análises de sólidos sedimentáveis das amostras coletadas do efluente do tratamento preliminar.

5.4.3. Monitoramento da vazão afluyente aos reatores

Conforme discutido anteriormente, foi necessário determinar a vazão real afluyente aos reatores, tendo em vista que a parcela da vazão que é direcionada para o tratamento aeróbio da estação não está sendo medida. Para a determinação dos valores das vazões afluyentes aos reatores UASB, providenciou-se a instalação de uma régua graduada junto ao vertedor da caixa de distribuição de vazão, realizando-se diariamente leituras a cada 2 horas da altura da lâmina d'água junto ao vertedor.

É necessário ratificar que não há individualização da vazão afluyente a cada reator UASB. Cada caixa de distribuição de vazão alimenta dois reatores, havendo a possibilidade de interferência nas vazões em virtude de maior perda de carga em um reator. Os dados estão apresentados na Tabela 5.11 e Figura 5.21.

Tabela 5.11 – Monitoramento das vazões afluentes à ETE Gama e ao reator UASB sem descarte programado de lodo (Jan./Maio de 2008).

Mês	Estatística descritiva	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio
Vazão Afluente ETE Gama (m ³ /h)	N	4	29	31	30	19
	Média	758,6	748,9	742,6	707,6	653,8
	Desv. Padrão	61,3	76,8	77,8	72,4	69,5
	Máximo	847,5	940,5	1054,3	906,3	732,5
	Mínimo	710,1	608,1	631,3	583,3	408,4
Vazão Afluente UASB (m ³ /h)	N	4	29	31	30	19
	Média	255,2	250,7	242,4	234,6	204,3
	Desv. Padrão	30,5	37,7	34,5	35,9	37,0
	Máximo	299,5	346,0	369,3	330,3	243,8
	Mínimo	231,5	185,3	192,7	174,5	84,3

Analisando a Figura 5.21, observa-se uma maior uniformidade nos dados referentes ao mês de maio de 2008, que se deve ao fato da pouca incidência de chuvas. Já para as vazões do mês de março, alguns valores apresentaram um grande afastamento dos restantes, que pode ter origem nas fortes chuvas ocorridas no período. Vale ressaltar que no dia 13 de maio houve um corte no abastecimento de água no Gama, resultando em um valor discrepante dentro dos padrões analisados.

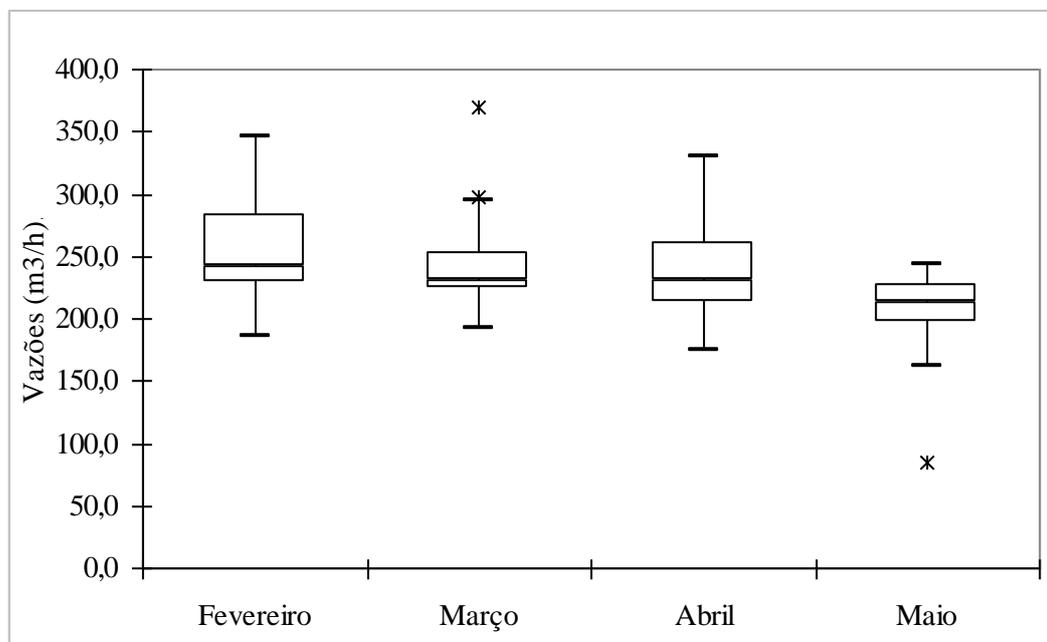


Figura 5.21 – Boxplot mostrando a mediana, quartis 25% e 75% e observações máxima e mínima das vazões afluentes ao reator UASB sem descarte intencional de lodo.

5.4.4. Monitoramento do reator sem descarte programado de lodo

5.4.4.1. Monitoramento da concentração de matéria orgânica

Ao se interromper o descarte programado do lodo em um dos reatores em operação, a partir do dia 28 de janeiro de 2008, foi necessário observar a variação dos diversos parâmetros de qualidade do efluente, de modo a identificar as implicações na eficiência do tratamento e no crescimento do lodo no reator.

Foram realizadas coletas para a determinação dos teores de sólidos sedimentáveis de amostras compostas do afluente à estação, efluente do tratamento preliminar e efluente dos reatores UASB em todo o período do experimento.

Analisando os dados de sólidos sedimentáveis do efluente do reator UASB sem descarte programado de lodo, mostrados nas Figuras 5.22 e 5.23, observa-se uma grande variabilidade nos valores. Isso pode ser atribuído a sobrecargas hidráulicas, oriundas do período chuvoso, que favoreceriam o arraste dos sólidos do sistema, bem como da intermitência do funcionamento dos equipamentos do tratamento preliminar da estação.

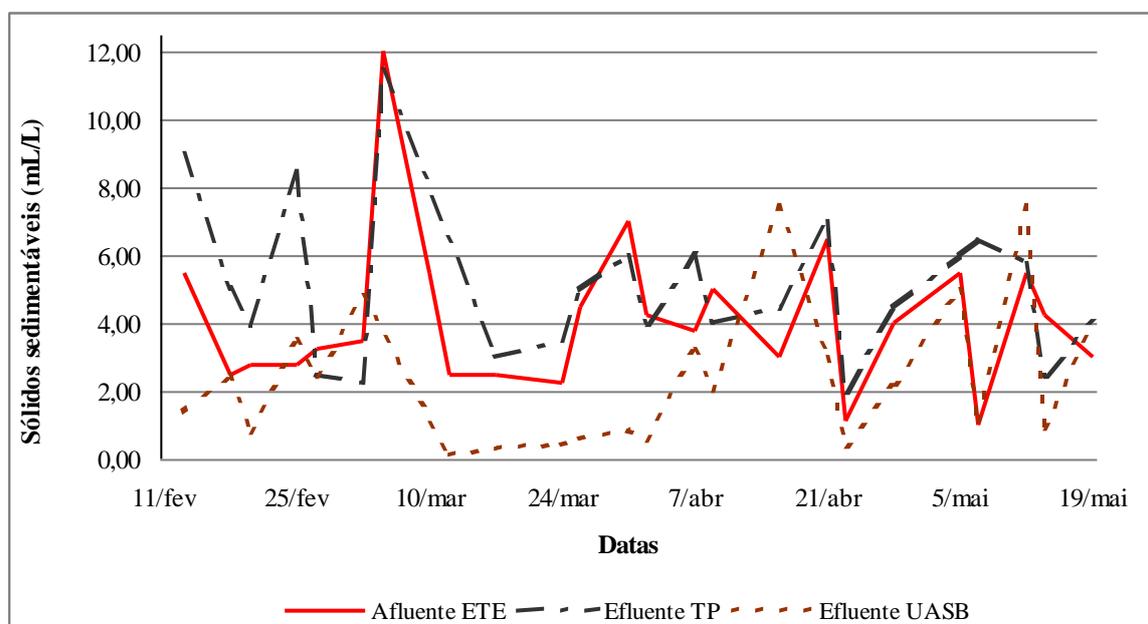


Figura 5.22 – Valores obtidos para sólidos sedimentáveis das amostras coletadas do afluente à estação, efluente do preliminar e efluente do reator UASB sem descarte programado de lodo.

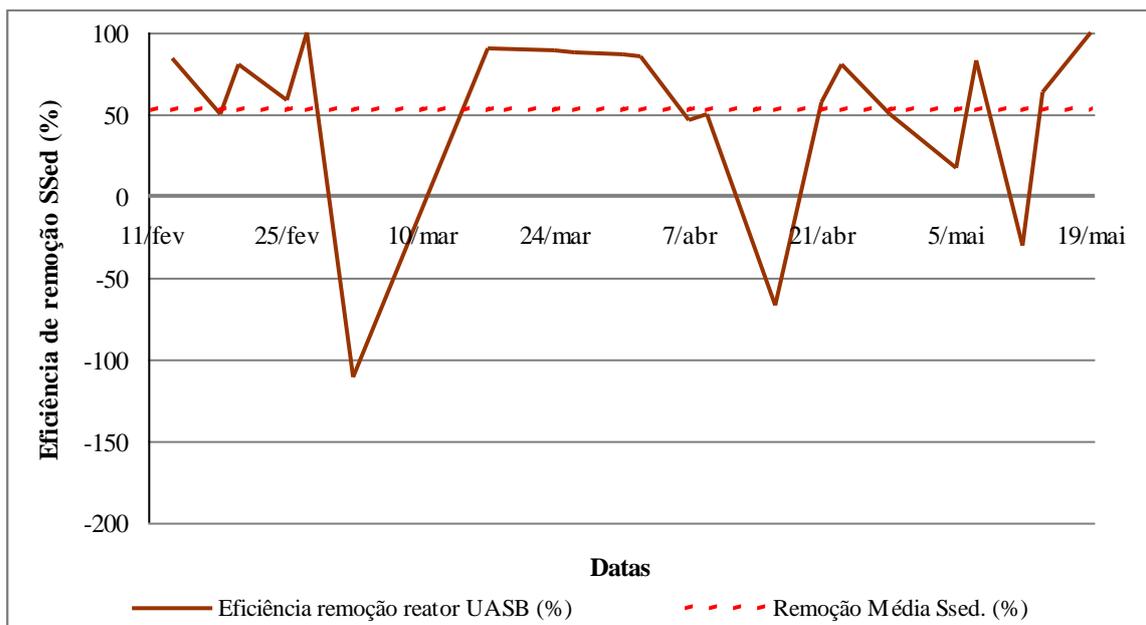


Figura 5.23 – Eficiência de remoção para sólidos sedimentáveis das amostras coletadas do efluente do preliminar e efluente UASB, sem descarte programado de lodo.

Observa-se que, em três momentos no período do monitoramento do reator, houve remoções negativas para sólidos sedimentáveis. Coincidentemente nos meses de fevereiro e março, houve a parada por vários dias dos desarenadores do tratamento preliminar. Além disso, a concentração dos dias chuvosos se deu entre fevereiro e abril de 2008, o que teria contribuído para a maior perda de sólidos nas unidades de tratamento.

Os dados de sólidos sedimentáveis do efluente do reator UASB, operação CAESB, também revelaram uma grande variabilidade nos valores, conforme ilustrado nas Figuras 5.24 e 5.25. Este fato também pode ser atribuído a sobrecargas hidráulicas, oriundas do período chuvoso, bem como da intermitência do funcionamento dos equipamentos do tratamento preliminar da estação.

O valor médio de remoção de sólidos sedimentáveis do reator UASB sem descarte programado de lodo foi bastante superior ao operado segundo orientações da CAESB, 52% contra 2%, respectivamente.

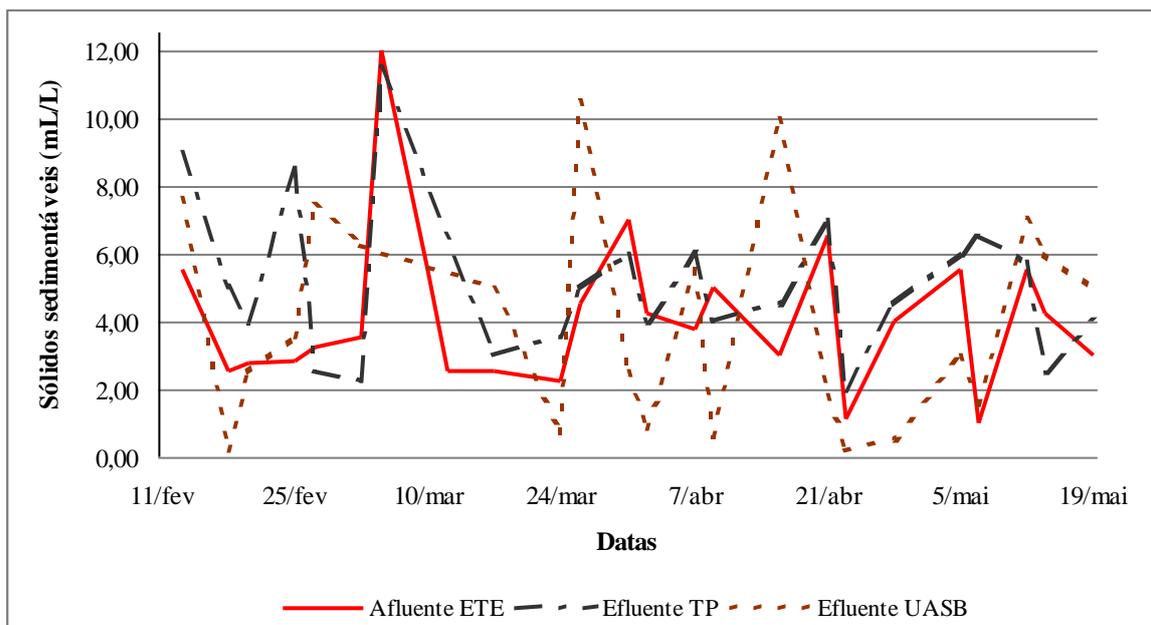


Figura 5.24 – Eficiência de remoção para sólidos sedimentáveis das amostras coletadas do efluente do preliminar e efluente UASB, operação CAESB.

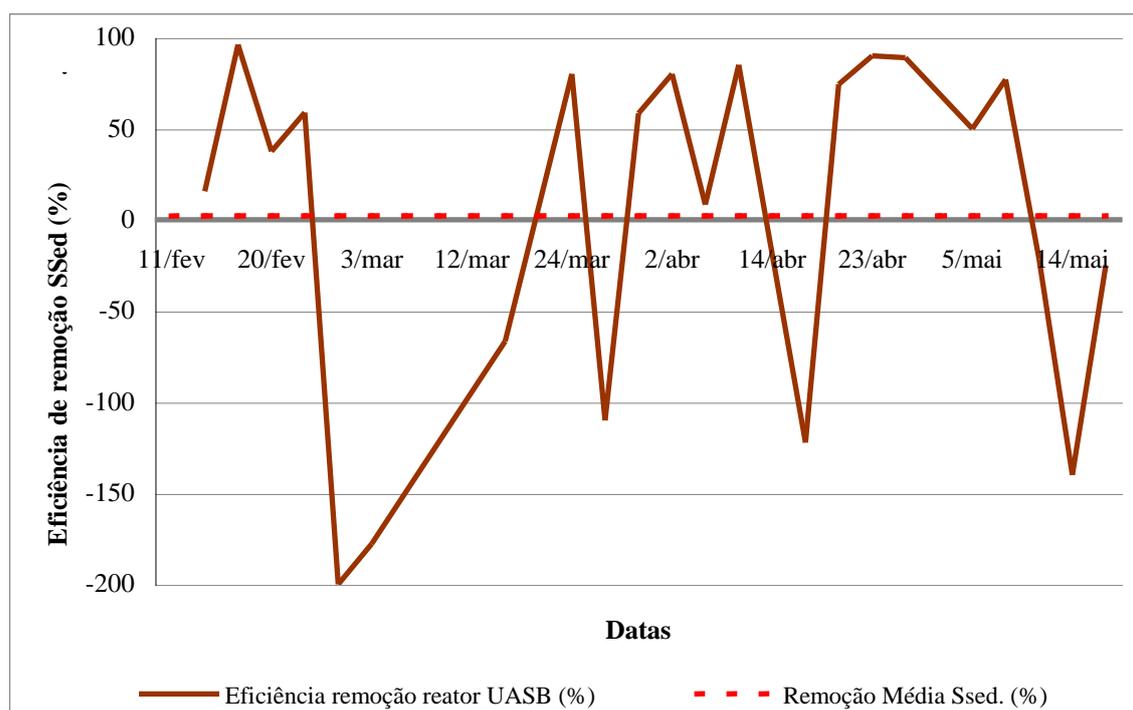


Figura 5.25 – Eficiência de remoção para sólidos sedimentáveis das amostras coletadas do efluente do preliminar e efluente UASB, operação CAESB.

Também foram realizadas coletas para a determinação dos teores de sólidos em suspensão totais de amostras compostas do afluentes à estação, efluente do tratamento preliminar e efluente do reator UASB sem descarte programado de lodo, mostradas nas figuras 5.26 e 5.27.

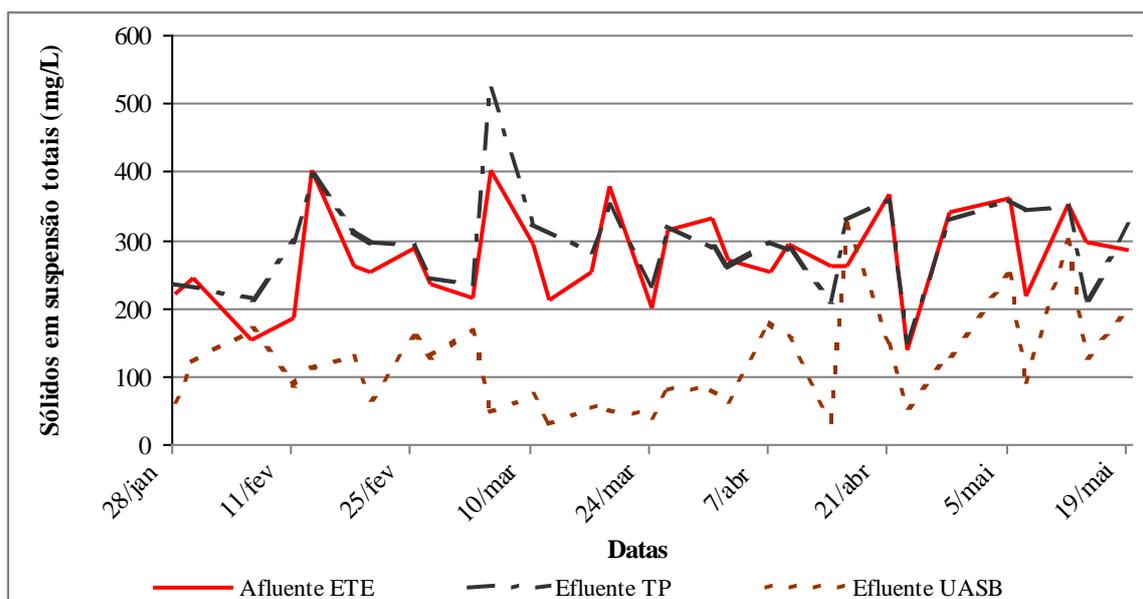


Figura 5.26 – Valores obtidos para sólidos em suspensão totais das amostras coletadas do afluente à estação, efluente do preliminar e efluente UASB sem descarte programado de lodo.

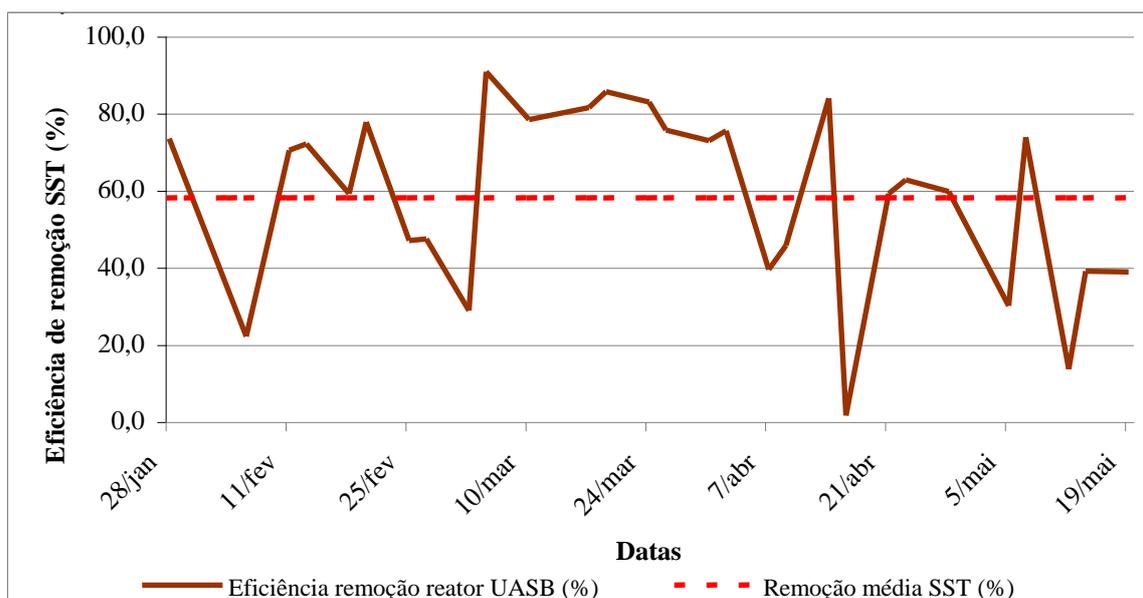


Figura 5.27 – Eficiência de remoção para sólidos em suspensão totais das amostras coletadas do efluente do preliminar e efluente UASB, sem descarte programado de lodo.

Analisando os dados de sólidos em suspensão totais do efluente, Figuras 5.26 e 5.27, também se observa uma grande variabilidade nos valores. Existe certa similaridade entre os gráficos de eficiência de remoção de SST e Ssed no reator UASB sem descarte programado de lodo. Isso pode ser atribuído à dificuldade de sedimentação dos flocos no interior do reator devido a sobrecargas hidráulicas, bem como da influência do

funcionamento do tratamento preliminar da estação. Quando não há boa sedimentação dos sólidos, há um acréscimo na concentração de sólidos em suspensão no efluente.

Observa-se ainda uma elevação nos sólidos em suspensão totais das amostras do efluente do reator UASB sem descarte programado de lodo, a partir da décima semana do experimento, com conseqüente redução da eficiência de remoção de SST.

Pode-se inferir que, a partir dessa data, já se atingia a capacidade máxima de acumulação de lodo no interior do reator, resultando em uma maior perda de sólidos no efluente.

Os dados dos teores de sólidos em suspensão totais de amostras compostas do afluente à estação, efluente do tratamento preliminar e efluente do reator UASB, operação CAESB, são mostrados nas figuras 5.28 e 5.29.

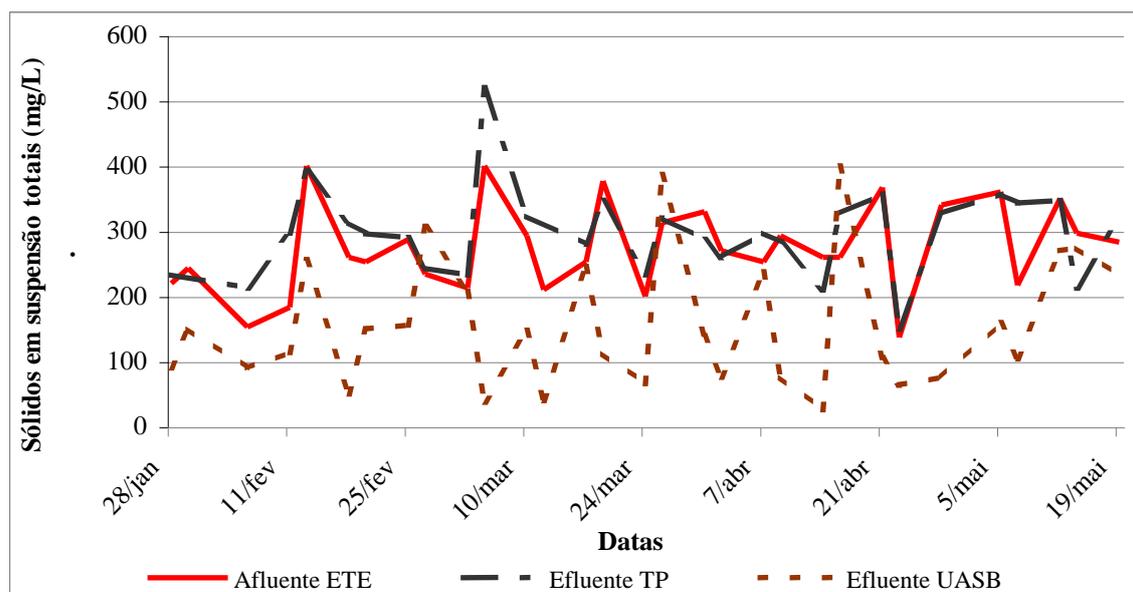


Figura 5.28 – Valores obtidos para sólidos em suspensão totais das amostras coletadas do afluente à estação, efluente do preliminar e efluente UASB, operação CAESB.

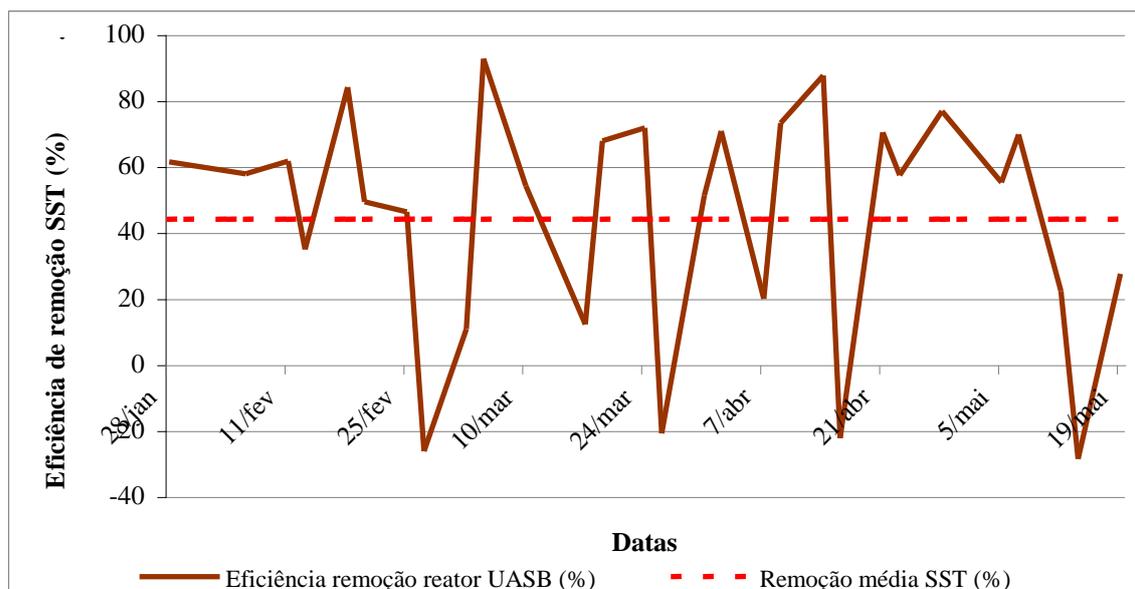


Figura 5.29 – Eficiência de remoção para sólidos em suspensão totais das amostras coletadas do efluente do preliminar e efluente UASB, operação CAESB.

O valor médio de remoção de sólidos em suspensão totais do reator UASB sem descarte programado de lodo foi superior ao operado segundo orientações da CAESB, 58% contra 44%, respectivamente. Verifica-se que a remoção de sólidos em suspensão no reator é relativamente baixa, o que pode ter origem nas estratégias adotadas de descarte de lodo e escuma no reator.

São apresentados nas Tabelas 5.12 e 5.13 os resultados obtidos para DBO e DQO durante as 17 semanas do experimento para os reatores UASB operado sem descarte programado de lodo e operado segundo a rotina da CAESB, respectivamente.

No período compreendido entre 28 de janeiro e 19 de maio de 2008 foi acompanhado o desempenho do reator UASB, operado segundo as recomendações já adotadas pela CAESB, ou seja, descartes semanais de lodo e remoção semanal da escuma. Foram realizadas coletas isoladas do efluente de cada reator, formando amostras compostas de alíquota única, com a frequência de duas vezes por semana.

Tabela 5.12 – Concentrações de matéria orgânica, reator UASB, sem descarte programado de lodo.

Sem.	Data	DQO (mg/L)					DBO (mg/L)		
		Aflu.	Eflu.	Efluente Filtrada	Eficiência Total (%)	Eficiência Eflu. Filtrada (%)	Aflu.	Eflu.	Eficiência Total (%)
1°	28/jan	765	-	-	-	-	340	65	81
	30/jan	853	224	105	74	88	-	90	-
2°	4/fev	-	-	-	-	-	-	-	-
	6/fev	299	223	22	25	93	260	40	85
3°	11/fev	1067	195	95	82	91	-	50	-
	13/fev	1048	234	79	78	92	480	60	88
4°	18/fev	836	225	78	73	91	460	60	87
	20/fev	1011	225	96	78	91	420	65	85
5°	25/fev	826	260	72	69	91	360	50	86
	27/fev	1906	281	77	85	96	420	55	87
6°	3/mar	371	335	74	10	80	-	-	-
	5/mar	337	145	75	57	78	360	30	92
7°	10/mar	461	169	83	63	82	280	35	88
	12/mar	574	151	94	74	84	-	-	-
8°	17/mar	682	138	82	80	88	280	40	86
	19/mar	1512	155	76	90	95	-	-	-
9°	24/mar	384	86	83	78	78	200	50	75
	26/mar	837	164	79	80	91	-	-	-
10°	31/mar	1105	178	83	84	92	460	50	89
	2/abr	832	176	81	79	90	420	55	87
11°	7/abr	794	329	82	59	90	320	60	81
	9/abr	788	270	66	66	92	360	60	83
12°	14/abr	1738	174	86	90	95	-	-	-
	16/abr	824	499	86	39	90	380	65	83
13°	21/abr	887	293	86	67	90	380	65	83
	23/abr	747	206	78	72	90	340	40	88
14°	28/abr	1369	261	90	81	93	920	65	93
	30/abr	-	-	-	-	-	-	-	-
15°	5/mai	1710	394	88	77	95	540	80	85
	7/mai	632	217	92	66	85	340	60	82
16°	12/mai	891	459	91	48	90	460	70	85
	14/mai	1032	254	106	75	90	600	65	89
17°	19/mai	1193	277	109	77	91	760	80	89
Eficiência Média (%)			-	-	69	89	-	-	86

Legenda: Sem. – Semana, Aflu. – Afluente, Eflu. – Efluente.
 (-) Indisponibilidade de amostras ou de equipamentos para análise.

Observa-se que o reator operado sem descartes programados de lodo apresentou eficiência de remoção média da ordem de 69% para DQO, 89% para DQO filtrada e de 86% para

DBO. A avaliação da DQO filtrada elimina parte da interferência da presença de sólidos eliminados pelo reator, presentes na amostra. A utilização da DQO filtrada para caracterização do efluente do reator UASB operado sem descarte programado de lodo revelou uma eficiência bastante expressiva. Comparando os valores da média de remoções para DQO total e DQO filtrada tem-se uma diferença da ordem de 17%.

Ainda assim, os resultados obtidos vêm corroborar a necessidade de serem realizados descartes programados de lodo nos reatores, minimizando a perda de sólidos no efluente e os impactos negativos no tocante às remoções de DQO. Embora o reator UASB apresente boa eficiência na remoção de DQO e DBO, torna-se necessária uma etapa de tratamento complementar visando à remoção da parcela remanescente da matéria orgânica. No caso da ETE Gama, já é realizado pós-tratamento do efluente dos reatores UASB em um processo de lodos ativados com remoção de nutrientes.

Tabela 5.13 – Concentrações de matéria orgânica, reator UASB, operação CAESB.

Semana	Data	DQO (mg/L)			DBO (mg/L)		
		Afluente	Efluente	Eficiência Total (%)	Afluente	Efluente	Eficiência Total (%)
1°	28/jan	765	-	-	340	75	78
	30/jan	853	262	69	-	80	-
2°	4/fev	-	-	-	-	-	-
	6/fev	299	139	54	260	45	83
3°	11/fev	1067	267	75	-	75	-
	13/fev	1048	470	55	480	100	79
4°	18/fev	836	184	78	460	75	84
	20/fev	1011	334	67	420	10	98
5°	25/fev	826	274	67	360	85	76
	27/fev	1906	463	76	420	85	80
6°	3/mar	371	389	-5	-	-	-
	5/mar	337	144	57	360	40	89
7°	10/mar	461	232	50	280	65	77
	12/mar	574	397	31	-	-	-
8°	17/mar	682	348	49	280	100	64
	19/mar	1512	260	83	-	-	-
9°	24/mar	384	219	43	200	70	65
	26/mar	837	520	38	-	-	-

Legenda: Sem. – Semana, Aflu. – Afluente, Eflu. – Efluente.

(-) Indisponibilidade de amostras ou de equipamentos para análise.

Tabela 5.13 – Concentrações de matéria orgânica, reator UASB, operação CAESB (continuação).

Semana	Data	DQO (mg/L)			DBO (mg/L)		
		Afluente	Efluente	Eficiência Total (%)	Afluente	Efluente	Eficiência Total (%)
10°	31/mar	1105	301	73	460	95	79
	2/abr	832	237	72	420	80	81
11°	7/abr	794	421	47	320	85	73
	9/abr	788	200	75	360	60	83
12°	14/abr	1738	178	90	-	-	-
	16/abr	824	579	30	380	90	76
13°	21/abr	887	264	70	380	90	76
	23/abr	747	168	78	340	45	87
14°	28/abr	1369	199	85	920	60	93
	30/abr	-	-	-	-	-	-
15°	5/mai	1710	278	84	540	70	87
	7/mai	632	233	63	340	-	100
16°	12/mai	891	442	50	460	80	83
	14/mai	1032	409	60	600	-	-
17°	19/mai	1193	390	67	760	90	88
Eficiência Média (%)				61	-	-	81

Legenda: Sem. – Semana, Aflu. – Afluente, Eflu. – Efluente.
 (-) Indisponibilidade de amostras ou de equipamentos para análise.

Observou-se no reator operado segundo as diretrizes preconizadas pela CAESB, eficiência de remoção média da ordem de 61% para DQO, 81% para DBO. Os resultados obtidos no reator UASB operado segundo as recomendações da CAESB mostraram-se inferiores aos do reator operado sem descarte programado de lodo.

Novamente, os resultados apresentados nas Tabelas 5.14 e 5.15, obtidos para os dois reatores UASB operados sem descartes programados de lodo e segundo a operação CAESB, indicam a necessidade de um tratamento complementar visando remover parcela remanescente da matéria orgânica.

Tabela 5.14 – Valores máximos, mínimos e médios dos resultados das concentrações de matéria orgânica no reator UASB, sem descarte programado de lodo.

Período	Valores	DQO (mg/L)				DBO (mg/L)			
		Aflu.	Eflu.	Eflu. Filt.	Efic. Total (%)	Efic. Filt. (%)	Aflu.	Eflu.	Efic. Total (%)
28/jan	N	30	30	30	30	30	25	25	25
	Média	918	240	83	69	83	416	57	86
	Desvio Padrão	410	93	15	18	5	158	13	4
19/mai	Máximo	1906	499	109	90	96	920	80	93
	Mínimo	299	86	66	10	78	200	30	75

Legenda: Aflu. – Afluente, Eflu. – Efluente, Filt. – Filtrada, Efic. – Eficiência.

Tabela 5.15 – Valores máximos, mínimos e médios dos resultados das concentrações de matéria orgânica no reator UASB, operação CAESB.

Período	Valores	DQO (mg/L)			DBO (mg/L)		
		Afluente	Efluente	Eficiência Total (%)	Afluente	Efluente	Eficiência Total (%)
28/jan	N	30	30	30	22	22	22
	Média	918	307	61	416	74	81
	Desvio Padrão	410	117	20	163	23	8
19/mai	Máximo	1906	579	90	920	100	98
	Mínimo	299	139	-5	200	10	64

Novamente observando-se as Tabelas 5.14 e 5.15, verifica-se que o desempenho do reator UASB operado sem descartes programados de lodo foi superior no tocante às médias para as remoções de DQO e DBO no período em análise, em comparação ao reator UASB operado segundo a rotina definida pela CAESB.

Avaliando o desempenho do reator UASB da ETE Lages de Aparecida de Goiânia – GO durante cerca de 6 meses, Vieira *et al.* (2005) verificaram que a unidade não apresentara qualquer anormalidade, obtendo desempenho satisfatório com remoções médias de 65,17% e 65,65% para DBO e DQO, respectivamente. No reator UASB da ETE Gama operado sem descarte programado de lodo, alcançaram-se eficiências superiores, da ordem de 69% e 86% também para DBO e DQO.

Versiani *et al.* (2005) avaliaram o desempenho de um reator UASB, tratando de esgotos tipicamente domésticos, submetido a diferentes condições operacionais. A unidade foi monitorada durante 270 dias, sendo submetida a diferentes tempos de detenção hidráulica e

sem descarte programado de lodo no período. Verificaram que o desempenho do reator manteve-se sempre satisfatório, mesmo sem a realização de descarte de lodo, com remoções superiores a 68% para DBO e 64% para DQO.

De acordo com a Figura 5.30, o efluente do reator UASB operado sem descarte programado de lodo não apresentou faixas amplas na ordem de grandeza dos dados de DQO total e DQO filtrada avaliados, indicando a capacidade de amortecimento das vazões afluentes pelo reator UASB, apesar da incidência de sobrecargas hidráulicas devido às chuvas no período.

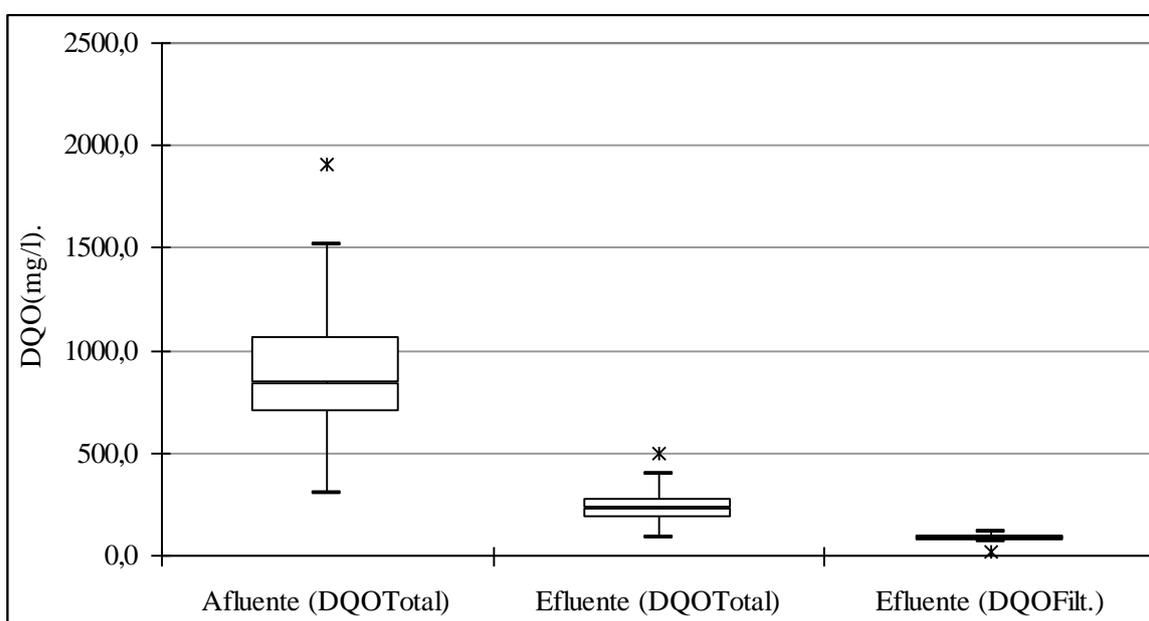


Figura 5.30 – Boxplot mostrando a mediana, quartis 25% e 75% e observações máxima e mínima dos dados de DQOTotal afluente e efluente e DQOFiltrada do efluente do reator UASB, sem descarte intencional de lodo.

Conforme mostrado na Figura 5.31, o efluente do reator UASB, operado segundo as recomendações da CAESB, apresentou faixas um pouco mais amplas na ordem de grandeza dos dados de DQO total. Apesar de possuir uma capacidade de amortecimento das vazões afluentes, este reator UASB, apresentou comportamento menos uniforme no período, em comparação com o reator operado sem descarte de lodo.

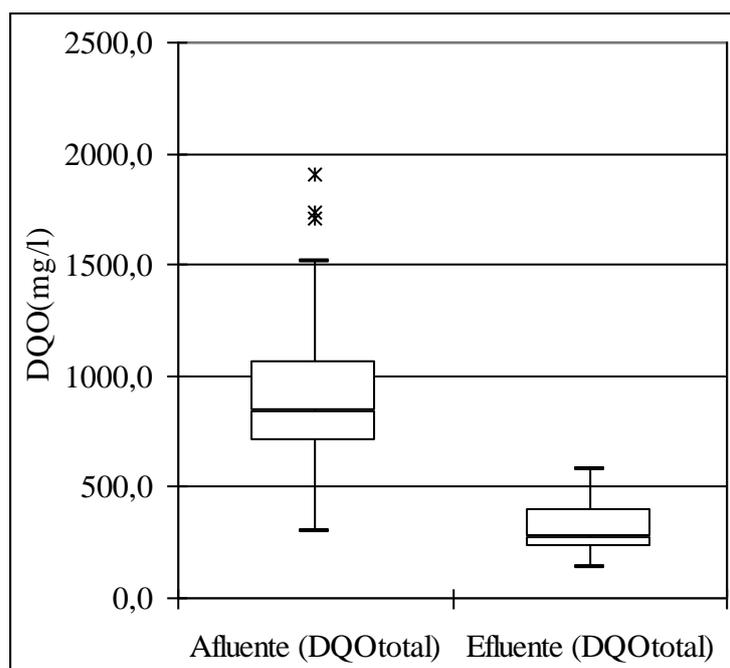


Figura 5.31 – Boxplot mostrando a mediana, quartis 25% e 75% e observações máxima e mínima dos dados de DQOtotal afluentes e efluentes e DQOFiltrada do efluente do reator UASB, operação CAESB.

5.4.4.2. Parâmetros de estabilidade da digestão anaeróbia

Os parâmetros levantados com o objetivo de avaliar a estabilidade do processo de digestão anaeróbia nos reatores UASB, operado sem descarte programado de lodo e segundo operação da CAESB, envolvendo alcalinidade, pH, ácidos graxos voláteis e temperatura afluentes, encontram-se apresentados nas Tabelas 5.16, 5.17, 5.18 e 5.19. As análises foram realizadas em dois dias de cada semana monitorada.

Os dados apresentados revelam aspectos importantes, o primeiro relativo ao pH, que variou de 7,05 a 7,99 no reator operado sem descarte programado de lodo. Na formação de metano, os microrganismos produtores têm um crescimento ótimo na faixa de pH entre 6,6 e 7,4, embora se possa conseguir estabilidade em uma faixa mais ampla, entre 6,0 e 8,0 (Chernicharo, 2007). Com relação ao valor médio das determinações do pH efluente, o mesmo ficou em 7,30, ou seja, dentro da faixa de crescimento ótimo dos microrganismos produtores de metano.

Situação semelhante foi observada no reator operado segundo descartes orientados pela CAESB. O valor do pH variou de 7,08 a 7,76 e teve valor médio de 7,26, ou seja, também dentro da faixa de crescimento ótimo dos microrganismos produtores de metano.

No tocante aos valores da alcalinidade, observa-se que há um aumento esperado de sua concentração no efluente em ambos os reatores UASB em relação ao afluente à estação. Os valores da acidez volátil sempre permaneceram inferiores a 90,0 mg/L (limite = 200,0 mg/L), indicando não haver tendência de acidificação nos reatores durante o período da análise.

Ainda quando se analisa a alcalinidade nas suas componentes intermediária e parcial, observa-se que a relação AI/AP apresentou valores médios de 0,30 e 0,32 para os reatores UASB operados sem descarte programado de lodo e segundo a operação da CAESB, respectivamente.

De acordo com Ripley *et al.* (1986), a relação AI/AP é um importante indicador da estabilidade do processo biológico no reator UASB e quando a mesma apresenta-se em torno de 0,30, não há sinais de distúrbios no processo de digestão anaeróbia.

As médias das temperaturas máxima e mínima do afluente aos reatores UASB mantiveram-se entre 25,4 e 28,2°C, inferiores à faixa mesófila (20°C a 45°C), na digestão anaeróbia.

Tabela 5.16 – Parâmetros de estabilidade do processo de digestão anaeróbia do reator UASB da ETE Gama, sem descarte de lodo.

Semana	Data	Temperatura Afl. (°C)		pH		Alcalinidades (mgCaCO ₃ /L)				AI/AP Efluente	Acidez Vol. (mgCaCO ₃ /L)
		T máxima	T mínima	Afluente	Efluente	Alc. AB afluente	Alc. AAV afluente	Alc. AB efluente	Alc. AAV efluente		
1°	28/jan	26,1	25,1	7,22	7,09	-	-	186,9	71,1	0,38	60,9
	30/jan	26,2	25,2	7,22	7,10	-	-	207,2	73,8	0,36	69,6
2°	4/fev	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6/fev	28,0	25,5	-	-	-	-	-	-	-	-
3°	11/fev	29,5	24,7	7,19	7,36	109,4	115,7	244,0	52,0	0,21	-
	13/fev	-	27,1	-	7,39	-	-	238,7	73,8	0,31	-
4°	18/fev	27,4	26,0	-	7,06	140,6	132,1	222,5	64,7	0,29	-
	20/fev	27,2	21,0	6,98	7,39	90,2	107,2	277,2	74,6	0,27	-
5°	25/fev	27,2	26,0	7,20	7,26	114,5	109,4	249,0	62,3	0,25	-
	27/fev	27,3	23,5	7,12	7,25	114,5	109,4	219,9	49,8	0,23	55,1
6°	3/mar	31,4	21,4	7,46	7,33	138,8	100,1	233,0	53,2	0,23	46,4
	5/mar	28,7	28,0	7,59	7,77	154,7	93,8	236,8	49,4	0,21	26,1
7°	10/mar	28,5	25,2	7,49	7,36	139,7	94,2	264,1	78,2	0,30	37,7
	12/mar	28,6	26,5	7,37	7,26	141,1	85,3	248,1	78,2	0,32	58,0
8°	17/mar	28,2	25,7	7,23	7,27	113,2	92,3	239,5	73,2	0,31	58,0
	19/mar	28,0	27,1	-	-	147,2	127,6	266,2	75,5	0,28	58,0
9°	24/mar	29,1	27,5	7,66	7,21	157,8	65,9	257,4	75,2	0,29	58,0
	26/mar	29,1	27,5	7,23	7,37	109,7	101,7	268,5	73,4	0,27	40,6
10°	31/mar	33,3	28,7	7,27	7,25	138,2	140,7	287,5	83,2	0,29	58,0
	2/abr	31,4	21,4	7,39	7,13	159,5	139,7	263,5	86,7	0,33	72,5
11°	7/abr	28,8	23,8	7,22	7,33	124,1	108,8	305,2	94,5	0,31	55,1
	9/abr	28,3	27,1	7,32	7,25	145,3	130,5	267,8	86,0	0,32	55,1
12°	14/abr	28,4	25,7	7,84	7,74	255,3	125,6	274,3	76,6	0,28	26,1
	16/abr	28,5	26,9	7,61	7,99	135,8	106,2	246,8	58,1	0,24	66,7

Tabela 5.16 – Parâmetros de estabilidade do processo de digestão anaeróbia do reator UASB da ETE Gama, sem descarte de lodo. (Continuação.)

Semana	Data	Temperatura Afl. (°C)		pH		Alcalinidades (mgCaCO ₃ /L)				Al/AP Efluente	Acidez Vol. (mgCaCO ₃ /L)
		T máxima	T mínima	Afluente	Efluente	Alc. AB afluente	Alc. AAV afluente	Alc. AB efluente	Alc. AAV efluente		
13°	21/abr	28,6	27,6	7,30	7,19	157,0	114,2	283,1	92,8	0,33	72,5
	23/abr	28,8	27,7	7,26	7,10	72,8	90,2	223,5	71,5	0,32	60,9
14°	28/abr	28,4	26,0	6,51	7,18	47,9	229,9	276,8	83,4	0,30	63,8
	30/abr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15°	5/mai	28,7	25,8	7,24	7,30	133,1	172,3	324,0	110,7	0,34	52,2
	7/mai	27,1	26,5	7,26	7,19	149,5	110,5	327,0	109,5	0,33	69,6
16°	12/mai	25,5	19,9	7,23	7,15	149,7	167,3	339,0	124,8	0,37	75,4
	14/mai	25,3	23,6	6,92	7,05	80,6	166,9	307,4	109,5	0,36	89,9
17°	19/mai	25,0	22,8	7,02	7,28	96,0	223,2	330,3	88,9	0,27	60,9

Legenda: Alc. AAV – Alcalinidade dos Ácidos Voláteis, Alc. AB – Alcalinidade Bicarbonato, afl. – afluente, efl. – efluente.

Tabela 5.17 – Valores máximos, mínimos e médios dos parâmetros de estabilidade do processo de digestão anaeróbia do reator UASB da ETE Gama, sem descarte de lodo.

Período	Valores	Temperatura Afluente (°C)		pH		Alcalinidades (mgCaCO ₃ /L)				Al/AP Efluente	Acidez Vol. (mgCaCO ₃ /L)
		T máxima	T mínima	Afluente	Efluente	Alc. AB afluente	Alc. AAV afluente	Alc. AB efluente	Alc. AAV efluente		
	N	30	31	27	29	27	27	30	30	30	25
28/jan a	Média	28,2	25,4	7,27	7,30	130,2	124,5	263,8	78,5	0,30	57,9
19/mai	D. Padrão	1,8	2,2	0,26	0,21	37,9	38,8	37,7	18,5	0,05	14,6
	Máximo	33,3	28,7	7,84	7,99	255,3	229,9	339,0	124,8	0,38	26,1
	Mínimo	25,0	19,9	6,51	7,05	47,9	65,9	186,9	49,4	0,21	89,9

Legenda: Alc. AAV – Alcalinidade dos Ácidos Voláteis, Alc. AB – Alcalinidade Bicarbonato, afl. – afluente, efl. – efluente.

Tabela 5.18 – Parâmetros de estabilidade do processo de digestão anaeróbia do reator UASB da ETE Gama, operação CAESB.

Semana	Data	Temperatura Afl. (°C)		pH		Alcalinidades (mgCaCO ₃ /L)				Alc. Int/Alc. Parc. Efl.	Acidez Vol. (mgCaCO ₃ /L)
		T máx.	T mín.	Afluente	Efluente	Alc. AB afl.	Alc. AAV afl.	Alc. AB efl.	Alc. AAV efl.		
1°	28/jan	26,1	25,1	7,08	7,24	-	-	188,0	68,0	0,36	61,0
	30/jan	26,2	25,2	7,14	7,24	-	-	218,0	74,0	0,34	55,0
2°	4/fev	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6/fev	28,0	25,5	-	-	-	-	-	-	-	-
3°	11/fev	29,5	24,7	7,23	7,24	109,4	115,7	216,0	65,0	0,30	-
	13/fev	-	27,1	-	-	-	-	212,0	87,0	0,41	-
4°	18/fev	27,4	26,0	-	-	140,6	132,1	201,0	73,0	0,36	-
	20/fev	27,2	21,0	7,13	7,24	90,2	107,2	261,0	82,0	0,31	-
5°	25/fev	27,2	26,0	7,17	7,24	114,5	109,4	233,0	67,0	0,29	-
	27/fev	27,3	23,5	7,14	7,24	114,5	109,4	218,0	57,0	0,26	58,0
6°	3/mar	31,4	21,4	7,37	7,24	138,8	100,1	215,0	57,0	0,27	58,0
	5/mar	28,7	28,0	-	-	154,7	93,8	241,0	49,0	0,20	20,0
7°	10/mar	28,5	25,2	7,44	7,24	139,7	94,2	252,0	69,0	0,27	38,0
	12/mar	28,6	26,5	7,29	7,24	141,1	85,3	238,3	79,8	0,33	58,0
8°	17/mar	28,2	25,7	7,22	7,24	113,2	92,3	224,7	75,5	0,34	55,1
	19/mar	28,0	27,1	-	-	147,2	127,6	267,0	75,0	0,28	32,0
9°	24/mar	29,1	27,5	7,18	7,24	157,8	65,9	217,4	68,4	0,31	52,0
	26/mar	29,1	27,5	7,33	7,24	109,7	101,7	258,5	82,1	0,32	49,3
10°	31/mar	33,3	28,7	7,31	7,24	138,2	140,7	256,0	88,2	0,34	55,0
	2/abr	31,4	21,4	7,11	7,24	159,5	139,7	255,2	89,9	0,35	75,0
11°	7/abr	28,8	23,8	7,32	7,24	124,1	108,8	292,0	102,3	0,35	46,0
	9/abr	28,3	27,1	7,33	7,24	145,3	130,5	280,0	95,0	0,34	58,0
12°	14/abr	28,4	25,7	7,76	7,24	255,3	125,6	267,8	74,1	0,28	29,0
	16/abr	28,5	26,9	7,1	7,24	135,8	106,2	226,1	84,6	0,37	72,5

Tabela 5.18 – Parâmetros de estabilidade do processo de digestão anaeróbia do reator UASB da ETE Gama, operação CAESB. (Continuação.)

Semana	Data	Temperatura Afl. (°C)		pH		Alcalinidades (mgCaCO ₃ /L)				Al/AP Efluente	Acidez Vol. (mgCaCO ₃ /L)
		T máx.	T mín.	Afluente	Efluente	Alc. AB afl.	Alc. AAV afl.	Alc. AB efl.	Alc. AAV efl.		
13°	21/abr	28,6	27,6	7,2	7,24	157,0	114,2	264,4	93,1	0,35	69,6
	23/abr	28,8	27,7	7,12	7,24	72,8	90,2	208,8	63,5	0,30	55,1
14°	28/abr	28,4	26,0	7,22	7,24	47,9	229,9	290,6	82,0	0,28	63,8
	30/abr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15°	5/mai	28,7	25,8	7,16	7,24	133,1	172,3	326,6	107,5	0,33	60,9
	7/mai	27,1	26,5	7,24	7,24	149,5	110,5	325,4	110,5	0,34	66,7
16°	12/mai	25,5	19,9	7,17	7,24	149,7	167,3	334,1	123,4	0,37	78,3
	14/mai	25,3	23,6	7,22	7,24	80,6	166,9	355,5	126,7	0,36	78,3
17°	19/mai	25,0	22,8	7,27	7,24	96,0	223,2	330,5	94,9	0,29	60,9

Legenda: Alc. AAV – Alcalinidade dos Ácidos Voláteis, Alc. AB – Alcalinidade Bicarbonato, afl. – afluente, efl. – efluente.

Tabela 5.19 – Valores máximos, mínimos e médios dos parâmetros de estabilidade do processo de digestão anaeróbia do reator UASB da ETE Gama, operação CAESB.

Período	Valores	Temp. Aflu. (°C)		pH		Alcalinidades (mgCaCO ₃ /L)				Al/AP Efluente	Acidez Vol. (mgCaCO ₃ /L)
		T max.	T mín.	Afluente	Efluente	Alc. AB afl.	Alc. AAV afl.	Alc. AB efl.	Alc. AAV efl.		
28/jan a 19/mai	N	30	30	26	26	27	27	30	30	30	25
	Média	28,2	25,4	7,26	7,24	130,2	124,5	255,8	82,2	0,32	56,2
	D. Padrão	1,8	2,2	0,25	0,14	37,9	38,8	44,4	18,8	0,04	14,7
	Máximo	33,3	28,7	7,84	7,76	255,3	229,9	355,5	126,7	0,41	78,3
	Mínimo	25,0	19,9	6,51	7,08	47,9	65,9	188,0	49,0	0,20	20,0

Legenda: Alc. AAV – Alcalinidade dos Ácidos Voláteis, Alc. AB – Alcalinidade Bicarbonato, afl. – afluente, efl. – efluente.

5.4.5. Avaliação comparativa do desempenho entre o reator operado pela CAESB e reator operado sem descarte programado de lodo

Com o objetivo de avaliar as possíveis influências da realização ou não de descartes intencionais de lodo nos dois reatores UASB em operação na ETE Gama, os resultados das análises laboratoriais também foram submetidos a uma análise estatística.

Para melhor aperfeiçoar o exame dos dados, os resultados obtidos foram submetidos à estratégia de análise estatística, presumindo à normalidade dos dados, procedendo-se ao uso de um teste paramétrico de comparação das médias, cujo modelo adotado foi o do teste t de Student. Esse teste é utilizado, sobretudo quando o tamanho da amostra é considerado pequeno ($n \leq 30$).

A verificação estatística foi executada nos pares de escores, possibilitando o cálculo das diferenças entre as variáveis examinadas e mediante as seguintes hipóteses:

Hipótese nula – H_0 : $\mu_d = 0$

Onde: H_0 – Hipótese nula;

Hipótese alternativa – H_A : $\mu_d \neq 0$

μ_d – Média da população das diferenças

$\alpha = 0,05$ ou 5%

entre os dois parâmetros;

α – Nível de significância.

A variável testada é a μ_d – média da população das diferenças entre os dois parâmetros – portando a hipótese nula é a de que as duas variáveis não possuem diferenças. Quanto à hipótese alternativa, a diferença entre os escores é diferente de zero.

No caso das análises de DQO e DBO para os resultados do teste t de Student, a hipótese nula foi rejeitada e é aceita a hipótese alternativa, ou seja, pode-se afirmar que as diferenças existentes entre os dois parâmetros são significativas, em nível de 5% e em nível de 10%, conforme dados apresentados nas Tabelas 5.20 e 5.21.

Pode-se concluir que as duas modalidades de operação dos reatores UASB produziram efluentes de características distintas no tocante aos parâmetros de DBO e DQO, nos níveis de 0,05 e de 0,10 de significância.

Tabela 5.20 – Resultados do teste paramétrico t de Student para análises de DBO e DQO do efluente do reator operado pela CAESB e reator operado sem descarte programado de lodo, $\alpha = 0,05$ ou 5%.

DQO	UASB A	UASB B	DBO	UASB A	UASB B
Média	307	240	Média	74	57
Variância	13737,73	8608,44	Variância	494,64	181,39
Observações	30	30	Observações	22	22
Variância agrupada	11173,09		Variância agrupada	338,01	
Gl	58		Gl	42	
T calculado	2,45		T calculado	2,91	
P(T<=t) bi-caudal	0,02		P(T<=t) bi-caudal	0,01	
T crítico bi-caudal	2,00		T crítico bi-caudal	2,02	

Legenda: UASB A – Operação CAESB, UASB B – Sem descarte programado de lodo, Gl – Graus de liberdade.

Tabela 5.21 – Resultados do teste paramétrico t de Student para análises de DBO e DQO do efluente do reator operado pela CAESB e reator operado sem descarte programado de lodo, $\alpha = 0,10$ ou 10%.

DQO	UASB A	UASB B	DBO	UASB A	UASB B
Média	307	240	Média	74	57
Variância	13737,73	8608,44	Variância	494,64	181,39
Observações	30	30	Observações	22	22
Variância agrupada	11173,09		Variância agrupada	338,01	
Gl	58		Gl	42	
T calculado	2,45		T calculado	2,91	
P(T<=t) bi-caudal	0,02		P(T<=t) bi-caudal	0,01	
T crítico bi-caudal	1,67		T crítico bi-caudal	1,68	

Legenda: UASB A – Operação CAESB, UASB B – Sem descarte programado de lodo, Gl – Graus de liberdade.

Já para as variáveis SST e Sólidos sedimentáveis, o teste t de student resultou em aceitar a hipótese nula apenas para o nível de significância de 5%, ou seja, não existe diferença entre os efluentes dos reatores A e B, conforme dados apresentados na Tabela 5.22.

Tabela 5.22 – Resultados do teste paramétrico t de Student para análises de sólidos em suspensão totais e sólidos sedimentáveis do efluente do reator operado pela CAESB e reator operado sem descarte programado de lodo, $\alpha = 0,05$ ou 5%.

SST	UASB A	UASB B	Sól. Sedimentáveis	UASB A	UASB B
Média	161	122	Média	4,01	2,50
Variância	10396,29	5608,00	Variância	10,31	4,67
Observações	29	29	Observações	22	22
Variância agrupada	8002,15		Variância agrupada	7,49	
Gl	56		Gl	42	
T calculado	1,65		T calculado	1,82	
P(T<=t) bi-caudal	0,1052		P(T<=t) bi-caudal	0,0753	
t crítico bi-caudal	2,0032		T crítico bi-caudal	2,0181	

Legenda: UASB A – Operação CAESB, UASB B – Sem descarte programado de lodo, Gl – Graus de liberdade.

No nível de significância de 10%, para a variável SST, o teste t de student resultou em aceitar a hipótese nula, porém ficando o T calculado muito próximo do t crítico. No tocante aos sólidos sedimentáveis, para o nível de significância de 10%, pode-se concluir que as duas modalidades de operação dos reatores UASB produziram efluentes de características distintas, conforme dados apresentados na Tabela 5.23.

Tabela 5.23 – Resultados do teste paramétrico t de Student para análises de sólidos em suspensão totais e sólidos sedimentáveis do efluente do reator operado pela CAESB e reator operado sem descarte programado de lodo, $\alpha = 0,10$ ou 10%.

SST	UASB A	UASB B	Sól. Sedimentáveis	UASB A	UASB B
Média	161	122	Média	4,01	2,50
Variância	10396,29	5608,00	Variância	10,31	4,67
Observações	29	29	Observações	22	22
Variância agrupada	8002,15		Variância agrupada	7,49	
Gl	56		Gl	42	
T calculado	1,65		T calculado	1,82	
P(T<=t) bi-caudal	0,1052		P(T<=t) bi-caudal	0,0753	
t crítico bi-caudal	1,6725		T crítico bi-caudal	1,6820	

Legenda: UASB A – Operação CAESB, UASB B – Sem descarte programado de lodo, Gl – Graus de liberdade.

Pode-se concluir que as duas modalidades de operação dos reatores UASB produziram efluentes de características iguais no tocante aos parâmetros de SST e sólidos sedimentáveis somente ao nível de 0,05 de significância.

Os parâmetros relativos aos sólidos sedimentáveis e sólidos em suspensão totais mostraram bastante variabilidade, também com eficiências de remoção bastante diversas ao longo do período observado. Essa constatação pode ser atribuída à incidência de sobrecargas hidráulicas, devido às chuvas intensas no período.

Na Tabela 5.24 é apresentado quadro comparativo das eficiências médias de remoção de poluentes nos reatores UASB da ETE Gama operados sem descarte programado de lodo e segundo a operação CAESB, consolidando as observações realizadas ao longo do período do experimento. Observa-se um desempenho superior do reator UASB operado sem descartes programados de lodo em comparação ao operado segundo a rotina da Caesb. Tal observação vem corroborar com a conclusão da análise estatística de que a operação dos reatores UASB, segundo modalidades distintas de descarte de lodo, levou a produção de efluentes de características distintas.

Tabela 5.24 – Quadro comparativo das eficiências médias de remoção de poluentes nos reatores UASB da ETE Gama operados sem descarte de lodo e operação CAESB.

Eficiências médias de remoção (%)		
Parâmetro	UASB – A, Sem descarte de lodo	UASB – B, Operação Caesb
Sólidos sedimentáveis	52±55	2±95
SST	58±24	44±36
DQO	69±18	61±20
DQOfiltrada	83±15	Não avaliado
DBO	86±4	81±8

N = 30 amostras

5.4.6. Monitoramento do crescimento da manta de lodo

Durante 17 semanas foi monitorado o crescimento da manta de lodo no reator UASB submetido à interrupção dos descartes programados de lodo. Os resultados das análises laboratoriais encontram-se apresentados na Tabela 5.25.

Tabela 5.25 – Dados da evolução da massa de sólidos no reator UASB sem descarte de lodo.

Semana	Data de coleta da amostra	Ponto	Sólidos em Suspensão (mg/L)				Sólidos Totais (mg/L)			
			SST	SSF	SSV	%SSV/SST	ST	STF	STV	%STV/ST
1°	24/1/2008	1	22100	5600	16500	74,66	21150	5650	15500	73,29
		2	19750	5150	14600	73,92	20000	4650	15350	76,75
		3	17400	4600	12800	73,56	17750	5050	12700	71,55
2°	31/1/2008	1	29900	8600	21300	71,24	30400	9950	20450	67,27
		2	23400	6600	16800	71,79	24900	8100	16800	67,47
		3	21600	6250	15350	71,06	22600	7350	15250	67,48
3°	7/2/2008	1	30250	8650	21600	71,40	31900	9450	22450	70,38
		2	25750	7000	18750	72,82	26950	8250	18700	69,39
		3	20950	6100	14850	70,88	22450	6400	16050	71,49
4°	12/2/2008	1	29650	8400	21250	71,67	31600	10355	21245	67,23
		2	22350	6490	15860	70,96	22700	7565	15135	66,67
		3	21700	6250	15450	71,20	22300	6910	15390	69,01
5°	18/2/2008	1	31200	8850	22350	71,63	31300	8250	23050	73,64
		2	26200	7500	18700	71,37	28350	8050	20300	71,60
		3	24150	6750	17400	72,05	24950	7000	17950	71,94
6°	25/2/2008	1	30300	8450	21850	72,11	32250	9250	23000	71,32
		2	25050	6950	18100	72,26	28200	8550	19650	69,68
		3	24300	6900	17400	71,60	26500	7650	18850	71,13
7°	3/3/2008	1	32450	9400	23050	71,03	33150	8950	24200	73,00
		2	27200	7850	19350	71,14	29000	8950	20050	69,14
		3	25000	7250	17750	71,00	25050	6550	18500	73,85
8°	10/3/2008	1	29600	8750	20850	70,44	29850	9450	20400	68,34
		2	29800	8950	20850	69,97	30950	10700	20250	65,43
		3	26150	7800	18350	70,17	27000	7150	19850	73,52
9°	17/3/2008	1	32400	9950	22450	69,29	35250	10950	24300	68,94
		2	30300	9200	21100	69,64	32700	10550	22150	67,74
		3	28400	10250	18150	63,91	28450	9400	19050	66,96
10°	24/3/2008	1	35750	11100	24650	68,95	37800	11100	26700	70,63
		2	27950	8450	19500	69,77	31350	8800	22550	71,93
		3	27050	8250	18800	69,50	28200	8250	19950	70,74
11°	31/3/2008	1	31050	9450	21600	69,57	32200	10750	21450	66,61
		2	27600	8150	19450	70,47	30900	10350	20550	66,50
		3	26200	7750	18450	70,42	28600	9150	19450	68,01
12°	7/4/2008	1	32950	9750	23200	70,41	34650	11000	23650	68,25
		2	31250	9350	21900	70,08	33700	10950	22750	67,51
		3	28050	8150	19900	70,94	28700	9500	19200	66,90

Tabela 5.25 – Dados da evolução da massa de sólidos no reator UASB sem descarte de lodo (Continuação).

Semana	Data de coleta da amostra	Ponto	Sólidos em Suspensão (mg/L)				Sólidos Totais (mg/L)			
			SST	SSF	SSV	%SSV/SST	ST	STF	STV	%STV/ST
13°	14/4/2008	1	32300	9850	22450	69,50	34200	10100	24100	70,47
		2	27050	8200	18850	69,69	28900	8450	20450	70,76
		3	24650	7400	17250	69,98	26550	7950	18600	70,06
14°	21/4/2008	1	37550	11500	26050	69,37	39900	12600	27300	68,42
		2	28000	8100	19900	71,07	31000	9500	21500	69,35
		3	22300	6700	15600	69,96	24850	7000	17850	71,83
15°	28/4/2008	1	28750	8550	20200	70,26	31250	9000	22250	71,20
		2	28000	8300	19700	70,36	29650	8250	21400	72,18
		3	22050	6600	15450	70,07	24450	5450	19000	77,71
16°	5/5/2008	1	28350	8100	20250	71,43	31900	8200	23700	74,29
		2	26300	7450	18850	71,67	26750	6500	20250	75,70
		3	26200	7400	18800	71,76	28500	8050	20450	71,75
17°	10/5/2008	1	23700	6900	16800	70,89	28500	8100	20400	71,58
		2	21850	6250	15600	71,40	24400	6300	18100	74,18
		3	17000	4500	12500	73,53	20800	4550	16250	78,12

Observa-se, nitidamente, uma elevação nos valores de sólidos totais e em suspensão ao longo dos três pontos amostrados no reator durante o monitoramento sem descartes programados de lodo no reator.

Nota-se, também, um decréscimo na relação sólidos voláteis e totais ao longo do tempo, que pode ser atribuído a um processo de estabilização do lodo. Segundo Andreoli *et al.* (2001), a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais dá uma boa indicação da fração orgânica dos sólidos do lodo, bem como do nível de digestão do lodo. Em lodos não digeridos, a relação SV/ST é entre 0,75 e 0,80, ao passo que em lodos digeridos estes valores situam-se entre 0,60 e 0,65. Observa-se que no início do experimento, os valores da relação SVT/ST situavam-se em torno de 0,75, passando em alguns períodos a valores próximos a 0,65, corroborando a hipótese de que o lodo sofre um processo de estabilização dentro do reator ao longo do tempo.

Em experimento realizado em escala piloto em reatores UASB com mesmo volume, mas diferentes profundidades e diâmetros, van Haandel *et al.* (1999) verificaram que a massa de lodo aumenta acentuadamente com o tempo de detenção, mas que este aumento se deve principalmente ao aumento da massa de lodo inorgânico. Aparentemente um tempo de

detenção longo (velocidade ascensional baixa) permite a deposição de material inorgânico do afluente como argila, silte e areia, característica de material com baixa velocidade de sedimentação, floculado a partir de colóides e pequenas partículas. Concluíram ainda que a fração de lodo inorgânico decresce com a diminuição do tempo de detenção.

Medeiros *et al.* (1999), avaliando os efeitos da variação temporal de vazão no desempenho de um reator UASB em escala piloto, observaram que a fração volátil do lodo nos reatores independe da variação da vazão e tende a aumentar com a diminuição do TDH médio.

Decorridas 12 semanas do experimento, não mais foram observadas variações positivas na quantidade de biomassa para as três zonas monitoradas do reator sem descarte programado de lodo, conforme ilustrado na Figura 5.32. A quantidade de biomassa em cada zona do reator foi calculada por meio do produto entre o volume da zona considerada e a concentração da matéria orgânica da amostra representativa da zona em questão.

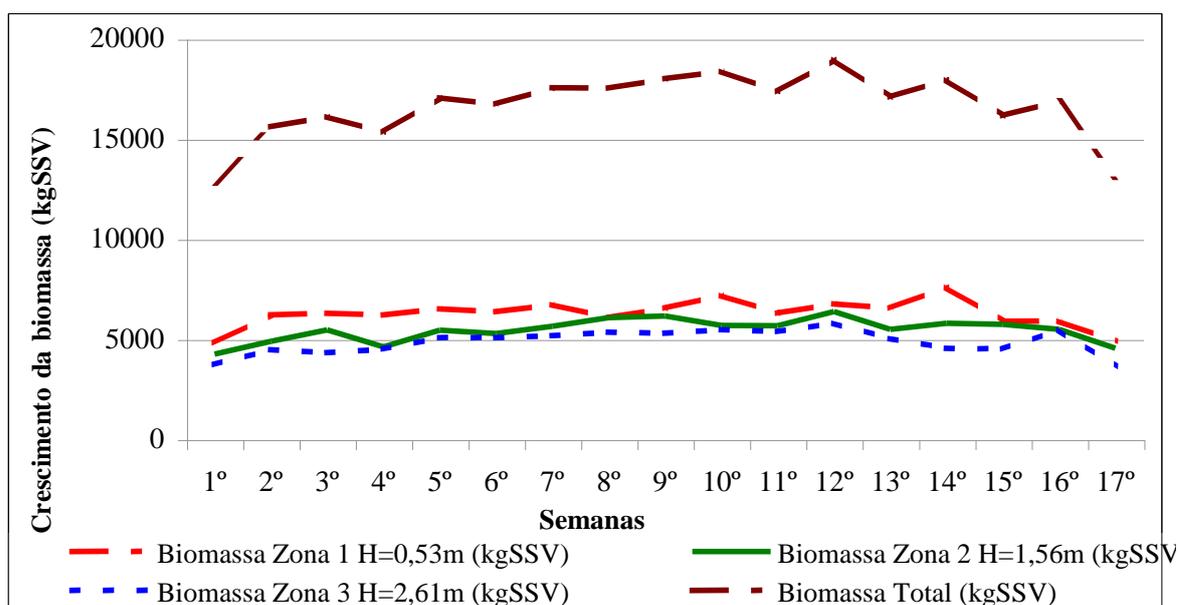


Figura 5.32 – Evolução da biomassa nas três zonas amostradas no reator UASB sem descarte programado de lodo.

Aisse *et al.* (2000) monitoraram um reator anaeróbio de leito fluidizado, acompanhando o perfil de sólidos no interior do reator. Ao longo de 18 meses de experimento, não foi observada uma evolução sempre crescente na altura da manta de lodo, havendo “involução” em certos períodos, inclusive no peso dos sólidos, sem se atribuir uma causa possível exata para o fenômeno.

Na Tabela 5.26 são apresentados dados referentes à concentração de sólidos na zona de digestão do reator UASB, de volume total igual a 1193 m³. Verifica-se um incremento na concentração de sólidos no reator desde o início do monitoramento, após a interrupção dos descartes intencionais de lodo, totalizando 2,4 % e 1,1 % na zona de digestão e para todo o reator, respectivamente. A concentração de sólidos na zona de digestão ou em todo o reator é dada pela relação entre o valor da biomassa e volume correspondentes.

Tabela 5.26 – Dados da evolução da biomassa e concentração média de sólidos na zona de digestão e em todo o reator UASB sem descarte programado de lodo.

Semana	Biomassa Zona 1 (kgSTV)	Biomassa Zona 2 (kgSTV)	Biomassa Zona 3 (kgSTV)	Biomassa Total (kgSTV)	Concentração Média Zona Digestão (%)	Concentração Média no Reator (%)
1º	4526,47	6050,20	6439,15	17015,82	1,4	0,6
2º	5972,01	6621,72	7732,06	20325,79	1,7	0,8
3º	6556,07	7370,60	8137,67	22064,35	1,8	0,8
4º	6204,18	5965,46	7803,04	19972,68	1,7	0,7
5º	6731,29	8001,25	9101,01	23833,55	2,0	0,9
6º	6716,69	7745,05	9557,33	24019,06	2,0	0,9
7º	7067,13	7902,71	9379,87	24349,70	2,0	0,9
8º	5957,41	7981,54	10064,35	24003,30	2,0	0,9
9º	7096,33	8730,42	9658,73	25485,48	2,1	0,9
10º	7797,20	8888,08	10115,05	26800,33	2,2	1,0
11º	6264,04	8099,78	9861,54	24225,37	2,0	0,9
12º	6906,51	8966,91	9734,78	25608,21	2,1	0,9
13º	7037,92	8060,37	9430,57	24528,86	2,1	0,9
14º	7972,42	8474,22	9050,31	25496,95	2,1	0,9
15º	6497,67	8434,81	9633,38	24565,86	2,1	0,9
16º	6921,11	7981,54	10368,56	25271,21	2,1	0,9
17º	5957,41	7134,12	8239,07	21330,60	1,8	0,8

Monitorando por 270 dias um reator UASB tratando esgotos domésticos sem descarte de lodo no período, Versiani *et al.* (2005) verificaram que a manta de lodo apresentou concentração de sólidos superior a 10%. Mesmo tendo sido observada esta condição, o desempenho do reator não foi comprometido.

A Figura 5.33 mostra ainda a evolução da concentração do lodo no reator UASB em termos de sólidos em suspensão totais ao longo das 17 semanas do experimento.

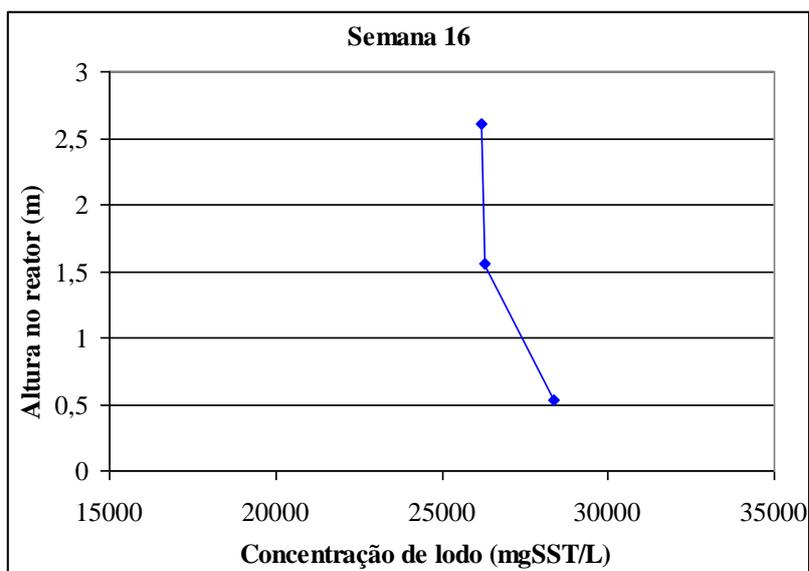
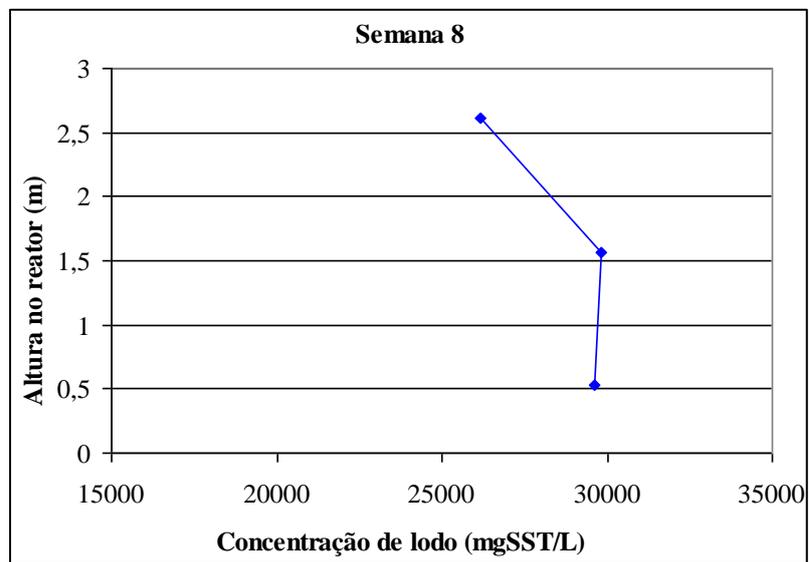
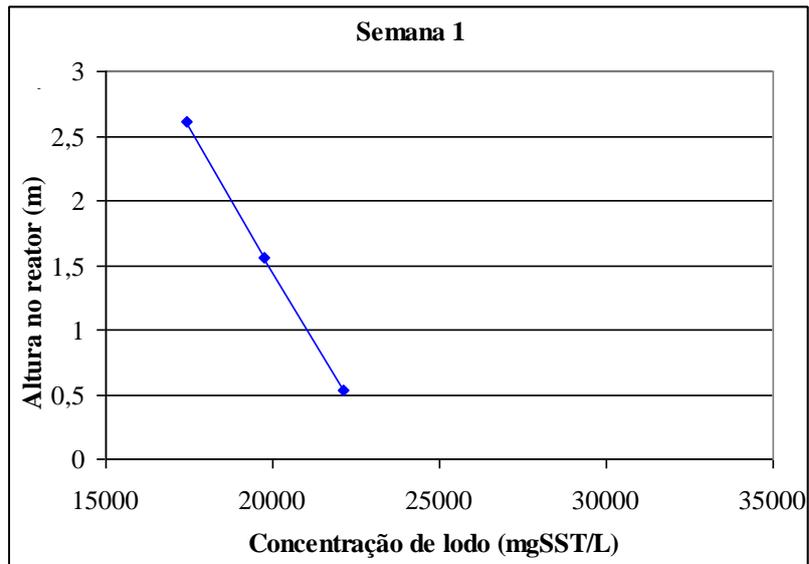


Figura 5.33 – Perfis da concentração de lodo (SST) nas três zonas amostradas em função da altura no reator UASB sem descarte programado de lodo.

A concentração média do lodo na zona de digestão do reator apresentou-se na faixa de 20000 a 30000 mgSST/L, que é a faixa que geralmente se encontra em reatores UASB tratando esgotos (Van Haandel e Lettinga, 1994). Observa-se também a evolução na concentração de lodo no reator nas três zonas amostradas.

No dia 6 de maio foi realizado um descarte de lodo no reator após 16 semanas do experimento. Com base nas determinações da carga orgânica afluyente média e crescimento médio da biomassa no interior do reator foram sugeridos os volumes de descarte de lodo bem como os intervalos entre descartes sucessivos, constantes da Tabela 5.27. Para se estabelecer o volume a ser descartado, deve ser determinado o valor da atividade metanogênica específica do lodo. Como não se dispunha do dado, procurou-se avaliar o volume possível de ser descartado para valores arbitrários de AME. Van Haandel e Lettinga (1994) sugerem valores médios para AME da ordem de 0,2 a 0,3 kgDQO/kgSTV.dia.

Tabela 5.27 – Considerações para realização do descarte de lodo no reator UASB sem descartes programados de lodo.

AME	Biomassa 24/03/08 (kgSTV)	Capacidade de digestão do lodo (kgDQO/d)	Carga orgânica diária (kgDQO/d)	Crescimento da manta de lodo (kgSTV/d)	Descarga Biomassa (%)	Concentração lodo ponto 1 (mgSTV/L)	Volume lodo descarte (m ³)	Intervalo descarte (dias)
0,1	26800,3	2680,0	4320,4	163,1	0	23700	0	0
0,2	26800,3	5360,1	4320,4	163,1	14,5	23700	219,3	32
0,25	26800,3	6700,1	4320,4	163,1	31,6	23700	401,6	58
0,3	26800,3	8040,1	4320,4	163,1	43,0	23700	523,2	76
0,4	26800,3	10720,1	4320,4	163,1	57,3	23700	675,1	98

Nota: AME (kgDQO/kgSTV.dia)

Foi realizada a abertura controlada dos dois registros existentes na tubulação de descarte de lodo de fundo e acompanhado o volume recalcado junto ao medidor de vazão da estação elevatória de lodo dos reatores UASB. Decorrida cerca de 1 hora do procedimento, foi atingido um volume de 177,35 m³ de lodo recalcado. Considerando os dados apresentados na Tabela 5.27, se teria um prazo aproximado de mais 32 dias para a realização de um novo descarte, sob as mesmas condições estabelecidas anteriormente.

É importante ressaltar que o volume descartado poderia ter sido maior, caso fosse considerado um valor de AME superior a 0,2 kgDQO/kgSTV.dia, sendo, portanto, a favor da segurança.

Outro motivo para a não realização de um descarte de maior volume foi a indisponibilidade de espaço na lagoa de lodo, que já se encontrava praticamente cheia.

A Tabela 5.28 apresenta os principais parâmetros operacionais e cinéticos observados durante o monitoramento do reator operado sem descartes programados de lodo.

Tabela 5.28 – Quadro resumo dos parâmetros cinéticos no reator UASB sem descartes programados de lodo.

Parâmetro	Valor	Unidade
Vazão média 4 meses (Janeiro a Maio de 2008)	215,2	m ³ /h
DQO afluente média	836,5	mg/L
Carga Orgânica Afluente	4320,4	kgDQO/dia
Volume total do reator	2705,1	m ³
Carga Orgânica Volumétrica	1,60	kgDQO/m ³ .dia
Biomassa no reator (24/03/2008)	26800,3	kgSTV
Carga biológica (carga de lodo)	0,16	kgDQO/kgSTV.dia
SST efluente média após 10 semanas	147	mg/L
SSV efluente média (70%)	102,9	mg/L
SSV no efluente	531,5	kgSSV/dia
Y no reator	0,12	kgSSV/kgDQO _{aplicada}
Idade do lodo	50	Dias
Eficiência remoção média DQO	69	%
Y no reator	0,18	kgSSV/kgDQO _{removida}

Na Tabela 5.29 são apresentados os resultados referentes ao monitoramento das características de estabilidade do lodo do reator UASB sem descarte programado de lodo. Observa-se que o pH das amostras situou-se entre 6,61 e 7,01 e os valores de alcalinidade sofreram um acréscimo ao longo do tempo.

Tabela 5.29 – Parâmetros de estabilidade do lodo do reator UASB, sem descarte programado de lodo.

Semana	Data de coleta da amostra	Estabilidade do lodo					
		pH	T(°C)	Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)			
				Parcial	Intermediária	Total	AI/AP
1°	24/1/2008	6,71	24,0	249	294	543	1,18
		6,72	24,0	232	296	529	1,28
		6,70	24,0	229	259	487	1,13
2°	31/1/2008	6,87	24,0	283	339	623	1,20
		6,61	24,0	336	253	589	0,75
		6,70	24,0	267	286	552	1,07
3°	7/2/2008	-	24,5	-	-	-	-
		-	24,5	-	-	-	-
		-	24,5	-	-	-	-
4°	12/2/2008	6,63	22,0	284	302	586	1,06
		6,69	22,0	357	314	672	0,88
		6,77	22,0	271	260	531	0,96
5°	18/2/2008	6,65	26,0	346	381	727	1,10
		6,61	26,0	363	382	745	1,05
		6,82	26,0	397	343	740	0,87
6°	25/2/2008	6,83	25,0	367	343	710	0,94
		6,84	25,0	366	417	783	1,14
		6,76	25,0	376	374	750	0,99
7°	3/3/2008	6,84	24,0	317	613	931	1,93
		6,81	24,0	304	530	834	1,75
		6,87	24,0	301	312	613	1,03
8°	10/3/2008	6,91	25,0	355	415	770	1,17
		6,81	25,0	342	453	795	1,32
		6,98	25,0	350	449	798	1,28
9°	17/3/2008	6,80	25,0	328	467	795	1,43
		6,92	25,0	310	479	790	1,54
		6,88	25,0	297	366	663	1,23
10°	24/3/2008	6,78	26,0	349	481	830	1,38
		6,80	26,0	326	360	686	1,11
		6,79	26,0	319	347	666	1,09
11°	31/3/2008	6,67	25,0	352	483	835	1,37
		6,69	25,0	349	474	822	1,36
		6,77	25,0	363	427	790	1,18
12°	7/4/2008	6,97	25,0	423	536	959	1,27
		6,91	25,0	424	504	929	1,19
		6,90	25,0	447	464	911	1,04

Nota: Na 3° semana não foram determinados os dados referentes a pH e alcalinidade devido à problemas de calibração no medidor de pH.

Tabela 5.29 – Parâmetros de estabilidade do lodo do reator UASB, sem descarte programado de lodo (Continuação).

Semana	Data de coleta da amostra.	Estabilidade do lodo					
		pH	T(°C)	Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)			
				Parcial	Intermediária	Total	AI/AP
13°	14/4/2008	6,61	25,5	387	515	902	1,33
		6,81	25,5	395	433	829	1,10
		6,69	25,5	353	487	840	1,38
14°	21/4/2008	6,70	26,0	371	577	948	1,55
		6,74	26,0	345	484	829	1,40
		6,74	26,0	341	416	757	1,22
15°	28/4/2008	6,78	26,0	357	441	798	1,23
		6,78	26,0	385	371	756	0,97
		6,80	26,0	346	394	740	1,14
16°	5/5/2008	6,80	25,0	454	510	964	1,12
		7,01	25,0	457	489	946	1,07
		6,78	25,0	379	470	850	1,24
17°	10/5/2008	6,94	25,0	391	478	869	1,22
		6,91	25,0	414	454	868	1,10
		6,78	25,0	378	459	836	1,22

Nota: Na 3ª semana não foram determinados os dados referentes a pH e alcalinidade devido à problemas de calibração no medidor de pH.

Analisando a Figura 5.34, observa-se um relativo acréscimo da alcalinidade total das amostras de lodo ao longo do tempo. Outra observação diz respeito às três zonas amostradas; houve em geral uma elevação do valor da alcalinidade total das amostras ensaiadas à medida que se atingiam profundidades mais elevadas no reator.

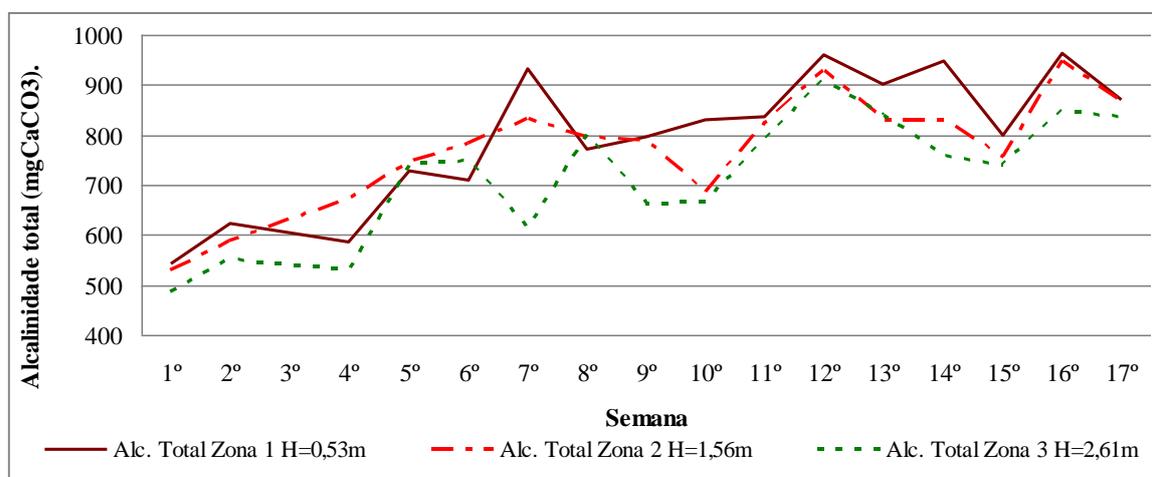


Figura 5.34 – Evolução da alcalinidade total das amostras de lodo do reator UASB nas três zonas amostradas no reator UASB sem descarte programado de lodo.

5.4.7. Monitoramento do crescimento da espuma

No dia 19 de fevereiro, decorrido 1 mês da interrupção dos descartes de lodo, foi realizada a abertura da visita e verificada a espuma acumulada no interior do separador trifásico do reator. Observou-se que a mesma já se apresentava espessa, com cerca de 21 cm de espessura. O gerente da operação solicitou, então, que se realizasse a remoção da espuma com o emprego do sistema de diluição e remoção existente. Acompanhando o processo pôde-se perceber que o mesmo não corresponde à ação prevista em projeto. A espessa camada de espuma não consegue ser deslocada para as extremidades do reator com a ação do sistema de aspersão. O máximo que ocorre é a quebra de parte da camada de espuma, resultando na perda de sólidos junto ao grande volume de efluente tratado que é descartado no processo. Ao término do processo, foi anotada a vazão descartada que somou 37,91m³.

Operando reatores UASB em escala de demonstração tratando esgotos domésticos, Souza *et al.* (2006) classificaram a espuma de acordo com o seu aspecto visual. Relataram a presença de espuma de coloração esverdeada na superfície do decantador dos reatores sob determinadas condições operacionais, o que também foi observado durante o experimento na ETE Gama, conforme apresentado na Figura 5.35.



Figura 5.35 – Formação de espuma de coloração esverdeada no reator anaeróbio de fluxo ascendente da estação de tratamento de esgotos do Gama.

Em outras condições, os reatores apresentavam também a formação de espuma de coloração acinzentada, aparentemente também identificada no reator UASB da ETE Gama

e mostrada na Figura 5.36, não sendo realizada, porém, a caracterização microbiológica da espuma. A espuma de coloração acinzentada tem como características a ausência de microrganismos fotossintetizantes, resultado das condições anaeróbias do lodo carregado do compartimento de digestão do reator, em função da elevação das velocidades ascensionais.

De acordo com Souza *et al.* (2006) a entrada de luz no compartimento de decantação de reatores UASB abertos, atuando em conjunto com a disponibilidade de nutrientes propiciada pela digestão anaeróbia, possibilitam a ploriferação de algas e outros microrganismos fotossintetizantes, podendo contribuir para a formação de uma camada compacta de espuma, tal como a que ocorre em águas paradas ou em lagos eutrofizados.



Figura 5.36 – Formação de espuma de coloração acinzentada no reator anaeróbio de fluxo ascendente da estação de tratamento de esgotos do Gama.

A ineficiência do processo de descarte de espuma pôde ser comprovada durante os 4 meses de monitoramento também do reator UASB submetido à rotina operacional da CAESB. Além de não propiciar a remoção da espuma superficial, grandes volumes de efluente tratado são descartados para a lagoa de lodo. Há uma nítida sobrecarga das unidades e equipamentos do sistema de desaguamento mecânico do lodo, levando à operação ininterrupta da centrífuga por várias horas, resultando em aumento sensível nos custos operacionais (mão de obra, energia elétrica e produtos químicos.).

5.4.8. Caracterização morfológica do lodo anaeróbio

Optou-se inicialmente por se determinar as características morfológicas do lodo anaeróbio apenas do reator UASB operado sem descarte intencional de lodo. A rotina de freqüentes descartes de lodo, empregada no reator operado pela CAESB, inviabilizaria a retirada de uma amostra de lodo do reator que apresentasse alguma representatividade, em face da retirada semanal de parte da biomassa do reator.

Após 20 dias da interrupção do descarte de lodo, foi extraída uma amostra do lodo às 10:00 horas do dia 12/02/2008, na camada localizada a 1,56 m do fundo do referido reator. A Figura 5.37 apresenta a distribuição de freqüência relativa referente ao tamanho dos flocos do lodo do reator UASB operado sem descarte de lodo. Ainda de acordo com a Figura 5.35, 53,3% dos flocos incluídos na análise apresentaram dimensões estimadas menores que 100 μm de Diâmetro equivalente (Deq), enquanto que apenas 1% apresentou dimensões maiores ou iguais a 500 μm .

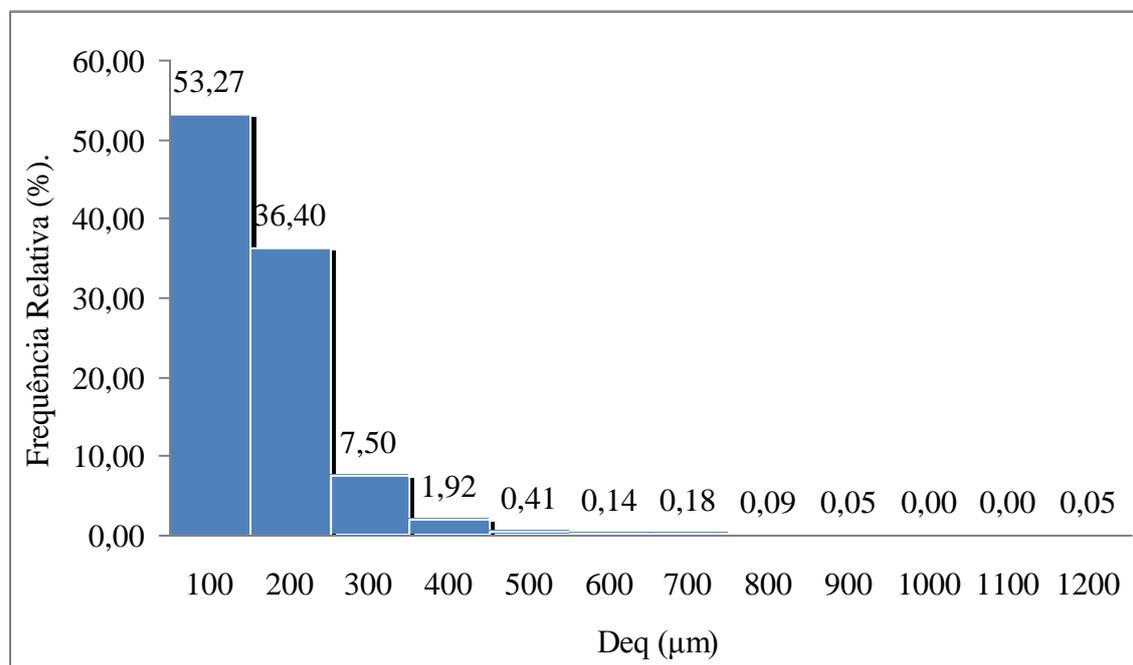


Figura 5.37 – Histograma de distribuição de freqüência do Deq (μm) do lodo do reator UASB operado sem descarte de lodo.

A análise digital de imagens permitiu ainda avaliar a morfologia dos agregados microbianos, pela estimação dos parâmetros de circularidade, convexidade e razão de

aspecto. A Figura 5.38 apresenta uma representação esquemática de um agregado microbiano anaeróbio e filamentos (Araya-Kroff *et al.*, 2004).

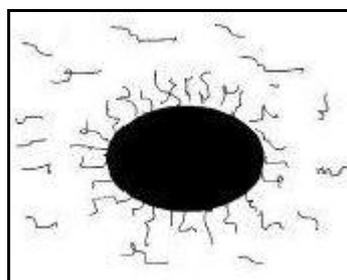


Figura 5.38 – Representação esquemática de um agregado microbiano anaeróbio e filamentos, adaptado de Araya-Kroff *et al.*, 2004.

A Tabela 5.30 apresenta os parâmetros morfológicos da amostra do lodo retirada do reator UASB sem descarte de lodo. A referida Tabela mostra que o Deq do lodo variou de 58,87 – 1139,75 μm , com valor médio de 120,20 μm . Segundo os valores da circularidade encontrados, pode se verificar que os flocos têm uma tendência a circularidade, conforme mostra também a Figura 5.18. Esta tendência pode ser confirmada por meio dos valores de convexidade os quais oscilaram entre 0,25 – 0,97 com valor médio de 0,72, o que sugere a ocorrência de flocos altamente convexos, sugerindo que os agregados microbianos apresentam morfologia tendendo a granular. Ainda, os valores da razão de aspecto, no intervalo de 1,05 – 5,89 indicam que os flocos apresentaram uma morfologia predominantemente circular.

Tabela 5.30 - Caracterização morfológica do lodo do reator UASB, sem descarte de lodo.

Valores	Circularidade	Convexidade	Razão de aspecto	Deq. (μm)
N	2187	2187	2187	2187
Média	3,64	0,72	1,59	120,20
D. Padrão	2,71	0,12	0,37	75,91
Máximo	41,93	0,97	5,89	1.139,75
Mínimo	1,10	0,25	1,05	58,87

Amaral (2003) operando um reator UASB em escala piloto submetido a cargas orgânicas e tempos de detenção hidráulica crescentes observou a evolução da biomassa em relação a alguns parâmetros morfológicos. Verificou que havia um incremento no número de agregados com diâmetro equivalente entre 0,1 e 1 mm, à medida que o tempo de

experimento avançava. Observou que o mesmo acontecia para os agregados com diâmetro equivalente superior a 1 mm. Não houve praticamente variação na faixa entre 0,01 e 1 mm ou inferior a 0,01 mm ao longo do experimento. Os agregados com diâmetro equivalente inferior a 0,1 mm representaram 94 % do total dos agregados ao término do experimento, sendo que os agregados com diâmetro equivalente superior a 0,1 mm atingiram o valor máximo de 6 % do total. No caso do reator UASB da ETE Gama, operado sem descarte programado de lodo, 53,3% dos flocos apresentaram dimensões estimadas menores que 0,1 mm, e 46,7% apresentaram dimensões maiores ou iguais a 0,1 mm.

Analisando a Figura 5.39, verifica-se que mais de 83% dos flocos apresentam circularidade entre 0 e 5.

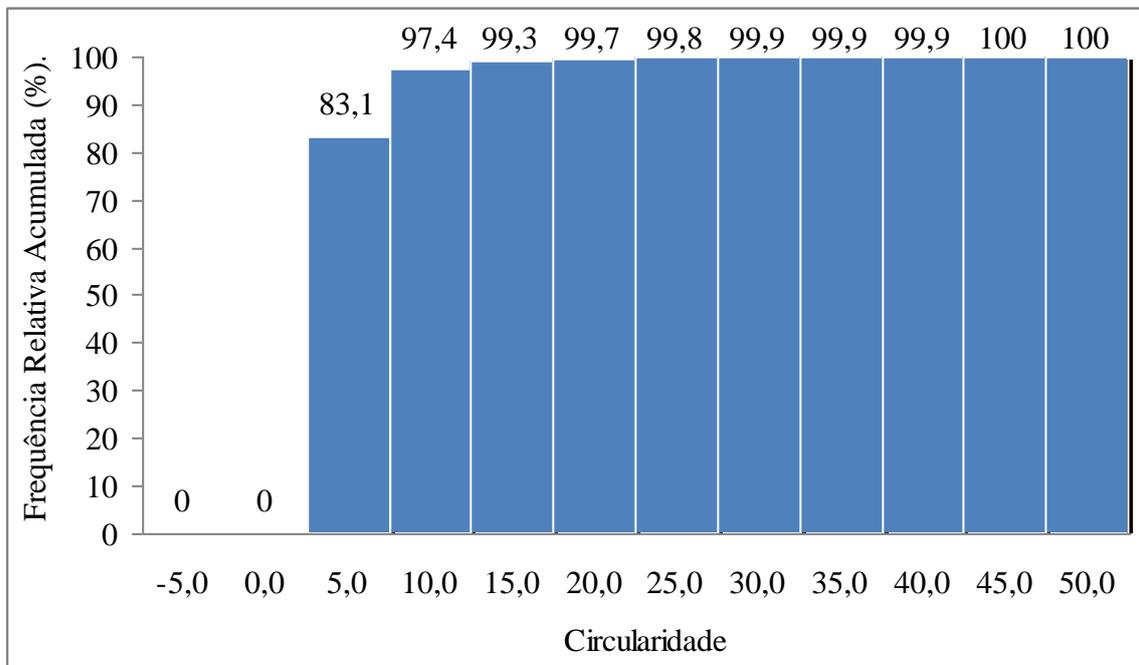


Figura 5.39 – Histograma de distribuição de frequência relativa acumulada da circularidade dos flocos do lodo do reator UASB operado sem descarte programado de lodo.

Observando a Figura 5.40, verifica-se que apenas 16% dos flocos da amostra analisada apresentaram convexidade inferior a 0,6. Os valores médios de convexidade e circularidade próximos da unidade sugerem que a morfologia da amostra analisada apresenta características próprias de agregados microbianos anaeróbios (Araya-Kroff et al., 2004).

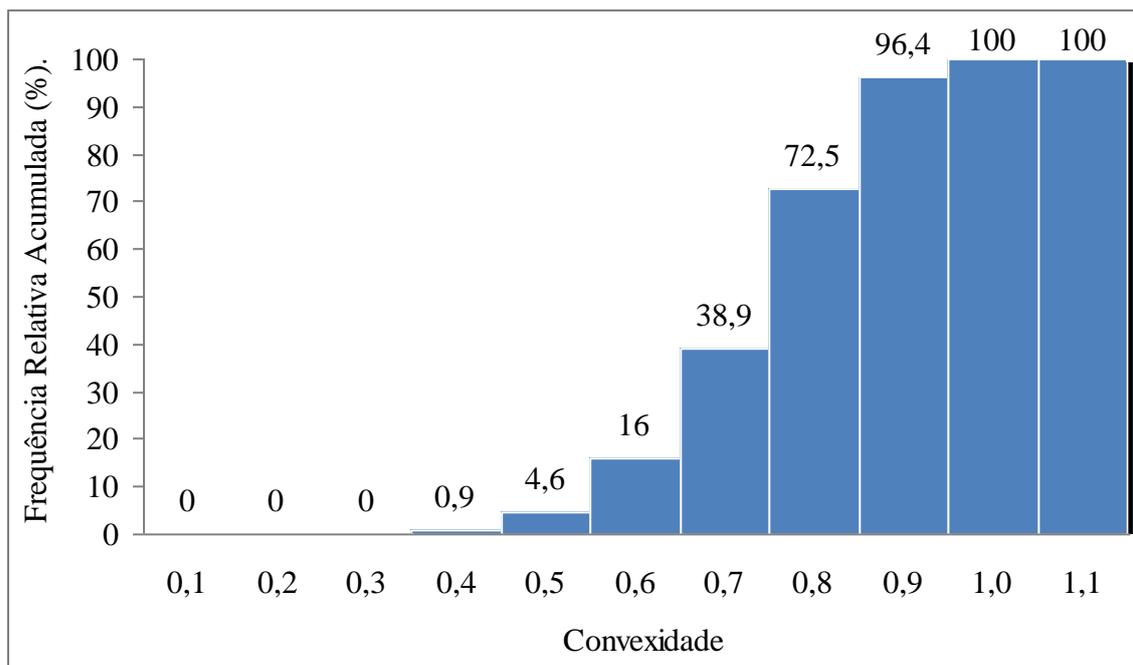


Figura 5.40 – Histograma de distribuição de frequência relativa acumulada da convexidade dos flocos do lodo do reator UASB operado sem descarte programado de lodo.

Em seu experimento, Amaral (2003) verificou ainda que a convexidade dos agregados microbianos com diâmetro equivalente entre 0,01 e 0,1 mm apresentou valores próximos a 0,8. No reator UASB da ETE Gama, mais da metade dos agregados apresentava diâmetro equivalente inferior a 0,1 mm, e valor médio de convexidade igual a 0,72. A partir da análise morfológica dos flocos pode-se inferir que os mesmos apresentaram uma morfologia típica de agregados microbianos anaeróbios, vide Figuras 5.41 e 5.42.

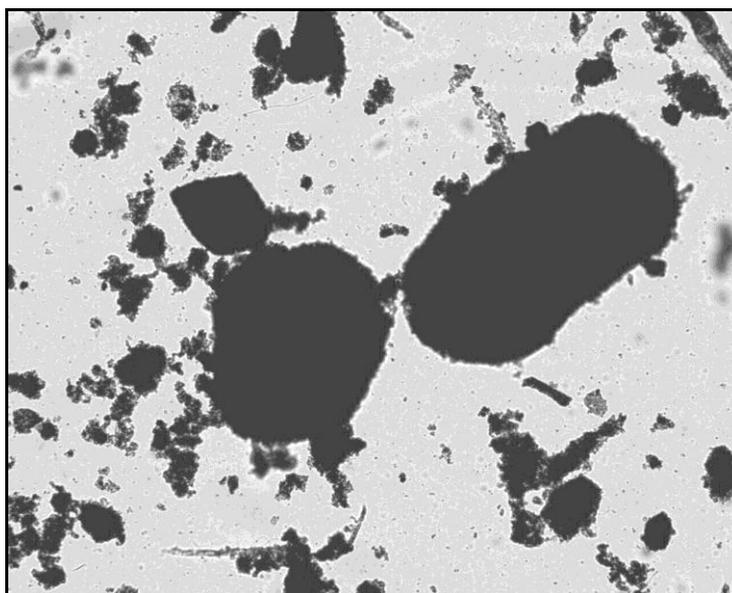


Figura 5.41 – Imagem de flocos do lodo do reator UASB operado sem descarte de lodo (50x).

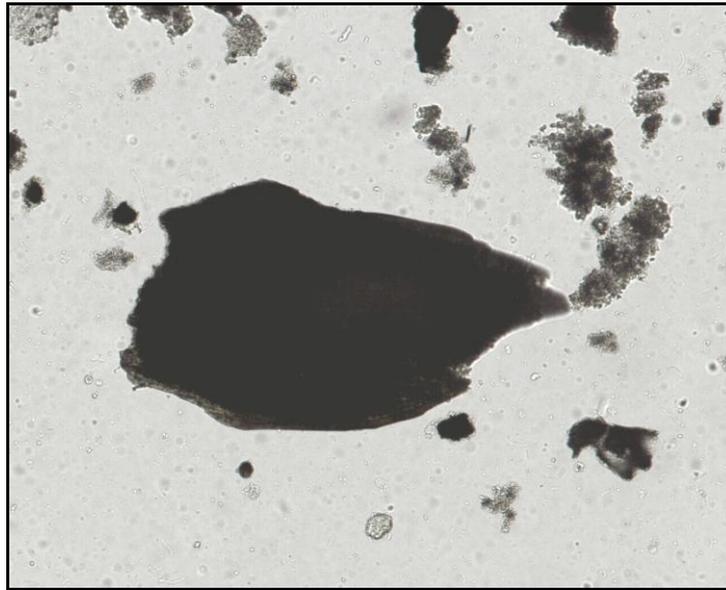


Figura 5.42 – Imagem de flocos do lodo do reator UASB operado sem descarte de lodo (50x).

5.4.9. Aspectos de manutenção dos reatores

Os reatores UASB da estação de tratamento de esgotos do Gama já se encontram em operação há cerca de cinco anos. Durante este período, houve interrupções na operação das unidades em função da necessidade de manutenção. Dentre as ações mais importantes desenvolvidas, pode-se citar: aplicação de revestimento em fibra de vidro nas caixas de coleta do efluente dos reatores, com a instalação de novos vertedores também do mesmo material e a recuperação da estrutura em concreto do coletor de gás, por meio do preenchimento de trincas e fissuras. Ações de manutenção das válvulas de controle e das bombas do sistema de diluição de espuma e fixação de suportes e tubos de coleta do efluente também foram observadas.

Uma das soluções apontadas por Fortunato *et al.* (2000) para os efeitos da agressividade do ácido sulfúrico, formado por sulfetos, ao concreto dos reatores anaeróbios, é a pintura dos reatores com borracha clorada ou epóxi betuminosa, constituindo uma barreira química para superfícies de concreto expostas em ambiente de média a alta agressividade.

Durante cada ação de manutenção dos reatores UASB, ficou clara a dificuldade em se esvaziar os tanques e remover o material acumulado no fundo, que não foi possível ser esgotado via sistema de descarte de lodo. Outro problema observado foi a dificuldade em

se dispor o material removido em virtude da superlotação da lagoa de lodo e da falta de vaga no galpão de armazenamento de lodo.

Verifica-se também alguma dificuldade no tocante à disponibilidade de peças de reposição para o sistema de diluição de espuma e de equipamentos adequados ao esgotamento dos reatores, quando este se faz necessário.

Devido às características construtivas do reator UASB e da configuração dos separadores trifásicos o acesso ao seu interior fica bastante difícil. Chernicharo (2007) sugere a previsão de pontos de acesso, localizados junto às paredes laterais e próximos ao fundo do reator, usualmente constituídos de flanges cegos, com diâmetros de 800 a 1000 mm. Em função da disposição dos reatores em um platô mais elevado em relação ao tratamento secundário, a previsão de tais elementos em projeto seria viável, o que poderia facilitar sobremaneira a limpeza dos tanques em uma eventual necessidade de manutenção.

Outros problemas têm sido observados nos reatores UASB em operação na ETE Gama, sendo os mais importantes decorrem do extravasamento nas caixas de distribuição do afluente, entupimento nas tubulações de entrada no reator e degradação do concreto das caixas de coleta do efluente tratado. Podem ter origem na baixa eficiência do tratamento preliminar (falhas no peneiramento mecanizado e desarenadores), sobrecargas hidráulicas, características do esgoto afluente, baixa educação sanitária da população, falhas na especificação de materiais, dentre outras. Medidas de controle têm sido implantadas de modo a minimizar os problemas detectados.

Dentre as melhorias sugeridas pelos gerentes das áreas operacionais da CAESB para os reatores UASB, as principais dizem respeito aos sistemas de remoção de lodo e de espuma, coletores de gás e alterações nos separadores de fases, conforme mostrado na Figura 5.43.

A implantação de um sistema de amostragem de lodo bem como do acréscimo dos pontos de descarte de lodo vem ao encontro às recomendações constantes da bibliografia consultada. A implantação de coletores de gás nas unidades que não os dispõem também é importante do ponto de vista ambiental. A captação e destinação adequadas do biogás contribuem para minimizar a emissão de gases que contribuem para o efeito estufa.

Alterações nas especificações dos coletores de gás já estão em avaliação nas unidades do Paranoá e de São Sebastião, encontrando-se em reforma atualmente.

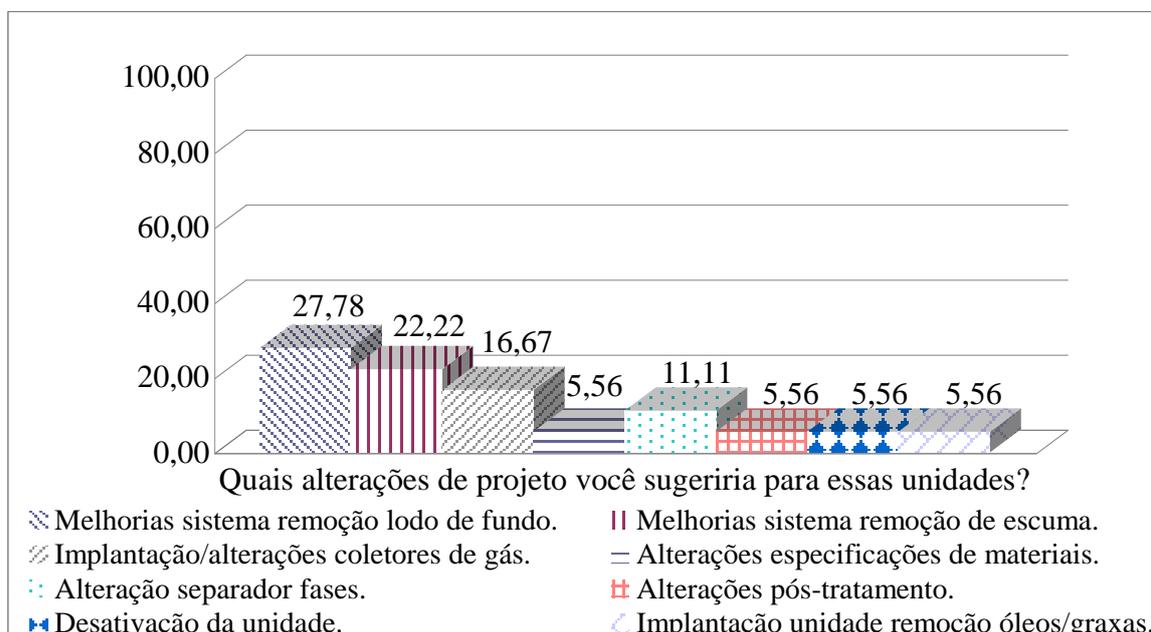


Figura 5.43 – Percentuais relativos às alterações de projeto sugeridas pelos gerentes das áreas operacionais, para os reatores UASB nas estações de tratamento de esgotos no DF.

5.4.10. Aspectos de operação do reator

A frequência adotada pela área operacional para o descarte de lodo e remoção de espuma dos reatores UASB tem trazido algumas desvantagens do ponto de vista da flexibilidade na utilização das unidades da estação bem como da mão de obra disponível.

Os sucessivos descartes de lodo e espuma impõem uma sobrecarga às unidades de processamento de lodo da estação. A lagoa de lodo permanece por longos períodos com sua capacidade de armazenamento esgotada, podendo prejudicar o descarte de lodo ativado do tratamento secundário, mais sensível ao processo de tratamento da estação. A unidade de desaguamento mecânico permanece trabalhando por períodos mais longos, consumindo mais energia e produtos químicos.

Andreoli *et al.* (2001) avaliaram que, embora o lodo represente apenas de 1% a 2% do volume do esgoto tratado, o seu gerenciamento é bastante complexo, tendo um custo entre 20% a 60% do total gasto com a operação de uma estação de tratamento de esgotos. Nesse

contexto torna-se importante reavaliar as estratégias operacionais de manejo de lodos nos reatores UASB também com o objetivo de redução dos custos de operação.

No tocante à mão de obra, as ações de descarte de lodo e espuma dos reatores UASB demandam a presença de no mínimo dois operadores trabalhando em um período de cerca de 4 horas, na abertura e fechamento de válvulas e registros. Por não haver controle dos volumes descartados, não há garantia de que o desempenho do reator não possa ser afetado. Se houver um descarte de maior intensidade, há conseqüente redução da capacidade de degradação da carga orgânica afluyente e se o descarte for insuficiente, haverá a possibilidade de perda de sólidos no efluente.

Uma melhor compreensão do processo poderá trazer economia à operação em diversos aspectos: mão de obra, consumo de energia elétrica e de produtos químicos, peças de reposição, etc.

5.5. NOVAS PERSPECTIVAS PARA OS REATORES UASB NO DISTRITO FEDERAL

Estão sendo implantadas algumas alterações de projeto e especificações durante ações programadas para reforma dos reatores UASB em algumas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal.

Na ETE Paranoá, está sendo substituída a grade mecanizada do tratamento preliminar e recuperado o classificador de areia do desarenador da unidade, que estavam apresentando desempenho insuficiente.

No tocante aos reatores UASB, as modificações são mais extensas: revestimento das caixas de coleta do efluente tratado, implantação de estruturas de coletores de gás e sistema de remoção de espuma, melhorias na distribuição e coleta do efluente, além de alterações nos separadores de fases, que serão constituídos de telhas em fibra de vidro, conforme ilustrado na Figura 5.44.



Figura 5.44 – Implantação de alterações de projeto nos reatores UASB da ETE Paranoá. Revestimento das caixas de coleta e separadores de fases em fibra de vidro.

Na ETE São Sebastião também será substituída a grade mecanizada do tratamento preliminar e recuperado o classificador de areia do desarenador da unidade. No tocante aos reatores UASB, as modificações também serão importantes: revestimento em fibra de vidro das caixas de coleta do efluente tratado, implantação de estruturas de coletores de gás e sistema de remoção de espuma, melhorias na distribuição e coleta do efluente, além de alterações nos separadores de fases, que serão constituídos de laminado vinílico, conforme ilustrado na figura 5.45. A coleta do efluente clarificado será realizada por meio de calhas localizadas junto ao coletor de gás e nas laterais dos reatores, sem a existência de retentores de espuma.

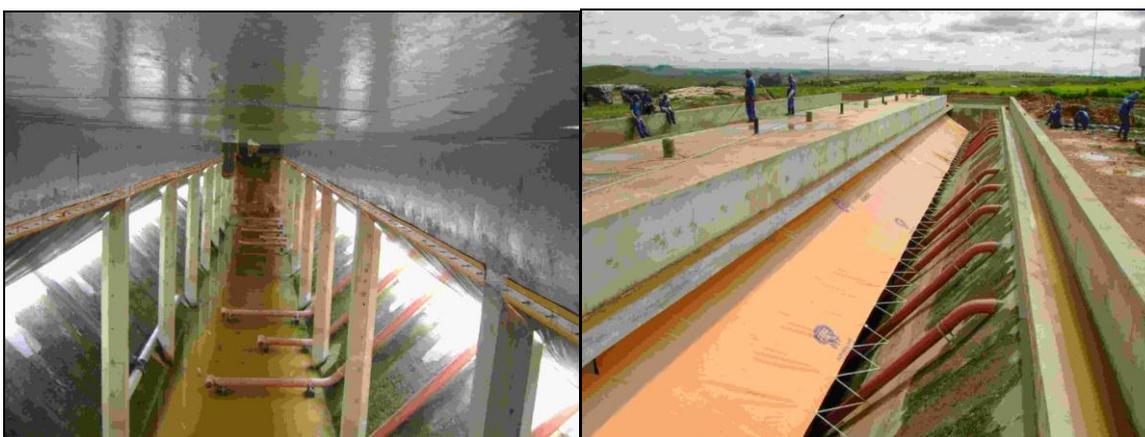


Figura 5.45 – Implantação de alterações de projeto nos reatores UASB da ETE São Sebastião. Separadores de fases em laminado vinílico.

De acordo com Chernicharo (2007), quanto ao separador trifásico, o emprego de materiais não corrosivos, mais leves e menos volumosos como PVC, lona e resina poliéster reforçada com fibra de vidro, têm sido opções que vêm ganhando espaço nos últimos anos.

No tocante à formação da espuma, Gomes *et al.* (2005) sugerem como alternativas ao seu controle, a utilização de peneiras rotativas para o esgoto bruto com aberturas bem finas (2mm) ou ainda para o efluente dos reatores UASB sem a utilização de cortinas retentoras de espuma. Outras possibilidades seriam reter a espuma em pós-tratamentos, como escumadeiras de decantadores de lodos ativados e flotação. Souza *et al.* (2007), entretanto não encontraram substanciais diferenças na produção de espuma em reatores UASB em escala de demonstração com o emprego de um peneiramento forçado na linha de alimentação do reator. Tal dispositivo possibilitaria reduzir o tamanho dos sólidos particulados que adentram o reator, acelerando as taxas de conversão metabólicas.

Uma alternativa ao problema de formação da espuma foi avaliada por Pereira *et al.* (2007), por meio de um estudo comparativo entre um reator UASB convencional e um reator UASB modificado, dotado de dois estágios de coleta de biogás e sem dispositivo para retenção de espuma, ambos em escala piloto. O reator UASB modificado apresentou desempenho similar, quando comparado ao convencional, quanto à remoção de matéria orgânica, não apresentando excessiva deterioração da qualidade do efluente, mesmo não possuindo retentor de espuma. O reator modificado promoveu ainda um efetivo controle da formação de espuma no separador trifásico, apresentando uma espuma bem mais estabilizada e com menor taxa de acumulação. A concentração do fluxo gasoso no primeiro estágio do reator modificado possibilitaria agitação junto à camada de espuma, promovendo seu controle no reator pelos mecanismos de degradação e desestruturação. Outra observação realizada diz respeito à granulação do lodo observada no reator modificado, o que permitiria operar o reator sob TDH menores ou com volumes reduzidos. Tal configuração de reator UASB poderia ser objeto de avaliação em escala real, a fim de se comprovar os benefícios observados no referido trabalho.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O levantamento das estratégias de manejo de lodos dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo no Distrito Federal, realizado junto às áreas operacionais, demonstrou dificuldades na operação dessas unidades. As estratégias de descarte de lodo obedecem apenas observações empíricas e a conveniência da operação no tocante à disponibilidade das unidades de armazenamento e processamento do lodo. A falta do conhecimento dos fatores que influenciam e são influenciados pelo descarte de lodo dos reatores faz com que a operação dessas unidades torne-se mais onerosa e requeira constantes ações de manutenção.

Verifica-se que o modelo de reator UASB empregado no Distrito Federal apresenta eficiência esperada na remoção de matéria orgânica, mesmo quando operado sob condições de sobrecarga hidráulica, longo período sem descarte programado de lodo ou ainda sob condições de manutenção inadequadas.

Os indicadores de estabilidade do reator não submetido a descartes programados de lodo (pH, alcalinidade, ácidos graxos voláteis e relação AI/AP) revelaram-se eficientes no acompanhamento do processo de digestão anaeróbia. Considerando esses indicadores, não houve instabilidade em ambos os reatores avaliados, durante o desenvolvimento do experimento.

Comparando o desempenho dos reatores operados com e sem descarte programado de lodo, as duas modalidades de operação dos reatores UASB produziram efluentes de características distintas no tocante aos parâmetros de DBO e DQO, nos níveis de 0,05 e de 0,10 de significância. No tocante aos parâmetros de SST e sólidos sedimentáveis, as duas modalidades de operação dos reatores UASB produziram efluentes de características iguais somente ao nível de 0,05 de significância. A ocorrência de sobrecargas hidráulicas oriundas do período chuvoso pode ter influenciado os resultados.

Ao se analisar o tratamento preliminar da estação de tratamento de esgotos do Gama, pôde-se verificar que o mesmo não vem atendendo requisitos satisfatórios de desempenho, apresentando sucessivos problemas nos equipamentos mecânicos, bem como problemas de

dimensionamento hidráulico. O mau funcionamento do tratamento preliminar ocasiona perda de material não gradeado e de areia para os reatores anaeróbios, podendo favorecer a formação de espuma superficial e acúmulo de material inerte no interior do reator, diminuindo a sua altura útil e aumentando as perdas de carga junto ao esgoto afluente.

A análise dos parâmetros cinéticos, particularmente quanto à evolução da biomassa no reator, revelou que essa se deu de maneira relativamente lenta, à taxa de 0,18 kgSSV/kgDQO_{removida}, durante o período avaliado. Considerando que parte do lodo produzido no reator é descarregado com o efluente, o valor encontrado é coerente com a literatura consultada.

As características construtivas do reator revelaram inadequação para o acompanhamento do crescimento da manta de lodo. A ausência de dispositivos para amostragem a diversas profundidades da zona de digestão dificulta a correta caracterização da biomassa e uma melhor definição da rotina de descartes. A configuração empregada no separador de fases e demais elementos de distribuição e coleta dos esgotos demandou a utilização de um amostrador especialmente desenvolvido para a extração de amostras de lodo do reator, que se mostrou adequado para tal finalidade no tocante à facilidade de construção e manipulação pelas equipes de operação.

Monitorando o crescimento da manta de lodo no reator UASB operado sem descartes programados de lodo, verificou-se que a frequência de descartes de lodo atual poderá ser estendida para um intervalo próximo a 32 dias, sem nenhum prejuízo para o desempenho do tratamento. Na hipótese de se arbitrar um valor de AME superior a 0,20 kgDQO/kgSTV.dia, nos reatores UASB da ETE Gama, o intervalo entre descartes sucessivos de lodo ainda poderá ser estendido. Tal operação ficaria condicionada à disponibilidade dos sistemas de armazenamento e disposição final de lodo.

Não foram observados impactos negativos na qualidade do efluente do reator operado sem descarte programado de lodo, decorrentes da acumulação de espuma na superfície do reator, durante o período do experimento. A percepção levantada pelas equipes operacionais da CAESB de que a realização de descartes frequentes do lodo de fundo dos reatores reduziria a formação de espuma superficial não pôde ser comprovada durante a realização do experimento. A operação de diluição e remoção de espuma nos reatores

UASB da ETE Gama não proporcionou a remoção da espuma localizada no interior do separador trifásico e ainda promoveu uma sobrecarga nas unidades de disposição final do lodo. O período chuvoso contribuiu para a pouca acumulação de espuma na superfície dos decantadores dos reatores.

A simplificação das rotinas operacionais, trazida pela redução da frequência de descartes de lodo e de espuma, poderá liberar parte da mão-de-obra empregada na ETE Gama para o desempenho de outras atividades. A redução da carga de lodo e de espuma nas unidades de armazenamento e processamento de lodo também propiciará redução dos gastos com produtos químicos, energia elétrica e manutenção na estação.

Recomenda-se uma reavaliação do projeto dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo no Distrito Federal, prevendo a inserção de dispositivos para a amostragem do lodo do reator. O acompanhamento das características de desenvolvimento da manta de lodo é tarefa imprescindível para a determinação da frequência e intensidade dos descartes de lodo necessários à manutenção da qualidade do efluente.

Em face do elevado número de estações de tratamento de esgotos em operação no Distrito Federal que possuem reatores UASB, sugere-se a elaboração de um plano de gestão de lodos que contemple melhorias junto às áreas operacionais e de manutenção dessas unidades.

É necessária uma reavaliação do projeto dos reatores também no tocante às estruturas de distribuição do afluente, descarte de lodo de fundo e diluição e remoção de espuma. O crescente investimento em estruturas para remoção de espuma não tem alcançado resultados satisfatórios. Em face da deficiência apresentada na remoção de sólidos grosseiros, areia, óleos e graxas, no tratamento preliminar da estação, sugere-se investir em um projeto de tratamento preliminar mais eficiente, inclusive no tocante aos equipamentos e estruturas hidráulicas.

Recomenda-se, também, estender as observações das características morfológicas para lodos de outros reatores UASB das estações de tratamento de esgotos do DF. A determinação das morfologias dos flocos poderá auxiliar o monitoramento dos lodos nos reatores, possibilitando uma operação mais eficiente dessas unidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aisse, M. M. (2000). *Sistemas econômicos de tratamento de esgotos sanitários*. ABES, Rio de Janeiro, Brasil, 192p.
- Aisse, M. M., Fortunato, C. M., Schafaschek, L., Fuganti, L. M. (2000). “Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbios: Monitoramento de reatores tipo RALF”. *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo – coletânea de trabalhos técnicos*, ABES, Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, Brasil, 348p.
- Aiyuk, S., Forrez, I., Lieven, K., van Haandel, A., Verstraete, W. (2006). “Anaerobic and complementary treatment of domestic sewage in regions with hot climates – A review.”, *Bioresource Technology*, **97**(17), 1376-1389.
- Amaral, A. L. P. (2003). Image analysis in biotechnological processes: applications to wastewater treatment. Dissertation for PhD degree in chemical and biological engineering at the University of Minho. Escola de Engenharia. Departamento de Engenharia Biológica, 240p.
- Andrade Neto, C. O. (1994). *Relatório final: Pesquisa referente à experiência brasileira relativa a sistemas de baixo custo para tratamento de águas residuárias*. Caixa Econômica Federal, Rio de Janeiro, Brasil, 228p.
- Andreoli, C. V. (2001). *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Belo Horizonte, Brasil, 484p.
- APHA, AWWA, WPCF (1999). *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Separatas, EUA.
- Aquino, S. F. e Chernicharo C. A. L. (2005). “Acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGVs) em reatores anaeróbios sob estresse: causas e estratégias de controle.”, *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, **10**(2), 152-161.
- Araya-Kroff, P., Amaral, A. L., Neves, L., Ferreira E. C., Pons, M.-N., Mota, M., Alves, M. M. (2003). “Development of image analysis techniques as a tool to detect and quantify morphological changes in anaerobic sludges: I. Application to a granulation process. *Biotechnology and Bioengineering* , **87**(2), 184-193.
- Branco, S. M., Porto, R. L. (1991). *Hidrobiologia ambiental*, Editora da Universidade de São Paulo: ABRH, São Paulo, Brasil, 414p.

- Campos, J. R. (coordenador) (1999). *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*, ABES, Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, Brasil, 464p.
- Cavalcanti, P. F. F., Medeiros, E. J. S., Silva, J. K. M. e van Haandel, A. (1999). “Excess sludge discharge frequency for UASB reactors.”, *Water Science & Technology*, **40**(8), 211-219.
- Chernicharo, C. A. L. (2007). *Reatores anaeróbios*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Belo Horizonte, Brasil, 246p.
- CODEPLAN (2006). *Coletânea de informações socioeconômicas – Região administrativa Gama RA – II*, Companhia de Desenvolvimento do Planalto Central, Brasília, Brasil.
- Coelho, A. L. S. S. e Foresti, E. (2005). “Influência do tempo de detenção e da taxa de aplicação de lodo na hidrólise e acidogênese de lodo primário.”, *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, **10**(2), 175-179.
- Defour, D., Derycke, D., Liessens, J. e Pipyn, P. (1994). “Field experience with different systems for biomass accumulation in anaerobic reactor technology”, *Water Science and Technology*, **30**(12), 181–191.
- Florencio, L., Kato, M. T. e Morais, J. C. (2001). “Domestic sewage treatment in full-scale UASB plant at Mangueira, Recife, Pernambuco”, *Water Science and Technology*, **44**(4), 71–77.
- Foresti, E. (coordenador) (2005). *Métodos de análises físico-químicas de rotina de águas residuárias tratadas biologicamente*, Projeto Temático FAPESP, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 85p.
- Fortunato, C. M., Gomes, C. S., Andreoli, F. N., Aisse, M. M. (2000). “Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbios: Agressividade de sulfetos ao concreto de reatores RALF”. *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo – coletânea de trabalhos técnicos*, ABES, Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, Brasil, 348p.
- Freire, V. H., von Sperling, M., Chernicharo, C. A. L. (1999). “Avaliação do desempenho de um sistema combinado UASB – lodos ativados no tratamento de efluentes sanitários.” *Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. I-160, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.
- Ghangrekar, M. M., Asolekar, S.R. e Joshi, S.G. (2005). “Characteristics of sludge developed under different loading conditions during UASB reactor start-up and granulation.”, *Water Research*, **39**(6), 1123-1133.

- Gomes, C. S., Alves H. B., Squiba, L. M. (2005). “Escumas como pesadelos dos tratamentos RALF e UASB, para esgotos sanitários.” *Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. II-449, Campo Grande, Brasil.
- Hulshoff Pol, L. W., Lopes, S. I., Lettinga, G. e Lens, P. N. L. (2004). “Anaerobic sludge granulation.”, *Water Research*, **38**(6), 1376-1389.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2000). *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*, Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais, Brasília, Brasil.
- Leitão, R. C., Lopes A. C., van Haandel, A. C., Zeeman, G. e Lettinga, G. (2005). “Expansibilidade da manta de lodo em reatores UASB.” *Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. II-179, Campo Grande/MS, Brasil.
- Lima, A. S. (1998). Análise de desempenho de reator anaeróbio UASB associado a leito cultivado de fluxo subsuperficial para tratamento de esgoto doméstico. Dissertação de mestrado, Publicação MTARH.DM-011A/98, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília/DF, Brasil, 93p.
- Liu, Y., Xu, H., Yang, S. e Tay, J. (2003). “Mechanisms and models for anaerobic granulation in upflow anaerobic sludge blanket reactor.”, *Water Research*, **37**(3), 661-673.
- Lobato, L. C. S., Chernicharo, C. A. L., Oliveira Filho, J. M., Moraes, O. J. S., Souza, J. R. (2007). “Avaliação de desempenho da pré-operação dos reatores UASB da ETE Onça: Capacidade Instalada 2,05 m³/s.” *Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. II-383, Belo Horizonte/MG, Brasil.
- Medeiros Filho, C. F., van Haandel, A. C., Cavalcanti, P. F. F. (1999). “Efeito da variação temporal da vazão sobre o desempenho de um reator UASB tratando esgoto sanitário.” *Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. I-164, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.
- Melo, H. N. de S., Andrade Neto, C. O., Guimarães, P., Pereira, M. G. (2000). “Partida sem inóculo de um reator de manta de lodo tratando esgotos sanitários diluídos”. *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo – coletânea de trabalhos técnicos*, ABES, Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, Brasil, 348p.
- Metcalf & Eddy (1991). *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. McGraw-Hill, Singapore, 1334p.

- Narnoli, S. K. e Mehrotra, I. (1997). "Sludge blanket of UASB reactor: mathematical simulation.", *Water Research*, **31**(4), 715-726.
- Neder, K. D., Pinto, M. A. T., Ludovice, M. L., Felizatto, M. R. (1999). "Desempenho operacional de reator UASB compartimentado simplificado." *Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.
- Neves, E. T. (1986). *Curso de Hidráulica*. Editora Globo. Rio de Janeiro. Brasil. 577p.
- Oliveira, S. M. A. C. e von Sperling, M. (2005). "Avaliação comparativa de seis tecnologias de tratamento de esgoto, em termos de atendimento a padrões de lançamento para DBO." *Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. II-404, Campo Grande, Brasil.
- Pereira, J. O., Silva, J. S. C., Pereira Neto, G. P., Bastos, G. S. M., Chernicharo, C. A. L. (2007). "Avaliação comparativa do desempenho de reator UASB convencional e reator UASB com dois estágios de coleta de biogás no tratamento de esgotos domésticos." *Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. II-412, Belo Horizonte/MG, Brasil.
- POE/CAESB (2005). *SIESG – Sistema de esgotamento sanitário*. CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, Brasília, Brasil.
- POE/CAESB (2007). *Relatório operacional da ETE Gama – Fevereiro de 2007*. CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, Brasília, Brasil.
- Ripley, L.E.; Boyle, W.C.; Converse, J.C. (1986) "Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes.", *Journal of Water Pollution Control Federation*, **58**(5), 406-411.
- Rissoli, C. A. (2004). Estudo de parâmetros operacionais do reator UASB tratando esgoto doméstico e avaliação da biodegradabilidade do seu efluente. Dissertação de mestrado, Publicação PTARH.DM-073/04, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília/DF, Brasil, 125p.
- Sato, N., Okubo, T., Onodera, T., Ohashi, A. e Harada, H. (2006). "Prospects for a self-sustainable sewage treatment system: A case study on full-scale UASB system in India's Yamuna River Basin.", *Journal of Environmental Management*, **80**(3), 198-207.
- Silva, S. Q., Zerbini, A. M., Godinho, V. M. e Chernicharo, C. A. L. (2005). "Caracterização morfológica de microrganismos presentes em espuma de reatores

- UASB tratando esgotos domésticos.” *Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. II-206, Campo Grande, Brasil.
- Singh, K. S. e Viraraghavan, T. (2002). “Effect of temperature on bio-kinetic coefficients in UASB treatment of municipal wastewater.”, *Water, Air and Soil Pollution*, **136**(1-4), 243-254.
- SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2006). *Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2005. Parte I: Texto – Visão Geral da prestação de serviços*. Ministério das Cidades/SNSA/PMSS.
- Souza, C. L., Aquino, S. F., Teixeira, A. N., Chernicharo, C. A. L. (2005). “Produção e caracterização físico-química da espuma originária de reatores UASB tratando esgotos tipicamente domésticos.” *Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. II-207, Campo Grande, Brasil.
- Souza, C. L., Silva, S. Q., Aquino, S. F., Chernicharo, C. A. L. (2006). “Production and characterization of scum and its role in odour control in UASB reactors treating domestic wastewater.”, *Water Science and Technology*, **54**(9), 201–208.
- Souza, C. L., Aquino, S. F., Chernicharo, C. A. L. (2007a). “Ocorrência de espuma em reatores UASB tratando esgotos tipicamente domésticos: caracterização quantitativa e qualitativa.” *Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. II-396, Campo Grande, Brasil.
- Souza, C. L., Silva, S. Q., Aquino, S. F., Chernicharo, C. A. L. (2007b). “Escuma do decantador de um reator UASB tratando esgotos tipicamente domésticos: Caracterização em período prolongado de acumulação.” *Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. II-397, Campo Grande, Brasil.
- Subtil, E. L. (2007). Avaliação da redução de sulfato e produção de sulfeto dissolvido em reator anaeróbico de manta de lodo (UASB) tratando esgoto sanitário em escala real. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória/ES, Brasil, 100p.
- Uehara, M. Y. (1989). *Operação e manutenção de lagoas anaeróbicas e facultativas*. CETESB, São Paulo, Brasil, 91p.
- van Haandel, A. C., Cavalcanti, P. F. F., Sousa, F. P. (1999). “Efeito da proporção área/profundidade sobre o desempenho de um reator UASB.” *Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. I-166, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

- van Haandel, A. C., Cavalcanti, P. F. F., Sousa, Medeiros, E. J. S., Silva, J. K. M. (1999). “Estratégia de descarga do lodo de excesso de reatores UASB tratando esgoto municipal.” *Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. I-167, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.
- van Haandel, A. C. e Lettinga, G. (1994). *Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente*. EPGRAF/UFPB, Campina Grande, Brasil, 225p.
- Versiani, B. M., Jordão, E. P., Volschan, I., Dezotti, M. W. e Azevedo, J. P. (2005). “Fatores intervenientes no desempenho de um reator UASB submetido a diferentes condições operacionais.” *Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. II-026, Campo Grande, Brasil.
- Vieira, S. M. M., Carvalho, J. L., Barijan, F. P. O. e Rech, C. M. (1994). “Application of the UASB technology for sewage treatment in a small community at Sumare, São Paulo state.”, *Water Science and Technology*, **30**(12), 203–210.
- Vieira, W. L. da P. B., Carvalho, E. H., Campos, L. C. (2005). “Desempenho do reator UASB da ETE Lages – Aparecida de Goiânia em sua fase inicial de operação.” *Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. II-362, Campo Grande, Brasil.
- von Sperling, M. (1995). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Belo Horizonte, Brasil, 240p.
- von Sperling, M. (1996). *Princípios básicos do tratamento de esgotos*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Belo Horizonte, Brasil, 211p.
- von Sperling, M., Freire, V. H. e Chernicharo, C. A. de Lemos (2001). “Performance evaluation of a UASB - activated sludge system treating municipal wastewater”, *Water Science and Technology*, **43**(11), 323–328.
- Zhou W., Imai, T., Ukita, M., Li, F. e Yuasa, A. (2007). “Effect of loading rate on the granulation process and granular activity in a bench scale UASB reactor.”, *Bioresource Technology*, **98**(7), 1386-1392.

ANEXO

QUESTIONÁRIO – Reatores anaeróbios das estações de tratamento de esgotos da CAESB.

Unidade operacional: ETE GAMA, Responsável (Supervisor da ETE): FLÚVIA, Data: _____

1) O tratamento preliminar da ETE funciona adequadamente? (Equipamentos/Aspectos hidráulicos)

Sim, gradeamento fino e caixa de areia; **Não, apenas o gradeamento fino;**

Não, apenas caixa de areia; Não, gradeamento fino/caixa de areia não funcionam adequadamente.

Observações: _____

2) Qual é a frequência de descarte de lodo de fundo dos reatores?

Semanal; **Quinzenal;** **Mensal;** **Outra:** _____

O volume de lodo descartado é medido? Em caso positivo, de que forma é realizado o descarte.

Não; **Sim:** _____

3) Qual é a frequência da retirada de espuma dos reatores?

Semanal; **Quinzenal;** **Mensal;** **Outra:** _____

4) Quais são os principais problemas operacionais observados nos reatores anaeróbios?

Extravasamento do afluyente nas caixas de distribuição de vazão (entrada);

Degradação do concreto das caixas de coleta do effuyente (saída);

Corrosão de suportes de tubulações, comportas, válvulas, eletrodutos, etc;

Entupimento de tubulações de distribuição do afluyente;

Excesso espuma, zona de digestão do reator; **Excesso espuma, zona de decantação;**

Danos nos separadores de fase (estrutura, telhado, etc);

Excesso de areia/terra/material inerte;

Sobrecargas hidráulicas; **Perda excessiva de sólidos;** **Recalques, infiltrações;**

Outros: _____

5) O(s) reator(es) já sofreram alguma intervenção para esvaziamento completo?

Sim: Reforma; Remoção de areia; Remoção de lodo/espuma. **Não.**

Qual é a periodicidade de esvaziamento dos reatores para limpeza?

Semestral; **Anual;** **A cada 2 anos;** **Outra:** _____

Como foi realizado o esvaziamento do reator? Assinale mais de uma alternativa, se for o caso.

Uso de bombas; **Caminhão limpa-fossa;** **Remoção manual;** **Outra:** _____

6) Dada sua experiência, quais alterações ou soluções de projeto você sugeriria para essas unidades? _____