

**PROGRAMA DE SANEAMENTO BÁSICO - PROSAB
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL - DEC
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – CCT
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Campus II – Campina Grande - PB**

***ESTRATÉGIA PARA DETERMINAR A
FREQUÊNCIA E MAGNITUDE DE DESCARGAS
DO LODO DE EXCESSO DE REATORES UASB***

Mestrando

Erly Joan Souto de Medeiros

**Campina Grande – PB
Dezembro / 2000**

**ESTRATÉGIA PARA DETERMINAR A
FREQUÊNCIA E MAGNITUDE DE DESCARGAS
DO LODO DE EXCESSO DE REATORES UASB**

Erly Joan Souto de Medeiros

**ESTRATÉGIA PARA DETERMINAR A
FREQUÊNCIA E MAGNITUDE DE DESCARGAS
DO LODO DE EXCESSO DE REATORES UASB**

Dissertação apresentada ao curso de
Mestrado em Engenharia Civil da
Universidade Federal da Paraíba,
como requisito parcial para obtenção
do título de Mestre.

Área de concentração – Recursos Hídricos
Sub-área – Engenharia Sanitária e Ambiental

Orientadores:
Professor: Adrianus C. Van Haandel
Professora: Paula Frassinetti F. Cavalcanti

Campina Grande - PB
Dezembro / 2000



M488e Medeiros, Erly Joan Souto de.
Estratégia para determinar a frequência e magnitude de descargas do lodo de excesso de reatores UASB / Erly Joan Souto de Medeiros. - Campina Grande, 2000.
101 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2000.
"Orientação : Prof. Dr. Adrianus Cornelius Van Haandel, Profa. M.Sc. Paula Frassinetti Feitosa Cavalcanti".
Referências.

1. Esgotos - Tratamento. 2. Lodo - Descarga. 3. Excesso de Reatores UASB. 4. Dissertação - Engenharia Civil. I. Haandel, Adrianus Cornelius Van. II. Cavalcanti, Paula Frassinetti Feitosa. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

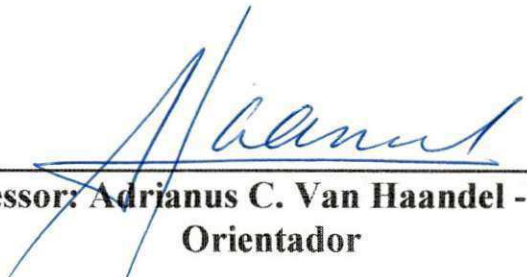
CDU 628.3(043)

**ESTRATÉGIA PARA DETERMINAR A
FREQUÊNCIA E MAGNITUDE DE DESCARGAS
DO LODO DE EXCESSO DE REATORES UASB**


Erly Joan Souto de Medeiros

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APROVADA EM 22 / 12 / 2000


COMISSÃO EXAMINADORA



Professor: Adrianus C. Van Haandel - Ph.D.
Orientador



Professor: Rui de Oliveira – Ph.D.
Examinador Interno



Professor: José Tavares de Sousa – D.Sc.
Examinador Externo

Campina Grande - PB
Dezembro 22 / 12 / 2000

DEDICATÓRIA

Dedicatória Especial:

À minha mãe e minha tia e pai (in memoriam):
Maria de Lourdes Sampaio Souto de Medeiros.
Rosa Cândido de Macedo
Francisco da Luz Filho.

Dedico este trabalho às minhas queridas e vitoriosas mães e irmãos e à minha querida esposa, filho, filha, e afilhado, respectivamente:
Alzira, Adélia, Francisca e Filomena
Ediglei, Everaldo e Eliton
Kassiana Taian
Joan Cândido,
Fernanda Cândido e
Ediglei Filho.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a **DEUS**, ser supremo e criador de todo o universo que me proporciona força e coragem para caminhar e ultrapassar as grandes barreiras encontradas na vida cotidiana.

As minhas tias (Mães).

A **Alzira, Adélia, Francisca, Filomena**; pelo amor, apoio moral e financeiro durante toda minha vida discente, somando esforços pessoais e limitações de seus ideais para que os meus fossem alcançados e vencidos; incentivando-me a prosseguir na caminhada, enfrentando assim todos os obstáculos da vida, o meu mais sincero **carinho e carisma pelo amor e respeito que tenho e devo por minhas queridas mães.**

Aos meus irmãos.

Aos meus queridos irmãos, **Edglei ("Compadre"), Everaldo e Eliton**, que durante toda jornada me deram apoio nos momentos mais difíceis, incentivando-me a prosseguir na caminhada, enfrentando todos os obstáculos da vida, os meus mais sinceros agradecimentos.

A Francisco da Luz Filho ("Titico"), pelo carinho e afeto de Pai. (in memórian)

Ao meu pai, **Esmeraldino**, pela forma de ter me proporcionado a vida, que está sempre presente em minha vida, proporcionando o entusiasmo de viver.

Ao meu querido e amado filho, **Erly Joan Cândido**, que me proporciona muita paz e alegria nas horas mais difíceis. **Joan Cândido** você é uma das minhas felicidades que Deus me enviou.

A minha querida filha, **Fernanda Cândido**, fruto da felicidade, de Ter uma filha após Deus Ter me enviado um filho maravilhoso.

A minha "**Nega**", querida, **Kassiana Taian de Oliveira Rodrigues** que durante esta jornada de trabalho, me proporcionou os meus ideais e que transformou em um somatório de conhecimentos da ciência na alegria e na tristeza, fazendo assim da vida cotidiana um somatório de conhecimentos dos nossos ideais.

Aos meus padrinhos **José Cândido e Margarida Cordeiro**, que juntos as minhas **tias (mães)** me ofereceram a oportunidade de iniciar a vida discente em Campina Grande

O apoio e carisma da minha Sogra e Sogro, **Neuma de Lourdes e Agmenon Rodrigues** que me incentiva a vencer os grandes obstáculos da vida.

Ao primo e amigo **ZEZINHO**, pelo apoio quando nos momentos mais difíceis os meus sinceros agradecimentos, as inúmeras caronas quando na vida de estudante e mais...

Aos meus orientadores professor **Dr. Adrianus C. Van Haandel** e a professora **M.Sc. Paula Franssinetti F. Cavalcanti**, agradeço com profundo carinho a forma de carisma de como fui conduzido durante toda pesquisa, mostrando assim que a vida é uma eterna batalha de competições, para que se produza ciência.

A **minha família** que contribuiu direta ou indiretamente, os meus sinceros agradecimentos.

Ao meu amigo professor **M.Sc. Carlos Fernandes de Medeiros Filho**, o "**Carlão**", pelo incentivo constante durante toda a pesquisa e sua amizade sincera.

Agradecimentos

A minha amiga professora **Mônica Coura**, pela nossa amizade e a forma carinhosa de conversarmos.

Ao professor **Dr. José Tavares de Sousa** pelo carisma com toda a turma. do PROSAB, buscando sempre o conhecimento da ciência de forma humilde.

Ao Professor amigo **Dr. Rui de Oliveira**, pela dedicação incansável ao corpo discente e a ciência buscando sempre o conhecimento de forma humilde e competente.

Aos amigos e bolsista do PIBIC **Jean Kanuto Menezes e Valdir** pela força e dedicação no desenvolvimento do experimento e na amizade na vida cotidiana.

A turma do **mestrado de 1997 e 1998**, pela amizade e dedicação à ciência.

A AESA.

A minha amiga **Nélia Luna Leal**, dedicação incansável, na organização e limpeza do laboratório do **PROSAB**.

Ao meu amigo **Gilson**, o “**baixinho do PROSAB**”, pelo incentivo e dedicação durante todas as instalações pioneiras do PROSAB.

Ao amigo **Romário Tavares de Souza**, na colaboração e organização das partes experimentais realizadas durante a pesquisa.

A **Francisco Pereira de Souza**, pela nossa amizade durante toda vida estudantil

A amiga **Malba Linete**, pela paz transmitida e suas palavras e salmos recomendados.

Ao amigo **João Ribeiro**, que por sua desistência ofereceu oportunidade para o meu ingresso na pesquisa.

A todos os colegas do **PROSAB**, não mencionados, que contribuíram direto ou indiretamente na pesquisa.

A todos os **amigos/amigas** que me proporcionaram forças e vitórias dos meus ideais para que fosse possível enfrentar todas as dificuldades e obstáculos da vida.

A **Isabel Cristina de França Paz e Josefa de Sousa Barros (Josete)**, agradeço pelo apoio e dedicação junto a sua função de secretária do mestrado.

A Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba – **CAGEPA**, pela concessão do terreno onde se encontram as instalações do **PROSAB** e onde foi desenvolvida a pesquisa.

A **Núbia Bezerra Monteiro** pela colaboração na organização da dissertação.

Ao **FINEP, CNPq, CAPES, MCT, RHAe e CEF**, pelo seu apoio financeiro e na colaboração no desenvolvimento da pesquisa, aos quais expresse os agradecimentos.

Aos **docentes** do Mestrado em Engenharia Sanitária do **Campus II da UFPB**.

A **Universidade Federal da Paraíba, UFPB** pelo apoio ao Centro de Ciências e Tecnologia, ao Departamento de Engenharia Civil na área de concentração – Recursos Hídricos, sub-área: Engenharia Sanitária e Ambiental.

A **todos** que contribuíram **direta ou indiretamente** na conclusão desta dissertação de mestrado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	iv
LISTA DE EQUAÇÕES	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1- O Esgoto Sanitário.....	6
2.1.1 - Composição Média dos Sólidos no Esgoto Sanitário.....	8
2.1.2 - Esgoto e o Seu Tratamento	9
2.2 - Metabolismo Bacteriano.....	10
2.2.1 - Catabolismo Oxidativo.....	10
2.2.2 - Catabolismo Fermentativo.....	11
2.2.3 - Anabolismo.....	11
2.3 - O Tratamento Anaeróbio de Águas Residuárias.....	12
2.4 - Processos da Digestão Anaeróbia do Material Orgânico.....	12
2.4.1 - Hidrólise.....	13
2.4.2 - Acidogênese.....	13
2.4.3 - Acetogênese.....	14
2.4.4 - Metanogênese.....	14
2.5 - Cinética da Digestão Anaeróbia.....	15
2.6 - Fatores Ambientais Que Influenciam a Eficiência da Digestão Anaeróbia.....	18
2.6.1 - Influência da Temperatura Sobre a Digestão Anaeróbia.....	19
2.6.2 - pH.....	20
2.6.3 - Nutrientes.....	21
2.6.4 - Substâncias Tóxicas.....	21
2.7 - Parâmetros de Projetos do UASB.	22
2.7.1 - Tempo de Detenção Hidráulica (TDH).....	22
2.7.2 - Carga Hidráulica.....	22
2.7.3 - Carga Orgânica.....	23
2.8 - Controle Operacional da Produção e Característica do Lodo Anaeróbio.....	23
2.8.1 - Produção de Lodo.....	23
2.8.2 - Descarga de Lodo do Sistema Anaeróbio do UASB	24
2.8.3 - Amostragem e Descarte da Massa de Lodo de Excesso do reator anaeróbio....	25
2.8.4 - Atividade e Estabilidade do Lodo.....	25
2.8.5 - Idade do Lodo Anaeróbio.....	26

CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1 - Introdução.....	28
3.2 - O sistema experimental	28
3.2.1 - Alimentação dos reatores.....	31
3.2.2 - Descrição dos reatores UASB	34
3.3 - Operação dos reatores	35
3.3.1 - Alimentação	35
3.3.2 - Estabilidade operacional do UASB	36
3.3.3 - Operação na primeira etapa	36
3.3.4 - Operação na segunda etapa	37
3.3.5 - Monitoramento das vazões	38
3.3.6 - Determinação do fator de correção	39
3.4 - Métodos de análises	40
3.4.1 - Controle da estabilidade no processo de digestão anaeróbia	44
3.4.2 - Remoção da matéria orgânica do afluente	44
3.5 - Medição da produção e caracterização do lodo anaeróbio	45
3.5.1 - Avaliação da biomassa	45
CAPÍTULO IV - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	48
4.1 - Introdução.....	49
4.2 - Concentrações dos ácidos graxos voláteis e da alcalinidade de bicarbonato.....	49
4.3 - pH e temperatura do afluente e efluentes.....	54
4.4 - Eficiência dos reatores quanto a remoção de matéria orgânica (DQO).....	58
4.5 - Concentração dos sólidos no afluente e efluentes	63
4.6 - Massa de sólidos totais e voláteis no lodo.....	67
4.7 - Massa de sólidos totais e voláteis expulsa no efluente	76
CAPÍTULO V - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	79
5.0 - Introdução	80
5.1 - Estabilidade operacional do reator UASB	81
5.2 - Eficiência de remoção do material orgânico	82
5.3 - Produção de lodo acumulado no UASB e descarregado no efluente	86
5.4 - Procedimento para otimizar a descarga de lodo de excesso	92
CAPÍTULO VI - CONCLUSÕES	96
OBRAS CONSULTADAS	98

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

pag.

Figura 2.1 – composição dos sólidos nos esgotos domésticos	9
Figura 2.2 – representação esquemática do metabolismo bacteriano.....	11
Figura 2.3 – seqüência do processo de digestão anaeróbia	12
Figura 2.4a - taxa específica de crescimento em função da concentração do substrato para cinética de Monod.	16
Figura 2.4b – concentração residual do substrato em função da idade do lodo quando aplicada a cinética de Monod.	16
Figura 2.5 - representação esquemática da composição do lodo e da taxa máxima de utilização de substrato	18
Figura 2.6 (a e b) – influência da temperatura sobre a taxa de digestão	20
Figura 2.7 - métodos para o tratamento e a disposição final do lodo de excesso.....	26

CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS

pag

Figura 3.1 – esquema de instalação do sistema experimental	29
Figura 3.2 – foto da instalação dos reatores na estrutura de andaimes.....	30
Figura 3.3 - poço de visita onde era recalçado o esgoto bruto	31
Figura 3.4 - caixa de distribuição do afluente	32
Figura 3.5 - esquema de funcionamento do recalque do esgoto bruto.....	32
Figura 3.6 – esquema de instalação do reator UASB usado na pesquisa.....	34
Figura 3.6 - representação dos três reatores	46

CAPÍTULO V – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Figura 5.1 - valores da eficiência mínima de remoção de DQO entre duas descargas de lodo.....	82
Figura 5.2 - valores da eficiência mínima de remoção da DQO entre duas descargas de lodo	85
Figura 5.3 - valores da eficiência média de remoção da DQO entre duas descargas de lodo	85
Figura 5.4 - valores da massa de lodo volátil acumulado no reator UASB	87
Figura 5.5 - representação esquemática da variação da massa de lodo no reator UASB	94

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AB	- alcalinidade de bicarbonato
AGV	- ácidos graxos voláteis
AME	- atividade metanogênica específica
AT	- alcalinidade total
Afl.	- afluente
CSTL	- concentração de sólidos totais no lodo
CSVL	- concentração de sólidos voláteis no lodo
CB	- carga biológica
CH ₄	- gás metano
CO ₂	- gás carbônico
COV	- carga orgânica volumétrica
CHV	- carga hidráulica volumétrica
DP	- desvio padrão
DQO	- demanda química de oxigênio
DQO _{afl.}	- DQO do afluente
DQO _{afl. corr.}	- DQO do afluente corrigido com o valor do fator de correção
DQO _{efl. br.}	- DQO do efluente bruto
DQO _{efl. dec.}	- DQO do efluente decantado
EB	- esgoto bruto
EJ ₁	- denominação do primeiro reator piloto utilizado na pesquisa
EJ ₂	- denominação do segundo reator piloto utilizado na pesquisa
EJ ₃	- denominação do terceiro reator piloto utilizado na pesquisa
E	- eficiência de remoção de DQO
ETE	- estação de tratamento de esgoto
fc	- fator de correção
HAc	- ácido acético
Máx.	- valor máximo
Md	- valor médio
Mín.	- valor mínimo
MSTL	- massa de sólidos totais no lodo
MSVL	- massa de sólidos voláteis no lodo
pH	- potencial hidrogeniônico
PVC	- policloreto de venila
P ₁	- primeiro ponto de amostragem do reator
P ₂	- segundo ponto de amostragem do reator
P ₃	- terceiro ponto de amostragem do reator
P ₄	- quarto ponto de amostragem do reator

P ₅	- quinto ponto de amostragem do reator
P ₆	- sexto ponto de amostragem do reator
Q	- vazão
SD	- sólidos decantáveis
SDV	- sólidos decantáveis voláteis
SDF	- sólidos decantáveis fixos
ST	- sólidos totais
STV	- sólidos totais voláteis
STF	- sólidos totais fixos
S.O.	- semanas de operação
TDH	- tempo de detenção hidráulico
UASB	- upflow anaerobic sludge blanket
V _{asc.}	- velocidade ascendente
Temp.	- temperatura

LISTA DE EQUAÇÕES

CAPÍTULO II – Revisão Bibliográfica

Equação 2.1 – taxa de utilização do substrato	15
Equação 2.2 – taxa de crescimento bacteriano.....	15
Equação 2.3 – taxa de decaimento bacteriano.....	15
Equação 2.4 - expressão da concentração de substrato.....	15
Equação 2.5 - taxa específica de utilização do substrato	17
Equação 2.6 – do tempo de detenção hidráulico	22
Equação 2.7 – velocidade ascensional	22
Equação 2.8 – carga hidráulica	22
Equação 2.9 – carga orgânica	23
Equação 2.10 – produção de lodo	23
Equação 2.11 – produção volumétrica de lodo	24

CAPÍTULO III – Materiais e Métodos

Equação 3.1 – fator de correção da DQO afluente	39
Equação 3.2 – DQO do afluente corrigida	40
Equação 3.3 – alcalinidade total	41
Equação 3.4 – alcalinidade de ácidos voláteis	41
Equação 3.5 – concentração dos ácidos graxos voláteis	41
Equação 3.6 - alcalinidade total em mg de CaCO ₃	42
Equação 3.7 – alcalinidade de ácidos voláteis em mg de CaCO ₃	42
Equação 3.8 – eficiência da remoção da DQO bruta	44
Equação 3.9 – eficiência da remoção da DQO decantada	44

RESUMO

Como todos os sistemas biológicos de tratamento de águas residuárias, o reator UASB produz lodo que se acumula no reator. Como a capacidade de acumulação do reator é limitada, o lodo produzido irá ser descarregado junto com o efluente, como lodo de excesso, quando o reator estiver cheio de lodo. Para evitar descargas de lodo junto com o efluente é necessário que o lodo de excesso seja descarregado periodicamente do reator, antes que sua capacidade de armazenamento seja esgotada. Para um custo operacional mínimo é preferível fazer grandes descargas com menores frequências. Por outro lado, a descarga não pode ser excessiva para não prejudicar o desempenho do reator.

Foi realizada uma investigação experimental, em escala piloto, para estabelecer a influência da magnitude de descargas de lodo de excesso sobre o desempenho de reatores UASB, tratando esgoto sanitário. Três reatores UASB foram operados com tempos de detenção hidráulica (TDH) de 4 e 8 horas e foram dadas descargas de lodo de excesso de diferentes magnitudes. Foram observados o desempenho e a estabilidade operacional dos reatores antes e após as descargas e foram determinadas a acumulação de lodo e a quantidade de descarga não intencional (wash-out) junto ao efluente. Durante o período de operação e desempenho estável sem descargas de lodo, a produção de lodo foi determinada a partir dos sólidos sedimentáveis no efluente e da massa de lodo acumulada no reator.

Os dados mostram que, para descargas de até 50% da massa de lodo nos reatores operados com TDH = 4 horas e 60% naqueles outros operados com 8 horas, apenas durante os primeiros dias após as descargas, a eficiência e a estabilidade operacional foram um pouco afetadas. Descargas de lodo acima de 80% não causaram instabilidade, mas foi observada uma redução na eficiência de remoção da DQO durante 1 a 2 semanas após a descarga. Independente da magnitude das descargas, o pH efluente permaneceu na faixa estreita de 6,8 a 7,0 e a razão entre a alcalinidade (média de 275 mg/l como CaCO_3) e a concentração dos ácidos graxos voláteis (média de 28 mg HAc/L) foi sempre muito alta, de forma que, nunca houve perigo de "azedamento" do conteúdo dos reatores. Baseados nos dados experimentais e

nos procedimentos operacionais foi desenvolvido um procedimento para otimizar a descarga de lodo de excesso.

Acredita-se que, além das condições naturais e favoráveis observadas durante a investigação experimental (temperatura média de 27 °C), a estabilidade operacional dos reatores pode ser atribuída à configuração do separador de fases que é mais eficiente que os convencionais. Provavelmente, os resultados com reatores convencionais seriam diferentes.

ABSTRACT

Like all biological wastewater treatment systems, the UASB reactor produces sludge that accumulates in the reactor. Since the storage capacity is limited, the sludge will eventually be discharged together with the effluent as excess sludge, when the reactor is full of sludge. To avoid the discharge of sludge in the effluent, it is necessary that excess sludge be discharged periodically from the reactor before its storage capacity is exhausted. For minimum operational costs it is preferable to have large discharges with a low frequency. On the other hand the discharges cannot be excessive in order to avoid deterioration the reactor performance after the discharges.

An experimental investigation was carried out at pilot- scale to establish the influence of the magnitude of excess sludge discharge on the performance of UASB reactors, treating municipal sewage. The UASB reactors were operated at hydraulic retention times (HRT) of 4 and 8 h, and excess sludge discharges of varying magnitude were applied. The performance and operational stability of these reactors before and discharges were observed and the sludge accumulation and unintentional discharge (wash-out) with the effluent were determined. During periods of steady state without excess sludge discharge, the sludge production was determined from the settleable solids in the effluent and from sludge accumulated in the reactor.

The data show that for discharges of up to 50% of the sludge mass in reactors with RTH 4 hours 60% with HRT= 8 hours, the reactor efficiency and operational stability were affected very little and only during the first days after the discharge. Discharges of up to 80% of the sludge did not cause instability, but a reduction of the COD removal efficiency was observed during 1 to 2 weeks after the discharge. Independent of the magnitude of sludge discharge, the effluent pH remained in the narrow range of 6,8 to 7,0 and the ratio between alkalinity (average 275 ppm as CaCO_3) and volatile fat acid concentration (average of mg 28 HAc/l) was always very high so that there was never an danger of the reactor contents. Based on the obtained experimental data an operational procedure for optimization of excess sludge discharges was developed.

It is believed that along with the favorable natural conditions during the experimental investigation (average temperature of 27 °C), the observed reactor separator, operational stability can be attributed to an extent to the design of the used phase separator, which is much more efficient than the conventional one. It is possible that results with a conventional UASB reactor would have been different.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas pesquisas sobre a digestão anaeróbia têm levado ao desenvolvimento de modernos sistemas de tratamento anaeróbio. Entre estes sistemas, o digestor anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo UASB, que no Inglês significa: upflow anaerobic sludge blanket, propicia uma alternativa atraente para as regiões de clima tropical e subtropical. No Brasil o tratamento anaeróbio representa uma excepcional solução para o tratamento de esgotos sanitários, destacando-se o Nordeste do Brasil com condições mais favoráveis para a digestão anaeróbia.

Visando contribuir com problema do saneamento no Brasil, em novembro de 1996 foi dado início ao Programa de Saneamento Básico – PROSAB Tema 1 tendo-se como objetivo estimular grupos de pesquisadores espalhados por várias universidades brasileiras e entre elas, a UFPB a procurarem soluções viáveis e adequadas às condições de cada região e aos recursos disponíveis

Entre as quatro áreas (tratamento de esgoto, água, lodo e lixo) que o PROSAB – Tema 1, tem interesse de encontrar soluções viáveis para o problema do saneamento no Brasil, a Área de Engenharia Sanitária e Ambiental do Departamento de engenharia Civil do CCT/UFPB, vem desenvolvendo um conjunto de pesquisas que engloba a otimização de operações e determinação de parâmetros que envolvem projetos de reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo.

Na prática do tratamento anaeróbio de águas residuárias utilizando-se reatores UASB leva ao crescimento do lodo, diminuindo gradativamente a capacidade do reator em armazenar lodo. Como consequência haverá descarga do lodo junto com o efluente em quantidade igual à produção de lodo resultante do tratamento (denominada de descarga involuntária). Se, por um lado, se deseja manter uma quantidade máxima de lodo no sistema, por outro lado a descarga de lodo com o efluente deve ser evitada, porque a presença de flocos de lodo prejudicará a qualidade do efluente: tanto a concentração de material orgânico (DBO ou DQO), como de sólidos totais em suspensão (STS) aumentará.

Em princípio, pode-se adotar duas estratégias para combater a deterioração da qualidade do efluente:

- 1) remover o lodo descarregado junto com o efluente em uma unidade de pós tratamento ou;
- 2) evitar a descarga involuntária através de descargas programadas de lodo de excesso, antes que a massa de lodo atinja o valor máximo que o reator UASB pode armazenar.

No caso de se dar descargas programadas de lodo de excesso é importante que se saiba qual é a fração da massa de lodo que pode ser removida em uma descarga. Para facilitar a operação do sistema UASB é interessante aplicar descargas grandes, tendo-se, assim, prolongados intervalos entre duas descargas. Todavia, não se deve dar descargas excessivas porque, quando a quantidade de lodo fica abaixo de um determinado mínimo 20% a 40% da massa máxima, a qualidade do efluente será prejudicada, devido à falta de capacidade de tratamento da pequena massa bacteriana remanescente no reator.

Considerando-se que não havia informações na literatura pertinente sobre descarte de lodo de excesso de reatores UASB foi definida uma investigação experimental que conduziu a uma estratégia para descarte de lodo. Essa dissertação de Mestrado trata dessa investigação e propõe um método de avaliação da produção de lodo e estratégia de descarte do lodo de excesso de reatores UASB, sem prejuízo para o seu desempenho.

Nesta investigação experimental foram usados três reatores do tipo UASB, todos com quatro metros de altura e diâmetro de 200 milímetros, com um volume útil de 126 litros cada.

A investigação experimental foi dividida em duas fases, na primeira se trabalhou com o TDH de 8 horas. Nesta fase, foram realizadas três descargas da massa de lodo de excesso com magnitudes variadas para cada reator conforme descrito no Capítulo 3. Na segunda fase com TDH de 4 horas foram realizadas duas descargas da massa de lodo de excesso também com magnitudes variadas para cada reator. As descargas que foram efetuadas nas duas fases variaram entre um mínimo de 25 % até um máximo de 80 % da massa de sólidos totais do lodo de excesso do reator UASB. Durante as duas fases da pesquisa os reatores foram alimentados com esgoto bruto da cidade de Campina Grande.

Os resultados obtidos na primeira e segunda fase, para os três reatores UASB, estão apresentados, analisados e discutidos nos Capítulos 4 e 5. A estabilidade operacional de cada reator, após cada descarga, foi baseada nos seguintes parâmetros: pH, alcalinidade de bicarbonato e concentração de ácidos graxos voláteis. Assim, os valores do pH sempre se mantiveram numa faixa recomendada para a digestão anaeróbia. Quanto à concentração

dos ácidos, não existiu acumulação de AGV, portanto em nenhuma das cinco descargas ocorreu a necessidade de adicionar alcalinidade aos reatores. Ainda no Capítulo 5, apresenta-se um procedimento para otimizar descargas de lodo de excesso de reatores UASB. As conclusões estão apresentadas no Capítulo 6.

CAPÍTULO II
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO 2

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – O Esgoto Sanitário

O esgoto sanitário se compõe de águas residuárias provenientes dos despejos gerados pelas atividades humanas normais tais como: descargas sanitárias, banheiros, restos de comida, lavagem de louças e roupas, limpeza, etc.

Em termos percentuais o esgoto é composto de aproximadamente 99,9 % de água e, no restante 0,1% se encontram principalmente os sólidos suspensos, compostos orgânicos (proteínas: 40% à 60%; carboidratos: 25 % à 50 % ; e óleos e graxas: 10 %), nutrientes (nitrogênio e fósforo), metais, sólidos dissolvidos inorgânicos, sólidos inertes, sólidos grosseiros, compostos não biodegradáveis, organismos patogênicos e, ocasionalmente, contaminantes tóxicos decorrentes de atividades industriais (Campos *et alii*, 1999).

O teor de sólidos no esgoto, apesar de representar uma fração de somente 0,1% de material sólido dos constituintes indesejáveis, surge a necessidade de tratar pelo menos um dos quatro constituintes. Por esta razão o tratamento incluirá a redução da concentração de pelo menos um dos quatro constituintes mais importantes do esgoto: sólidos em suspensão, material orgânico, nutrientes e organismos patogênicos (Van Haandel & Lettinga, 1994). Desta forma, o tratamento do esgoto pode ser através de sistema físico, biológico ou químico, sendo este último mais utilizado para águas residuárias industriais (Von Sperling, 1996a). Após o esgoto tratado o efluente poderá ser lançado em corpos aquáticos tais como rios, lagos, etc. Assim restabelecendo as condições de equilíbrio ao meio ambiente de receber e decompor os contaminantes, até alcançar um nível que não cause problemas ou alterações acentuadas que prejudiquem o ecossistema local e circunvizinho.

Metcalf & Eddy, (1991) classificam o esgoto doméstico em três níveis diferentes: forte, médio e fraco, segundo os valores da concentração dos principais componentes, sendo os mesmos apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Classificação do esgoto doméstico em relação à concentração de sólidos totais, fixos e voláteis em (mg/l) e a matéria orgânica em (mg/l).

PARÂMETRO	CONCENTRAÇÃO		
	FORTE	MÉDIA	FRACA
ST (mg/l)	1200	720	350
SDT (mg/l)	850	500	250
SDF (mg/l)	525	300	145
SDV (mg/l)	325	200	105
SST (mg/l)	350	220	100
SSF (mg/l)	75	55	20
SSV (mg/l)	275	165	80
SSed. (ml/l)	20	10	5
DQO (mg/l)	1000	500	250
DBO ₅ (mg/l)	400	220	110

Fonte: Metcalf & Eddy (1991)

A Tabela 2.2 apresenta os valores médios da concentração de alguns constituintes do esgoto doméstico de dois bairros da cidade de Campina Grande (PB) onde foi realizada a pesquisa. Comparando os dados da Tabela 2.1, apresentados por Metcalf & Eddy (1991), com os da Tabela 2.2, constata-se que o esgoto de cada um dos dois bairros indicados na Tabela 2.2 possui características distintas para o esgoto sanitário.

De acordo com os valores estabelecidos por Metcalf & Eddy (1991) apresentados na Tabela 2.1, e, observando-se os da Tabela 2.2, tanto o esgoto do bairro do Catolé como o esgoto do bairro do Pedregal apresentam-se como esgoto forte.

Outros estudos realizados com esgotos doméstico na cidade de Campina Grande, tiveram pesquisas desenvolvidas na Estação de Tratamento de Esgotos da Catingueira (ETE), com o objetivo de classificar o esgoto sanitário quanto aos sólidos e a matéria orgânica, dos quais Nascimento (1996), considerou que era representativo para a cidade de Campina Grande, quanto a: DQO = 500 mg/l, DBO = 200 mg/l e SST = 300 mg/l. Neste caso comparando estes valores com os da Tabela 2.1 pode ser deduzido que segundo a classificação dada por Metcaf e Eddy (1991), o esgoto da cidade de Campina Grande, pode ser classificado como médio em relação a matéria orgânica e como esgoto forte em relação a concentração dos sólidos.

Tabela 2.2 – Dados de composição do esgoto sanitário de dois bairros da cidade de Campina Grande (PB).

COMPONENTES	BAIRRO	
	PEDREGAL (01)	CATOLÉ (02)
SST (mg/l)	420	137
SSF (mg/l)	177	138
SSV (mg/l)	252	30
SSed. (ml/l)	8,5	6,7
DQO (mg/l)	727	564
DBO ₅ (mg/l)	369	91

Fonte: Adaptado de Bezerra (1998)

OBS.: (1) Van Haandel e Lettinga (1994), (2) Nascimento (1996) & Filho (2000)

2.1.1 – Composição Média dos Sólidos no Esgoto Sanitário

O teor de sólidos em suspensão apesar de representar uma pequena fração de material sólido no esgoto, tem grande importância em termos de dimensionamento e no controle de operações das unidades de tratamento. Esta fração é representada por 30% de sólidos inorgânicos, sendo composta por metais, areia e os sais e a fração orgânica que representa os 70% e é composta de carboidratos, gordura e proteínas, que formam os sólidos orgânicos, segundo Mara (1976). A Figura 2.1 representa, em termos de porcentagem, um fluxograma da composição média dos sólidos no esgoto doméstico.

Os sólidos são sedimentáveis ou não sedimentáveis. Considera-se como sedimentável a fração que sedimenta no período de uma hora em um recipiente apropriado (Cone de Imhoff), tendo um volume de 1 litro, seguindo técnicas padronizadas como as do Standard Methods (1995). A quantidade que sedimenta indica a quantidade de lodo primário que poderá ser removida por sedimentação nos decantadores (Pessoa e Jordão 1982).

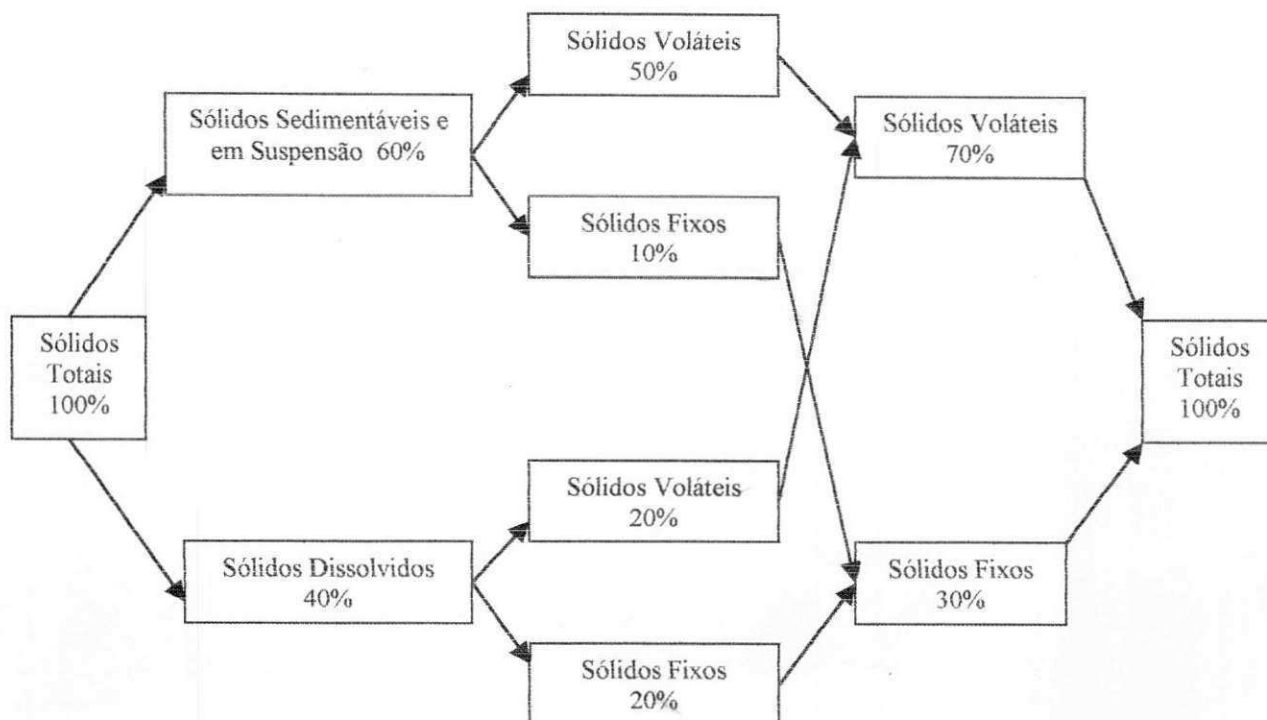


Figura 2.1 – Composição dos sólidos nos esgotos domésticos

Fonte: Pessoa e Jordão (1982).

2.1.2 – Esgoto e o Seu Tratamento

O objetivo principal do tratamento de esgoto é corrigir as suas características indesejáveis, de tal forma que a sua disposição final possa ocorrer de acordo com as regras e critérios definidos pela legislação Brasileira, mediante Resolução do CONAMA.

Desta forma o tratamento do esgoto pode ser através de sistema físico, biológico ou químico, sendo que o tratamento químico é utilizado mais para o tratamento de águas residuárias industriais. O tratamento dos esgotos é usualmente classificado através dos seguintes níveis. O **tratamento preliminar** objetiva apenas a remoção dos sólidos grosseiros (trapos, plásticos e areia), enquanto o **tratamento primário** visa a remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. Já no **tratamento secundário**, no qual predominam mecanismos biológicos, o objetivo é principalmente a remoção de matéria orgânica e eventualmente nutrientes (nitrogênio e fósforo). O **tratamento terciário** objetiva a remoção de poluentes específicos (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis) ou ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientes removidos no tratamento secundário

No sistema de tratamento preliminar basicamente a remoção é de ordem física, como peneiramento e sedimentação (grade, desarenador e medidor de vazão). Sistemas de tratamento como as fossas sépticas e tanques Imhoff são sistemas de tratamento primário. Sistemas como lagoas anaeróbias, facultativas e estabilização, sistemas de lodo ativado e reatores anaeróbios de alta taxa como reatores UASB (upflow anaerobic sludge blanket) e filtros biológicos são sistemas de tratamento secundário. As estações de tratamento de esgoto (ETE) em geral são constituídas de diversas unidades, usualmente na forma de tanques, cada qual desempenhando uma ou mais funções específicas. Entretanto, cada unidade é operada de maneira integrada com as demais, formando um sistema de tratamento para atingir o objetivo comum que é a remoção de determinados constituintes do esgoto.

2.2 - Metabolismo Bacteriano

Na remoção de material orgânico o mecanismo mais importante em sistemas de tratamento biológico é o metabolismo bacteriano. Esta denominação se refere à utilização do material orgânico pelas bactérias como fonte de energia ou como fonte material para a síntese de material celular. No processo chamado de catabolismo, o material orgânico é utilizado como fonte de energia, sendo transformado em produtos estáveis ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$).

No processo denominado anabolismo o material orgânico se transforma e é incorporado na massa celular. O anabolismo é um processo que consome energia e somente é viável se o catabolismo estiver ocorrendo simultaneamente, fornecendo a energia necessária para a síntese do material celular. Por outro lado só é possível ocorrer o catabolismo se estiver presente uma população de bactérias. Conclui-se que o processo de catabolismo e anabolismo são interdependentes e que sempre ocorrem simultaneamente.

A parte catabólica do metabolismo bacteriano pode ocorrer através de dois processos fundamentalmente diferentes:

2.2.1 - Catabolismo Oxidativo

O catabolismo oxidativo é uma reação redox na qual o material orgânico é o redutor que é oxidado por um oxidante também presente na fase líquida. Na prática, esse oxidante pode ser oxigênio molecular, nitrato ou sulfato. Organismos facultativos (abundantes em sistemas de tratamento aeróbio de águas residuárias) podem usar como oxidante tanto o oxigênio como o nitrato, sendo que usam o nitrato quando não há disponibilidade de OD. O catabolismo oxidativo também pode ser chamado de respiração aeróbia, quando o

oxigênio é o oxidante e respiração anaeróbia quando o nitrato ou sulfato for o acceptor de elétrons da matéria orgânica.

2.2.2 - Catabolismo Fermentativo

O catabolismo fermentativo se caracteriza pelo fato de desenvolver-se na ausência de um oxidante. O processo resulta (num rearranjo dos elétrons na molécula fermentada) de tal forma que o composto catabolizado se decompõe em pelo menos dois produtos, Se os produtos catabólicos são diferentes, um será mais oxidado e outro mais reduzido do que o composto original. Daí estes novos produtos sofrem novo processo de fermentação e assim sucessivamente, até que se formem produtos estabilizados, ou seja produtos que não possam mais ser fermentados.

2.2.3 - Anabolismo

A forma de anabolismo que interessa para o tratamento de águas residuárias é a síntese de massa bacteriana a partir de material orgânico afluyente, tendo como fonte de energia aquela resultante da atividade catabólica simultânea das bactérias. A Figura 2.2 mostra uma representação esquemática do metabolismo bacteriano. Tanto o catabolismo como o anabolismo podem ser medidos. O anabolismo que resulta num aumento da massa bacteriana pode ser medido pelo aumento da concentração dos sólidos voláteis em suspensão. Já a atividade catabólica pode ser avaliada pela demanda de oxidante (no caso de processos oxidativos) e pela produção de metano (no caso de digestão anaeróbia).

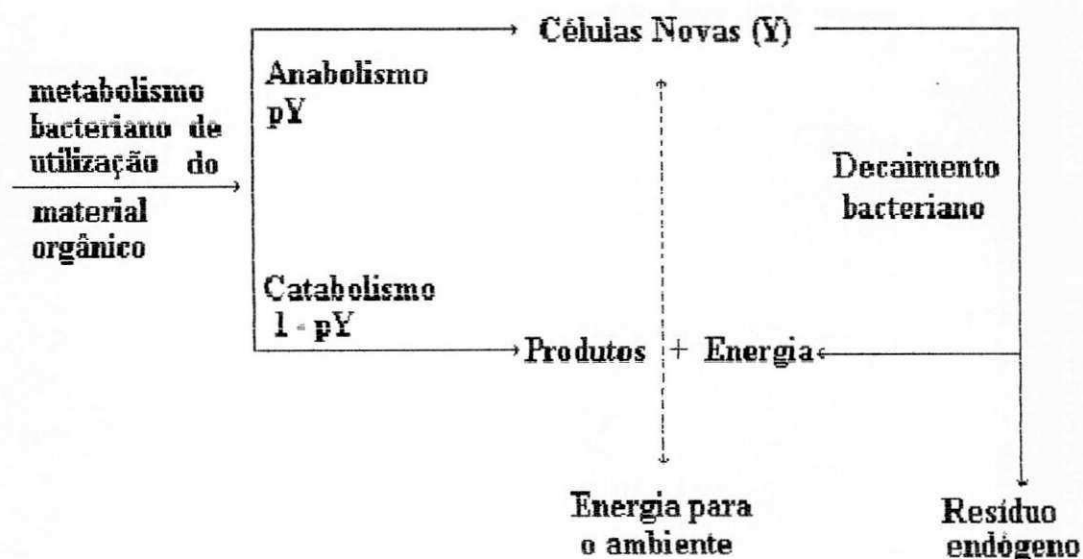


Figura 2.2. - Representação esquemática do metabolismo bacteriano com anabolismo, catabolismo e decaimento bacteriano.

Fonte: Van Haandel e Lettinga (1994)

2.3 - O Tratamento Anaeróbio de Águas Residuárias

No processo de digestão anaeróbia, empregado no tratamento de águas residuárias as bactérias usam o catabolismo fermentativo, transformando a matéria orgânica em metano (CH₄), que é o composto mais reduzido, e o dióxido de carbono (CO₂). A digestão anaeróbia pode ser considerada como o último processo de fermentação: os produtos formados pela digestão são estáveis, porque não são suscetíveis de outras fermentações (Van Haandel & Lettinga 1994).

2.4- Processos da Digestão Anaeróbia do Material Orgânico.

Em processos anaeróbios as reações de transformações em metano de macro moléculas orgânicas complexas, presentes no esgoto doméstico, ocorrem em etapas distintas hidrólise, fermentação ácida (acidogênica e acetogênica) e fermentação metanogênica. Grupos diferentes de bactérias intermediam essas reações. A Figura 2.3 mostra as diversas etapas das reações de fermentação da matéria orgânica presente em esgotos domésticos e os produtos resultantes da fermentação.

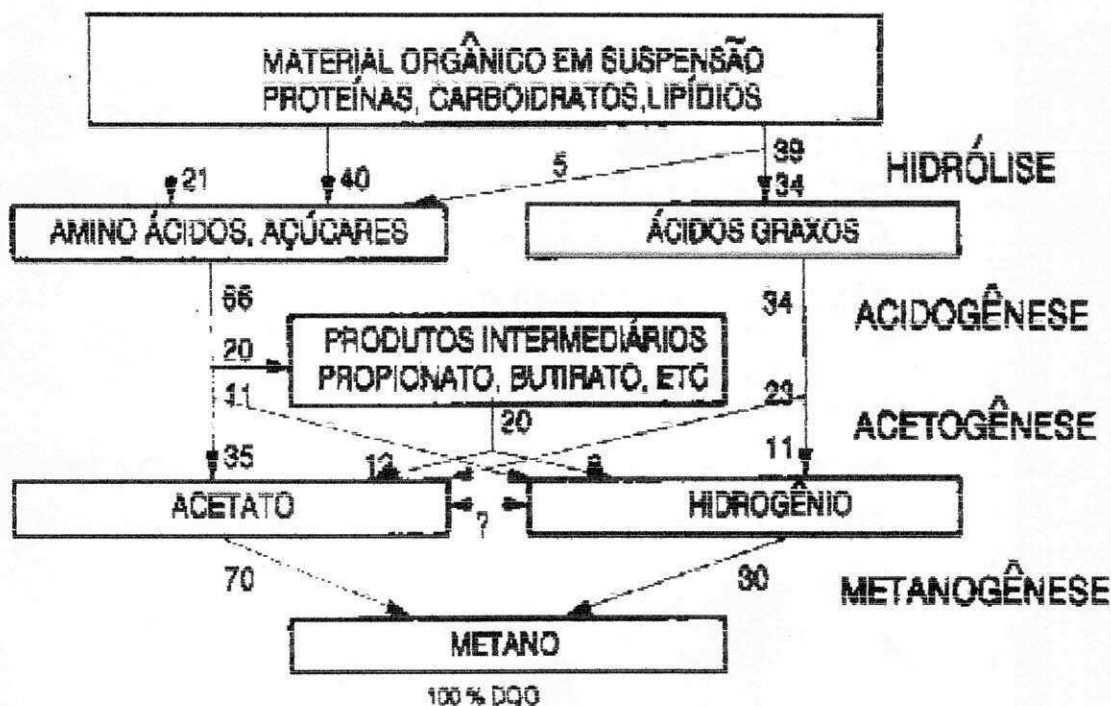


Figura 2.3-Resumo da seqüência de processos na digestão anaeróbia de macromoléculas complexas (os números referem-se a porcentagens, expressas como DQO).

Fonte: Gujer e Zehnder, (1983)

2.4.1 - Hidrólise

Na hidrólise o material orgânico particulado (proteínas, carboidratos, lipídeos) são convertidos em compostos dissolvidos de menor peso molecular, pelo efeito de enzimas extracelulares produzidas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas. Dos carboidratos são formados os açúcares solúveis (mono e dissacarídeos). A degradação das proteínas dos (poli) peptídeos forma os aminoácidos e os lipídeos são convertidos em ácidos graxos de cadeia longa e glicerina. Segundo Van Haandel & Lettinga (1994), a hidrólise pode ser o processo limitante para toda a transformação da digestão anaeróbia. A temperatura da água residuária é um fator de extrema importância para um bom desempenho do processo de hidrólise: para temperaturas menores que 20 °C a taxa de conversão dos lipídeos se torna muito baixa, para todo o processo de digestão anaeróbia (O' Rourke, 1968 apud Van Haandel & Lettinga, 1994).

2.4.2 - Acidogênese

Os produtos provenientes da hidrólise são absorvidos pelas células das bactérias fermentativas e, posteriormente, excretados como compostos mais simples e de menor peso molecular, tais como: os ácidos graxos voláteis (AGV), álcoois, ácido lático e compostos minerais como gás carbônico (CO₂), hidrogênio (H₂), amônia (NH₃) e gás sulfídrico (H₂S).

Segundo Sawyer et alii (1994), os ácidos graxos como por exemplo o ácido acético (HAc), butírico (HBr), propiônico (HPr) resultante da acidogênese são conceituados como voláteis por terem a capacidade de ser destilados sob pressão atmosférica normal.

A população das bactérias fermentativas acidogênicas constitui aproximadamente 90% da população total envolvida na digestão anaeróbia, sendo que apenas cerca de 1 % são facultativas e os 89 % são anaeróbias obrigatórias. Esta pequena parcela de bactérias facultativas é responsável pela proteção do sistema anaeróbio quando exposto ao oxigênio presente no meio, o qual poderia ser tóxico para a grande massa de bactérias anaeróbias (Van Haandel & Lettinga, 1994; Chernicharo, 1997 e Oliva, 1997).

2.4.3 - Acetogênese

As bactérias acetogênicas são encarregadas da oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica, preparando o substrato para a última etapa da digestão anaeróbia que é a formação do metano. Dependendo do estado de oxidação do material a ser digerido, uma fração de aproximadamente 70 % da DQO, conforme é mostrado na Figura 2.3, é convertida em ácido acético (Acetato) e os 30 % restantes são convertidos em hidrogênio.

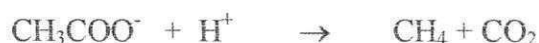
2.4.4 - Metanogênese

Esta é a última etapa do processo de digestão sendo, por isto, de grande importância. Na metanogênese, ocorre a conversão de acetato, hidrogênio e gás carbônico em metano, sob ação das bactérias metanogênicas.

Na metanogênese ocorrem as seguintes reações catabólicas segundo Van Haandel & Lettinga (1994).

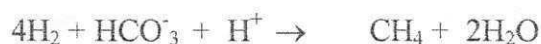
1. bactérias utilizadoras de acetato (acetoclástica)

- Na reação tem-se a metanogênese acetotrófica ou acetoclástica;



2. bactérias utilizadoras de hidrogênio (hidrogenotróficas)

- Na reação da metanogênese hidrogenotrófica tem-se:



⇒ metanogênicas acetoclásticas

As bactérias metanogênicas acetoclásticas predominantes na digestão anaeróbia são responsáveis por cerca de 70 % de toda a produção de metano.

⇒ metanogênicas hidrogenotróficas

Ao contrário das acetoclásticas, praticamente todas as espécies conhecidas de bactérias metanogênicas são capazes de produzir metano a partir de hidrogênio e dióxido de carbono. Cerca de 30 % de material orgânico afluyente é convertido em metano pela via hidrogenotrófica.

A relação de dependência entre as bactérias formadoras de ácidos e as metanogênicas é de suma importância para o bom funcionamento do sistema, uma vez que a remoção dos ácidos voláteis, através da atividade metanogênica, resulta numa estabilidade do pH dentro da faixa ótima (6,3 - 7,8), condição necessária para manter o equilíbrio das populações bacterianas. O pH menor que (6,3), pode indicar a

predominância da fermentação ácida sobre a fermentação metanogênica. Sob essas condições, pode ocorrer prejuízo ao processo de digestão: o “azedamento” do conteúdo do reator impedirá o processo da metanogênese (Van Haandel & Lettinga, 1994).

2.5 - Cinética da Digestão Anaeróbia

Vários estudos foram realizados por pesquisadores, para que fossem derivadas expressões cinéticas com o objetivo de descrever o metabolismo bacteriano. As expressões são baseadas no trabalho original realizado por Monod (1948), citado por Van Haandel & Lettinga (1994). Na descrição da cinética, existem três modelos de equações básicas segundo estudos realizados por Monod, citadas abaixo:

1. A taxa de crescimento dos microorganismos é proporcional à taxa de utilização do substrato;

$$(dx/dt)_c = y(dS/dt)_u = \mu \cdot X = \mu_m \cdot X \cdot S / (S + K_s) \quad (2.1)$$

2. A taxa de crescimento dos microorganismos é proporcional à concentração dos mesmos e depende da concentração do substrato;

$$dx/dt = - Y ds/dt \quad (2.2)$$

3. Paralelamente ao crescimento de microorganismos, devido à atividade anaeróbia, há também decaimento, devido à morte de células. A taxa de decaimento pode ser formulada como um processo de primeira ordem:

$$(dx/dt)_d = -B \cdot X \quad (2.3)$$

a) expressão para calcular a concentração do substrato;

$$S = K_s * \frac{(b + 1 / K_s)}{\mu_m - (b + 1 / R_s)} \quad (2.4)$$

onde:

X = concentração de microorganismos (por exemplo mg SVS/l);

S = concentração de substrato (p. e. mg DQO / L);

μ = constante da taxa específica de crescimento

μ = aumento relativo da massa de microorganismo por unidade de tempo;

μ_m = valor máximo de μ ;

b = constante da taxa de decaimento (d^{-1});

K_s = constante de Monod ou de meia saturação (mg DQO/l)

Obs.: Os índices c , u e d representam o crescimento das bactérias, utilização do material orgânico e morte bacteriana, respectivamente.

As Figuras 2.4a e 2.4b, representam esquematicamente à:

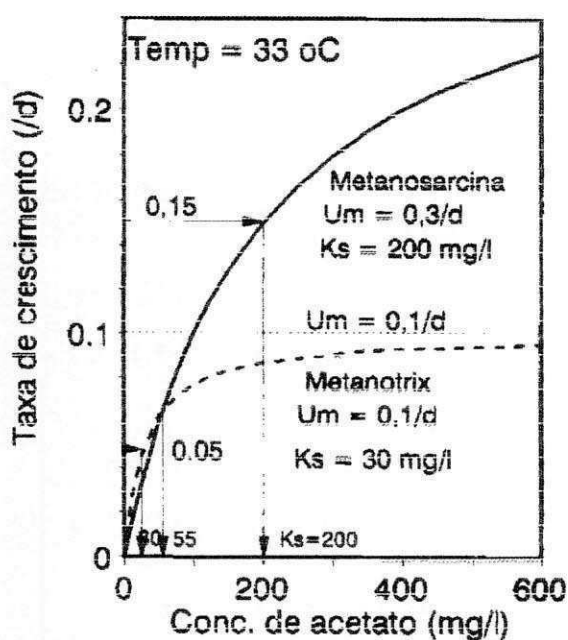


Fig.2.4a-Taxa específica de crescimento em função da concentração do substrato para cinética de Monod para *Metanotrix* e *Metanosarcina* segundo Gujer e Zehnder (1983).

Fonte: Van Haandel & Lettinga (1994)

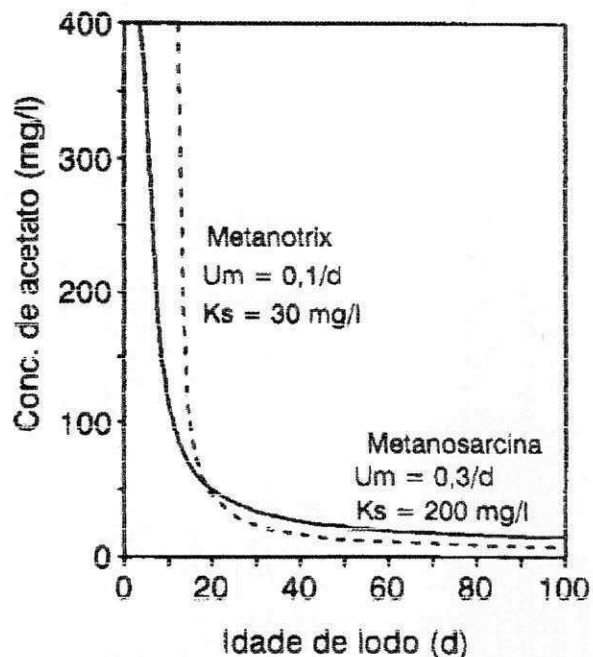


Fig.2.4b-Concentração residual do substrato em função da idade de lodo quando se aplica a cinética de Monod.

Na Figura 2.4a, observa-se o valor da taxa específica de crescimento em função da concentração do substrato (acetato) para dois tipos de bactérias metanogênicas: *Metanotrix* e *Metanosarcina*.

Na Figura 2.4b, observa-se que a concentração residual do substrato no efluente diminui, na medida em que a idade de lodo aumenta. Portanto, em princípio, há vantagem em aumentar a idade do lodo através da retenção de microorganismos no reator. Naturalmente há um limite máximo, imposto pela possibilidade limitada de se armazenar lodo no sistema de tratamento.

No tratamento de águas residuárias tem-se outro parâmetro cinético importante que é a taxa específica de utilização do substrato. Essa constante denota a massa máxima de

substrato que pode ser metabolizada por unidade de tempo e por unidade de massa de microorganismos. O seu valor pode ser calculado a partir da taxa específica de crescimento máximo, e do coeficiente de rendimento Y segundo Van Haandel & Lettinga (1994).

$$K_m = \mu_m / Y \quad (2.5)$$

Segundo Henzen & Harremões (1983), os valores das constantes cinéticas podem ser estimadas a partir da Tabela 2.3, obtida através de vários experimentos relatados por diversos autores (Henzen & Harremões, 1983 *apud* Van Haandel & Lettinga, 1994).

Tabela 2.3 – Valores das constantes cinéticas de três culturas de bactérias anaeróbias segundo Henzen & Harremões (1982)

Culturas	μ_m (dia ⁻¹)	Y (mg SSV/ mg DQO)	K_m (mg DQO / mg SSV·dia)	K_s (mg DQO/l)
Bactérias de fermentação ácida	0,2	0,15	13	200
Bactérias produtoras de metano	0,4	0,03	13	50
Cultura combinada	0,4	0,18	2	-

Nota: K_s = constante de meia saturação (Monod).

Fonte: Van Haandel & Lettinga, (1994).

A Tabela 2.3 apresenta os valores das constantes cinéticas das culturas de bactérias de fermentação ácida, bactérias produtoras de metano e de culturas combinadas, obtidas através de vários experimentos relatados por diversos autores (Henzen & Harremões, 1983 *apud* Van Haandel & Lettinga, 1994)

Segundo Van Haandel & Lettinga (1994), que estudaram os produtos e a taxa máxima de três tipos de culturas diferentes, representam esquematicamente na Figura 2.5 a composição do lodo com a taxa máxima de utilização do substrato para (1) acetato, (2) material orgânico complexo (dissolvido) e (3) esgoto bruto mostrados de forma gráfica abaixo na Figura 2.5.

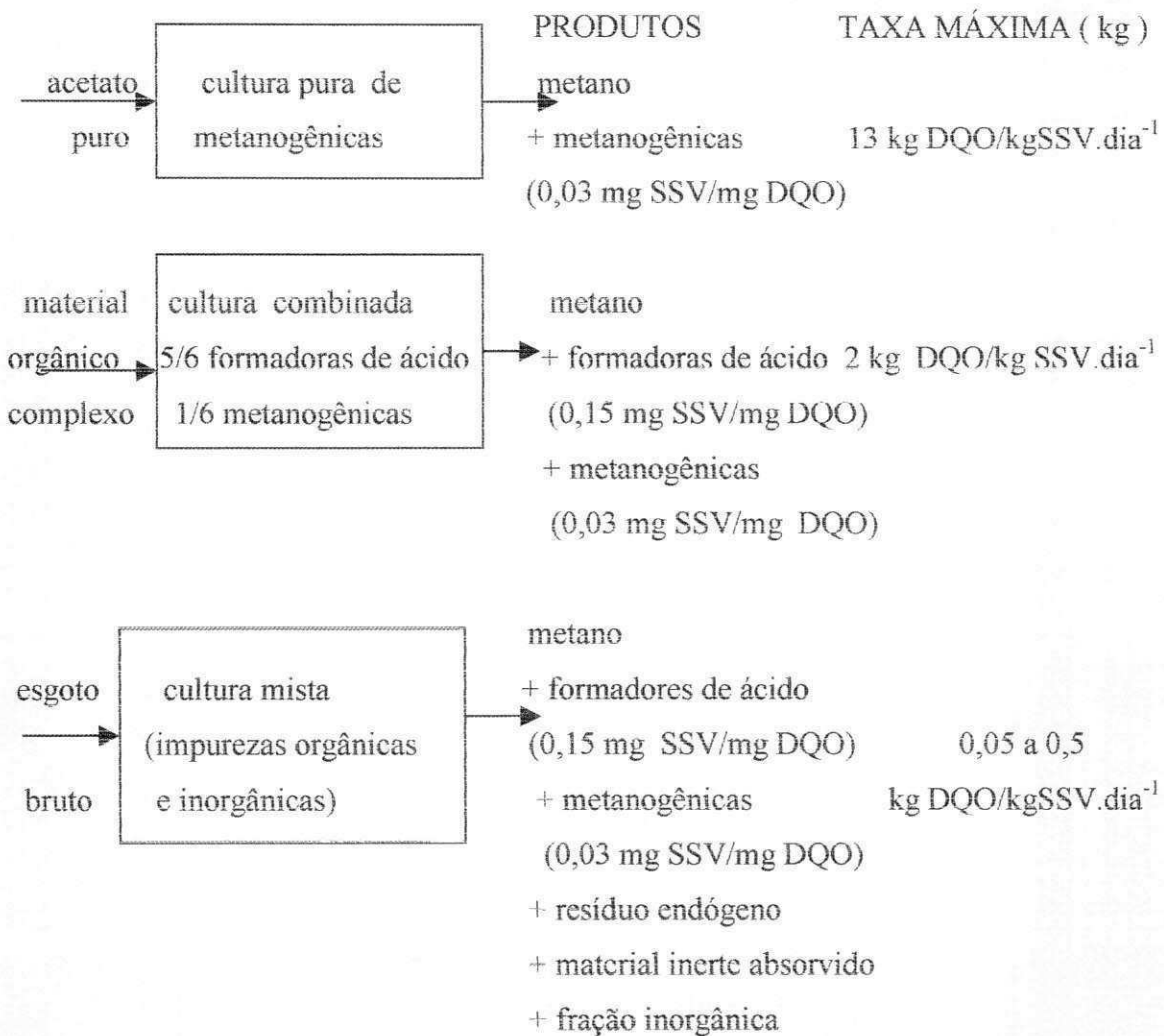


Figura 2. 5 – Esquema dos produtos e da taxa máxima de utilização de substrato para três tipos de culturas (pura, combinada e mista) de bactérias e de substrato.

Fonte: Van Haandel & Lettinga (1994)

2.6 - Fatores Ambientais Que Influenciam a Eficiência da Digestão Anaeróbia

A eficiência de um digestor anaeróbio pode ser afetada por uma série de fatores que vão desde as condições ambientais, operação do sistema, natureza da matéria-prima o afluente, temperatura, alcalinidade, presença de nutrientes e ausência de materiais tóxicos e até do dimensionamento do projeto do reator. A combinação harmoniosa dessa variedade de fatores acarreta numa boa eficiência de digestão do material orgânico em biogás (U. S. EPA 1976).

2.6.1 - Influência da Temperatura Sobre a Digestão Anaeróbia

Tratando-se de um fator ambiental de influência acentuada sobre a digestão anaeróbia, a temperatura é considerada uma variável importante para a digestão anaeróbia (Van Haandel & Lettinga 1994). Como em outros processos biológicos, o desenvolvimento dos microorganismos e, conseqüentemente, a produção de biogás, depende fortemente das faixas de temperatura na câmara de digestão. São conhecidos três grupos distintos de bactérias metanogênicas associados a faixas específicas de temperatura os quais são apresentado na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Classificação da digestão anaeróbia seguindo variações de faixas de temperatura do esgoto sanitário.

classificação	Faixa de temperatura	Temperatura Ótima
psicrofílica	0 à 20 °C	*****
mesofílica	20 à 45 °C	Digestão máxima 30 a 35 °C
termofílica	45 à 70 °C	Digestão máxima 50 a 55 °C

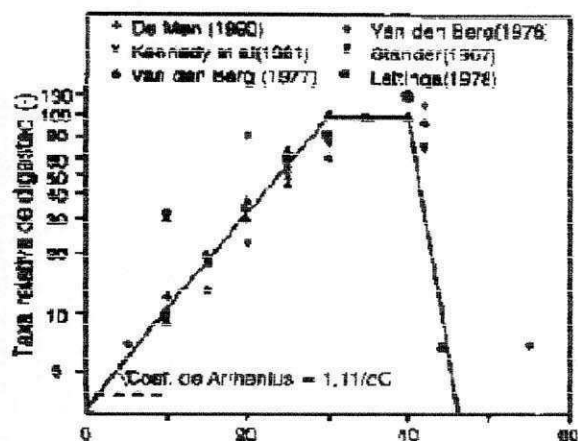
Fonte: Chernicharo (1997)

Como em outros processos biológicos os microrganismos anaeróbios são bastante sensíveis a variações térmicas, podendo até afetar o decaimento da população microbiana, levando à redução da eficiência da taxa de digestão com a diminuição ou aumento excessivo da temperatura. Segundo Van Haandel & Lettinga (1994), quanto à taxa de digestão anaeróbia, há um máximo relativo de 35 °C e um máximo absoluto a 55 °C aproximadamente, onde se obtém um valor máximo da taxa de digestão. Por essa razão, distingue-se uma região mesofílica abaixo de 45 °C é uma região termofílica acima desta temperatura.

Henze & Harremões (1985), citado por Van Haandel & Lettinga (1994), avaliaram a influência da temperatura com base em dados de vários pesquisadores, conforme mostra a Figura 2.6, que permite tirar as seguintes conclusões:

- 1 - Na faixa de 30 a 40 °C, obtém-se a taxa máxima da digestão anaeróbia;
- 2 - Para temperaturas abaixo de 20 °C, a taxa máxima de digestão anaeróbia decresce a uma razão de 11 por cento por °C.

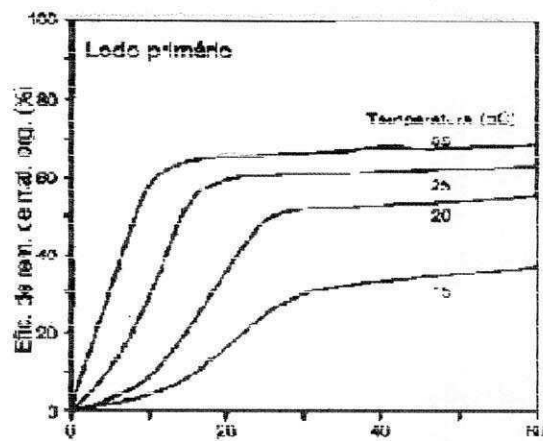
A Figura 2.6a mostra uma representação gráfica de sua análise de dados novos publicados e citados por Van Haandel & Lettinga (1994).



TEMPERATURA (°C)

Figura 2.6a - Influência da temperatura sobre a taxa de digestão anaeróbia na faixa mesofílica segundo Henzen e Harremões (1983)

Fonte: Van Haandel & Lettinga, (1994)



Período de incubação (dia)

Figura 2.6b - Eficiência de remoção de material do lodo primário versus temperatura sobre o tempo de digestão segundo O'Rourke (1968)

A taxa de digestão é influenciada pela temperatura e também pelos sólidos orgânicos que podem ser metabolizados no processo da digestão anaeróbia. A Figura 2.6b mostra a influência da temperatura e do tempo de digestão através de valores experimentais de lodo primário (isto é, sólidos decantados de esgoto bruto) obtidos por O'Rourke (1968). O diagrama mostra claramente, que a fração de material orgânico que é digerida diminui marcadamente com a temperatura

2.6.2 - pH

Na digestão anaeróbia as bactérias metanogênicas são consideradas extremamente sensíveis às variações do valor e estabilidade do pH, isto é, o crescimento ótimo ocorre em faixa do pH relativamente estreita, perto do valor neutro tratando-se de reatores UASB. Speece (1983), considera que o reator deve ser operado numa faixa entre 6,5 e 8,2. Segundo esse autor, em determinadas condições, é possível que o funcionamento seja satisfatório para o reator UASB em até pH 6,0. Já as bactérias acidogênicas têm como valor ótimo para seu crescimento, o pH próximo a 6,0. As bactérias acetogênicas e

metanogênicas se desenvolvem melhor em pH próximo do neutro. Portanto todas as populações bacterianas devem estar presentes no processo em quantidades satisfatórias (Van Haandel & Lettinga, 1994).

O valor do pH no reator se estabelece após o equilíbrio iônico dos diferentes sistemas ácido/base presentes nos sistemas de tratamento. Os sistemas de ácidos fracos (não completamente ionizados) são os mais importantes para estabelecer o pH, em particular o sistema carbônico (CO_2 , HCO_3^- e CO_3^{2-}) sendo muitas vezes, o fator determinante para o valor e a estabilidade do pH no sistema.

2.3.6– Nutrientes

A presença dos nutrientes nitrogênio (N) e fósforo (P) são essenciais para todo o processo da digestão anaeróbio. A quantidade de nitrogênio (N) e fósforo (P), em relação à matéria orgânica presente (expressa como DQO, por exemplo), depende da eficiência dos microrganismos em obter energia para síntese, a partir das reações bioquímicas de oxidação do substrato orgânico. Campos *et alii* (1999) relatam que as baixas velocidades de crescimento dos microrganismos anaeróbios, comparadas às dos aeróbios, resulta em menor requerimento nutricional. Além do nitrogênio e fósforo, o enxofre (S) é também considerado um dos nutrientes essenciais para a fase da metanogênese. Em geral, a concentração de enxofre (S) deve ser da mesma ordem de grandeza ou levemente superior à de fósforo (P). As bactérias assimilam o enxofre na forma de sulfetos, originados da redução biológica de sulfatos, que é um constituinte comum a muitas águas residuárias. Os micronutrientes ou traços de nutrientes são também importantes para as bactérias metanogênicas. É de grande importância lembrar que qualquer nutriente ou elemento em solução no digestor anaeróbio, desde que seja em excesso, pode provocar sintomas de toxidez na colônia de microrganismos presentes.

2.3.6– Substâncias Tóxicas

A presença de substâncias tóxicas influencia a taxa de digestão anaeróbia. Embora seja difícil estabelecer o limite máximo da concentração permissível para elementos supostamente tóxicos. Alguns autores apresentam uma variedade de grupos de substâncias químicas que constituem fortes agentes tóxicos à digestão anaeróbia, tais como: metais pesados, substâncias organocloradas, sulfetos, nitrogênio amoniacal, cianetos, oxigênio, etc. Segundo Van Haandel e Lettinga (1994) as substâncias químicas como metais pesados e substâncias organocloradas têm uma influência tóxica, mesmo quando se apresentam em concentrações muito baixas.

2.7 - Parâmetros de Projeto de reatores UASB.

2.7.1 - Tempo de Detenção Hidráulica (TDH)

O tempo de detenção hidráulica dependerá das características da água residuária e das condições operacionais. O tempo de detenção hidráulica ótimo dependerá do resultado desejado e da presença ou não de unidades de pós-tratamento. Para o tratamento de esgoto o TDH mínimo citado por Campos *et alii* (1999) é de 4,8 horas.

$$TDH = \frac{V_r}{Q_a} \quad (2.6)$$

A eficiência do tratamento também pode ser analisada em função da velocidade ascendente do líquido no UASB. Logo, relaciona-se este parâmetro com o tempo de detenção hidráulica :

$$V_l = \frac{Q_a}{A} = \frac{Q_a \cdot H}{V_r} = \frac{H}{TDH} \quad (2.7)$$

Onde:

Q_a = vazão, em m³/hora;

V_l = velocidade ascendente na zona de digestão, em m/hora;

V_r, H, A = volume, profundidade e área do UASB, respectivamente, em m³, m e m²;

TDH = tempo de detenção hidráulica do líquido, em hora;

A velocidade ascendente recomendada segundo Lettinga & Hulshoff Pol (1995) deve ser inferior 1,0 m/hora e com picos temporários de até 1,5 m/hora.

2.7.2 - Carga Hidráulica

Em sistemas de tratamento de esgoto a carga hidráulica é igual à vazão do afluente. Define-se a carga hidráulica específica como a razão entre a vazão afluente e o volume do reator biológico do sistema de tratamento. Logo a carga hidráulica específica é numericamente igual ao inverso do tempo de detenção hidráulica. Segundo Campos *et alii* (1999) a carga hidráulica específica não deve ser superior 5 m³/m³.dia para que o TDH seja maior que 4,8 horas.

$$l_h = \frac{Q_a}{V_r} = \frac{l}{TDH} \quad (2.8)$$

Onde:

l_h = carga hidráulica específica (h⁻¹);

Q_a = vazão afluyente, em m^3/h ;

V_r = volume do reator biológico, em m^3 .

2.7.3 - Carga Orgânica

Analogamente, define-se a carga orgânica como a massa de material orgânico aplicado por unidade de tempo. A carga orgânica específica é a massa de material orgânico afluyente por unidade de tempo e por unidade de volume do reator.

$$l_o = \frac{L_o}{V_r} = \frac{(Q_a S_{ia})}{V_r} = \frac{S_{ia}}{TDH} \quad (2.9)$$

Onde:

l_o = carga orgânica específica ($kg \cdot m^{-3} \cdot dia^{-1}$)

L_o = carga orgânica ($kg \cdot dia^{-1}$)

Q_a = vazão do afluyente ($m^3 \cdot dia^{-1}$)

S_{ia} = DQO afluyente ($kgDQO \cdot m^{-3}$).

Levando-se em consideração que tanto a vazão como a concentração do material orgânico do afluyente são variáveis, a carga orgânica (específica) também varia com o tempo. A carga hidráulica e a carga orgânica são parâmetros muito importantes para o projeto de sistemas de tratamento de águas residuárias. No caso de reatores UASB tratando esgoto municipal a carga hidráulica será o fator limitante.

2.8 - Controle Operacional da Produção e Característica do Lodo Anaeróbio

2.8.1 - Produção de Lodo Anaeróbio

Todos os sistemas biológicos de tratamento de esgoto produzem lodo de excesso, que se acumulam no sistema de tratamento e que devem ser descarregados com uma determinada frequência. O lodo de excesso é uma mistura de sólidos orgânicos e inorgânicos. O lodo orgânico se compõe de uma fração de massa bacteriana viva e outra de sólidos voláteis suspensos sem atividade biológica que vem da flocculação de sólidos orgânicos inertes no afluyente e do decaimento das bactérias: o resíduo endógeno. A massa de lodo inorgânico é originada da flocculação de sólidos inorgânicos em suspensão.

Em processos anaeróbios a conversão da matéria orgânica em massa bacteriana se dá a uma taxa da ordem de 0,10 a 0,20 $kg SST/ kg DQO_{apl.}$ (Van Haandel & Lettinga,

(1994), afirmam que esta é uma das principais vantagens dos processos anaeróbios sobre os aeróbios.

Algumas características importantes dos lodos anaeróbios provenientes de reatores UASB citadas por Campos *et alii* (1999) são:

“Elevado grau de estabilização, devido ao elevado tempo de residência celular no sistema de tratamento, o que possibilita o seu destino a unidades de desidratação (secagem) sem qualquer etapa prévia de tratamento”.

“Elevada concentração de sólidos, usualmente da ordem de 3 a 5 %, possibilitando o descarte de menores volumes de lodo.

“Alta facilidade de desidratação”.

“Possibilidade de utilização do lodo seco como fertilizante na agricultura, desde que tomados os cuidados necessários devido a presença de patógenos”

A produção de lodo em reatores UASB pode ser estimada em termos da carga de DQO aplicada:

$$P_{lodo} = Y \cdot DQO_{apl} \quad (2.10)$$

Onde:

P_{lodo} é a produção de lodo no sistema (kg SST/ dia)

Y é o coeficiente de produção do rendimento de sólidos no sistema (kg SST/ Kg DQO_{apl});

DQO_{apl} é a carga de DQO aplicada ao sistema (kg DQO/ dia);

Segundo Campos *et alii* (1999), os valores de Y relatados para o tratamento de esgotos domésticos são de 0,10 a 0,20 kg SST/ kg DQO_{apl}.

A avaliação da produção volumétrica de lodo pode ser feita a partir da seguinte equação, conforme Campos *et alii*, (1999)

$$V_{lodo} = \frac{P_{lodo}}{\gamma \cdot C} \quad (2.11)$$

Onde:

V_{lodo} é a produção volumétrica de lodo (m³/dia);

γ é a densidade do lodo (usualmente da ordem de 1,020 à 1,040 kg/m³);

C é a concentração do lodo (%).

2.8.2 - Descarga de Lodo do Sistema Anaeróbio do UASB

Nos reatores anaeróbios a acumulação de sólidos biológicos se dá após alguns meses de operação contínua. A taxa de acumulação de sólidos depende, essencialmente, do tipo de efluente tratado, sendo maior quando o esgoto afluente apresenta elevada concentração de sólidos não biodegradáveis. A acumulação de sólidos deve-se ainda à

presença de material mineral como argilas e areia, além da produção de biomassa. Quando predomina a acumulação de sólidos que não ocorre pelo crescimento bacteriano, esta pode ser reduzida por meio de um pré-tratamento (coagulação, floculação, decantação). Já a acumulação da biomassa depende, essencialmente, da composição do esgoto, sendo maior para aqueles com elevadas concentrações de material orgânico.

Para avaliar a quantidade de lodo excedente produzida em reatores de manta de lodo tem sido usual a adoção da taxa de 0,10 a 0,20 kg SST por kg DQO aplicada ao sistema. O descarte do lodo excedente não deverá ser necessário durante os primeiros meses de operação do reator. Quando o descarte se fizer necessário este deve ser feito preferencialmente da parte superior do leito de lodo (lodo floculento).

2.8.3 - Amostragem e Descarte da Massa de Lodo de Excesso do reator Anaeróbio

O projeto do reator UASB deve contemplar um conjunto de registros e tubulações que permitam tanto a coleta de amostras quanto a descarga programada da massa dos sólidos presentes no reator (descarga de lodo de excesso).

O sistema de amostragem do reator deve estar distribuído ao longo de toda a altura do compartimento de digestão.

2.8.4- Atividade e Estabilidade do Lodo

A taxa específica de remoção da DQO também pode ser interpretada como atividade metanogênica específica média do lodo sob as condições operacionais nos processos de tratamento de águas residuárias. O valor desse parâmetro, que reflete a atividade metanogênica *in situ*, pode ser comparado com atividade metanogênica específica máxima de lodo que se desenvolve num ambiente sem limitações de substrato metanogênico. A estabilização do lodo é geralmente associada a putrescibilidade, ou à biodegradação do material orgânico, conduzindo a produção de odor Lotito *et al* 1991 apud Nobuyoshi *et al*, (1993). Em geral, o lodo constitui uma mistura complexa de sólidos de origem biológica e mineral resultante de algum método de tratamento. O constituinte principal em todos os tipos de lodo é a água (mais de 50 %). Outras substâncias podem estar eventualmente presentes como, compostos orgânicos carbonáceos (dissolvidos e suspensos), substâncias tóxicas, metais pesados, patógenos, nutrientes (N, P e K) e traços de micronutrientes (Nobuyoshi *et al* 1993).

Na estabilização do lodo de excesso, há diversos processos de tratamento para se efetuar a separação das fases sólida e líquida. Para se efetuar a disposição final do lodo são

apresentados alguns métodos de tratamento, de uso comum, como mostra a Figura 2.7 bem como as frações máximas de sólidos que se pode obter, mediante estes processos.

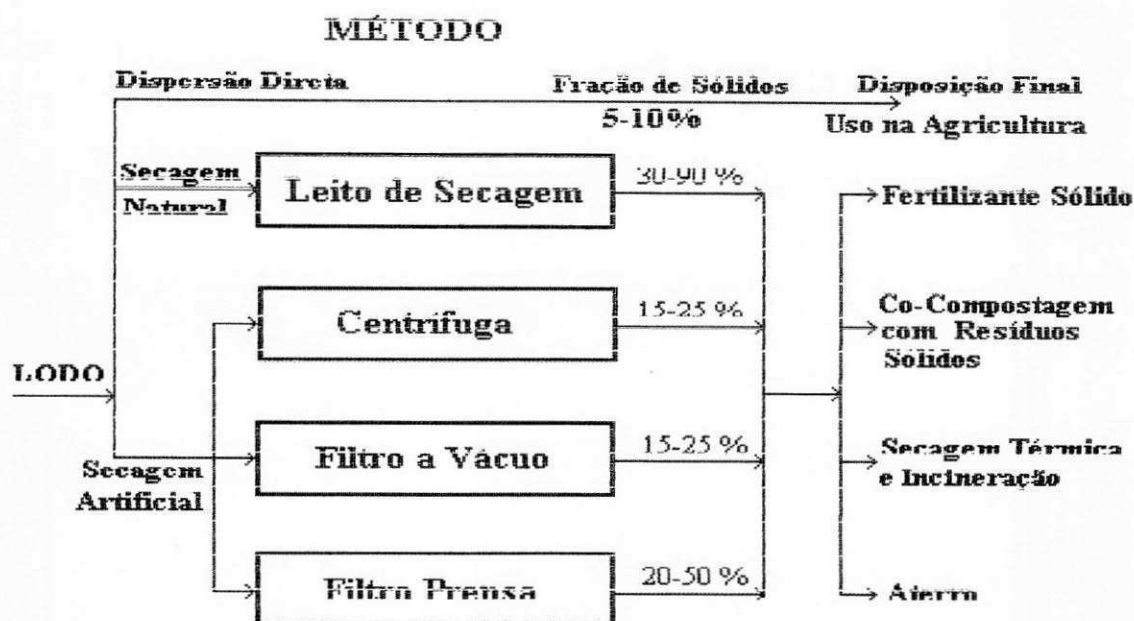


Figura 2.7 - Alguns métodos para o tratamento e a disposição final do lodo de excesso.

Fonte: Van Haandel & Lettinga (1994).

Segundo Van Haandel & Lettinga (1994), os sólidos estabilizados via digester anaeróbio podem ser utilizados como fertilizantes na agricultura, ou podem ter outro destino final tal como incineração, compostagem e aterro sanitário.

2.8.5- Idade do Lodo Anaeróbio

Define-se a idade do lodo ou o tempo de permanência dos sólidos em um sistema de tratamento biológico como a razão entre a massa de lodo descarrega diariamente do sistema e a massa de lodo presente no reator sob condições estacionárias. Segundo Van Haandel & Lettinga (1994), quando há um estado estacionário, a massa de lodo no sistema não varia com o tempo de modo que a taxa de produção de lodo se iguala à taxa de descarga intencional ou descarga involuntária, como lodo de excesso que é expulsa juntamente com o efluente na forma de sólidos sedimentáveis.

“O cálculo da idade do lodo determina o tempo médio de sólidos retidos no sistema. Naturalmente, é perfeitamente concebível que sólidos do afluente passem pelo leito do lodo e antes de serem metabolizados apareçam no efluente, tendo portanto um tempo de permanência muito curto, enquanto o lodo biológico, presumivelmente mais pesado, teria um tempo de permanência mais longo” ou seja a idade do lodo biológico.

CAPÍTULO III
MATERIAIS e MÉTODOS

CAPÍTULO III

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Introdução

Para definir critérios sobre a frequência e magnitude de descarga de lodo de excesso de reatores UASB, tratando esgoto sanitário, foi realizada uma investigação experimental onde três reatores do tipo UASB foram operados sob condições semelhantes em relação a carga hidráulica e à carga orgânica aplicada. Durante a investigação os reatores foram submetidos a descargas de lodo com diferentes magnitudes.

A investigação experimental foi dividida em duas fases, que foram caracterizadas pelo tempo de detenção hidráulico de 8 horas na 1ª fase e 4 horas na 2ª fase.

Como reatores UASB, normalmente, são projetados com uma profundidade útil de 4 a 6 metros, nesta investigação experimental foram usados três digestores com volume de 126 litros cada e quatro metros de altura. Os reatores denominados de EJ₁, EJ₂ e EJ₃ foram instalados num terreno cedido pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA à UFPB, localizado na avenida Conselheiro José Noujaim Habib (Canal do Prado), bairro do Catolé na cidade de Campina Grande. Nesse terreno passa um interceptor subterrâneo do sistema de esgotamento sanitário urbano operado pela CAGEPA. Inicialmente, os reatores foram inoculados com lodo anaeróbio proveniente de fossa séptica, sendo então alimentados com esgoto bruto proveniente do sistema de esgotos. Neste capítulo, será apresentado um resumo descritivo de todo o funcionamento do sistema experimental na 1ª e 2ª fases, das três unidades em escala piloto, montados conforme esquema da Figura 3.1.

3.2 - O Sistema Experimental

O sistema experimental investigado era constituído de: (1) um poço de visita (PV) de onde o esgoto era recalcado; (2) uma caixa de armazenamento e distribuição do esgoto recalcado; (3) as bombas de recalque e peristáltica dosadora com seus canais e (4) os reatores UASB EJ₁, EJ₂ e EJ₃. A Figura 3.1 mostra um esquema das instalações que formavam o sistema experimental.

Todo o ciclo de vazão, desde a captação do esgoto bruto até o destino final do efluente tratado, foi executado na estrutura física esquematizada na Figura 3.1.

O esgoto bruto era captado através de uma bomba submersa (bomba sapo), instalada dentro do poço de visita Figura 3.3, localizado ao lado do interceptor da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba – CAGEPA, que passa a cerca de 50 metros de onde se encontrava instalado o sistema experimental. O esgoto, coletado no poço de visita, era bombeado, intermitentemente, para uma caixa de cimento amianto com capacidade de armazenar 100 litros. Dentro da caixa existia uma bóia elétrica controladora do nível de esgoto que ligava e desligava a “bomba sapo”. A caixa funcionava como um tanque de distribuição para todas as unidades em operação no âmbito do PROSAB – Programa de Saneamento Básico do qual a presente pesquisa fazia parte.

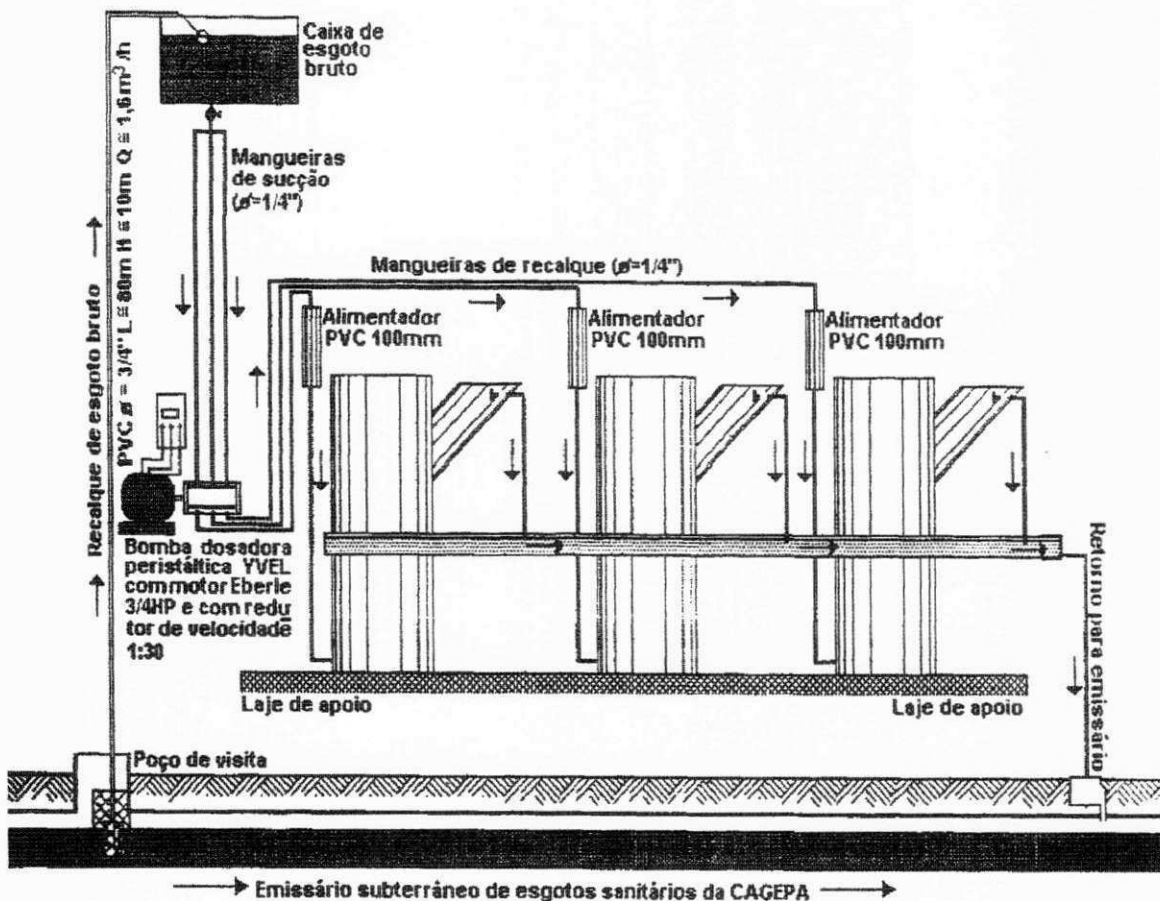


Figura 3.1 – Esquema de instalação do sistema experimental e o ciclo das vazões para os três reatores.

Na parte inferior (fundo) da caixa, foram feitos orifícios adequados para que fossem colocados flanges de 3/4", onde foram fixados registros de fechamento rápido. Estes

registros eram destinados a fechamento de emergência, como no caso de rompimentos das mangueiras ou canais ou quando era interrompido o funcionamento das vazões para manutenção e limpeza preventiva. Da parte inferior da caixa o esgoto saía, por gravidade, através de mangueiras de plástico, conectadas diretamente ao registro de passagem, com diâmetro interno de 10 mm. Através de bifurcações necessárias, o esgoto era distribuído para os três canais que passavam pelos rotores da bomba peristáltica de modo que as três unidades de digestão recebiam uma mesma vazão. Os canais que passavam pelo rotor eram de mangueiras de ¼", em silicone, de modo que, ao mesmo tempo em que fossem bastante flexíveis e elásticas, também demonstrassem resistência ao atrito com os rolos giratórios do rotor. Após passagem pelo rotor os afluentes eram encaminhados por mangueira flexíveis também de ¼", para cada um dos alimentadores dos reatores. Os alimentadores, situados no topo dos reatores eram em tubos de PVC de 100 mm de diâmetro e 50 cm de altura, de modo a garantir o mesmo nível de pressão na entrada de cada um.

O esgoto entrava na parte inferior do reator após descer da caixa de passagem (alimentador) por uma mangueira flexível de ¾". No reator, o esgoto seguia uma trajetória ascendente passando pela manta de lodo até chegar na zona de decantação no decantador. No ponto de saída do efluente, na extremidade superior do reator, o efluente era descartado e encaminhado, através de uma mangueira flexível de ¾", de volta para o interceptor. Todo o aparato experimental foi instalado à céu aberto conforme mostra a Figura 3.2.

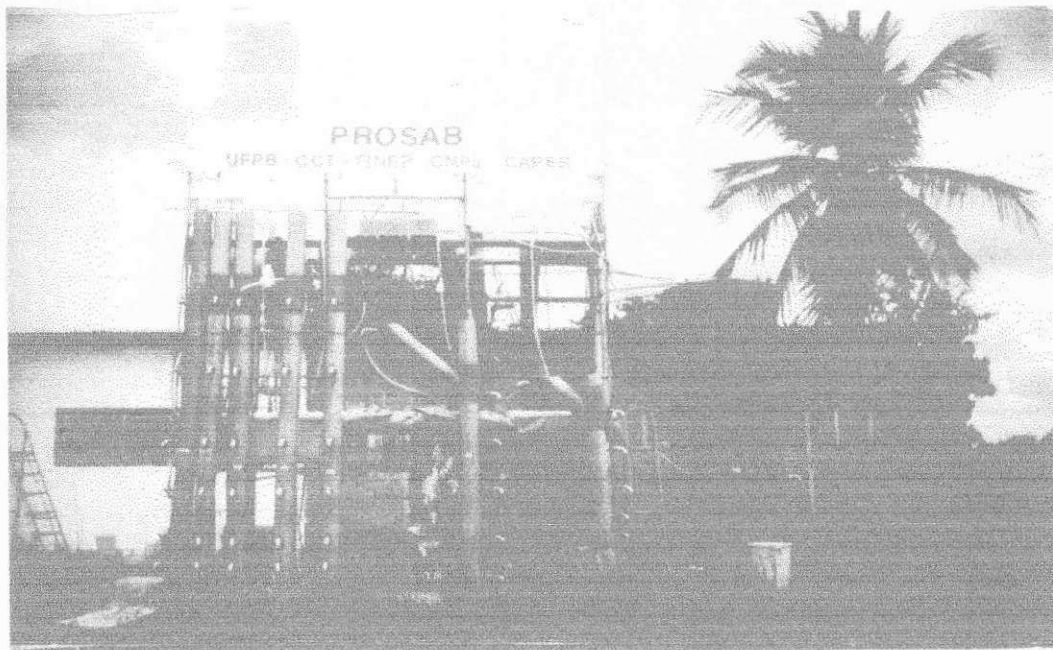


Figura 3.2 - Instalação dos reatores UASB numa estrutura de andaimes usados nas duas fases do experimento.

3.1.1 - Alimentação dos Reatores

- **Captção do Esgoto Bruto**

O esgoto bruto era captado em um poço de visita (PV), do interceptor do sistema de esgotamento sanitário da cidade de Campina Grande – PB, o qual passava no terreno onde se situavam as instalações da pesquisa. No poço de visita foi colocado uma “bomba sapo” submersa de fabricação Hidraman, modelo 265 (220 Volts) que realizava o bombeamento do esgoto até a caixa de distribuição. A Figura 3.3 mostra o interior do PV.

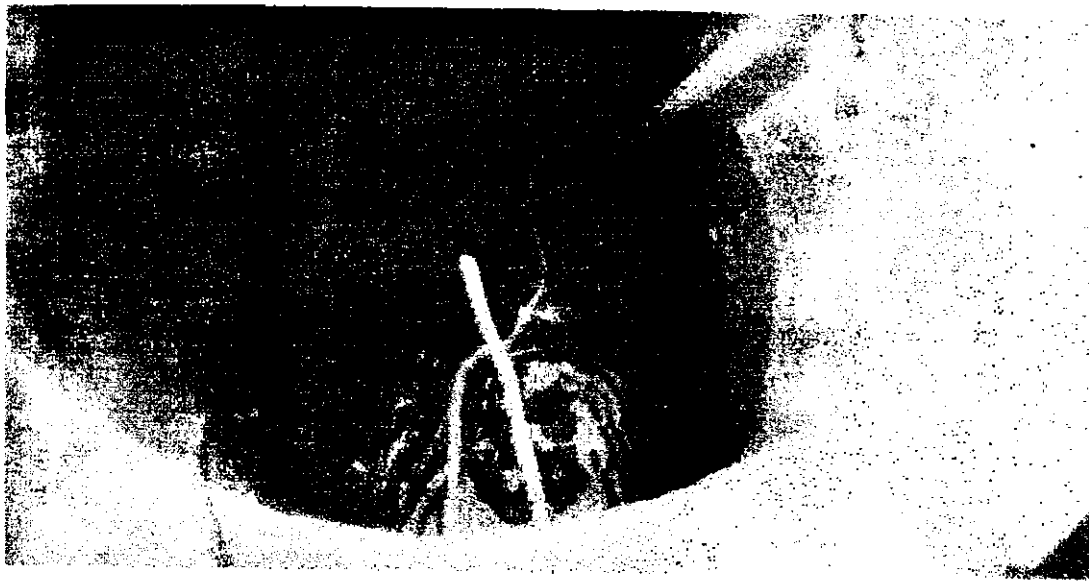


Figura 3.3 - Poço de visita onde era recalçado o esgoto bruto para a caixa de distribuição

- **Caixa de Distribuição**

A caixa, em cimento amianto, tinha um volume de 100 litros e funcionava como reservatório de distribuição; nela estava instalada uma bóia elétrica automática que regulava os tempos em que a “bomba sapo”, localizada no poço de visita ficava ligada mantendo uma vazão de esgoto média de $1,6 \text{ m}^3/\text{h}$ e desligada. A Figura 3.4. mostra uma foto da instalação da caixa, mostrando também a bóia automática. Da caixa de distribuição, o esgoto passava por um registro e era distribuído por gravidade através de mangueiras flexíveis de 10 mm de diâmetro interno. A bomba peristáltica controlava a vazão afluente para os três canais e, cada canal possuía um parafuso de regulagem que possibilitava o controle das vazões iguais para cada um dos três reatores

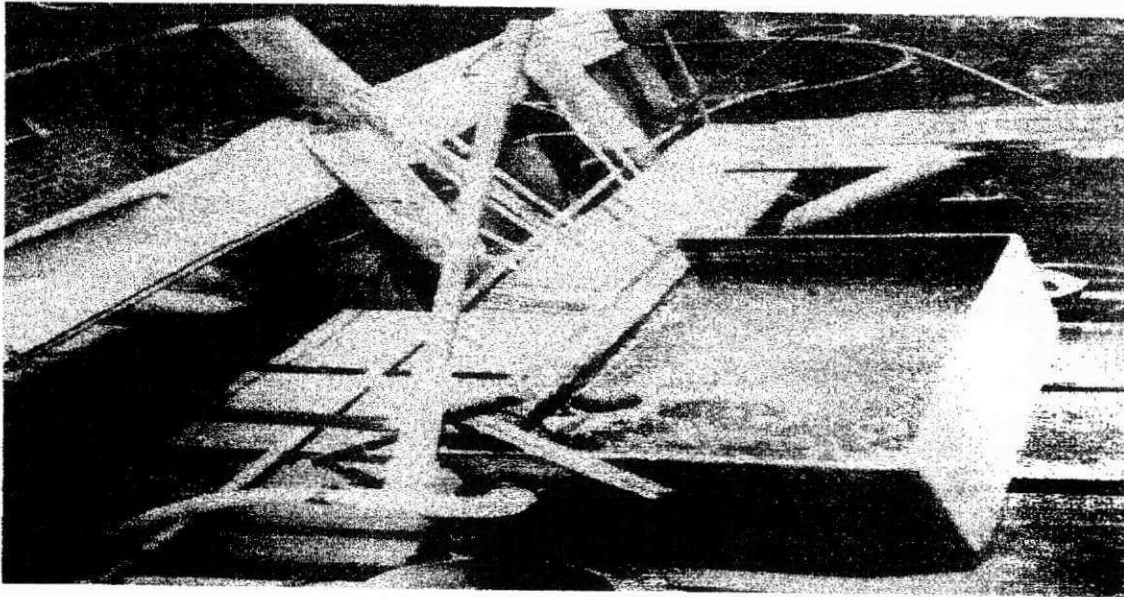


Figura 3.4-Caixa de distribuição do afluente e ao lado esquerdo a bóia elétrica automática

• Bomba Peristáltica

A bomba distribuidora das vazões, do tipo peristáltica, foi fabricada pela indústria Yvel, com motor da marca Eberle (3/4 HP, 2 fases) com redutor de velocidade de 1:30. A bomba dosadora era constituída de um conjunto de motor e redutor acoplados a um rotor. A figura 3.5 mostra o funcionamento de recalque onde o rotor era formado por um eixo central e seis rolos equidistantes deste. A bomba dosadora possuía três canais que passavam pelo rotor e eram constituídos de mangueiras de silicone de 1/4", bastante flexíveis e elásticas, resistentes ao atrito resultante do contato com os rolos giratórios do rotor.

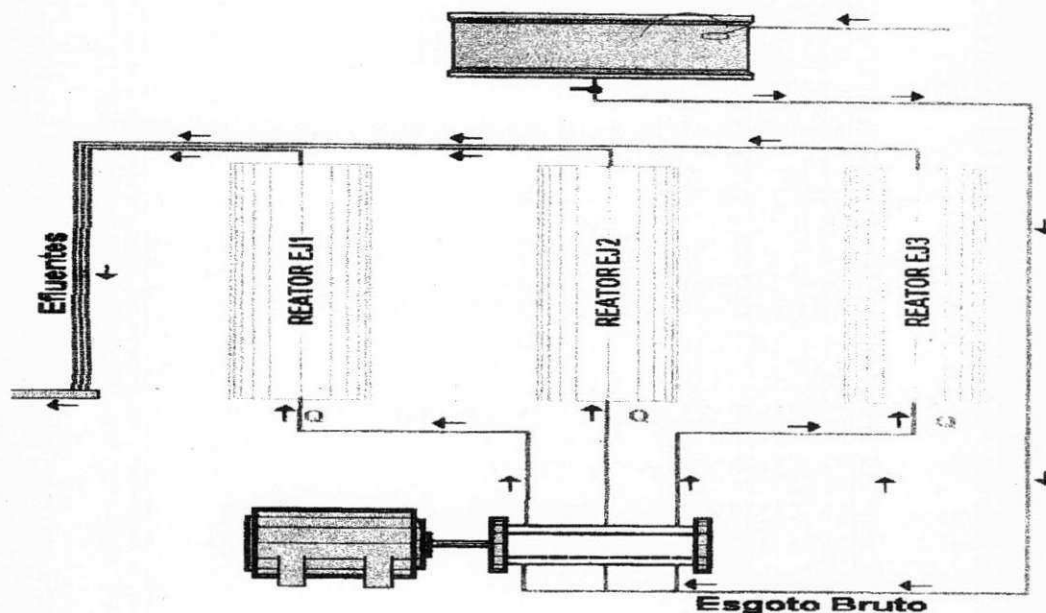


Figura 3.5 – Esquema de funcionamento do recalque do esgoto bruto para os três reatores denominados de EJ₁ EJ₂ e EJ₃.

- **Dispositivo de Alimentação**

O dispositivo de alimentação, denominado de alimentador ficava situado na extremidade superior do UASB correspondente (ver Figura 3.6), de modo a garantir o mesmo nível de pressão na entrada do afluente que era ascendente no reator. A bomba dosadora recalava o esgoto para o dispositivo que era situado na extremidade do UASB; o recalque era feito através de mangueiras plásticas com 10 mm diâmetro interno. Do alimentador o esgoto seguia, por gravidade, por outra mangueira também de plástico, com diâmetro de 20 mm, para o ponto de entrada, localizado na base inferior do reator. Conforme se vê na figura 3.6 ao lado direito do reator aparece o tubo em PVC denominado de alimentador.

- **Sistema Elétrico/Eletrônico**

Para o funcionamento de todo o sistema elétrico e eletrônico que foi utilizado na parte experimental da pesquisa, os dispositivos eram formados por:

- Temporizador;
- Disjuntores e fusíveis;
- Bóia elétrica de nível superior.

- **Temporizador**

Na pesquisa foi utilizado um temporizador, sendo o mesmo de excelente qualidade e confiabilidade. Possuía dois tipos de controle de tempo: um usado para o tempo que o equipamento se encontrava ligado (bomba peristáltica) e o outro para o tempo em que o mesmo se encontrava desligado.

O temporizador era do tipo monofásico com alimentação de 220 V / 60 Hz. Para sinalização de quando se encontrava ligado duas luzes eram automaticamente acesas e indicavam: temporizador energizado e bomba em funcionamento. Foi utilizado para os dois TDH de 8 e 4 horas ambos para fixar as vazões em 16 l/h e 32 l/h, respectivamente.

- **Disjuntores e Fusíveis**

Disjuntores são definidos como sendo fusíveis eletrotérmicos que protegem os circuitos elétricos interrompendo a passagem de corrente elétrica superior à corrente nominal desses componentes. Fusíveis são definidos como sendo elementos de proteção

utilizados em circuito elétrico / eletrônico para evitar danos aos componentes do sistema. Foi utilizado um fusível de 5 ampères no temporizador.

•Bóia Elétrica de Nível Superior

A bóia foi instalada na caixa de alimentação e comandava a bomba submersa localizada no emissário. A bóia elétrica de nível superior era utilizada para controlar o nível máximo de 80 % e o mínimo de 30 % da capacidade da caixa de alimentação. Era de fabricação AQUAMATIC, com capacidade de 15 ampères.

3.2.2 - Descrição dos Reatores UASB

No projeto em escala piloto foram utilizados três unidades do tipo UASB, os quais foram denominadas de EJ₁, EJ₂ e EJ₃. Os reatores fabricados com tubos de PVC, possuíam forma cilíndrica e volume útil de 126 litros, tinham 4 m de altura e diâmetro externo e interno de 200 e 190 mm, respectivamente.

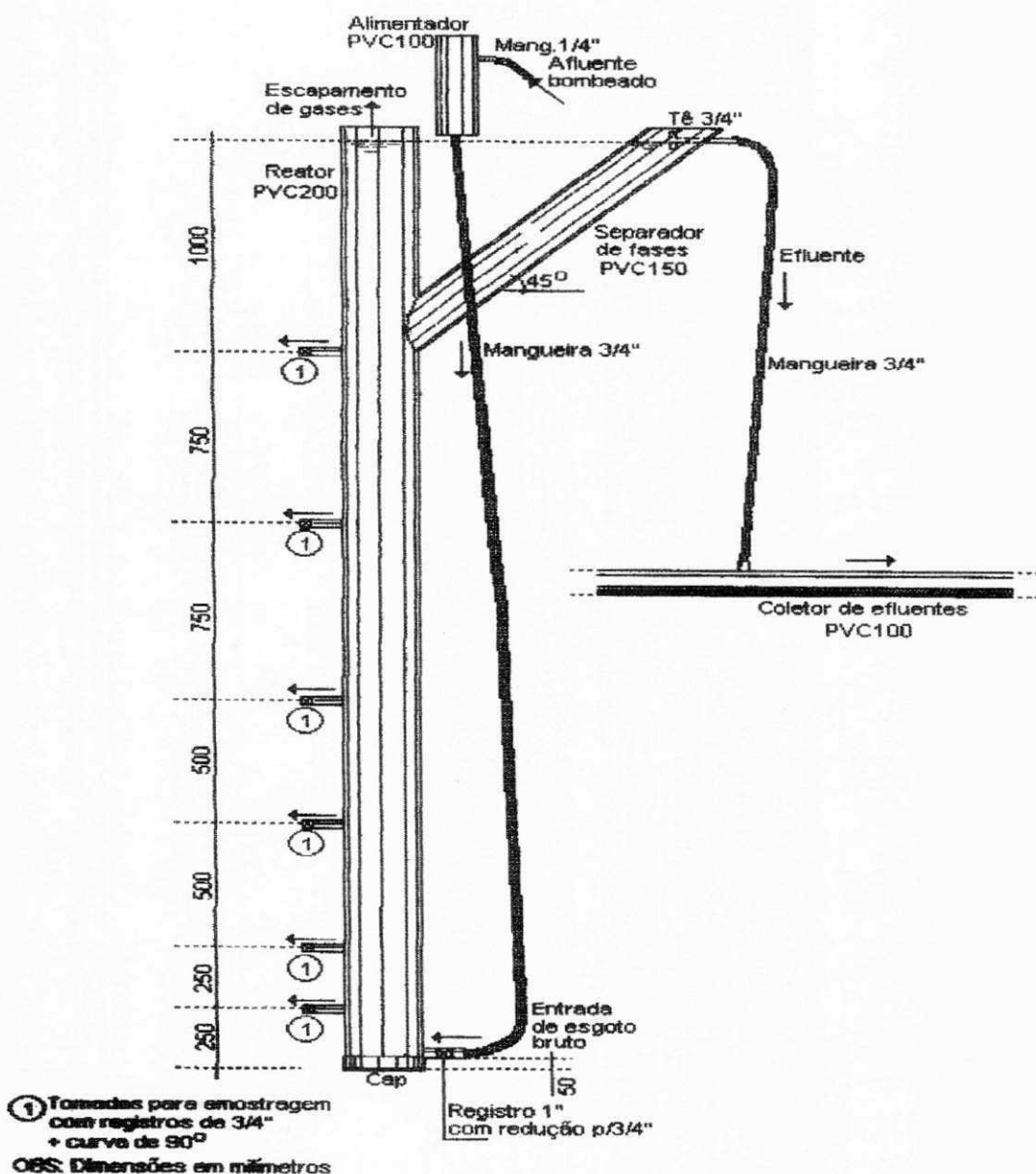


Figura 3.6. – Esquema de instalação dos três reatores tipo **UASB** usados na pesquisa.

Os reatores utilizados tinham uma configuração diferenciada do reator UASB convencional, no que concerne ao separador das fases sólida e líquida: um tubo também em PVC, de 150 mm de diâmetro externo e 149 mm de diâmetro interno, conectado ao reator formando um ângulo de 45° que funcionava como separador das fases líquida e sólida, conforme mostra a Figura 3.6.

Ao longo dos 4 m de altura do reator estavam distribuídos seis pontos de coleta de amostras, denominado de P₁, P₂, P₃, P₄, P₅ e P₆ sendo sua localização conforme as distâncias mostradas na Figura 3.6, sendo iniciada a distribuição dos pontos da base para o topo. Em cada ponto de influência foi colocado registro de ¾” mais curva de PVC de 90°. Nesses pontos eram coletadas as amostras da manta de lodo que estava sendo formado no interior do UASB

A localização dos pontos de coleta de amostras do lodo dos reatores utilizados na pesquisa está descrita na Tabela 3.5 .

3.3. - Operação dos Reatores

No período inicial de operação, as três unidades foram inoculadas com lodo anaeróbio. A pesquisa teve duas fases de operação, a primeira fase com um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 08 (oito) horas e a segunda com (TDH) de 04 (quatro) horas, respectivamente. Durante a operação, os três reatores foram acompanhados com relação ao desempenho e à estabilidade operacional de seus parâmetros, que determinavam as frações da massa de lodo para que fosse determinada a estratégia de descargas do lodo com diferentes porcentagens da massa de lodo de excesso.

3.3.1 - Alimentação

A alimentação dos três reatores era feita com esgoto sanitário. O esgoto, com suas variações naturais ao longo do dia, das características químicas, físicas e biológicas era normalmente introduzido nos reatores. Dessa forma, todos os reatores ficavam sujeitos as variações de carga orgânica ao longo de toda a pesquisa experimental.

O afluente que entrava na base do reator pelo registro de passagem de ¾” em PVC, seguia uma trajetória no sentido ascendente e, ao passar pela manta de lodo, onde ocorriam os processos de digestão anaeróbia, (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese), era tratado seguindo até o separador de fases sólido-líquido, sendo então descarregado na saída do separador de fases como efluente. A passagem do efluente arrastava eventuais

partículas ligadas às bolhas de gás, até o separador de fases, onde aquelas normalmente eram decantadas retornando ao interior do reator. O biogás, seguia uma trajetória vertical ascendente e se desprendia da fase líquida para a atmosfera na parte superior do reator.

3.3.2 - Estabilidade Operacional do UASB

A estabilidade operacional, durante o tempo de funcionamento do sistema de tratamento anaeróbio depende da qualidade que se quer do efluente final. Quando todo o processo se encontra estável produz constantemente um efluente com pH próximo de sete (7) e uma relação de equilíbrio entre as concentrações dos ácidos graxos voláteis e alcalinidade. A estabilidade operacional está intrinsecamente relacionada com os parâmetros pH, alcalinidade de bicarbonato, ácidos graxos voláteis (AGV) e a temperatura (Van Haandel & Lettinga, 1994 e Chenicharo, 1997).

3.3.3- Operação na Primeira Etapa

Na primeira etapa os reatores EJ₁, EJ₂ e EJ₃ foram operados durante um período de vinte e seis semanas, todos com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 08 (oito) horas. A operação dos reatores foi iniciada no dia 23 de abril de 1997, após os reatores terem sido inoculados com o lodo anaeróbio com volumes iguais para as três unidades.

A partida dos reatores, definida como o tempo necessário para que se desenvolva, no reator, uma massa de microrganismos anaeróbios compatível com o substrato afluente (esgoto bruto), ocorreu após 72 dias do início da operação para os três reatores. A partida ficou evidenciada pela estabilidade operacional dos reatores quanto ao desempenho em termos da eficiência de remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos, assim como pela estabilidade do processo anaeróbio traduzida por baixa concentração de ácidos graxos voláteis, alta concentração de bicarbonato (alta alcalinidade) e pH próximo ao neutro. No início do monitoramento dos reatores foi intensificado para se determinar a produção e a evolução da massa de lodo nele acumulada (ver item 3.5). Quando a capacidade de acumulação de lodo pelo reator, atingiu um valor máximo de sua capacidade, foi realizada a primeira descarga programada da massa de lodo. Nesta primeira descarga foi realizada uma descarga para cada reator com magnitudes variadas conforme mostra a Tabela 3.1.

Após cada descarga eram observados os resultados dos parâmetros de controle operacional para cada reator. Partindo dos resultados obtidos, se determinava o somatório da massa de sólidos totais contida no reator representando uma fração com variação de

50% a 90% de sua capacidade e após esta identificação dava-se nova descarga sem que prejudicasse sua estabilidade operacional. Dessa forma, foram dadas três descargas com porcentagens variadas para as três unidades, após o período de estabilidade operacional.

A Tabela 3.1. contém um resumo dos parâmetros operacionais da primeira etapa e as porcentagens de lodo descarregadas de cada um dos reatores. Vê-se nesta tabela que a 1ª descarga foi dada após 73 dias de operação contados a partir da inoculação. A segunda descarga foi dada após 59 dias de operação após a 1ª e a terceira descarga foi dada após 27 dias de operação após a 2ª descarga da massa de lodo de excesso.

Tabela 3.1 – Parâmetros operacionais dos reatores na primeira etapa (TDH = 8 horas) com suas respectivas magnitudes de descargas da massa de lodo de excesso.

1ª etapa de operação dos reatores	TDH (horas)	Vazão (l/h)	Velocidade ascensional (m/h)	1ª descarga (%)	2ª descarga (%)	3ª descarga (%)
EJ₁	08	16	0,5	46	40	78
EJ₂	08	16	0,5	25	45	80
EJ₃	08	16	0,5	76	54	26
Dias de operação	(*)			59	27	26

Obs.: (TDH) = tempo de detenção hidráulica.

(*) 73 dias de operação antes da primeira descarga (estabilidade operacional)

3.3.4. Operação na Segunda Etapa

Na segunda etapa os três reatores foram operado durante um período de dezessete semanas com um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 4 horas. A operação dos reatores foi iniciada no dia 24 de outubro de 1997

A operação da segunda fase foi procedida da mesma forma que a primeira, sendo que o período de adaptação à nova carga hidráulica aplicada foi de 26 dias para os três reatores. Estabelecendo-se a estabilidade operacional, foram realizadas duas descargas da massa de lodo de excesso com magnitudes percentuais variadas para as três unidades.

A Tabela 3.2 contém um resumo dos parâmetros operacionais da segunda etapa e as porcentagens de lodo descarregadas de cada um dos reatores. Vê-se nesta tabela que a 1ª descarga foi dada após 26 dias de operação contados a partir do início da segunda fase. A segunda descarga foi dada após 70 dias de operação após a 1ª descarga da massa de lodo de excesso.

Tabela 3.2 – Parâmetros operacionais dos reatores na 2ª fase (TDH = 4 horas) e os dias de operação entre os intervalos de cada descarga, mostrando suas respectivas porcentagens de descargas de massas de lodo.

2ª etapa de operação dos reatores	TDH (horas)	Vazão (l/h)	Velocidade ascensional (m/h)	1ª descarga (%)	2ª descarga (%)
EJ ₁	04	32	1,0	53	52
EJ ₂	04	32	1,0	64	64
EJ ₃	04	32	1,0	78	75
Dias de operação	(*)			70	23

Obs.: (TDH) = tempo de detenção hidráulica.

(*) 26 dias de operação antes da primeira descarga (estabilidade operacional)

3.3.5 - Monitoramento das Vazões

As vazões eram monitoradas duas vezes ao dia, pela manhã e tarde. O controle das vazões era feito na bomba peristáltica de modo que existia um parafuso que possibilitava o aumento ou a diminuição da tensão das mangueiras de silicone, as quais propiciando um controle da vazão

Na prática, as concentrações dos constituintes de esgotos municipais variam durante o dia. Isto significa dizer que, mesmo sendo constante a vazão de alimentação dos reatores, a carga orgânica afluyente variava ao longo das 24 horas do dia. Por outro lado, para o acompanhamento do desempenho dos reatores, as (amostras pontuais) do esgoto afluyente eram tomadas às 8 horas. Para corrigir o valor da DQO determinada na amostra pontual, de modo que esta representasse o valor médio diário da DQO afluyente, foram feitas quatro campanhas para determinar o perfil diário da DQO. Durante todo o experimento foram determinados quatro perfis de DQO. Com os dados dos perfis foi possível determinar um fator de correção (fc) para todos os valores da DQO para todos os cálculos da dissertação.

Na primeira etapa as vazões de cada reator eram consideradas satisfatórias quando, nas três unidades o intervalo ficava entre 15,5 e 16,5 l/h para cada unidade em operação o que representava uma variação de $\pm 3,12\%$. Na segunda etapa as vazões de cada reator eram controladas da mesma forma e eram consideradas satisfatórias quando as vazões de EJ₁, EJ₂ e EJ₃ ficavam entre 31 e 32 l/h representando uma variação de $\pm 3,12\%$.

3.3.6.- Determinação do Fator de Correção (f_c) da DQO do Esgoto Bruto

Para determinar o fator de correção da DQO afluente é necessário que se tenha feito a caracterização do afluente.

Na prática é comum se observar variações da vazão e da concentração da matéria orgânica do esgoto bruto ao longo de todo o dia. Durante todo o experimento foram realizados quatro perfis para caracterização do afluente quanto ao teor da matéria orgânica. Nestas campanhas, denominadas de perfis, amostras pontuais do esgoto bruto eram coletadas com um intervalo de duas horas, por um período de 24 horas consecutivas.

Os fatores de correção foram determinados dividindo-se o valor médio da DQO, ao longo das 24 horas da campanha, pelo valor da DQO da amostra tomada às 8 horas (horário da coleta de amostras diárias), ambas obtidas no mesmo dia da campanha de amostragens (equação 3.1).

$$f_c = \frac{DQO_{24\text{horas(perfil)}}}{DQO_{8\text{ horas(afluente)}}} \quad (3.1)$$

Onde:

f_c é o fator de correção da DQO afluente

$DQO_{24\text{ horas(perfil)}}$ é a média da DQO afluente nas 24 horas do perfil (mg/l)

$DQO_{8\text{ horas(afluente)}}$ é o valor da DQO afluente obtido às 8 horas no dia do perfil (mg/l)

A DQO corrigida do afluente ($DQO_{Aflu. corr.}$) era obtida multiplicando-se a DQO afluente de amostras tomadas diariamente às 8 horas pelo fator de correção (equação 3.2).

$$DQO_{Aflu. corr.} = DQO_{Aflu} \cdot f_c \quad (3.2)$$

Onde:

$DQO_{Aflu. corr.}$ é o valor da DQO do afluente corrigido para realizar o cálculo do dia (mg/l).

DQO_{Aflu} é o valor da DQO do afluente às 8 horas obtida na coleta de cada dia (mg/l)

Os dados da DQO média, da DQO das 8 horas e dos fatores de correção de cada perfil estão apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Valores da DQO média do afluente durante cada perfil, valores da DQO às 8:00 horas e os valores dos fatores de correção do afluente:

Perfil	Data do Perfil	DQO 24 horas (perfil)	DQO 8 horas (afluente)	f_c
1º	11 e 12/06/97	408	335	1,22
2º	21 e 22/10/97	569	576	0,99
3º	05 e 06/11/97	566	626	0,90
4º	11 e 12/02/98	615	551	1,10

3.4. Métodos de Análises

✓ pH e Temperatura

O pH e a temperatura foram determinados simultaneamente com auxílio de um medidor digital do tipo ORION modelo 230A. O medidor era previamente aferido com soluções tampões de pH 7,0 e 4,0.

Demanda Química de Oxigênio (DQO)

As análises da DQO foram realizadas pelo método de refluxação fechada do dicromato de potássio seguindo técnicas padrões do Standard Methods (APHA et al., 1995). As amostras analisadas foram as do afluente (esgoto bruto) e do efluente (bruto e decantado). As amostras eram decantadas em cone Imhoff de 1000 ml.

✓ Sólidos (ST, STV, STF)

As análises de sólidos totais, fixos e voláteis foram realizadas seguindo técnicas padrões do Standard Methods (APHA et al., 1995). As amostras analisadas foi a concentração de sólidos no lodo anaeróbio dos reatores (manto de lodo), sólidos do afluente e efluentes.

✓ Sólidos Sedimentáveis

Os testes de sólidos sedimentáveis foram realizados fazendo uso do cone Imhoff, deixando a amostra em repouso por 1 hora. Após este tempo era lido o volume de sólidos sedimentados, tendo-se a concentração em ml/l (o líquido sobrenadante decantado era então descartado para se determinar a concentração em mg/l) dos sólidos sedimentáveis.

Alcalinidade (AT, AB e AGV)

Considerações sobre a determinação da alcalinidade pelo método de Dilallo & Albertson, (1961).

A determinação dos ácidos graxos voláteis (AGV) e da alcalinidade de bicarbonato (AB) foi feita segundo o método descrito por Dilallo & Albertson, (1961). Os quais consideraram que a alcalinidade total, determinada através da titulação com um ácido até pH = 4,0 é devida principalmente ao sistema carbônico e aos ácidos graxos voláteis, não sendo importante a contribuição de outros sistemas de ácidos e bases fracos como o sistema fosfórico e amoniacal.

Logo:

$$AT = AB + AAV \quad (3.3)$$

Onde:

AT = alcalinidade total em mg/l como CaCO₃

AB = alcalinidade de bicarbonato em mg/l como CaCO₃

AAV = alcalinidade de ácidos voláteis em mg/l como CaCO₃

Para eliminar completamente o sistema carbônico o pH é rebaixado até aproximadamente 3,5 e, em seguida, a amostra é fervida. Após resfriada a amostra, procede-se com a titulação inversa, elevando-se inicialmente o pH até 4,0 e o volume gasto para elevar o pH de 4,0 até 7,0 dá a alcalinidade devido aos ácidos graxos voláteis. Dilallo & Albertson, (1961) consideraram que a concentração de AGV é:

$$AAV < 180 \rightarrow AGV = AAV \quad (3.4)$$

Por outro lado, quando a alcalinidade de ácidos voláteis é maior do que 180 mg CaCO₃/l, considera-se que a concentração de ácidos graxos voláteis (AGV) é igual ao produto de AAV por 1,5;

$$AAV > 180 \rightarrow AGV = AAV \cdot 1,5 \quad (3.5)$$

Em todas as análises efetuadas nesta pesquisa, a alcalinidade de ácidos voláteis foi menor do que 180 mg CaCO₃/l. Portanto, sempre foi considerado o resultado para AAV,

como sendo o valor para AGV. Neste caso, a alcalinidade de bicarbonato (AB) foi obtida pela diferença entre a alcalinidade total e a dos ácidos graxos voláteis (AGV).

Obs.: Para a realização das análises, a solução ácida utilizada foi de ácido clorídrico (HCl) e a solução básica foi de hidróxido de sódio (NaOH).

✓ **Resumo do Método de Dilallo & Albertson (1961) e Cavalcanti (1997).**

- 1-coloca-se em um béquer 50 mililitros da amostra filtrada ($V_{amostra}$) e determina-se o pH;
- 2-titula-se a amostra com uma solução ácida de normalidade conhecida, anotando-se o volume utilizado ($V_{ácido}$), até reduzir o pH para 4,0;
- 3-continua-se a adição de ácido à amostra até baixar o pH para $3,0 \pm 0,2$
- 4-ferve-se suavemente a amostra durante 3 (três) minutos para desprender o gás carbônico;
- 5-deixa-se a amostra esfriar até temperatura ambiente;
- 6-adiciona-se uma solução básica até subir o pH para 4,0;
- 7-titula-se a amostra com uma solução básica de concentração conhecida, anotando-se o volume utilizado (V_{base}) para elevar o pH de 4,0 para 7,0;
- 8-efetuam-se os cálculos para alcalinidade total (AT) e alcalinidade de ácidos voláteis (AAV).

$$AT = \frac{V_{ácido} \cdot N_{ácido}}{V_{amostra}} 50000 \quad (3.6)$$

Onde:

AT = alcalinidade total (mg CaCO_3 /l);

$V_{ácido}$ = volume da solução ácida utilizada para reduzir o pH do valor inicial até 4,0;

$N_{ácido}$ = normalidade da solução ácida (eq/l);

$V_{amostra}$ = volume da amostra;

Obs.: O valor de 50000 foi utilizado para converter o resultado de eq/l em mg CaCO_3 /l

$$AAV = \frac{V_{base} \cdot N_{base}}{V_{amostra}} 50000 \quad (3.7)$$

Onde:

AAV = alcalinidade de ácidos voláteis (mg CaCO_3 /l);

V_{base} = volume da solução básica utilizada para elevar o pH do valor inicial até 4,0;

N_{base} = normalidade da solução básica em eq/l;

$V_{amostra}$ = volume da amostra.

Na Tabela 3.4 são apresentados os parâmetros que foram analisados, os tipos e pontos de amostragem do efluente e do afluente, pontos de P1 a P6, a frequência e natureza das amostras analisadas durante todo o monitoramento do sistema experimental. Nesta tabela também se encontram os métodos de análise utilizados.

Tabela 3.4 – Análises laboratoriais realizadas ao longo de todo o período experimental

Parâmetros	Amostra	Frequência das análises semanais	Observações
T (°C)	afluente e efluente	5	Potenciômetro modelo Orion 230 A
	manto de lodo pontos P ₁ a P ₆	1	
pH	afluente e efluente	5	Potenciômetro modelo Orion 230 A
	manto de lodo	1	
DQO _{bruta} (mg/l)	afluente e efluente	3	por refluxo fechado *
DQO _{decantada} (mg/l)	efluente decantado no cone Imhoff	3	
alcalinidade total AT e de bicarbonato AB em (mg CaCO ₃ /l)	afluente e efluente	3	Titrimétrico Dilallo & Albertson (1961)
ácidos graxos e voláteis AGV em (mgHAc/l)	afluente e efluente	3	
sólidos totais fixos e voláteis em (mg/l)	afluente e efluente	3	gravimétrico *
	manto de lodo	1	
sólidos decantáveis em (ml/l)	efluente	5	cone Imhoff *
sólidos totais fixos e voláteis em (mg/l)	efluente	2	gravimétrico *

(*) Standard Methods (1995)

3.4.1 - Controle da Estabilidade no Processo de Digestão Anaeróbia

Para a caracterização da estabilidade operacional do UASB, os parâmetros observados foram temperatura, pH, alcalinidade total, alcalinidade de bicarbonato e os ácidos graxos voláteis, das amostras do afluente e efluente

3.4.2 - Remoção da Matéria Orgânica do Afluente

A demanda química de oxigênio (DQO) de amostras do afluente e efluente era determinada, como indicativa da concentração da matéria orgânica das amostras. Nas determinações da DQO, as amostras do afluente eram analisadas todos os dias da semana às 8 horas. Os valores obtidos da DQO do afluente foram corrigidos com o fator de correção (f_c), correspondente ao período de análise (ver item 3.3.6).

Na determinação da DQO do efluente foram avaliadas duas situações diferentes: a primeira quando o efluente era determinado na sua forma bruta e a segunda quando o efluente bruto era colocado em repouso, dentro de um cone Imhoff, por um período de uma hora, de onde se retirava uma alíquota para determinar a DQO do efluente decantado ($DQO_{\text{eflu. dec.}}$).

A equação 3.8 dá a eficiência de remoção da DQO bruta, tendo-se como parâmetros a DQO afluente corrigida ($DQO_{\text{Aflu. corrigida.}}$) e a DQO do efluente bruto ($DQO_{\text{Aflu. bruta}}$).

$$\text{rem. } DQO_{\text{bruta}} = \frac{(DQO_{\text{afllu. corr.}} - DQO_{\text{efl. br.}})}{DQO_{\text{afllu. corr.}}} \cdot 100 \quad (3.8)$$

Onde:

$\text{rem. } DQO_{\text{bruta}}$ é a eficiência da remoção da DQO bruta (%)

$DQO_{\text{efl. br.}}$ é a DQO do efluente bruto (mg/l)

Tendo-se os valores da DQO do afluente (eq. 3.2) e da DQO do efluente decantado, avaliou-se o desempenho do reator, quanto à eficiência de remoção da matéria orgânica, calculando-se a remoção da DQO decantada, pela equação 3.9 a seguir:

$$\text{rem. } DQO_{\text{dec.}} = \frac{(DQO_{\text{afllu. corr.}} - DQO_{\text{efl. dec.}})}{DQO_{\text{afllu. corr.}}} \cdot 100 \quad (3.9)$$

Onde:

$\text{rem. } DQO_{\text{dec.}}$ = eficiência da remoção da DQO decantada (%)

3.5 - Medição da Produção e Caracterização do Lodo Anaeróbio

3.5.1 - Avaliação da Biomassa.

Existem vários métodos para avaliar a quantidade e a atividade da biomassa em reatores anaeróbios, na maioria das vezes estes são sofisticados e não podem ser adotados como parâmetros de controle e monitoramento de reatores operando em escala plena, notadamente se considerados os recursos laboratoriais existentes em nosso país. Dessa forma, a avaliação da quantidade de biomassa é usualmente feita por meio da determinação do **perfil de sólidos**, considerando-se que os **sólidos voláteis** sejam uma medida da biomassa presente nos reatores (massa de material celular). As amostras de lodo coletadas em diferentes níveis (alturas) ao longo do reator são analisadas gravimetricamente e os resultados de suas concentrações são expressas em termos de gramas de sólidos voláteis por litro (g SVT/l). Essas medidas da concentração de sólidos voláteis (determinadas para cada um dos pontos de amostragem de lodo ao longo da altura do reator), multiplicadas pelo volumes correspondentes a cada zona amostrada, fornecem o perfil da massa de microrganismos ao longo do reator. O somatório das quantidades de biomassa em cada zona equivale à massa total de sólidos no reator, conforme é mostrado no exemplo 3.1, a seguir:

Para este exemplo foi escolhido o reator EJ₁, com características semelhantes aos reatores EJ₂ e EJ₃. A Figura 3.7 mostra como esse reator foi dividido em zonas de amostragem as quais foram consideradas como de influência aos pontos de amostragem que vão desde P₁ até P₆.

A Tabela 3.5 mostra, para cada ponto de amostragem, a sua distância á base do reator, a altura de cada zona ou compartimento e volume de cada zona ou compartimento de influência, calculado como o produto da área (m²) pela altura do compartimento em (m).

Para este exemplo foram tomados os dados da concentração de lodo (sólidos totais e voláteis totais) de um dos perfis realizados. Esses dados estão também na tabela 3.5.

Como o volume de influência de cada zona e os valores da concentração de lodo de cada ponto de amostragem, calculou-se a biomassa (M) correspondente a cada zona, como se segue:

EXEMPLO - 3.1

⇒ Estimar a quantidade e a concentração média de biomassa em um reator anaeróbio tipo UASB, sabendo-se que:

- 1^o) O volume total do reator é $V_r = 0,126 \text{ m}^3$
- 2^o) Volume total do compartimento de digestão é $V_{dig} = 0,109 \text{ m}^3$
- 3^o) Volume do compartimento de decantação é $V_{dec} = 0,017 \text{ m}^3$
- 4^o) Profundidade útil do reator é **3,86 m**
- 5^o) Área da base do reator em (m^2)
- 6^o) Volumes e concentrações de lodo, correspondentes a cada zona de influência amostrada (Figura 3.7), conforme estão indicados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - mostra os pontos de amostragem, localização de cada um deles no reator, altura e volume do compartimento de influência e valores das concentrações de ST e SVT em (g/l) da massa de lodo que foram obtidos de um perfil.

ponto de amostragem (P)	altura da base aos pontos (m)	altura entre pontos (m)	altura do compartimento de influência da amostra (m)	volume do compartimento de influência (m^3)	Concentração do lodo (g/l)	
					ST	SVT
P ₁	0,25	0,25	0,375	$10,6 \times 10^{-3}$	79,104	20,798
P ₂	0,50	0,25	0,375	$10,6 \times 10^{-3}$	43,324	21,108
P ₃	1,00	0,50	0,500	$14,2 \times 10^{-3}$	40,904	19,182
P ₄	1,50	0,50	0,625	$17,7 \times 10^{-3}$	21,124	11,382
P ₅	2,25	0,75	0,750	$21,3 \times 10^{-3}$	16,496	7,822
P ₆	3,00	0,75	1,235	$35,0 \times 10^{-3}$	0,784	0,128

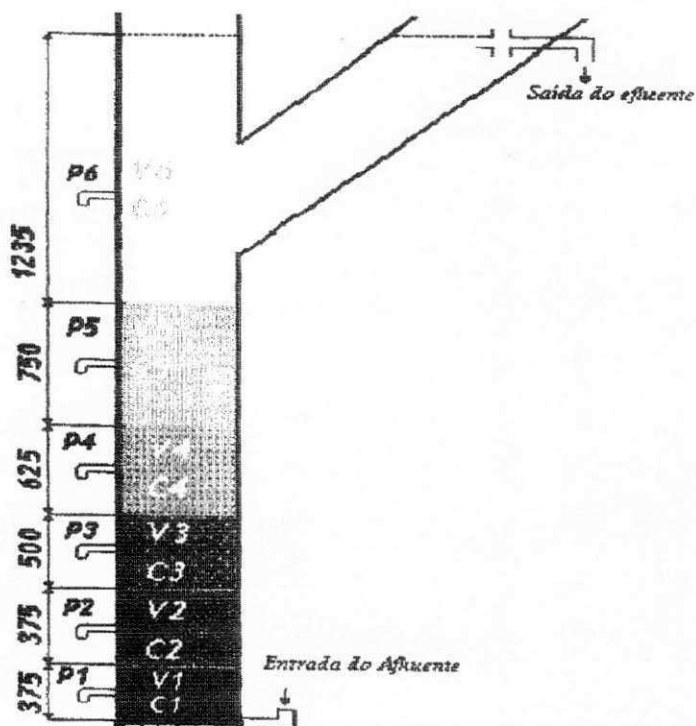


Figura 3.7 – Representação de um dos três reatores que foram utilizados no experimento..
Obs.: todas as medidas estão em milímetros (mm).

- Na Figura 3.7 da profundidade $P_1, P_2, P_3, \dots, P_6$ representam os pontos de amostragens ao longo do UASB;
- $C_1, C_2, C_3, \dots, C_6$ representam as concentrações da massa de lodo em cada zona de digestão expressa em $\text{kg SVT} / \text{m}^3$
- $V_1, V_2, V_3, \dots, V_6$ representam os volumes de influência de cada compartimento amostrado do manto de lodo expresso em (m^3);

Cálculo do exemplo 3.1

⇒ Cálculo da quantidade de biomassa (M) em cada zona do reator:

$$\text{Zona 1: } M_1 = C_1 \cdot V_1 = 20,798 \text{ kg SVT} / \text{m}^3 \cdot 10,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 0,2204 \text{ kg SVT}$$

$$\text{Zona 2: } M_2 = C_2 \cdot V_2 = 21,108 \text{ kg SVT} / \text{m}^3 \cdot 10,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 0,2237 \text{ kg SVT}$$

$$\text{Zona 3: } M_3 = C_3 \cdot V_3 = 19,182 \text{ kg SVT} / \text{m}^3 \cdot 14,2 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 0,2723 \text{ kg SVT}$$

$$\text{Zona 4: } M_4 = C_4 \cdot V_4 = 11,382 \text{ kg SVT} / \text{m}^3 \cdot 17,7 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 0,2014 \text{ kg SVT}$$

$$\text{Zona 5: } M_5 = C_5 \cdot V_5 = 7,822 \text{ kg SVT} / \text{m}^3 \cdot 21,3 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 0,1666 \text{ kg SVT}$$

$$\text{Zona 6: } M_6 = C_6 \cdot V_6 = 0,128 \text{ kg SVT} / \text{m}^3 \cdot 35,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 0,0044 \text{ kg SVT}$$

⇒ Cálculo da quantidade de biomassa no reator (M_d);

$$M_d = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6$$

$$M_d = 0,2204 + 0,2237 + 0,2723 + 0,2014 + 0,1666 + 0,0044$$

$$M_d = 1,0788 \text{ kg SVT}$$

⇒ Considerando que o volume no compartimento de digestão (V_d) do reator era de $0,109 \text{ m}^3$ a concentração média da biomassa será;

$$C_d = M_d / V_d$$

$$C_d = 1,0788 \text{ kg SVT} / 0,109 \text{ m}^3 \Rightarrow C_d = 9,8972 \text{ kg SVT} / \text{m}^3$$

⇒ Cálculo da concentração média de biomassa no reator (C_r);

Assim, admitindo-se que a quantidade de biomassa no compartimento de decantação é desprezível, se comparado ao compartimento de digestão, tem-se que $M_r = M_d$

$$C_r = M_r / V_r \Rightarrow C_r = 1,0788 \text{ kg SVT} / 0,126 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow C_r = 8,5619 \text{ kg SVT} / \text{m}^3$$

CAPÍTULO IV

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

CAPÍTULO IV

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 – Introdução

No presente capítulo estão apresentados os valores dos parâmetros referentes: à estabilidade do processo de digestão (pH, temperatura, alcalinidade de bicarbonato (AB) e ácidos graxos voláteis (AGV); à eficiência de remoção de matéria orgânica (DQO), sólidos suspensos totais (SST) e totais voláteis e, finalmente, sobre a massa de lodo contida nos reatores.

Esses valores foram organizados em tabelas, segundo as duas fases do experimento, definidas pela operação dos reatores com tempos de detenção hidráulica (TDH) de 8 e 4 horas, respectivamente.

Também, as Tabelas foram organizadas de modo que apresentassem os valores dos parâmetros de estabilidade, desempenho e produção de lodo antes e após a aplicação de descargas de lodo com as diferentes magnitudes de descargas.

4.2–Concentrações dos ácidos graxos voláteis e da alcalinidade de bicarbonato

Nas Tabelas 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 estão apresentados os valores médios semanais das concentrações dos ácidos graxos voláteis (mg HAc/l) e da alcalinidade de bicarbonato (mgCaCO₃/l), para o tempo de detenção hidráulica (TDH) de 8 horas, do afluente (EB) e efluentes dos reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃). Na segunda fase (Tabelas 4.5, 4.6 e 4.7) são apresentados os valores médios semanais que representam as concentrações dos ácidos graxos voláteis em (mg HAc/l) e da alcalinidade de bicarbonato em (mg CaCO₃/l), para o tempo de detenção hidráulica (TDH) de 4 horas, do esgoto bruto (afluente) e dos efluentes dos três reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃). Os valores máximos, médios e mínimos bem como o desvio padrão para os dados de cada descarga estão indicados no final de cada Tabela.

Na Tabela 4.1, apresentam-se os valores médios semanais da alcalinidade total e de bicarbonato (AT e AB, respectivamente) e dos ácidos graxos voláteis (AGV), de amostras

coletadas do afluente e efluentes dos reatores EJ₁, EJ₂ e EJ₃, da 8^a a 10^a semana de operação, quando, então, foi dada a primeira descarga em cada um dos reatores. Observa-se nessa tabela, que enquanto no esgoto bruto (EB) a concentração de AGV variava entre 50 e 60 (mgHAc/l), nos reatores o valor mínimo e máximo observado foi de 13 a 30 mg/l.

Quanto à alcalinidade de bicarbonato, o valor mínimo observado foi de 238 (mgCaCO₃/l), no reator EJ₃, valor esse suficiente para manter o pH próximo de neutro (como pode ser observado na Tabela 4.8).

Da mesma forma, nas Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4, que correspondem aos períodos de operação após as 1^a, 2^a e 3^a descargas, respectivamente, mostra-se que a concentração de AGV apresentou valores médios, nos três reatores, entre 25,6 e 34,3 (mg HAc/l), após as duas primeiras descargas e entre 30 e 37 (mg HAc/l) após a 3^a descarga.

Com relação à alcalinidade de bicarbonato, nas Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4, vê-se que, independentemente das descargas efetuadas, os valores médios de AB, determinados nos efluentes dos três reatores, mantiveram-se entre 236 e 242 (mg CaCO₃/l). Observa-se, ainda que os efluentes dos três reatores, após as três descargas, apresentaram valores de alcalinidade total e de bicarbonato menores que aquelas determinadas no esgoto bruto.

Na Tabela 4.7, apresentam-se os dados de AT, AB e AGV do afluente e efluentes dos reatores EJ₁, EJ₂ e EJ₃ referentes ao período de operação que antecedeu as duas descargas de lodo. Já nas Tabelas 4.6 e 4.7 os dados apresentados foram coletados, nos períodos entre as 1^a e 2^a descargas e após a 2^a descarga, respectivamente.

Observa-se, nessas Tabelas, que houve aumento na concentração de AGV nos três reatores, após as duas descargas, e que esse aumento foi proporcional à magnitude da descarga. Como exemplo, no reator EJ₁ o valor médio de AGV, antes da descarga, era de 20 mgHAc/L, passando para 24 mgHAc/L na 1^a descarga e depois para 30 mgHAc/L na 2^a descarga.

Tabela 4.1 – Valores médios semanais da concentração de AT de AB e AGV do afluente e efluentes dos reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃) operados com TDH de 8 horas, antes da 1ª descarga. Os valores máximo médio e mínimo, bem como o desvio padrão também estão indicados.

SO	EB (afluente)			EJ ₁ (efluente)			EJ ₂ (efluente)			EJ ₃ (efluente)		
	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)
	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV
1ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8ª	342	292	50	283	270	13	278	263	15	277	264	13
9ª	268	207	60	324	304	20	327	304	24	268	238	30
10ª	305	250	55	304	287	17	303	284	20	273	251	22
máx.	342	292	60	324	304	20	327	304	24	277	264	30
média	305	250	55	304	287	17	303	284	20	273	251	22
mín.	268	207	50	283	270	13	278	263	15	268	238	13
D.P	37	43	5	21	17	4	25	21	5	5	13	9

Obs.: SO = Semanas de operação, D.P = Desvio Padrão e (-) = indica que não foi medido, EJ₁, EJ₂ e EJ₃ = Percentagem de descarte do lodo.

Tabela 4.2 – Valores médios semanais da concentração de AT de AB e AGV do afluente e efluentes dos reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃) operados com TDH de 8 horas, após a 1ª descarga. Os valores máximo médio e mínimo, o desvio padrão e as respectivas magnitudes de descargas também estão indicados.

SO	EB (afluente)			EJ ₁ =46%			EJ ₂ =25%			EJ ₃ =76%		
	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)
	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV
11ª	334	282	52	279	247	32	308	283	25	328	299	29
12ª	334	282	52	279	247	32	308	283	25	328	299	29
13ª	348	300	49	287	269	18	290	270	20	288	268	20
14ª	341	291	51	283	258	25	299	277	23	308	284	25
15ª	345	296	50	285	264	22	295	273	21	298	276	22
16ª	343	293	50	284	261	23	297	275	22	303	280	23
17ª	344	294	50	285	262	22	296	274	22	301	278	23
18ª	343	294	50	284	261	23	296	274	22	302	279	23
máx.	348	300	52	287	269	32	308	283	25	328	299	29
média	341	291	50	283	259	25	299	276	22	307	283	24
mín.	334	282	49	279	247	18	290	270	20	288	268	20
D.P	5	6	1	3	8	5	6	5	2	14	11	3

Obs.: SO = Semanas de operação, D.P = Desvio Padrão, EJ₁, EJ₂ e EJ₃ = Percentagem de descarte do lodo.

Tabela 4.3 – Valores médios semanais da concentração de AT de AB e AGV do afluente e efluentes dos reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃) operados com TDH de 8 horas, após a 2ª descarga. Os valores máximo médio e mínimo, o desvio padrão e as respectivas magnitudes de descargas também estão indicados.

SO	EB (afluente)			EJ ₁ =40%			EJ ₂ =45%			EJ ₃ =54%		
	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)
	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV
19ª	273	220	53	233	213	18	235	220	15	227	206	21
20ª	266	211	55	243	214	29	235	210	26	229	197	32
21ª	265	214	51	219	203	16	220	206	14	213	195	18
máx.	273	220	55	243	214	29	235	220	26	229	206	32
média	268	215	53	232	210	21	230	212	18	223	199	24
mín.	265	211	51	219	203	16	220	206	14	213	195	18
D.P	5	5	2	12	6	7	9	7	6	9	6	8

Obs.: SO = Semanas de operação, D.P = Desvio Padrão.

Tabela 4.4 – Valores médios semanais da concentração de AT de AB e AGV do afluente e efluentes dos reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃) operados com TDH de 8 horas, após a 3ª descarga. Os valores máximo médio e mínimo, o desvio padrão e as respectivas magnitudes de descargas também estão indicados.

SO	EB (afluente)			EJ ₁ =78%			EJ ₂ =80%			EJ ₃ =26%		
	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)
	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV
22ª	341	286	55	290	250	39	255	237	38	271	237	34
23ª	330	258	72	257	217	39	262	222	39	274	249	25
24ª	328	274	53	280	236	44	277	232	46	272	234	40
25ª	322	265	57	274	241	33	272	239	33	261	238	23
26ª	329	262	67	285	254	30	267	263	30	259	232	27
máx.	341	286	72	290	254	44	277	263	46	274	249	40
média	330	269	61	277	240	37	267	239	37	267	238	30
mín.	322	258	53	257	217	30	255	222	30	259	232	23
D.P	7	11	8	13	15	6	9	15	6	7	7	7

Obs.: SO = Semanas de operação, D.P = Desvio Padrão.

Tabela 4.5 – Valores médios semanais da concentração de AT de AB e AGV do afluente e efluentes dos reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃) operados com TDH de 4 horas, antes da 1ª descarga. Os valores máximo médio e mínimo, o desvio padrão também estão indicados.

SO	EB (afluente)			EJ ₁			EJ ₂			EJ ₃		
	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)
	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV
1ª	325	268	57	259	242	16	256	240	16	244	226	18
2ª	370	277	94	320	298	22	315	292	23	317	294	23
3ª	362	282	80	316	296	21	313	290	24	316	291	25
máx.	370	282	94	320	298	22	315	292	24	317	294	25
média	352	276	77	298	279	20	294	274	21	292	270	22
mín.	325	268	57	259	242	16	256	240	16	244	226	18
D.P	24	7	18	34	32	3	33	29	4	42	38	4

Obs.: SO = Semanas de operação, D.P = Desvio Padrão.

Tabela 4.6 – Valores médios semanais da concentração de AT de AB e AGV do afluente e efluentes dos reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃) operados com TDH de 4 horas, após a 1ª descarga. Os valores máximo médio e mínimo, o desvio padrão e as respectivas magnitudes de descargas também estão indicados.

SO	EB (afluente)			EJ ₁ =52%			EJ ₂ =64%			EJ ₃ =78%		
	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)
	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV
3ª	336	278	58	300	264	35	298	262	37	275	217	58
4ª	355	279	76	276	252	24	279	242	37	268	227	41
5ª	342	275	67	296	273	23	294	261	33	282	231	52
6ª	366	290	76	326	307	19	330	301	29	323	259	65
7ª	360	283	78	284	261	23	291	272	19	283	262	21
8ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10ª	328	268	60	314	286	27	286	259	27	271	234	37
11ª	337	277	60	308	287	21	279	263	16	284	264	20
12ª	335	271	64	310	284	26	252	267	35	296	264	32
13ª	339	280	58	271	252	19	269	248	21	272	254	17
máx.	366	290	78	326	307	35	330	301	37	323	264	65
média	344	278	66	298	274	24	286	264	28	284	246	38
mín.	328	268	58	271	252	19	252	242	16	268	217	17
D.P	13	7	8	18	19	5	22	17	8	17	18	17

Obs.: SO = Semanas de operação, D.P = Desvio Padrão e (-) = indica que não foi medido.

Tabela 4.7 – Valores médios semanais da concentração de AT de AB e AGV do afluente e efluentes dos reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃) operados com TDH de 4 horas, após a 2ª descarga. Os valores máximo médio e mínimo, o desvio padrão e as respectivas magnitudes de descargas também estão indicados.

SO	EB (afluente)			EJ ₁ =52%			EJ ₂ =64%			EJ ₃ =75%		
	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)	(mgCaCO ₃ /l)		(mgHac/l)
	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV	AT	AB	AGV
13ª	351	284	67	302	285	17	307	277	30	289	257	32
14ª	351	285	66	331	302	29	322	285	37	323	266	57
15ª	363	225	138	300	267	33	285	224	61	273	213	61
16ª	370	295	75	288	247	41	269	215	55	273	220	54
máx.	370	295	138	331	302	41	322	285	61	323	266	61
média	359	272	86	305	275	30	296	250	46	290	239	51
mín.	351	225	66	288	247	17	269	215	30	273	213	32
D.P	9	32	35	19	24	10	23	36	15	23	27	13

Obs.: SO = Semanas de operação, D.P = Desvio Padrão e (-) = indica que não foi medido.

4.3 – pH e temperatura do afluente e efluentes

Durante a 1ª e 2ª fases caracterizados pela operação dos reatores UASB EJ₁, EJ₂ e EJ₃ com TDH de 8 horas e 4 horas, respectivamente, foram avaliados o pH e a temperatura do afluente e efluente dos três reatores. Os valores desses parâmetros estão apresentados nas Tabelas de 4.8 a 4.14.

Analisando-se as Tabelas 4.8, 4.9 e 4.10, relativas à 1ª fase da investigação experimental, observa-se que o pH dos efluentes dos três reatores antes da primeira descarga, apresentou valor mínimo de 6,8 (reator EJ₁) e máximo de 7,4 (reator EJ₃). No entanto, após a 1ª descarga de lodo dos reatores, observa-se um decréscimo no valor máximo do pH efluente dos reatores, passando este de 7,4 para 7,2 após a 1ª descarga e para 7,1 após a 2ª e 3ª descargas. Ainda assim, os valores do pH efluente dos reatores se mantiveram sempre iguais ou superiores do mínimo de 6,8 observado antes das descargas.

Quanto a temperatura, foram observados valores mínimos de 23 °C (Tabela 4.9) e um máximo de 28,3 °C (Tabela 4.8, reator EJ₁). Os valores médios observados variaram entre 24,5 e 26 °C.

Na segunda fase (TDH=4 horas), o pH médio de 6,8 se manteve quase que invariável para o efluente dos três reatores, independente das descargas de lodo efetuadas. Foi observado um valor mínimo de 6,7 no efluente do reator EJ₂, após uma descarga de 64% do lodo (Tabela 4.13) e os valores máximos ficaram entre 7,0 e 7,1.

Ainda nessa fase experimental, foram observadas temperaturas mais elevadas, que variaram de 26,5 °C a 33,3 °C.

Tabela 4.8 – Valores médios semanais de pH e Temperatura do Afluente (EB) e Efluentes (EJ₁, EJ₂ e EJ₃), operados com TDH de 8 horas, antes da 1ª descarga.

S.O	AFLU.		efl. EJ ₁		efl. EJ ₂		efl. EJ ₃	
	pH	Temp.	pH	Temp.	pH	Temp.	pH	Temp.
1ª	7,1	26,2	7,4	25,2	7,4	25,2	7,4	25,2
2ª	7,1	25,8	7,1	24,7	7,1	24,8	7,1	24,7
3ª	7,0	26,1	7,0	26,2	7,0	26,0	7,0	25,9
4ª	7,0	25,6	6,8	24,3	6,8	24,2	6,9	24,2
5ª	-	-	-	-	-	-	-	-
6ª	7,0	25,3	6,8	26,0	6,8	25,7	6,9	25,5
7ª	6,9	25,9	7,0	28,1	7,2	27,9	7,0	27,4
8ª	7,3	25,2	7,2	25,1	7,2	24,8	7,2	24,5
9ª	7,3	24,6	7,3	26,0	7,2	25,8	7,2	26,1
10ª	7,5	25,2	7,3	24,7	7,3	24,4	7,3	24,3
máximo	7,5	26,2	7,4	28,1	7,4	27,9	7,4	27,4
média	7,1	25,6	7,1	25,6	7,1	25,4	7,1	25,3
mínimo	6,9	24,6	6,8	24,3	6,8	24,2	6,9	24,2

Obs.: (-) indica que não foi medido, SO = Semanas de operação.

Tabela 4.9 – Valores médios semanais de pH e Temperatura do Afluente (EB) e Efluentes (EJ₁, EJ₂ e EJ₃), operados com TDH de 8 horas, após a 1ª descarga.

SO	AFLU.		efl. EJ ₁ =46%		efl. EJ ₂ =25%		efl. EJ ₃ =76%	
	pH	Temp.	pH	Temp.	pH	Temp.	pH	Temp.
10ª	6,9	25,9	7,0	24,5	7,1	27,3	7,0	27,4
11ª	7,0	24,8	7,0	26,2	7,0	25,9	7,0	25,7
12ª	6,9	24,3	6,9	24,8	6,9	24,4	6,9	24,4
13ª	7,0	24,4	6,9	25,2	6,9	25,3	7,0	25,3
14ª	7,3	24,3	7,2	23,6	7,0	23,5	7,1	23,2
15ª	7,2	24,6	7,1	25,3	7,1	25,0	7,1	24,8
16ª	7,4	23,9	7,0	23,0	7,0	23,0	7,1	23,2
17ª	7,5	24,1	7,1	23,6	7,1	23,6	7,1	23,4
18ª	7,4	25,0	7,1	24,5	7,0	24,4	7,1	24,3
máximo	7,5	25,9	7,2	26,2	7,1	27,3	7,1	27,4
média	7,2	24,6	7,0	24,5	7,0	24,7	7,0	24,6
mínimo	6,9	23,9	6,9	23,0	6,9	23,0	6,9	23,2

Obs.: SO = Semanas de operação.

Tabela 4.10 – Valores médios semanais de pH e Temperatura do Afluente (EB) e Efluentes (EJ₁, EJ₂ e EJ₃), operados com TDH de 8 horas, após a 2^a descarga.

SO	AFLU.		efl. EJ ₁ =40%		efl. EJ ₂ =45%		efl. EJ ₃ =54%	
	pH	Temp.	pH	Temp.	pH	Temp.	pH	Temp.
18 ^a	7,6	23,4	7,0	28,3	7,0	27,5	7,1	27,0
19 ^a	7,4	25,1	7,1	25,8	7,0	26,0	7,1	26,0
20 ^a	7,3	25,9	6,9	25,7	6,9	25,8	6,9	25,9
21 ^a	7,2	25,8	6,9	24,3	6,9	24,1	6,9	24,3
22 ^a	7,2	26,9	6,8	25,8	6,8	25,8	6,8	26,0
máximo	7,6	26,9	7,1	28,3	7,0	27,5	7,1	27,0
média	7,4	25,4	6,9	26,0	6,9	25,8	6,9	25,8
mínimo	7,2	23,4	6,8	24,3	6,8	24,1	6,8	24,3

Obs.: SO = Semanas de operação.

Tabela 4.11 – Valores médios semanais de pH e Temperatura do Afluente (EB) e Efluentes (EJ₁, EJ₂ e EJ₃), operados com TDH de 8 horas, após a 3^a descarga.

SO	AFLU.		efl. EJ ₁ =78%		efl. EJ ₂ =80%		efl. EJ ₃ =26%	
	pH	Temp.	pH	Temp.	pH	Temp.	pH	Temp.
23 ^a	7,3	27,2	7,1	26,8	7,0	26,8	6,9	26,6
24 ^a	7,2	27,1	7,0	25,9	7,0	25,7	6,9	25,7
25 ^a	7,3	26,9	6,8	26,5	6,9	26,2	6,8	26,1
26 ^a	7,2	27,6	6,8	25,2	6,8	25,1	6,8	25,3
máximo	7,3	27,6	7,1	26,8	7,0	26,8	6,9	26,6
média	7,3	27,2	6,9	26,1	6,9	25,9	6,9	25,9
mínimo	7,2	26,9	6,8	25,2	6,8	25,1	6,8	25,3

Obs.: SO = Semanas de operação.

Tabela 4.12 – Valores médios semanais de pH e Temperatura do Afluente (EB) e Efluentes (EJ₁, EJ₂ e EJ₃), operados com TDH de 4 horas, antes da 1^a descarga.

SO	AFLU.		efl. EJ ₁		efl. EJ ₂		efl. EJ ₃	
	pH	Temp.	pH	Temp.	pH	Temp.	pH	Temp.
1 ^a	7,2	27,5	6,9	27,5	6,9	27,7	7,0	27,8
2 ^a	7,2	28,3	6,8	29,9	6,8	28,3	6,9	29,2
3 ^a	7,2	28,2	7,1	29,3	7,1	29,4	7,1	29,2
máximo	7,2	28,3	7,1	29,9	7,1	29,4	7,1	29,2
média	7,2	28,0	6,9	28,9	6,9	28,5	7,0	28,7
mínimo	7,2	27,5	6,8	27,5	6,8	27,7	6,9	27,8

Obs.: SO = Semanas de operação.

Tabela 4.13 – Valores médios semanais de pH e Temperatura do Afluente (EB) e Efluentes (EJ₁, EJ₂ e EJ₃), operados com TDH de 4 horas, após a 1^a descarga.

SO	AFLU.		efl. EJ ₁ =53%		efl. EJ ₂ =64%		efl. EJ ₃ =78%	
	pH	Temp.	pH	Temp.	pH	Temp.	pH	Temp.
3 ^a	7,2	28,0	6,9	30,1	7,0	29,2	6,9	29,1
4 ^a	7,1	28,4	6,9	28,2	7,0	28,0	7,0	28,0
5 ^a	7,2	28,5	6,8	26,5	6,9	26,4	6,9	27,5
6 ^a	7,1	28,6	6,8	28,1	6,7	27,9	6,8	28,0
7 ^a	7,4	28,9	6,8	26,4	6,9	26,4	6,9	26,5
8 ^a	-	-	-	-	-	-	-	-
9 ^a	-	-	-	-	-	-	-	-
10 ^a	7,1	28,5	7,0	29,3	7,0	28,9	7,0	29,1
11 ^a	7,2	28,9	6,9	28,5	6,9	28,2	7,0	28,3
12 ^a	7,2	28,6	7,0	28,4	7,0	28,2	7,1	28,6
13 ^a	7,2	28,4	7,1	28,4	7,1	28,9	6,8	27,9
máximo	7,4	28,9	7,1	30,1	7,1	29,2	7,1	29,1
média	7,2	28,5	6,9	28,2	6,9	28,0	6,9	28,1
mínimo	7,1	28,0	6,8	26,4	6,7	26,4	6,8	26,5

Obs.: (-) indica que não foi medido, SO = Semanas de operação.

Tabela 4.14 – Valores médios semanais de pH e Temperatura do Afluente (EB) e Efluentes (EJ₁, EJ₂ e EJ₃), operados com TDH de 4 horas, após a 2^a descarga.

SO	AFLU.		efl. EJ ₁ =52%		efl. EJ ₂ =64%		efl. EJ ₃ =75%	
	pH	Temp.	pH	Temp.	pH	Temp.	pH	Temp.
13 ^a	7,4	29,1	7,0	27,7	7,0	27,6	7,0	27,6
14 ^a	7,3	28,3	6,9	28,4	6,9	28,1	6,9	28,2
15 ^a	7,2	28,8	6,9	33,3	6,9	32,3	6,9	32,1
16 ^a	7,1	29,5	6,9	32,4	6,9	31,4	6,8	31,3
17 ^a	7,2	28,9	7,0	28,3	6,9	28,4	6,8	28,4
máximo	7,4	29,5	7,0	33,3	7,0	32,3	7,0	32,1
média	7,2	28,9	6,9	30,0	6,9	29,6	6,9	29,5
mínimo	7,1	28,3	6,9	27,7	6,9	27,6	6,8	27,6

Obs.: SO = Semanas de operação, EJ₁, EJ₂ e EJ₃ = Percentagem de descarte do lodo.

4.4 - Eficiência dos reatores quanto à remoção de matéria orgânica (DQO).

A eficiência da magnitude e frequência das descargas sobre o desempenho de reatores UASB, quanto à remoção de matéria orgânica, foi verificada através de determinações da DQO afluyente e DQO efluente (bruta e decantada) de cada um dos três reatores.

Nas Tabelas 4.15, 4.16, 4.17 e 4.18 estão os valores médios semanais da DQO do afluyente (DQO_{afl.}), efluente bruto (DQO_{bruta}), efluente decantado (DQO_{dec.}) e da eficiência de remoção da DQO, considerando-se o efluente decantado ($E_{\text{eff. dec.}}$), de cada um dos três reatores, quando operados com um TDH de 8 horas e submetidos a descargas de lodo de diferentes magnitudes.

Na Tabela 4.15, estão apresentados os dados de DQO correspondentes ao período de operação que antecedeu a 1ª descarga, enquanto que nas Tabelas 4.16, 4.17 e 4.18 estão aqueles relativos aos períodos após as 1ª, 2ª e 3ª descargas respectivamente. Nas Tabelas 4.19, 4.20 e 4.21 estão apresentados os valores desses parâmetros correspondentes ao período de operação com TDH de 4 horas. Na Tabela 4.19 estão os dados de DQO relativos ao período que antecede à 1ª descarga e nas Tabelas 4.20 e 4.21 aqueles dados relativos ao período após as 1ª e 2ª descargas, respectivamente.

Com Relação à 1ª fase (TDH = 8 horas), observa-se que para todos os reatores houve um aumento na eficiência média de remoção durante os períodos que compreendem o tempo de operação antes da 1ª descarga e até a 2ª descarga de lodo. A eficiência média de remoção que era de 72 a 73% antes da 1ª descarga, passou para 79 a 80% após a 1ª descarga e daí para 80 a 83% após a 2ª descarga (Tabelas 4.15 a 4.17). Porém, como pode ser visto na Tabela 4.18, após a 3ª descarga a eficiência média da remoção da DQO caiu para valores entre 68 (reator EJ₂, com descargas de 80% do lodo nele contido) e 73% (reator EJ₃, com descargas de 80%) quando a massa de lodo a não tinha se recuperado totalmente durante o período de operação de cinco semanas, após as descargas de 78% no reator EJ₁ e 80% no reator EJ₂, onde o reator EJ₃ que foi descarregado 26% de sua massa também não tinha acumulado uma massa de lodo que fosse satisfatória para uma melhor eficiência de remoção da matéria orgânica.

É interessante observar, também, a eficiência de remoção da DQO determinada na 1ª semana de operação após cada uma das três descargas de lodo: na Tabela 4.16, vê-se que os valores da eficiência no reator EJ₁, submetido a uma descarga de lodo de 46% do seu conteúdo foi de 85%, sendo de 81% no reator EJ₂ (descarga de 25%) e de 83% no reator EJ₃

(descarga de 76%); já na Tabela 4.18 vê-se que após a 3ª descarga, mesmo no reator EJ₃ de onde foram descarregados 26% do seu conteúdo de lodo, a eficiência de remoção de DQO na 1ª semana de operação após a descarga caiu para 63%, sendo também de 63% no reator EJ₁, de forma que o reator EJ₂ foi descarregado 80% de sua massa total e sua eficiência na primeira semana de operação foi de 60%.

Na segunda fase do experimento, estando os reatores operando com TDH de 4 horas, foram aplicadas descargas de lodo nos reatores que variaram de 53% a 78%. Nessa fase de operação, foram obtidos os menores valores de eficiência de remoção da DQO, sendo estes valores de 65%, no reator EJ₂, após a 2ª descarga de 64% de lodo e de 62% no reator EJ₃ submetida a uma descarga de 75%. Na segunda fase, as descargas não parecem ter afetado drasticamente o desempenho dos reatores visto que após a primeira semana de operação os valores da eficiência de remoção da DQO, observados antes das descargas, praticamente se restabelecem.

Tabela 4.15 – Valores médios semanais da DQO do afluente (EB) e efluentes bruto e decantado dos reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃) e da eficiência em relação ao efluente decantado, antes da 1ª descarga da massa de lodo na 1ª fase, TDH = 8 horas. A média desses valores e o desvio padrão também estão representados.

SO	afluente DQO _{bruta}	EJ ₁			EJ ₂			EJ ₃		
		mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%	mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%	mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%
		DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{efl. dec}	DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{efl. dec}	DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{efl. dec}
1ª	450	341	364	19	286	326	28	317	379	16
2ª	480	260	190	60	323	210	56	322	196	59
3ª	586	154	68	88	165	60	90	187	79	87
4ª	590	152	94	84	164	98	83	186	104	82
5ª	597	126	90	85	134	93	84	135	93	84
6ª	548	153	102	81	188	131	76	290	124	77
7ª	686	141	104	85	127	75	89	149	90	87
8ª	573	138	130	77	102	95	83	109	101	82
9ª	458	166	118	74	159	134	71	187	126	72
média	552	181	140	73	183	136	73	209	144	72
D.P	77	71	91	22	74	84	20	80	95	23

Obs.: SO = Semanas de operação, D.P = Desvio Padrão, E_{efl. dec} = Eficiência de remoção da DQO_{dec}. (%) do efluente.

Tabela 4.16 – Valores médios semanais da DQO do afluente (EB) e efluentes bruto e decantado dos reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃) e da eficiência em relação ao efluente decantado, após a 1ª descarga da massa de lodo na 1ª fase, TDH = 8 horas. A média desses valores e o desvio padrão também estão representados.

SO	afluente DQO _{bruta}	EJ ₁ =46%			EJ ₂ =25%			EJ ₃ =76%		
		mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%	mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%	mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%
		DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{efl. dec}	DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{efl. dec}	DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{efl. dec}
10ª	548	110	80	85	128	107	81	129	96	83
11ª	596	203	130	78	184	80	87	184	137	77
12ª	484	138	97	80	146	108	78	181	132	73
13ª	322	136	108	67	128	93	71	164	98	70
14ª	442	100	71	84	104	57	87	107	46	90
15ª	596	119	94	84	114	84	86	176	101	83
16ª	385	128	44	89	139	101	74	128	83	79
17ª	479	138	54	89	140	89	82	157	79	83
18ª	666	261	246	63	184	192	71	246	176	74
média	502	148	103	80	141	101	79	163	105	79
D.P	110	51	60	9	28	37	6	41	38	6

Obs.: SO = Semanas de operação, D.P = Desvio Padrão, E_{efl. dec} = Eficiência de remoção da DQO_{dec}. (%) do efluente.

Tabela 4.17 – Valores médios semanais da DQO do afluente (EB) e efluentes bruto e decantado dos reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃) e da eficiência em relação ao efluente decantado, após a 2ª descarga da massa de lodo na 1ª fase, TDH = 8 horas. A média desses valores e o desvio padrão também estão representados.

SO	afluente DQO _{bruta}	EJ ₁ =40%			EJ ₂ =45%			EJ ₃ =54%		
		mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%	mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%	mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%
		DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{eff. dec}	DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{eff. dec}	DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{eff. dec}
18ª	717	139	98	86	209	97	86	169	154	79
19ª	624	119	107	83	117	110	82	162	110	82
20ª	531	139	110	79	120	95	82	125	105	80
21ª	600	168	169	72	120	120	80	168	120	80
média	618	141	121	80	141	105	83	156	122	80
D.P	77	20	33		45	12	3	21	22	2

Obs.: SO = Semanas de operação, D.P = Desvio Padrão, E_{eff. dec} = Eficiência de remoção da DQO_{dec} (%) do efluente.

Tabela 4.18 – Valores médios semanais da DQO do afluente (EB) e efluentes bruto e decantado dos reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃) e da eficiência em relação ao efluente decantado, após a 3ª descarga da massa de lodo na 1ª fase, TDH = 8 horas. A média desses valores e o desvio padrão também estão representados.

SO	afluente DQO _{bruta}	EJ ₁ =78%			EJ ₂ =80%			EJ ₃ =26%		
		mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%	mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%	mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%
		DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{eff. dec}	DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{eff. dec}	DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{eff. dec}
22ª	639	263	234	63	291	252	60	259	238	63
23ª	590	242	226	62	235	231	61	226	176	70
24ª	669	238	182	73	264	221	67	240	174	74
25ª	634	214	175	72	202	186	71	222	140	78
26ª	677	208	161	76	194	130	81	138	123	82
média	642	233	196	69	237	204	68	217	170	73
D.P	34	22	32	6	41	48	8	47	44	7

Obs.: SO = Semanas de operação, D.P = Desvio Padrão, E_{eff. dec} = Eficiência de remoção da DQO_{dec} (%) do efluente.

Tabela 4.19 – Valores médios semanais da DQO do afluente (EB) e efluentes bruto e decantado dos reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃) e da eficiência em relação ao efluente decantado, antes da 1ª descarga da massa de lodo na 2ª fase, TDH = 4 horas. A média desses valores e o desvio padrão também estão representados.

SO	afluente DQO _{bruta}	EJ ₁			EJ ₂			EJ ₃		
		mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%	mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%	mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%
		DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{eff. dec}	DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{eff. dec}	DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{eff. dec}
1ª	603	206	167	72	176	122	80	209	126	79
2ª	681	178	115	83	141	108	84	193	108	84
3ª	639	189	143	78	173	140	78	171	135	79
média	641	191	142	78	163	123	81	191	123	81
D.P.	39	14	26	5	19	16	3	19	14	3

Obs.: SO = Semanas de operação, D.P = Desvio Padrão, E_{eff. dec} = Eficiência de remoção da DQO_{dec} (%) do efluente.

Tabela 4.20 – Valores médios semanais da DQO do afluente (EB) e efluentes bruto e decantado dos reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃) e da eficiência em relação ao efluente decantado, após a 1ª descarga da massa de lodo na 2ª fase, TDH = 4 horas. A média desses valores e o desvio padrão também estão representados.

SO	afluente DQO _{bruta}	EJ ₁ =53%			EJ ₂ =64%			EJ ₃ =78%		
		mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%	mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%	mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%
		DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{eff. dec}	DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{eff. dec}	DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{eff. dec}
3ª	591	266	167	72	212	216	64	262	210	64
4ª	672	166	103	85	199	146	78	197	157	77
5ª	725	173	85	88	218	137	81	214	160	78
6ª	701	209	127	82	216	149	79	246	216	69
7ª	696	152	116	83	196	123	82	275	196	72
8ª	-	-	-		-	-		-	-	
9ª	672	123	91	87	108	94	86	141	98	85
10ª	656	132	105	84	117	91	86	159	104	84
11ª	506	150	143	72	176	132	74	181	130	74
12ª	727	114	80	89	124	74	90	144	81	89
13ª	398	123	112	72	163	112	72	152	113	72
média	634	161	113	81	173	127	79	197	146	76
D.P.	107	47	27	7	43	40	8	50	49	8

Obs.: SO = Semanas de operação, D.P = Desvio Padrão, E_{eff. dec} = Eficiência de remoção da DQO_{dec}. (%) do efluente e (-) indica que não foi medido.

Tabela 4.21 – Valores médios semanais da DQO do afluente (EB) e efluentes bruto e decantado dos reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃) e da eficiência em relação ao efluente decantado, após a 2ª descarga da massa de lodo na 2ª fase, TDH = 4 horas. A média desses valores e o desvio padrão também estão representados.

SO	afluente DQO _{bruta}	EJ ₁ =52%			EJ ₂ =64%			EJ ₃ =75%		
		mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%	mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%	mgO ₂ /l	mgO ₂ /l	%
		DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{eff. dec}	DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{eff. dec}	DQO _{bruta}	DQO _{dec}	E _{eff. dec}
13ª	488	152	110	77	203	172	65	221	191	61
14ª	647	211	189	71	266	229	65	295	265	59
15ª	553	207	137	75	297	229	59	244	234	58
16ª	612	189	162	74	268	174	72	246	181	70
média	575	190	149	74	259	201	65	251	218	62
D.P.	69	27	34	3	40	33	2	31	39	6

Obs.: SO = Semanas de operação, D.P = Desvio Padrão, E_{eff. dec} = Eficiência de remoção da DQO_{dec}. (%) do efluente.

4.5 – Concentração de sólidos no afluente e efluente

Nas Tabelas 4.22 até 4.28 estão apresentadas as concentrações médias semanais de sólidos totais (ST) e totais voláteis (STV) determinadas em amostras coletadas do afluente (EB) e efluente dos três reatores, todos em mg/l. Nessas tabelas também estão apresentados os valores médios e os desvio padrões para cada período de operação, caracterizado por ser antes ou depois de cada descarga de lodo efetuada.

As Tabelas 4.22 a 4.25 são referentes à primeira fase, quando os reatores foram operados com TDH de 8 horas e as Tabelas 4.26 a 4.28 à segunda fase quando o TDH era de 4 horas. Observa-se que, na 1ª fase de operação, a concentração de sólidos totais no afluente aumentou, sendo o valor médio, no período antes da primeira descarga (Tabela 4.22), de 1086 mg/l e nos períodos após cada uma das três descargas de 1212,5 mg/l, 1374 mg/l e 1430,5 mg/l (Tabelas 4.23 a 4.25).

Os sólidos totais no afluente correspondem a frações dos sólidos totais de 38% antes da primeira descarga de lodo e de 33%, 39% e 44% após as três descargas de lodo efetuadas.

Observa-se nas tabelas 4.22 a 4.25 que os valores médios do sólidos totais no efluente do reator EJ₃ sempre foram maiores que aqueles determinados nos efluentes dos outros dois reatores.

Comparando-se a concentração de sólidos totais dos efluentes dos três reatores com a do afluente, vê-se que, no 1º período de operação que corresponde ao período antes da 1ª descarga (Tabela 4.22) a concentração média de sólidos totais ST no reator EJ₃ era 976 mg/L representando 90% da concentração de sólidos no afluente. Essa porcentagem diminuiu após as descargas de lodo efetuadas, sendo de, aproximadamente, 69% após a 1ª descarga (Tabela 4.23), 63% após a 2ª (Tabela 4.24) e de 71% após a 3ª descarga (Tabela 4.25). Na primeira fase, a concentração de sólidos totais voláteis no efluente de cada reator considerando-se os valores médios de cada período, representaram no mínimo 15% (EJ₁, Tabela 4.23) e, no máximo 32% (EJ₃, Tabela 4.22) da concentração de sólidos totais, também no efluente.

Na 2ª fase (Tabelas 4.26 a 4.28) a concentração média de ST, em cada período de operação, variou de 1048,7 mg/L (Tabela 4.27) até 1279,3 mg/L (Tabela 4.28), com uma porcentagem de sólidos totais voláteis entre 35% e 40%. A concentração de ST no efluente de cada reator representou, nos três períodos de operação, cerca de 75% (reator EJ₁, Tabela 4.26) a 83% (reator EJ₃, Tabela 4.27) da concentração afluente.

Os sólidos totais voláteis no efluente, considerando-se ainda a concentração média em cada período, representaram cerca de 21% (reator EJ₃, Tabela 4.26) a 30% (reator EJ₂, Tabela 4.28) da concentração de sólidos totais.

Tabela 4.22 – Valores médios semanais dos sólidos totais e voláteis do afluente (EB) e efluentes (EJ₁, EJ₂ e EJ₃), antes da 1ª descarga da massa de lodo na 1ª fase, TDH = 8 horas. A média e o desvio padrão também estão apresentados.

SO	afluente		eflu. EJ ₁		eflu. EJ ₂		eflu. EJ ₃	
	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)
1ª	-	-	-	-	-	-	-	-
2ª	-	-	-	-	-	-	-	-
3ª	-	-	-	-	-	-	-	-
4ª	850,0	258,0	802,0	212,0	844,0	260,0	1254,0	590,0
5ª	-	-	-	-	-	-	-	-
6ª	1266,0	518,0	779,0	66,0	835,0	169,0	798,0	139,0
7ª	1098,0	450,0	798,0	136,0	764,0	152,0	1002,0	376,0
8ª	1130,0	422,0	820,0	180,0	860,0	194,0	850,0	132,0
média	1086,0	412,0	799,8	148,5	825,8	193,8	976,0	309,3
D.P	173,4	110,3	16,8	63,2	42,4	47,4	204,5	218,8

obs.: (-) indica que não foi medido, **SO** = Semanas de operação, **D.P** =Desvio Padrão.

Tabela 4.23 – Valores médios semanais dos sólidos totais e voláteis do afluente (EB) e efluentes (EJ₁, EJ₂ e EJ₃), após a 1ª descarga da massa de lodo na 1ª fase, TDH = 8 horas. A média e o desvio padrão também estão apresentados.

SO	afluente		eflu. EJ ₁ =46%		eflu. EJ ₂ =25%		eflu. EJ ₃ =76%	
	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)
10ª	1000,0	262,0	740,0	76,0	712,0	116,0	804,0	114,0
11ª	-	-	-	-	-	-	-	-
12ª	1126,0	460,0	834,0	156,0	812,0	178,0	846,0	240,0
13ª	1128,0	264,0	846,0	100,0	850,0	120,0	830,0	56,0
14ª	1108,0	286,0	800,0	158,0	818,0	120,0	848,0	186,0
15ª	878,0	322,0	736,0	156,0	698,0	170,0	704,0	102,0
16ª	1400,0	416,0	743,0	65,0	1032,0	429,0	1016,0	125,0
17ª	1454,0	712,0	788,0	170,0	838,0	248,0	834,0	178,0
18ª	1606,0	512,0	744,0	52,0	824,0	26,0	804,0	130,0
média	1212,5	404,3	778,9	116,6	823,0	175,9	835,8	141,4
D.P	251,4	156,6	45,1	49,2	98,9	127,5	92,2	60,8

obs.: (-) indica que não foi medido, **SO** = Semanas de operação, **D.P** =Desvio Padrão.

Tabela 4.24 – Valores médios semanais dos sólidos totais e voláteis do afluente (EB) e efluentes (EJ₁, EJ₂ e EJ₃), após a 2ª descarga da massa de lodo na 1ª fase, TDH = 8 horas. A média e o desvio padrão também estão apresentados.

SO	afluente		eflu. EJ ₁ =40%		eflu. EJ ₂ =45%		eflu. EJ ₃ =54%	
	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)
19ª	1506,0	536,0	760,0	84,0	764,0	112,0	798,0	272,0
20ª	1279,0	520,0	778,0	120,0	794,0	131,0	997,0	341,0
21ª	1387,0	615,0	823,0	136,0	783,0	184,0	909,0	251,0
22ª	1326,0	478,0	734,0	188,0	716,0	188,0	746,0	108,0
média	1374,5	537,3	773,8	132,0	764,3	153,8	862,5	243,0
D.P.	98,2	57,3	37,5	43,2	34,5	38,1	112,5	97,9

obs.: SO = Semanas de operação, D.P =Desvio Padrão.

Tabela 4.25 – Valores médios semanais dos sólidos totais e voláteis do afluente (EB) e efluentes (EJ₁, EJ₂ e EJ₃), após a 3ª descarga da massa de lodo na 1ª fase, TDH = 8 horas. A média e o desvio padrão também estão apresentados

SO	afluente		eflu. EJ ₁ =78%		eflu. EJ ₂ =80%		eflu. EJ ₃ =26%	
	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)
23ª	1750,0	748,0	1242,0	566,0	1238,0	572,0	1406,0	758,0
24ª	1476,0	766,0	804,0	90,0	782,0	98,0	750,0	44,0
25ª	1458,0	518,0	1090,0	214,0	932,0	200,0	1016,0	162,0
26ª	1038,0	470,0	828,0	232,0	894,0	282,0	906,0	272,0
média	1430,5	625,5	991,0	275,5	961,5	288,0	1019,5	309,0
D.P.	293,8	153,3	211,6	203,7	195,0	203,7	279,8	313,5

obs.: SO = Semanas de operação, D.P =Desvio Padrão.

Tabela 4.26 – Valores médios semanais dos sólidos totais e voláteis do afluente (EB) e efluentes (EJ₁, EJ₂ e EJ₃), antes da 1ª descarga da massa de lodo na 2ª fase, TDH = 4 horas. A média e o desvio padrão também estão apresentados.

SO	afluente		eflu. EJ ₁		eflu. EJ ₂		eflu. EJ ₃	
	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)
1ª	1192,0	458,0	790,0	200,0	834,0	198,0	780,0	156,0
2ª	1136,0	360,0	930,0	222,0	918,0	226,0	952,0	226,0
3ª	1208,0	416,0	940,0	214,0	970,0	206,0	988,0	204,0
média	1178,7	411,3	886,7	212,0	907,3	210,0	906,7	195,3
D.P.	37,8	49,2	83,9	11,1	68,6	14,4	111,2	35,8

obs.: SO = Semanas de operação, D.P =Desvio Padrão.

Tabela 4.27 – Valores médios semanais dos sólidos totais e voláteis do afluente (EB) e efluentes (EJ₁, EJ₂ e EJ₃), após a 1ª descarga da massa de lodo na 2ª fase, TDH = 4 horas. A média e o desvio padrão também estão apresentados.

SO	afluente		eflu. EJ ₁ =53%		eflu. EJ ₂ =64%		eflu. EJ ₃ =78%	
	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)
4ª	1070,0	458,0	858,0	244,0	786,0	172,0	768,0	188,0
5ª	1095,0	428,0	790,0	254,0	779,0	229,0	805,0	256,0
6ª	1418,0	620,0	888,0	234,0	836,0	310,0	866,0	320,0
7ª	1078,0	454,0	840,0	210,0	920,0	240,0	946,0	256,0
9ª	1180,0	324,0	936,0	158,0	982,0	216,0	976,0	242,0
10ª	1022,0	288,0	746,0	162,0	790,0	126,0	714,0	150,0
11ª	1120,0	410,0	762,0	132,0	750,0	136,0	758,0	118,0
12ª	117,0	292,0	928,0	154,0	972,0	192,0	974,0	118,0
13ª	1338,0	496,0	998,0	238,0	958,0	230,0	982,0	248,0
média	1048,7	418,9	860,7	198,4	863,7	205,7	865,4	210,7
D.P	373,3	107,0	85,2	46,7	93,6	56,8	107,1	70,5

obs.: SO = Semanas de operação, D.P =Desvio Padrão

Tabela 4.28 – Valores médios semanais dos sólidos totais e voláteis do afluente (EB) e efluentes (EJ₁, EJ₂ e EJ₃), após a 2ª descarga da massa de lodo na 2ª fase, TDH = 4 horas. A média e o desvio padrão também estão apresentados.

SO	afluente		eflu. EJ ₁ =52%		eflu. EJ ₂ =64%		eflu. EJ ₃ =75%	
	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)	ST (mg/l)	STV(mg/l)
14ª	1076,0	518,0	862,0	300,0	846,0	364,0	898,0	280,0
15ª	1356,0	564,0	932,0	274,0	970,0	228,0	948,0	278,0
16ª	1406,0	474,0	994,0	206,0	974,0	246,0	964,0	228,0
média	1279,3	518,7	929,3	260,0	930,0	279,3	936,7	262,0
D.P.	177,9	45,0	66,0	48,5	72,8	73,9	34,4	29,5

obs.: SO = Semanas de operação, D.P =Desvio Padrão.

4.6 - Massa de sólidos totais e voláteis no lodo.

Tanto na 1ª como na 2ª fases o aumento da massa de lodo nos volumes úteis dos três reatores foi acompanhado, determinando-se os sólidos totais e totais voláteis nos seis pontos ao longo da coluna do reator, de modo que se podia determinar a massa de lodo total no reator e a produção de lodo acumulada no reator UASB.

Como já descrito no capítulo de Materiais e Métodos, os reatores continham 6 pontos de coleta de onde era possível retirar amostras para determinação da concentração de ST e STV. Tendo-se considerado o volume de influência de cada ponto, determinava-se a massa de lodo nele contida em termos de massa de sólidos totais no lodo (MSTL) e massa de sólidos totais voláteis no lodo (MSVL). Essas determinações eram semanais e os resultados estão apresentados nas Tabelas 4.29 a 4.35.

As Tabelas 4.29 a 4.35 agrupam dados da massa de lodo segundo as fases da investigação experimental (1ª fase com TDH de 8 horas e 2ª fase com TDH de 4 horas) e os períodos de operação definidos como antes e após cada descarga.

Na 1ª fase do experimento (Tabela 4.29) o 1º período (antes da 1ª descarga) compreendeu 10 semanas de operação, tendo os reatores acumulado, em termos de sólidos totais, 4295 g (reator EJ₁), 4242 g (reator EJ₂) e 3646 g (reator EJ₃). Desses valores as quantidades de sólidos totais voláteis eram 1966 g (reator EJ₁), 1926 g (reator EJ₂) e 1648 g (EJ₃).

Na Tabela 4.30, mostra-se o crescimento da massa de sólidos totais nos reatores EJ₁, EJ₂ e EJ₃, após a 1ª descarga chegando a valores respectivamente de 2918 g, 3750 g e 2391 g na 18ª semana de operação quando então foi dada a 2ª descarga. A massa de sólidos totais voláteis também está apresentada, tendo variado de 40 a 44% da massa de sólidos totais. Observa-se que, já na segunda semana de operação após a 1ª descarga, a massa de lodo acumulada nos reatores EJ₁, EJ₂ e EJ₃, respectivamente com 46%, 25% e 76% do lodo descarregado, foi de 63%, 67% e 48% da massa de lodo contida nos respectivos reatores, antes das descargas. As Tabelas 4.31 e 4.32 mostram o crescimento da massa de lodo após as 2ª e 3ª descargas e a massa de lodo acumulada ao longo do período compreendido entre as descargas.

Na segunda descarga, quando foram descarregados 40%, 45% e 54% do lodo dos reatores EJ₁, EJ₂ e EJ₃, após a 1ª semana de operação, os reatores já apresentaram 71% (EJ₁),

60% (EJ₂) e 35% (EJ₃) da massa de lodo contida antes da descarga (Tabela 4.31). Na 3ª descarga a massa total de lodo acumulada, como sólidos totais foi de 2396 g no reator EJ₁, 2986 g no reator EJ₂ e de 1140 g no reator EJ₃, com 43 a 47% de sólidos voláteis.

No 4º período de operação (Tabela 4.32) quando foram dadas descargas de 78%, 80% e 26% respectivamente nos reatores EJ₁, EJ₂, EJ₃, as massa de lodo acumuladas após a 1ª semana de operação, foram de 76%, 80% e 90%, respectivamente, chegando ao final do período (26 semanas) com 1211 g (EJ₁), 1275 g (EJ₂) e 1600 g (EJ₃) de sólidos totais.

Nas Tabelas 4.33 a 4.35 está apresentada a massa de lodo acumulada em cada um dos três reatores durante a 2ª fase (TDH= 4 horas).

No 1º período (Tabela 4.33) com 13 semanas de operação, a massa de lodo acumulada foi de 3110 g (reator EJ₁), 2833 g (reator EJ₂) e 2796 g (reator EJ₃), quando então foi dada a primeira descarga em cada um dos reatores.

Após a 1ª descarga, 53% no reator EJ₁, 64% no reator EJ₂ e 78% no reator EJ₃, os reatores foram operados por mais 10 semanas, acumulando massas de lodo, como sólidos totais de 3424 g (EJ₁), 2888 g (EJ₂) e 1342 g (EJ₃), com 57%, 59% e 58% de sólidos voláteis, respectivamente (Tabela 4.34).

Após a 2ª descarga onde foi descarregado uma massa de sólidos totais dos reatores de 52% no EJ₁, 64% no EJ₂ e 75% no reator EJ₃, os reatores foram operados por um período de quatro semanas, acumulando uma massa de lodo, onde as quais variaram de 1521 g a 2442 g.

Tabela 4.29 – Valores semanais da massa de sólidos totais e voláteis ao longo do corpo dos reatores, fracionado seguindo os pontos de P₁ a P₆ e da massa total acumulada, antes da 1ª descarga na 1ª fase com TDH = 8 horas.

SO	PONTOS (m)	EJ ₁			EJ ₂			EJ ₃		
		MSTL	MSVL	pH	MSTL	MSVL	pH	MSTL	MSVL	pH
		(Kg)	(Kg)		(Kg)	(Kg)		(Kg)	(Kg)	
1ª	P ₁ a P ₆	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2ª	P ₁ a P ₆	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3ª	P ₁ a P ₆	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4ª	P ₁ (0,25)	0,950	0,434	6,67	0,659	0,302	6,60	0,796	0,315	6,69
	P ₂ (0,50)	1,012	0,488	6,67	0,689	0,269	6,61	0,927	0,419	6,69
	P ₃ (1,00)	0,963	0,239	6,68	0,703	0,347	6,60	0,621	0,378	6,67
	P ₄ (1,50)	0,651	0,355	6,7	0,766	0,370	6,68	0,608	0,339	6,69
	P ₅ (2,25)	0,792	0,316	6,71	0,807	0,414	6,8	0,626	0,306	6,7
	P ₆ (3,00)	1,482	0,511	6,72	1,227	0,413	6,7	0,998	0,496	6,72
	Soma	5,850	2,344		4,851	2,115		4,577	2,253	
5ª	P ₁ a P ₆	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6ª	P ₁ a P ₆	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7ª	P ₁ (0,25)	0,896	0,361	6,67	0,857	0,361	6,59	0,605	0,287	6,69
	P ₂ (0,50)	0,914	0,448	6,67	0,739	0,220	6,59	0,538	0,241	6,69
	P ₃ (1,00)	0,946	0,460	6,68	0,896	0,400	6,6	0,491	0,130	6,69
	P ₄ (1,50)	0,648	0,329	6,7	0,711	0,329	6,67	0,630	0,296	6,69
	P ₅ (2,25)	0,662	0,242	6,71	0,643	0,326	6,64	0,720	0,357	6,63
	P ₆ (3,00)	0,965	0,467	6,72	1,189	0,525	6,75	1,044	0,286	6,67
	Soma	5,031	2,307		5,034	2,160		4,028	1,597	
8ª	P ₁ a P ₆	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9ª	P ₁ a P ₆	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10ª	P ₁ (0,25)	0,823	0,359	6,59	1,009	0,469	6,69	0,825	0,398	6,59
	P ₂ (0,50)	0,891	0,358	6,59	0,947	0,432	6,69	0,082	0,030	6,6
	P ₃ (1,00)	1,193	0,561	6,6	0,877	0,340	6,69	0,017	0,006	6,67
	P ₄ (1,50)	0,931	0,445	6,67	0,778	0,360	6,69	1,140	0,496	6,64
	P ₅ (2,25)	0,427	0,235	6,64	0,599	0,320	6,63	1,384	0,705	6,69
	P ₆ (3,00)	0,029	0,009	6,7	0,032	0,005	6,65	0,197	0,013	6,69
	Soma	4,295	1,966		4,242	1,926		3,646	1,648	

Tabela 4.30 – Valores semanais da massa de sólidos totais e voláteis ao longo do corpo dos reatores, fracionado seguindo os pontos de P₁ a P₆ e da massa total acumulada, após a 1ª descarga na 1ª fase com TDH = 8 horas.

SO	PONTOS (m)	EJ ₁ =46%			EJ ₂ =25%			EJ ₃ =76%		
		MSTL	MSVL	pH	MSTL	MSVL	pH	MSTL	MSVL	pH
		(Kg)	(Kg)		(Kg)	(Kg)		(Kg)	(Kg)	
12ª	P ₁ (0,25)	0,716	0,350	6,67	1,008	0,421	6,59	0,821	0,400	6,69
	P ₂ (0,50)	0,773	0,334	6,67	0,504	0,239	6,59	0,495	0,257	6,69
	P ₃ (1,00)	0,701	0,363	6,68	0,400	0,215	6,6	0,367	0,144	6,69
	P ₄ (1,50)	0,454	0,253	6,71	0,432	0,203	6,67	0,021	0,004	6,69
	P ₅ (2,25)	0,021	0,005	6,71	0,468	0,259	6,64	0,023	0,006	6,68
	P ₆ (3,00)	0,032	0,009	6,72	0,039	0,009	6,7	0,035	0,006	6,67
	Soma	2,698	1,313		2,851	1,346		1,762	0,817	

Tabela 4.30 – Valores semanais da massa de sólidos totais e voláteis ao longo do corpo dos reatores, fracionado seguindo os pontos de P₁ a P₆ e da massa total acumulada, após a 1ª descarga na 1ª fase com TDH = 8 horas (continuação).

13ª	P ₁ (0,25)	1,214	0,427	6,67	0,427	0,962	6,59	0,740	0,309	6,69
	P ₂ (0,50)	0,880	0,418	6,67	0,418	0,653	6,59	0,526	0,175	6,61
	P ₃ (1,00)	0,646	0,223	6,68	0,223	0,395	6,6	0,486	0,159	6,64
	P ₄ (1,50)	0,373	0,214	6,7	0,214	0,467	6,67	0,022	0,005	6,69
	P ₅ (2,25)	0,030	0,008	6,71	0,008	0,484	6,64	0,029	0,006	6,64
	P ₆ (3,00)	0,096	0,014	6,72	0,014	0,042	6,7	0,044	0,009	6,73
	Soma	3,240	1,304		1,304	3,002		1,847	0,664	
14ª	P ₁ (0,25)	0,764	0,386	6,67	0,814	0,358	6,59	0,889	0,443	6,69
	P ₂ (0,50)	0,621	0,310	6,67	0,763	0,369	6,59	0,588	0,313	6,69
	P ₃ (1,00)	0,376	0,142	6,68	0,602	0,245	6,6	0,389	0,225	6,69
	P ₄ (1,50)	0,390	0,205	6,7	0,452	0,169	6,67	0,019	0,003	6,68
	P ₅ (2,25)	0,470	0,156	6,71	0,449	0,244	6,64	0,022	0,005	6,7
	P ₆ (3,00)	0,038	0,014	6,72	0,038	0,016	6,7	0,033	0,007	6,71
	Soma	2,659	1,213		3,118	1,401		1,941	0,995	
15ª	P ₁ (0,25)	1,078	0,395	6,53	0,965	0,299	6,53	0,665	0,317	6,56,
	P ₂ (0,50)	0,726	0,312	6,54	0,608	0,307	6,63	0,514	0,283	6,63
	P ₃ (1,00)	0,704	0,261	6,71	0,318	0,117	6,73	0,369	0,218	6,76
	P ₄ (1,50)	0,521	0,207	6,83	0,413	0,212	6,88	0,329	0,199	6,89
	P ₅ (2,25)	0,023	0,009	6,98	0,406	0,227	6,79	0,016	0,002	6,89
	P ₆ (3,00)	0,028	0,006	6,9	0,028	0,007	6,96	0,027	0,008	6,91
	Soma	3,080	1,190		2,737	1,171		1,921	1,028	
16ª	P ₁ (0,25)	0,716	0,213	6,83	0,592	0,270	6,7	0,664	0,308	6,81
	P ₂ (0,50)	0,578	0,293	6,82	0,484	0,261	6,67	0,477	0,207	6,77
	P ₃ (1,00)	0,410	0,109	6,85	0,490	0,174	6,69	0,329	0,204	6,95
	P ₄ (1,50)	0,425	0,129	6,89	0,464	0,222	6,75	0,315	0,076	6,94
	P ₅ (2,25)	0,470	0,233	6,91	0,474	0,263	6,76	0,308	0,157	6,78
	P ₆ (3,00)	0,281	0,012	6,88	0,631	0,349	6,75	0,041	0,001	6,88
	Soma	2,879	0,988		3,135	1,539		2,134	0,952	
17ª	P ₁ (0,25)	1,318	0,559	6,85	0,772	0,342	6,71	0,606	0,179	6,78
	P ₂ (0,50)	0,667	0,324	6,81	0,618	0,256	6,77	0,484	0,270	6,78
	P ₃ (1,00)	0,841	0,445	6,86	0,443	0,217	6,82	0,352	0,090	6,87
	P ₄ (1,50)	0,460	0,255	6,88	0,493	0,275	6,8	0,305	0,073	6,89
	P ₅ (2,25)	0,439	0,134	6,78	0,488	0,272	6,78	0,321	0,151	6,74
	P ₆ (3,00)	0,035	0,010	6,85	0,748	0,416	6,89	0,035	0,000	6,77
	Soma	3,759	1,727		3,562	1,779		2,104	0,764	
18ª	P ₁ (0,25)	0,932	0,245	6,78	0,822	0,328	6,78	0,863	0,388	6,56
	P ₂ (0,50)	0,510	0,249	6,79	0,565	0,318	6,74	0,465	0,024	6,57
	P ₃ (1,00)	0,642	0,301	6,67	0,453	0,123	6,73	0,412	0,179	6,71
	P ₄ (1,50)	0,415	0,223	6,88	0,519	0,302	6,77	0,304	0,172	6,74
	P ₅ (2,25)	0,389	0,184	6,7	0,595	0,239	6,74	0,314	0,181	6,66
	P ₆ (3,00)	0,030	0,005	6,9	0,796	0,335	6,81	0,033	0,005	6,89
	Soma	2,918	1,208		3,750	1,647		2,391	0,949	

Tabela 4.31 – Valores semanais da massa de sólidos totais e voláteis ao longo do corpo dos reatores, fracionado seguindo os pontos de P₁ a P₆ e da massa total acumulada, após a 2^a descarga na 1^a fase com TDH = 8 horas.

SO	PONTOS (m)	EJ ₁ =40%			EJ ₂ =45%			EJ ₃ =54%		
		MSTL	MSVL	pH	MSTL	MSVL	pH	MSTL	MSVL	pH
		(Kg)	(Kg)		(Kg)	(Kg)		(Kg)		
19 ^a	P ₁ (0,25)	1,161	0,464	6,78	0,778	0,339	6,78	0,568	0,233	6,56
	P ₂ (0,50)	0,624	0,181	6,79	0,574	0,180	6,74	0,184	0,108	6,57
	P ₃ (1,00)	0,213	0,102	6,67	0,401	0,200	6,73	0,015	0,004	6,71
	P ₄ (1,50)	0,019	0,004	6,88	0,433	0,226	6,77	0,019	0,005	6,74
	P ₅ (2,25)	0,020	0,006	6,7	0,019	0,004	6,74	0,022	0,005	6,66
	P ₆ (3,00)	0,031	0,004	6,9	0,031	0,009	6,81	0,036	0,009	6,89
	Soma	2,068	0,763		2,236	0,958		0,845	0,364	
20 ^a	P ₁ (0,25)	1,231	0,500	6,79	0,754	0,234	6,64	0,506	0,263	6,53
	P ₂ (0,50)	0,513	0,246	6,55	0,450	0,235	6,61	0,391	0,229	6,49
	P ₃ (1,00)	0,410	0,217	6,57	0,442	0,246	6,57	0,017	0,003	6,68
	P ₄ (1,50)	0,368	0,222	6,76	0,398	0,135	6,65	0,021	0,006	6,75
	P ₅ (2,25)	0,030	0,008	6,76	0,045	0,018	6,7	0,025	0,007	6,69
	P ₆ (3,00)	0,046	0,017	6,73	0,069	0,030	6,81	0,044	0,021	6,67
	Soma	2,597	1,210		2,158	0,898		1,003	0,530	
21 ^a	P ₁ (0,25)	1,168	0,435	6,83	0,996	0,364	6,84	0,575	0,183	6,74
	P ₂ (0,50)	0,626	0,289	6,71	0,507	0,257	6,84	0,433	0,200	6,65
	P ₃ (1,00)	0,534	0,155	6,91	0,447	0,239	6,99	0,021	0,010	7,01
	P ₄ (1,50)	0,017	0,004	6,8	0,360	0,202	7	0,018	0,004	6,8
	P ₅ (2,25)	0,019	0,004	6,9	0,024	0,007	6,91	0,020	0,005	6,84
	P ₆ (3,00)	0,030	0,006	6,84	0,033	0,009	6,84	0,031	0,004	6,83
	Soma	2,394	0,893		2,367	1,077		1,098	0,407	
22 ^a	P ₁ (0,25)	1,097	0,458	6,67	1,176	0,438	6,59	0,650	0,288	6,69
	P ₂ (0,50)	0,635	0,358	6,67	0,574	0,286	6,59	0,400	0,222	6,69
	P ₃ (1,00)	0,515	0,151	6,68	0,419	0,206	6,6	0,012	0,007	6,69
	P ₄ (1,50)	0,042	0,015	6,7	0,396	0,213	6,67	0,020	0,007	6,69
	P ₅ (2,25)	0,045	0,020	6,71	0,375	0,126	6,64	0,023	0,003	6,63
	P ₆ (3,00)	0,061	0,019	6,72	0,046	0,017	6,7	0,036	0,011	6,61
	Soma	2,396	1,022		2,986	1,286		1,140	0,537	

Tabela 4.32 – Valores semanais da massa de sólidos totais e voláteis ao longo do corpo dos reatores, fracionado seguindo os pontos de P₁ a P₆ e da massa total acumulada, após a 3^a descarga na 1^a fase com TDH = 8 horas.

SO	PONTOS (m)	EJ ₁ =78%			EJ ₂ =80%			EJ ₃ =26%		
		MSTL	MSVL	pH	MSTL	MSVL	pH	MSTL	MSVL	pH
		(Kg)	(Kg)		(Kg)	(Kg)		(Kg)		
23 ^a	P ₁ (0,25)	0,056	0,027	6,88	0,137	0,081	6,72	0,720	0,415	6,53
	P ₂ (0,50)	0,010	0,002	6,91	0,013	0,005	6,95	0,201	0,133	6,59
	P ₃ (1,00)	0,013	0,003	6,94	0,015	0,004	6,92	0,014	0,004	6,8
	P ₄ (1,50)	0,018	0,004	6,92	0,018	0,006	6,95	0,036	0,023	6,79
	P ₅ (2,25)	0,020	0,005	6,94	0,021	0,005	6,91	0,022	0,007	6,73
	P ₆ (3,00)	0,050	0,027	6,89	0,037	0,012	7,04	0,032	0,007	6,82
	Soma	0,167	0,069		0,242	0,113		1,025	0,590	

Tabela 4.32 – Valores semanais da massa de sólidos totais e voláteis ao longo do corpo dos reatores, fracionado seguindo os pontos de P₁ a P₆ e da massa total acumulada, após a 3ª descarga na 1ª fase com TDH = 8 horas (continuação).

24ª	P ₀ (0,00)	0,435	0,209	6,53	0,414	0,210	6,59	0,479	0,229	6,52
	P ₁ (0,25)	0,332	0,145	6,59	0,418	0,225	6,63	0,343	0,176	6,53
	P ₂ (0,50)	0,135	0,091	6,61	0,018	0,009	6,81	0,436	0,282	6,59
	P ₃ (1,00)	0,025	0,014	6,81	0,015	0,005	6,81	0,015	0,005	6,77
	P ₄ (1,50)	0,018	0,005	6,8	0,019	0,005	6,83	0,019	0,006	6,82
	P ₅ (2,25)	0,023	0,008	6,88	0,021	0,006	6,82	0,024	0,008	6,81
	P ₆ (3,00)	0,033	0,016	6,86	0,034	0,009	6,83	0,040	0,016	6,87
	Soma	1,001	0,487		0,941	0,470		1,356	0,723	
25ª	P ₀ (0,00)	0,407	0,188	6,49	0,401	0,181	6,46-	0,519	0,267	6,51
	P ₁ (0,25)	0,412	0,245	6,49	0,293	0,178	6,46	0,314	0,189	6,54
	P ₂ (0,50)	0,334	0,215	6,61	0,483	0,304	6,5	0,401	0,252	6,54
	P ₃ (1,00)	0,018	0,005	6,87	0,018	0,006	6,66	0,020	0,007	6,78
	P ₄ (1,50)	0,023	0,007	6,77	0,021	0,006	6,66	0,024	0,008	6,78
	P ₅ (2,25)	0,025	0,008	6,75	0,025	0,007	6,65	0,028	0,008	6,78
	P ₆ (3,00)	0,042	0,013	6,7	0,039	0,010	6,71	0,043	0,013	6,73
	Soma	1,261	0,681		1,280	0,693		1,350	0,744	
26ª	P ₀ (0,00)	0,457	0,198	6,86	0,471	0,197	6,55	0,449	0,203	6,78
	P ₁ (0,25)	0,293	0,284	6,5	0,283	0,030	6,53	0,345	0,172	6,57
	P ₂ (0,50)	0,356	0,201	6,5	0,398	0,217	6,6	0,444	0,243	6,61
	P ₃ (1,00)	0,018	0,006	6,63	0,030	0,007	6,67	0,265	0,160	6,72
	P ₄ (1,50)	0,022	0,007	6,64	0,027	0,009	6,67	0,023	0,009	6,72
	P ₅ (2,25)	0,025	0,008	6,64	0,026	0,009	6,71	0,032	0,010	6,74
	P ₆ (3,00)	0,040	0,013	6,68	0,040	0,014	6,74	0,043	0,007	6,74
	Soma	1,211	0,716		1,275	0,483		1,600	0,803	

Obs.: SO = Semanas de operação, (-) = indica que não foi medido, MSTL = Massa de sólidos totais do lodo e MSVL = Massa de sólidos voláteis do lodo.

Tabela 4.33 – Valores semanais da massa de sólidos totais e voláteis ao longo do corpo dos reatores, fracionado seguindo os pontos de P₁ à P₆ e da massa total acumulada, antes da 1ª descarga na 2ª fase com TDH = 4 horas.

S.O	PONTOS (m)	EJ ₁			EJ ₂			EJ ₃		
		MSTL (Kg)	MSVL (Kg)	pH	MSTL (Kg)	MSVL (Kg)	pH	MSTL (Kg)	MSVL (Kg)	pH
1ª	P ₀ a P ₆	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2ª	P ₀ (0,00)	1,202	0,949	6,68	0,479	0,218	6,88	0,430	0,196	6,66
	P ₁ (0,25)	1,312	0,965	6,87	0,526	0,299	6,58	0,585	0,278	6,6
	P ₂ (0,50)	0,485	0,288	6,64	0,443	0,262	6,58	0,431	0,254	6,66
	P ₃ (1,00)	0,320	0,189	6,71	0,379	0,194	6,69	0,330	0,205	6,77
	P ₄ (1,50)	0,355	0,211	6,71	0,356	0,220	6,71	0,333	0,210	6,76
	P ₅ (2,25)	0,418	0,255	6,71	0,404	0,250	6,68	0,332	0,211	6,67
	P ₆ (3,00)	0,668	0,407	6,75	0,452	0,274	6,68	0,057	0,023	6,81
	Soma	4,760	3,264		3,038	1,717		2,499	1,377	
3ª	P ₀ (0,00)	0,444	0,214	6,71	0,415	0,201	6,82	0,417	0,202	6,86
	P ₁ (0,25)	0,599	0,291	6,86	0,424	0,223	6,64	0,370	0,204	6,82
	P ₂ (0,50)	0,275	0,157	6,64	0,358	0,205	6,66	0,398	0,245	6,66
	P ₃ (1,00)	0,309	0,159	6,77	0,293	0,173	6,69	0,283	0,179	6,67
	P ₄ (1,50)	0,368	0,217	6,64	0,339	0,243	6,67	0,348	0,218	6,82
	P ₅ (2,25)	0,457	0,267	6,71	0,405	0,237	6,72	0,363	0,237	6,69
	P ₆ (3,00)	0,659	0,381	6,71	0,601	0,355	6,78	0,616	0,376	6,76
	Soma	3,110	1,686		2,833	1,637		2,796	1,661	

Tabela 4.34 – Valores semanais da massa de sólidos totais e voláteis ao longo do corpo dos reatores, fracionado seguindo os pontos de P₁ a P₆ e da massa total acumulada, após a 1ª descarga na 2ª fase com TDH = 4 horas.

SO	PONTOS (m)	EJ ₁ =53%			EJ ₂ =64%			EJ ₃ =78%		
		MSTL	MSVL	pH	MSTL	MSVL	pH	MSTL	MSVL	pH
		(Kg)	(Kg)		(Kg)	(Kg)		(Kg)		
4ª	P ₀ (0,00)	0,472	0,225	6,7	0,448	0,233	6,64	0,353	0,190	6,71
	P ₁ (0,25)	0,589	0,286	6,71	0,460	0,250	6,68	0,227	0,166	6,7
	P ₂ (0,50)	0,453	0,267	6,73	0,326	0,217	6,69	0,243	0,183	6,79
	P ₃ (1,00)	0,241	0,156	6,79	0,017	0,008	6,71	0,014	0,005	6,71
	P ₄ (1,50)	0,024	0,012	6,77	0,021	0,011	6,72	0,017	0,005	6,78
	P ₅ (2,25)	0,025	0,010	6,79	0,026	0,011	6,74	0,019	0,006	6,69
	P ₆ (3,00)	0,045	0,022	6,8	0,040	0,016	6,72	0,031	0,011	6,69
	Soma	1,850	0,978		1,338	0,744		0,903	0,566	
5ª	P ₀ (0,00)	0,443	0,217	6,8	0,412	0,210	6,75	0,362	0,203	6,66
	P ₁ (0,25)	0,576	0,295	6,68	0,378	0,233	6,55	0,251	0,176	6,59
	P ₂ (0,50)	0,522	0,313	6,58	0,381	0,247	6,51	0,320	0,230	6,6
	P ₃ (1,00)	0,268	0,169	6,83	0,029	0,015	6,78	0,240	0,172	6,65
	P ₄ (1,50)	0,300	0,197	6,77	0,023	0,009	6,83	0,017	0,005	6,75
	P ₅ (2,25)	0,028	0,011	6,82	0,026	0,011	6,82	0,020	0,005	6,75
	P ₆ (3,00)	0,044	0,016	6,82	0,040	0,016	6,9	0,033	0,009	6,78
	Soma	2,181	1,218		1,290	0,740		1,241	0,800	
6ª	P ₀ (0,00)	0,460	0,217	6,8	0,426	0,211	6,75	0,167	0,107	6,66
	P ₁ (0,25)	0,567	0,291	6,68	0,457	0,250	6,55	0,246	0,166	6,59
	P ₂ (0,50)	0,440	0,258	6,58	0,386	0,244	6,51	0,290	0,197	6,6
	P ₃ (1,00)	0,277	0,174	6,83	0,270	0,178	6,78	0,235	0,159	6,65
	P ₄ (1,50)	0,264	0,168	6,77	0,032	0,013	6,83	0,245	0,168	6,75
	P ₅ (2,25)	0,059	0,031	6,82	0,041	0,019	6,82	0,042	0,023	6,75
	P ₆ (3,00)	0,082	0,037	6,82	0,062	0,029	6,9	0,057	0,029	6,78
	Soma	2,147	1,176		1,675	0,945		1,283	0,848	
7ª	P ₀ (0,00)	0,495	0,229	6,8	0,429	0,393	6,75	0,350	0,196	6,66
	P ₁ (0,25)	0,591	0,290	6,68	0,435	0,335	6,55	0,259	0,165	6,59
	P ₂ (0,50)	0,436	0,268	6,58	0,387	0,288	6,51	0,384	0,250	6,6
	P ₃ (1,00)	0,296	0,184	6,83	0,301	0,192	6,78	0,266	0,175	6,65
	P ₄ (1,50)	0,303	0,191	6,77	0,031	0,015	6,83	0,135	0,086	6,75
	P ₅ (2,25)	0,111	0,065	6,82	0,038	0,017	6,82	0,056	0,028	6,75
	P ₆ (3,00)	0,065	0,030	6,82	0,055	0,024	6,9	0,082	0,043	6,78
	Soma	2,297	1,257		1,676	1,263		1,533	0,943	
8ª	P ₀ (0,00)	0,514	0,263	6,8	0,677	0,453	6,75	0,331	0,183	6,66
	P ₁ (0,25)	0,742	0,413	6,68	0,510	0,277	6,55	0,394	0,229	6,59
	P ₂ (0,50)	0,631	0,390	6,58	0,678	0,396	6,51	0,479	0,296	6,6
	P ₃ (1,00)	0,297	0,177	6,83	0,382	0,224	6,78	0,303	0,191	6,65
	P ₄ (1,50)	0,324	0,207	6,77	0,153	0,090	6,83	0,291	0,175	6,75
	P ₅ (2,25)	0,316	0,180	6,82	0,031	0,009	6,82	0,033	0,011	6,75
	P ₆ (3,00)	0,049	0,017	6,82	0,056	0,003	6,9	0,052	0,018	6,78
	Soma	2,873	1,646		2,488	1,452		1,881	1,103	
9ª	P ₀ a P ₆	-	-		-	-		-	-	

Tabela 4.34 – Valores semanais da massa de sólidos totais e voláteis ao longo do corpo dos reatores, fracionado seguindo os pontos de P₁ a P₆ e da massa total acumulada, após a 1^a descarga na 2^a fase com TDH = 4 horas (continuação).

10 ^a	P ₀ (0,00)	0,485	0,242	6,55	0,424	0,227	6,82	0,367	0,206	6,82
	P ₁ (0,25)	0,601	0,310	6,51	0,504	0,274	6,82	0,392	0,235	6,9
	P ₂ (0,50)	0,429	0,244	6,78	0,471	0,267	6,75	0,357	0,221	6,75
	P ₃ (1,00)	0,299	0,179	6,83	0,308	0,190	6,55	0,273	0,170	6,55
	P ₄ (1,50)	0,349	0,206	6,83	0,336	0,206	6,51	0,300	0,182	6,51
	P ₅ (2,25)	0,397	0,236	6,82	0,314	0,193	6,78	0,032	0,011	6,83
	P ₆ (3,00)	0,596	0,357	6,77	0,053	0,018	6,83	0,048	0,016	6,82
	Soma	3,156	1,775		2,409	1,375		1,769	1,040	
11 ^a	P ₀ (0,00)	0,466	0,227	6,8	0,626	0,413	6,75	0,363	0,198	6,75
	P ₁ (0,25)	0,637	0,327	6,68	0,475	0,403	6,55	0,338	0,201	6,55
	P ₂ (0,50)	0,542	0,314	6,58	0,501	0,303	6,51	0,490	0,307	6,51
	P ₃ (1,00)	0,327	0,192	6,83	0,350	0,224	6,78	0,316	0,199	6,78
	P ₄ (1,50)	0,341	0,207	6,77	0,387	0,246	6,83	0,354	0,223	6,83
	P ₅ (2,25)	0,305	0,184	6,82	0,295	0,193	6,82	0,026	0,006	6,82
	P ₆ (3,00)	0,036	0,007	6,82	0,039	0,012	6,9	0,042	0,009	6,9
	Soma	2,653	1,460		2,673	1,793		1,929	1,143	
12 ^a	P ₀ a P ₆	-	-		-	-		-	-	
13 ^a	P ₀ (0,00)	0,481	0,228	6,8	0,430	0,211	6,75	0,404	0,208	6,66
	P ₁ (0,25)	0,624	0,307	6,68	0,414	0,229	6,55	0,334	0,196	6,59
	P ₂ (0,50)	0,382	0,232	6,58	0,394	0,242	6,51	0,444	0,269	6,6
	P ₃ (1,00)	0,311	0,185	6,83	0,289	0,180	6,78	0,299	0,181	6,65
	P ₄ (1,50)	0,376	0,226	6,77	0,355	0,215	6,83	0,345	0,209	6,75
	P ₅ (2,25)	0,451	0,275	6,82	0,420	0,258	6,82	0,380	0,236	6,75
	P ₆ (3,00)	0,800	0,487	6,82	0,585	0,357	6,9	0,097	0,043	6,78
	Soma	3,424	1,940		2,888	1,693		2,303	1,342	

Tabela 4.35 – Valores semanais da massa de sólidos totais e voláteis ao longo do corpo dos reatores, fracionado seguindo os pontos de P₁ a P₆ e da massa total acumulada, após a 2^a descarga na 2^a fase com TDH = 4 horas

SO	PONTOS (m)	EJ ₁ =52%			EJ ₂ =64%			EJ ₃ =75%		
		MSTL (Kg)	MSVL (Kg)	pH	MSTL (Kg)	MSVL (Kg)	pH	MSTL (Kg)	MSVL (Kg)	pH
14 ^a	P ₀ (0,00)	0,503	0,313	6,52	0,434	0,250	6,56	0,526	0,396	6,54
	P ₁ (0,25)	0,590	0,308	6,54	0,391	0,243	6,58	0,275	0,187	6,52
	P ₂ (0,50)	0,469	0,282	6,51	0,370	0,258	6,59	0,309	0,215	6,58
	P ₃ (1,00)	0,274	0,174	6,52	0,019	0,007	6,82	0,016	0,005	6,59
	P ₄ (1,50)	0,035	0,016	6,82	0,022	0,008	6,84	0,018	0,007	6,85
	P ₅ (2,25)	0,036	0,015	6,81	0,026	0,008	6,81	0,022	0,007	6,87
	P ₆ (3,00)	0,052	0,020	6,98	0,040	0,014	6,9	0,038	0,012	6,91
	Soma	1,959	1,127		1,301	0,787		1,204	0,829	
15 ^a	P ₀ (0,00)	0,431	0,246	6,52	0,377	0,223	6,34	0,344	0,217	6,26
	P ₁ (0,25)	0,569	0,316	6,68	0,333	0,232	6,36	0,343	0,233	6,2
	P ₂ (0,50)	0,424	0,243	6,51	0,441	0,290	6,36	0,442	0,312	6,3
	P ₃ (1,00)	0,243	0,157	6,68	0,131	0,089	6,65	0,015	0,004	6,78
	P ₄ (1,50)	0,270	0,174	6,6	0,021	0,006	6,8	0,019	0,006	6,75
	P ₅ (2,25)	0,060	0,031	6,82	0,025	0,008	6,84	0,022	0,004	6,75
	P ₆ (3,00)	0,087	0,046	6,84	0,038	0,014	6,83	0,038	0,010	6,7
	Soma	2,084	1,214		1,365	0,862		1,223	0,786	

Tabela 4.35 – Valores semanais da massa de sólidos totais e voláteis ao longo do corpo dos reatores, fracionado seguindo os pontos de P₁ a P₆ e da massa total acumulada, após a 2ª descarga na 2ª fase com TDH = 4 horas (continuação)

16ª	P₀ (0,00)	0,448	0,218	6,52	0,382	0,222	6,56	0,294	0,187	6,54
	P₁ (0,25)	0,544	0,293	6,54	0,359	0,228	6,58	0,242	0,145	6,52
	P₂ (0,50)	0,598	0,522	6,51	0,395	0,237	6,59	0,347	0,202	6,58
	P₃ (1,00)	0,370	0,230	6,52	0,286	0,183	6,82	0,313	0,202	6,59
	P₄ (1,50)	0,106	0,057	6,82	0,037	0,013	6,84	0,313	0,221	6,85
	P₅ (2,25)	0,073	0,041	6,81	0,108	0,086	6,81	0,026	0,008	6,87
	P₆ (3,00)	0,119	0,054	6,98	0,064	0,026	6,9	0,040	0,010	6,91
	Soma	2,258	1,416		1,631	0,995		1,574	0,975	
17ª	P₀ (0,00)	0,452	0,251	6,67	0,213	0,141	6,52	0,424	0,250	6,57
	P₁ (0,25)	0,501	0,298	6,49	0,396	0,250	6,48	0,228	0,139	6,49
	P₂ (0,50)	0,471	0,290	6,53	0,438	0,278	6,56	0,382	0,254	6,58
	P₃ (1,00)	0,347	0,218	6,66	0,257	0,171	6,62	0,306	0,210	6,69
	P₄ (1,50)	0,411	0,265	6,75	0,054	0,028	6,66	0,086	0,053	6,81
	P₅ (2,25)	0,100	0,052	6,74	0,064	0,032	6,71	0,096	0,057	6,78
	P₆ (3,00)	0,160	0,082	6,85	0,099	0,043	6,86	0,139	0,080	6,81
	Soma	2,442	1,454		1,521	0,942		1,663	1,044	

Obs.: SO = Semanas de operação, (-) = indica que não foi medido, MSTL = Massa de sólidos totais do lodo e MSVL = Massa de sólidos voláteis do lodo.

4.7 - Massa de sólidos totais e voláteis expulsa no efluente

Nas Tabelas 4.36 até 4.42 estão apresentados os valores médios semanais dos sólidos suspensos totais (SST) e sólidos voláteis suspensos (SVS), bem como as concentrações da massa de sólidos decantáveis totais e totais voláteis descarregada no efluente determinadas em amostras coletadas dos efluentes dos três reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃), em (g/l). Nestas Tabelas também estão apresentados os valores médios para cada período de operação, caracterizado por ser antes ou depois de cada descarga de lodo efetuada.

As Tabelas 4.36 até 4.39 se referem à primeira fase, quando os reatores foram operados com TDH de 8 horas e as Tabelas 4.40 até 4.42 se referem à segunda fase de operação quando o TDH era de 4 horas. Observa-se, na primeira fase de operação (Tabela 4.36), a concentração média da massa de sólidos totais descarregada no efluente antes da primeira descarga para os três reatores sendo EJ₁ de 9,4 g/dia, o EJ₂ de 11,4 g/dia e no reator EJ₃ de 14,7 g/dia. Após a primeira descarga (Tabela 4.37), que foi de 46% no reator EJ₁, 25% no EJ₂ e de 76% no EJ₃, a concentração da massa de lodo descarregado no efluente, após um período de 8 semanas de operação, chegou a 7,7 g/dia, 8,3 g/dia e 9,3 g/dia para os três reatores, respectivamente.

Na Tabela 4.38 as descargas dadas foram de 40% para o EJ₁, 45% no reator EJ₂ e 54% no EJ₃, as concentrações médias da massa de sólidos suspensos totais descarregada no efluente para os três reatores foram de 6,1 g/dia para o EJ₁ e EJ₂ e 6,2 g/dia no EJ₃. Na terceira descarga a massa de sólidos suspensos totais descarregada no efluente foi de 6,1 g/dia para o reator EJ₁ e EJ₂ e 7,6 g/dia no reator EJ₃.

Na segunda fase (Tabelas 4.40, 4.41 e 4.42) a concentração média da massa de sólidos suspensos totais descarregada no efluente antes da primeira descarga (Tabela 4.40) variou de 13,3 g/dia a 20,4 g/dia.

Na Tabela 4.41, a concentração da massa descarregada no efluente variou de 9,6 g/dia para a descarga de 78% a 21,8 g/dia para a descarga de 64% do reator EJ₂. No reator EJ₁ do qual foi descarregada 53%, a massa média de lodo expulsa no efluente, após um período de 10 semanas de operação, foi de 20,4 g/dia.

Na Tabela 4.42 estão apresentados os valores médios semanais da massa de sólidos suspensos totais descarregado no efluente. A concentração média de lodo descarregado no efluente após 4 semanas de operação variou de 20,5 g/dia no reator EJ₃ a 30,2 g/dia no reator EJ₂ onde a descarga foi de 64%.

Tabela 4.36 – Valores semanais dos sólidos decantáveis totais e voláteis e da massa de lodo (total e volátil descarregada semanalmente nos efluentes dos reatores EJ₁, EJ₂ e EJ₃, antes da 1ª descarga na 1ª fase com TDH = 8 horas

SO	EJ ₁				EJ ₂				EJ ₃			
	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)
	SST	Desc.	SSV	Desc.	SST	Desc.	SSV	Desc.	SST	Desc.	SSV	Desc.
1ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7ª	0,0324	87	0,0148	39,7	0,0286	77	0,0143	38,4	0,0699	188	0,0379	101,8
8ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10ª	0,017	46	0,013	34,9	0,0306	82	0,011	29,5	0,0383	103	0,0179	48,1
Média	0,0247	66	0,0139	37,3	0,0296	80	0,0127	34,0	0,0541	145	0,0279	74,9

Tabela 4.37 – Valores semanais dos sólidos decantáveis totais e voláteis e da massa de lodo (total e volátil descarregada semanalmente nos efluentes dos reatores EJ₁, EJ₂ e EJ₃, após a 1ª descarga na 1ª fase com TDH = 8 horas

SO	EJ ₁ =46%				EJ ₂ =25%				EJ ₃ =76%			
	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)
	SST	Desc.	SSV	Desc.	SST	Desc.	SSV	Desc.	SST	Desc.	SSV	Desc.
11ª	0,0223	60	0,0106	28,5	0,0183	49	0,0098	26,3	0,0277	74	0,0123	33,1
12ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13ª	0,0096	26	0,0013	3,5	0,0116	31	0,0013	3,5	0,0214	58	0,0114	30,6
14ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15ª	0,0127	34	0,0111	29,8	0,0173	47	0,0149	40,1	0,0232	62	0,0172	46,2
16ª	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17ª	0,033	89	0,0088	23,7	0,0262	70	0,0135	36,3	0,0223	60	0,019	51,1
18ª	0,0228	61	0,0011	3,0	0,0351	94	0,0253	68,0	0,0255	69	0,0175	47,0
Média	0,0201	54	0,0066	14,7	0,0217	58	0,013	29,0	0,024	65	0,0155	34,7

Tabela 4.38 – Valores semanais dos sólidos decantáveis totais e voláteis e da massa de lodo (total e volátil descarregada semanalmente nos efluentes dos reatores EJ₁, EJ₂ e EJ₃, após a 2ª descarga na 1ª fase com TDH = 8 horas

SO	EJ ₁ =40%				EJ ₂ =45%				EJ ₃ =54%			
	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)
	SST	Desc.	SSV	Desc.	SST	Desc.	SSV	Desc.	SST	Desc.	SSV	Desc.
19ª	0,0329	88	0,0043	11,6	0,0286	77	0,0117	31,4	0,0254	68	0,0182	48,9
20ª	0,0157	42	0,0086	23,1	0,0121	33	0,0023	6,2	0,0074	20	0,0051	13,7
21ª	0,0068	18	0,0021	5,6	0,0112	30	0,0096	25,8	0,0115	31	0,0015	4,0
22ª	0,0089	24	0,0051	13,7	0,0122	33	0,0042	11,3	0,0218	59	0,0147	39,5
Média	0,0161	43	0,005	13,5	0,016	43	0,007	18,7	0,0165	44	0,0099	26,5

Obs.: SO = Semanas de operação, (-) = indica que não foi medido, Desc. = descarga de lodo no efluente.

Tabela 4.39 – Valores semanais dos sólidos decantáveis totais e voláteis e da massa de lodo (total e volátil descarregada semanalmente nos efluentes dos reatores EJ₁, EJ₂ e EJ₃, após a 3^a descarga na 1^a fase com TDH = 8 horas

SO	EJ ₁ =78%				EJ ₂ =80%				EJ ₃ =26%			
	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)
	SST	Desc.	SSV	Desc.	SST	Desc.	SSV	Desc.	SST	Desc.	SSV	Desc.
23 ^a	0,0102	27	0,0048	12,9	0,0131	35	0,0117	31,4	0,0208	56	0,0143	38,4
24 ^a	0,0084	23	0,0054	14,5	0,009	24	0,0063	16,9	0,0148	40	0,01	26,9
25 ^a	0,0288	77	0,0092	24,7	0,021	56	0,0093	25,0	0,0265	71	0,0115	30,9
26 ^a	0,0159	43	0,0091	24,5	0,0214	58	0,0073	19,6	0,0167	45	0,0064	17,2
Média	0,0158	43	0,0071	19,2	0,0161	43	0,0087	23,3	0,0197	53	0,0106	28,4

Tabela 4.40 - Valores semanais dos sólidos decantáveis totais e voláteis e da massa de lodo (total e volátil descarregada semanalmente nos efluentes dos reatores EJ₁, EJ₂ e EJ₃, antes da 1^a descarga na 2^a fase com TDH = 4 horas

SO	EJ ₁				EJ ₂				EJ ₃			
	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)
	SST	Desc.	SSV	Desc.	SST	Desc.	SSV	Desc.	SST	Desc.	SSV	Desc.
1 ^a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 ^a	0,0201	108	0,0097	52,1	0,0274	147	0,0162	87,1	0,0273	147	0,0182	97,8
3 ^a	0,0231	124	0,0172	92,5	0,0258	139	0,0189	101,6	0,0195	105	0,0166	89,2
Média	0,0216	116	0,0135	72,3	0,0266	143	0,0176	94,3	0,0234	126	0,0174	93,5

Tabela 4.41 – Valores semanais dos sólidos decantáveis totais e voláteis e da massa de lodo (total e volátil descarregada semanalmente nos efluentes dos reatores EJ₁, EJ₂ e EJ₃, após a 1^a descarga na 2^a fase com TDH = 4 horas

SO	EJ ₁ =53%				EJ ₂ =64%				EJ ₃ =78%			
	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)
	SST	Desc.	SSV	Desc.	SST	Desc.	SSV	Desc.	SST	Desc.	SSV	Desc.
4 ^a	0,0275	148	0,0154	82,8	0,0247	133	0,0119	63,7	0,019	102	0,0077	41,4
5 ^a	0,0253	136	0,0126	67,7	0,0206	111	0,0111	59,7	0,0155	83	0,0085	45,7
6 ^a	0,0212	114	0,0133	71,5	0,0152	82	0,0143	76,9	0,0162	87	0,0137	73,7
7 ^a	0,0188	101	0,0092	49,5	0,0237	127	0,0129	69,4	0,0184	99	0,0102	54,8
8 ^a	0,0224	120	0,009	48,4	0,0363	195	0,0017	8,9	0,0358	192	0,0181	97,3
9 ^a	0,0291	156	0,0093	50,0	0,027	145	0,0102	54,8	0,0322	173	0,0148	79,6
10 ^a	0,022	118	0,069	370,9	0,0283	152	0,0144	77,4	0,0341	183	0,015	80,6
11 ^a	0,0161	87	0,0079	42,5	0,0184	99	0,0074	39,8	0,013	70	0,0057	30,6
12 ^a	0,0433	233	0,0159	85,5	0,0486	261	0,0239	128,5	0,037	199	0,0134	72,0
13 ^a	0,0402	216	0,0184	98,9	0,0426	229	0,0187	100,5	0,0383	206	0,0181	97,3
Média	0,0266	143	0,018	96,8	0,0285	153	0,0126	68,0	0,026	140	0,0125	67,3

Tabela 4.42 – Valores semanais dos sólidos decantáveis totais e voláteis e da massa de lodo (total e volátil descarregada semanalmente nos efluentes dos reatores EJ₁, EJ₂ e EJ₃, após a 2^a descarga na 2^a fase com TDH = 4 horas

SO	EJ ₁ =52%				EJ ₂ =64%				EJ ₃ =75%			
	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)	(g/l)	(g/sem)
	SST	Desc.	SSV	Desc.	SST	Desc.	SSV	Desc.	SST	Desc.	SSV	Desc.
14 ^a	0,0487	262	0,0285	153,2	0,0319	171	0,0156	83,9	0,0259	139	0,0094	50,5
15 ^a	0,0212	114	0,011	59,1	0,033	177	0,0117	62,9	0,015	81	0,003	16,1
16 ^a	0,0262	141	0,0148	79,6	0,0539	290	0,0032	17,4	0,0239	128	0,011	59,1
17 ^a	0,047	253	0,0243	130,6	0,0414	223	0,0246	132,2	0,0421	226	0,0261	140,3
Média	0,0358	192	0,0197	105,6	0,0401	212	0,0138	74,1	0,0267	144	0,0124	66,5

Obs.: SO =Semanas de operação, (-) = indica que não foi medido. Desc.= descarga de lodo no efluente.

CAPÍTULO V
DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

CAPÍTULO V

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5 – INTRODUÇÃO

Quando reatores tipo UASB estão cheios de lodo, o lodo produzido é descartado junto com o efluente, deteriorando a sua qualidade. Dessa forma, torna-se necessário descarregar o lodo de excesso. Para estabelecer uma estratégia da frequência e magnitude de descargas programadas, sem afetar a qualidade do efluente ou a estabilidade operacional, foram operados três reatores UASB, nos quais foram aplicadas descargas da massa de lodo de excesso, visando dar grandes descargas com pouca frequência.

A investigação experimental foi dividida em duas fases: na primeira os reatores foram operados com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 8 horas, tendo sido avaliado, primeiro o comportamento do reator quanto à sua estabilidade operacional e, logo após este período, foram realizadas três descargas da massa de lodo de excesso dos reatores, com magnitudes que variaram de um mínimo de 25 por cento até um máximo de 80 por cento da massa de lodo. Na segunda fase os reatores foram operados com TDH de 4 horas e, após caracterizada uma operação estável foram dadas duas descargas da massa de lodo de excesso, que variaram entre um mínimo de 52 por cento e um máximo de 78 por cento da massa total de lodo anaeróbico do UASB. Após cada descarga, observava-se o desempenho e a estabilidade operacional de cada reator, através de parâmetros como alcalinidade, AGV, eficiência de remoção da DQO, conforme descrito no Capítulo III. Os resultados obtidos, referentes ao desempenho de cada reator, nas duas fases serão discutidos neste Capítulo, na forma como foram apresentados no Capítulo IV e serão apresentados por fases na ordem do tempo de detenção hidráulica (TDH) de 8 e 4 horas com suas respectivas magnitudes de descargas.

5.1 – Estabilidade operacional do reator UASB.

Os parâmetros que foram monitorados no período antes e depois das descargas foram pH, temperatura, alcalinidade de bicarbonato (AB), e a concentração dos ácidos graxos voláteis (AGV), sendo estes parâmetros indicativos da estabilidade do processo de digestão anaeróbia. Conforme apresentado nas Tabelas 4.8 a 4.14, nas duas fases e após descargas de diferentes magnitudes, o pH do efluente sempre se manteve na faixa estreita 6,8 a 7,1 o que mostra uma estabilidade do processo de digestão mesmo quando foram realizadas descargas de até 80 por cento da massa de lodo.

Na Figura 5.1 observa-se os valores da concentração máxima de ácidos graxos voláteis, antes e depois das descargas de lodo. A Figura 5.1b contém os dados para TDH de 4 horas. A Figura 5.1a mostra os valores correspondentes para um TDH de 8 horas.

O esgoto afluente ao reator UASB, com boa aproximação, apresentou uma relação AB/AGV de 5/1, em termos de mmol/L, com pH em torno do neutro. Já no reator UASB esta relação foi um pouco maior, podendo ser considerada de 8/1 (ainda com boa aproximação). Como o pH no reator se manteve próximo ao neutro, pode-se deduzir que esta relação foi suficiente para garantir a digestão anaeróbia do esgoto sem riscos de azedamento do conteúdo do reator. A razão disto pode ser atribuída a atividade metanogênica que não permitiu acúmulo de AGV no reator. De fato, se for considerado uma eficiência média de remoção de DQO de 74% e uma DQO média afluente de 595mg/L a concentração de AGV no reator seria de $(0,74 \cdot 595 \text{mgDQO/L}) / (1,07 \text{mgDQO/mgHAc}) = 411 \text{mgHAc/L}$ ou 6,8 mmol/L. No entanto, a concentração máxima de AGV no reator foi de 1 mmol/L, demonstrando uma eficiente atividade metanogênica. Na Tabela 5.1, estão os pares de valores que definiram as curvas da Figura 5.1.

Tabela 5.1 - Valores máximos das médias semanais da concentração dos ácidos graxos voláteis (mg de HAc/L) dos reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃), para o TDH de 4 e 8 horas com suas respectivas descargas de lodo.

Descargas	TDH de 8 horas						TDH de 4 horas					
	EJ ₁	AGV	EJ ₂	AGV	EJ ₃	AGV	EJ ₁	AGV	EJ ₂	AGV	EJ ₃	AGV
antes da desc		20		24		30		22		24		25
1ª desc.	46%	32	40%	29	78%	44	53%	35	64%	37	78%	65
2ª desc.	25%	25	45%	26	80%	46	52%	41	64%	61	75%	61
3ª desc.	76%	29	54%	32	26%	40						

Quanto à alcalinidade de bicarbonato o valor do afluente geralmente se manteve pouco maior que o dos efluentes, apesar de geralmente haver uma redução líquida de ácidos voláteis no reator. No entanto, considerando os valores médios de AB e AGV, vê-se que a razão entre eles foi sempre muito elevada ($> 8 \text{ mmoles/L}$), mostrando que nunca houve perigo de “azedamento”. Quanto maior a relação AB/AGV maior a capacidade de tamponamento durante a digestão o que garantiu um pH próximo ao neutro ($6,7 \leq \text{pH} \leq 7,1$) em um ambiente favorável à atividade metanogênica.

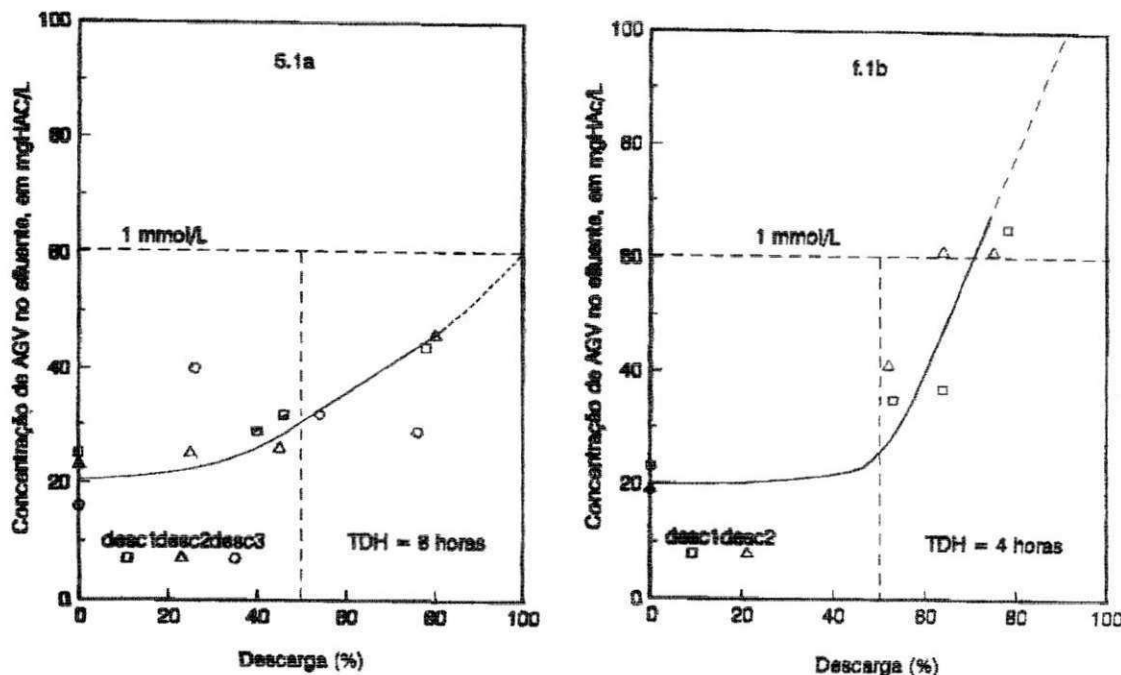


Figura 5.1 - Valores da concentração máxima de ácidos voláteis em função das descargas de lodo de excesso, para TDH = 8horas (Figura 5.1a) e TDH = 4horas (Figura 5.1b).

5.2 – Eficiência de remoção do material orgânico (DQO)

Para estabelecer a influência da descarga de lodo de excesso sobre a eficiência de remoção do material orgânico, utilizou-se a DQO como parâmetro, determinando o seu valor no afluente (AB) e efluentes bruto e decantado dos três reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃), durante os períodos entre as descargas de lodo, estabelecendo-se:

- a) a eficiência mínima de remoção da DQO num determinado dia (normalmente esta eficiência mínima era observada no dia subsequente à descarga);
- b) a eficiência média de remoção, desde o momento da descarga até que o reator estivesse novamente “cheio” de lodo e fosse realizada novamente outra descarga da massa de lodo de excesso.

Na Tabela 5.2 se encontram os valores mínimos da eficiência da DQO do efluente decantado antes e após as descargas da massa de lodo, nas duas fases definidas por TDH de 8 e 4 horas, segundo as cinco descargas do experimento. Os testes indicaram que após uma descarga de mais de 60% da massa havia uma tendência da DQO diminuir, mas esta diminuição só era expressiva quando a descarga de lodo, era maior que 70 por cento da massa máxima de lodo descarregada.

Tabela 5.2 - Valores mínimos das médias semanais da eficiência de remoção de DQO do efluente decantado antes e após as descargas da massa de lodo dos reatores (EJ₁, EJ₂ e EJ₃), nas duas fases de TDH de 8 e 4 horas com suas respectivas descargas.

1ª Fase	SO	Eficiência	EJ ₁ (%)	EJ ₂ (%)	EJ ₃ (%)
TDH 8 hs	9 sem	E _{efl. dec.} antes descarga	74	71	72
	9 sem	1ª Descarga	Desc.46%	Desc.25%	Desc.76%
		E _{efl. dec.} após descarga	85	81	83
		E _{efl. dec.} antes descarga	63	71	74
	4 sem	2ª Descarga	Desc.40%	Desc.45%	Desc.54%
		E _{efl. dec.} após descarga	86	86	79
		E _{efl. dec.} antes descarga	72	80	80
	5 sem	3ª Descarga	Desc.78%	Desc.80%	Desc.26%
		E _{efl. dec.} após descarga	63	60	63
	2ª Fase	SO	Eficiência	EJ ₁ (%)	EJ ₂ (%)
TDH 4 hs	11 sem	E _{efl. dec.} antes descarga	78	78	79
		1ª Descarga	Desc.53%	Desc.64%	Desc.78%
		E _{efl. dec.} após descarga	72	64	64
	4 sem	E _{efl. dec.} antes descarga	72	72	72
		2ª Descarga	Desc.52%	Desc.64%	Desc.75%
		E _{efl. dec.} após descarga	77	65	61

Obs.: SO =Semanas de operação, Desc.= Descarga, E_{efl. dec.}= Eficiência de remoção de DQO, do efluente decantado.

Na Figura 5.2a observa-se a eficiência mínima de remoção da DQO, em função da porcentagem do lodo descarregado do reator “cheio”, que foi determinada logo após as descargas para TDH de 8 horas. Analogamente, a Figura 5.2b mostra a eficiência mínima da remoção da DQO para um TDH de 4 horas. Em todos os casos considerou-se a DQO decantada do efluente e a DQO bruta do afluente para os cálculos da eficiência. Os diagramas indicam que não havia uma diminuição significativa da eficiência de remoção da DQO no período subsequente a uma descarga de lodo, quando a porcentagem de lodo descarregada não excedia os 50 % da massa de lodo presente no sistema. Na Tabela 5.3, estão os pares de valores que definiriam as curvas das Figuras 5.2a e 5.2b onde estão representados os comportamentos da remoção de DQO mínima após as cinco descargas.

Tabela 5.3 - Valores da eficiência **mínima** de remoção da DQO no intervalo entre duas descargas de lodo e as respectivas magnitudes de descargas da massa de lodo de excesso, para os três reatores com TDH de 4 e 8 horas.

TDH = 8 horas						
Descargas	EJ ₁	E _{rem.} da DQO(%)	EJ ₂	E _{rem.} da DQO(%)	EJ ₃	E _{rem.} da DQO(%)
antes da desc.		70		70		71
1 ^a desc.	46%	63	25%	71	76%	70
2 ^a desc.	40%	72	45%	80	54%	79
3 ^a desc.	78%	62	80%	60	26%	63
TDH = 4 horas						
Descargas	EJ ₁	E _{rem.} da DQO(%)	EJ ₂	E _{rem.} da DQO(%)	EJ ₃	E _{rem.} da DQO(%)
antes da desc.		72		78		79
1 ^a desc.	53%	72	64%	64	78%	64
2 ^a desc.	52%	71	64%	59	75%	75

Todavia, o que importa na prática não é somente a eficiência mínima de remoção mas, principalmente, a remoção média no período entre duas descargas. A Tabela 5.4 mostra os valores médios de remoção de DQO do efluente decantado em relação ao aflente bruto, onde são apresentados por fases nas cinco descargas para TDH de 8 e 4 horas respectivamente. Esta relação de valores estar representada na Figura 5.3a em função da porcentagem da massa de lodo descarregada do reator como lodo de excesso para o TDH de 8 horas. Analogamente, a Figura 5.3b mostra os resultados para TDH de 4 horas. Assim, observando-se as Figuras 5.3a e 5.3b, percebe-se que a eficiência de remoção média da DQO não diminuiu significativamente quando se aplicavam descargas de lodo de excesso abaixo dos 60% da massa de lodo no reator com TDH de 8 horas e abaixo dos 50% para o reator com TDH de 4 horas. Na Tabela 5.4, estão os pares de valores que definiram as curvas das Figuras 5.3a e 5.3b onde estão representados os comportamentos da remoção de DQO média após as cinco descargas.

Tabela 5.4 - Valores da eficiência **média** de remoção da DQO no intervalo entre duas descargas de lodo e as respectivas magnitudes de descargas da massa de lodo de excesso, para os três reatores com TDH de 8 e 4 horas.

TDH = 8 horas						
Descargas	EJ ₁	E _{rem.} da DQO(%)	EJ ₂	E _{rem.} da DQO(%)	EJ ₃	E _{rem.} da DQO(%)
antes da desc.		73		73		72
1 ^a desc.	46%	80	25%	79	76%	79
2 ^a desc.	40%	80	45%	83	54%	80
3 ^a desc.	78%	69	80%	68	26%	73
TDH = 4 horas						
Descargas	EJ ₁	E _{rem.} da DQO(%)	EJ ₂	E _{rem.} da DQO(%)	EJ ₃	E _{rem.} da DQO(%)
antes da desc.		78		81		81
1 ^a desc.	53%	81	64%	79	78%	76
2 ^a desc.	52%	74	64%	65	75%	62

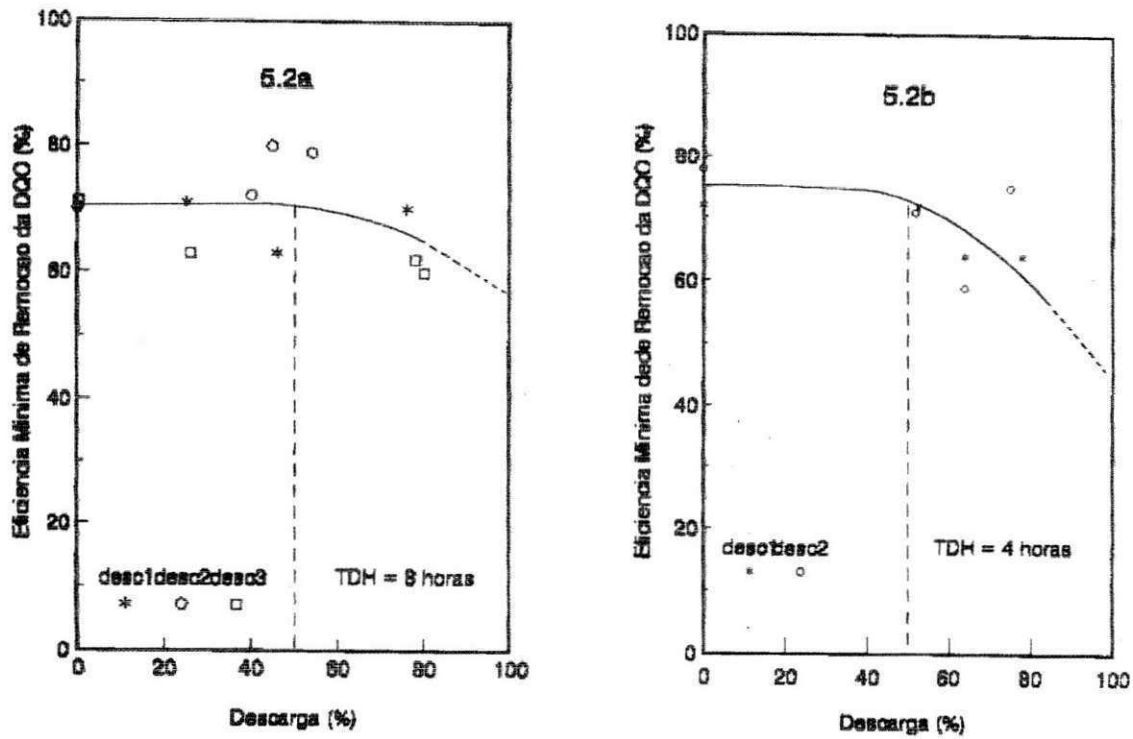


Figura 5.2 - Valores da eficiência mínima de remoção da DQO entre duas descargas de lodo em função da massa de lodo descarregada como lodo de excesso, para TDH de 8 horas (Figura 5.2a) e TDH de 4 horas (Figura 5.2b).

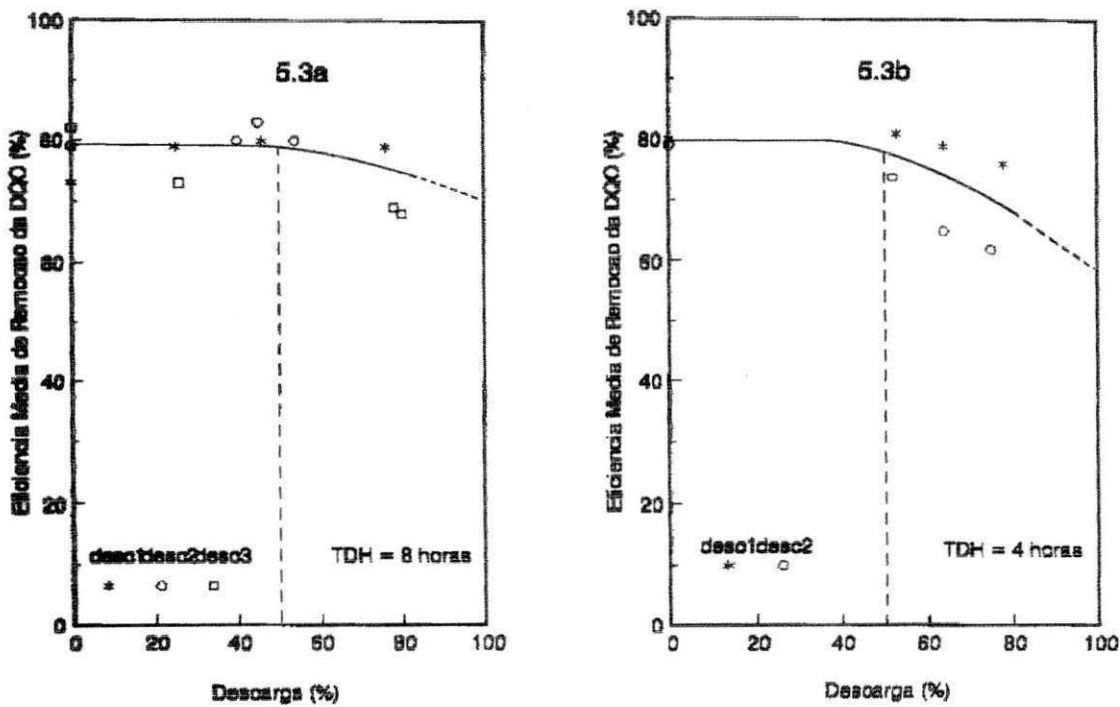


Figura 5.3 – Valores da eficiência média de remoção da DQO entre duas descargas em função da fração da massa de lodo descarregada como lodo de excesso, para TDH de 8 horas (Figura 5.3a) e TDH de 4 horas (Figura 5.3b).

5.3 – Produção de Lodo Acumulado no UASB e Descarregado no Efluente

Para calcular o crescimento de lodo após as descargas do lodo de excesso, considerou-se que o lodo produzido era parcialmente acumulado no reator UASB, enquanto outra parte era descarregada junto com o efluente. Estas variáveis eram determinadas a partir de medições da massa de lodo no reator UASB e da concentração de lodo sedimentável no efluente. Para estimar a massa de lodo no reator UASB determinou-se, a concentração de sólidos totais e totais voláteis em amostras obtidas nos diferentes pontos de amostragem ao longo de todo reator.

Os perfis da concentração de lodo ao longo do reator eram determinados semanalmente e, a partir destes, determinou-se a massa e a taxa de acumulação de lodo no reator. Por outro lado, determinou-se também os sólidos sedimentáveis no efluente e, a partir destes dados, determinou-se a taxa de perda de lodo no efluente (descarga involuntária). Na Tabela 5.5 estão os valores da carga de sólidos totais e totais voláteis, presentes no lodo (MSTL (1) e MSVL(3)) e acumulada de lodo no reator (2)+(4), em kg/semana, a taxa da produção da massa de lodo, calculada como a soma da taxa da carga de sólidos sedimentáveis, descartado no efluente (6)+(8) em kg/semana e a acumulação de

Tabela 5.5 - Valores da massa de sólidos totais no lodo e voláteis totais acumulada no reator em (kg/semana) e massa de sólidos descarregado no efluente em (g/semana), na 1ª descarga da 2ª fase para TDH de 4horas, com uma descarga de 53 % para o reator EJ₁.

SO	EJ ₁ =53% massa de lodo acumulada no reator				EJ ₁ =53% massa de lodo descarregada no efluente (sólidos sedimentáveis)				Taxa da Produção da massa de sólidos totais e voláteis	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(2)+(6)	(4)+(8)
	MSTL	MSVL _{ac. reator}	MSVL	MSVL _{ac. reator}	MSST _{efl.}	MSST _{ac. efl.}	MSSV _{efl.}	MSSV _{ac. efl.}	PMST	PMSV
	(kg/sem.)	(kg/sem.)	(kg/sem.)	(kg/sem.)	(g/sem)	(kg/sem.)	(g/sem)	(kg/sem.)	(kg/sem.)	(kg/sem.)
3ª após desc.	1,46	-	0,80	-	124	-	92,5	-	-	-
4ª	1,85	0,39	0,98	0,18	148	0,148	82,8	0,083	0,538	0,263
5ª	2,18	0,72	1,22	0,42	136	0,286	67,7	0,151	1,004	0,571
6ª	2,15	0,69	1,18	0,38	114	0,398	71,5	0,222	1,088	0,602
7ª	2,30	0,84	1,26	0,46	101	0,499	49,5	0,272	1,339	0,732
8ª	2,87	1,41	1,65	0,85	120	0,619	48,4	0,320	2,029	1,170
9ª	-	-	-	-	156	0,775	50,0	0,370	-	-
10ª	3,16	1,70	1,77	0,97	118	0,843	370,9	0,410	2,545	1,38
11ª	2,65	1,19	1,46	0,66	87	0,98	42,5	0,450	2,170	1,11
12ª	-	-	-	-	233	1,213	85,5	0,540	-	-
13ª	3,42	1,96	1,94	1,14	216	1,429	98,9	0,634	3,38	1,774

obs.: MSTL_{ac. reator} = massa de sólidos totais no lodo acumulada no reator, MSVL_{ac. reator} = massa de sólidos voláteis no lodo acumulada no reator, SO= semanas de operação, MSST_(ac. efl.)=massa de sólidos suspenso totais acumulada no efluente, MSSV_(ac. no efl.)= massa de sólidos suspenso voláteis acumulada no efluente, PMST=produção da massa de sólidos totais, PMSV= produção da massa de sólidos voláteis

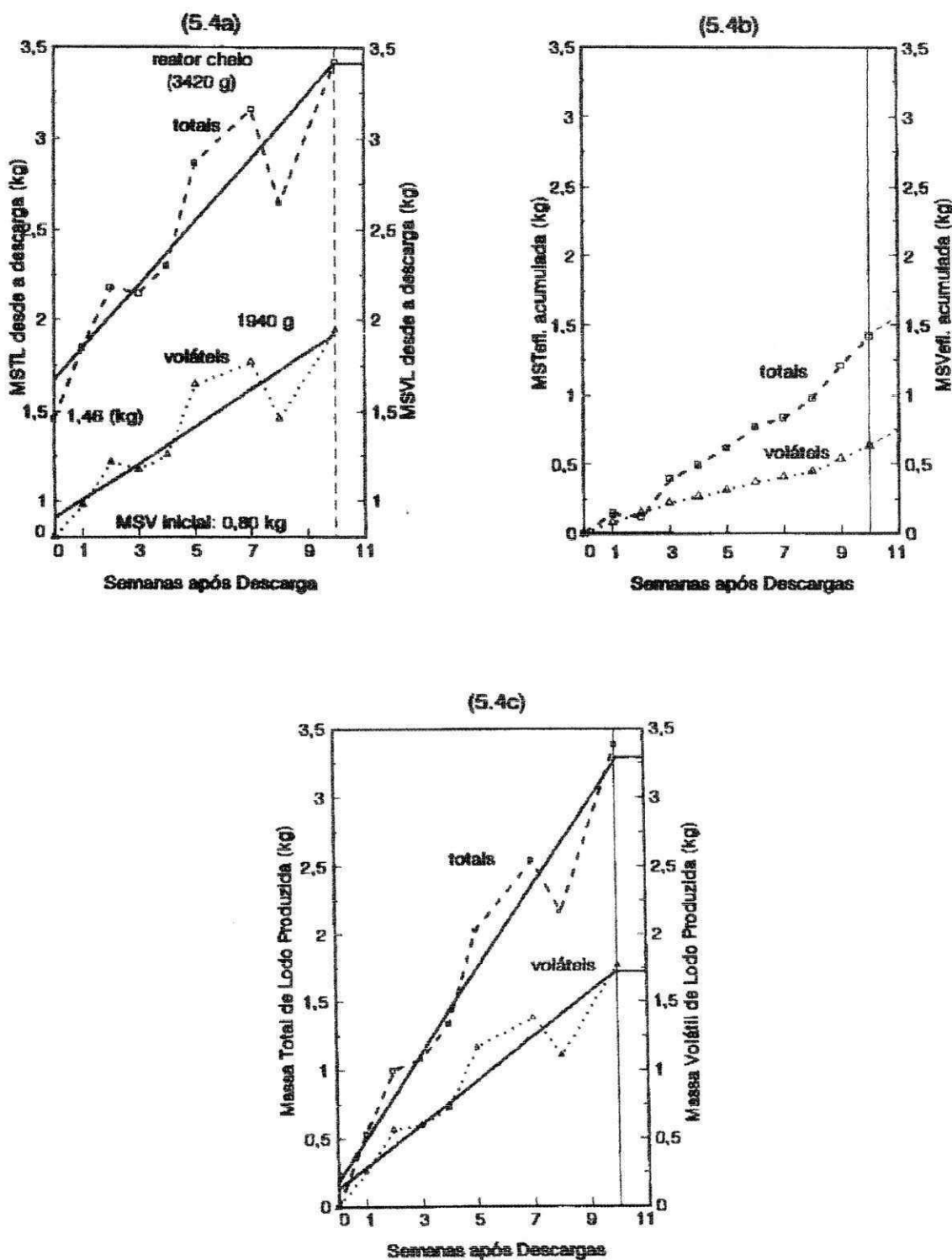


Figura 5.4 Variação da massa do lodo total e volátil acumulado (Figura 5.4a), lodo total e volátil descarregado no efluente (Figura 5.4b) e a produção da massa de sólidos totais e voláteis acumulada (Figura 5.4c) em função do tempo, no reator EJ₁ após uma descarga de lodo de 53% (TDH=4horas). OBS.: A linha contínua representa a regressão linear.

lodo no reator (2)+(4) e a taxa de descarga involuntária do lodo no efluente como sólidos sedimentáveis (5)+(7). Com o auxílio dos dados da massa e da produção de lodo, determinou-se ainda o crescimento relativo ou a porcentagem de crescimento de lodo por dia (razão da produção diária de lodo e a massa de lodo no reator).

Como exemplo, observa-se na Figura 5.4a, em função do tempo, após uma descarga de 53% do reator EJ₁ operado com TDH de 4 horas, a acumulação da massa de lodo: o reator começou com aproximadamente 800 gSVS no lodo e após 10 semanas de operação atingiu um máximo de 1940 gSVS. Nota-se que os dados mostram uma dispersão considerável em volta de uma tendência de aumento linear com o tempo. Esta dispersão se deveu a dificuldades de determinar com precisão e confiabilidade a concentração de lodo no reator, uma vez que, as vezes, parte do lodo tendia a flotar devido à presença de biogás que dele não se desprendia.

A conclusão que o reator estava cheio dez semanas após a descarga é corroborada pela análise da massa de lodo descarregada junto com o efluente (gSTS e gSVS) depois da descarga de lodo de excesso. A massa acumulada de SST e SSV está apresentada na Tabela 4.41 e representada na Figura 5.4b, em função do tempo. Observa-se que, com boa aproximação, a massa acumulada de lodo no efluente variou, aumentando linearmente em função do tempo (indicando uma concentração constante de sólidos descarregado no efluente) até a sétima semana, para, na oitava, aumentar repentinamente, presumivelmente porque o reator estava cheio. Na Figura 5.4c, observa-se, ainda, a massa de lodo produzido desde a descarga, calculada como a soma da massa acumulada no reator e a massa descarregada junto com o efluente (kgSTS curva superior e kgSVS, curvas inferior). Os dados experimentais mostram o seguinte:

Antes de uma descarga, a massa de lodo no reator UASB “cheio” de lodo se mantém essencialmente inalterada e toda a produção de lodo é descarregada junto com o efluente;

Depois de uma descarga de lodo de excesso, a concentração de lodo (sólidos sedimentáveis) no efluente diminui, mantendo-se constante enquanto a massa de lodo no reator aumenta;

Quando a massa de lodo no reator é máxima (reator “cheio”), o que, no caso do exemplo, se dá em aproximadamente 10 semanas após a descarga), toda a produção de lodo novamente é descarregada junto com o efluente e a massa de lodo após atingir o seu máximo se mantém constante.

Analisando-se os dados experimentais semanais para diferentes descargas e valores

de TDH de 8 e 4 horas, determinou-se a taxa de descarga de lodo no efluente (gSVS ou gSTS por semana), a taxa de acumulação da massa de lodo no reator (gSVS ou gSTS por semana), e a taxa de produção de lodo. Estes valores são apresentados nas Tabelas 5.6a, 5.6b e 5.6c, respectivamente para as diferentes descargas que foram dadas ao longo dos experimentos. Os dados experimentais mostram que uma parte apreciável do lodo produzido não pode ser retida no reator, nem mesmo quando este não estava cheio: para um TDH de 8 horas a fração de lodo produzido que escapa juntamente com o efluente é de $23/80 = 0,287$ ou 28,7% da produção, enquanto para TDH de 4 horas se calcula $79,7/156 = 0,51$ ou 51%. Conclui-se que, mesmo tendo-se um separador de fases muito eficiente, como era o caso na investigação, a fração de lodo que não pode ser retida no reator era da ordem de 28,7% para TDH de 8 horas e 51% para TDH de 4 horas.

Com auxílio dos dados da massa de lodo e da produção de lodo, determinou-se ainda o crescimento relativo ou a percentagem de crescimento de lodo por dia (razão da produção diária de lodo e a massa de lodo no reator). Conforme se vê na Figura 5.4a, a massa de lodo volátil no reator UASB aumentou de 800 gSVS, logo após a descarga para um valor de 1940 gSVS, no fim do período de 10 semanas (Tabela 4.34, para uma descarga de 53% da massa de lodo total do reator EJ₁). Portanto, calcula-se um valor médio de 1430 gSVS acumulado no reator. Por outro lado, segundo a Tabela 5.6c a taxa de produção de lodo era de 156 g/semana ou 22,8 g/dia. Portanto o crescimento relativo do lodo é de $22,8/1430 = 0,0159$ ou 1,6% por dia. No caso de TDH de 8 horas, conforme a Tabela 4.30, na primeira descarga do reator EJ₁ de 46% o crescimento relativo é muito menor: cálculos semelhantes mostram uma massa média de lodo de 1280 gSVS e uma produção de lodo volátil de $80/7 = 11,42$ gSVS/dia ou seja um crescimento relativo de $11,42/1280 = 0,008$ ou 0,8 % por dia.

Para avaliar a produção específica de lodo é preciso definir primeiramente a base de cálculo, podendo haver três interpretações:

- (1) Produção por unidade de massa de DQO aplicada;
- (2) Produção por unidade de massa de DQO removida;
- (3) Produção por unidade de massa de DQO digerida.

Para calcular a produção por unidade de DQO aplicada, divide-se a produção diária de lodo (lodo no efluente + lodo acumulado) pela carga orgânica aplicada.

Tabela 5.6a – Taxa de descarga de lodo junto com o efluente em gSVS/semana (DQO média do afluente = 570 mg/l para TDH de 8 horas e 617 mg/l para TDH de 4 horas)

Reator	TDH = 8 horas			TDH = 4 horas	
	Descarga 1	Descarga 2	Descarga 3	Descarga 1	Descarga 2
1	14,7	13,5	19,2	96,8	105,6
2	29	18,7	23,3	68	74,1
3	34,7	26,5	28,4	67,3	66,5
Média	26,1	19,5	23,6	77,4	82
Média p/TDH	23			79,7	

Tabela 5.6b - Taxa de acumulação de lodo no reator em g SVS / semana (DQO média do afluente = 570 mg/l para TDH de 8 horas e 617 mg/l para TDH de 4 horas)

Reator	TDH = 8 horas			TDH = 4 horas	
	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 1	Teste 2
1	60	65	56	96	82
2	43	82	92	95	39
3	19	45	52	77	54
Média	41	64	67	89	58
Média p/TDH	57			74	

Tabela 5.6c – Taxa de produção de lodo (acumulado + descarregado no efluente) em g SVS / semana para TDH = 8 horas (DQO média do afluente = 570 mg / l e para TDH = 4 horas DQO média do afluente = 617 mg/l)

Reator	TDH = 8 horas			TDH = 4 horas	
	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 1	Teste 2
1	75	78	75	193	188
2	72	101	115	163	133
3	54	71	80	144	120
Média	67	83	90	166	147
Média p/TDH	80			156	

Tabela 5.6d - Produção específica de lodo (volátil e total) em função do tempo de detenção hidráulica

TDH (hs)	Lodo Volátil			Lodo Total		
	p/ DQO Aplicada	p/DQO Removida	p/ DQO Digerida	p/ DQO Aplicada	p/DQO Removida	p/ DQO Digerida
4	0,05	0,06	0,07	0,09	0,12	0,15
8	0,05	0,07	0,09	0,13	0,16	0,25

Por exemplo, para o tempo de detenção hidráulica $TDH = 4$ horas, o reator era alimentado com uma vazão diária de esgoto bruto de $126/4=31,5$ l/h ou 756 l/dia . Para a média de DQO bruta do afluente de 617 mg/l durante o período de TDH de 4 horas a carga orgânica aplicada era de 469 gDQO/dia. Calcula-se uma produção específica de lodo de 0,05 g SVS/g DQO aplicada. Considerando-se a eficiência de remoção da DQO de 76 %, durante o período de TDH de 4 horas , calcula-se ainda uma produção de $0,05/0,76 = 0,0657$ gSVS por g de DQO removida. Sabendo-se que os 0,065 gSVS produzidos por g de DQO removida representam $1,5*0,065 = 0,098$ gDQO, tem-se ainda que a massa de DQO digerida por unidade de massa de DQO aplicada é de $0,76-0,098 = 0,662$ gDQO. Assim sendo, calcula-se um crescimento de lodo de $0,05/0,662 = 0,075$ gSVS/gDQO digerida. A Tabela 5.6d mostra a produção específica de lodo por unidade de DQO aplicada, por unidade de DQO removida e por unidade de DQO digerida, assim como estão apresentados os valores para TDH de 8 e 4 horas respectivamente para os sólidos voláteis e os sólidos totais do lodo anaeróbio.

Os dados experimentais mostram que para um TDH de 4 e 8 horas, ao se dar grandes descargas de 50 a 60 % do lodo no reator UASB, assim como a eficiência e a estabilidade operacional do reator UASB foram afetadas só marginalmente. À primeira vista, parece surpreendente que uma descarga tão grande não afete o seu desempenho, mas uma análise da situação após a descarga revela que, de fato, é de se esperar pouco efeito da descarga, como se mostra a seguir: para TDH de 8 horas a massa de lodo volátil remanescente é de 692 gSVS, correspondendo a 40% da massa máxima no reator que é de aproximadamente 1730 gSVS (vide Tabela 4.30). Para uma eficiência de digestão de 70% (efluente bruto) a massa de DQO digerida é de $378*0,57*0,7=151$ g/dia, ou seja a atividade de digestão “in situ” é de $151/692=0,22$ gDQO/gSVS/dia. Este valor é baixo comparado com o valor da atividade metanogênica determinado para lodo anaeróbio gerado a partir de esgoto doméstico, a qual está na faixa de 0,3 a 0,4 gDQO/gSVS/dia (Van Haandel e Lettinga, 1994).

Por outro lado, cálculos semelhantes para TDH de 4 horas mostram que a atividade de digestão do lodo anaeróbio seria de 0,41 gDQO g⁻¹ SVS/dia, o que é um valor alto para lodo gerado a partir de esgoto bruto. Efetivamente a descarga de mais de 60% do lodo dos reatores com TDH de 4 horas, levou a uma deterioração do seu desempenho (vide Figura 5.2b), embora o reator se recupere em 14 dias. Para descargas de 80 % o lodo remanescente realmente se encontrava muito sobrecarregado o que resultou numa diminuição expressiva logo após a descarga (vide figuras 5.2a e 5.2b), embora depois de

duas semanas houvesse recuperação parcial do reator (vide Figuras 5.3a e 5.3b). Conclui-se que os dados obtidos são compatíveis com a expectativa da atividade do lodo citada por Van Haandel e Lettinga (1994).

Um aspecto dos resultados experimentais que chama a atenção é a notável estabilidade operacional do reator UASB, que permitiu dar descargas de até 60% da massa de lodo sem que houvesse grande prejuízo na qualidade do efluente ou que causasse transtornos operacionais e de descarga de até 80% com uma diminuição temporária da eficiência de remoção da DQO. Acredita-se que além das condições ambientais que se encontrou durante a investigação experimental (temperatura média de 25 °C para TDH de 8 horas e 28 °C para TDH de 4 horas), em grande parte esta estabilidade deve ser atribuída ao projeto do reator e notadamente ao separador de fases que é muito mais eficiente que o separador convencional. É provável que os resultados obtidos com um reator UASB, provido de separador convencional, fossem diferentes.

5.4 - Procedimento para otimizar a descarga de lodo de excesso do reator UASB

Embora os resultados experimentais não possam ser estendidos diretamente para outros reatores UASB, é possível extrair um procedimento para *OTIMIZAR A FREQUÊNCIA E MAGNITUDE DE DESCARGAS DE LODO DE EXCESSO DE REATORES UASB*. Este procedimento se resume no seguinte:

- (1) estabelecer a massa máxima de lodo que se acumula no reator UASB, operando-o com TDH normal e sem que tenha dado descarga de lodo;
- (2) estabelecer, experimentalmente, a descarga máxima que pode ser aplicada sem prejuízo significativo da qualidade do afluente ou da estabilidade operacional (para isto, deve-se considerar que o lodo remanescente, com atividade provável entre 0,3 e 0,4 gDQOg⁻¹ SVS.dia⁻¹, deve ter capacidade de digerir a carga orgânica aplicada do afluente);
- (3) a partir dos dados obtidos nos itens (1) e (2) estabelecer a faixa da massa de lodo que se deseja manter no reator, por exemplo, uma massa entre um mínimo de 50% e um máximo de 80% da massa quando o reator está “cheio”;
- (4) determinar, experimentalmente, a taxa de produção de lodo (este valor pode ser estimado quando se sabe a carga orgânica e a produção de lodo por kg de DQO aplicada) e a taxa de acumulação de lodo no reator quando este ainda não está cheio;
- (5) calcular o período entre as descargas como a razão entre a diferença da massa

máxima e a mínima no UASB (= a massa de lodo que vai acumular entre as duas descargas) e a taxa de acumulação de lodo no UASB.

Como exemplo pode-se usar os dados apresentados para TDH de 4 horas;

- (1) foi estabelecido experimentalmente que nos reatores de 126L, conforme Tabelas (4.33, 4.34 e 4.35) a massa de lodo volátil média é de 1940 gSVS para TDH de 4 horas, embora, às vezes, a massa de lodo no reator tenha chegado a mais de 2000 gSVS.
- (2) foi determinado, experimentalmente, que descargas de menos de 50% da massa máxima de lodo não afetaram significativamente o desempenho do reator (Figuras 5.1, 5.2 e 5.3);
- (3) foi estabelecida uma faixa de operação para a massa de lodo, tendo-se um mínimo de 50% de 1940 gSVS ou seja 970 gSVS e um máximo de 90% de 1940 g ou seja 1746 gSVS. Prevendo-se então variação da massa de lodo entre 970 e 1746 gSVS, ou ainda uma faixa de acumulação de $1746-970 = 776$ gSVS, no reator;
- (4) para TDH de 4 horas, foi determinada uma produção de lodo de 0,05 gSVS/g DQO removida (vide Tabela 5.6d), sendo que 47,5% se acumula no reator e 52,5% é descarregado junto com o efluente (vide Tabela 5.6a e 5.6b). Para uma DQO afluyente de 0,617 g/L e tendo-se uma vazão de $24 \cdot 126/4 = 756$ L/dia, foi calculada uma carga orgânica de 466 gDQO/dia, isto é uma produção de lodo de $0,05 \cdot 466 = 23,3$ gSVS/dia. Havendo acumulação de $0,475 \cdot 23,3 = 11$ gSVS/dia no reator e descarga no efluente $0,525 \cdot 23,3 = 12,2$ gSVS/dia
- (5) O período entre duas descargas foi então calculado como: $776 \text{ gSVS}/11 \text{ gSVS/dia} = 71$ dias

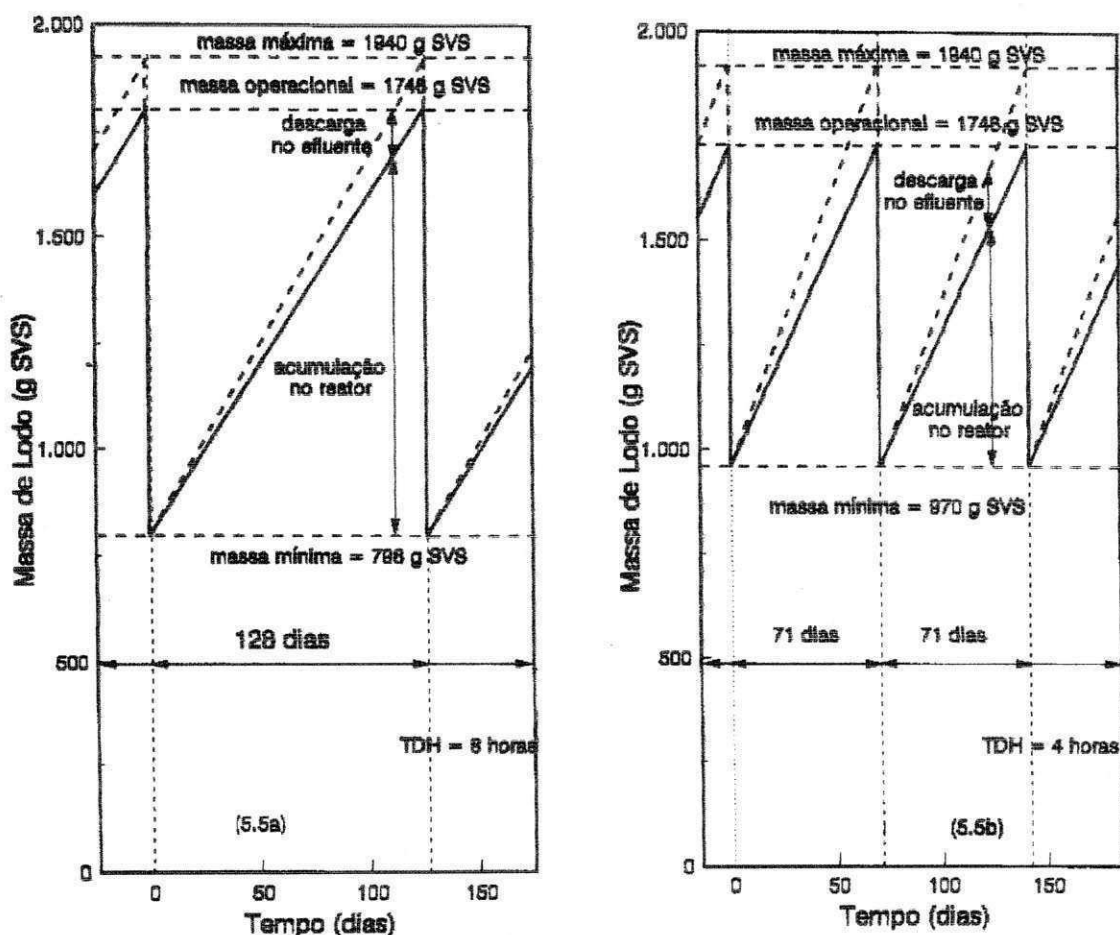
Para TDH de 8 horas:

- (6) foi estabelecido experimentalmente que nos reatores de 126L, conforme Tabelas (4.29, 4.30, 4.31 e 4.32) a massa de lodo volátil média aproximada era também de 1940 gSVS para TDH de 8 horas, embora, às vezes, a massa de lodo no reator chegava a mais de 2000 gSVS/l.
 - (7) foi determinado que descargas de menos de 50% da massa máxima de lodo não afetaram significativamente o desempenho do reator (Figuras 5.1, 5.2 e 5.3);
 - (8) assim foi estabelecida uma faixa de operação para a massa de lodo, tendo-se um
-

mínimo de 40% de 1940 gSVS ou seja 776 gSVS e um máximo de 90% de 1940 g ou seja 1746 gSVS. Prevê-se então variação da massa de lodo entre 776 e 1746 gSVS, tendo-se portanto uma faixa de acumulação de $1746 - 776 = 970$ gSVS;

(9) para TDH de 8 horas foi determinada uma produção de lodo de 0,05 gSVS/g DQO removida (vide Tabela 5.6d), sendo que 71% se acumula no reator e 29% é descarregado junto com o efluente (vide Tabela 5.6a e 5.6b). Para uma DQO afluente de 0,570 g/L e tendo-se uma vazão de $24 \cdot 126 / 8 = 378$ L/dia, foi calculada uma carga orgânica de 215,5 gDQO/dia, isto é uma produção de lodo de $0,05 \cdot 215,5 = 10,77$ g/dia, havendo acumulação de $0,71 \cdot 10,77 = 7,6$ gSVS/dia no reator e descarregado no efluente $0,29 \cdot 10,8 = 3,1$ gSVS/dia

(10) O período entre duas descargas foi estimado como: $970 \text{ gSVS} / 7,6 \text{ gSVS/dia} = 128$ dias



5.5 - Representação esquemática da variação da massa de lodo no reator UASB ao se aplicar descargas sequenciais de lodo de excesso para TDH de 8 horas (Figura 5.5a) e TDH de 4 horas (Figura 5.5b).

Nos exemplos mostrados, anteriormente, percebe-se a importância de um separador de fases mas eficiente para que se minimize a perda de lodo juntamente com o efluente. No exemplo, a perda de sólidos no efluente para TDH de 8 e 4 horas foram (3,1 e 12,2 g/dia) respectivamente, resultam em uma concentração de sólidos sedimentáveis (lodo) no efluente de $3,2 / 378 = 8,5$ mg/L $12,2 / 756 = 16,2$ mg/L respectivamente. Se o separador de fases é pouco eficiente, a concentração de sólidos sedimentáveis no efluente será maior e o aumento da descarga involuntária de lodo diminuirá a necessidade de dar descargas de lodo de excesso e, conseqüentemente, aumentará o período entre descargas.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitiram concluir que:

- (1) Normalmente a capacidade de digestão do lodo acumulado num reator UASB tratando esgoto é muito maior do que a carga orgânica afluyente, de maneira que se pode dar descargas grandes de lodo de excesso sem prejudicar a eficiência ou a estabilidade operacional do reator;
 - (2) Usando-se tempos de detenção hidráulica (TDH) de 4 e de 8 horas, num reator UASB, em escala piloto, com um separador de fases eficiente, foi possível dar descargas de 50 a 60 por cento da massa máxima de lodo, sem prejudicar significativamente o seu desempenho. Descargas de 80 por cento resultaram numa redução temporária da eficiência de remoção da DQO e um aumento da concentração de ácidos voláteis no efluente, sem contudo ameaçar a estabilidade operacional;
 - (3) Enquanto o reator não estiver cheio de lodo, uma parte do lodo produzido acumular-se-á no reator UASB, enquanto outra parte será descarregada junto com o efluente. A parte descarregada aumenta quando o TDH diminui;
 - (4) Os parâmetros operacionais importantes na determinação da frequência de descargas de lodo de excesso são a carga orgânica aplicada, a produção específica de lodo, a massa mínima e massa máxima de lodo no reator e o tempo de detenção hidráulica (TDH)
-

OBRAS CONSULTADAS

- ABREU, A. F. de (1989). Tratamento biológico anaeróbio de águas residuárias salinas e organocloradas. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 132p.
- APHA, AWWA e WEF (1995). Standard methods for the examination of water and waster . 19^a ed. American Public Health Association, washington.
- ARAUJO, M. L. B. (2000). Comparação do desempenho de um reator UASB com dois reatores em série tratando esgoto doméstico. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 79p.
- BEZERRA, S. M. C. (1998) Influência do Tempo de Detenção Hidráulico sobre a auto inoculação na partida de um reator UASB, Tratando Esgoto Sanitário, dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba-UFPB, Campina Grande-Brasil.
- CAVALCANTI, P.F.F. (2000). Comunicação pessoal
- CAMPOS, J. R. et alli (1999). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo, PROSAB, ABES, Rio de Janeiro.
- CHERNICHARO, C. A. L. (1997). Reatores Anaeróbios. SEGRAC, Belo Horizonte 246p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; Vol. 5).
- DILALLO, R. & ALBERTSON, O. R., (1961) Volatile acids by direct titration. Journal Waster Pollution Control Federation, v. 33, n4, pp356-365.
- DUARTE, E.N.A., NEVES,D.A.de B. e SANTOS, B. de L. O. dos (1995). Manual técnico para realização de trabalhos monográficos. 2^a edição. João pessoa: Editora Universitária / UFPB.
- FERNANDES, C. (1996). Esgotos Sanitários , Editora Universitária – UFPB, João Pessoa.
- FILHO, C. F. de M. (2000). Efeito da variação Temporal da Vazão Sobre o Desempenho de um Reator UASB. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 93p.
- FONSECA, J. S. da e MARTINS, G. A., (1996). Curso de estatística. 6^a edição. Athas. São Paulo.
- FURASTÉ, P. A. (1999). Normas técnicas para o trabalho científico. 7^a edição. Porto Alegre.
-

-
- GUJER, W & ZEHNDER, A. J. B. (1995). Conversion processes in anaerobic digestion. *Wat. Sci. Tech.*, Vol.15, pp127. 167.
- HENZEN, M. & HARREMOES, P. (1983). Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactor: a literature review. *wat. Sci. tech.*, vol.15, n 8/9, pp.1/100.
- JOHANSSON, T. B. et al (1993). *Renewable energy: sources for fuels and electricity*. Island press.
- LETTINGA, G.; HULSHOFF POL, L. (1995). Anaerobic reactor technology: reactor and process design. in: *Internacional course on anaerobic treatment*. Wageningen Agricultural University / IHE Delf. Wageningen, p 17-28.
- LOEWENTHAL, R. S. & MARAIS, G. vR. (1986). *Carbonate chemistry of aquatic systems: theory and application*. Ann Arbor Sci. Puplichers, Michigan, USA.
- LOTITO, V. et al (1991). Influence of digestion on sludge characteristics. In: *colin, f.; Newman, P. J., PUDLANNE, Y. J. eds. p31-41 apud NOBUYOSHIYDE, C. et al, V.2, T.I, 1993.*
- MARA, D. D. *Sewage treatment in Hot Climates* – John Wiley e Sons Ltd. Chichester, England, 1976.
- METCALF & EDDY (1991). *Wastewater engineering – treatment, disposal and reuse*, 3^a ed. McGraw-Hill, inc. Singapore. 1334p.
- MONOD, J. (1948). La technique de culture continue: theorie et applications. *Ann. Inst.Pastereur.*, 79, 390.
- NASCIMENTO, R. S. (1996). *Avaliação da remoção de matéria orgânica em reservatório profundo de estabilização*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 81p.
- NOBUYOSHIIDE, C. et al (1993). Treatment do lodo bruto com cal: influência na de patógenos e na imobilização de metais pesados. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*. Vol. 2, T.I.,P. 333 – 346, setembro.
- O' ROURKE, J. T. (1968). *Kinetics of anaerobic treatment at reduced temperature*, Tese de PhD, Universidade de Stanford, California, United States of America.
- OLIVA, L.C.H.V. (1997). *Tratamento de esgotos sanitários com reator anaeróbio de manto de lodo (UASB), protótipo: desempenho e respostas dinâmicas às sobrecargas hidráulicas*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos. 218p.
-

-
- OLIVEIRA, M.G.(1990) Avaliação do desempenho de um digestor anaeróbio de fluxo ascendente, com manto de lodo e dispositivo de separação de fases, tratando esgoto doméstico no Nordeste do Brasil. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 143p.
- PESSÔA, C.A. & JORDÃO, E. O . Tratamento de Esgotos Domésticos. Vol. 1, 2^a ed. – CETESB, São Paulo, 1982.
- RAMOS, J. B. E. (1996). Viabilidade Técnica e Econômica da Digestão Anaeróbia do Lodo de Excesso da CETREL. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 149p.
- RINSEMA, A. (1989); Anaerobic treatment of wastewater with high concentrations of lipids or Sulfate. Tese de PhD Universidade de Wageningen, Wageningen, Holanda.
- SAWYER, C. N.; McCARTY, P. L. e PARKIN, G. F. (1994). Chemistry for environmental engineering, 4^a ed. McGraw-Hill, inc. Singapore. 658p.
- SOUSA, F. P. (1999). Influência da relação área-profundidade sobre o desempenho de um reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB). Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 100p
- SOUSA, F. P., CAVALCANTI, P.F.F., VAN HAANDEL, A.C. (1998). Efeito da Proporção Área Profundidade sobre o desempenho de um reator UASB, 20^o Cong. Brasileiro de engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, disponível em CD.
- SOUSA, J.T. de (1986). Desempenho de digestores anaeróbios de fluxo ascendente no tratamento de vinhoto. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 114p.
- SOUZA, M.E. Fatores que Influenciam a digestão anaeróbia. Trabalho apresentado no V simpósio nacional
- SPEECE, R. E. (1996); Anaerobic Biotechnology for Industrial wastewaters. Ed. Archie press, 394p.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1982). Chemicals in Your Community, A Guide to the Emergency Planning and Community Right-to-Know Act EPA- 516/002 –80246, Washington.
- VAN HAANDEL A. C., CAVALCANTI, P.F.F., ARAUJO, M.L.B. (1998). Comparação do Desempenho de Reatores UASB Unitário com o de reatores em série, 20^o Cong. Brasileiro de engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, disponível em CD.
- VAN HAANDEL, A. C. (2000). Comunicação pessoal.
-

VAN HAANDEL, A. C., LETTINGA, G. (1994). Tratamento Anaeróbio de Esgotos: um Manual para Regiões de Clima Quente, Epgraf, Campina Grande.

VON SPERLING, M. (1996). Princípios Básicos de Tratamento de Esgotos, DESA-UFMG, Belo Horizonte.

