

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM DIGESTOR ANAERÓBIO  
DE FLUXO ASCENDENTE, COM MANTA DE LODO E DIS  
POSITIVO DE SEPARAÇÃO DE FASES, TRATANDO  
ESGOTO DOMÉSTICO NO NORDESTE DO BRASIL

MARCONI GOMES DE OLIVEIRA

CAMPINA GRANDE-PB  
JULHO 1990

---

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM DIGESTOR ANAERÓBIO  
DE FLUXO ASCENDENTE, COM MANTA DE LODO E DIS  
POSITIVO DE SEPARAÇÃO DE FASES, TRATANDO  
ESGOTO DOMÉSTICO NO NORDESTE DO BRASIL**

---

MARCONI GOMES DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM DIGESTOR ANAERÓBIO  
DE FLUXO ASCENDENTE, COM MANTA DE LODO E DIS-  
POSITIVO DE SEPARAÇÃO DE FASES, TRATANDO  
ESGOTO DOMÉSTICO NO NORDESTE DO BRASIL

Dissertação apresentada ao Curso  
de MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL  
da Universidade Federal da Paraíba,  
como requisito parcial para  
obtenção do Grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO - RECURSOS HÍDRICOS

Orientador - ADRIANUS CORNELIUS VAN HAANDEL

Co-Orientador - PAULA FRASSINETTI CAVALCANTI CATUNDA

CAMPINA GRANDE-PB

JULHO 1990



048a Oliveira, Marconi Gomes de  
Avaliacao do desempenho de um digester anaerobio de  
fluxo ascendente, com manta de lodo e dispositivo de  
separacao de fases, tratando esgoto domestico no Nordeste  
do Brasil / Marconi Gomes de Oliveira. - Campina Grande,  
1990.  
143 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) -  
Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e  
Tecnologia.

1. Esgoto Domestico 2. Engenharia Sanitaria 3.  
Tratamento Fisico e Mecanico dos Esgotos 4. Digester  
Anaerobio 5. Decantacao - 6. Dissertacao I. Haandel,  
Adrianus Cornelius Van, Dr. II. Catunda, Paula Frassinetti  
Cavalcanti, M.Sc. III. Universidade Federal da Paraiba -  
Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 628.3.03(043)

## AGRADECIMENTO ESPECIAL

Meu Deus!...

Nós te agradecemos:

- a benção do amor;
- o tesouro do tempo;
- a felicidade de trabalhar;
- o dom da palavra;
- o apoio da instrução;
- a força do progresso;
- a lição da prova;
- o apoio do companheiro;
- o amparo da fé! ...

Sabemos, Senhor que nos cabe o dever de aproveitar-te as concessões, a fim de acender em nós mesmos a luz da experiência que nos conduz pelo caminho do bem e da verdade.

Adaptado da mensagem "Rogativa",  
de Emmanuel, em Aulas da Vida, psicografado por Francisco Cândido Xavier.

## AGRADECIMENTOS

À

Meus pais e minha esposa pelo apoio e estímulo nos momentos difíceis.

Aos

Professores Adrianus Cornelius Van Haandel e Paula Frassinetti Cavalcanti Catunda pela orientação dispensada durante toda a pesquisa.

À

Universidade Federal da Paraíba, através do Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia.

Ao

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq e a Caixa Econômica Federal-CEF, pelo apoio financeiro que viabilizou a realização desta pesquisa.

A

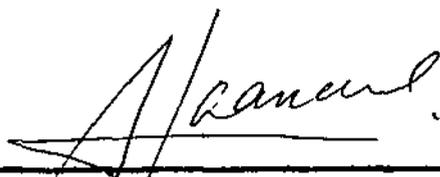
Todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

V

AValiação DO DESEMPENHO DE UM DIGESTOR ANAERÓBIO  
DE FLUXO ASCENDENTE, COM MANTA DE LODO E DIS-  
POSITIVO DE SEPARAÇÃO DE FASES, TRATANDO  
ESGOTO DOMÉSTICO NO NORDESTE DO BRASIL

MARCONI GOMES DE OLIVEIRA

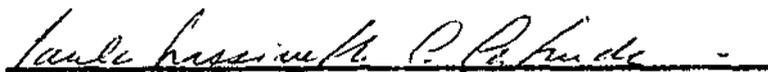
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 27.07.90



---

ADRIANUS CORNELIUS VAN HAANDEL PhD

Orientador



---

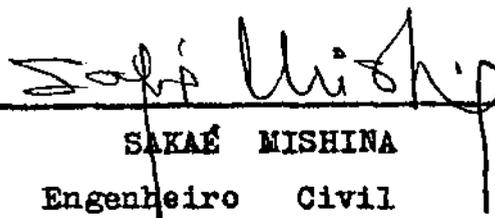
PAULA FRASSINETTI CAVALCANTI CATUNDA MSc

Co-Orientador



---

JOSÉ DALTRO FILHO PhD



---

SAKAÉ MISHINA

Engenheiro Civil

CAMPINA GRANDE-PB

JULHO 1990

## SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTO ESPECIAL.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
FOLHA DE APROVAÇÃO.....	v
SUMÁRIO.....	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
5. CONCLUSÃO.....	136
6. SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES.....	139
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	140

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar o desempenho de um digestor anaeróbico de fluxo ascendente DAFA, com dispositivo de separação de fases, tratando esgoto doméstico sob as condições climáticas prevaescentes no Nordeste do Brasil. O estudo do processo de tratamento anaeróbico compreendeu o período de 05 de junho de 1989 a 30 de maio de 1990, durante o qual se operou dois digestores sendo, um em escala-real com  $160 \text{ m}^3$  de capacidade total e o outro em escala-piloto com  $4 \text{ m}^3$ , alimentados continuamente com o esgoto doméstico bruto do bairro Pedregal, na cidade de Campina Grande, Estado da Paraíba. Ao longo do estudo, variou-se o tempo de detenção hidráulico (TDH) de 18,2 a 3,0 horas, a fim de se determinar a relação entre a eficiência na remoção de matéria orgânica e o TDH do esgoto no digestor.

A análise dos resultados experimentais permitiu verificar que o DAFA foi capaz de remover 81 e 86 por cento da DBO no efluente total e decantado, respectivamente, em um TDH de apenas 7,2 horas. A eficiência de remoção da DQO foi de 67,5 e 73 por cento no efluente total e decantado, respectivamente. Ainda, neste trabalho, discute-se as vantagens e desvantagens da aplicação do processo. Concluiu-se que em climas quentes o processo é tecnicamente viável e economicamente atrativo.

## ABSTRACT

The main objective of this work is to evaluate the performance of an upflow anaerobic digester with a phase separation device, treating sewage under the climatological conditions prevailing in North Eastern Brazil. The study of the anaerobic treatment process comprised the period from 5 June 1989 till 30 May 1990, during which two digestors were operated: a real scale unit with a 160 m<sup>3</sup> capacity and a 4 m<sup>3</sup> pilot plant, both were fed continuously with domestic sewage of Pedregal township at Campina Grande, Brazil. During the study, the hydraulic retention time (HRT) was varied from 18,2 to 3 hours with the aim to determine the relationship between organic matter removal efficiency and the sewage HRT in the reactor.

The analysis of the experimental results showed that BOD removal efficiencies of 81 and 86 per cent could be obtained for raw and settled effluent respectively when the HRT was only 7,2 hours. The corresponding COD removal efficiencies were 67,5 and 73 per cent for raw and settled effluent. Also in this work the advantages and disadvantages of applied of the process is discussed. It is concluded that in hot climates the process is both technically feasible and economically attractive.

## ÍNDICE

	Página
AGRADECIMENTO ESPECIAL	iii
AGRADECIMENTOS	iv
FOLHA DE APROVAÇÃO	v
SUMÁRIO	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii

## Capítulo

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 O esgoto doméstico.....	4
2.1.1 Composição do esgoto doméstico.....	4
2.1.2 Quantificação do material orgânico.....	5
2.1.3 Classificação do esgoto doméstico.....	7
2.1.4 Poluição e contaminação.....	7
2.1.4.1 Poluição pela matéria orgânica.....	7
2.1.4.2 Poluição por eutrofização.....	8
2.1.4.3 Contaminação por agentes patogênicos.....	9
2.2 O processo de digestão anaeróbia.....	10
2.2.1 Microbiologia e bioquímica do processo anaeróbio	11
2.2.2 Fatores que influem na digestão anaeróbia.....	14
2.2.2.1 Características do digestor.....	15
2.2.2.2 Características do resíduo e fatores ambien- tais.....	16
2.2.3 Aplicação de processos anaeróbios no tratamento	

	Página
de esgotos domésticos.....	20
2.2.3.1 Tanques sépticos.....	20
2.2.3.2 Digestor anaeróbio convencional.....	21
2.2.3.3 Processo anaeróbio de contato.....	21
2.2.3.4 Filtro anaeróbio de fluxo ascendente.....	22
2.2.3.5 Reator de filme fixo e leito expandido.....	23
2.2.3.6 Digestor anaeróbio de fluxo ascendente com <u>man</u> ta de lodo.....	23
2.3 O digestor anaeróbio de fluxo ascendente-DAFA.....	23
2.3.1 Características do DAFA.....	24
2.3.2 O separador de fases.....	25
2.3.3 O lodo anaeróbio.....	27
2.3.4 Partida do processo anaeróbio.....	28
2.3.5 O uso do digestor anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo no tratamento de esgoto <u>domés</u> <u>tico</u> .....	29
2.3.5.1 Estudos na Holanda.....	30
2.3.5.2 Experiência em Cali-Colômbia.....	30
2.3.5.3 Experiência no Brasil.....	34
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
3.1 Introdução.....	39
3.2 O sistema de tratamento de esgoto do Pedregal.....	39
3.2.1 Estrutura de entrada do esgoto.....	40
3.2.2 O digestor anaeróbio.....	43
3.2.2.1 Dimensões.....	44
3.2.2.2 Tempo de detenção hidráulica-TDH.....	44
3.2.2.3 O separador de fases.....	44
3.2.2.4 Dispositivo de saída do esgoto.....	45
3.3 O digestor anaeróbio (escala-piloto).....	46
3.3.1 Dispositivo de alimentação.....	46

	Página
3.3.2 Retirada de lodo.....	47
3.3.3 Saída do esgoto.....	47
3.4 Procedimento operacional.....	47
3.4.1 Início de operação do sistema.....	47
3.4.2 Etapas de operação.....	48
3.4.3 Alimentação do sistema.....	49
3.4.4 Controle de operação.....	49
3.5 Coleta de amostras .....	50
3.5.1 Esgoto afluente e efluente do DAFA.....	50
3.5.2 O lodo anaeróbio.....	50
3.6 Análises realizadas.....	51
3.6.1 Natureza das análises.....	51
3.6.2 Frequência das análises.....	52
3.6.3 Métodos utilizados.....	52
3.6.3.1 Análises físicas.....	52
3.6.3.2 Análises químicas.....	53
3.6.3.3 Análise bioquímica.....	54
3.6.3.4 Análises biológicas.....	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
4.1 O esgoto doméstico do Pedregal.....	61
4.1.1 Quantidade estimada de esgoto.....	61
4.1.2 Quantidade de esgoto doméstico.....	62
4.1.3 Qualidade do esgoto.....	62
4.1.4 Variação da quantidade e qualidade do esgoto....	63
4.2 Desempenho do digestor.....	64
4.2.1 Tempo de partida.....	64
4.2.2 Tempo de detenção hidráulica TDH.....	65
4.2.3 Parâmetros de controle operacional.....	65
4.2.3.1 Temperatura.....	65
4.2.3.2 pH.....	66

	Página
4.2.3.3 Alcalinidade e ácidos voláteis.....	67
4.2.3.4 Manutenção do sistema.....	68
4.2.4 Remoção de material orgânico.....	68
4.2.4.1 Eficiência da remoção da DBO.....	69
4.2.4.2 Eficiência da remoção da DQO.....	71
4.2.4.3 Eficiência da remoção de sólidos suspensos totais.....	72
4.2.4.4 Eficiência da remoção de sólidos sedimentáveis	73
4.2.4.5 Correção das remoções da DBO, DQO e SST.....	74
4.2.5 Carga orgânica aplicada ao sistema.....	81
4.2.6 Remoção de nutrientes e organismos patogênicos..	82
4.2.7 O lodo anaeróbio.....	84
4.2.7.1 Crescimento e composição do lodo.....	84
4.2.7.2 Atividade metanogênica específica AME do lodo..	85
4.3 Considerações sobre o desempenho do DAFSA.....	88
5. CONCLUSÃO.....	136
6. SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES.....	139
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	140

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

O lançamento de esgotos domésticos em corpos receptores constitui sério risco de poluição e contaminação, na medida em que material orgânico e organismos patogênicos estão presentes nesses despejos. Assim sendo, o tratamento prévio dos esgotos torna-se indispensável à preservação do meio ambiente e à saúde pública.

As lagoas de estabilização, quando se dispõe de grandes áreas, constituem um processo adequado de tratamento de esgotos, diante das vantagens que apresentam: baixos custos de instalação, operação e manutenção; redução da concentração de material orgânico e remoção de organismos patogênicos.

Nos casos em que a disposição de grandes áreas constitui um fator limitante, surgem os processos que utilizam aeração forçada, apresentando elevada eficiência e utilizando pequenas áreas. Contudo, os altos custos de energia consumida, operação e manutenção tornam esses processos de tratamento de águas residuárias inviáveis, dificultando a expansão da oferta de tratamento de esgotos em nosso país.

Importante se torna, assim, o direcionamento de esforços para o desenvolvimento de unidades de tratamento de esgotos simples e econômicas, do ponto de vista operacional e de manutenção, e que sejam eficientes na remoção de cargas poluidoras.

Os resultados dos últimos anos demonstraram a boa aplicabilidade do processo anaeróbico, através de reatores de

alta taxa, que dispensam os enormes tempos de detenção hidráulica requeridos até então pelos sistemas anaeróbios.

Mais recentemente foi desenvolvido pelo Dr. Gatzke Lettinga e sua equipe, na Universidade de Wageningen - Holanda, o digestor anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo, que possui um dispositivo característico de separação de fases (gás líquido/sólido) instalado em seu interior. O digestor anaeróbio de fluxo ascendente (DAFA) foi, inicialmente, empregado no tratamento de resíduos industriais e, posteriormente, aplicado ao tratamento de esgotos domésticos, obtendo-se bons resultados.

Com o propósito de obter informações de ordem prática da performance dessas unidades de tratamento, operando na região Nordeste do Brasil, objetiva-se com este trabalho avaliar o desempenho do digestor anaeróbio de fluxo ascendente DAFA, através da verificação da eficiência da remoção de matéria orgânica presente no esgoto doméstico. Destacam-se como objetivos específicos:

- a) determinar o tempo de partida do digestor, alimentado com esgoto doméstico e operado à temperatura ambiente, sem inoculação prévia, através da verificação da eficiência na remoção de material orgânico;
- b) determinar a melhor relação entre a eficiência da remoção de matéria orgânica e o tempo de detenção hidráulica;
- c) acompanhar o crescimento da manta de lodo e determinar sua atividade metanogênica.

Para a concretização dos objetivos desta pesquisa dois digestores anaeróbios foram operados sendo um em escala real com  $160 \text{ m}^3$  de capacidade total e o outro em escala-piloto com  $4 \text{ m}^3$ , alimentados continuamente com o esgoto doméstico bruto.

to do bairro Pedregal, na cidade de Campina Grande, Estado da Paraíba. Durante o experimento variou-se o tempo de detenção hidráulica (TDH) do digestor, operando com 18,2 , 16 , 7,2 e 3,0 horas, ao mesmo tempo em que a remoção de matéria orgânica, expressa em termos de DBO, DQO e SST, foi acompanhada para os diferentes TDHs.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 O esgoto doméstico

##### 2.1.1 Composição do esgoto doméstico

Denomina-se esgoto doméstico ou sanitário aos despejos compostos essencialmente por resíduos humanos (fezes e urina), águas de banho e lavagens, restos de comida, sabão, detergentes, papel higiênico e outros refugos.

Em termos percentuais o esgoto é composto de aproximadamente 99,9% de água e 0,1% de material sólido, sendo que a parte inorgânica representando 30% desses sólidos é devida a presença de sais, metais e areia e os 70% restantes são proteínas, carboidratos e gorduras, que formam os sólidos orgânicos (Mara, 1976).

O teor de matéria sólida, apesar de representar apenas 0,1% do esgoto, tem grande importância em termos de dimensionamento e controle de operações das unidades de tratamento.

A matéria sólida compreende as diversas partículas presentes em suspensão, em dissolução ou em estado coloidal no esgoto. O conjunto de todas essas partículas constitui os sólidos totais, que podem ser determinados pela evaporação da água da amostra de esgoto. Enquanto que os sólidos suspensos obtêm-se da secagem do material retido em um filtro de asbestos num cadinho de Gooch (Standard Methods, 1975) e os sólidos dissolvidos são obtidos pela evaporação da água da amostra filtrada.

Calcinando-se a  $600^{\circ}\text{C}$ , os sólidos, uma parcela volatiliza-se, enquanto outra permanece sob forma de cinzas, compondo, assim, a matéria sólida volátil e fixa, respectivamente.

A Figura 1 apresenta em termos de percentagem a composição dos sólidos no esgoto doméstico.

Os sólidos são sedimentáveis ou não sedimentáveis. Considera-se como sedimentáveis a fração que sedimenta num recipiente apropriado de 1 litro (cone "Imhoff") após o tempo arbitrário de 1 hora. Essa fração decantável é uma indicação da quantidade de lodo que poderá ser removida, por sedimentação, nos decantadores (Pessoa e Jordão, 1982).

### 2.1.2 Quantificação do material orgânico

Diante da impossibilidade, na prática, da determinação individual de todas as substâncias que compõem o material orgânico presente nos esgotos domésticos, a quantificação do teor de matéria orgânica é expressa em termos de quantidade de oxigênio necessária para sua oxidação. Assim, usualmente, os parâmetros utilizados são a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO).

A Demanda Bioquímica de Oxigênio mede a quantidade de oxigênio, expressa em mg/l, necessária para estabilizar a matéria orgânica, num período de cinco dias e a temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  (Standard Methods, 1975), indicando a concentração de parte da fração biodegradável do material orgânico.

A Demanda Química de Oxigênio é determinada pela oxidação da matéria orgânica em uma solução ácida de permanganato ou dicromato de potássio (Standard Methods, 1975). Com este teste não é possível fazer uma distinção entre material orgânico biodegradável e material não-biodegradável, uma vez

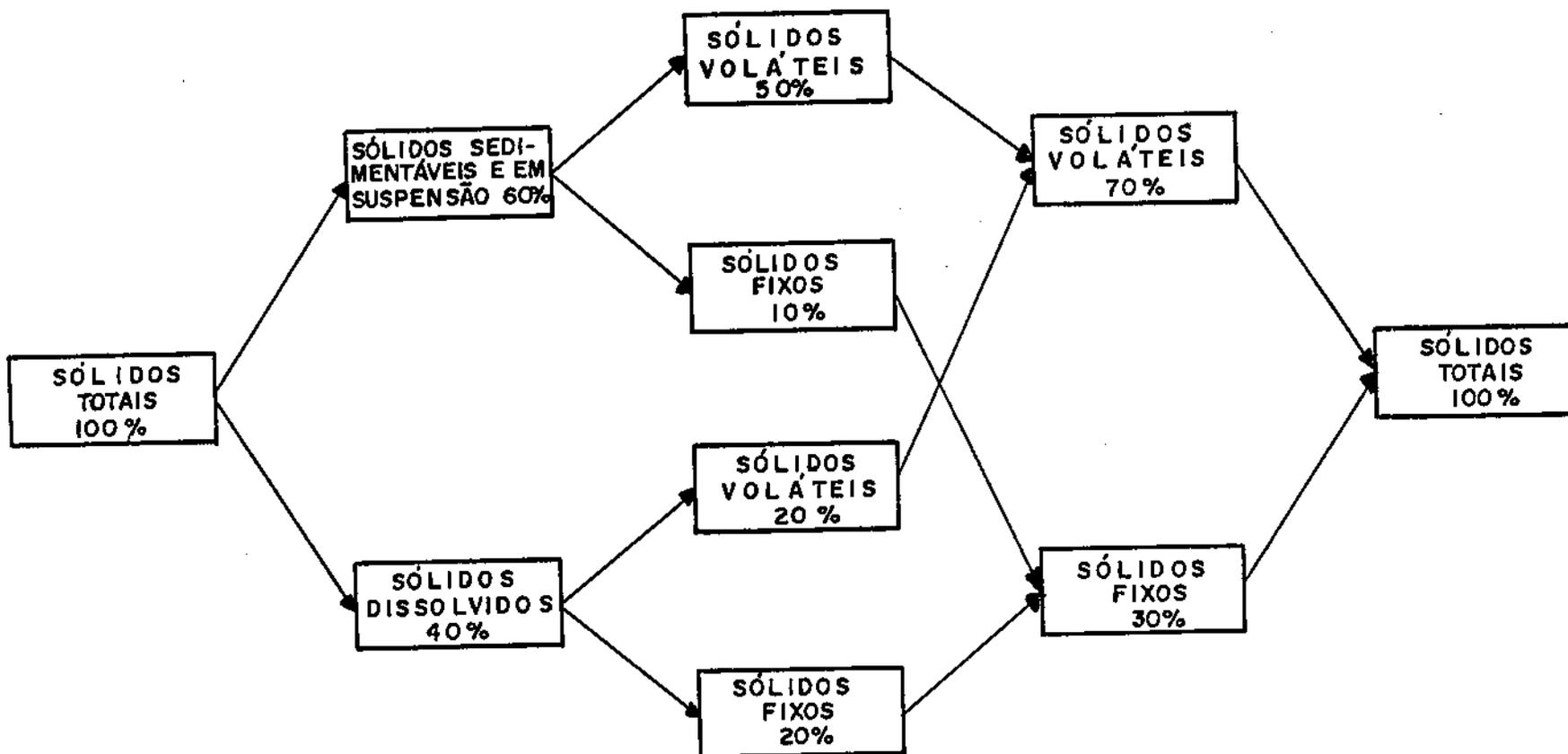


FIGURA 1 : COMPOSIÇÃO DOS SÓLIDOS NOS ESGOTOS

Fonte : Pessoa e Jordão 1982 .

que a DQO revela a concentração total do material orgânico.

### 2.1.3 Classificação do esgoto doméstico

A quantidade de resíduo orgânico presente no esgoto doméstico ditará seu grau de poluição ou a força do esgoto.

Metcalf e Eddy (1979), classificam o esgoto doméstico em forte, médio e fraco de acordo com a sua composição típica, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Composição típica do esgoto doméstico

CONSTITUINTE	CONCENTRAÇÃO (mg/l)		
	FORTE	MÉDIO	FRACO
D B O	400	220	110
D Q O	1000	500	250
Sólidos Totais	1200	720	350
Sólidos Dissolvidos Totais	850	500	250
Sólidos Dissolvidos Voláteis	325	200	105
Sólidos Suspensos Totais	350	220	100
Sólidos Suspensos Voláteis	275	165	80
Sólidos Sedimentáveis (ml/l)	20	10	5

Fonte: Metcalf e Eddy (1979)

### 2.1.4 Poluição e contaminação

#### 2.1.4.1 Poluição pela matéria orgânica

Os esgotos domésticos quando lançados em cursos de

água podem poluir suas águas, dependendo do impacto produzido no corpo receptor, pela quantidade de matéria orgânica presente no esgoto.

No corpo d'água receptor, a matéria orgânica será utilizada como alimento por peixes e outros animais, além de ser utilizada por bactérias, responsáveis por sua decomposição. Essas bactérias necessitam de oxigênio para degradar a matéria orgânica, podendo até consumir todo o oxigênio existente na água em prejuízo de toda a população aquática.

Sendo a demanda de oxigênio proporcional à concentração de material orgânico é indispensável um controle da quantidade e qualidade do esgoto lançado.

#### 2.1.4.2 Poluição por Eutrofização

Os esgotos domésticos, contendo nutrientes como nitrogênio e fósforo (ver Tabela 2), quando lançados em lagos, rios, etc., podem provocar o fenômeno de eutrofização, poluindo os corpos receptores. Como resultado, a água pode se tornar imprópria para o abastecimento público e recreação e, em último estágio de poluição, causar a morte do corpo d'água receptor.

Tabela 2 - Composição do esgoto doméstico quanto aos nutrientes (nitrogênio e fósforo)

NUTRIENTES	CONCENTRAÇÃO (mg/l)		
	FORTE	MÉDIO	FRACO
Nitrogênio total	85	40	20
Nitrogênio orgânico	35	15	8
Nitrogênio amoniacal	50	25	12
Fósforo total	15	8	4
Fósforo orgânico	5	3	1

Fonte: Metcalf e Eddy, (1979)

#### 2.1.4.3 Contaminação por agentes patogênicos

Inúmeras doenças infecciosas, transmitidas por agentes patogênicos (vírus, bactérias, protozoários e helmintos), presentes nos despejos fecais, são disseminadas em áreas onde não existe uma adequada disposição sanitária dos esgotos domésticos. Como resultado tem-se a contaminação de águas subterrâneas e de superfície, além de sérios riscos à saúde da população.

A identificação e quantificação dos organismos patogênicos nos esgotos e águas contaminadas é de difícil execução. Por isso três grupos de bactérias são utilizadas como indicadores de poluição fecal: bactérias coliformes, os Streptococcus fecais e Clostridium perfringens.

Frequentemente as bactérias coliformes (Escherichia Coli) e os Streptococcus fecais (enterococos), em conjunto ou isoladamente, são os indicadores mais comuns de contaminação de águas por material fecal; por serem excretados em grandes quantidades nas fezes.

A presença de organismos coliformes indica que organismos patogênicos também podem estar presentes; enquanto que sua ausência indica que a água está isenta de agentes patogênicos.

As técnicas mais usadas para quantificar os indicadores de poluição fecal, em amostras de água, são as de NMP (ou de fermentação em tubos múltiplos) e a de membrana filtrante, conforme procedimentos recomendados em métodos padronizados.

## 2.2 O processo de digestão anaeróbia

Os processos biológicos aplicados para a remoção de material orgânico biodegradável, presentes em águas residuárias industriais e domésticas, objetivam oxidar a matéria orgânica a compostos mais simples e estáveis; nesses processos os microorganismos, principalmente bactérias, utilizam o material orgânico como fonte de energia através da decomposição ou oxidação.

Distinguem-se dois tipos de sistemas de tratamento biológico, de acordo com a natureza dos microorganismos envolvidos no processo, quais sejam os sistemas aeróbios e os sistemas anaeróbios.

Nos sistemas aeróbios a oxidação da matéria orgânica pelos microorganismos se dá na presença de um oxidante (por ex. oxigênio dissolvido), com conseqüente liberação de energia que, em parte, é utilizada no metabolismo desses microorganismos.

O oxigênio é o acceptor final de elétrons no processo de respiração e, como produtos finais, tem-se água e gás carbônico.

Nos sistemas anaeróbios, através de microorganismos facultativos e estritamente anaeróbios, a estabilização do material orgânico se dá na ausência de oxidantes. Através de hidrólise e rearrumações moleculares de elétrons transferíveis, a matéria orgânica carbonácea é transformada em produtos estabilizados, principalmente metano e dióxido de carbono, sendo o primeiro de alto teor energético.

Quanto à matéria orgânica nitrogenada, no tratamento aeróbio o nitrogênio na forma de amônia pode ser removido biologicamente, através de nitrificação e desnitrificação. Devido a ausência de oxigênio para a nitrificação, no tratamen-

to anaeróbico, a amônia não pode ser removida biologicamente.

Comparando-se os processos aeróbico e anaeróbico, percebe-se importantes diferenças; destacando-se o balanço de energia e a produção de biomassa.

Haandel (1983.a) menciona que:

"Os sistemas anaeróbios são produtores de energia. Estequiometricamente, os sistemas anaeróbios produzem 0,24 g de CH<sub>4</sub> ou 3 Kcal por gDQO utilizado. Em contraste, os sistemas aeróbios são consumidores de energia (...). Dependendo do grau de estabilização do lodo, este consumo de energia poderá ser de 0,5 a 0,8 Kcal por gDQO utilizado (...)".

Haandel (1983.b) apud Dias (1986) também menciona que:

"Os sistemas anaeróbios produzem menos lodo que os sistemas aeróbios. Nos sistemas anaeróbios a produção de lodo é de 0,04 a 0,06 Kg de lodo por Kg DQO tratada. Nos sistemas aeróbios há uma produção de 0,20 a 0,40 Kg de lodo por Kg DQO tratada".

### 2.2.1 Microbiologia e bioquímica do processo anaeróbico

De maneira simplificada, pode-se representar a de gradação anaeróbica da matéria orgânica em três etapas, conforme a Figura 2.

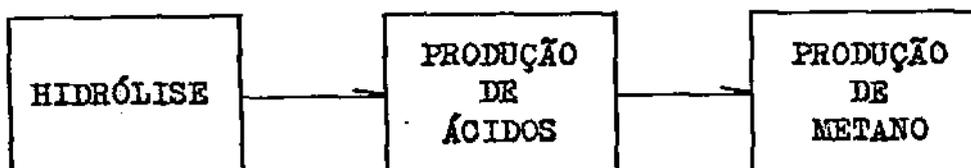


Figura 2 - Etapas da degradação anaeróbica da matéria orgânica.

Fonte: Anrain, 1983.

## 1ª Etapa - Hidrólise

A primeira etapa do processo anaeróbio se caracteriza pela solubilidade de compostos orgânicos complexos, através da ação de enzimas extracelulares.

Segundo Novais (1986), fazem parte deste grupo de bactérias hidrolíticas os seguintes gêneros mais significativos: Peptostreptococcus, Peptococcus, Eubacterium, Lactobacillus, Bacteróides, Ruminococcus, Clostridium, Butyrivibrio, Succinimonas, Lachnospira, isolados de digestores de lodo de esgoto e de rúmem.

## 2ª Etapa - Produção de Ácidos

Nesta etapa do processo ocorre a degradação de substratos solúveis (pequenas moléculas orgânicas) em vários ácidos orgânicos e finalizando no ácido acético e  $H_2$ .

Dois tipos de bactérias fazem parte desta etapa: "(...) primeiro as acetogênicas produtoras de  $H_2$ , com as espécies Syntrophomonas wolfei, Syntrophobacter wolini e Syntrophus buswellii; e o segundo as homoacetogênicas, representadas pelas espécies Clostridium aceticum e Acetobacterium woodii. Nesta etapa, quando as relações ecológicas se encontram em equilíbrio, bactérias do grupo das redutoras de sulfato, dos gêneros Desulfovibrio, Desulfotomaculum e Desulfobulbus, agem como bactérias acetogênicas produtoras de  $H_2$ ." Novais (1986).

## 3ª Etapa - Produção de Metano

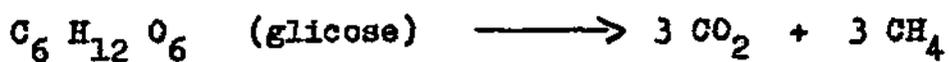
Na terceira e última etapa do processo, ocorre a transformação do ácido acético produzido em metano e dióxido

de carbono, por um grupo de bactérias estritamente anaeróbia, denominadas de formadoras de metano ou metanogênicas.

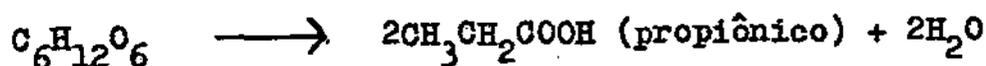
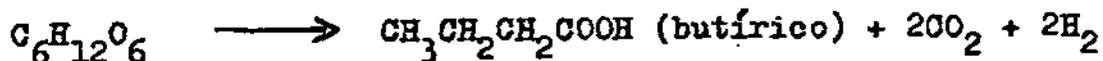
A ausência desse grupo de bactérias não permitiria a real degradação anaeróbia da matéria orgânica pois, são esses microorganismos os únicos capazes de transformar o acetato e hidrogênio em produtos finais gasosos.

Todas as bactérias formadoras de metano, encontradas, são classificadas em quatro famílias: Methanobacteriaceae, Methanococcaceae, Methanomicrobiaceae e Methanosarcinaceae. (Novais, 1986)

Quanto a bioquímica do processo anaeróbio, Anrain (1983) descreve, de acordo com Mosey (1982), as equações da conversão da glicose em dióxido de carbono e metano, e a ação dos quatro tipos de bactérias envolvidas na digestão anaeróbia:

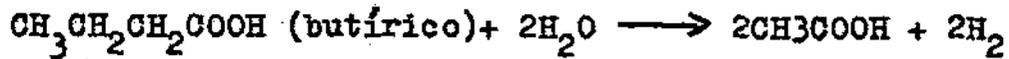
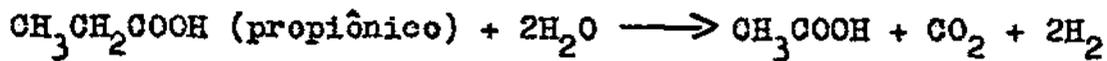


a - Bactérias formadoras de ácido - Fermentam a glicose para produzir uma mistura de ácido acético, propiônico e butírico, de acordo com as reações:

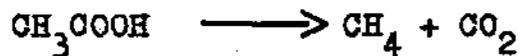


b - Bactérias acetogênicas - Convertem os ácidos propiônico e butírico em ácido acético, de acordo com as se

guintes reações:

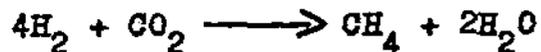


c - Bactérias metanogênicas acetoclásticas - Convertem o ácido acético em uma mistura de dióxido de carbono e metano:



Estas bactérias são responsáveis pela maioria do metano produzido, aproximadamente 70 %.

d - Bactérias metanogênicas que utilizam hidrogênio São consumidoras de hidrogênio, removendo quase todo  $\text{H}_2$  do sistema:



### 2.2.2 Fatores que influem na digestão anaeróbia

O equilíbrio do processo anaeróbio resulta da influência de diversos fatores que agem direta e indiretamente sobre a digestão anaeróbia. Esses fatores são relativos às características do digestor, do resíduo a ser tratado e fatores ambientais.

### 2.2.2.1 Características do digestor

Referindo-se ao digestor, propriamente dito, verifica-se que o tempo de detenção celular (ou idade do lodo) e o grau de agitação representam fatores que interferem no processo anaeróbio.

#### a - Tempo de detenção celular

O tempo de detenção celular é definido como a relação entre a massa de lodo no digestor e a massa de lodo descartada por unidade de tempo.

"Se um sistema estiver submetido a um tempo de detenção celular menor que o tempo de geração médio das bactérias limitantes do processo, ocorrerá lavagem das bactérias e a conseqüente impossibilidade de realização do processo" (Souza, 1982).

O crescimento lento das bactérias formadoras de metano exige um longo tempo de detenção celular (cerca de 10 a 30 dias), o que limita a aplicação de instalações anaeróbias, na concepção convencional, por exigir digestores de grandes volumes com elevados custos de investimento. Essa limitação inexiste nos digestores não convencionais, nos quais o tempo de detenção hidráulica é reduzido consideravelmente, implicando em menores volumes de digestores por assegurarem a manutenção de grande quantidade de lodo ativo no seu interior.

#### b - Grau de contato

O adequado contato entre as bactérias e o material orgânico, promovido pela agitação interna, é fator importante para a velocidade do processo anaeróbio.

"Há indícios de que uma demasiada agitação no digestor favorece as bactérias acidogênicas, podendo provocar dese

quilíbrios no processo". (Souza, 1982).

Nos digestores convencionais a agitação pode ser realizado por retorno de gás, recirculação de lodo, por agitação mecânica, etc.. Enquanto que nos digestores de fluxo ascendente, um bom sistema de distribuição do afluente por toda a seção no fundo do digestor garante um contato adequado entre bactérias e material orgânico.

#### 2.2.2.2 Características do resíduo e fatores ambientais

A natureza do resíduo a ser tratado, consequentemente o seu grau de biodegradabilidade e o estado do material orgânico, como também fatores ambientais, tais como temperatura, pH, alcalinidade, ácidos voláteis, etc., interferem na digestão anaeróbia.

##### a - Biodegradabilidade do resíduo

Segundo Souza (1982), a máxima produção de biogás, que representa a máxima remoção de DQO, possível de ser obtida a partir de um resíduo é função do grau de biodegradabilidade do material orgânico nele contido.

##### b - Estado do material orgânico

Quanto ao estado do material orgânico, a forma como ele se apresenta influenciará a escolha do tipo de reator (digestor) a ser empregado.

Souza (1982) afirma que "(...) para resíduos com elevadas concentrações de materiais dissolvidos, estes são preferencialmente digeríveis em digestores de fluxo ascendente ou em filtros anaeróbios; enquanto que para resíduos contendo elevadas concentrações de sólidos em suspensão, normal

mente se utilizam o digestor convencional ou o processo de contato.

c - Temperatura

A população bacteriana, presente nos processos biológicos, sofre a influência da temperatura, na medida em que a atividade desses microorganismos só é possível dentro de determinados limites de temperatura.

No processo anaeróbio a variação brusca de temperatura afeta, principalmente, as bactérias metanogênicas, podendo provocar a parada temporária da atividade bacteriana, resultando, em alguns casos, no colapso do processo.

A maioria dos digestores são empregados nas faixas de temperatura mesofílica (com temperatura ótima entre 30 e 40°C) e termofílica (com temperatura ótima entre 50 e 60 °C). Esta última como opção interessante para o tratamento de águas residuárias industriais quentes.

"Atualmente o processo anaeróbio já está sendo considerado eficaz na faixa de temperatura psicofílica ( 0 a 20 °C), de modo que a potencialidade do processo persiste , com a adaptação do lodo mesofílico que mantém uma apreciável atividade mesmo à temperaturas próximas de 10 °C. Isto significa que a digestão anaeróbia pode ser praticada a baixas temperaturas para o tratamento da fração solúvel dos despejos, em processos capazes de manter uma alta concentração de lodo bacteriano ativo. Contudo, a digestão de matéria particulada (não dissolvida) complexa parece menos promissor em condições psicofílicas" (apud Anrain, 1983).

d - pH

O pH, atuando como fator limitante na fermentação

metanogênica, necessita ser mantido constante para se obter uma boa eficiência no processo anaeróbico. A faixa de pH entre 6,8 e 7,2 pode ser considerada ótima, podendo ser aceitável limites extremos de 6,5 a 7,5. (McCarty, 1964).

"No tratamento das águas residuárias deve ser considerado que os organismos formadores de ácidos são menos susceptíveis às condições acidificantes de pH, do que a maioria dos organismos metanogênicos, devendo, portanto, ser mantido uma alcalinidade a bicarbonato para neutralizar a acidez devido aos ácidos voláteis de modo a manter o pH acima do nível crítico" (apud Anrain, 1983).

O controle do pH se torna indispensável pois, fora da faixa de pH da fermentação metanogênica, haverá uma inibição desse processo podendo ocorrer acumulação de produtos intermediários (ácidos orgânicos) agravando o distúrbio inicial.

#### e - Alcalinidade

A determinação da alcalinidade fornece uma medida da habilidade de uma dada amostra neutralizar ácidos fortes, até um pH determinado.

"A alcalinidade total, no digestor, deve-se principalmente a presença de bicarbonato e sais de ácidos voláteis, principalmente o acetato" (apud Souza e Vieira, 1981).

A determinação da alcalinidade, por titulação até pH 4,0, não inclui todo o bicarbonato, mas também, 85% do acetato, aproximadamente. Assim, subtraindo-se a alcalinidade de ácidos voláteis da alcalinidade total, obtém-se a alcalinidade a bicarbonato que caracteriza a capacidade de tamponamento do sistema. Dessa forma, tem-se:

$$AB = AT - 0,83 \times 0,85 \times AV$$

onde: AB - alcalinidade a bicarbonato (mg/l  $\text{CaCO}_3$ )

AT - alcalinidade total, até pH 4,0 (mg/l  $\text{CaCO}_3$ )

AV - acidez volátil (mg/l de  $\text{CH}_3\text{COOH}$ )

O fator 0,83 converte a concentração de ácidos voláteis como  $\text{CH}_3\text{COOH}$  para  $\text{CaCO}_3$ .

O fator 0,85 leva em conta que até pH 4,0 apenas 85% dos ácidos voláteis são determinados.

#### f - Ácidos voláteis

A acumulação de ácidos voláteis pode provocar o colapso da digestão anaeróbia por inibir, quando em concentrações elevadas, as bactérias, principalmente as metanogênicas.

McCarty e McKinney apud Souza (1982), citam que os ácidos voláteis, até concentrações de 6000 a 8000 mg/l, não são tóxicos à digestão anaeróbia, desde que o pH do sistema seja mantido próximo da neutralidade.

"A acumulação desses ácidos pode inibir, além das metanogênicas, as próprias bactérias acidogênicas. Porém, estas últimas podem suportar concentrações de até 40000 mg/l de ácidos voláteis" (De La Torre e Goma, apud Souza 1982).

#### g - Nutrientes

As bactérias responsáveis pelo processo anaeróbio necessitam de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, para o seu crescimento. Souza (1982) menciona "o resíduo deve conter concentrações destes componentes em relação ao seu conteúdo de carbono, que satisfaça às seguintes relações:  $\text{C/N} \leq 30$  e  $\text{C/P} \leq 150$ ".

#### h - Toxicidade

Como todos os processos biológicos, a digestão anaeróbia

róbia pode sofrer perturbações por substâncias tóxicas como metais pesados, metais alcali, alcali terroso, cianetos, etc.

No tratamento do esgoto doméstico não se verifica a presença de substâncias tóxicas.

### 2.2.3 Aplicação de processos anaeróbios no tratamento de esgotos domésticos.

A origem da aplicação do processo anaeróbio para o tratamento de esgotos, deu-se com o emprego do primeiro tanque para separar e reter sólidos do esgoto doméstico, a partir de 1850 (Metcalf e Eddy, 1979)

#### 2.2.3.1 Tanques sépticos

Pessôa e Jordão (1982), citam que Jean Louis Mouras, em 1860, construiu um tanque de alvenaria no qual eram coletados os esgotos, restos de cozinha e águas pluviais de uma pequena habitação em Vesoul, na França. E que, em 1881, em colaboração, com o Abade Moigne, realizou experimentos, registrando a patente do modelo testado. Surge a fossa Mouras.

Em 1895, na Inglaterra, Cameron desenvolveu um tanque similar ao Mouras, aproveitando os gases produzidos para aquecimento e iluminação da estação (Metcalf e Eddy, 1979).

W. Travis, em 1904, na Inglaterra, instala um novo processo em dois estágios, no qual a matéria orgânica suspensa era separada do esgoto, passando por uma câmara hidrolizante. Este tanque tinha placas nas câmaras para reter sólidos suspensos finos não sedimentáveis. São os tanques Travis, comumente conhecidos como tanques hidrolíticos.

Karl Imhoff modifica o tanque de Travis, desenvol -

vendo em 1904 uma unidade compacta que possui em um mesmo tanque as unidades de decantação e digestão do lodo. O lodo decantado é naturalmente encaminhado para um compartimento destinado a digerí-lo convenientemente, de onde é removido para unidades de secagem de lodo ou qualquer outro tipo de disposição final (Pessoa e Jordão, 1982).

Os tanques Imhoff apresentam como limitação o grande volume requerido.

### 2.2.3.2 Digestor anaeróbio convencional

Com a separação das unidades de decantação e digestão do lodo, surge o digestor anaeróbio convencional com a finalidade de digerir anaerobicamente o lodo produzido nas estações de tratamento de esgotos, tornando-os estáveis.

A homogeneização interna é realizada com recirculação de lodo, por agitação mecânica, ou por recirculação do gás produzido. Estas unidades são eventualmente dotadas de sistema de aquecimento.

O grande volume do digestor, surge como incentivo ao desenvolvimento de unidades de alta taxa, capazes de reter sólidos (lodo ativo), independentemente do tempo de detenção hidráulica. São os chamados digestores não convencionais.

### 2.2.3.3 Processo anaeróbio de contato

No processo anaeróbio de contato o resíduo a ser tratado se mistura com o lodo recirculado, ocorrendo a digestão em um reator selado, para impedir a entrada de ar. O conteúdo misturado se separa em um tanque de sedimentação, de onde o sobrenadante verte como efluente, geralmente para tratamento posterior, e o lodo anaeróbio sedimentado é recirculado reduzindo assim o tempo de detenção hidráulica.

Vieira (1984), cita que o processo anaeróbio foi experimentado por Simpson 1971, no tratamento de esgoto, com um reator de contato de 1700 litros, seguido de dois decantadores em série, de 450 litros cada, obtendo redução de DBO de 78 % com tempo de detenção hidráulica de 12 horas.

Um dos problemas identificados, na prática, para aplicação do processo de contato é a separação de fases no decantador, devido a produção de biogás.

#### 2.2.3.4 Filtro anaeróbio de fluxo ascendente

O filtro anaeróbio é constituído por uma câmara na qual é acomodada uma camada de agregado, através do qual percola o líquido a ser tratado.

"O resíduo a tratar flui em sentido ascendente, entrando em contato com o meio (câmara de agregado) sobre o qual se fixam as bactérias anaeróbias. Como as bactérias estão aderidas ao meio e não são arrastadas para o efluente, pode-se obter tempos médios de retenção celular da ordem de 100 dias. Em consequência, é possível conseguir grandes valores ' de idade de lodo com baixos tempos de detenção hidráulica. Desta maneira, o filtro anaeróbio pode ser utilizado para o tratamento de resíduos de baixa concentração a temperatura ambiente" (Metcalf e Eddy, 1979).

Vieira e Alem (1983), testaram um sistema de decan-to-digestor e filtro anaeróbio para tratamento de esgoto do-méstico, obtendo remoção de 85% de DBO e 79% de DQO, operando com tempo de detenção hidráulica médio de 19 horas, e mínimo de 6 horas no filtro anaeróbio.

Problemas sérios de entupimentos são verificados em filtros anaeróbios em escala real.

### 2.2.3.5 Reator de filme fixo em leito expandido

Jewell et alii(1981), desenvolveram o reator de filme fixo em leito expandido para o tratamento anaeróbio, no qual o resíduo a ser tratado percola ascendentemente em um leito suspenso que serve de suporte para as bactérias. A expansão do leito é mantida pela velocidade vertical suficientemente alta, aliada a uma taxa de recirculação também elevada.

Utilizado, por seus idealizadores, para o tratamento de esgoto doméstico decantado, foi alcançada uma remoção de 70% de DQO, fornecendo um efluente com cerca de 40 mg/l de DQO e 5,0 mg/l de sólidos em suspensão (SS)

### 2.2.3.6 Digestor anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo.

Lettinga et alii (1980), desenvolveram um novo tipo de digestor chamado de fluxo ascendente com manta de lodo, dotado de um dispositivo interno de separação de fases (gás/ líquido/sólido). Inicialmente utilizado para o tratamento de resíduos concentrados, sua aplicabilidade alcança resíduos de baixa concentração, como é o caso do esgoto doméstico.

A utilização desse digestor no tratamento de esgoto doméstico será descrito a seguir.

## 2.3 O digestor anaeróbio de fluxo ascendente - DAFA

O digestor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket ) ou digestor anaeróbio de fluxo ascendente(DAFA) com manta de lodo, foi desenvolvido na década de 70, pelo Dr. Gatze Lettinga e sua equipe, na Universidade de Wageningen-Holanda, visando o tratamento de resíduos líquidos concentrados (efluentes

de indústrias).

Lettinga et alii (1980), descobriram que a instalação, na parte superior do digestor, de um separador de fases (gás/líquido/sólido) permitiria um bom desempenho do tratamento anaeróbico, através de um digestor de fluxo ascendente.

Apesar de, inicialmente, ter sido desenvolvido para o tratamento de águas residuárias de elevada concentração, o digestor anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo torna viável o uso do processo anaeróbico para o tratamento de resíduos com baixa concentração, como é o caso do esgoto doméstico. Nesses digestores, observam-se baixos tempos de detenção hidráulica devido a retenção, em seu interior, de lodo ativo em quantidade suficiente e qualidade adequada do ponto de vista físico e biológico.

### 2.3.1 Características do DAFA

O digestor anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo possui características específicas que tornam o processo anaeróbico aplicável a afluentes de alta e baixa concentrações.

As principais características são:

a - distribuição uniforme do afluente sobre o fundo do digestor, possibilitando um bom grau de contato entre a água residuária a ser tratada e as bactérias anaeróbias;

b - sentido ascendente da água residuária percolando através da coluna de digestão;

c - existência de um sistema de separação de fases (gás/líquido/sólido) na parte superior e interna do digestor, resultando num acúmulo de lodo no digestor, aumentando consequentemente a idade do lodo do sistema;

d - formação, em seu interior, de um perfil de lodo biológico granulado, de concentração decrescente em função do distanciamento ao fundo do digestor.

e - agitação interna, resultante da própria produção de gás.

### 2.3.2 O separador de fases

O separador de fases (gás/líquido/sólido), situado na parte superior, constitui o dispositivo característico do DAFA. As finalidades principais do sistema de separação de fases são (Anrain, 1983):

"a - realizar uma separação efetiva do gás, agregado ao lodo;

b - criar condições favoráveis para a floculação de lodo e sedimentação, através da criação de uma zona de quiescência na parte superior do digestor;

c - permitir que o lodo retorne para a câmara de digestão sem a aplicação de qualquer dispositivo mecânico (por ex. um conjunto de raspadores)".

Quando estas finalidades são alcançadas, o que depende de um adequado dimensionamento, verifica-se bons resultados da aplicabilidade do processo anaeróbico em DAFA.

A Figura 3 apresenta o desenho esquemático de um DAFA.

Na parte inferior do separador de fases há uma interface líquido-gás, mantida por um selo hidráulico externo. As bolhas de biogás se acumulam na câmara de gás, acima da interface, e os flocos de lodo eventualmente arrastados, depois de desagregarem-se das bolhas, decantam por gravidade,



tornando a fazer parte da manta de lodo.

Ao atingir a região superior do separador, o esgoto adentra numa zona de sedimentação (decantador), encontrando aí um ambiente tranquilo sem a turbulência provocada pelas bolhas de gás, tendo sua velocidade ascensional diminuída a medida que se aproxima da superfície líquida do digestor. A combinação de uma zona tranquila com a diminuição da velocidade ascensional do líquido, na zona de sedimentação, faz com que os flocos de lodo carregados pelo líquido tendam a decantar e se depositar sobre o separador de fases. A declividade do separador permite o deslizamento dos flocos sedimentados e o seu conseqüente retorno para a manta de lodo. Desse modo, descarrega-se da superfície do digestor um efluente com baixo teor de sólidos em suspensão.

### 2.3.3 O lodo anaeróbio

Lettinga et alii (1980), afirmam que o desenvolvimento de um lodo com alta atividade específica e propriedades superiores de decantação constitui a principal característica do processo anaeróbio por digestores de fluxo ascendente com dispositivo de separação de fases.

Diversos fatores influenciam a taxa de crescimento do lodo, no interior do digestor, (Relatório Haskoning, 1989):

"a - tempo de detenção hidráulica (TDH).

Em curtos TDHs ocorre o carreamento de sólidos, diminuindo a taxa de aumento de lodo;

b - distribuição da entrada de alimentação.

Uma baixa densidade de pontos de entrada do esgoto provoca curto-circuito no digestor, tendo efeito negativo na

retenção de sólidos. Em consequência a produção de lodo será menor;

#### c - Tipo de esgoto

Despejos contendo grande fração de material orgânico dissolvido fornece uma produção de lodo mais baixa, porque a fração de biomassa ativa aumentará e maior quantidade de material orgânico sólido será convertido; enquanto que esgotos com uma fração relativamente grande de material sólido inorgânico e de sólido orgânico fracamente biodegradável aumentam a taxa de crescimento de lodo".

Além de apresentar boa sedimentabilidade, o lodo, gerado no processo anaeróbio, apresenta bom grau de estabilidade, fácil desidratação e secagem, o que facilita em muito a disposição final do excesso de lodo produzido.

O lodo pode, ainda, ser armazenado sem dificuldades por períodos longos e depois ser novamente utilizado sem perdas na atividade metanogênica.

#### 2.3.4 Partida do Processo Anaeróbio

A partida de um digestor anaeróbio é definida como o período de tempo necessário para que se forme em seu interior, uma camada de lodo ativo (população bacteriana) com boa atividade metanogênica.

O período de partida se caracteriza por: baixa produção de gás; baixa eficiência de remoção de DBO e DQO; mais alta fração de SSV no efluente do que durante a operação normal; lodo com fraca propriedade de sedimentação e baixa atividade metanogênica.

O arranque, ou partida, de um digestor anaeróbio de fluxo ascendente pode se dar através de dois procedimentos:

a) realização de uma prévia inoculação e b) através do processo de auto-inoculação.

#### a - Inoculação Prévia

Dispondo-se de uma cultura microbiana já adaptada ao resíduo a ser tratado, a partida pode ser efetivada em pouco tempo. A inoculação também pode ser feita com lodo de esgoto digerido, de estações de tratamento, neste caso o período de partida pode levar de 2 a 5 meses, ou então, pode-se utilizar esterco bovino digerido.

Estes procedimentos aceleram a partida, diminuindo o tempo necessário, ao digestor, para que seja alcançado o regime estacionário.

#### b - Processo de Auto--inoculação

O digestor anaeróbico de fluxo ascendente pode ser posto em funcionamento sem uma anterior semeadura com lodo anaeróbico. Isso é possível devido a existência do dispositivo de separação de fases que acelera a sedimentação e retém o lodo ativo, tendo como consideração que o esgoto já contém as bactérias metanogênicas para o desenvolvimento da manta de lodo.

A partida, sob essas condições, ocorre em poucos meses ( 3 a 5 meses ), o que torna dispensável os gastos com aquisição e transporte de lodo anaeróbico.

### 2.3.5 O Uso do digestor anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo no tratamento de esgoto doméstico

Diversos experimentos foram realizados para verificação da aplicabilidade do digestor anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo, dotado de dispositivo de separação de fases, no tratamento de esgoto doméstico. Esses estudos foram realizados em escala de laboratório, em escala-pi-

loto e em escala-real.

### 2.3.5.1 Estudos na Holanda

Lettinga et alii 1983, descrevem os resultados dos primeiros estudos realizados:

a - operando digestores de 30 e 120 litros, inoculados com lodo de esgoto proveniente de estação de tratamento convencional, obtiveram eficiência de remoção de 48-79 % da DQO (afluente/efluente filtrado) com um tempo de detenção hidráulica de 36 - 6,3h, a uma temperatura de 12-30°C.

b - em seguida, Lettinga et alii, estudando o desempenho de um digestor de 120 litros, inoculado com lodo ativo de tratamento de vinhaça, obtiveram 65-80% de redução de DQO (afluente/efluente filtrado), operando a uma temperatura de 8-20°C e um tempo de detenção hidráulica de 24 - 8 horas.

### 2.3.5.2 Experiência em Cali - Colômbia

A partir de 1983 foi operado, em Cali - Colombia, um digestor em escala-piloto com o intuito de verificar o desempenho do tratamento anaeróbio de esgoto doméstico sob condições tropicais. Esse projeto foi financiado pelo governo holandês.

Pela significância dessa experiência serão descritos, a seguir, os principais resultados ( Relatório HASKONING ).

O digestor de 64m<sup>3</sup> (escala-piloto) foi posto em funcionamento no início de 1983, tendo-se acompanhado o seu desempenho durante um período de 4,5 anos. Inicialmente,

utilizou-se uma pequena quantidade de inóculo. O tempo inicial de detenção hidráulica de 25 horas foi reduzido gradualmente para 2,4 horas

#### Resultados Principais:

a - Partida do digester - constatou-se ser vantajoso a partida do digester com material de sementeira (inoculação prévia) e um aumento gradual da taxa de carga.

Verificou-se também, que se pode operar um DAFA, para tratamento de esgoto doméstico, sem inoculação, em um tempo médio de detenção hidráulica curto de 6 horas, ocorrendo uma rápida acumulação de sólidos no lodo do digester. A partida nessas condições pode se dar em 14 semanas;

b - Desempenho do tratamento - observou-se a capacidade do sistema para retirar material orgânico dos esgotos. Essa remoção, expressa em termos de DQO total/filtrado, DBO total, SST e SSV é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 Eficiência de remoção e qualidade do efluente obtidos na planta-piloto em Cali-Colombia.

PARÂMETRO	Eficiência de remoção (%)		Qualidade do efluente(mg/l)
	MÉDIA	VARIAÇÃO	VARIAÇÃO
DQO total	65	50-75	120-140
DQO total/filtrado	80	70-90	-
DBO total	80	70-90	25-45
SST	70	60-85	30-60
SSV	70	60-85	15-40

Fonte: Relatório HASKONING, 1989.

Verificou-se no sistema estudado uma deficiente redução na quantidade de patogênicos presentes no esgoto. Poder-se menciona uma remoção de 80% como média.

A remoção de fósforo foi mais ou menos 40%; enquanto que a concentração de amônia aumentou (amonificação do nitrogênio orgânico) permanecendo nessa forma, já que num ambiente anaeróbico a amônia não sofre mais transformações.

As concentrações médias de amônia no afluente e efluente foram 10,5 e 14,9 mgNH<sub>4</sub>-N/l, respectivamente e as concentrações médias de fósforo foram 2,6 e 1,6 mgP/l no afluente e efluente, respectivamente.

#### c - Tempo de detenção hidráulica - TDH

Foram realizadas experiências variando o TDH de 25 a 2,4 horas. Em TDH de 8, 6 e 4 horas foram conseguidos baixos valores de DBO e DQO efluentes e a produção específica de gás foi elevada. Nas experiências com TDH entre 4 e 2,4 horas ocorreu arrastamento de lodo, perturbando os resultados. Em TDH de 2,4 horas a produção específica de gás e a eficiência de remoção de DQO foram baixas. Indicando que o tempo de contato entre o esgoto e o lodo foi curto demais.

Executaram-se outros ensaios, concluindo-se que o melhor desempenho foi obtido com TDH médio de 6 horas.

#### d - Composição e produção de gás

A composição de biogás foi bastante constante: 75-80% de CH<sub>4</sub>; 5-7% de CO<sub>2</sub> e 15-20% N.

A produção específica de gás foi de 0,19 m<sup>3</sup>/kg DQO removido ou 0,33 Kg metano/Kg DQO removido.

Adicionando-se vinhoto, a produção de gás aumentou para 0,31 m<sup>3</sup>/Kg DQO removido ou 0,54 Kg metano/Kg DQO removido.

Verificou-se que 56% a 63% do metano é dissolvido no efluente.

A taxa máxima de produção de metano foi de 0,1 Kg

DQO/Kg SV dia. Convertendo-se esse valor para taxa máxima de carga aplicável ( TMCA ) tem-se:

Considerando o volume do digestor de  $64 \text{ m}^3$ , contendo 800 Kg SV e eficiência de remoção de DQO total de 65%

$$\text{TMCA} = ( 0,1 \times 800 ) / ( 0,65 \times 64 ) = 1,92$$

Logo a taxa máxima de carga aplicável é de aproximadamente  $2 \text{ Kg DQO/m}^3$  dia.

e - Lodo anaeróbio

- Sedimentabilidade

Verificou-se que a sedimentação do lodo foi influenciada pela fração de material orgânico presente no esgoto.

Além do esgoto doméstico, proveniente de um determinado coletor (coletor Canaveralejo), utilizou-se, também, efluente de um Coletor Central que apresentava uma mistura de esgoto doméstico e industrial. Nas águas residuárias do Coletor Central, detectou-se sólidos de fraca degradabilidade que se acumularam no lodo, diminuindo a propriedade de decantação.

Valores de 10 m/h foram determinados para a velocidade de sedimentação do lodo (quando alimentado pelo Coletor Canaveralejo) e 5 m/h quando alimentado com esgoto do Coletor Central.

- Produção de lodo

A produção de lodo se elevou quando se teve baixas taxas de carga, diminuindo a fração de matéria orgânica no lodo. Obteve-se uma produção de lodo de 0,06 até 0,1 Kg ST/ $\text{m}^3$  do esgoto.

A capacidade máxima de retenção de lodo no digestor de  $64\text{m}^3$  é de 2000-2400 Kg ST ou 600 a 800 Kg SV.

A percentagem de cinzas do lodo flutuou entre 55 e 65%.

### 2.3.5.3 Experiência no Brasil

A partir de 1983, no Brasil, foram realizadas experiências objetivando o estudo de digestores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo, dotados de dispositivos de separação de fases, para o tratamento de esgotos domésticos, destacando-se:

a - A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB - São Paulo, iniciou, a partir de 1983, pesquisas com o intuito de desenvolvimento e adaptação do processo às condições nacionais.

Inicialmente um digestor de 106 litros de capacidade foi projetado para o tratamento de esgotos, como descreve Vieira (1984). Construído em PVC e operado continuamente, durante cerca de sete meses, com esgoto pré-decantado em temperatura controlada de 35<sup>o</sup>C e tempo de detenção hidráulico de 4 horas, obtendo os seguintes resultados:

- As remoções médias de carga orgânica e de sólidos em suspensão (durante o regime estacionário) foram de:

- . 72% - Remoção de DBO total
- . 88% - Remoção de DBO filtrado
- . 65% - Remoção de DQO total
- . 83% - Remoção de DQO filtrado
- . 61% - Remoção de SS

- Remoção de patogênicos em torno de 74% (coliformes totais) e 70% (Coliformes Fecais).

- A produção de gás, durante o regime estacionário,

foi de 23 l CNTP Seco/dia.

- A composição do gás, obtido da digestão do esgoto, foi de: 75% de  $\text{CH}_4$  ; 5% de  $\text{CO}_2$  ; 19% de  $\text{N}_2$ .

Os bons resultados obtidos incentivaram novas pesquisas realizadas pela CETESB, inclusive em escala-real, em um digestor de  $120\text{m}^3$ .

b - Nobre e Guimarães (1987), descrevem estudos realizados pela Sabesp - São Paulo, em um digestor anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo, em escala-piloto, de  $3,7\text{m}^3$ , instalado na ETE - Leopoldina, em São Paulo.

Após a partida do digestor as eficiências de DQO e DBO mostraram-se, em média 73% e 78% respectivamente.

A taxa de utilização de substrato, medida em DQO total, tendeu para um valor máximo de 0,15 Kg DQO/Kg SSVdia.

O manto desenvolvido no digestor era constituído de lodo de flocos bem individualizados, com índices volumétricos variando de 20 ml/g a 50 ml/g.

A produção de gás variou entre 54 e 118  $\text{l/m}^3$  esgoto, com percentagem de metano de 73 a 82%.

Verificou-se estabilidade no processo, quanto a acidez e alcalinidade: a acidez manteve-se sempre muito próxima a 50 mg HAc/l e a alcalinidade variou entre 200 a 250 mg  $\text{Ca CO}_3/\text{l}$ .

c - A Fundação de Amparo à Tecnologia e ao Meio Ambiente - FATMA - em Florianópolis - SC., desenvolveu, a partir de 1984, estudos sobre o tratamento anaeróbio de esgoto doméstico em digestores de fluxo ascendente como descrevem Barbosa et alii (1987):

- O digestor de 120 litros de capacidade foi operado continuamente durante 9 meses (março a dezembro de 1986), objetivando-se verificar a auto-inoculação do digestor e a depuração do esgoto doméstico.

- Após 4 meses de operação, constatou-se que a inoculação/aclimatação estavam concluídas. Alcançou-se eficiências de remoção de DBO de 80% , DQO de 79% e SST de 79%. O tempo de detenção hidráulica foi de 4 horas e a temperatura variou entre 19 e 28°C.

Todas essas experiências são unânimes quanto a viabilidade do tratamento de esgoto doméstico por digestores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo, e dispositivo de separação de fases, à nível secundário.

É importante distinguir, entre os digestores anaeróbios de fluxo ascendente - DAFAs, aqueles que não possuem o dispositivo de separação de fases (os chamados DAFAs simplificados) e que, por essa razão, apresentam desempenho inferior quando comparados com os DAFAs dotados de dispositivos internos de separação de fases.

A Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR, a partir de 1984, passou a adotar em grande-escala, o tratamento anaeróbio de esgoto doméstico por digestores anaeróbios de fluxo ascendente, após ter sido verificado a simplicidade e baixo custo de investimento e operação dessas unidades.

Dentre os vários DAFAs simplificados, instalados no Estado do Paraná, Bollman e Aisse (1987: a, b, c) apresentam os resultados da operação de três unidades instaladas na região de Curitiba - PR., nas moradias de Caiçara, Itatiaia e Augusta. As características dos digestores anaeróbios de fluxo ascendente empregados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 Características dos DAFAs instalados nas moradias de Caiçara, Itatiaia e Augusta, na região de Curitiba Estado do Paraná.

CARACTERÍSTICAS	DIGESTORES		
	CAIÇARA	ITATIAIA	AUGUSTA
Volume (m <sup>3</sup> )	4,2	238	267
Vazão média (l/s)	0,42	14,1	6,5
Tempo de retenção hidráulica (h)	2,5	4,7	11,5
Forma	Cone invertido	Tronco de cone	Tronco de cone
Cobertura	Laje com cimento	Laje com cimento	Lona plástica
Alimentação	Gravidade	Bombeio	Bombeio
"Separador de fases"	<u>não</u>	<u>não</u>	<u>não</u>

Fonte: Bollman e Aisse ( 1987: a, b, c ).

Quanto ao desempenho do tratamento, as eficiências de remoção da DQO foram de 20%, 50% e 70% nos DAFAs de Caiçara, Itatiaia e Augusta, respectivamente.

Silva (1989), apresenta os resultados obtidos da operação de dois DAFAs, sem separador de fases, monitorados em dois experimentos sendo o primeiro durante o período de julho de 1986 a maio de 1987 e o segundo de junho de 1987 a julho de 1988, na cidade de Campina Grande, Estado da Paraíba. Os digestores (reatores) denominados de TA1 e TA2, tinham as mesmas dimensões: 1,5 m de comprimento, 1,4 m de largura e 3,6 m

de profundidade. As eficiências alcançadas com os DAFAs nos experimentos 1 e 2 estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 Eficiências dos DAFAs TA1 e TA2, operados na cidade de Campina Grande-PB., nos experimentos 1 e 2, expressa como porcentagem de remoção da DBO, SS e CF.

Parâmetro	Experimento 1		Experimento 2	
	TA1	TA2	TA1	TA2
	TDH= 3 h	TDH= 6 h	TDH= 9 h	TDH= 12 h
DBO (%)	26	47	49	48
SS (%)	31	50	46	33
Coliformes fecais (%)	64	70	62	68

Fonte: Silva, 1989

## CAPÍTULO III

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Introdução

A pesquisa foi desenvolvida na Estação de Tratamento de Esgotos-ETE, do bairro Pedregal na cidade de Campina Grande-PB., onde se acompanhou o desempenho de um digestor anaeróbio de fluxo ascendente (DAFA), com dispositivo interno de separação de fases, no tratamento de esgoto doméstico. O sistema de tratamento de esgoto do Pedregal é constituído de unidades de tratamento físico de remoção de sólidos grosseiros e areia (grade de barras e caixa de areia) e unidade de tratamento biológico (digestor anaeróbio de fluxo ascendente-DAFA).

Diante da impossibilidade de se estudar, no DAFA, a relação entre a eficiência do processo anaeróbio e o tempo de detenção hidráulica (TDH), para um TDH menor que 7,2 horas, devido aos constantes entupimentos na rede coletora de esgotos, diminuindo consideravelmente a vazão de esgoto bruto, operou-se um segundo digestor anaeróbio, este em escala-piloto com 4 m<sup>3</sup> de volume útil.

A seguir, tem-se a descrição geral dos aspectos construtivos e de funcionamento dos digestores anaeróbios, como também dos dispositivos que compõem o sistema.

#### 3.2 O sistema de tratamento de esgoto do Pedregal

### 3.2.1 Estrutura de entrada do esgoto

A estrutura de entrada do esgoto se compõe basicamente de seis partes: 1) by-pass, localizado no início da estrutura de entrada; tem a função de curto-circuitar o sistema quando necessário; 2) grade de barras, para reter o material grosseiro; 3) caixa de areia, para reter areia que, assim como o material grosseiro, provocaria o entupimento do digestor; 4) medidor Parshall que além de medir a vazão do esgoto, regula a velocidade do esgoto na caixa de areia; 5) dispositivo de divisão da vazão de esgoto em 20 (vinte) partes iguais e 6) sistema de tubulação que leva as vinte partes da vazão de esgoto até determinados pontos no fundo do digestor.

#### 1) By-pass

O by-pass, localizado no início da estrutura de entrada do esgoto, permitirá um curto-circuito no sistema, em circunstâncias específicas desejadas; quando, por exemplo, se exigir a interrupção da vazão de esgoto em caso de reparo ou manutenção. A manobra consiste na interrupção do acesso à caixa de areia, encaminhando o esgoto diretamente para o canal efluente.

O by-pass é constituído de uma comporta, em chapa de aço, de  $1/8$ " de espessura, 0,30 m de largura e 0,45 m de altura.

#### 2) Grade de barras

A grade de barras é indispensável em sistemas de tratamento de esgoto, devido a inadequada utilização das instalações sanitárias prediais como destino de resíduos sólidos. Funciona como um dispositivo de retenção de material grosseiro transportado pelo esgoto.

A grade é constituída de barras de ferro de 1" de

diâmetro, dispostas paralelamente e inclinadas, de modo a permitir o fluxo normal do esgoto, evitando grandes perdas de carga, retendo o material grosseiro. O espaçamento entre as barras, que é função do tipo de material que se deseja reter, é de 1.1/2". A inclinação da grade é de 60° com a horizontal.

### 3) Caixa de areia

A caixa de areia é um dispositivo de retenção de sólidos grosseiros sedimentáveis. A remoção de areia dos esgotos tem por finalidade, entre outras, eliminar ou reduzir a possibilidade de obstrução nas unidades do sistema, além de evitar a perda de volume útil da unidade de tratamento, através do acúmulo desses sólidos.

Essa operação, juntamente com a remoção de sólidos grosseiros através da grade de barras, constitui um tratamento preliminar do esgoto.

Quanto aos aspectos construtivos e de funcionamento a caixa de areia compõe-se de dois canais paralelos, construídos em alvenaria de tijolos e rebocados. Cada canal possui 9,0 m de comprimento, 0,3 m de largura e 0,43 m de altura útil. Os fundos dos canais situam-se à mesma altura do nível superior do digestor. No fundo dos canais, espaçados de 1,0m existem tijolos de cimento com altura de 0,16 m e largura de 0,29 m, para criar espaços de acumulação de areia, evitando o escoamento e conseqüente arraste no fundo da caixa.

Normalmente tem-se alternadamente um dos dois canais em operação.

O medidor Parshall, localizado à jusante da caixa de areia, controla, automaticamente, a velocidade na caixa de areia em 0,25 m/s. Essa velocidade permite a sedimentação da areia, mas não do material orgânico suspenso, cuja densidade é menor que a da areia.

A areia acumulada é removida quando a camada apre-

sentada 0,16 m. No fim da caixa de areia existe um dreno que permite retirar a água antes da retirada da areia acumulada.

#### 4) Medidor Parshall

O medidor Parshall se inclui entre os chamados medidores de regime crítico. Consiste de uma seção convergente, uma seção estrangulada ou garganta e de uma seção divergente.

O medidor Parshall foi construído em chapa de aço, apresentando uma garganta com a largura de 7,5 cm. Todas as outras dimensões são em função dessa largura.

As finalidades do medidor Parshall, instalado, é de a) medir a vazão afluyente de esgoto (com capacidade de medir 0,85 a 53,8 l/s) e b) controlar a velocidade na caixa de areia, mantendo-a em 0,25 m/s.

#### 5) Dispositivo de divisão de vazão

O dispositivo de divisão de vazão se compõe de um canal de alimentação, vinte vertedores triangulares e vinte caixas de alimentação. O esgoto se aproxima do digestor via canal de alimentação de onde verte para as caixas alimentadoras (Figura 4).

O canal de alimentação possui 10,0 m de comprimento, 0,3 m de largura e 0,3 m de profundidade e foi construído em alvenaria de tijolos e rebocado. As caixas de alimentação, também em alvenaria de tijolos com reboco, possuem 0,25 m de comprimento, 0,2 m de largura e 0,15 m de profundidade. Os vertedores são em chapas de aço de 1/8" de espessura, pintadas com epoxi.

Nas caixas de alimentação, os vertedores se encaixam de modo que podem ser erguidos, de alguns centímetros, impedindo o acesso do esgoto ao digestor, quando necessário.

No ponto final do canal de alimentação existe uma comporta, que dá acesso ao canal efluente, utilizada quando

na lavagem ou descarga do canal de alimentação.

6) Sistema de condução da vazão até o fundo do digester

Como o objetivo da divisão da vazão de esgoto é possibilitar a sua distribuição uniforme sobre o fundo do digester, foram definidos vinte pontos de lançamento do esgoto ao longo da área horizontal, localizada à 0,1 m do fundo do digester.

Partem das caixas de alimentação vinte tubos PVC-2", ligeiramente inclinados (evitando deposição de sólidos), até a região acima dos pontos de lançamento onde são conectados por "T"s de PVC-2" à tubulações verticais que encaminham o esgoto, em sentido descendente, ao fundo do digester. Os tubos horizontais têm comprimento variáveis (em função da localização dos pontos de lançamento), enquanto que todos os tubos verticais têm 3,9 m de comprimento.

No local do "T" há, também, um tubo que ascende até um nível superior ao da caixa de alimentação. A função desse tubo é a de formar um suspiro e, a seu nível máximo, evitar transbordamento, em caso de entupimento no fundo do tubo vertical.

Alguns tubos verticais atravessam os elementos do separador de fases, outros os obstáculos; no local da passagem encontra-se soldado um tubo galvanizado de 3", de modo a impedir que o gás acumulado escape (ver Figuras 5 e 6).

### 3.2.2 O digester anaeróbio

O digester anaeróbio implantado no Pedregal, segue a concepção UASB ou de fluxo ascendente com manta de lodo, possuindo em seu interior um dispositivo de separação de fases (gás/líquido/sólido).

### 3.2.2.1 Dimensões

Construído em concreto armado com formato retangular, seu volume total é de  $160 \text{ m}^3$ , com comprimento de 10 m, largura de 4 m e profundidade de 4 m. Na sua concepção foi projetado para atender aproximadamente 6.000 habitantes, sendo que a população atual contribuinte é de apenas 4.990 habitantes.

### 3.2.2.2 Tempo de detenção hidráulica -TDH-

O digester foi projetado para um TDH em torno de 6 horas, em função da contribuição "per capita" de 100 l/hab/d, adotada em seu dimensionamento. O digester foi construído com cinco compartimentos de modo que possibilita a utilização de frações do seu volume total, permitindo variar o TDH ou tempo de permanência do esgoto em seu interior. Para tanto erguem-se em um ou mais dos cinco compartimentos os vertedores triangulares que dão acesso às caixas de alimentação.

### 3.2.2.3 O separador de fases

A Figura 5 apresenta a seção transversal dos elementos que compõem o separador de fases e dos obstáculos auxiliares (que servem para evitar a passagem de bolhas de biogás pelas aberturas existentes entre os elementos do separador de fases). Para melhor identificação, os elementos do separador são enumerados de E1 a E6 e os obstáculos de O1 a O5. Os elementos laterais E1 e E6 são iguais, como são iguais entre si os elementos centrais E2, E3, E4 e E5, e todos os obstáculos.

Os elementos do separador de fases e os obstáculos se compõem de chapas de aço, com espessura de  $1/8''$ , pintadas

com tinta anticorrosiva epoxi. Quanto a geometria, constituem prismas triangulares com base e laterais abertas.

Nos elementos centrais e laterais, assim como nos obstáculos, há tubos galvanizados de 3" de diâmetro, soldados de maneira a permitir a passagem dos tubos de alimentação de 2" de diâmetro. Há, também, em cada elemento do separador de fases, tubos PVC-2"-rígido de captação de gás.

Em um dos elementos centrais existem dois tubos galvanizados de 6" de diâmetro, soldados. Um deles permite a retirada do lodo de excesso, enquanto que o outro permite a passagem de quatro tubos PVC-2", com diferentes comprimentos, para captação do lodo em diferentes profundidades.

#### 3.2.2.4 Dispositivo de saída do esgoto

Após sua trajetória ascendente no digestor, o líquido tratado é descarregado. O objetivo do dispositivo de saída do esgoto é o de retirar o esgoto tratado uniformemente da parte superior do digestor.

A estrutura de saída se compõe de 10 unidades. Cada unidade é constituída de uma curva, PVC-2", conectada a um tubo também de PVC-2". Cinco desses tubos apresentam 1,7 m de comprimento, enquanto que os cinco restantes têm 1,2 m, como decorrência da distância dos pontos de captação até os canais do efluente, pode ser visto na Figura 4 .

As unidades têm uma de suas extremidades chumbadas, no ponto onde o tubo atravessa a parede do digestor, a uma distância de 0,6 m da parte superior do digestor, como pode ser visto na Figura 6 .

Os tubos descarregam o esgoto tratado nos canais do efluente que se juntam e, após a passagem pelo vertedor final, é lançado no canal de águas pluviais, localizado nas pro

ximidades do DAFA.

O nível do esgoto tratado nos canais do efluente e, conseqüentemente, dentro do DAFA é regulado pelo vertedor final.

### 3.3 O digestor anaeróbio (escala-piloto)

O digestor anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo e dispositivo de separação de fases, em escala-piloto, foi construído em chapas de aço, com formato cilíndrico. Possui volume útil de 4 m<sup>3</sup>, com uma altura total de 3,14 m ( e altura líquida de 2,92 m) e área da seção transversal de 1,37 m<sup>2</sup>.

#### 3.3.1 Dispositivo de alimentação

O digestor é dotado de um dispositivo de alimentação constituído por: 1) bomba alimentadora e 2) caixa de passagem.

A bomba alimentadora recalca o esgoto para a caixa de passagem, no topo do digestor, de onde é encaminhado ao fundo do digestor por gravidade.

A bomba utilizada possui as seguintes características:

- bomba submersa ANAUGER-Modelo AN-A;
- potência de 1000 W;
- peso 6,55 Kg e
- vazão de 1,33 m<sup>3</sup>/h.

A caixa de passagem localizada no topo do digestor possui capacidade de 100 litros, com 0,6 m de comprimento, 0,42 m de largura e 0,4 m de altura.

### 3.3.2 Retirada de lodo

Existem ao longo da altura do digester pontos de retirada situados à 0,2 m, 0,51 m, 1,01 m e 2,02 m do fundo.

O ponto de retirada do lodo de excesso é um orifício de 3" de diâmetro, situado a 0,1 m do fundo do digester.

### 3.3.3 Saída do esgoto

O efluente é descartado por um orifício de 1" de diâmetro, situado a 0,32 m do topo do digester. Através de uma tubulação de 1" de diâmetro o efluente é encaminhado à caixa de medição de vazão, que possui 0,5 m de comprimento, 0,32 m de largura e 0,34 m de altura. Em seguida, o efluente, junta-se com o efluente do digester de 160 m<sup>3</sup>, sendo então dirigido para o canal de águas pluviais.

As Figuras 7 e 7a apresentam um esquema do digester e detalhes do separador de fases, respectivamente.

## 3.4 Procedimento operacional

### 3.4.1 Início de operação do sistema

Em 05 de junho de 1989, iniciou-se a operação do sistema de tratamento de esgoto do Pedregal-Campina Grande-PB. O digester de 160 m<sup>3</sup> não foi inoculado, já que se pretendia verificar o tempo de partida, através do processo de auto-inoculação. Enquanto que o digester de 4 m<sup>3</sup> (escala-piloto), posto em funcionamento em 14 de março de 1990, foi previamente inoculado com 1 m<sup>3</sup> de lodo anaeróbio proveniente do digester de 160 m<sup>3</sup>.

### 3.4.2 Etapas de operação

A operação no sistema de tratamento de esgoto, incluindo o digester em escala-piloto, compreendeu quatro períodos que se distinguiram pela fração utilizada do volume do digester anaeróbio, que sofreu redução ao longo do experimento.

A redução do volume do digester foi necessária pois se desejava verificar o desempenho do DAFA a curtos tempos de detenção hidráulica (TDH) e como a alimentação do digester é por gravidade, o único parâmetro possível de ser controlado, na determinação do TDH, é o volume útil do digester.

A utilização de frações do volume total do digester é possível diminuindo-se o número de pontos de alimentação, impedindo o acesso do esgoto a uma parte das vinte caixas que alimentam o digester.

No primeiro período (05 de junho a 14 de setembro de 1989), o digester funcionou com seu volume máximo de 160m<sup>3</sup>

O segundo período (15 de setembro de 1989 a 04 de janeiro de 1990), caracterizou-se pela redução do volume do digester em 60%, ou seja, de 160 para 64 m<sup>3</sup>. Para isso fechou-se doze das vinte caixas de alimentação e seis dos dez dispositivos de saída do esgoto.

No terceiro período (05 de janeiro a 05 de maio de 1990), reduziu-se o volume do DAFA de 64 para 32 m<sup>3</sup>, utilizando-se 20% do volume total do digester, o que foi possível fechando-se quatro das oito caixas de alimentação e dois dos quatro dispositivos de saída do esgoto, que estavam em funcionamento.

Em razão da diminuição da vazão de esgoto afluentes não foi possível reduzir o TDH para menos de 7,2 horas, mesmo utilizando-se 20% do volume do DAFA. Por isso empregou-se um digester em escala-piloto de 4m<sup>3</sup> de volume útil, estabelecen-

do com esse procedimento o quarto período do experimento, a partir de 18 de março a 30 de maio de 1990.

### 3.4.3 Alimentação do sistema

A alimentação do digestor (escala real) se dá por gravidade. A vazão máxima de esgoto é controlada na caixa de areia, isto é, quando a vazão atingir valores superiores a  $1800 \text{ m}^3/\text{dia}$ , o esgoto ultrapassará a altura de  $0,43 \text{ m}$  da caixa de areia e transbordará para o canal efluente. Esse mecanismo protege a manta de lodo de elevadas velocidades ascensionais de esgoto.

No digestor escala-piloto de  $4 \text{ m}^3$  a alimentação se deu por bombeamento, como descrito no item 3.3.1, requerendo cuidados simples relativos ao não entupimento da bomba. Para tal, revestiu-se a bomba submersa com uma tela, retendo-se o material grosseiro em suspensão, que provocaria danos à bomba. Era necessário realizar a desobstrução da tela pelo menos uma vez por dia.

### 3.4.4 Controle de operação

No decorrer do experimento, a temperatura, pH, alcalinidade e ácidos voláteis foram utilizados como parâmetros de controle do processo anaeróbio.

Durante a fase de experimento, a manutenção do sistema de tratamento de esgoto compreendeu: limpeza da grade de barras e caixa de areia, desobstrução dos vertedores triangulares e das tubulações que encaminham o esgoto ao fundo do digestor.

### 3.5 Coleta de amostras

Para a caracterização do esgoto doméstico do Pedregal e acompanhamento do desempenho dos digestores, amostras de esgoto afluente e efluente, e amostras de lodo anaeróbico foram coletadas de acordo com o procedimento descrito a seguir.

#### 3.5.1 Esgoto afluente e efluente do DAFA

Perfis de 24 horas foram realizados, para caracterização do esgoto doméstico, onde foram coletadas amostras de esgoto de 2 em 2 horas. Também foram coletadas diariamente, amostras de esgoto afluente e efluente às 8 horas do dia, para acompanhamento do desempenho dos digestores.

No digestor (escala-real) o ponto de coleta do esgoto afluente (Pa), foi tomado logo após a grade de barras; enquanto que o esgoto efluente teve seu ponto de coleta (Pe) no fim do canal efluente.

Já o afluente do digestor de 4 m<sup>3</sup> era coletado na caixa de passagem, situada no topo do digestor (Pa'), e o efluente era coletado na caixa de medição da vazão (Pe').

#### 3.5.2 O lodo anaeróbico

Com o objetivo de caracterizar o lodo produzido no processo anaeróbico, foram coletadas amostras de lodo para posterior análises.

Os pontos de coleta de lodo nos digestores serão descritos a seguir:

##### a) Digestor (escala-real)

O lodo anaeróbico, no digestor (escala-real) era coletado no poço de amostragem onde, através de tubulações de

diferentes comprimentos, obtêm-se amostras de lodo a diferentes profundidades do digestor. Os pontos de amostragem de lodo são identificados como segue:

- P1 - ponto de coleta de lodo à 0,1 m do fundo do digestor;
- P2 - ponto de coleta de lodo à 0,5 m do fundo do digestor;
- P3 - ponto de coleta de lodo à 1,0 m do fundo do digestor;
- P4 - ponto de coleta de lodo à 1,5 m do fundo do digestor;
- P5 - ponto de coleta de lodo à 2,0 m do fundo do digestor;
- P6 - ponto de coleta de lodo à 2,5 m do fundo do digestor e
- P7 - ponto de coleta de lodo à 3,2 m do fundo do digestor.

Mostra-se nas Figuras 4 e 8 o poço de amostragem de lodo.

#### b) Digestor de 4 m<sup>3</sup> (escala-piloto)

O lodo anaeróbico do digestor de 4 m<sup>3</sup> era coletado, ao longo de sua altura, através de registros de gaveta de 2", que captam o lodo a uma distância de 0,3 m da parede do digestor, assim identificados:

- P1'- ponto de coleta de lodo à 0,20m do fundo do digestor;
- P2'- ponto de coleta de lodo à 0,51m do fundo do digestor;
- P3'- ponto de coleta de lodo à 1,01m do fundo do digestor e
- P4'- ponto de coleta de lodo à 2,02m do fundo do digestor.

### 3.6 Análises realizadas

#### 3.6.1 Natureza das análises

As análises realizadas durante o experimento classificam-se em: física, química, biológica e bioquímica.

As determinações de natureza física incluem Vazão, Temperatura e Sólidos.

As determinações de natureza química foram pH, Alcal

linidade, Ácidos Voláteis, Demanda Química de Oxigênio, Nitrogênio Amoniacoal e Ortofosfato Solúvel.

A análise biológica realizada foi para determinar o número de Coliformes fecais.

A análise de natureza bioquímica realizada foi a Demanda Bioquímica de Oxigênio.

### 3.6.2 Frequência das análises

As análises das amostras de esgoto afluente e efluente, e a frequência dos testes são apresentadas na Tabela 6.

As análises com o lodo anaeróbio, resumiram-se na determinação semanal da concentração de sólidos suspensos totais e voláteis.

### 3.6.3 Métodos utilizados

As amostras coletadas foram submetidas a diversas análises, cujos métodos serão descritos a seguir:

#### 3.6.3.1 Análises físicas

Vazão - as medições de vazão (l/s) foram realizadas com o auxílio de um medidor Parshall.

Temperatura - as determinações da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), no momento da coleta, foram realizadas com termômetro de mercúrio aferido.

Sólidos - as determinações de sólidos sedimentáveis, sólidos totais e voláteis, sólidos suspensos totais e voláteis obedeceram aos procedimentos recomendados no "Standard"

Methods".

### 3.6.3.2 Análises químicas

pH - as determinações de pH foram realizadas potenciometricamente, através de um medidor de pH do tipo pHmetro-Micronal (Modelo B 278)

Alcalinidade total - determinada pelo método mencionado por Souza e Vieira (1981). O volume de amostra utilizada foi de 100 ml e a titulação da mesma se deu com o uso de uma solução de ácido sulfúrico 0,02 N. O ponto final da titulação (pH 4,5) foi detectado com o uso de um medidor de pH (pHmetro-Micronal, Modelo B 278).

Ácidos Voláteis - a determinação dos Ácidos Voláteis foi realizada segundo o método também mencionado por Souza e Vieira (1981). O pH da amostra era abaixado para pH 3,0 e em seguida a amostra era submetida à fervura durante 3 a 5 minutos. Após esfriada, titulava-se a amostra com hidróxi-do de sódio, anotando-se o volume gasto para elevar o pH de 4 a 7, esse volume é utilizado para o cálculo dos Ácidos Voláteis.

Demanda Química de Oxigênio (DQO) - a DQO foi determinada pelo método de refluxação do dicromato de potássio, segundo procedimento do "Standard Methods".

Nitrogênio Amoniacal - determinado através do Método de Nesslerização, segundo procedimento do "Standard Methods". As leituras foram realizadas em um espectrofotômetro, Modelo SHIMADZU UV-100-0 a 450 nm.

Ortofosfato Solúvel - determinado pelo Método do Ácido Ascórbico, com filtração preliminar da amostra, confor-

me procedimento do "Standard Methods". As leituras foram realizadas em um espectrofotômetro Modelo SHIMADZU UV-100-o a 880 nm.

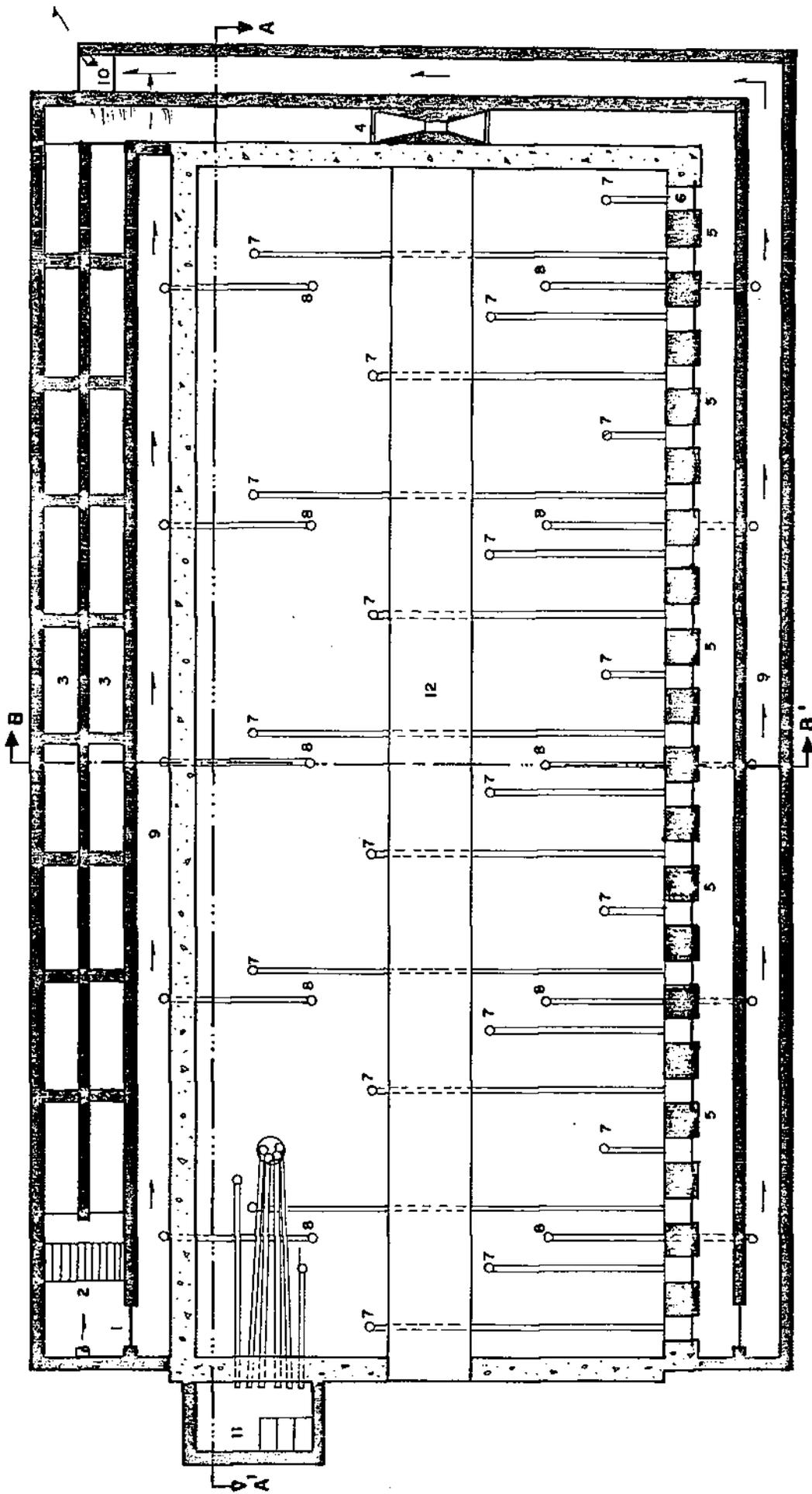
#### 3.6.3.3 Análise bioquímica

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) foi determinada pelo método dos frascos-padrão de DBO, utilizando a técnica de diluição, segundo procedimento do "Standard Methods".

#### 3.6.3.4 Análise biológica

As determinações do número de Coliformes fecais obedeceram à técnica da Membrana Filtrante, de acordo com "Standard Methods".

O número de ovos de helmintos foi determinado segundo o Método de Baillengenf ( WHO 1989 ).



**FIGURA 4 : DIGESTOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE - DAFA ( Pedregal- C. Grande- Pb.) Esc. 1:50**

Onde: 1- by-pass; 2- grade de barras; 3- caixa de areia; 4- medidor parshall; 5- canal de alimentação; 6- caixas de alimentação;  
 7- tubulação que conduz o esgoto ao fundo do digestor; 8- dispositivo de saída do esgoto; 9- canal efluente; 10- vertedor final; 11- poço  
 de amostragem de lodo; 12- passarela.

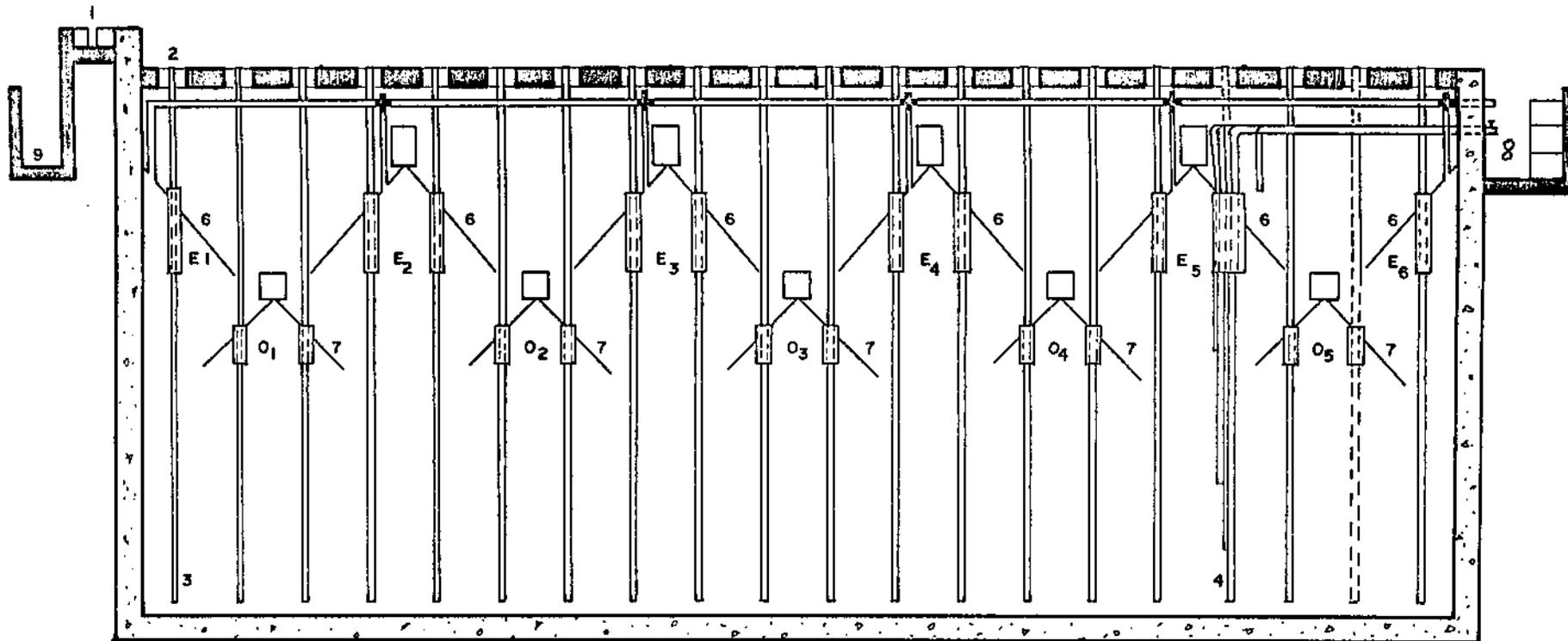


FIGURA 5 : CORTE LONGITUDINAL AA'- DIGESTOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE  
DAFA ( Pedregal ) Esc. 1:50.

Onde: 1- medidor parshall; 2 caixas de alimentação; 3-tubulação que conduz esgoto até o fundo do digester; 4- tubos de coleta de gás; 5- tubulação coleta de gás; 6- elementos do separador de fases; 7- obstáculos; 8- poço de amostragem de gás; 9- canal efluente.

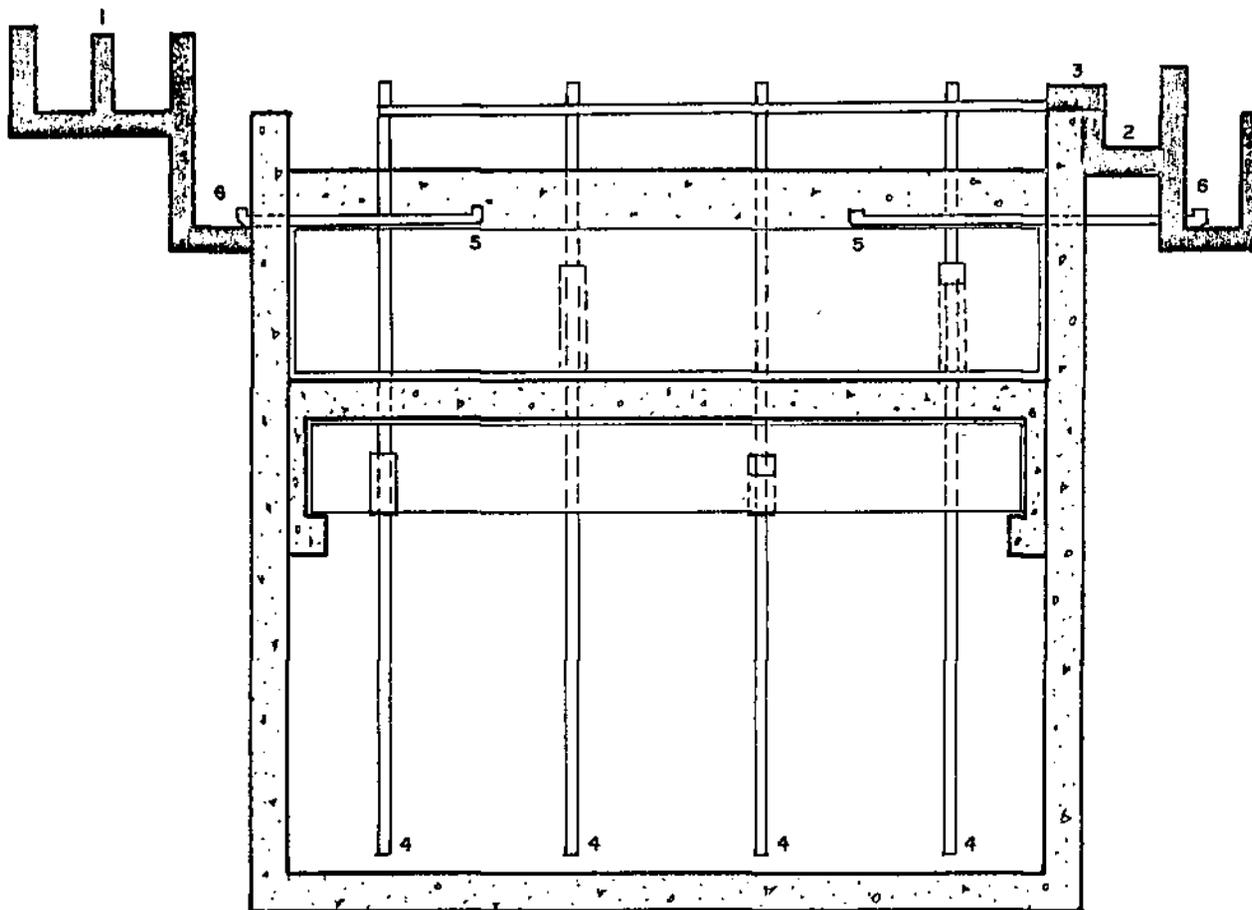


FIGURA 6 : CORTE BB' - DIGESTOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE  
DAFA ( Pedregal ) Esc. 1:40

Onda: 1- caixa de areia; 2- canal de alimentação; 3- caixa de areia; 4- tubulação que conduz o esgoto até o fundo do digestor; 5- dispositivo de saída; 6- canal efluente.

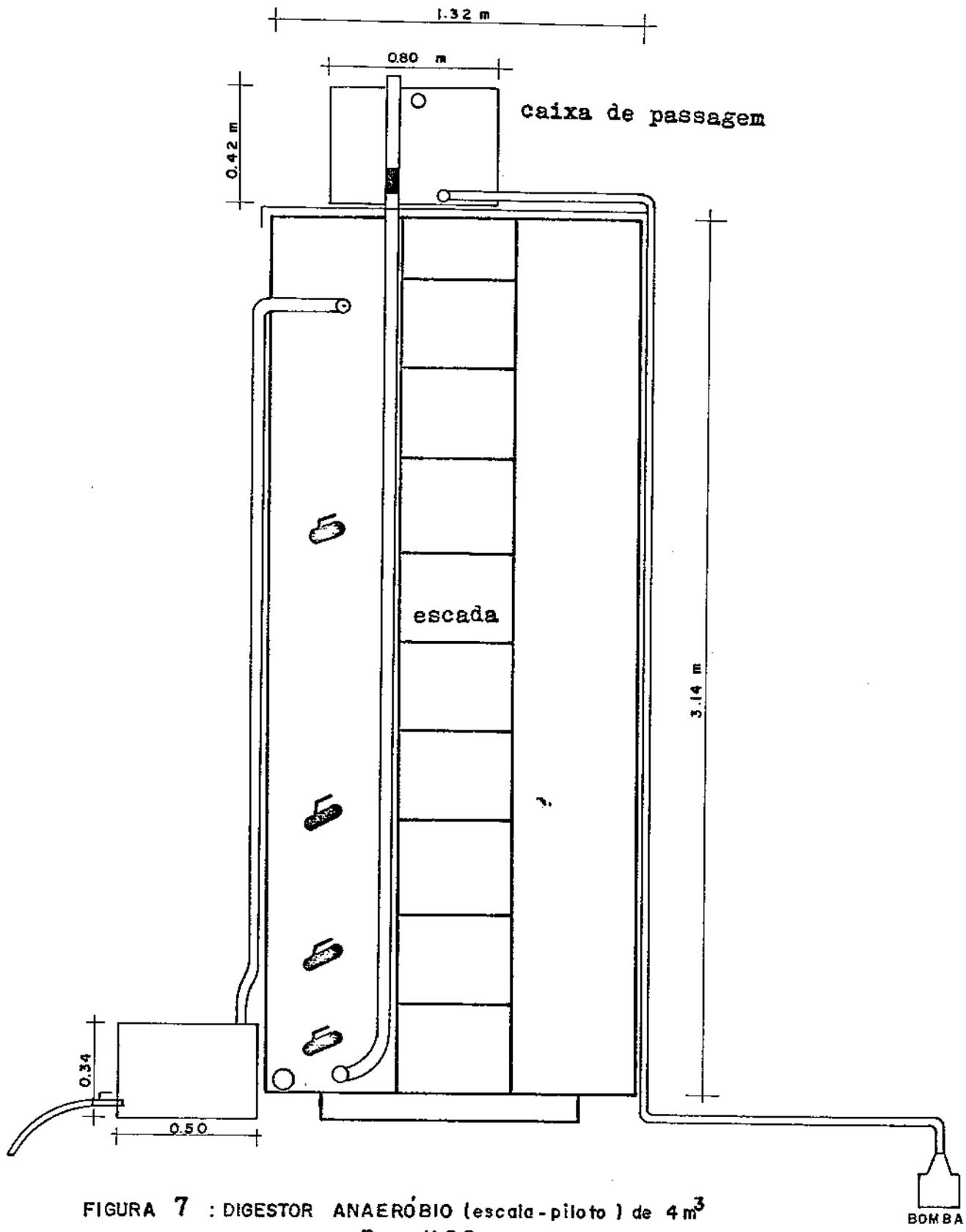


FIGURA 7 : DIGESTOR ANAERÓBIO (escada-piloto) de 4 m<sup>3</sup>  
Esc. 1: 20

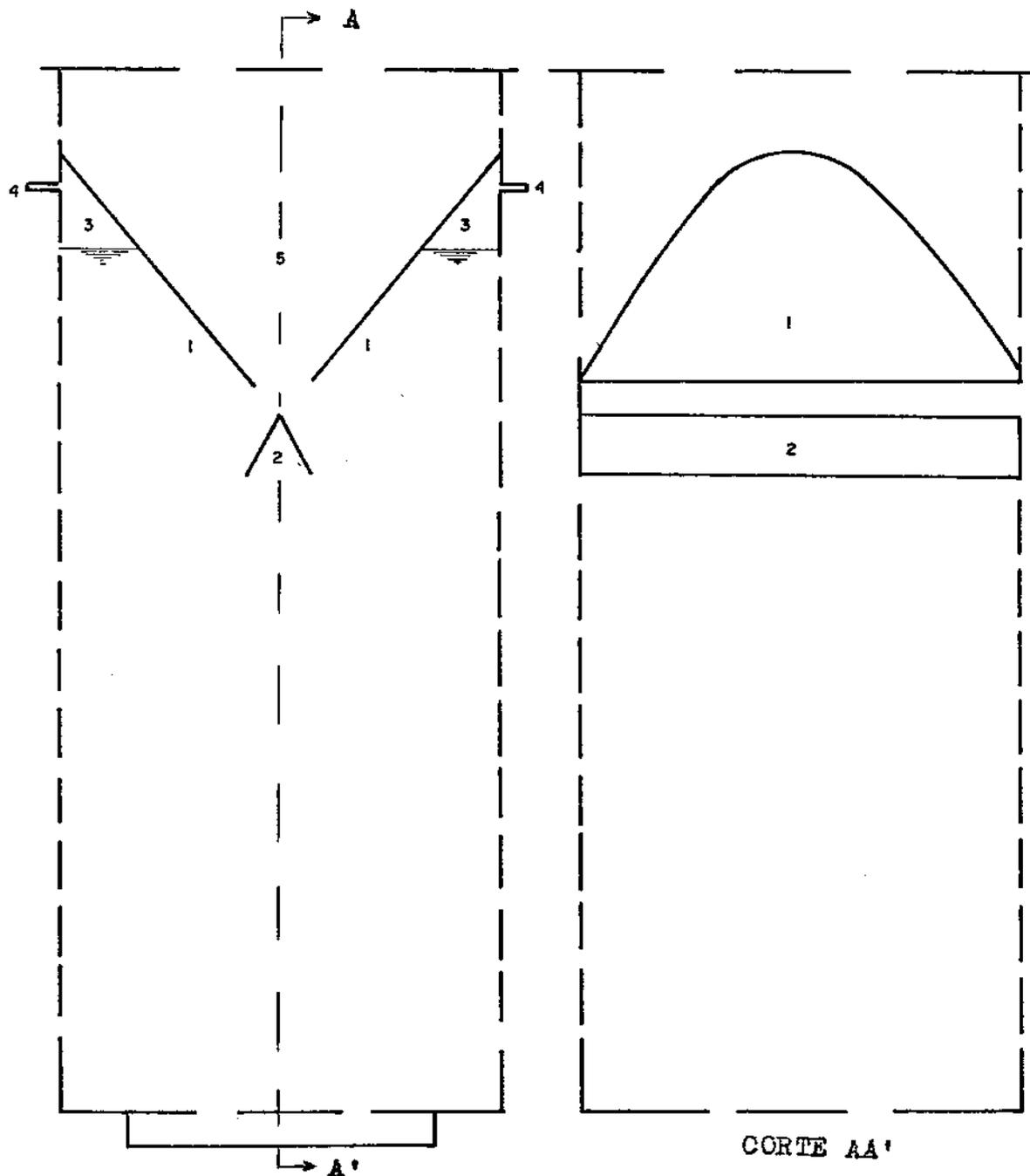


FIGURA 7a: DETALHE DO SEPARADOR DE FASES  
Esc. - 1:20

Onda : 1- separador de fases; 2- obstáculo; 3- câmara de gás; 4- retirada do gás; 5- decantador.

Tabela 6 Freqüência dos testes e análises realizadas

PARÂMETRO	ESGOTO	
	AFLUENTE	EFLUENTE
Vazão (l/s)	d	d
Temperatura (°C)	3s	3s
pH	3s	3s
Alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	3s	3s
Ácidos Voláteis (mg HAc/l)	3s	3s
DQO (mg/l)	3s	3s
DBO (mg/l)	2s	2s
Sólidos Totais(mg/l)	2s	2s
Sól Suspensos (mg/l)	2s	2s
Sól susp voláteis(mg/l)	2s	2s
Sól Sedimentáveis(ml/l)	2s	2s
N-amoniaco (mg N/l)	s	s
Ortofosfato solúvel(mgP/l)	s	s
Coliformes fecais(CF/l)	e	e
Helmintos	e	e

onde: d - uma vez por dia; s - uma vez por semana; 2s - duas vezes por semana; 3s - três vezes por semana; e - eventualmente

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1 O esgoto doméstico do Pedregal

##### 4.1.1 Quantidade estimada de esgoto

A quantidade de esgoto doméstico produzido por uma comunidade pode ser estimada a partir do número de contribuintes e do valor da contribuição "per capita" de esgoto, além das infiltrações de água de chuva e do lençol freático. Por sua vez, a contribuição "per capita" de esgoto (qe) está intimamente relacionada à taxa unitária de consumo de água potável. Assim, foi possível estimar a vazão de esgoto do Pedregal, procedendo-se da seguinte maneira:

##### a) Número de contribuintes

De posse da planta do projeto da rede coletora de esgotos do Pedregal, verificou-se no setor de cadastro da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba-CAGEPA, o número de residências com instalações sanitárias ligadas à rede coletora totalizando 998 casas. Considerando-se 5, o número de habitantes por residência, tem-se um total de 4.990 contribuintes.

##### b) Contribuição "per capita" de esgoto

Como a contribuição média "per capita" de esgoto (qe) está relacionada com o consumo médio "per capita" de água potável (qa), esta foi determinada tomando-se o consumo médio de água ( $m^3/mês$ ), no período de março/1989 a julho de 1989, dos mo

rações de 39 residências (das quadras Q 210 e Q 201 do bairro Pedregal ). O número médio de habitantes por residência ( verificado "in loco" ) foi de 5 pessoas. O consumo médio mensal de água por residência foi da ordem de  $11,78\text{m}^3$ . A partir desses dados determina-se o consumo médio "per capita" de água:  $q_a = 78,53 \text{ l/hab. dia}$ .

A relação entre esgoto e água consumida pode estar numa faixa de 70 a 130%, sendo mais usual 80% (Dacach, 1984 ). Assim, a contribuição estimada "per capita" de esgoto, considerando-se coeficiente de retorno 0,8 é de  $q_e = 62,82 \text{ l/hab.dia}$ .

Dessa forma, a vazão estimada de esgoto do Pedregal' ( Qest ) é de:

$$Q_{est} = 4.990 \text{ hab.} \times 62,82 \text{ l/hab. dia}$$

$$Q_{est} = 313,5 \text{ m}^3/\text{dia}$$

#### 4.1.2 Quantidade de esgoto doméstico

A quantidade de esgoto conduzido pela rede coletora' e que chega ao sistema de tratamento do Pedregal foi determinada através de um medidor Parshall, como descrito no item ' 3.2.1. A vazão média de esgoto afluente, foi de  $2,44 \text{ l/s}$  ou  $211,0 \text{ m}^3/\text{dia}$  ( 67% da vazão estimada ) e no terceiro período' do experimento a vazão média de esgoto foi de  $1,24 \text{ l/s}$  ou  $107,1 \text{ m}^3/\text{dia}$  ( 34,2% da vazão estimada ). As causas da diferença entre a vazão contribuinte estimada e a medida, bem como da diminuição quantitativa da vazão observada durante todo o experimento estão relacionadas, principalmente, às altas perdas ou desperdícios de água potável e aos constantes entupimentos ocorridos na rede coletora de esgotos.

#### 4.1.3 Qualidade do esgoto

Os dados apresentados na Tabela 7 representam os valores médios, mínimos e máximos, obtidos através de perfis diários, dos vários parâmetros que caracterizam física, química e bioquimicamente o esgoto doméstico do bairro do Pedregal, nos diferentes períodos do experimento. Observa-se que os valores médios de DBO e DQO são superiores àqueles reportados por Metcalf e Eddy ( 1979 ), como valores que caracterizam um esgoto médio ( ver Tabela 1 ). Já, quanto às concentrações de sólidos presentes no esgoto, verifica-se que os valores médios de sólidos totais, em todos os períodos do experimento, referem-se a um esgoto forte; enquanto que os sólidos em suspensão apresentam médias superiores à 220 mg/l, que, segundo Metcalf e Eddy (1979), é o valor médio de um esgoto do tipo médio, ( ver Tabela 1 ).

Esse caráter forte que o esgoto doméstico do Pedregal apresenta é resultado, em parte, do baixo coeficiente de retorno água-esgoto.

#### 4.1.4 Variação da quantidade e qualidade do esgoto

A quantidade e qualidade do esgoto doméstico sofrem variações temporárias em função das características do sistema de coleta e dos costumes dos habitantes.

A Tabela 8 apresenta os valores médios da vazão de esgoto em função da hora do dia, durante os diferentes períodos do experimento e os valores da vazão média diária do esgoto do Pedregal. Esses valores estão representados na Figura 8 e revelam que durante o intervalo do dia compreendido entre 23 e 15 horas a contribuição de esgoto é pequena ( menor que 50% da vazão média ). Observa-se, ainda, que no segundo e terceiro períodos do experimento, a quantidade de esgoto que chegava ao digestor, como também sua variação média, foram me

nores que durante o início da operação do DAFA (primeiro período); isso ocorreu devido aos entupimentos na rede coletora de esgotos.

A Tabela 9 apresenta as variações médias de DBO, DQO e SST (mg/l) do esgoto doméstico do Pedregal ao longo do dia e as médias diárias durante os períodos do experimento.

Observa-se que, assim como a quantidade, a qualidade do esgoto, expressa em termos de DBO, DQO e SST, apresenta valores baixos entre 24 e 4 horas e valores considerados altos (típicos de um esgoto forte) entre as 5 e 23 horas do dia.

## 4.2 Desempenho do digestor

### 4.2.1 Tempo de partida

Observando as Figuras 13 e 15 que apresentam, respectivamente, as variações das médias semanais de DBO e DQO durante os períodos do experimento, em função das semanas de operação do sistema, percebe-se que a partir da 21ª semana, após o início da operação do digestor, o efluente apresenta uma certa uniformidade e baixos valores de DBO e DQO. Esse fato é indicativo de que havia se estabelecido um equilíbrio entre a população de bactérias e a alimentação disponível, isto é, o digestor anaeróbico de fluxo ascendente, alimentado com esgoto doméstico, sem inoculação prévia nem controle de temperatura, havia atingido um regime estacionário após aproximadamente 4,8 meses (143 dias).

Os teores elevados de material em suspensão presentes no esgoto utilizado e a capacidade de retenção de sólidos do digestor, contribuíram para o sucesso da partida do DAFA.

#### 4.2.2 Tempo de detenção hidráulica ( TDH )

Para verificar o desempenho do DAFA, operado a diferentes tempos de detenção hidráulica ( TDH ), durante o experimento, reduziu-se o volume útil do digestor anaeróbio, conforme exposto no item 3.4.2. Com esse procedimento a vazão de esgoto afluyente tornou-se, em cada período do experimento definido pelo volume útil empregado, a única variável na determinação do TDH. A partir dos dados apresentados na Tabela 8 calculou-se o tempo de detenção hidráulica ou tempo de permanência do esgoto no digestor, como sendo:

$$\text{TDH médio} = V / \bar{Q}$$

onde:

$V$  = volume útil do digestor (  $\text{m}^3$  )

$\bar{Q}$  = vazão média do esgoto (  $\text{m}^3/\text{h}$  )

A Tabela 10 apresenta os valores do TDH médio para os períodos da pesquisa.

#### 4.2.3 Parâmetros de controle operacional

O controle operacional do DAFA, durante o experimento, compreendeu análises física (temperatura) e química (pH, alcalinidade e ácidos voláteis ) do esgoto, além de serviços de manutenção do sistema.

##### 4.2.3.1 Temperatura

Durante todo o experimento foram medidas as temperaturas do esgoto bruto (afluyente), do efluente e no interior do DAFA.

A Tabela 11 apresenta as médias semanais de temperatura do esgoto afluyente e efluente, em amostras coletadas às

8:00 h. Esses valores estão representados na Figura 9.

Observa-se que até a 14ª semana de operação do digestor ocorreram as menores temperaturas do esgoto em todo experimento. O afluente apresentou uma temperatura na faixa de  $24,5 \pm 1^{\circ}\text{C}$  e o efluente  $25 \pm 1,2^{\circ}\text{C}$ .

Durante a temporada de verão (da 15ª semana de operação em diante) as temperaturas médias do afluente e efluente aumentaram em  $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ : o afluente apresentou temperatura na faixa de  $26 \pm 2^{\circ}\text{C}$  e o efluente  $26,5 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ .

Verificou-se que durante todo o experimento a temperatura do esgoto efluente sempre foi ligeiramente superior a do afluente, e que ao longo do dia as temperaturas do efluente, apesar das variações de temperatura ambiental, sempre foram bem próximas do valor da temperatura tomada às 8:00 h., ou seja, não ocorreram variações significativas da temperatura do efluente ao longo do dia. Em outras palavras, o DAFA absorveu com tranquilidade as variações da temperatura ambiental ocorridas durante o experimento ( ver Tabela 12 ).

No interior do digestor, quando na realização de perfis do lodo, verificou-se temperaturas médias de 24 a  $27,5^{\circ}\text{C}$ , como pode ser visto na Tabela 16.

A predominância de temperaturas elevadas provavelmente foi o que mais contribuiu para o excelente desempenho do digestor.

#### 4.2.3.2 pH

A Tabela 13 apresenta os valores médios semanais de pH do esgoto afluente e efluente, de amostras tomadas às 8:00 h, durante o experimento, em função das semanas de operação do sistema. A Figura 10 ilustra a variação desses números.

Observa-se que o valor do pH efluente se manteve, durante todo o experimento, na faixa de 6,6 a 7,4. Embora esta faixa de pH esteja fora do limite ótimo (6,8 - 7,2 ), ainda está dentro dos limites aceitáveis de 6,5 a 7,5 para a fermentação metanogênica ( Mc Carty, 1964 ).

Na Tabela 16, pode-se ver os valores médios, mínimos e máximos de pH no interior do digestor. Esses números, também estão dentro dos limites tolerados, acima citados, e confirmam que, quanto ao pH, pode-se considerar que o comportamento do sistema é bastante uniforme, reunindo condições satisfatórias para garantir o equilíbrio do processo. Vale salientar que o pH do sistema se estabeleceu naturalmente, não havendo, portanto, necessidades de se adicionar qualquer substância para a sua correção.

#### 4.2.3.3 Alcalinidade e ácidos voláteis

O fato de em nenhum momento ter existido o perigo de azedamento do conteúdo do digestor deve-se a sua capacidade de tamponação, naturalmente elevada do esgoto bruto que, por sua vez, origina-se numa alcalinidade alta da água de abastecimento de Campina Grande.

A Tabela 14 apresenta as médias semanais da alcalinidade do esgoto afluyente e efluente, em amostras coletadas às 8:00 h. Observa-se na Figura 11, que ilustra esses valores, que há um aumento da alcalinidade no sistema que se deu, em parte, pela redução da concentração de ácidos voláteis no digestor, mas principalmente à mineralização de nitrogênio orgânico (amonificação).

A concentração de ácidos voláteis no efluente, como pode ser visto na Tabela 15, que apresenta os valores médios

semanais dos ácidos voláteis do esgoto afluente e efluente, e na Figura 12, que ilustra a variação desses valores, manteve-se sempre muito baixa, detectando-se valores sempre abaixo de 142 ppmHAc e um valor médio em torno de 60 ppmHAc, indicando uma fermentação metanogênica muito eficiente.

Os valores médios, mínimos e máximos de temperatura, pH, alcalinidade e ácidos voláteis ao longo da profundidade do digester, estão apresentados na Tabela 16. Esses resultados confirmam a estabilidade do processo biológico.

#### 4.2.3.4 Manutenção do sistema

Por não exigir dispositivos mecanizados, a manutenção do DAFA do Pedregal, durante o experimento, resumiu-se em serviços de conservação, limpeza de grade de barras e caixa de areia e desentupimento nas tubulações de entrada do esgoto. A retirada do lodo de excesso não foi realizada durante o experimento. Dessa forma, a manutenção do digester mostrou-se extremamente simples, podendo ser realizada por qualquer operário.

Um fator a ser considerado, que pode prejudicar o desempenho do DAFA, é a ocorrência de vazamento de gás, resultante da corrosão de algumas peças do digester, quando estas não são resistentes a ação corrosiva do biogás. No DAFA operado no Pedregal-Campina Grande-FB., ocorreu vazamento de gás que, provavelmente, deram-se nos pontos de solda do separador de fases.

#### 4.2.4 Remoção de material orgânico

Para verificar a eficiência do digester anaeróbio de

fluxo ascendente (DAFA) na remoção de material orgânico, observou-se as concentrações de DBO, DQO, sólidos suspensos totais (SST) e sólidos sedimentáveis no afluente e efluente do digestor, em amostras tomadas às 8:00 h., como também em amostras tomadas de 2 em 2 horas quando na realização de perfis diários

#### 4.2.4.1 Eficiência da remoção de DBO

As Tabelas 17, 18, 19, e 20 apresentam as médias semanais, com as respectivas percentagens de remoção de DBO do sistema, durante o 1º, 2º, 3º e 4º período do experimento, respectivamente. Esses resultados se referem às amostras coletadas às 8:00 hs.

Os resultados das Tabelas 17, 18 e 19 foram utilizados na construção das Figuras 13 e 14 que mostram, respectivamente, as variações das médias semanais de DBO afluente e efluente, e as variações da eficiência de remoção de DBO total e DBO decantado, ao longo das semanas de operação do sistema.

Os valores médios, em cada período, de DBO afluente e efluente decantado, com as respectivas percentagens de remoção estão apresentadas na Tabela 21.

Observando esses resultados, verifica-se que no 1º período do experimento as remoções de DBO foram baixas, apresentando um valor médio de 50,7%. Observa-se, ainda, que na 12ª semana de operação (ver Tabela 17) a remoção de DBO diminuiu de 65% para 52,3% permanecendo próxima desse valor até a 14ª semana. Essa queda na remoção de DBO deveu-se a ocorrência de vazamentos de gás, detectado através do borbulhamento na superfície líquida do DAFA que, provavelmente, prejudicou a decantação de sólidos no interior do digestor, afetando seu desempenho.

No 2º período do experimento a remoção de DBO voltou a se elevar, apesar de continuar com os vazamentos de gás. A partir da 21ª semana de operação, quando o DAFA atingiu o estado estacionário, os valores observados de remoção de DBO foram muito altos, apresentando valores médios de remoções de DBO no efluente total e no efluente decantado de 89% e 93,2%, respectivamente. Nesse período o digestor operou com um TDH de 16 horas.

Observando a remoção de DBO ocorrida no 3º período do experimento, nota-se uma pequena diminuição do seu valor médio, em todo período, mas que de forma alguma deve ser interpretado como uma queda no desempenho do DAFA, visto que, nesse período, o TDH médio foi de apenas 7,2 horas. As remoções médias de DBO no efluente total e no efluente decantado foram, respectivamente, 88% e 91,1%.

No 4º período do experimento, onde se operou o DAFA piloto com  $4m^3$ , com um TDH de apenas 3,0 horas, as remoções médias de DBO no efluente total e no efluente decantado foram respectivamente 78,1% e 84,3%.

Os perfis diários de DBO realizados com o efluente do digestor, durante os períodos do experimento, revelaram que o esgoto tratado apresenta, apesar das variações da concentração de DBO afluente, uma certa uniformidade ao longo do dia, indicando que o digestor é capaz de absorver a variação de carga aplicada ( Tabela 30 ). Os valores médios diários de DBO no efluente do DAFA, no 1º, 2º, 3º e 4º períodos do experimento foram, respectivamente, 250 mg/l, 80 mg/l, 84 mg/l e 105 mg/l.

Analisando esses resultados, reconhece-se que é necessário corrigir os valores das remoções de DBO, porque esses valores foram calculados a partir das médias, em cada

período, de DBO afluente e efluente de amostras coletadas às 8:00 h do dia. E, como mostra a Tabela 9, que apresenta as variações de DBO do esgoto afluente ao longo do dia, a média diária é inferior ao valor médio às 8:00 h. Assim, os valores médios de DBO do esgoto afluente em todos os períodos serão corrigidos, de forma que representem o valor médio diário. No item 4.2.4.5 mostra-se as correções realizadas.

#### 4.2.4.2 Eficiência de remoção da DQO

As Tabelas 22, 23, 24 e 25 apresentam as médias semanais, com as respectivas percentagens de remoção da DQO, durante o 1º, 2º, 3º e 4º períodos do experimento, respectivamente. Esses resultados se referem às amostras coletadas às 8:00 h. As Figuras 15 e 16 foram elaboradas com os dados das Tabelas 22, 23 e 24 e representam, respectivamente, as variações das médias semanais da DQO afluente, efluente e efluente decantado, e as variações da eficiência de remoção da DBO no efluente total e no efluente decantado, ao longo das semanas de operação do sistema.

A Tabela 26 apresenta um resumo com os valores médios, de cada período, da DQO afluente e efluente com suas respectivas remoções.

Como pode ser visto, a partir desses dados, a remoção de DQO ao longo do experimento apresentou comportamento semelhante à remoção da DBO.

Durante o 1º período, as remoções da DQO foram baixas, em virtude de o DAFA não ter, ainda, atingido o regime estacionário. A média de remoção da DQO no efluente total, nesse período, foi de apenas 55,8% (ver Tabela 22).

No 2º período, onde o DAFA operou com um TDH médio de

16 horas, as remoções da DQO aumentaram, apresentando, a partir da 21ª semana de operação do sistema (quando foi atingido o regime estacionário), um valor médio de 84,4% de remoção da DQO no efluente total (ver Tabela 23).

Mesmo com a redução do TDH para 7,2 horas, no 3º período, as remoções da DQO foram muito elevadas (ver Tabela 24) o que mostra o bom desempenho do DAFA operando a curto TDH.

O mesmo ocorreu com o DAFA piloto de 4 m<sup>3</sup>, cuja operação se deu no 4º período. Com um TDH de apenas 3 horas, as remoções de DQO foram muito boas, apresentando, em todo período uma média de 63,1% no efluente total.

Os resultados das médias diárias da DQO no efluente do DAFA nos 1º, 2º, 3º e 4º períodos do experimento foram 443 mg/l, 190 mg/l, 200 mg/l e 348 mg/l, respectivamente. Os perfis diários mostraram que o efluente do DAFA é bastante uniforme em termos da concentração da DQO, ao longo do dia.

As remoções de DQO, a exemplo da DBO, estão corrigidas no item 4.2.4.5.

#### 4.2.4.3 Eficiência da remoção de sólidos suspensos totais

A Tabela 27 apresenta os valores médios semanais de sólidos suspensos totais (mg/l) no esgoto afluente e efluente do DAFA ao longo dos três primeiros períodos do experimento. Observa-se que a remoção aumenta gradualmente, apresentando valores baixos durante a partida do digestor, e altos após o DAFA ter atingido o regime estacionário. Esse comportamento pode ser verificado através da Tabela 28 que apresenta as médias em cada período.

Essas remoções, a exemplo da DBO e DQO, estão corrigidas no item 4.2.4.5.

#### 4.2.4.4 Eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis

Na Tabela 27 apresentam-se os valores médios semanais (afluente, efluente e as respectivas remoções) dos sólidos sedimentáveis, em função do tempo de operação do DAFA. Observa-se que nas primeiras doze semanas de operação, a concentração de sólidos sedimentáveis no efluente foi menor que o valor mínimo detectável (0,1 ml/l). A partir da 13ª semana, detectou-se uma alta concentração de sólidos sedimentáveis no efluente, mesmo antes de se reduzir o tempo de permanência do esgoto na 15ª semana. Isso ocorreu devido ao aparecimento de vazamentos de gás que prejudicou a sedimentação dos sólidos no interior do digestor. Nas semanas seguintes houve uma diminuição gradual de sólidos sedimentáveis no efluente, estabelecendo-se um valor médio no 2º período (e a partir da 21ª semana) de aproximadamente 1 ml/l e no 3º período, uma média de 0,5 ml/l.

Tendo-se no afluente, um valor médio diário de sólidos sedimentáveis na faixa de 7 a 8,5 ml/l (ver Tabela 7) a eficiência de remoção se situa em torno de 85 a 95%. Acredita-se que este valor aumentaria caso não existissem os vazamentos de gás, que permaneceram até o final do experimento.

É interessante observar que os sólidos no efluente, são constituídos de lodo granulado, com alto grau de estabilização diferindo pois, dos sólidos do afluente, rico em matéria orgânica não degradada ou apenas parcialmente degradada.

Dessa forma, o potencial poluidor dos sólidos sedimentáveis do efluente do DAFA é muitas vezes inferior ao dos sólidos do afluente.

#### 4.2.4.5 Correção das remoções de DBO, DQO e SST

Os valores médios do afluente e as remoções médias de DBO, DQO e SST de cada período, apresentados nos itens anteriores necessitam ser corrigidos, devido ao fato desses números se referirem às amostras coletadas às 8:00 h que, por sua vez, têm valores superiores às médias diárias, em se tratando do afluente. Já quanto ao efluente não é preciso fazer a correção pois, a variação ao longo do dia é bastante pequena, podendo - se considerar os valores de DBO, DQO e SST efluente às 8:00 h como a média diária do efluente.

O fator de correção (Fc) empregado, reflete a razão entre a média diária e o valor médio às 8:00 h do afluente, e representa a média dos fatores de correção dos quatro períodos do experimento, conforme a seguinte expressão:

$$Fc = ( Fc1 + Fc2 + Fc3 + Fc4 ) / 4$$

com:  $Fc1 = Md(P1) / M8(P1)$

$$Fc2 = Md(P2) / M8(P2)$$

$$Fc3 = Md(P3) / M8(P3)$$

$$Fc4 = Md(P4) / M8(P4)$$

onde:  $Fc1, Fc2, Fc3$  e  $Fc4$  - fatores de correção do 1º, 2º, 3º e 4º períodos do experimento, respectivamente  
 $Md(P1), Md(P2), Md(P3)$  e  $Md(P4)$  - médias diárias do afluente no 1º, 2º, 3º e 4º período do experimento, respectivamente (ver Tabela 9).

$M8(P1), M8(P2), M8(P3)$  e  $M8(P4)$  - valor médio do afluente às 8:00 h., no 1º, 2º, 3º e 4º período respectivamente (ver Tabela 9).

- Cálculo do fator de correção para DBO (Fc-DBO)

$$Fc-DBO = ( Fc1-DBO + Fc2-DBO + Fc3-DBO + Fc4-DBO ) / 4$$

onde:  $Fc1-DBO = 391 / 628 = 0,62$

$$Fc2-DBO = 386 / 623 = 0,62$$

$$Fc3-DBO = 495 / 740 = 0,67$$

$$Fc4-DBO = 359 / 560 = 0,64$$

logo:  $Fc-DBO = ( 0,62 + 0,62 + 0,67 + 0,64 ) / 4$

$$\underline{Fc-DBO = 0,64}$$

- Cálculo do fator de correção para DQO (Fc-DQO)

$$Fc-DQO = ( Fc1-DQO + Fc2-DQO + Fc3-DQO + Fc4-DQO ) / 4$$

onde:  $Fc1-DQO = 802 / 1454 = 0,55$

$$Fc2-DQO = 675 / 1214 = 0,56$$

$$Fc3-DQO = 631 / 960 = 0,66$$

$$Fc4-DQO = 627 / 1010 = 0,62$$

logo:  $Fc-DQO = ( 0,55 + 0,56 + 0,66 + 0,62 ) / 4$

$$\underline{Fc-DQO = 0,59}$$

- Cálculo do fator de correção para SST (Fc-SST)

$$Fc-SST = ( Fc2-SST + Fc3-SST ) / 2$$

Onde:  $Fc2-SST = 288 / 603 = 0,48$

$$Fc3-SST = 264 / 610 = 0,43$$

logo:  $Fc-SST = ( 0,48 + 0,43 ) / 2$

$$\underline{Fc-SST = 0,46}$$

## a) Correção dos valores da DBO

O valor médio da DBO (afluente às 8 horas) a ser considerado no cálculo da remoção média em cada período, será corrigido com o auxílio da expressão:

$$\overline{DBO}(af1) = Fc-DBO \times \overline{DBO}(af1-8h)$$

onde:  $\overline{DBO}(af1)$  - valor corrigido da média de DBO afluente às 8 horas, no período;

$Fc-DBO$  - fator de correção da DBO;

$\overline{DBO}(af1-8h)$  - valor médio (a ser corrigido) da DBO afluente às 8 horas no período.

- Correções das remoções de DBO nos diferentes períodos:

1º Período:  $\overline{DBO}(af1-8h) = 554 \text{ mg/l}$  Tabela 21

$\overline{DBO}(ef1-8h) = 273 \text{ mg/l}$  Tabela 21

$Fc-DBO = 0,64$

logo:  $\overline{DBO}(af1) = 0,64 \times 554 = 354 \text{ mg/l}$

então: Remoção DBO no efluente total =  $(354 - 273)/354$

Remoção DBO no efluente total = 22,9%

2º Período:  $\overline{DBO}(af1-8h) = 774 \text{ mg/l}$  Tabela 21

$\overline{DBO}(ef1-8h) = 79 \text{ mg/l}$  Tabela 21

$\overline{DBO}(ef1 \text{ decantado}-8h) = 52 \text{ mg/l}$  Tabela 21

$Fc-DBO = 0,64$

logo:  $\overline{DBO}(af1) = 0,64 \times 774 = 495 \text{ mg/l}$

então: Remoção DBO no efluente total =  $(495-79)/495 = 84\%$

e remoção DBO no efluente decantado =  $(495-52)/495 = 89,5\%$

3º Período:  $\overline{DBO}(af1-8h) = 710 \text{ mg/l}$  Tabela 21  
 $\overline{DBO}(ef1-8h) = 85 \text{ mg/l}$  Tabela 21  
 $\overline{DBO}(ef1 \text{ decantado}-8h) = 63 \text{ mg/l}$  Tabela 21  
 $Fc-DBO = 0,64$

logo:  $\overline{DBO}(af1) = 0,64 \times 710 = 454 \text{ mg/l}$

então: remoção DBO no efluente total =  $(454 - 85)/454 = 81,3\%$   
remoção DBO no efluente decantado =  
 $= (454 - 63)/454 = 86,1\%$

4º Período:  $\overline{DBO}(af1-8h) = 502 \text{ mg/l}$  Tabela 21  
 $\overline{DBO}(ef1-8h) = 110 \text{ mg/l}$  Tabela 21  
 $\overline{DBO}(ef1 \text{ decantado}-8h) = 79 \text{ mg/l}$  Tabela 21  
 $Fc-DBO = 0,64$

logo:  $\overline{DBO}(af1) = 0,64 \times 502 = 321 \text{ mg/l}$

então: remoção DBO no efluente total =  $(321 - 110)/321 = 65,7\%$   
remoção DBO no efluente decantado  
 $= (321 - 79)/321 = 75,4\%$

#### b) Correção dos valores da DQO

O valor médio da DQO (afluente às 8 horas) a ser considerado no cálculo da remoção média, em cada período, será corrigido com o auxílio da expressão:

$$\overline{DQO}(af1) = Fc-DQO \times \overline{DQO}(af1-8h)$$

onde:  $\overline{DQO}(af1)$  - valor corrigido da média da DQO afluenta às 8 horas, no período;

$Fc-DQO$  - fator de correção da DQO;

$\overline{DQO}(af1-8h)$  - valor médio (a ser corrigido) de DQO afluenta às 8 horas, no período.

- Correções das remoções de DQO nos diferentes períodos:

1º Período:  $\overline{DQO}(af1-8h) = 1027 \text{ mg/l}$  Tabela 26

$\overline{DQO}(ef1-8h) = 454 \text{ mg/l}$  Tabela 26

$\overline{DQO}(ef1 \text{ decantado}-8h) = 257 \text{ mg/l}$  Tabela 26

$Fc-DQO = 0,59$

logo:  $\overline{DQO}(af1) = 0,59 \times 1027 = 606 \text{ mg/l}$

então: remoção DQO no efluente total =  $(606-454)/606 = 25,1\%$

remoção DQO no efluente decantado

=  $(606-257)/606 = 57,6\%$

2º Período:  $\overline{DQO}(af1-8h) = 1292 \text{ mg/l}$  Tabela 26

$\overline{DQO}(ef1-8h) = 202 \text{ mg/l}$  Tabela 26

$\overline{DQO}(ef1 \text{ decantado}-8h) = 124 \text{ mg/l}$  Tabela 26

$Fc-DQO = 0,59$

logo:  $\overline{DQO}(af1) = 0,59 \times 1292 = 762 \text{ mg/l}$

então: remoção DQO no efluente total =  $(762-202)/762 = 73,5\%$

remoção DQO no efluente decantado

=  $(762-124)/762 = 83,7\%$

3º Período:  $\overline{DQO}(af1-8h) = 1037 \text{ mg/l}$  Tabela 26  
 $\overline{DQO}(ef1-8h) = 199 \text{ mg/l}$  Tabela 26  
 $\overline{DQO}(ef1 \text{ decantado}-8h) = 164 \text{ mg/l}$  Tabela 26  
 $Fc-DQO = 0,59$

logo:  $\overline{DQO}(af1) = 0,59 \times 1037 = 612 \text{ mg/l}$

então: remoção DQO no efluente total =  $(612-199)/612 = 67,5\%$   
remoção DQO no efluente decantado  
=  $(612-164)/612 = 73,2\%$

4º Período:  $\overline{DQO}(af1-8h) = 973 \text{ mg/l}$  Tabela 26  
 $\overline{DQO}(ef1-8h) = 359 \text{ mg/l}$  Tabela 26  
 $\overline{DQO}(ef1 \text{ decantado}-8h) = 225 \text{ mg/l}$  Tabela 26  
 $Fc-DQO = 0,59$

logo:  $\overline{DQO}(af1) = 0,59 \times 973 = 574 \text{ mg/l}$

então: remoção DQO no efluente total =  $(574-359)/574 = 37,4\%$   
remoção DQO no efluente decantado  
=  $(574-225)/574 = 60,8\%$

### c) Correção dos valores de SST

O valor médio de SST (afluente às 8 horas) a ser considerado no cálculo da remoção média, em cada período, será corrigido com o auxílio da expressão:

$$\overline{SST}(af1) = Fc-SST \times \overline{SST}(af1-8h)$$

onde:  $SST(afl)$  - valor corrigido da média de SST afluente às 8 horas, no período;

$Fc-SST$  - fator de correção de SST

$SST(afl-8h)$  - valor médio (a ser corrigido) de SST afluente às 8 horas, no período.

- Correções da remoções de SST nos períodos

2º Período:  $\overline{SST}(afl-8h) = 677 \text{ mg/l}$  Tabela 28

$\overline{SST}(efl-8h) = 144 \text{ mg/l}$  Tabela 28

$Fc-SST = 0,46$

logo:  $\overline{SST}(afl) = 0,46 \times 677 = 311 \text{ mg/l}$

então: remoção SST no efluente  $= (311 - 144)/311 = 53,7\%$

3º Período:  $\overline{SST}(afl-8h) = 671 \text{ mg/l}$  Tabela 28

$\overline{SST}(efl-8h) = 167 \text{ mg/l}$  Tabela 28

$Fc-SST = 0,46$

logo:  $\overline{SST}(afl) = 0,46 \times 671 = 309 \text{ mg/l}$

então: remoção SST no efluente  $= (309 - 167)/309 = 46\%$

A Tabela 29 apresenta as remoções corrigidas de DBO, DQO e SST em função do tempo de detenção hidráulico (TDH), obtidas na pesquisa com o DAFA.

#### 4.2.5 Carga orgânica aplicada ao sistema

A Tabela 30 apresenta os valores médios das cargas orgânicas de DBO e DQO (em Kg/dia e Kg/m<sup>3</sup>.dia), aplicadas ao DAFA, durante os quatro períodos do experimento. As cargas orgânicas (CO) foram calculadas de acordo com as expressões:

$$CO \text{ (Kg DBO/dia)} = DBO \text{ (Kg/m}^3\text{)} \times Q \text{ (m}^3\text{/dia)}$$

$$CO_v \text{ (Kg DBO/m}^3\text{dia)} = \frac{DBO \text{ (Kg/m}^3\text{)} \times Q \text{ (m}^3\text{/dia)}}{\text{Volume útil (m}^3\text{)}}$$

$$CO \text{ (Kg DQO/dia)} = DQO \text{ (Kg/m}^3\text{)} \times Q \text{ (m}^3\text{/dia)}$$

$$CO_v \text{ (Kg DQO/m}^3\text{dia)} = \frac{DQO \text{ (Kg/m}^3\text{)} \times Q \text{ (m}^3\text{/dia)}}{\text{Volume útil (m}^3\text{)}}$$

Para o cálculo das cargas orgânicas (CO) fez-se uso dos dados constantes nas Tabelas 8 e 9. A vazão média considerada no 4º período foi de 1,33 m<sup>3</sup>/h.

Observa-se que os baixos valores de carga, nos primeiros períodos, ocorreram em função da pequena quantidade de esgoto que chegava ao digestor, visto que, o sistema possui capacidade de absorver maiores cargas como ocorreu no 4º período do experimento, onde a alimentação do DAFA-piloto, deu-se por bombeamento.

A capacidade do processo em absorver a variação de carga orgânica é verificada pela boa qualidade do efluente, os baixos valores de ácidos voláteis e a alta atividade do lodo.

#### 4.2.6 Remoção de nutrientes e organismos patogênicos

Para determinar a eficiência de remoção de nutrientes, observou-se a concentração de amônia e de ortofosfato solúvel no esgoto afluente e efluente do DAFA.

As Tabelas 31 e 32 apresentam os resultados das análises de amostras coletadas às 8 horas, em termos de médias semanais de nitrogênio amoniacal e ortofosfato solúvel, em função das semanas de operação do sistema.

Examinando a Tabela 31, observa-se que em algumas semanas os valores de nitrogênio amoniacal no efluente foram inferiores aos do afluente; porém os resultados de perfis diários revelaram que a média diária de amônia no afluente foi de 29 mg N/l, enquanto que o efluente apresentou uma média diária em torno de 50 mg N/l, ou seja, ocorreu um aumento significativo da concentração de amônia, devido a amonificação do nitrogênio orgânico do esgoto afluente.

Na Tabela 32, observa-se que ocorreu um pequeno aumento no valor do ortofosfato solúvel no efluente, em amostras coletadas às 8 horas. Os resultados de perfis diários confirmaram esse pequeno aumento: as médias de ortofosfato solúvel ao longo do dia no afluente e efluente foram, respectivamente, 3 e 4 mg P/l. Durante o experimento não foi realizada análise de fósforo total, mas a literatura informa que a remoção de fósforo total alcançada pelo DAFA é em torno de 40 a 50%.

Para avaliar a eficiência do DAFA na remoção de organismos patogênicos, observou-se a variação da concentração de coliformes fecais e ovos de helmintos no afluente e efluente do digestor.

A Tabela 33 apresenta os valores médios das concentrações de coliformes fecais e do número de ovos de helmintos no

afluente e efluente do DAFA, durante o 2º e 3º períodos do experimento. Quanto a remoção de coliformes fecais, observou-se que no 2º período o DAFA, operando com um TDH de 16 horas, removeu 75%; enquanto que no 3º período, a remoção de coliformes fecais caiu para 52%, operando com um TDH de 7,2 horas. Embora parecendo ser pouca, essas reduções do número de coliformes fecais é considerável quando se leva em conta os baixos tempos de detenção hidráulica.

Observa-se, também, que a remoção do número de ovos de helmintos foi de: 85,3 % no 2º período e 91,6 % no 3º período do experimento. Embora sendo grande essas reduções, a concentração residual ainda é alta, sendo aconselhável um pós-tratamento.

Na prática, usa-se o critério de que, para uso irrestrito de efluentes de estações de tratamento de esgoto na irrigação, a concentração de coliformes fecais e helmintos não deve exceder os 1000 CF/l e 1 ovo/l. Desse modo necessitar-se-ia de uma eficiência de remoção de mais que 99,99 % para ambos coliformes fecais (CF) e helmintos.

#### 4.2.7 O lodo anaeróbio

##### 4.2.7.1 Crescimento e composição do lodo

A Tabela 34 apresenta a concentração de sólidos totais em suspensão, em diferentes profundidades do DAFA-escala real, onde havia pontos de amostragem, em função do tempo de operação do sistema. Observa-se que no fundo do digestor o lodo se formou rapidamente: após algumas semanas já se tinha uma alta concentração, que veio a se estabilizar na faixa de 70 g/l na 11ª a 13ª semana de operação; enquanto que nas profundidades intermediárias a concentração aumentou gradualmente até quando se optou pela redução do volume útil do digestor na 15ª semana de operação do sistema.

Nas semanas seguintes, após a redução do volume útil do DAFA, observou-se uma acentuada diminuição da massa de lodo no digestor, que não foi acompanhada por uma diminuição da eficiência de remoção do material orgânico, nem da presença expressiva de sólidos sedimentáveis no efluente. Existe a possibilidade de que parte do lodo tenha se deslocado para a região distante dos pontos de coleta de lodo.

O efeito mais notável da diminuição do tempo de permanência do esgoto no digestor, através da redução do volume do DAFA (que a partir da 31ª semana foi de 7,2 horas) foi o que resultou na estratificação bem definida da concentração dos sólidos em suspensão. A concentração relativamente alta no fundo do digestor (em torno de 70 g/l) cai para um valor bem menor a 1,0 m acima do fundo do DAFA (30,5 g/l) e para valores muito baixos (4,3 g/l) a 1,5 m do fundo do digestor. Esse tipo de perfil de lodo é bem favorável para um bom desempenho do digestor (Haskoning, 1989).

Quanto a composição do lodo, a Tabela 34 também nos

tra a fração de lodo orgânico. Observa-se que a fração orgânica do lodo não varia muito com o tempo de operação do sistema nem com a profundidade do digestor; tendo-se uma fração de 50 a 60 % dos sólidos totais em suspensão como sólidos orgânicos

Para se determinar a massa de lodo anaeróbio, considerou-se que cada ponto de amostragem reflete a concentração de lodo a uma altura de 0,25 m acima e abaixo de sua profundidade.

A Tabela 35 apresenta a massa de lodo anaeróbio, no DAFA-escala real, em Kg SST, em função da profundidade do digestor para o 2º e 3º períodos do experimento.

Observa-se que durante o 2º período, onde o volume útil do digestor foi de  $64 \text{ m}^3$ , a massa de lodo acumulada foi de 1086 Kg SST e no 3º período ( $32 \text{ m}^3$  de volume útil do DAFA) a massa de lodo acumulada foi de 543 Kg SST. Considerando-se a fração orgânica do lodo de 0,55 dos sólidos totais, tem-se 597 Kg SSV e 299 Kg SSV como massa de lodo no 2º e 3º período respectivamente.

Ainda na Tabela 35 é apresentada a massa de lodo ao longo da profundidade do DAFA-piloto. Pode-se observar que a manta de lodo apresentou uma estratificação bem definida da concentração de sólidos em suspensão, semelhante à estratificação verificada no DAFA-escala real.

A massa de lodo anaeróbio no DAFA-piloto foi de aproximadamente 73,5 Kg SST. Considerando a fração orgânica de 0,55, tem-se uma massa de lodo de 40,4 Kg SSV.

#### 4.2.7.2 Atividade metanogênica específica (AME) do lodo

A atividade metanogênica do lodo anaeróbio, expressa em Kg DQO/KgSSV.dia, pode ser determinada a partir da remoção de DQO, da taxa de carga aplicada e da massa de lodo no diges

tor, ou seja:

$$AME = (TCA) \times (Rem\ DQO) \times (Vol) / ML$$

onde: AME - atividade metanogênica específica do lodo;

TCA - taxa de carga aplicada, (em Kg DQO/m<sup>3</sup>.dia);

Rem DQO - remoção da DQO no efluente decantado(%);

Vol - volume útil do digestor (em m<sup>3</sup>);

ML - massa de lodo anaeróbico (em Kg SSV)

a) Cálculo de AME no 2º período:

$$TCA = 1,2 \text{ Kg DQO/m}^3 \text{ dia} \quad \text{Tabela 30}$$

$$Rem\ DQO = 83,7\ \% \quad \text{Tabela 29}$$

$$Volume\ útil = 64 \text{ m}^3$$

$$ML = 597 \text{ Kg SSV}$$

$$\text{logo: } AME = (1,2 \times 0,837 \times 64) / 597$$

$$\underline{AME = 0,11 \text{ Kg DQO/Kg SSV.dia}}$$

b) Cálculo de AME no 3º período:

$$TCA = 2,5 \text{ Kg DQO/m}^3 \text{ .dia} \quad \text{Tabela 30}$$

$$Rem\ DQO = 73,2\ \% \quad \text{Tabela 29}$$

$$Volume\ útil = 32 \text{ m}^3$$

$$ML = 299 \text{ Kg SSV}$$

$$\text{logo: } AME = (2,5 \times 0,732 \times 32) / 299$$

$$\underline{AME = 0,196 \text{ Kg DQO/Kg SSV.dia}}$$

c) Cálculo de AME no 4º período:

$$TCA = 5,0 \text{ Kg DQO/m}^3 \text{ dia}$$

Tabela 30

$$\text{Rem DQO} = 60,8 \%$$

Tabela 29

$$\text{Volume útil} = 4 \text{ m}^3$$

$$ML = 40,4 \text{ Kg SSV}$$

$$\text{logo: AME} = (5,0 \times 0,608 \times 4) / 40,4$$

$$\underline{\text{AME} = 0,301 \text{ Kg DQO/Kg SSV.dia}}$$

Observa-se que esses valores são superiores aos obtidos em Cali-Colômbia (0,1 KgDQO/KgSSV.dia) e por Nobre e Guimarães (0,15 KgDQO/KgSSV.dia). Isso revela uma excelente atividade do lodo anaeróbico no sistema operado.

### 4.3 Considerações sobre o desempenho do DAFA

Examinando a Tabela 29, que apresenta os resultados do desempenho do DAFA instalado no Pedregal-Campina Grande - Paraíba, na remoção de matéria orgânica do esgoto doméstico, observa-se que o melhor desempenho do digestor anaeróbio de fluxo ascendente ocorreu durante o 3º período do experimento, onde, pode-se aliar excelentes remoções da DBO e DQO (81,3% e 67,5%, respectivamente) no efluente total em um curto TDH de 7,2 horas.

Esses resultados ganham expressão quando comparados com outros bons resultados obtidos em DAFAs tratando esgoto doméstico. A Tabela 36 apresenta alguns resultados de eficiência na remoção de matéria orgânica, expresso em DBO, DQO e SST, em função de tempo de detenção hidráulica (TDH) de diferentes DAFAs (inclusive os resultados obtidos na presente pesquisa).

Dos resultados obtidos com DAFAs que possuem o dispositivo de separação de fases, observa-se que em uma faixa de tempo de detenção hidráulica de 4 a 8 horas, foram alcançadas remoções da DBO no efluente total de 74 a 81,3 % e remoções da DQO no efluente total de 65 a 67,5 %. Verifica-se, ainda, que a filtração ou decantação remove uma fração da DBO e DQO efluentes, significando que caso uma efetiva separação posterior de sólidos em suspensão (que escapam do digestor) fosse implementada, seria possível aumentar a remoção do material orgânico. Comparando esses resultados com os obtidos em DAFAs que não possuem o separador de fases, nota-se um desempenho nitidamente inferior desses em relação àqueles; o que justifica a instalação desse dispositivo interno, mesmo que para isso seja aumentado o custo de implantação da unidade de tratamento.

A Figura 17 apresenta os valores percentuais da DBO remanescente em função do tempo de detenção hidráulica, resultantes de operações com DAFAs com separador de fases, DAFAs sem separador de fases (DAFA simplificado) e lagoas anaeróbicas no tratamento de esgoto doméstico. Foi possível, a partir desses dados, obter a melhor relação entre a eficiência na remoção de DBO e o TDH requerido para as três unidades de tratamento de esgotos.

Observando a Figura 17 verifica-se que para se obter uma remoção média de 80 % de DBO, o DAFA com separador de fases deverá ser dimensionado para operar com um tempo médio de detenção hidráulica (TDH) de apenas 7,2 horas; enquanto que o DAFA simplificado (sem separador de fases) e a lagoa anaeróbia necessitariam de um TDH de 27 e 120 horas, respectivamente, ou seja, o DAFA necessitará ter um volume 3,75 vezes maior caso não possua o dispositivo de separação de fases e o volume da lagoa anaeróbia seria aproximadamente 16,7 vezes maior que o volume requerido pelo DAFA, dotado de dispositivo de separação de fases.

Comparado ao processo de lodos ativados, o digestor anaeróbio de fluxo ascendente apresenta como vantagens o baixo custo de implantação e manutenção do sistema e a simplicidade operacional, visto que não utiliza equipamentos eletromecânicos, nem consome energia para aeração.

Observa-se, também, que o reduzido volume da unidade de tratamento, em consequência do curto TDH requerido pelo DAFA, possibilita a implantação de unidades, compactas, aplicáveis em áreas urbanas densamente povoadas ou onde a disponibilidade de terreno ou o custo do mesmo impeça a utilização de lagoas de estabilização. Outra vantagem da implantação de unidades compactas, descentralizadas, é a economia que se tem de investimentos na implantação de sistema coletor.

**TABELAS**

**E**

**FIGURAS**

Tabela 9

Características do esgoto doméstico de Pedregal-Campina Grande-PB., nos diferentes períodos do experimento.

PARÂMETRO	1º PERÍODO			2º PERÍODO			3º PERÍODO			4º PERÍODO		
	$\bar{X}$	min	max	$\bar{X}$	min	max	$\bar{X}$	min	max	$\bar{X}$	min	max
pH	7,7	6,7	8,0	7,6	6,8	7,9	7,6	6,7	7,8			
Temperatura (°C)	25,5	23	26,5	26,7	24,5	28	26,6	26	28			
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	318	203	497	238	104	455	250	193	400			
Ácidos Voláteis (mg HAc/l)	92	35	138	63	21	217	83	53	141			
D B O (mg/l)	391	61	628	386	90	623	495	91	740	359	90	560
D Q O (mg/l)	802	100	1454	675	124	1214	631	95	960	627	100	1010
Nitrogênio-amônia (mg N/l)				29	6	55	38	8	75			
Ortofosfato solúvel (mg P/l)				6,5	1,5	10	3,5	1	7			
Sólidos sedimentáveis (ml/l)	8,3	0,5	20	7,5	0,5	15	8,4	1,5	18			
Sólidos Totais (mg/l)	1326	650	1810	1133	860	1754	1204	850	1695			
Sólidos Voláteis totais(mg/l)	796	382	1305	755	474	1174	713	465	1135			
Sólidos Suspensos totais(mg/l)				288	40	614	264	60	610			

Tabela 8 Variação de vazão diária e suas médias, em l/s, do esgoto doméstico do Pedregal , nos diferentes períodos do experimento

PERÍODO	HORAS DO DIA												MÉDIA DIÁRIA (l/s)
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	2	
1º	0,5	2,12	3,78	4,58	4,34	3,47	3,54	3,07	2,19	0,92	0,4	0,4	2,44
2º	0,52	0,96	1,41	1,52	1,47	1,40	1,49	1,35	1,29	1,28	0,38	0,24	1,11
3º	0,24	1,22	1,75	1,86	1,88	1,68	1,54	1,64	1,48	1,00	0,38	0,24	1,24

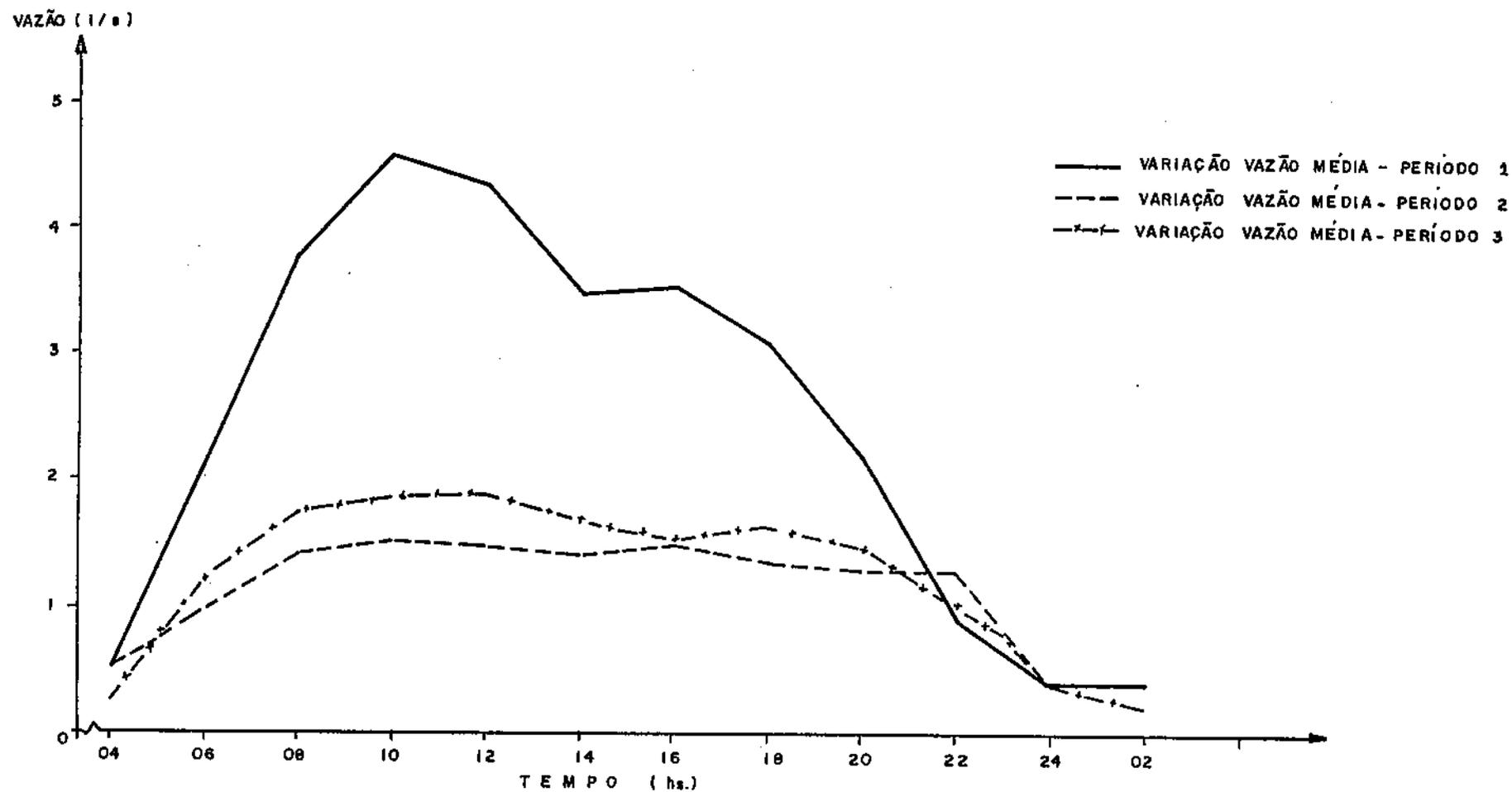


FIGURA 8 : VARIÇÃO DA VAZÃO DE ESGOTO (l/s) DO PEDREGAL / CAMPINA GRANDE - Pb, AO LONGO DO DIA, NOS DIFERENTES PERÍODOS DO EXPERIMENTO.

Tabela 9 Variações da DBO, DQO e sólidos suspensos totais (SST) do esgoto doméstico do Pedregal ao longo do dia e suas médias diárias, durante os períodos do experimento.

PERÍODO	PARÂ- METRO	H	O	R	A	S	D				O	I	A	MÉDIA DIÁRIA
		4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	2	
1ª	DBO (mg/l)	61	418	628	549	486	423	438	493	420	422	203	149	391
2ª		90	388	623	606	464	361	455	456	380	417	296	90	386
3ª		92	481	740	764	710	560	571	530	460	540	400	91	495
4ª		90	358	560	510	495	420	410	395	383	305	280	100	359
1ª	DQO (mg/l)	100	1096	1454	1141	1066	850	710	825	718	1106	350	210	802
2ª		176	863	1214	1075	801	629	645	706	792	740	340	124	675
3ª		95	800	960	936	846	665	712	700	670	703	332	156	631
4ª		100	740	1010	960	815	700	705	703	690	695	300	110	627
2ª	SST (mg/l)	68	372	603	499	431	184	399	215	295	205	152	40	288
3ª		77	150	610	482	435	190	400	200	285	195	89	60	264

Tabela 10 Volume útil do digestor, vazão média de esgoto e tempo médio de detenção hidráulica (TDH), durante os períodos do experimento.

PERÍODO	DATA	VOLUME ÚTIL (m <sup>3</sup> )	VAZÃO MÉDIA (m <sup>3</sup> /h)	TDH MÉDIO (h)
1º	05/06/89 à 14/09/89	160	8,78	18,2
2º	15/09/89 a 04/01/90	64	4,00	16,0
3º	05/01/90 a 04/05/90	32	4,46	7,2
4º(*)	14/03/90 a 30/05/90	4	1,33	3,0

TDH médio = Volume útil / Vazão média

(\*) O 4º período refere-se à operação com o digestor escala-piloto de 4 m<sup>3</sup> (vazão constante de 1,33 m<sup>3</sup>/h).

Tabela 11 Valores médios semanais de Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) do esgoto afluyente e efluente do DAFA/Pedregal, em função do tempo de operação do sistema, dado em semanas durante o experimento

SO	TEMPERATURA ( $^{\circ}\text{C}$ )		ND
	AFLUENTE	EFLUENTE	
4	25,5	26	4
5	25,2	25,4	5
6	24,8	25,1	5
7	24,1	24,3	5
8	24,8	25,2	5
9	25,7	26,2	3
10	22,7	23,5	3
11	23,7	24,0	3
12	24,0	24,0	1
13	23,8	24,2	2
14	24,2	24,8	2
15	25,0	26,2	2
16	24,3	25,3	3
17	25,0	25,8	3
18	26,0	27,0	3
19	25,2	26,3	3
20	26,4	26,8	4
21	26,0	26,8	2
22	26,2	26,8	3
23	25,8	26,2	3
25	26,2	26,6	4
26	26,2	26,7	3
27	26,5	26,8	3
28	26,0	26,2	2
29	26,3	26,5	3
30	26,0	26,0	2
32	26,5	26,2	3
33	26,7	27,0	3

continua

Tabela 11

continuação

SO	TEMPERATURA (°C)		ND
	AFLUENTE	EFLUENTE	
43	27,5	26,8	4
44	28,0	27,6	5
45	26,5	26,0	3

SO - semana de operação após início de funcionamento do sistema

ND - número de determinações

Amostras coletadas às 8:00 h

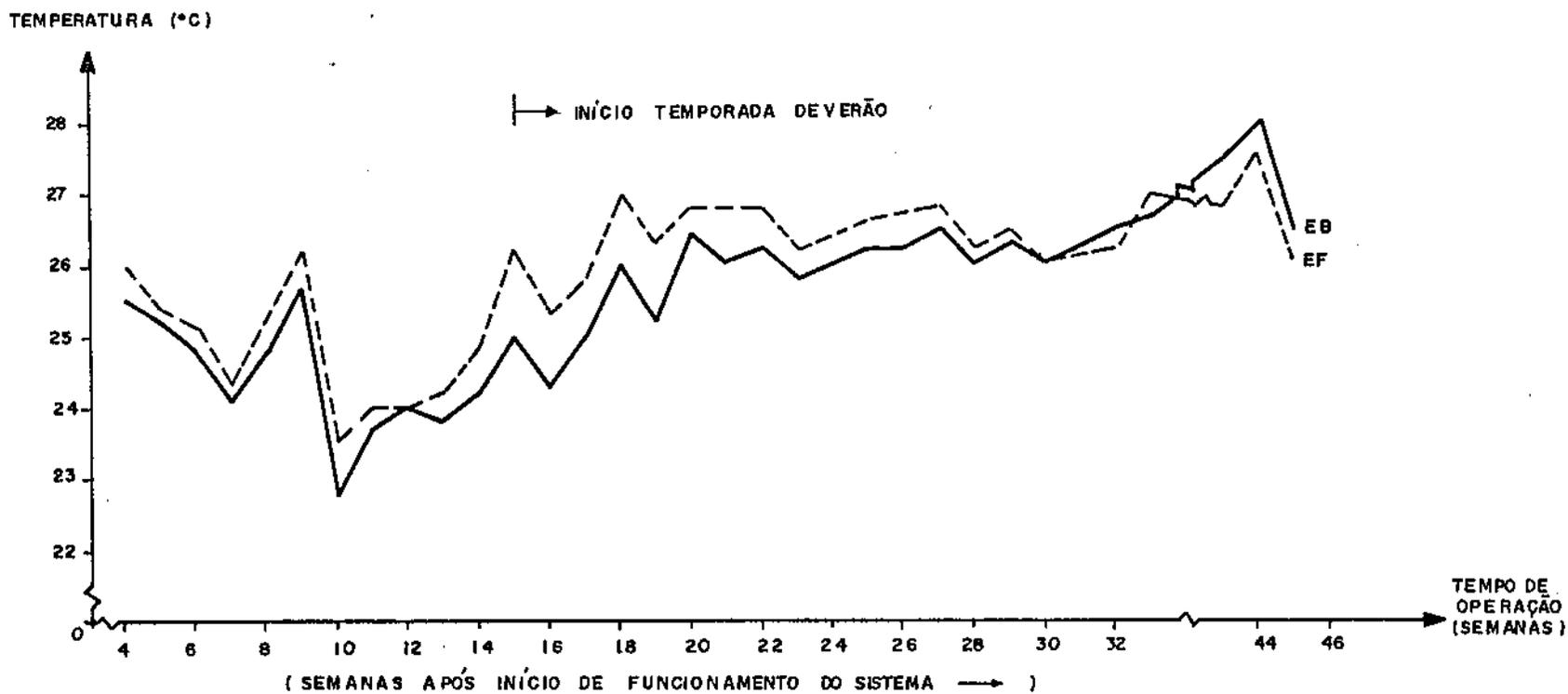


FIGURA 9 : VARIACÃO DAS MÉDIAS SEMANAIS DA TEMPERATURA (°C) DO ESGOTO BRUTO (EB) E DO EFLUENTE (EF) DO DAFA PEDREGAL, CAMPINA GRANDE PB. - PERÍODO DE 27/06/89 A 11/04/90 - AMOSTRAS COLETADAS ÀS 8:00 HORAS.

Tabela 12 Valores médios da temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ ) máxima e mínima, durante o experimento.

PERÍODO	TEMPERATURA AMBIENTE ( $^{\circ}\text{C}$ )	
	MÁXIMA	MÍNIMA
1 <sup>o</sup>	31	17,5
2 <sup>o</sup>	37	19
3 <sup>o</sup>	36	18
4 <sup>o</sup>	35	16

Tabela 13 Valores médios semanais de pH do esgoto afluente e efluente do DAFA/Pedregal, em função do tempo de operação do sistema, dado em semanas durante o experimento

SD	p H		ND
	AFLUENTE	EFLUENTE	
4	8,0	7,4	4
5	7,7	6,9	5
6	7,6	7,2	5
7	7,5	7,0	5
8	7,5	7,2	4
9	7,8	7,0	3
10	7,8	7,2	3
11	7,8	7,2	3
12	7,8	7,2	1
13	7,8	7,2	2
14	7,8	7,3	2
15	7,6	7,0	2
16	7,8	7,0	3
17	7,6	7,0	3
18	7,4	7,1	3
19	7,7	7,2	3
20	7,8	7,2	4
21	8,1	7,2	2
22	7,8	6,9	3
23	7,6	6,9	3
25	7,5	6,8	4
26	7,6	6,7	3
27	7,6	6,6	3
28	7,5	6,9	3
29	7,5	6,7	3
30	7,4	6,7	2

continua

Tabela 13

continuação

SO	p H		ND
	AFLUENTE	EFLUENTE	
32	7,6	6,7	3
33	7,6	6,7	3
43	7,3	6,6	4
44	7,4	6,6	5
45	7,4	6,7	3
46	7,4	6,7	3
47	7,4	6,7	2
48	7,2	6,8	3
MÉDIA	7,6	6,9	

SO - semana de operação após início de funcionamento do sistema.

ND - número de determinações.

Amostras coletadas às 8:00 h.

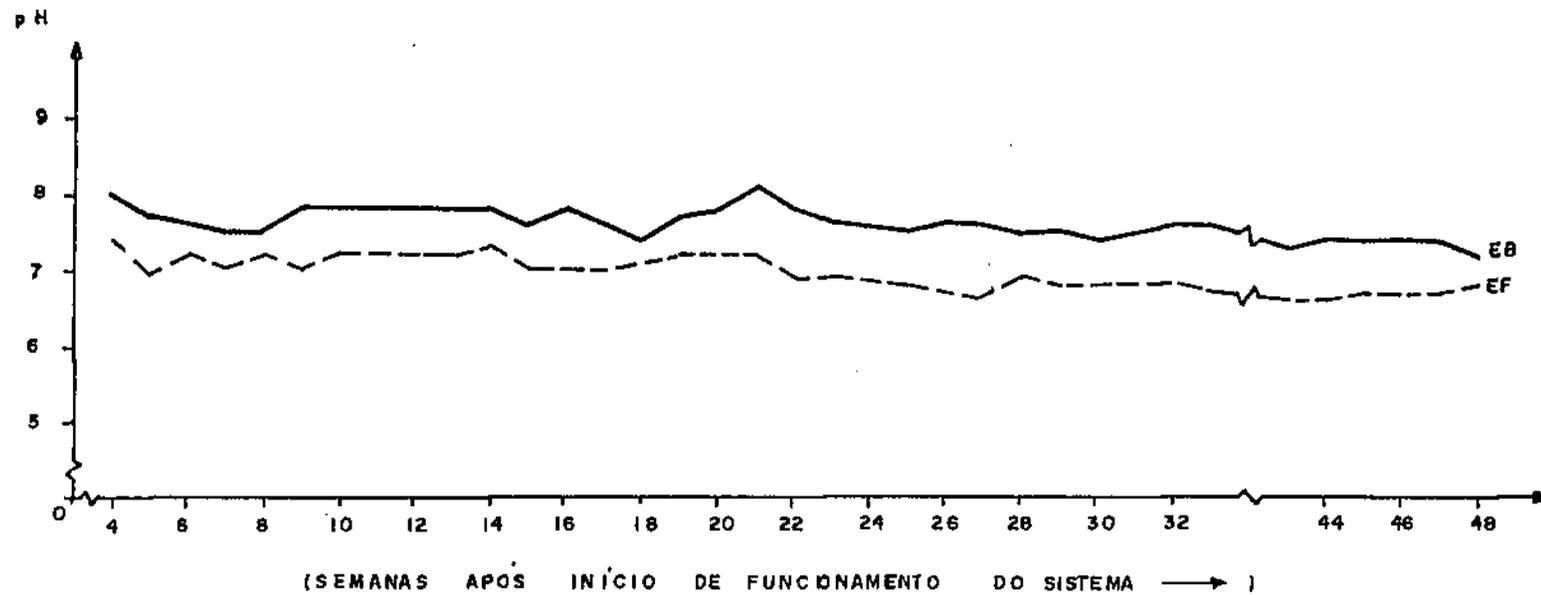


FIGURA 10 : VARIAÇÃO DAS MÉDIAS SEMANAIS DE pH DO ESGOTO BRUTO (EB) E EFLUENTE (EF) DO DAFA / PEDREGAL, CAMPINA GRANDE PB, - PERÍODO DE 27/06/89 A 04/05/90 - AMOSTRAS COLETADAS ÀS 8:00 hs.

Tabela 14 Valores médios semanais da Alcalinidade do esgoto afluyente e efluente do DAFA/Padregal, em função do tempo de operação, dado em semanas, durante o experimento.

SO	ALCALINIDADE (mgCaCO <sub>3</sub> /l)		ND
	AFLUENTE	EFLUENTE	
4	360	424	4
5	312	383	5
6	284	388	5
7	327	381	5
8	266	348	4
9	355	346	3
10	319	395	3
11	294	363	3
12	266	353	2
13	308	383	2
14	278	369	2
15	234	340	2
16	271,	382	3
17	302	409	3
18	310	391	3
19	281	429	3
20	332	399	4
21	390	408	2
22	301	417	3
23	299	447	3
25	268	368	4
26	220	325	3
27	277	372	3
28	338	410	2
29	336	438	3
30	336	434	2

continua

Tabela 14

continuação

SD	ALCALINIDADE (mgCaCO <sub>3</sub> /l)		ND
	AFLUENTE	EFLUENTE	
32	302	429	3
33	315	413	3
43	308	372	4
44	326	337	5
45	308	374	3
46	323	411	3
47	297	407	2
48	301	433	3
MÉDIA	304	390	

SD - semana de operação após início de funcionamento do sistema.

ND - número de determinações.

Amostras coletadas às 8:00 h.

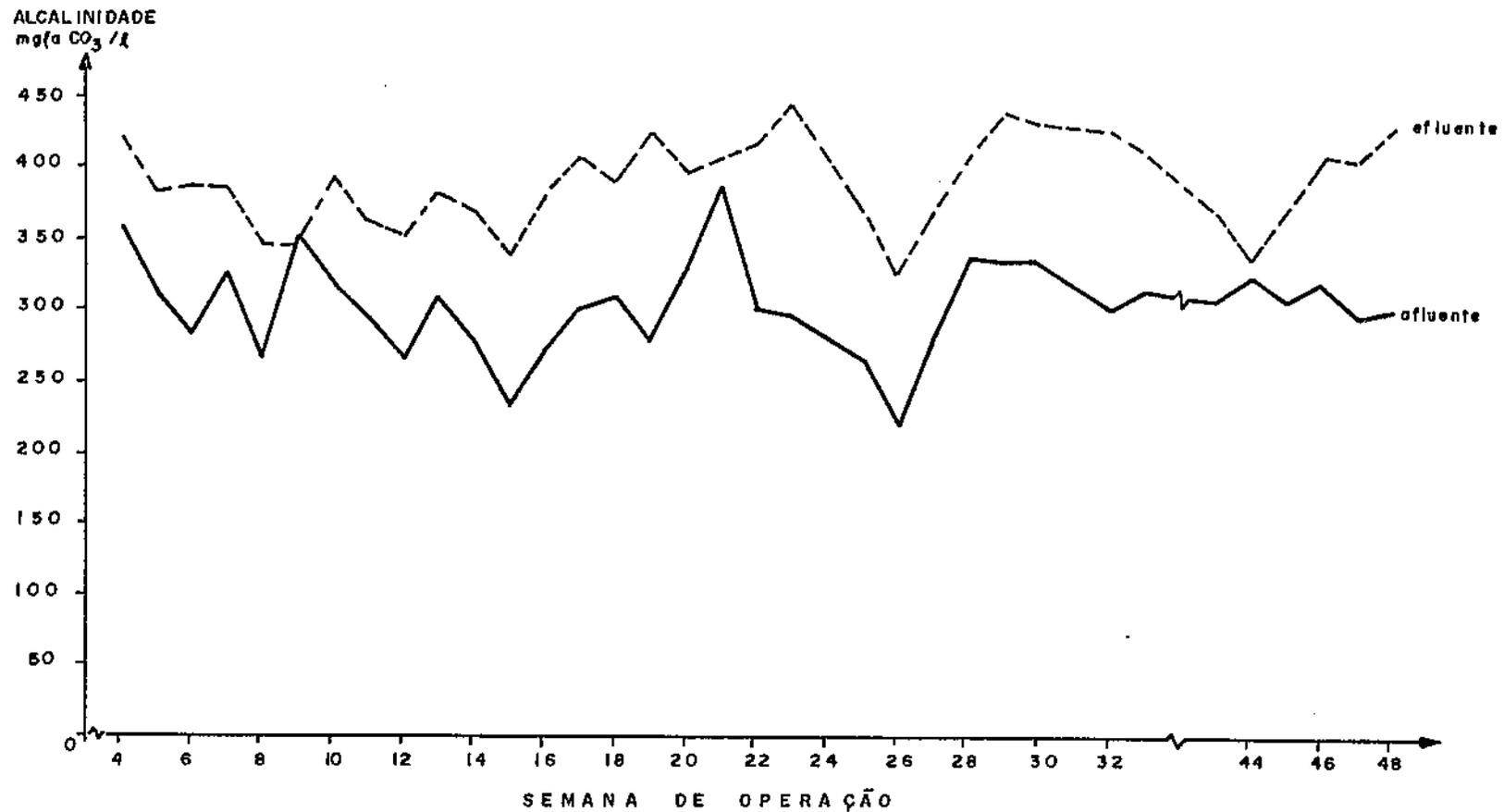


FIGURA 11 : VARIACÃO DAS MÉDIAS SEMANAIS DE ALCALINIDADE DO ESGOTO AFLUENTE E FLUENTE DO DAFA / PEDREGAL - CAMPINA GRANDE PB. DURANTE O EXPERIMENTO (27/06/89 A 04/05/90) - AMOSTRAS COLETADAS ÀS 8 HORAS.

Tabela 15 Valores médios semanais de Ácidos Voláteis ' do esgoto afluyente e efluente do DAFA/Pedregal, em função do tempo de operação, dado em semanas, durante o experimento.

SD	ÁCIDOS VOLÁTEIS (mgHAc/l)		ND
	AFLUENTE	EFLUENTE	
4	110	141	4
5	100	107	5
6	51	76	5
7	71	85	5
8	59	66	4
9	81	87	3
10	78	86	3
11	71	66	3
12	50	53	2
13	61	58	2
14	66	54	2
15	50	46	2
16	63	45	3
17	77	51	3
18	57	42	3
19	70	37	3
20	95	31	4
21	84	32	2
22	74	38	3
23	77	43	3
25	115	50	3
26	78	30	3
27	142	47	3
28	131	42	2
29	123	48	3
30	146	46	2

continua

Tabela 15

continuação

SO	ÁCIDOS VOLÁTEIS		ND
	(mgHAc/l)		
	AFLUENTE	EFLUENTE	
32	115	48	3
33	105	48	3
43	103	44	4
44	134	61	5
45	86	54	2
46	123	88	3
47	76	62	2
48	82	50	3
MÉDIA	88	58	

SO - semana de operação após início de funcionamento do sistema.

ND - número de determinações.

Amostras coletadas às 8:00 h.

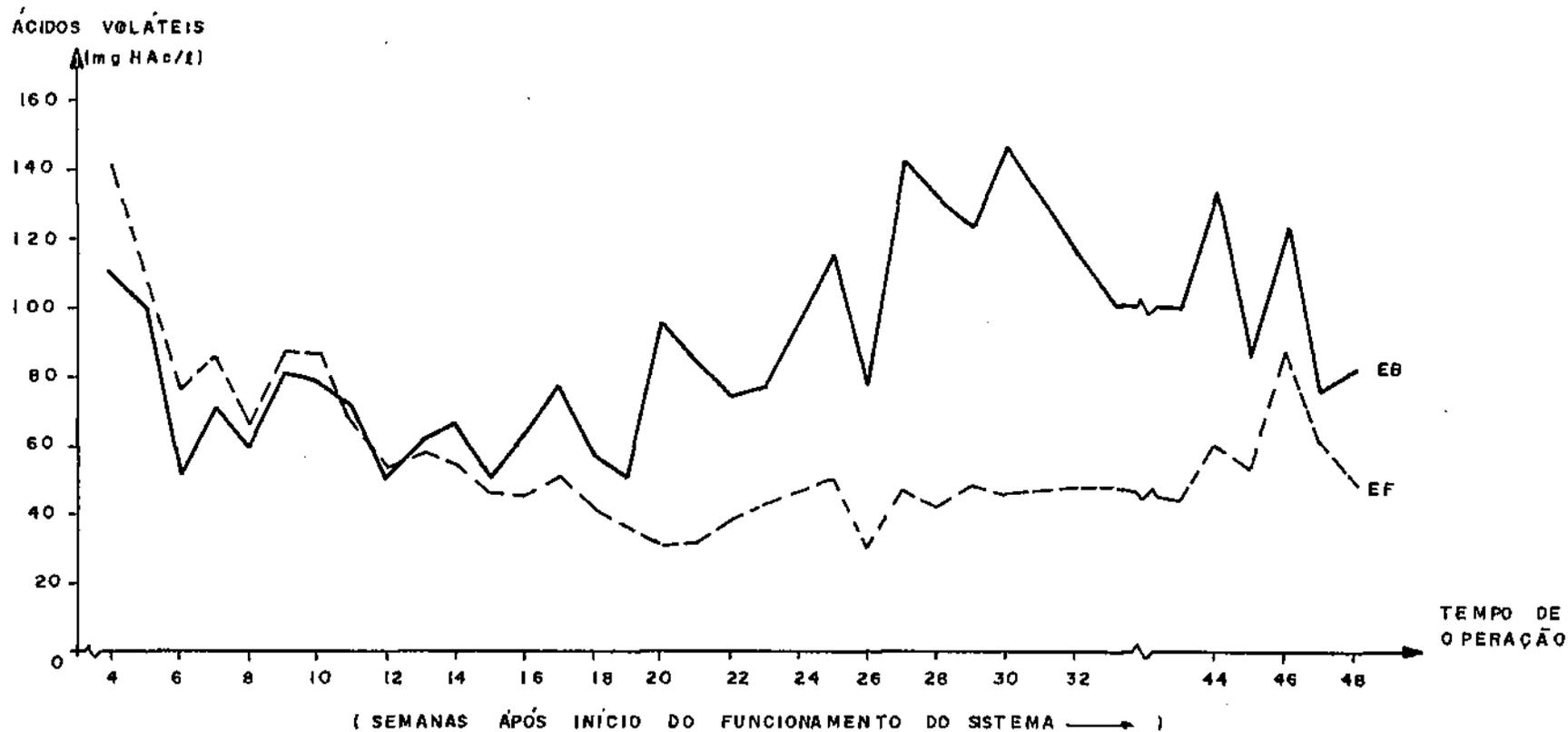


FIGURA 12 : VARIAÇÃO DAS MÉDIAS SEMANAIS DE ÁCIDOS VOLÁTEIS DO ESGOTO BRUTO (EB) E DO EFLUENTE (EF) DO DAFA / PEDREGAL , CAMPINA GRANDE Pb. - PERÍODO DE 27/06/89 À 04/05/90 AMOSTRAS COLETADAS ÀS 8:00 hs.

Tabela 16 Valores médios, mínimos e máximos de temperatura, pH, alcalinidade e ácidos voláteis no interior do DAFA (escala-real) em diferentes profundidades.

PROFUNDI- DADE. (m)	TEMPERA- TURA (°C)	pH	ALCALINI- DADE KgCaCO <sub>3</sub> /l	ÁCIDOS VOLÁTEIS KgHAc/l
2,5	25 (24 - 26)	7,1 (6,7-7,2)	398 (307-432)	38 (24 - 53)
3,0	26 (24,5-26,5)	7,0 (6,7-7,4)	407 (305-443)	39 (33 - 51)
3,5	26 (25 - 27)	6,9 (6,6-7,4)	416 (307-486)	36 (31 - 45)
3,9	26,5 (25 - 27,5)	7,1 (6,9-7,3)	404 (314-459)	37 (33 - 53)

Tabela 17 Valores médios semanais da DBO do esgoto afluyente (AF) e efluente (EF) do DAFA/Pe dregal, com suas respectivas percentagens de remoção da DBO, em função do tempo de operação, dado em semanas, durante o 1º período do experimento.

SO	D B O (mg/l)		REMOÇÃO %	ND
	AF	EF	AF/EF	
4	622	332	46,6	3
5	573	304	46,9	5
6	427	249	41,7	5
7	578	346	40,1	3
8	450	300	33,3	2
9	475	220	53,7	2
10	710	277	61,0	2
11	643	225	65,0	2
12	535	255	52,3	2
13	550	250	54,5	2
14	530	245	53,8	2

SO - semana de operação após início de funcionamento do sistema.

ND - número de determinações.

Amostras coletadas às 8:00 h.

Tabela 18 Valores médios semanais da DBD afluente (AF), efluente (EF) e efluente decantado (EFd) do DAFA/Pedregal, com suas respectivas percentagens de remoção de DBD, em função do tempo de operação, dado em semanas, durante o 2º período do experimento.

SD	D B D (mg/l)			REMOÇÃO %		ND
	AF	EF	EFd.	AF/EF	AF/EFd	
16	650	230		64,6		2
17	585	220		62,4		2
18	880	270		69,3		2
19	798	184	142	76,9	82,2	2
20	765	184	71	75,9	90,7	3
21	848	76	66	91,0	92,2	2
22	488	101	48	79,3	90,2	2
23	636	39	28	93,9	95,6	2
25	773	78	53	89,9	93,1	2
27	568	71	38	87,5	93,3	2
28	661	75	28	88,5	95,7	2
29	819	88	74	89,3	91,0	2
30	1402	102	83	92,7	94,1	2

SD - semana de operação após início de funcionamento do sistema.

ND - número de determinações.

Amostras coletadas às 8:00 h.

Tabela 19 Valores médios semanais da DBD afluenta (AF), efluente (EF) e efluente decantado (EFd) do DAFA Pedregal, com suas respectivas percentagens de remoção de DBD, em função do tempo de operação, dado em semanas, durante o 3º período do experimento.

SO	D B D (mg/l)			REMOÇÃO (%)		ND
	AF	EF	EFd	AF/EF	AF/EFd	
32	639	84	71	86,8	88,9	3
33	750	90	58	88,0	92,3	3
34	740	82	60	88,9	91,9	3

SO - semana de operação após início de funcionamento do sistema.

ND - número de determinações.

AMOSTRAS COLETADAS ÀS 8:00 h.

Tabela 20 Valores médios semanais da DBO afluente (AF), efluente (EF) e efluente decantado (EFd) do DAFA Pedregal, com suas respectivas percentagens de remoção de DBO, em função do tempo de operação, dado em semanas, durante o 4º período do experimento.

SO	D B O (mg/l)			REMOÇÃO (%)		ND
	AF	EF	EFd	AF/EF	AF/EFd	
3	458	148	72	67,7	84,3	1
5	497		106		78,7	1
7	368	75	50	79,6	86,4	1
8	390	44	26	88,7	93,3	1
9	610	83	80	86,4	86,9	1
10	691	200	141	71,0	79,6	1

SO - semana de operação após início de funcionamento do sistema.

ND - número de determinações.

Amostras coletadas às 8:00 h.

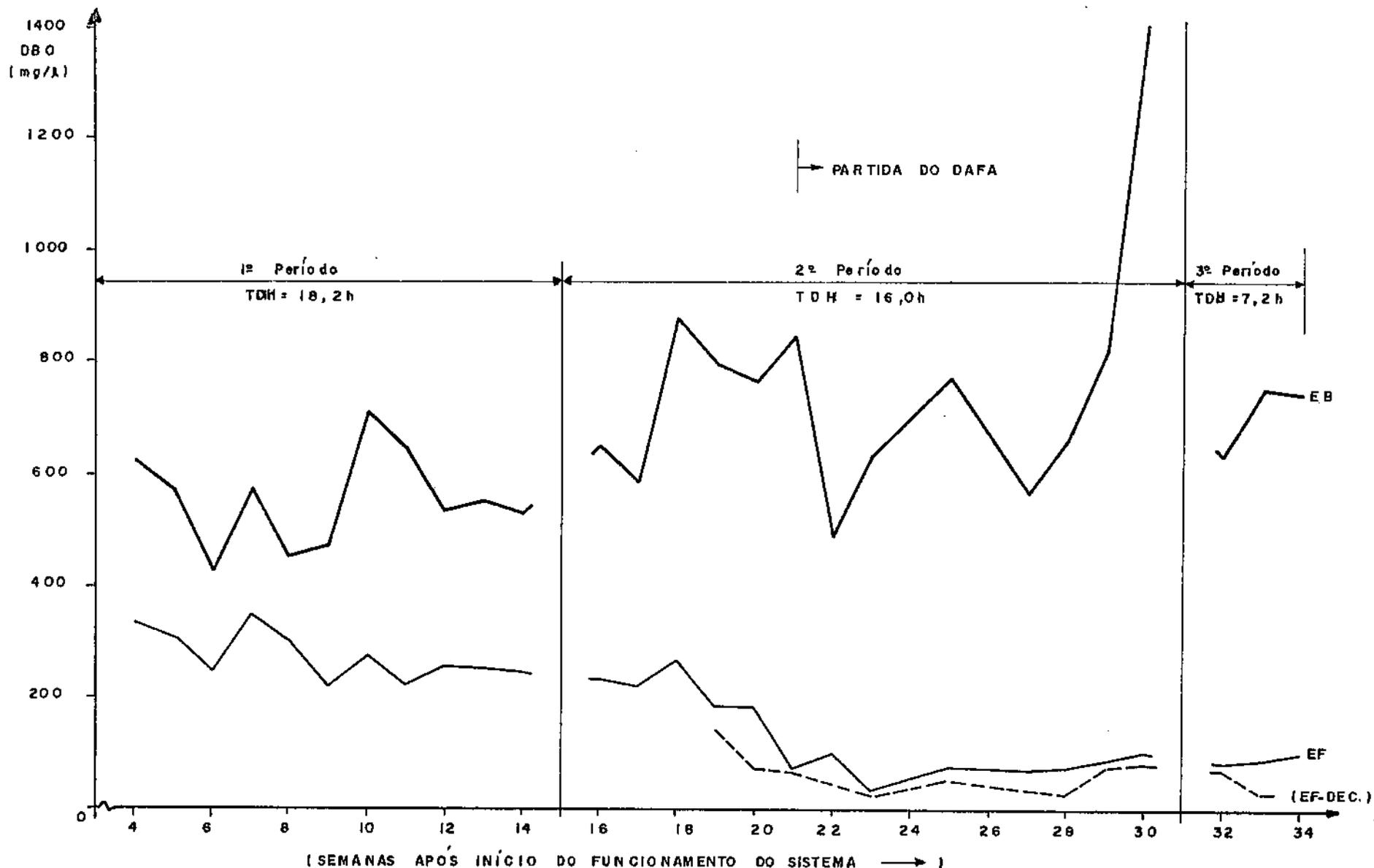


FIGURA 13 : VARIAÇÃO DAS MÉDIAS SEMANAIS DE DBO (mg/l) DO ESGOTO BRUTO (EB), EFLUENTE (EF) E EFLUENTE DECANTADO (EF-DEC.) DO DAFA/PEDREGAL, CAMPINA GRANDE P.B. - PERÍODO DE 27/06/89 A 20/01/90 - AMOSTRAS COLETADAS ÀS 8:00 hs.

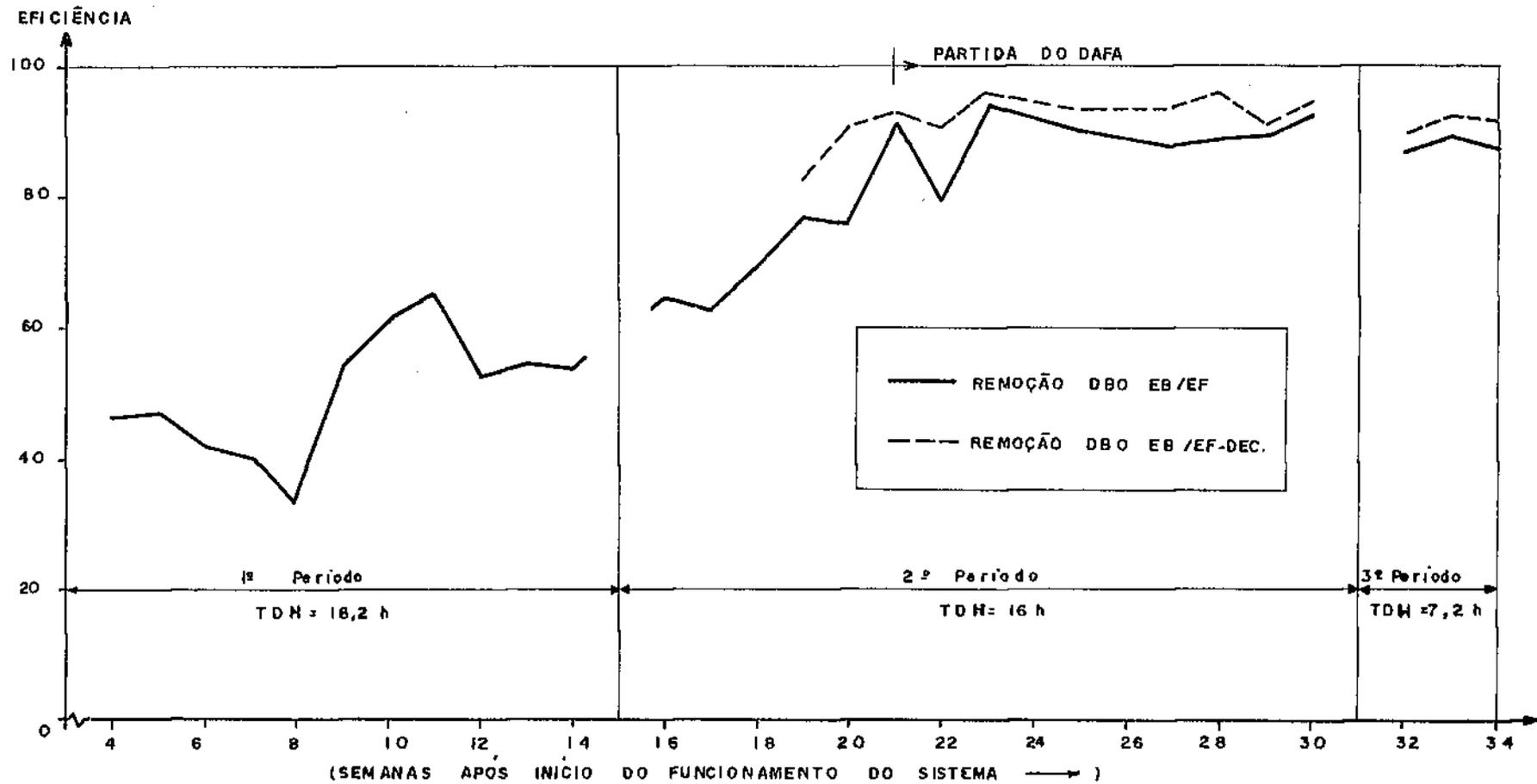


FIGURA 14 : VARIÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE DBO (%) NO EFLUENTE TOTAL (EB/EF) E NO EFLUENTE DECANTADO (EB/EF-DEC.) - DAFA / PEDREGAL, CAMPINA GRANDE PB, - PERÍODO DE 27/06/89 À 20/01/90 - AMOSTRAS TOMADAS ÀS 8:00hs.

Tabela 21 Resumo dos valores da DBD: médias totais da DBD, em cada período, do afluente (AF), efluente (EF) e efluente decantado (Efd) e respectivas percentagens de remoção.

PERÍODO	D B D (mg/l)			REMOÇÃO (%)	
	AF	EF	Efd	AF/EF	AF/Efd
1º	554	273		50,7	
2º(*)	774	79	52	89,0	93,2
3º	710	85	63	88,0	91,1
4º	502	110	79	78,1	84,3

(\*) os valores médios do 2º período foram calculados a partir da 21ª semana do sistema, quando o DAFA entrou em regime estacionário.

Tabela 22 Valores médios semanais da DQO do esgoto afluen-  
te (AF), efluente (EF) e efluente decantado (EFd)  
do DAFA/Pedregal, com suas respectivas percenta-  
gens de remoção da DQO, em função do tempo de o-  
peração, dado em semanas, durante o 1º período  
do experimento.

SO	D Q O (mg/l)			REMOÇÃO (%)		ND
	AF	EF	EFd	AF/EF	AF/EFd	
4	938	426		54,6		4
5	1002	535		46,6		4
6	885	439		50,4		5
7	1053	485		53,9		5
8	1141	468		59,0		3
9	1119	423		62,2		3
10	1072	444		58,6		3
11	1037	398		61,6		3
12	937	390	203	58,4	78,3	2
13	1090	424	237	61,1	78,2	2
14	1024	567	330	44,6	67,8	2

SO - semana de operação após início de funciona-  
mento do sistema.

ND - número de determinações.

Amostras coletadas às 8:00 h.

Tabela 23 Valores Médios semanais da DQO do esgoto afluen-  
te (AF), efluente (EF) e efluente decantado (EFd)  
do DAFA/Pedregal, com suas respectivas percenta-  
gens de remoção da DQO, em função do tempo de o-  
peração, dado em semanas, durante o 2º período  
do experimento.

S0	D Q O (mg/l)			REMOÇÃO (%)		ND
	AF	EF	EFd	AF/EF	AF/EFd	
16	1247	547	336	56,1	73,0	3
17	1164	374	196	67,9	83,2	3
18	1768	282	166	84,0	90,6	2
19	1229	219	263	85,2	78,6	3
20	1276	200	222	84,3	82,6	4
21	1625	207	144	87,3	91,1	2
22	964	218	172	77,4	82,2	3
23	1550	210	136	86,5	91,2	2
25	1285	197	124	84,7	90,4	3
26	1098	220	82	80,0	92,5	3
27	894	177	96	80,2	89,3	3
28	1000	191	94	80,9	90,6	2
29	935	155	121	83,4	87,0	3
30	2274	244	150	89,3	93,4	2

S0 - semana de operação após início de funciona-  
mento do sistema.

ND - número de determinações.

Amostras coletadas às 8:00 h.

Tabela 24 Valores médios semanais da DQO do esgoto afluente (AF), efluente (EF) e efluente decantado (EFd) do DAFA/Pedregal, com suas respectivas percentagens de remoção da DQO, em função do tempo de operação, dado em semanas, durante o 3º período do experimento.

SO	D Q O (mg/l)			REMOÇÃO (%)		ND
	AF	EF	EFd	AF/EF	AF/EFd	
32	915	196	173	78,6	81,1	2
33	1071	181	135	83,1	87,4	3
34	1102	208	170	81,1	84,6	2
43	1159	218	170	81,2	85,3	3
44	1178	240	190	79,6	83,9	2
45	1305	201	188	84,6	85,6	3
46	1119	210	209	81,2	81,3	3
47	666	180	112	73,0	83,2	2
48	815	158	132	80,6	83,8	3

SO - semana de operação após início de funcionamento do sistema.

ND - número de determinações.

Amostras coletadas às 8:00 h.

Tabela 25 Valores médios semanais da DQO do esgoto afluente (AF), efluente (EF) e efluente decantado (EFd) do DAFA/Pedregal, com suas respectivas percentagens de remoção da DQO, em função do tempo de operação, dado em semanas, durante o 4º período do experimento.

SO	D Q O (mg/l)			REMOÇÃO (%)		ND
	AF	EF	EFd	AF/EF	AF/EFd	
1	1118	197		83,4		2
2	1194	605	257	49,3	78,5	4
3	890	458	226	48,5	74,6	4
4	962	458	223	52,4	76,8	4
5	1037	485	323	53,2	68,8	3
6	978	352	256	64,0	73,8	2
7	935	258	193	72,4	79,4	3
8	869	254	172	70,8	80,2	3
9	1117	343	224	69,3	79,9	2
10	765	284	212	62,9	72,3	3
11	840	258	162	69,3	80,7	2

SO - semana de operação após início de funcionamento do sistema.

ND - número de determinações.

Amostras coletadas às 8:00 h.

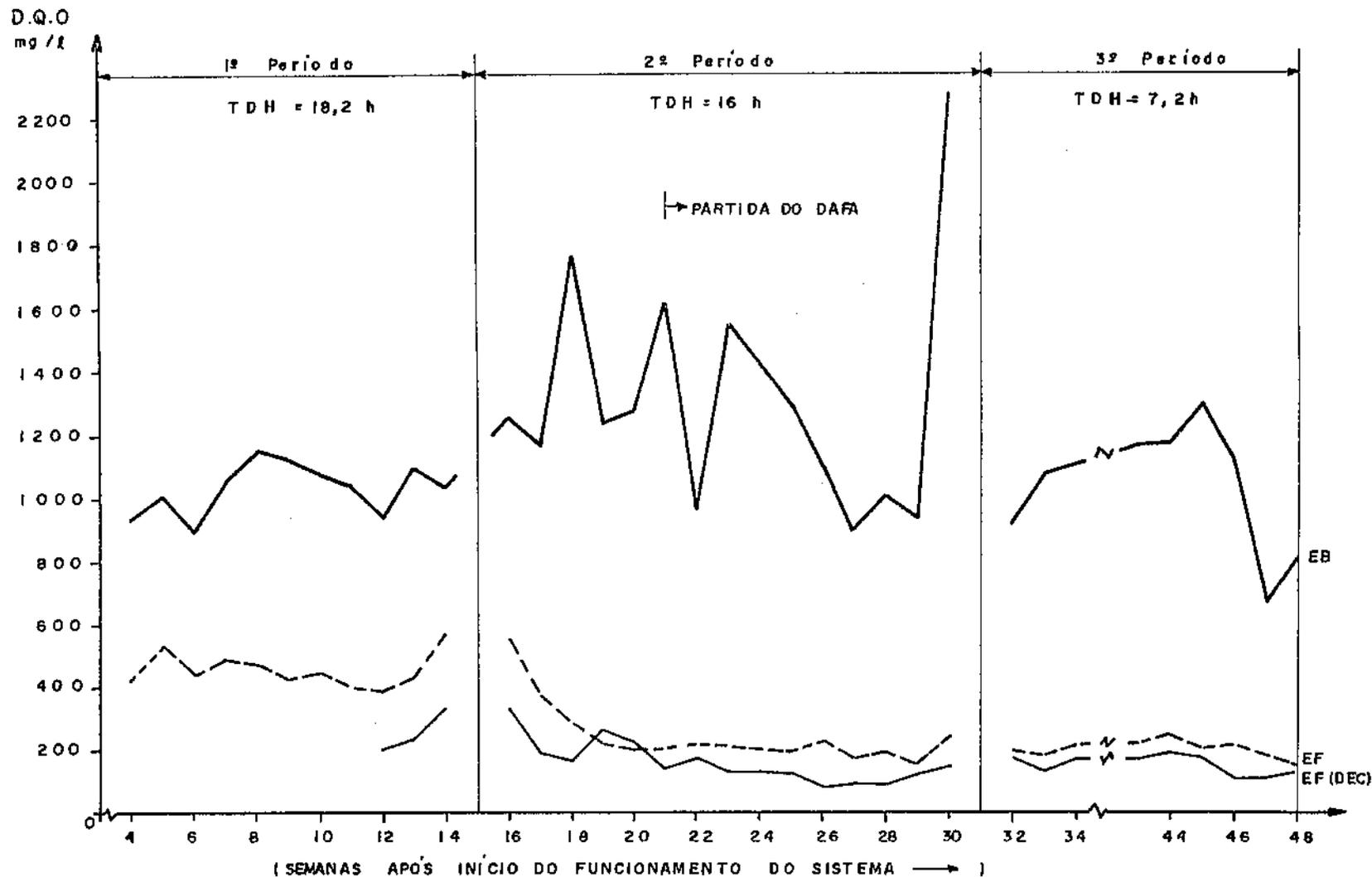


FIGURA 15 : VARIAÇÃO DAS MÉDIAS SEMANAIS DE DQO (mg/l) DO ESGOTO BRUTO (EB) E EFLUENTE (EF) E EFLUENTE DECANTADO (EF-DEC.) DO DAFA/PEDREGAL CAMPINA GRANDE Pb. - PERÍODO DE 27/06/89 À 05/05/90 - AMOSTRAS TOMADAS ÀS 8:00 hs

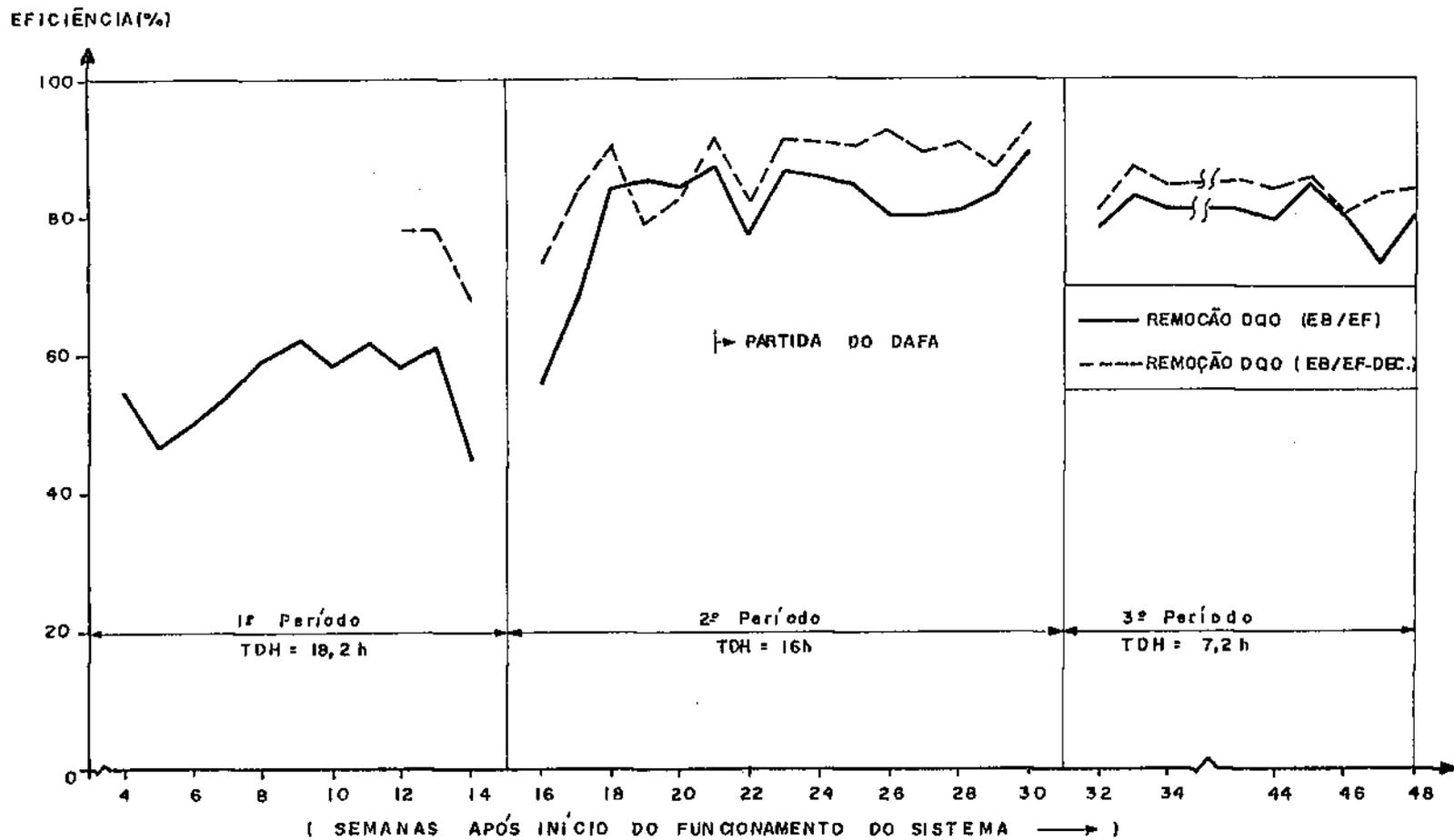


FIGURA 16 : VARIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE DQO (%) NO EFLUENTE TOTAL (EB / EF) E NO EFLUENTE DECANTADO (EB / EF - DEC.) OBTIDAS COM O DAFA / PEDREGAL, CAMPINA GRANDE PB, - PERÍODO DE 27/06 /89. A 05/05/90 - AMOSTRAS COLETADAS ÀS 8:00 hs.

Tabela 26 Resumo dos valores da DQO: médias totais da DQO , em cada período, do afluyente (AF), efluente (EF) e efluente decantado (EFd) e respectivas percentagens de remoção.

PERÍODO	D Q O (mg/l)			REMOÇÃO (%)	
	AF	EF	EFd	AF/EF	AF/EFd
1º	1027	454	257	55,8	75,0
2º(*)	1292	202	124	84,4	90,4
3º	1037	199	164	80,8	84,2
4º	973	359	225	63,1	76,9

(\*) os valores médios no 2º período foram calculados a partir da 21ª semana de operação do sistema, quando o DAFA entrou em regime estacionário.

Tabela 27 Valores médios semanais de sólidos em suspensão (SS) e sólidos sedimentáveis do esgoto afluente (AF) e efluente (EF) do DAFA/Pedregal, e suas respectivas remoções, em função do tempo de operação, dado em semanas, durante o experimento

SO	SÓLIDOS EM SUSPENSÃO mg/l				SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS ml/l			
	AF	EF	REM(%)	ND	AF	EF	REM(%)	ND
4					19,5	-	99,5	2
5					21,5	-	99,5	2
6					6,8	-	98,5	3
7					18,0	-	99,4	5
8					15,2	-	99,3	4
9					10,0	-	99,0	4
10					11,0	-	99,1	2
11					9,0	-	98,9	2
12	1140	528	53,7	2	12,0	-	99,2	2
13	888	395	55,5	2	17,5	4,6	73,7	2
14	588	394	33,0	2	12,0	2,8	83,4	2
15	827	248	70,0	2	10,5	2,4	77,1	2
16	624	96	84,7	2	10,5	1,7	83,8	2
17	955	294	69,3	2	13,0	1,2	90,7	2
18	462	91	80,3	2	7,0	0,8	88,6	2
19	757	154	79,5	3	11,5	0,8	93,0	2
20	778	279	64,1	3	16,0	0,9	94,4	2
21	544	90	83,4	2	6,0	-	98,3	2
22	619	145	75,5	3	13,5	0,8	94,0	2
23	682	104	84,7	2	11,0	1,1	90,0	2
24	491	76	84,5	2	17,5	1,0	94,3	2
25	593	87	85,3	2	12,7	0,7	94,5	3
26	426	124	70,9	2	17,0	1,5	91,2	3
27	600	88	85,3	2	12,3	0,9	92,7	3
28	732	120	83,6	2	14,0	0,6	95,7	3

continua

Tabela 27

continuação

S0	SÓLIDOS EM SUSPENSÃO mg/l				SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS ml/l			
	AF	EF	REM(%)	ND	AF	EF	REM(%)	ND
29	935	287	69,3	3	20,7	1,3	93,7	3
30	1150	320	72,2	3	32,5	1,4	95,7	2
32	643	180	72,0	3	11,7	1,0	91,4	3
33	660	170	74,2	3	10,0	0,3	97,0	3
34	710	150	78,9	3	18,0	0,4	97,8	3
43					15,4	0,2	98,7	3
44					10,0	0,2	98,0	3
45					8,0	0,2	97,5	3

S0 - semana de operação após início de funcionamento do sistema

ND - número de determinações.

Amostras coletadas às 8:00 h.

Tabela 28 Valores médios, em cada período, de sólidos suspensos totais do afluente (AF) e efluente (EF) do DAFA/Pedregal, durante os períodos do experimento.

PERÍODO	SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS ( mg/l )		
	AF	EF	REMOÇÃO(%)
1º	872	439	49,7
2º(*)	677	144	78,7
3º	671	167	75,1

(\*) os valores médios no 2º período foram calculados a partir da 21ª semana de operação, quando o DAFA entrou em regime estacionário.

Tabela 29 Eficiências 'corrigidas' das remoções de DBO, DQO e SST em função do tempo de detenção hidráulica (TDH), obtidas com o DAFA tratando esgoto doméstico do Pe dregal-Campina Grande-PB.

	TDH (horas)			
	18,2 <sup>a</sup>	16,0 <sup>b</sup>	7,2	3,0
Remoção da DBO no efluente total (%)	22,9	84	81,3	65,7
Remoção da DBO no efluente decantado(%)		89,5	86,1	75,4
Remoção da DQO no efluente total (%)	25,1	73,5	67,5	37,4
Remoção da DQO no efluente decantado(%)	57,6	83,7	73,2	60,8
Remoção da SST (%)		53,7	46,0	

a - o TDH de 18,2 h ocorreu no 1º período do experimento, quando o DAFA ainda não tinha atingido o regime estacionário.

b - os resultados obtidos com 16 horas de TDH foram calculados a partir da 21ª semana de operação (regime estacionário)

Tabela 30 Cargas orgânicas da DBO e DQO (em Kg/dia e Kg/m<sup>3</sup>dia) em função da hora do dia e médias diárias da carga aplicada ao DAFA/Pedregal, durante os períodos do experimento

PERÍODO	PARÂ- METRO	HORAS DO DIA												MÉDIA DIÁRIA
		4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	2	
1ª	DBO (Kg/d)	3	76	205	217	182	127	134	131	79	34	7	5	100
2ª		4	32	76	80	59	44	58	53	42	46	10	2	42
3ª		2	51	112	123	115	81	76	75	59	47	13	2	63
4ª		2,9	11,4	17,9	16,3	15,8	13,4	13,1	12,6	12,2	9,8	9	3,2	11,5
1ª	DBO (Kg/m <sup>3</sup> d)	0,02	0,5	1,3	1,4	1,1	0,8	0,8	0,8	0,5	0,2	0,04	0,03	0,6
2ª		0,06	0,5	1,2	1,2	0,9	0,7	0,9	0,8	0,7	0,7	0,2	0,03	0,7
3ª		0,06	1,6	3,5	3,8	3,6	2,5	2,4	2,3	1,8	1,5	0,4	0,06	2,0
4ª		0,7	2,9	4,5	4,1	4,0	3,4	3,3	3,2	3,1	2,4	2,2	0,8	2,9
1ª	DQO (Kg/d)	4	201	475	452	400	255	217	219	136	88	12	7	206
2ª		8	72	148	141	102	76	83	82	88	82	11	2	74
3ª		2	84	145	150	137	96	95	99	86	61	11	3	81
4ª		3,2	23,6	32,3	30,7	26	22,4	22,5	22,5	22	22,2	9,6	3,5	24
1ª	DQO (Kg/m <sup>3</sup> d)	0,02	1,3	3,0	2,8	2,5	1,6	1,4	1,4	0,8	0,6	0,1	0,04	1,3
2ª		0,1	1,1	2,3	2,2	1,6	1,2	1,3	1,3	1,4	1,3	0,2	0,03	1,2
3ª		0,06	2,6	4,5	4,7	4,3	3	3	3,1	2,7	1,9	0,3	0,1	2,5
4ª		0,8	5,9	8,1	7,7	6,5	5,6	5,6	5,6	5,5	5,6	2,4	0,9	5,0

Tabela 31 Médias semanais de nitrogênio amoniacal no esgoto afluente e efluente do DAFA/Pe dregal, em função do tempo de operação, dado em semanas, durante o experimento.

SO	Nitrogênio amoniacal mgN-NH <sub>3</sub> /l		ND
	AFLUENTE	EFLUENTE	
9	62	44	3
10	55	52	3
11	40	51	1
12	51	48	1
13	30	40	1
14	41	56	1
15	41	42	1
16	60	52	2
17	34	43	2
18	50	61	2
19	45	58	3
20	61	50	4
22	35	45	1
23	24	27	2
24	56	52	1
25	56	55	2
26	46	58	2
27	56	58	2
28	51	60	1
29	49	59	1
30	50	62	1
32	48	55	2
33	47	60	1

SO - semana de operação após início de funcionamento do sistema.

ND - número de determinações.

Amostras coletadas às 8:00 h.

Tabela 32 Valores semanais de ortofosfato solúvel no esgoto afluente e efluente do DAFA/Pedregal, em função do tempo de operação do sistema, durante o experimento.

S0	ORTOFOSFATO SOLÚVEL (mg P/l)	
	AFLUENTE	EFLUENTE
20	16	15
24	7	11
25	6	9
26	7	8
27	10	12
28	5	7
29	6	7
30	10	12
32	5	10
33	10	8

S0 - semana de operação após início de funcionamento do sistema.

Amostras coletadas às 8:00 h.

Tabela 33 Valores médios das concentrações de coliformes fecais e do número de ovos de helmintos, no esgoto bruto (EB) e no efluente (EF) do DAFA/Pedregal, durante o 2º e 3º períodos do experimento.

Período	TOH (h)	coliformes fecais (CF/100ml)				helmintos (ovos/litro)			
		EB	EF	Remoção (%)	ND	EB	EF	Remoção (%)	ND
2º	16,0	$4,08 \times 10^7$	$1,00 \times 10^7$	75	27	16.695	2.458	85,3	7
3º	7,2	$1,60 \times 10^7$	$7,74 \times 10^6$	52	20	17.856	1.500	91,6	7

TOH - tempo de detenção hidráulica.

ND - número de determinações.

Tabela 34 Sólidos suspensos totais (g/l) em função do tempo de operação do sistema, em semanas, em diferentes profundidades do DAFA/Pedregal. A fração de lodo orgânico também está indicada.

SD	SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS(g/l)					FRAÇÃO ORGÂNICA				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
2	42,3	40,3	3,9			0,58	0,57	0,56		
5	45,0	26,6	13,2	4,9	2,9	0,61	0,59	0,59	0,63	0,66
8	53,3	10,3	9,8	2,7	0,9	0,56	0,56	0,59	0,56	0,65
11	73,4	49,6	31,4	29,9	11	0,60	0,53	0,61	0,56	0,67
13	71,2	49,0	31,1	29,5	10,7	0,56	0,56	0,57	0,56	0,60
16	57,1	51,2	30,8	30,5	12,8	0,53	0,56	0,56	0,63	0,61
17	53,3	46,4	28,6	30,3	9,8	0,51	0,50	0,51	0,50	0,55
18	47,4	37,9	27,7	24,3	7,8	0,52	0,52	0,52	0,52	0,57
19	58,6	47,3	37,0	13,0	7,5	0,51	0,51	0,52	0,63	0,60
20	65,2	48,3	37,9	10,6	4,9	0,52	0,54	0,53	0,59	0,62
22	71,7	60,3	57,4	8,1	2,4	0,53	0,53	0,56	0,52	0,53
24	72,5	66,6	59,0	7,1	2,2	0,52	0,51	0,51	0,54	0,58
26	72,3	63,4	55,7	6,1	1,7	0,51	0,51	0,53	0,52	0,62
28	(-)	65,2	45,6	5,7	1,6	0,53	0,52	0,52	0,55	0,59
30	(-)	64,5	30,2	4,3	1,5	0,50	0,51	0,51	0,54	0,58
32	70,5	50,4	33,1	4,4	1,3	0,55	0,55	0,56	0,64	0,65
33	71,0	62,8	30,5	4,3	1,5	0,52	0,53	0,54	0,54	0,57
34	70,4	61,7	30,5	4,2	1,5	0,51	0,53	0,54	0,54	0,56

Profundidade dos pontos de coleta do lodo: 1 - 3,9 m; 2 - 3,5 m; 3 - 3,0 m; 4 - 2,5 m; 5 - 2,0 m. (a profundidade de 2,0m fica logo abaixo do separador de fases).

(-) - ponto entupido.

Tabela 35 Massa de lodo anaeróbico (Kg SST) em função da profundidade dos digestores, durante o experimento.

DAFA - ESCALA-REAL					DAFA - PILOTO 4m <sup>3</sup>			
PROFUNDI- DADE. (m)	CONCENTRA ÇÃO LODG KgSST/m <sup>3</sup>	ALTURA INFLUÊN- CIA (m)	MASSA DE LODG		PROFUNDI- DADE. (m)	CONCENTRA ÇÃO LODG KgSST/m <sup>3</sup>	ALTURA INFLUÊN- CIA	MASSA DE LODG Kg SST
			2º PERÍODO	3º PERÍODO				
2,0	1,5	0,5	12	6	0,9	5,19	0,51	3,62
2,5	4,3	0,5	34,4	17,2	1,91	24,1	0,76	23,1
3,0	30	0,5	240	120	2,41	32,6	0,41	18,3
3,5	63	0,45	454	227	2,72	58,0	0,36	28,6
3,9	72	0,3	346	173				

Tabela 36 Resultados de remoções de DBO, DQO e SST, em percentagem, em função do tempo de detenção hidráulica TDH, de diferentes DAFAs tratando esgoto doméstico.

REMOÇÃO	DAFA COM SEPARADOR DE FASES										DAFA SEM SEPARADOR DE FASES						
	T D H (horas)										T D H (horas)						
	a	a	a	d	a	b	c	d	e	d	f	g	f	g	g	f	g
DE	1,6	2,4	3,0	3,0	4,0	4,0	6,0	7,2	8,0	16	2,5	3,0	4,7	6	9	11,5	12
DBO total (%)	53	70	74	65,7	74	80	80	91,3		84		26		47	49		48
DBO filtrado(%)	84	90	91	75,4	90			86,1		89,5							
DQO total (%)	42	54	62	37,4	65	79	65	67,5	75	73,5	20		50			70	
DQO filtrado(%)	78	82	84	60,8	84		80	73,2		83,7							
SST (%)	70	54	75		67	79	70	59,7		40,5		31		50	46		48

Fonte: a - Vieira, Pacheco e Souza (1987); b - Barbosa et alii (1987); c - Relatório HASKONING (1989); d - Presente pesquisa (Pedregal-Campina Grande-PB); e - Lettinga, Roersma e Grin (1983); f - Bollmann e Aisse (1987.a.a.c) g - Silva (1989).

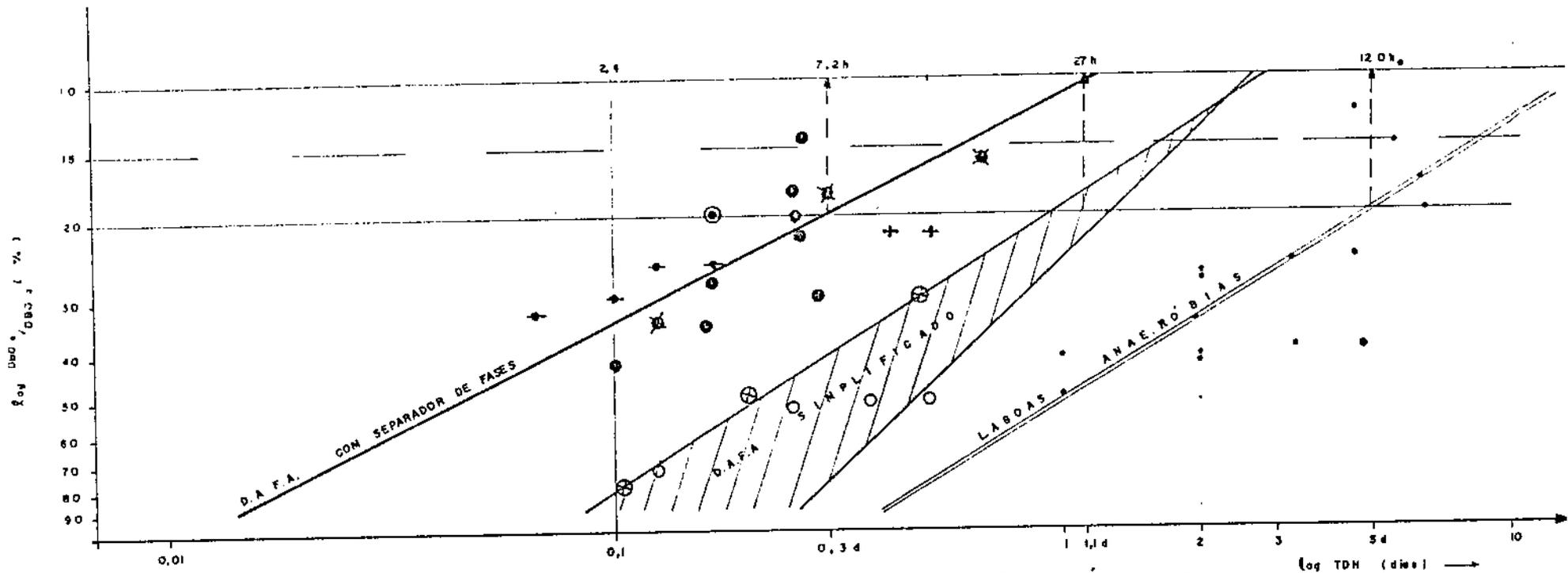


FIGURA 17 : PERCENTAGEM DE DBO REMANESCENTE x TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICO (TDH).

- |  |  |  |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ D.A.F.A. C/ SEPARADOR DE FASES</li> <li>⊗ Dados do presente pesquisa</li> <li>◆ Dados de VIEIRA, PACHECO e SOUZA</li> <li>⊙ Dados de BARBOSA et alii</li> <li>+ Dados de SANEPAR</li> <li>● Dados de NASRONG (CALI - Colombia)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ D.A.F.A. S/ SEPARADOR DE FASES SIMPLIFICADO</li> <li>⊗ Dados de BOLLEMAN e AISSE</li> <li>○ Dados de SILVA</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● LAGOAS ANAEROBIAS</li> <li>● Dados de SMALLMAN</li> </ul> |
|--|--|--|

## CAPÍTULO V

### CONCLUSÃO

Sob as condições climáticas prevalescentes no Nordeste do Brasil, o digestor anaeróbio de fluxo ascendente, dotado de dispositivo de separação de fases, mostrou-se ser uma alternativa viável no tratamento de esgotos domésticos.

Essa conclusão tem por base os resultados obtidos durante o experimento, onde se pôde constatar que:

1 - é possível dar partida num digestor anaeróbio de fluxo ascendente (DAFA), sem inóculo, alimentado com esgoto doméstico e operado a temperatura ambiente, atingindo-se um excelente desempenho após 4 a 5 meses de operação do sistema;

2 - o desempenho do DAFA, expresso em termos de remoções da DBO e DQO, foi notável:

a) com um tempo médio de detenção hidráulica de 7,2 horas obteve-se:

- 81,3% de remoção da DBO no efluente total e
- 67,5% de remoção da DQO no efluente total.

b) com um tempo médio de detenção hidráulica de 3,0 horas obteve-se:

- 65,7% de remoção da DBO no efluente total e
- 37,4% de remoção da DQO no efluente total.

Entretanto, grande parte da DBO e DQO no efluente é na realidade composta por partículas de lodo que podem ser removidas por decantação simples. A remoção da DBO e DQO no efluente sedimentado foi de :

a) com um tempo médio de detenção hidráulica de 7,2 horas obteve-se:

- 86,1% de remoção da DBO e
- 73,2% de remoção da DQO;

b) com um tempo médio de detenção hidráulica de 3,0 horas obteve-se:

- 75,4% de remoção da DBO e
- 60,8% de remoção da DQO.

3 - em nenhum momento verificou-se perturbação do processo biológico: a alcalinidade do próprio esgoto, durante todo o experimento, exerceu uma efetiva ação tamponadora; o pH manteve-se numa faixa de 6,6 a 7,4 e a concentração de ácidos voláteis manteve um valor médio em torno de 60 ppm HAc, indicando uma eficiente fermentação metanogênica;

4 - a operação do DAFA é extremamente simples, resumindo-se na manutenção mecânica do sistema que consiste na limpeza da grade de barras e caixa de areia, desentupimento das tubulações de entrada do esgoto, quando necessário, além da extração do lodo de excesso periodicamente. O processo biológico no reator se desenvolve naturalmente, ou seja, sem medidas de controle de operação;

5 - o lodo anaeróbio, produzido no processo, apresenta uma fração orgânica de 0,5 a 0,6, com boas propriedades de sedimentação e secagem, sendo pois de fácil disposição final, por apresentar boa estabilidade. O lodo também apresentou alta atividade metanogênica (0,301 Kg DQO/Kg SSV.dia no 4º período do experimento).

6 - enquanto o DAFA exhibe uma notável eficiência de remoção de

material orgânico, ele é ineficiente na remoção de nutrientes e organismos patogênicos. Conseqüentemente, em algumas situações o efluente poderá necessitar de um pós-tratamento, compatível com o destino final do efluente tratado. Além disso, como no processo não existe oxigênio dissolvido no efluente obtido poderá necessitar de aeração posterior antes de sua disposição final;

7 - o bom desempenho do DAFA na remoção de matéria orgânica em curtos TDHs possibilita a implantação de unidades compactas e descentralizadas, de baixo custo e simplicidade operacional.

## CAPÍTULO VI

### SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

1 - Recomenda-se que estudos sejam realizados no sentido de se verificar os fatores ( $\text{CO}_2$ , pH, alcalinidade e  $\text{Ca}^{2+}$ ) que determinam o grau de agressividade de efluentes de DAFAs e os danos causados à estrutura desses reatores.

2 - A fim de melhorar a qualidade higiênica e remover nutrientes (N e P) de efluentes de DAFAs, devem ser realizados estudos de pós-tratamento desses efluentes em lagoas de estabilização/maturação e em sistemas com desnitrificação (Bardenpho).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANRAIN, A. Estudo Sobre a Aplicabilidade de Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo no Tratamento de Efluentes de Fecularia. (Dissertação de Mestrado). São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1983.
- BARBOSA, R. A.; Junior, G. L. S.A.; Rischbieter, K.; Batalha, M. O. Estudo de Tratabilidade Anaeróbica de Esgoto Sanitário Bruto em Reator de Fluxo Ascendente com Leito de Lodo. Trabalho apresentado no 14º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, 1987.
- BOLLMANN, H. A. et Aisse, M. M. Operação assistida de reatores anaeróbios tipo "Ralf" para tratamento de esgotos domésticos e produção de gás metano - Ralf: CAIÇARA, ISAM, maio de 1987:a
- BOLLMANN, H. A. et Aisse, M. M. Operação assistida de reatores anaeróbios tipo "Ralf" para tratamento de esgotos domésticos e produção de gás metano - Ralf: ITATIAIA, ISAM, junho de 1987.
- BOLLMANN, H. A. et Aisse, M. M. Operação assistida de reatores anaeróbios tipo "Ralf" para tratamento de esgotos domésticos e produção de gás metano - Ralf: AUGUSTA, ISAM, julho de 1987.
- DACACH, N. G. Sistemas Urbanos de Esgoto - Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1984.

- DIAS, M. S. R. S. Digestão Anaeróbia de Águas Residuárias da produção de Celulose. (Dissertação de Mestrado). Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1986.
- HAANDEL, A. C. van . Armazenamento e Tratamento de Despejos Industriais - Trabalho Apresentado no Seminário Nacional sobre Produção de Energia por Bioconversão-Digestão Anaeróbia
- JEWELL, W. J.; Switzenbaum, M. S.; Morris, J. W. Municipal Wasterwater Treatment with the Anaerobic Attached Microbial Film Expanded Bed Process. Journal WPCF 53 (4) 482-90, Apr. 1981.
- LETTINGA, G.; Velsen, A.F.M.; Hobma, S. W.; Zeeuw, W. & Klappwijk, A. Use of Upflow Sludge Blanket (UASB) Reator Concept for Biological Wastewater Treatment. Biotechnology and Bioengineering. 1980, 22, 669-734.
- LETTINGA, G.; Roersma, R.; Grin, P. Anaerobic Treatment of raw domestic Sewage at Ambient Temperatures Using a Granular Bed UASB Reator. Biotechnology and Bioengineering, 25 : 1701-1723, 1983.
- MARA, D. D. Sewage Treatment in Hot Climates - John Wiley e Sons Ltd, Chichester, England, 1976.
- MCCARTY, P. L. Anaerobic Waste Treatment Fundamentals. Part Three: Toxic Materials and Their Control. Public Works, Nov 1964.
- METCALF & EDDY, Inc. Wastewater Engineering. 2ª ed, Mc Graw - Hill Book Company, Nova York, 1979.
- NOBRE, P. C. A. e Guimarães, M. O. Experimentos em digestão anaeróbia de esgotos urbanos. Revista DAE - março, 1987, 148, 75-85.

NOVAIS, R. F. V. Microbiology of Anaerobic Digestion. Trabalho apresentado no Seminário Internacional sobre Tratamento Anaeróbio em Países Tropicais, São Paulo, 1986.

PESSÔA, C. A. e Jordão, E.O. Tratamento de Esgotos Domésticos. vol 1, 2ª edição- CETESB, São Paulo, 1982.

Relatório HASKONING - "Anaerobic Treatment of Domestic Wastewater Under Tropical Conditions" Final Report Pilot-Plant Research, january, 1989. vol 1 e 2.

SILVA, S. A. Avaliação da Eficiência de Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente com Manta de Lodo - RAFAMAL - no Tratamento de Esgotos Domésticos no Nordeste do Brasil-II. Anais do 15º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES. Belém, Pará. 1989.

SMALLMAN, D. J. An Ecological Appraisal of Waste Stabilization Pond Performance. A thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy - Department of Civil Engineering the University of Leeds, England, september, 1986.

SOUZA, M. E. Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. Trabalho apresentado no V Simpósio Nacional de Fermentação, Viçosa, M.G., 1982.

SOUZA, M. E. e Vieira, S. M. M. Métodos Analíticos para Acompanhamento da Biodigestão. Trabalho apresentado durante o "Encontro Técnico" promovido pela EMBRAPA, Coronel Pacheco, M.G., maio, 1981.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 14<sup>th</sup> edition, New York, 1975.

- VIEIRA, S. M. M. Tratamento de esgotos por digestores anaeróbios de fluxo ascendente. Revista DAE, dez 1984, 139, 322-328.
- VIEIRA, S. M. M. e Alem, P. S. Resultados de Operação e Recomendações para o Projeto de Sistemas de Decanto-Digestor e Filtro Anaeróbio para o Tratamento de Esgotos Sanitários. Revista do DAE (135):51-71, Dez. 1983.
- VIEIRA, S. M. M.; Pacheco, C. E. M. e Souza, M. E. Efeito da Variação da Vazão em Digestores Anaeróbios de Fluxo Ascendente Tratando Esgoto Doméstico. Anais do 14º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo, 1987.
- WHO. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. Technical Report Series 778. Geneva : 1989.