

INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DO
LODO ATIVADO SOBRE A SUA
ESTABILIZAÇÃO EM DIGESTORES
ANAERÓBIOS CONVENCIONAIS DE
MISTURA COMPLETA.

LUIZ DE SOUZA ARAUJO

INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DO LODO ATIVADO SOBRE A SUA
ESTABILIZAÇÃO EM DIGESTORES ANAERÓBIOS CONVENCIONAIS DE
MISTURA COMPLETA.

Dissertação apresentada
ao Curso de MESTRADO EM
ENGENHARIA CIVIL da
Universidade Federal da
Paraíba, em cumprimento às
exigências para obtenção do
Grau de Mestre.

ADRIANUS CORNELIUS VAN HAANDEL - Ph.D
Orientador

PAULA FRASSINETTI CAVALCANTI CATUNDA - MSc.
Co-orientadora

CAMPINA GRANDE

JULHO - 1990



A658i Araujo, Luiz de Souza
Influencia da composicao do lodo ativado sobre a sua estabilizacao em digestores anaerobios convencionais de mistura completa / Luiz de Souza Araujo. - Campina Grande, 1990.
130 f. : il.

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

1. Esgoto - 2. Engenharia Sanitaria 3. Digestores Anaerobios 4. Esgoto Sanitario 5. Dissertacao I. Haandel, Adrianus C. Van, Dr. II. Catunda, Paula Frassinetti Cavalcanti, M.Sc. III. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 628.32(043)

INFLUENCIA DA COMPOSIÇÃO DO LODO ATIVADO SOBRE A SUA
ESTABILIZAÇÃO EM DIGESTORES ANAEROBIOS CONVENCIONAIS DE
MISTURA COMPLETA.

LUIZ DE SOUZA ARAUJO

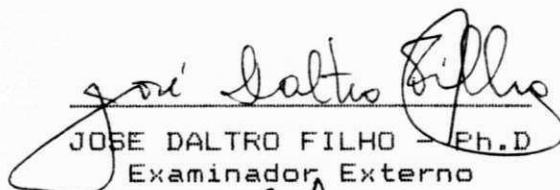
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/07/1990




ADRIANUS CORNELIUS VAN HAANDEL - Ph.D
Orientador



PAULA FRASSINETTI CAVALCANTI CATUNDA - MSc.
Co-orientadora



JOSE DALTRO FILHO - Ph.D
Examinador Externo



JOSE TAVARES DE SOUZA - MSc
Examinador Interno

CAMPINA GRANDE
JULHO - 1990

AGRADECIMENTOS

Aos pagadores de impostos que, via CNPq e CAPES, financiaram este trabalho;

Ao Professor ADRIANUS CORNELIUS VAN HAANDEL pela grande paciência, constante orientação e valiosas sugestões;

Professora PAULA FRASSINETI CAVALCANTE CATUNDA pelas colaborações;

VÂNIA, minha companheira, pela revisão gramatical e incentivo;

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram e incentivaram-me para o desenvolvimento desta pesquisa.

ABSTRACT

In this thesis, an experimental investigation is described which objective was to evaluate the influence of the composition of activated sludge on stabilization by anaerobic digestion. For this five sludges were generated from domestic sewage, with active (live bacterial mass) fraction ranging from 15 to 72 per cent of the volatile solids concentration. These sludges were digested in conventional anaerobic digestors at room temperatures of $(25\pm 3)^{\circ}\text{C}$ and a retention time of 20 days.

During the which investigation the digestors functioned efficiently without any need of addition of corrective chemicals. It was noted that the composition of the sludge to be digested influenced markedly upon the quantity of methane generated per unit mass of organic sludge and increased as the active fraction increased. Similarly the solids decay is influenced: the larger the active fraction the larger the solids decay. It was also observed that the alkalinity generated in the digester corresponded to the mineralization of ammonia.

RESUMO

No presente trabalho descreve-se uma investigação experimental, que teve como objetivo avaliar a influência da composição de lodo ativado sobre a sua estabilização através da digestão anaeróbia. Para tanto, gerou-se - a partir de esgoto doméstico bruto - cinco lodos com frações ativas (massa bacteriana viva) diferentes entre si, tendo estas variado entre 15 e 72 por cento da composição dos sólidos voláteis. Estes lodo eram digeridos em digestores anaeróbios convencionais de mistura completa a temperatura ambiental de (25 ± 3) °C e um tempo de permanência do lodo de 20 dias.

Durante toda a investigação os digestores funcionaram eficientemente sem que houvesse necessidade de adição de qualquer substância corretiva. Observou-se que a composição do lodo ativo a ser digerido influe marcadamente sobre a quantidade de metano gerado por unidade de massa de lodo orgânico, sendo tanto maior quanto maior for a fração de lodo ativo. Da mesma forma, influencia sobre o decaimento da massa dos sólidos, sendo tanto maior este decaimento quanto maior for a fração ativa do lodo a ser digerido. Observou-se, ainda, que a produção da alcalinidade no digestor se deve a mineralização de amônia.

INDICE

I - INTRODUÇÃO	001
II - REVISÃO BIBLIOGRAFICA	004
2.1 - Digestão Anaeróbia	004
2.1.1 - Descrição do processo	004
2.1.1.1 - Aplicabilidade	006
2.1.1.2 - Vantagens e desvantagens	006
2.1.1.3 - Microbiologia	007
2.1.2 - Variantes do processo	009
2.1.2.1 - Digestão de baixa-taxa	009
2.1.2.2 - Digestão de alta-taxa	009
2.1.2.3 - Digestão de duas-etapas	012
2.1.3 - Dimensionamento de digestores anaeróbios	014
2.1.4 - Desempenho do processo	016
2.1.4.1 - Qualidade do sobrenadante	016
2.1.4.2 - Produção de gás	017
2.1.4.3 - Redução de sólidos	018
2.1.5 - Condições operacionais	022
2.1.5.1 - pH e alcalinidade	022
2.1.5.2 - Toxicidade	025
2.1.6 - Figuras	031
III - MATERIAIS E MÉTODOS	040

3.1 - Descrição do Sistema Aeróbio	040
3.1.1 - Sistema inicial	040
3.1.2 - Sistema complementar	042
3.1.3 - Obtenção do lodo	043
3.2 - Descrição do Sistema Anaeróbio	046
3.3 - Procedimentos operacionais	048
3.3.1 - Inoculação	049
3.3.2 - Primeira fase da operação	050
3.3.3 - Segunda fase da operação	051
3.3.4 - Terceira fase da operação	052
3.4 - Controle operacional do Sistema Anaeróbio	052
3.4.1 - Procedimentos analíticos	052
3.4.1.1 - pH	052
3.4.1.2 - Alcalinidade total e ácidos voláteis	053
3.4.1.3 - Demanda Química de Oxigênio	053
3.4.1.4 - Sólidos suspensos totais e e voláteis	053
3.4.1.5 - Amônia	053
3.4.1.6 - Produção de metano e biogás biogás	053
3.5 - Figuras	054
IV - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	060
4.1 - Apresentação dos resultados	060
4.1.1 - Sólidos Suspensos Totais e Voláteis: (SST); (SSV)	060

4.1.2 - Demanda Química de Oxigênio (DQO), Acidos Voláteis, Metano e Biogás.	061
4.1.2.1 - Demanda Química de Oxigênio (DQO).	061
4.1.2.2 - Acidos Voláteis	062
4.1.2.3 - Produção de Metano e Biogás.	062
4.1.3 - pH, Alcalinidade Total como CaCO_3 e Amônia como NH_4^+	063
4.1.3.1 - pH.	063
4.1.3.2 - Alcalinidade total como CaCO_3	064
4.1.3.3 - Amônia efluente	066
4.2 - Discussão dos resultados	067
4.3 - Quadros e Figuras	073
V - CONCLUSOES	124
VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	126

I - INTRODUÇÃO

Nos sistemas aeróbios de tratamento de águas residuárias, como por exemplo lodo ativado e filtro biológico, ocorre a remoção do material orgânico dessas águas mas, paralelamente, há produção de uma massa considerável de lodo. Este lodo pode ser uma mistura de lodo obtido na decantação de águas residuárias bruta (lodo primário) e no descarte de lodo de excesso, que cresce no interior do reator biológico (lodo secundário), e é composto parcialmente de microorganismos vivos.

Tanto o lodo primário, como o lodo secundário são instáveis, isto é: entram rapidamente em putrefação, resultando na produção de um forte odor desagradável, além da liquefação do material orgânico da fase sólida (os flocos de lodo). Desse modo, aplica-se antes da disposição final do lodo um tratamento que visa a sua estabilização, ou seja: diminuir a sua putrecibilidade. Na prática, são mais usados os processos de digestão aeróbia e de digestão anaeróbia. Na digestão aeróbia, aplica-se aeração num reator com o lodo a ser estabilizado por um período suficientemente longo, para propiciar a diminuição da fração de microorganismos vivos e do material biodegradável para níveis muito baixo, evitando que o lodo entre em decomposição após a aeração. Na digestão anaeróbia o lodo é lançado num digestor, onde se mantém um ambiente sem

presença de oxigênio livre. Neste digestor crescem bactérias anaeróbias, que decompõem o lodo nele lançado para produtos finais estáveis, principalmente metano e dióxido de carbono. O material sólido residual, após a digestão anaeróbia, não apodrece quando colocado ao ar livre.

O processo de digestão anaeróbia em países de clima tropical como o Brasil, torna-se, em princípio, mais interessante que a digestão aeróbia, uma vez que, diferentemente da situação dos países de clima frio, ele pode ser realizado a temperatura ambiental. Por outro lado, a composição de lodo de excesso de sistemas aeróbios em regiões tropicais é muito diferente daquela obtida em regiões de clima frio. Em regiões de clima frio o lodo de excesso se compõe de uma grande fração de lodo primário e de lodo secundário o qual tem uma alta fração de microorganismos vivos, devido a curta idade de lodo (alta taxa de aplicação) que geralmente se aplica. Em constrate, nos trópicos, a idade de lodo aplicada geralmente é mais longa para permitir a remoção biológica dos nutriêntes (nitrogênio e fósforo). Para efetuar a remoção de nitrogênio é necessário muito material biodegradável, o que inviabiliza a aplicação da decantação da água residuária bruta. Desse modo, nos trópicos, o lodo de excesso é tipicamente lodo secundário e com um teor relativamente baixo de microorganismos vivos.

No presente trabalho, procura-se estabelecer uma relação entre a fração de microorganismos vivos de lodo

secundário de sistemas de lodo ativado e o seu grau de decomposição em um digestor anaeróbio. Para tanto, realizou-se uma investigação experimental, na qual foram gerados diferentes lodos ativados a partir de esgoto bruto doméstico, em uma série de cinco reatores - uma lagoa e quatro digestores aerados - que alimentavam digestores anaeróbios de mistura completa operados sob iguais condições. Procurou-se alimentar com massas e volumes iguais dos lodos de diferentes composições, observando-se a variação na produção de biogás, de redução do teor de sólidos, da variação da alcalinidade e do teor da amônia, além da estabilidade do processo de digestão propriamente dita.

A partir dos resultados da investigação, conclui-se que há uma clara relação entre a composição de lodo ativado (lodo secundário) e a sua composição em termos da fração de microorganismos vivos: os microorganismos vivos são muito mais sujeitos a decomposição anaeróbia do que a massa de lodo composto de material orgânico, mas não vivo.

II - REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Nos sistemas de lodo ativado há produção de um lodo biológico, que, em geral, tem uma composição tal que a sua disposição direta é problemática. O problema está no alto teor de material orgânico biodegradável, que torna o lodo putrecível, além do fato de que a alta fração de material vivo resulta em dificuldades nos processos de separação das fases sólida e líquida. Por essas razões, aplica-se, em geral, um processo de estabilização com o objetivo de reduzir o teor de material orgânico biodegradável e a massa de material vivo.

Vários são os processos de estabilização do lodo, sendo os mais importantes: compostagem, adição de cal, digestão aeróbia e digestão anaeróbia. Existem vantagens e desvantagens em se usar um ou outro processo, como mostra a Tabela 2.1, WPCF (1985).

A escolha do melhor método fica na dependência de situações específicas, tais como: disponibilidade de recursos, situação climática do local, característica do lodo, etc.

2.1 - Digestão Anaeróbia

2.1.1 - Descrição do processo

TABELA 2.1 - Comparação de processos de estabilização de lodo

PROCESSOS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
DIGESTÃO ANAERÓBIA	<p>Destruição de SSV entre 40 e 60%;</p> <p>Custos operacionais bastante baixo, se se usar o gás gerado;</p> <p>Larga aplicabilidade;</p> <p>Resíduos sólidos podem ser aplicado na agricultura com segurança;</p> <p>Boa inativação de microrganismos patogênicos;</p> <p>Redução da massa total de lodo;</p> <p>Baixa demanda de energia.</p>	<p>Requer operadores experientes;</p> <p>Pode formar escuma;</p> <p>Baixo crescimento das bactérias favorecendo o aparecimento da digestão á</p> <p>Recuperação lenta quando desestabilizado;</p> <p>Sobrenadante rico em DQO, DBO, SS e NH₃;</p> <p>Dificuldade de limpeza (escuma e areia);</p> <p>Pode gerar odores desagradáveis como resultado normal do processo;</p> <p>Alto custo inicial;</p> <p>Potencial para incrustações;</p> <p>Temperaturas baixas afeta o processo adversamente além de aumentar os custos com energia usada para aquecimento do lodo.</p>
DIGESTÃO AERÓBIA	<p>Custo inicial baixo particularmente para pequenas plantas;</p> <p>Sobrenadante menos objetável que anaeróbio;</p> <p>Simple controle operacional;</p> <p>Larga aplicabilidade;</p> <p>Se propriamente projetado, não gera odores desagradáveis;</p>	<p>Alto custos com energia;</p> <p>Geralmente destroi menos SSV que anaeróbio;</p> <p>Reduz pH e alcalinidade;</p> <p>Potencial para difundir patogênicos levados pelo vento;</p> <p>Lodo tipicamente difícil de desidratar por meios mecânicos;</p>
COMPOSTAGEM	<p>Alta qualidade, potencial vendível e produto adequado para uso na cultura;</p> <p>Pode ser combinado com outros processos;</p> <p>Baixo custo inicial.</p>	<p>Requer de 40 a 60% de teor de sólidos, ar forçado fonte de carbono e máquina para formar as leiras;</p> <p>Potencial para gerar odores e difundir patógenos nos pela poeira;</p> <p>Alto custo operacional;</p> <p>Pode requerer grandes áreas.</p>
ESTABILIZAÇÃO POR CAL	<p>Baixo custo de capital;</p> <p>Fácil operação;</p> <p>Bom como método provisório ou emergencial de estabilização.</p>	<p>Lodo somente apropriado para aplicação em solos antigos (solos ácidos);</p> <p>Uso intensivo da cal;</p> <p>Custo total muito específico do local;</p> <p>Aumento da massa total do lodo que vai ser disposta;</p> <p>Queda do pH após tratamento pode levar ao aparecimento de odores e recrescimento biológico.</p>

FONTE : WPCF (1985).

A digestão anaeróbia é um processo fermentativo de substâncias orgânicas, tendo o metano e o dióxido de carbono como principais produtos finais, além de água e traços de outros gases. Quando aplicada para estabilização de lodo, há uma diminuição da massa dos sólidos inicialmente presente.

2.1.1.1 - Aplicabilidade

A digestão anaeróbia pode ser aplicada a vários tipos de lodo. Ela é tecnicamente viável para estabilização quando o teor de sólidos voláteis contidos no lodo for de, no mínimo, 50% e se não houver substâncias inibitórias presentes ou geradas pelo processo. Essas condições sempre serão obedecidas no caso da digestão anaeróbia de lodo primário e secundário do sistema de lodo ativado ou outros sistemas de tratamento de esgoto.

2.1.1.2 - Vantagens e desvantagens

As principais vantagens da digestão anaeróbia sobre outros métodos de estabilização são:

- 1) Produção de metano - tipo de energia que pode ser usada diretamente ou sob outras formas, quando transformada: eletricidade, calor, agitação, etc;
- 2) Redução da massa total do lodo - comumente de 25 a 45% dos sólidos totais do lodo cru, U.S.EPA (1979); ou ainda de 30 a 40% dos sólidos totais e 40 a 60% dos sólidos

voláteis, WPCF (1985), são destruídos reduzindo os custos para disposição final;

3) Melhoramento das características mecânicas do lodo (sedimentabilidade e filtrabilidade) - facilitando a separação sólido/líquido do lodo digerido;

4) Destruição de microorganismos patogênicos - provocado pelo tempo de detenção relativamente longo (15 a 20 dias para digestores de alta-taxa e 30 a 60 dias para os de baixa-taxa);

5) Produção de resíduos sólidos que podem ser usados com segurança - como condicionador do solo, pois contém nutrientes e matéria orgânica.

Como principais desvantagens tem-se:

1) Alto custo inicial de capital - como as bactérias metanogênicas têm uma taxa baixa de crescimento, torna-se necessário tempo de detenção relativamente grande, fazendo com que os reatores sejam de grande porte;

2) Susceptibilidade à instabilidade - os microorganismos envolvidos no processo são muito sensíveis às mudanças em seu ambiente (temperatura, pH, variações da carga afluente, alcalinidade); e

3) Produção de efluente de baixa qualidade - o sobrenadante é rico em nitrogênio amoniacal, sólidos em suspensão e possui alta demanda química de oxigênio (DQO).

2.1.1.3 - Microbiologia

A digestão anaeróbia é uma forma de transformação de

matéria orgânica por microorganismos específicos e ocorre em três etapas (cf. METCALF-EDDY, 1985). Na primeira etapa, substâncias complexas são solubilizadas, por hidrólise, para cadeias moleculares mais simples e solúveis. Na segunda etapa, as substâncias anteriormente formadas são processadas por bactérias facultativas acidogênicas para ácidos orgânicos, como acético, propiônico, láctico e novas células. A produção de ácido tende a diminuir o pH. Na terceira etapa, entram em ação microorganismos estritamente anaeróbios chamados de metanogênicos e que transformam os produtos da fermentação acidogênica à medida que vão sendo formados, na segunda etapa, em metano, dióxido de carbono, traços de outros gases e água. As duas últimas etapas devem sempre estar em equilíbrio dinâmico: se as bactérias acidogênicas predominam, o ácido produzido fará com que o pH baixe e isto inibe ainda mais as metanogênicas, uma vez que as bactérias metanogênicas são muito sensíveis às mudanças no seu ambiente, o mesmo não ocorrendo com as facultativas. Flutuações no pH, temperatura e concentração de substrato ou presença de substâncias inibidoras farão com que esses microorganismos diminuam ou parem por completo o seu metabolismo, provocando um desequilíbrio no sistema, pelo acúmulo de ácidos formado, pois, as bactérias acidogênicas por não serem muito sensíveis a esses tipos de variações, continuam o seu metabolismo naturalmente. Se não houver uma correção operacional a tempo, o sistema fatalmente entrará em colapso. A figura 2.1 (cf. WPCF, 1985) mostra a sequência dessas três etapas.

2.1.2 - Variantes do processo

Experiências desenvolvidas ao longo deste século nos legaram vários tipos de digestão anaeróbia. No entanto, este trabalho reportará apenas a digestão de baixa e alta-taxa, uma vez que esses tipos são os comumente usados na estabilização de lodo.

2.1.2.1 - Digestão de baixa-taxa

Digestão de baixa-taxa, também chamada de digestão convencional, é o tipo mais antigo de digestão usada na estabilização anaeróbia de lodo. Caracteriza-se pelo grande volume do reator, devido ao longo tempo de detenção (10 a 60 dias), da massa dos sólidos, requerido, (cf. WPCF, 1985), alimentação intermitente e ausência de agitação, a não ser aquela provocada pelo gás por ele mesmo produzido. A falta de agitação auxiliar provoca a estratificação do conteúdo do reator em camadas bem distintas: uma superior com espuma; uma intermediária de sobrenadante; e uma inferior composta por lodo em atividade e lodo digerido. A figura 2.2 esquematiza esse tipo de reator.

2.1.2.2 - Digestão de alta-taxa

Com o intuito de melhorar o desempenho da digestão anaeróbia, TORPEY (1954), MORGAN (1954) e SAWYER & ROY (1955), desenvolveram pesquisas, onde determinaram quatro

fatores essenciais para caracterizar esse tipo de digestão: aquecimento, agitação auxiliar, alimentação uniforme e adensamento do lodo afluente. Esses parâmetros agem no sentido de manterem constante e uniforme as condições ambientais, fazendo aumentar a taxa de crescimento dos microorganismos e, portanto, favorecendo a diminuição do volume do reator. A figura 2.3 esquematiza esse reator.

Aquecimento: como os organismos anaeróbios, particularmente metanogênicos, são muito sensíveis a até pequenas mudanças na temperatura, esse aquecimento deve ser projetado com uma faixa de temperatura que varie de $\pm 0,60$ °C (U.S.EPA, 1979). O aumento da temperatura incrementa a taxa de crescimento microbiano e, por conseguinte, aumenta a taxa de digestão que aumenta a produção de gás.

A faixa de operação de digestores de alta-taxa é de 30 a 38 °C para os organismos mesofílicos. Essa é a faixa comumente empregada, uma vez que é nela que ocorre uma produção específica de gás maior, muito embora a produção de metano possa ocorrer em temperaturas de 0 a 60 °C (cf. U.S.EPA, 1979). A digestão termofílica com faixa de temperatura entre 50 e 60 °C não é aplicada na prática. A figura 2.4 (SCHWERIN, 1976), mostra o efeito da temperatura sobre a produção específica do gás. O processo termofílico apresenta algumas vantagens sobre o mesofílico, como: taxa de reação mais rápida, permitindo diminuir o tempo de detenção; melhora a qualidade de desidratação do lodo digerido e aumento da destruição de organismos patogênicos. Como desvantagens pode-se apontar: baixa qualidade do

sobrenadante; aumento do consumo de energia; material dissolvido em grande quantidade e processo mais instável, uma vez que as bactérias termofílicas são ainda mais sensíveis a flutuações de temperatura que as mesofílicas.

Vale ressaltar que no Brasil não é preciso aquecer o digestor onde está ocorrendo o processo de estabilização do lodo, uma vez que a temperatura ambiental é suficientemente alta para proporcionar uma boa taxa de degradação, notadamente nas regiões Norte e Nordeste do País.

Agitação auxiliar: a agitação contínua do lodo ajuda a manter o ambiente do sistema mais homogêneo, previne contra possível estratificação, fazendo com que haja decomposição ativa em todo digestor, reduzindo-se, assim, a porcentagem de volume morto no reator. A agitação também promove uma melhor distribuição de metabólitos e substâncias tóxicas, bem como um contato mais rápido entre microorganismos e lodo afluente.

Pré-adensamento: já em 1954, TORPEY demonstrava os benefícios dessa prática. Conseguiu estabilização equivalente a digestão sem espessamento, em um quarto de volume de reator, de uma combinação de lodo primário e lodo secundário em excesso pré-adensado. Além de requererem menor quantidade de energia para aquecimento, pois a quantidade de lodo é reduzida, o sobrenadante é de melhor qualidade, causando menor impacto quando recirculado, visto que é retirado no espessador, em vez de o ser no reator.

TORPEY e MELBINGER (1967), estudando digestores em escala real mostraram que o espessamento por gravidade é

melhorado sensivelmente quando se recircula lodo digerido para o espessador. Essa variação de processo, também conhecida como TORPEY, está esquematizada na figura 2.5. A tabela 2.2 resume os estudos feitos por ambos.

O lodo não deve ser espessado além de um certo ponto, pois causa efeito adverso na digestão, como: aumentar o nível de certas substâncias tóxicas ou aumentar a viscosidade ou ainda causar problemas na agitação. WPCF (1985), cita como sendo indesejáveis concentrações de 6 a 10% ou mais. Entretanto, na prática, uma concentração tão elevada dificilmente será conseguida, com métodos convencionais como adensamento.

Alimentação uniforme: alimentação regularmente intermitente ou contínua ajuda a manter as condições de estabilidade dentro do reator, de outra forma submete-se o digestor à sobrecarga desnecessária.

2.1.2.3 - Digestão de duas-etapas

A digestão em duas-etapas tem as mesmas características da digestão de alta-taxa, só que, aqui, tem-se dois digestores funcionando em série, onde o segundo reator é desprovido de agitação e aquecimento. Todo o processo de digestão ocorre praticamente no primeiro digestor, enquanto que o segundo funciona basicamente como espessador do lodo digerido. A figura 2.6 mostra a configuração resumida desse sistema.

TABELA 2.2 - Resultados da recirculação de lodo digerido para o espessador na planta de BOWERY BAY, NEW YORK.

	Sem recirc. *	Com recirc. #
Lodo cru		
Carga aplicada, Kg/dia	49,03	47,44
Alimentação do digestor		
Carga aplicada, Kg/dia	49,03	65,51
Concentração de sólidos, %	8,2	9,9
Lodo digerido para disposição		
Carga aplicada, Kg/dia	27,24	21,66
Concentração de sólidos,	4,6	6,1
Volume, l/dia	586,0	348,0

(*) Média operacional em 1961.

(#) Média para 15 meses de operação com 33, 50 e 67% de recirculação de lodo digerido.

FONTE : TORPEY & MELBINGER (1967).

Observa-se que, no entanto, o segundo reator não tem um bom desempenho como espessador e, como consequência, produz um sobrenadante altamente concentrado e um lodo diluído. Basicamente, dois fatores contribuem para que o lodo digerido anaerobicamente tenha fracas características de decantabilidade (cf. MIGNONE, 1977):

1. flotação de sólidos: o lodo do digestor primário pode estar super-saturado com gás. Quando esse lodo é transferido para o se-gundo digestor, o gás começa a se desprender e na sua ascensão carrega consigo partículas de

lodo, evitando assim a sedimentação; e

2. alta proporção de pequenas partículas: partículas com pequenas dimensões são produzidas pela agitação (cf. KARR & KENNETH, 1978) e pela decomposição (cf. RUDOLFS & HENKALAKIAN, 1934). Essas partículas por não se sedimentarem facilmente, são incorporadas ao sobrenadante.

2.1.3 - Dimensionamento de digestores anaeróbios

O dimensionamento consiste em se determinar o volume do reator, que deverá ser suficiente para evitar que o sistema entre em colapso quando submetido a qualquer condição adversa esperada. Esse volume deve proporcionar, também, uma máxima estabilização de lodo, bem como de produção de metano. Basicamente, esse dimensionamento é feito usando-se dois critérios: taxa de alimentação de sólidos voláteis e tempo de retenção de sólidos (TRS).

O TRS é definido como a massa total de sólidos dentro do sistema dividido pela quantidade de sólidos retirada diariamente. Nos digestores sem recirculação ou retenção de lodo, esse tempo é igual ao tempo de detenção hidráulica.

A taxa de aplicação de sólidos voláteis, ou seja, a quantidade de sólidos voláteis aplicada por volume útil de reator e por dia, pela sua simplicidade para uso no cálculo do volume do reator, sem no entanto superdimensioná-lo, é um método bastante empregado. A literatura já traz tabelas com valores pré definidos e amplamente utilizados. BURD

(1968), divulgou alguns parâmetros usualmente aceitos como critério de dimensionamento e que são mostrados na tabela 2.3.

Para manter uma determinada massa de lodo no sistema é preciso que a taxa de reprodução das bactérias seja igual a taxa de remoção. Como a taxa de remoção depende do tempo de permanência do lodo no reator, existe um tempo mínimo para manter o sistema em funcionamento.

TABELA 2.3 - Valores típicos para dimensionar digestores anaeróbios operados mesofilicamente.

Parâmetro	Baixa-tax	Alta-taxa
Critério volumétrico, m ³ /per cap.		
Lodo primário	0,056-0,084	0,0364
Lodo primário + L. de F. bio.	0,112-0,140	0,076-0,092
Lodo primário + Lodo ativado	0,112-0,168	0,076-0,112
Taxa de alimentação de sólidos, Kg SSV/dia/m ³	0,640-1,600	2,400-6,400
Tempo de retenção de sólidos, dias	30-60	10-20

FONTE : BURD (1968).

Existe um TRS crítico tal, que tempos de permanência menores que ele provoca a lavagem da população bacteriana metanogênica e, como consequência, leva o digestor a cessar as suas atividades metanogênicas. Portanto, é de extrema importância se dimensionar TRS maiores que esse crítico. LAWRENCE & McCARTY (1970), recomendam um fator de segurança

de 2 a 10, dependendo da alimentação de pico esperada e do acúmulo de espuma e areia projetados. TORPEY (1954), mostra uma tabela (cf. TAB. 2.4) onde se pode encontrar TRS críticos e sugeridos para projetos relacionados às suas respectivas temperaturas de operação para reatores de alta-taxa.

TABELA 2.4 - Tempos de retenção de sólidos mínimos e de projetos para digestores anaeróbios de alta-taxa.

Temperatura de operação, °C	Tempo de retenção de sólidos, d	
	Mínimo (TRSc)	Sugerido (TRSc)
18	11	28
24	8	20
29	6	14
35	4	10
41	4	10

FONTE : TORPEY (1954).

2.1.4 - Desempenho do processo

2.1.4.1 - Qualidade do sobrenadante

É sabido que a qualidade do sobrenadante, originado em sistemas de tratamento anaeróbio de lodo, deixa muito a desejar, devido a sua fraca característica de decantabilidade. Esse sobrenadante, na maioria das vezes, possui altas concentrações de material orgânico, sólidos

suspensos e dissolvidos, nitrogênio, fósforo, e outros materiais que podem impor carga extra ao processo de tratamento, quando é usual a recirculação do sobrenadante para o início da planta de tratamento das águas residuárias. A tabela 2.5 mostra as características do sobrenadante efluente para três tipos de lodo tratados em digestores anaeróbios de alta-taxa e dois estágio (cf. U.S.EPA, 1979): (1) primário; (2) primário e de um filtro biológico; e (3) primário mais ativado.

2.1.4.2 - Produção de gás

Uma singular vantagem da digestão anaeróbia sobre outros métodos de estabilização de lodo é a obtenção de biogás como sub-produto da destruição dos sólidos. Características desse biogás são mostradas na tabela 2.6 (cf. U.S.EPA, 1979 e WPCF, 1985).

A produção de gás está relacionada com a quantidade de sólidos voláteis destruídos, podendo variar segundo a quantidade de sólidos voláteis presentes no lodo cru e da atividade biológica do digestor (cf. METECALF-EDDY, 1985). É geralmente expressa como volume de gás por unidade de massa de sólidos voláteis destruídos. Dentro de um reator podemos encontrar várias substâncias, sendo que cada uma delas tem sua própria taxa específica de produção de gás. A tabela 2.7 (cf. BUSWELL & NEAVE, 1939), mostra essa taxa para algumas substâncias. WPCF (1985), cita como sendo de 0,9 a 1,1 m³/Kg a taxa de produção de gás, relacionada a

destruição de sólidos voláteis, para um digestor municipal típico alimentado com lodo primário e lodo proveniente de uma planta de lodo ativado. Diz, também, que a quantidade de gás produzida é função da temperatura, TRS e carga de sólidos voláteis. A figura 2.4 ilustra o efeito da temperatura sobre a taxa de produção de gás.

2.1.4.3 - Redução de sólidos

O uso da digestão anaeróbia como processo de estabilização de lodo tem como uma das finalidades a redução da massa total desse lodo e, por conseguinte, dos sólidos para disposição final. Usualmente, supõe-se que essa redução se realiza só na porção volátil dos sólidos do lodo, U.S.EPA (1979), mas, há, também, uma diminuição dos sólidos fixos. A composição do lodo, temperatura e TRS são parâmetros que determinam o quanto de lodo será destruído.

A composição do lodo de excesso é uma variável que não tem sido investigada. Isso se deve ao fato de que na Europa e nos Estados Unidos os sistemas de lodos ativados geralmente operam com decantação primária e com idade de lodo muito curta. Desse modo, o lodo de excesso se compõe principalmente de lodo primário e lodo secundário, este minoritariamente presente, tem uma alta fração de lodo ativo (isto é: fração biodegradável). Em contraste, nos trópicos, onde a remoção de nutrientes é possível e necessária à operação de sistemas de lodo ativado, não há decantação primária e a idade de lodo aplicada no sistema é

relativamente longa, o que implica numa fração de lodo ativo, no lodo de excesso, reduzida. Portanto, enquanto nos sistemas de lodo ativado nas regiões de clima moderado a composição de lodo de excesso se assemelha a do lodo primário, nos trópicos a composição do lodo de excesso é a mesma do lodo biológico do sistema e, conseqüentemente, depende diretamente das condições operacionais desse sistema.

Quanto a temperatura, é sabido que, quanto mais alta essa for, mais rápido acontece a estabilização e, por conseguinte, maior será a produção de biogás. Uma observação importante a ser feita é que o aumento do TRS, para uma dada temperatura não implica necessariamente em aumento da redução de sólidos voláteis. A partir de um certo valor de TRS, a redução, bem como a produção de metano permanecem constantes, independentemente do TRS. A figura 2.7 (cf. O'ROURKE, 1968), mostra o efeito da temperatura e TRS na destruição de sólidos voláteis e produção de metano, para um digestor mesofílico de lodo primário em escala de laboratório. Podemos observar, também, através da figura 2.8 (op. cit.), a porcentagem de sólidos voláteis destruídos em função da temperatura e do TRS.

TABELA 2.5 - Características do sobrenadante de digestores anaeróbios de alta-taxa e dois estágios em ambiente mesofílico, tratando diferentes lodos

Concentração em mg/l (*)											
Parâmetros	Lodo primário		Lodo primário + Lodo de filtro biológico			Lodo primário + Lodo secundário					
	(*)	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5
Sólidos totais	9400	-	4545	-	-	-	1475	2160	-	-	-
Sól. voláteis total	4900	-	2930	-	-	-	814	983	-	-	-
Sólidos suspensos											
Média	-	4277	2205	1518	7772	-	383	143	740	1075	4408
Máximo	-	17300	-	-	32400	-	-	-	-	-	14650
Mínimo	-	600	-	-	100	-	-	-	-	-	100
Sól. vol. suspensos											
Média	-	2640	1660	-	4403	-	299	118	-	750	3176
Máximo	-	10850	-	-	17750	-	-	-	-	-	10650
Mínimo	-	420	-	-	60	-	-	-	-	-	75
DBO											
Média	-	713	-	-	1238	-	-	-	-	515	667
Máxima	-	1880	-	-	6000	-	-	-	-	-	2700
Mínimo	-	200	-	-	135	-	-	-	-	-	100
DQO	-	-	4565	2230	-	-	1384	1310	1230	-	-
TCO	-	-	1242	-	-	-	443	320	-	-	-
PO ₄ total, c/ P	-	-	143	85	-	-	63	87	100	-	-
NH ₃ -N	-	-	853	-	-	-	253	559	-	480	-
N, orgânico	-	-	291	678	-	-	53	91	360	560	-
pH	8,9	-	7,3	7,2	-	-	7,0	7,8	7,0	7,3	-
Ácidos voláteis Alc., c/ CaCO ₃	2555	-	3780	-	-	-	322	250	-	-	-
Fenóis											
Média	-	0,23	-	-	2,23	-	-	-	-	-	0,35
Máximo	-	0,80	-	-	0,50	-	-	-	-	-	1,00
Mínimo	-	0,06	-	-	0,06	-	-	-	-	-	0,08

(*) Os números 1,2,3,4 e 5 referem-se a plantas de tratamento investigadas.

FONTE : U.S.EPA (1979).

TABELA 2.6 - Características do biogás

Constituintes	Valores p/ várias plantas, % por volume (*)							
Metano	42,5	61,0	62,0	67,0	70,0	73,7	75,0	73 a 75
Diox. de Carbono	47,7	32,8	38,0	30,0	30,0	17,7	22,0	21 a 24
Hidrogênio	1,7	3,3	x	-	-	2,1	0,2	1 a 2
Nitrogênio	8,1	2,9	x	3,0	-	6,5	2,7	1 a 2
Àc. Sulfídrico	-	-	0,15	-	0,01 a 0,02	0,06	0,1	1 a 1,5
Poder calorífico								
Kcal/m ³	17.102	24.852	24.592	23.250	27.125	29.473	26.678	27.2035 a 27.945
Peso específico								
ar=1	1,04	0,87	0,92	0,86	0,85	0,74	0,78	0,7 a 0,8

x - Traços

* - Exceto valores anotados

FONTE : U.S.EPA (1979) e WPCF (1985)

TABELA 2.7 - Produção de gás para alguns componentes do lodo.

Material	Produção específica de gás por unidade de massa destruída, m ³ /Kg	% de metano presente
Gordura	20 a 25	62 a 72
Escuma	14 a 16	70 a 75
Graxas	17	68
Fibras	13	45 a 50
Proteínas	12	73

FONTE : BUSWELL & NEAVE (1939).

Na tabela 2.8 observa-se a porcentagem de sólidos

voláteis destruídos (cf. WPCF, 1985) para digestores de baixa e alta-taxa. Para um reator padrão, esse valor pode ser calculado pela seguinte equação (cf. ENVIRONMENTAL ENGINEERS HANDBOOK, 1974):

$$Vd = 30 + t/2 \quad (1)$$

Onde:

Vd = sólidos voláteis destruídos, porcentagem; e

t = tempo de digestão, dias.

Para um sistema de alta-taxa a equação será:

$$Vd = 13,7 \ln (@) + 18,94 \quad (2)$$

Onde:

@ = TRS do digestor, dias.

ln = logaritmo neperiano

2.1.5 - Condições operacionais

2.1.5.1 - pH e alcalinidade

Particularmente, o pH é um parâmetro que afeta extremamente as bactérias metanogênicas, devendo por isso ter uma especial atenção no seu controle operacional. HEUKELEKIAN & HEINEMANN (1939) e MYLROIE & HUNGATE (1954), demonstraram, através de pesquisas que a faixa ótima de pH para essas bactérias está entre 6,4 e 7,5. CLARK & SPEECE (1970), desenvolveram estudos onde concluíram que a tolerância desses microorganismos às variações de pH é maior do que até então se pensava. Valores altos ou baixos de pH não causam necessariamente a morte desses organismos mas,

tão somente, a interrupção do seu crescimento populacional.

TABELA 2.8 - Destruição estimada de sólidos voláteis.

Tipo de digestor	tempo de digestão (dias)	Sól. vol. destruídos (%)
Alta-taxa	30	65,5
	20	60,0
	15	56,0
Baixa-taxa	40	50,0
	30	45,0
	20	40,0

FONTE : WPCF (1985).

Mais importante que as variações no pH, é a característica que o conteúdo do sistema adquire para resistir a essas variações, denominada de capacidade de tamponação. O aumento da alcalinidade a bicarbonato aumenta a capacidade de tamponação, deixando o sistema menos susceptível a colapso, portanto, menos instável.

A alcalinidade a bicarbonato do conteúdo do digestor pode ser calculada com a seguinte equação (SOUZA, 1984):

$$Ba = At - 0,83 * 0,85 * Av \quad (3)$$

Onde:

Ba = alcalinidade a bicarbonato como $CaCO_3$, mg/l;

At = alcalinidade total como $CaCO_3$, mg/l;

Av = ácidos voláteis como ácido acético, mg/l;

0,83 = converte ácido voláteis como ácido acético

para alcalinidade a ácidos voláteis como CaCO_3 ; e

0,85 = fração de acetato que é convertida para ácido acético na titulação a $\text{pH}=4,0$.

Várias substâncias podem ser usadas para aumentar a capacidade de tamponação do conteúdo do digestor, como bicarbonato de sódio, soda cáustica, cal, hidróxido de amônia, etc.. O bicarbonato de sódio é o mais indicado, pois não causa efeitos colaterais, como por exemplo, o gás amônia (NH_3), devido a sua toxidez a partir de determinada concentração ou, ainda, a cal que ao reagir com o bicarbonato forma carbonato de cálcio que é insolúvel, provocando incrustação.

Se, por alguma complicação no processo digestivo, a alcalinidade do conteúdo cai a níveis considerados perigosos para manter um bom desempenho do processo anaeróbio, é necessário elevar a alcalinidade total. BARBER & DALE (1978), desenvolveram uma equação que determina a quantidade de alcalinidade a bicarbonato necessária, fazendo-se uso de qualquer substância que provoque a elevação da alcalinidade total:

$$Dd = Dmax. (1 - 1/e) \quad (4)$$

Onde:

Dd = quantidade de alcalinidade adicionada diariamente ao digestor para se obter o nível de alcalinidade total desejada, como CaCO_3 mg/l;

Dmax. = aumento requerido de alcalinidade total no

interior do digestor como CaCO_3 , mg/l; e

$1/\theta$ = recíproca do tempo de retenção médio ou TRS,
 d^{-1} .

2.1.5.2 - Toxicidade

Muitos dos dados publicados sobre toxicidade em sistemas de digestão anaeróbia são errôneos e enganadores, devido a inadequadas técnicas experimentais, e em geral, desconhecimento do que vem a ser toxicidade (cf. U.S.EPA, 1979). Toxicidade é um termo relativo, pois depende da solubilidade da substância e da sua capacidade de penetrar nas células dos organismos, capacidade essa que varia de organismo para organismo; da concentração que pode ser benéfica, inibitória, tóxica ou inócua, como mostra o exemplo da tabela 2.9, McCARTY & McKINNEY (1961) e ALBERTSON (1961) para nitrogênio amoniacal; e da capacidade de aclimatação dos microorganismos a determinadas variações na carga da substância afluente.

Um outro ponto a considerar é a possibilidade de sinergismo - aumento do efeito tóxico de uma determinada substância na presença de outra, ou antagonismo - redução do efeito tóxico da substância na presença de outra. A tabela 2.10 apresenta dados de KUGELMAN & McCARTY (1965), referentes a alguns cátions que exibem essa característica.

Entre tantas substâncias com potencial tóxico, terse-á comentários apenas sobre algumas que são de interesse no caso de digestão anaeróbia do lodo.

TABELA 2.9 - Efeitos do nitrogênio amoniacal sobre a digestão anaeróbia.

Concentrações de amônia, mg/l como N	Efeitos
50 - 200	Benéficos
200 - 1.000	Não adverso
1.500 - 3.000	Inibitório para pH Entre 7,4 e 7,6
Acima de 3.000	Tóxico

FONTE : McCARTY & McKINNEY (1961).

TABELA 2.10 - Sinergismo e antagonismo por combinação de cátions.

Cátions tóxicos	Cátions sinérgicos	Cátions antagônicos
Amônia	Cálcio, Magnésio, Potássio	Sódio
Cálcio	Amônia, magnésio	Potássio, Sódio
Magnésio	Amônia, Cálcio	Potássio, Sódio
Potássio	-----	Amônia, Cálcio Magnésio, Sódio
Sódio	Amônia, Cálcio, Magnésio	Potássio

FONTE : KUGELMAN & McCARTY (1965).

Ácidos voláteis - estudos realizados no início dos anos 60 por McCARTY & McKINNEY (1961) e McCARTY & BROSSEAU (1963), demonstraram que:

- 1). uma concentração de 6.000 a 8.000 mg/l não é tóxica para bactérias metanogênicas, desde que exista adequada capacidade de tamponação para manter no sistema um pH dentro da faixa de 6,6 a 7,4;

2). o controle do pH por adição de material alcalino é um procedimento válido enquanto o cátion associado com o material alcalino não cause toxicidade.

Metais pesados - a toxicidade dos metais pesados tem sido frequentemente citado como causa do fracasso da digestão anaeróbia (cf. U.S.EPA, 1979), bem como fator limitante para o método a ser usado para disposição final do lodo (cf. WPCF, 1985). A tabela 2.11, MOSEY (1976) e DeWALLE (1979) mostra concentrações totais de metais que têm causado problemas na digestão anaeróbia. Esclarece-se que só a fração dissolvida desses metais é que causa inibição.

A quantidade de metais pesados no lodo depende do processo de tratamento e da concentração do metal na água residuária afluente. A remoção é tanto maior quanto maior for a concentração afluente. A tabela 2.12, U.S.EPA (1977) e ESMOND & PETRASEK (1973), mostra as concentrações afluentes mais comumente encontradas, bem como a faixa percentual de remoção esperada para tratamento secundário e por adição de alumínio (tratamento primário).

Cátions de metais leves - a importância dos cátions de metais leves (sódio, magnésio, potássio, cálcio, etc) na digestão anaeróbia foi mostrada por KUGELMAN & CHIN (1971) e KUGELMAN & McCARTY (1965). Como mostra a tabela 2.13 (cf. McCARTY, 1964) esses cátions podem provocar efeitos estimulatórios, inibitórios moderadamente ou muitíssimo inibitório, a depender da concentração dos mesmos. Normalmente esses cátions são encontrados em águas residuárias industriais ou, quando se faz adição de

substâncias químicas, na operação para controle do pH, sendo pouco significativa sua concentração nos lodos de esgoto doméstico, a não ser quando sofrem contribuição de águas industriais.

TABELA 2.11 - Concentração de metal capaz de provocar inibição em digestores anaeróbios.

Concentração no conteúdo do digestor			
Metal	% de metal no sólido seco	mmols. de metal/Kg de sólido seco	solubilidade do metal, mg/l
Cobre	0,93	150	0,5
Cádmio	1,08	100	-
Zinco	0,97	150	3,0
Ferro	9,56	1.710	-
Cromo			
+6	2,20	420	3,0
+3	2,60	500	-
Níquel	-	-	2,0

FONTE : MOSEY (1976) e DeWALLE (1979).

Oxigênio - estudos feitos por FIELDS & AGARDY (1971), injetando oxigênio à taxa de 0,1 ml de oxigênio por litro por hora, mostraram que a produção total de gás decaiu de 36% após 19 horas e cessou completamente após 69 horas. Isso implica dizer que sobre condições normais de operação, a concentração de oxigênio que venha afluir para o interior do digestor não causará maiores problemas.

TABELA 2.12 - Concentração afluente e remoção esperada de metais pesados em sistemas de tratamento de águas residuárias.

Metais pesados	Conc. afluente (mg/l)	Eficiência de remoção, %	
		Tratamento secundário	Tratamento primário
Cádmio	<,008 - 1,142	20 - 45	60
Cromo			
+3	<,020 - 5,8	40 - 80	90
+6	<,020 - 5,8	0 - 10	-
Chumbo	<,050 - 12,2	50 - 90	85
Mercúrio	<,0001 - 0,068	20 - 75	65
Níquel	<,1000 - 880,0	15 - 40	35
Cobre	<,020 - 9,6	0 - 70	90
Zinco	<,02 - 18,00	35 - 80	85
Arsênio	,002 - 0,0034	28 - 73	-
Ferro	<,1 - 13,00	72	-
Magnésio	,02 - 0,95	25	-
Prata	<,05 - 0,6	-	-
Cobalto	-	-	-
Bário	-	47	-
Selênio	-	79	-

FONTE : U.S.EPA (1977).

Amônia - a amônia é encontrada nos digestores anaeróbios sob duas formas e em equilíbrio, sendo que a concentração relativa de cada uma depende do pH, como indica a seguinte equação de equilíbrio:



Para níveis baixos de pH o equilíbrio se desloca

para a esquerda e, para níveis altos, desloca-se para a direita.

TABELA 2.13 - Concentrações estimulatórias e inibitórias de cátions de metais leves.

Cátions	Concentração, mg/l		
	Moderadamente Estimulatória	Muitíssimo inibitória	Inibitória
Cálcio	100 - 200	2.500 - 4.500	8.000
Magnésio	75 - 150	1.000 - 1.500	3.000
Potássio	200 - 400	2.500 - 4.500	12.000
Sódio	100 - 200	3.500 - 5.500	8.000

FONTE : McCARTY (1964).

A toxicidade da amônia é avaliada analisando-se o total da concentração amônia-nitrogênio. Se o total dessa concentração estiver entre 1.500 e 3.000 mg/l e o pH estiver acima de 7,4 - 7,6, a inibição pode ser originada pelo gás amônia (NH₃). Se o total da concentração amônia-nitrogênio estiver acima de 3.000 mg/l, então o ion NH₄⁺ pode vir a ser tóxico não importando o valor do pH (cf. U.S.EPA, 1979).

2.1.6 - FIGURAS

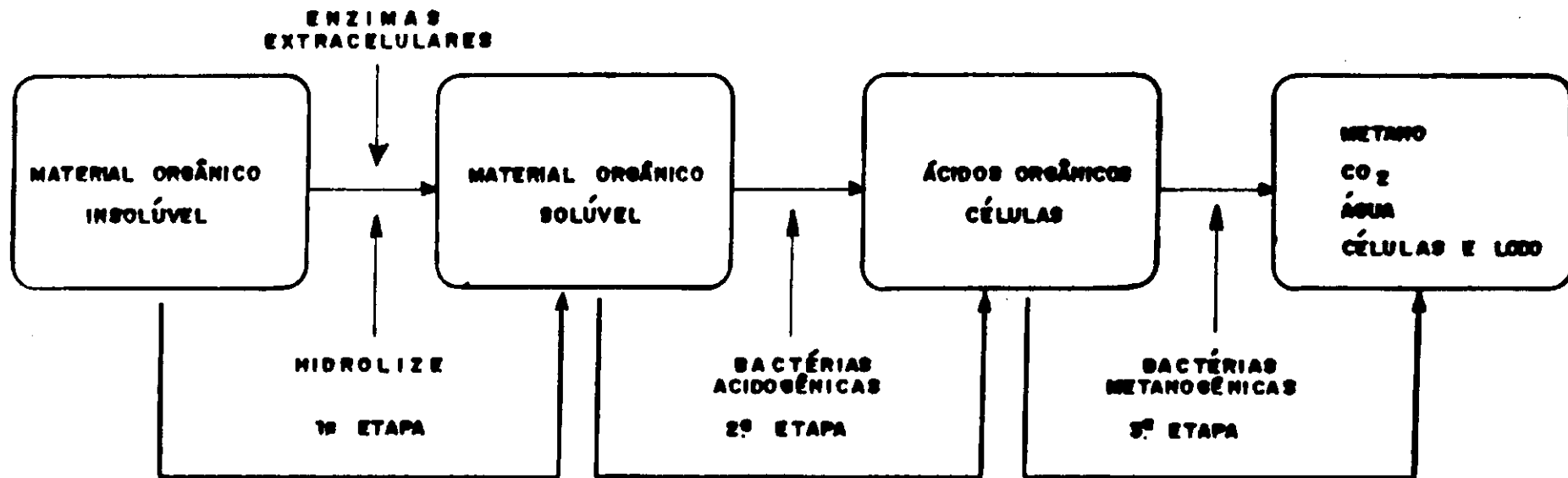


FIGURA: 2.1 - FLUXOGRAMA ESQUEMÁTICO DAS ETAPAS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA.
 FONTE : ADAPTADA DO WPCF (1985).

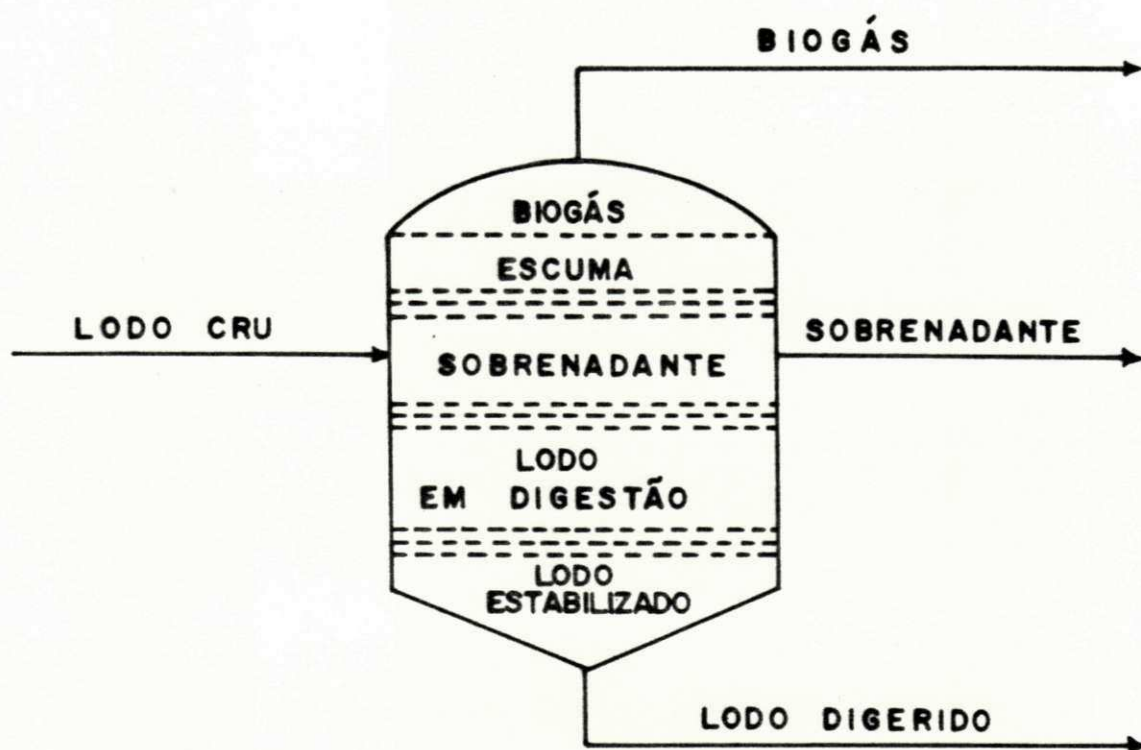


FIGURA: 2.2. — ESQUEMA DE UM DIGESTOR ANAERÓBIO DE BAIXA-TAXA.

FONTE: U.S. EPA (1979).

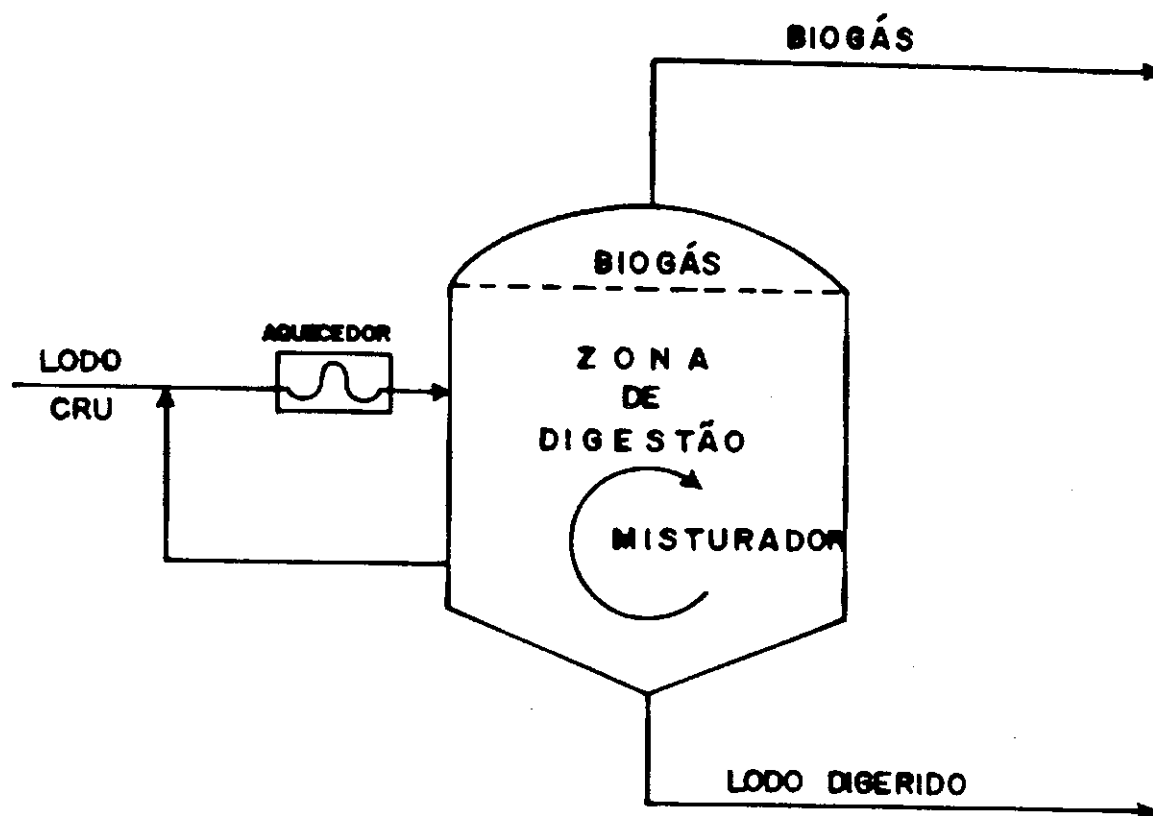


FIGURA: 2.3 - ESQUEMA DE UM DIGESTOR ANAERÓBIO DE ALTA-TAXA.
FONTE: U. S. EPA (1979).

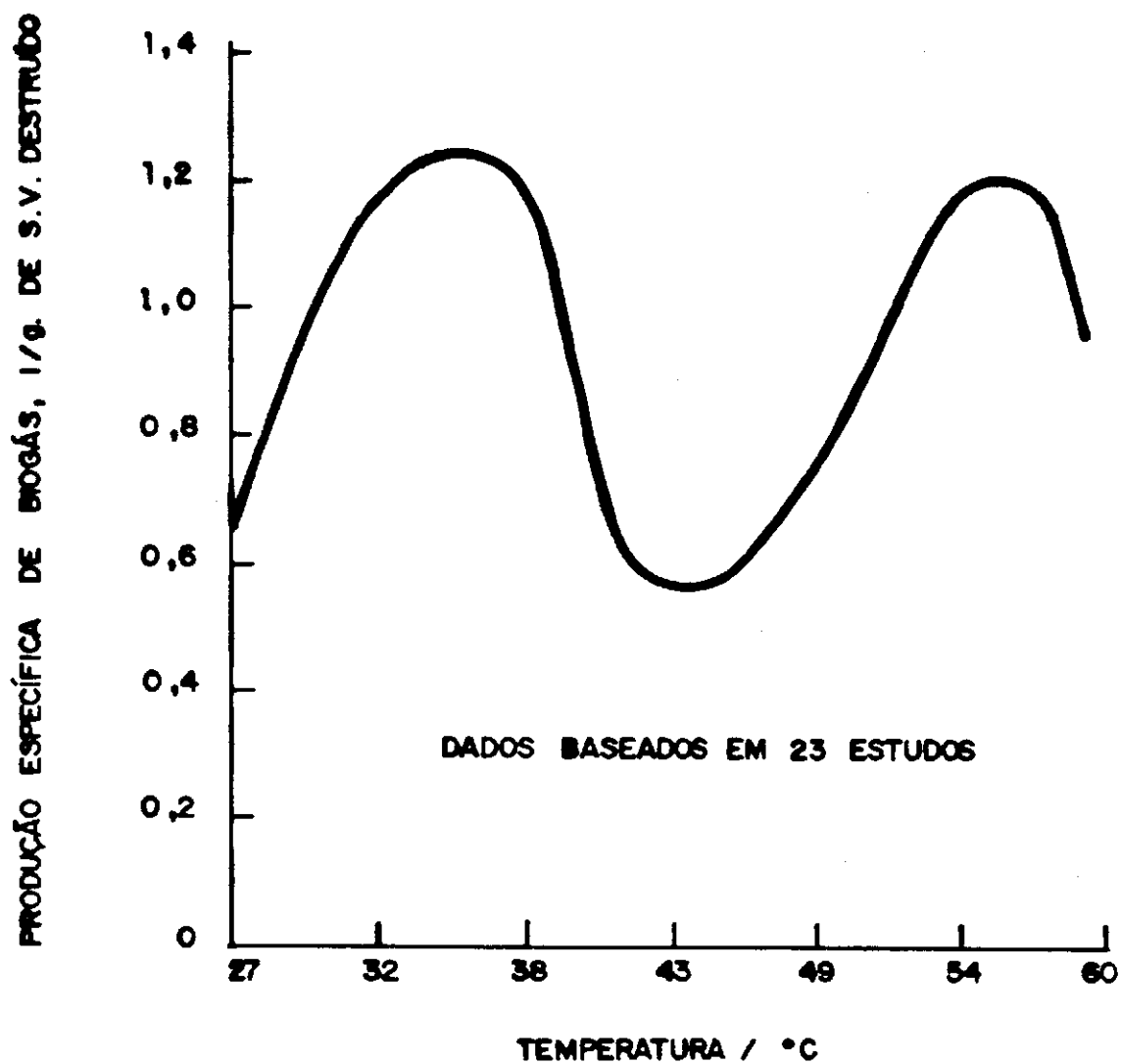


FIGURA 2.4 - EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE A PRODUÇÃO DE BIO- / GÁS.

FONTE: SCHWERIN (1976)

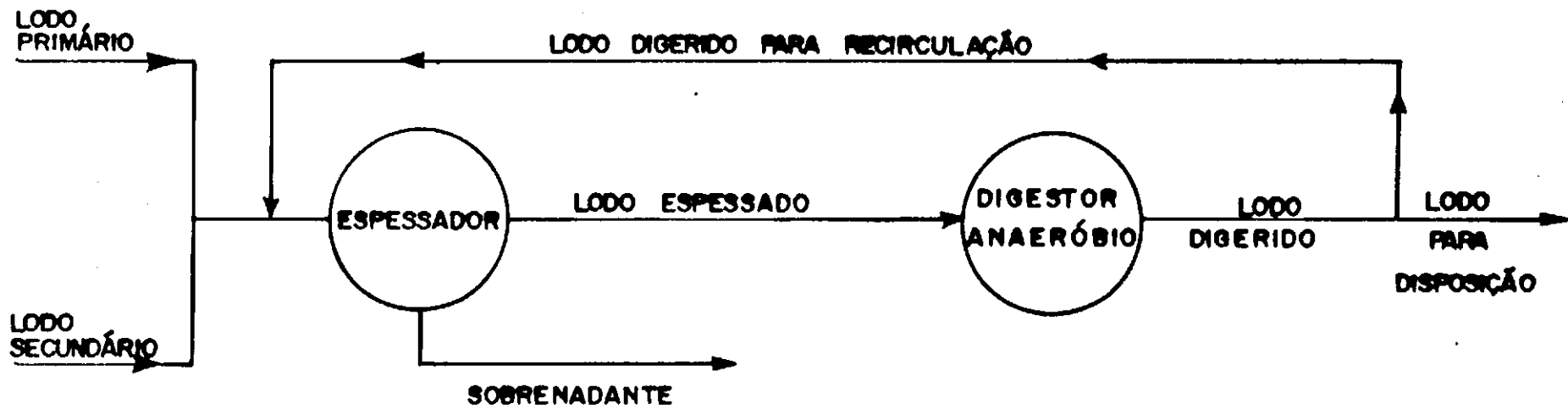


FIGURA: 2.6 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO PROCESSO TORPEY.
FONTE: U.S. EPA (1979).

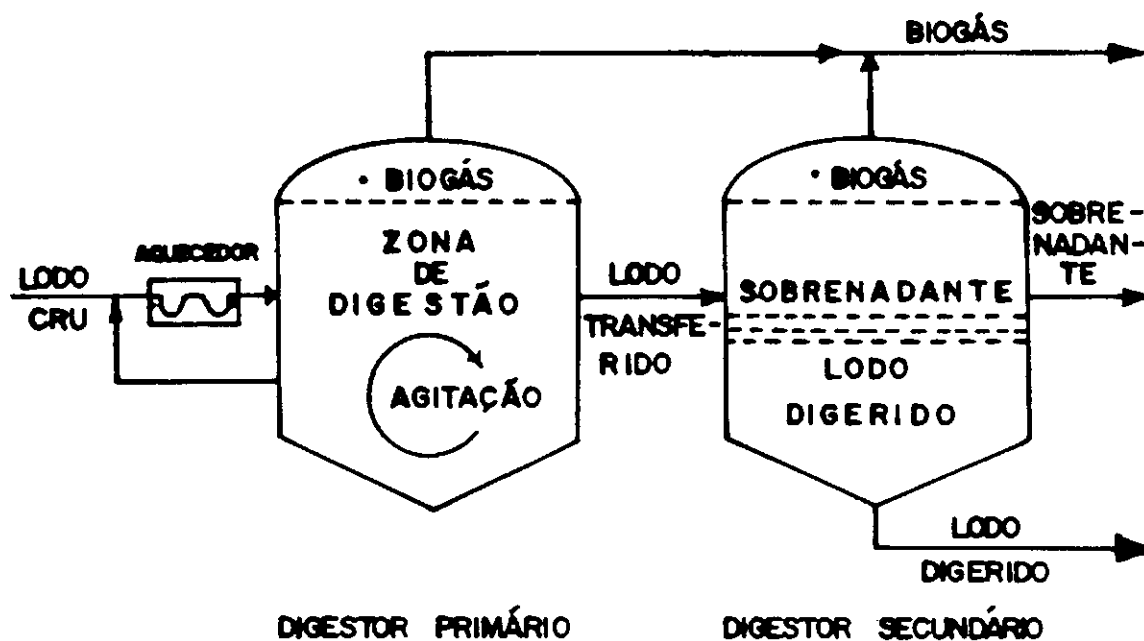


FIGURA: 2.6 - ESQUEMA DE UM SISTEMA DE DIGESTÃO ANAERÓBIA DE ALTA-TAXA COM DOIS ESTÁGIOS.

FONTE: U. S. EPA (1979).

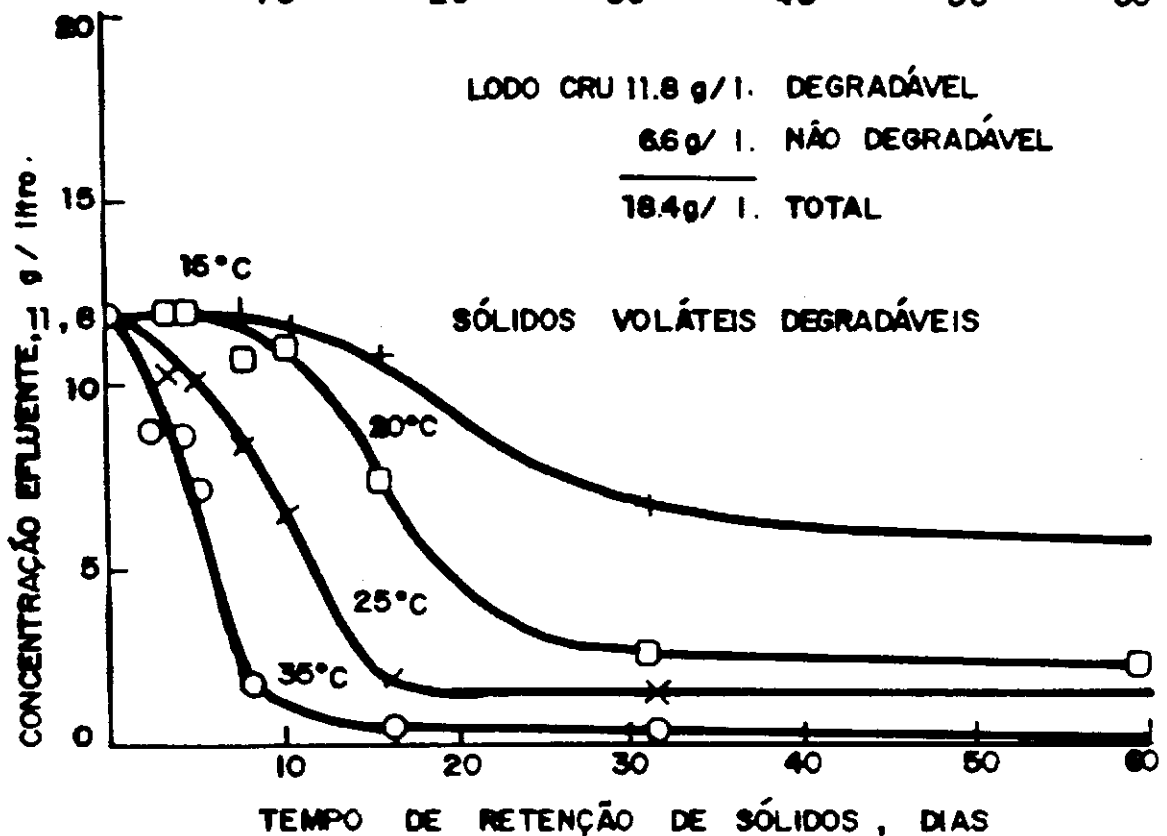
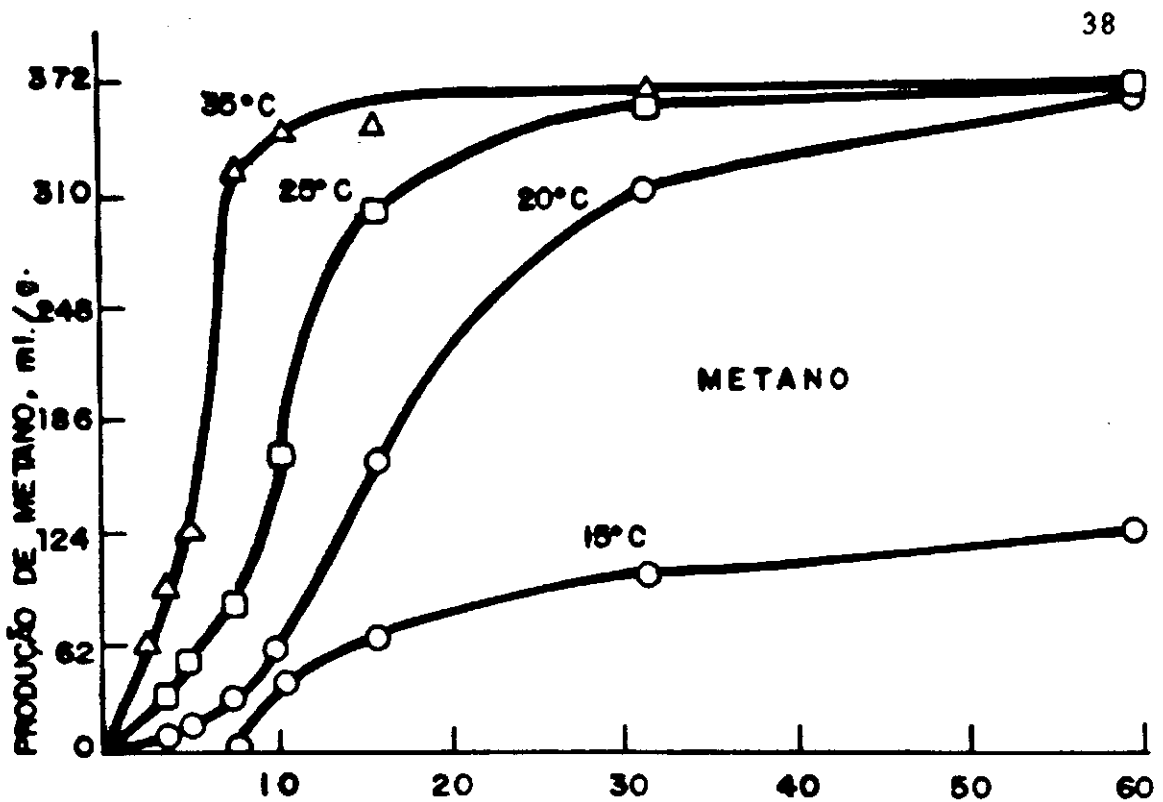


FIGURA: 2.7 - EFEITO DA TEMPERATURA E DO TEMPO DE RETENÇÃO DE / SÓLIDOS SOBRE A PRODUÇÃO DE METANO E DESTRUIÇÃO DE SÓLIDOS VOLÁTEIS.

FONTE: O' ROURK (1968).

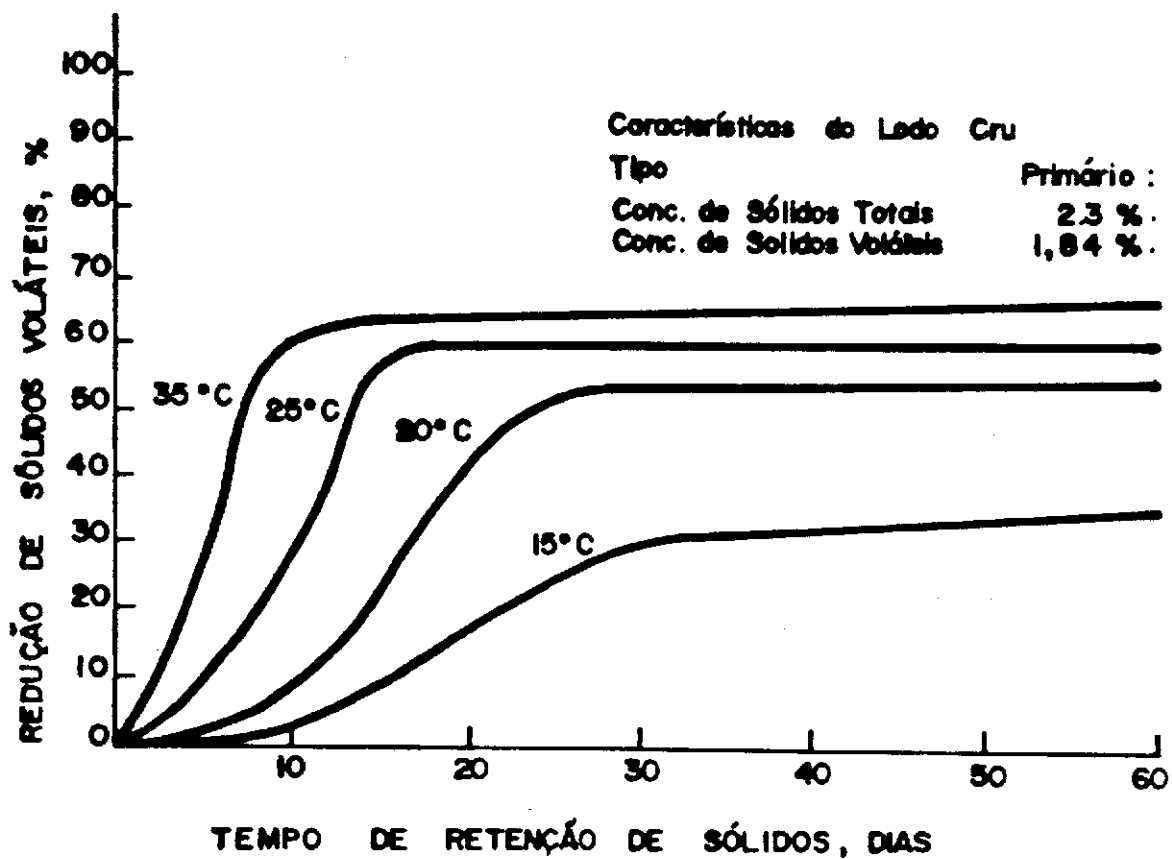


FIGURA: 2.8 EFEITO DO TEMPO DE RETENÇÃO DE SÓLIDOS E DA TEMPERATURA SOBRE REDUÇÃO DE SÓLIDOS VOLÁTEIS OBSERVADO EM UM DIGESTOR ANAERÓBICO EM ESCALA DE LABORATÓRIO.

FONTE: O' ROURK (1968).

III - MATERIAIS E MÉTODOS

O objetivo da investigação experimental foi de observar a influência da composição de lodo ativado sobre a sua decomposição anaeróbia. Para tanto, foi preciso gerar lodos com diferentes frações de lodo ativo. O sistema de geração de lodo ativado se compôs de uma lagoa aerada e uma série de quatro digestores aeróbios, enquanto que o Sistema de Digestão Anaeróbio de lodo se compôs de cinco digestores convencionais de mistura completa. A figura 3.0 esquematiza ambos os sistemas como um todo.

3.1 - Descrição do Sistema Aeróbio

O Sistema Aeróbio compreendia um sistema inicial composto de uma lagoa aerada, um decantador, um agitador, um compressor e uma bomba, e de um sistema complementar composto por quatro digestores aerados e quatro decantadores.

3.1.1 - Sistema inicial

Este sistema estava situado na Estação Experimental de Tratamento de Esgoto da UFPb (EXTRABES), em um local próximo ao interceptor do sistema de esgotamento da cidade de Campina Grande e do qual era retirado o esgoto utilizado na geração de lodo para esta pesquisa. O sistema foi assim

constituído:

a) Lagoa aerada (LA₀) : tanque em cimento amianto com capacidade para 1000 litros. Diariamente o tanque era alimentado com 500 l/d de esgoto bruto. Para promover a agitação do licor, um motor de 1/2 HP e de baixa rotação (45 rpm) acionava um eixo provido na sua extremidade com uma paleta metálica, com 50 cm de comprimento e 3,0 cm de largura, tendo a paleta sofrido uma torção de 30 graus, em ambos os lados, no ponto que a unia ao eixo.

A aeração foi propiciada por um compressor Shulz de 1/4 CV e que funcionava sem óleo. Para a distribuição do ar no seu interior, foi feita uma adaptação com tubo de PVC com 1,0 cm de diâmetro, tendo ao longo de sua geratriz duas fileiras de furos, com diâmetro de 1,0 mm, separando um furo do outro de 5,0 cm e uma fileira da outra de 1,0 cm. O tubo circundava o fundo do tanque, lateralmente, e foi a ele fixado com os furos voltados para baixo. Uma mangueira fez a ligação entre esse tubo e o compressor de ar. A figura 3.1 mostra um esquema dessa lagoa.

b) Decantador: tanque em cimento amianto com capacidade para 500 litros. Sofreu uma inclinação de 10 graus para facilitar a drenagem do lodo. O sobrenadante era retirado lateralmente através de uma torneira colocada a uma altura tal que o conteúdo decantado que restava perfazia um total de 30 litros. O lodo decantado era retirado pelo fundo através de uma torneira ali adaptada. Confira figura 3.1.

c) Bomba: para alimentação da lagoa (LA₀) foi utilizada uma

bomba de sucção centrífuga negativa e que estava localizada em cima de uma boca de inspeção do interceptor que passa pela EXTRABES. A ligação bomba/LA₀ era feita por mangueira de diâmetro igual a 2,5 cm.

3.1.2 - Sistema complementar

O sistema complementar estava situado no laboratório de Saneamento do Centro de Ciências e Tecnologia da UFPb. A figura 3.2 esquematiza um desses digestores.

a) Digestores (DA₁, DA₂, DA₃ e DA₄) - compostos por quatro tanques de cimento amianto com capacidade, cada um, para 50 litros. Tinha na parte lateral inferior uma torneira, que permitia a retirada do licor misto. Para a aeração, foi disposto no fundo de cada digestor e em cada canto pedras porosas que, por sua vez, estavam ligadas aos aeradores através de mangueiras.

b) Agitadores - para agitação do licor misto dos digestores, adaptou-se um eixo com uma paleta em acrílico com 2,0 cm de largura e 30 cm de comprimento a espremedores de laranja da marca ARNO. Os agitadores foram ligados a um contador de tempo que os ligava/desligava a cada cinco minutos.

c) Decantadores - como decantadores, foram usados baldes de plástico com capacidade para 10 litros.

d) Aeradores - para aerar os digestores, fez-se uso de aeradores, usados normalmente em aquários de peixes, com dupla saída.

3.1.3 - Obtenção do lodo

O lodo era gerado a partir de esgoto bruto municipal, em uma série de cinco reatores aerados de mistura completa, operadas conforme os seguintes procedimentos:

a) Lagoa LA₀ - era alimentada intermitentemente com 500 l/d. Diariamente retirava-se 500 l de licor misto da LA₀, e completava-se o volume da lagoa com 500 l de esgoto bruto. Portanto, o tempo de permanência do licor e, por conseguinte, da idade do lodo em LA₀ eram de 2 dias. O licor misto retirado era decantado, reduzindo-se o volume de lodo para 30 l. Os 470 l/d de sobrenadante eram descartados.

Dos 30 litros de lodo decantado, 26 litros eram usados para alimentar o digestor DA₁, enquanto que, a cada dois dias, os 4 litros restantes, depois de novamente decantados e centrifugados até se obter um volume de 800 ml, eram utilizados para alimentar o digestor anaeróbio D₀.

b) Digestores aeróbios DA₁, DA₂, DA₃ e DA₄ - tinha-se nesses digestores um volume de 45 litros de licor misto. Diariamente eram retirados 5 litros de licor misto do DA₁; 6 litros do DA₂; 7 litros do DA₃ e 8 litros do DA₄. A cada dois dias, esses lodos, após decantados, eram também centrifugados até se obter um volume de 800 ml, indo alimentar os digestores anaeróbios D₁, D₂, D₃ e D₄ respectivamente.

A alimentação dos digestores aeróbios era feita

diariamente e da seguinte forma: retirava-se 8 litros de licor misto do DA₄ e complementava-se o volume desta com licor misto do DA₃. Do DA₃ retirava-se, ainda, mais 7 litros, e complementava-se o volume do DA₃ com 15 litros de licor misto do DA₂. Retirava-se, ainda, mais 6 litros do DA₂, e complementava-se com 21 litros do DA₁. Do DA₁ retirava-se mais 5 litros e complementava-se o volume deste com os 26 litros obtidos da LA₀. A figura 3.0 visualiza a operação desses digestores

Essa maneira de operar o sistema aeróbio foi adotado porque, pela teoria da digestão aeróbia, as massas de sólidos voláteis, nos 4 litros de lodo da LA₀, nos 5 litros do DA₁, nos 6 litros do DA₂, nos 7 litros do DA₃ e nos 8 litros do DA₄ seriam iguais entre si, de modo que cada digester anaeróbio recebia a mesma carga de sólidos voláteis. Por outro lado, gerava-se cinco lodos com frações diferentes de lodo ativo. Esses cinco lodos eram submetidos a digestão anaeróbia. Diariamente, antes e após a alimentação, dos digestores aeróbios, era feita a determinação da Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO), nos quatro digestores aeróbios. A TCO permitia calcular a concentração de lodo ativo presente em cada digester. Era feita também a leitura da temperatura máxima e mínima no DA₄. Para tanto, mantinha-se no interior deste um termômetro para medir as flutuações diárias da temperatura.

Para o cálculo da concentração de lodo ativo nos digestores DA₁, DA₂, DA₃ e DA₄ foi usada a seguinte expressão (Van Haandel e Calvacanti Catunda, 1982):

$$X_a = \frac{\text{TCO}}{(1 - f) * (p + 4,57 * f_n) * b_h} \quad (1)$$

Onde:

X_a = concentração de lodo ativo, em mg/l;

TCO = taxa de consumo de oxigênio, em mg O_2 /l.h;

f = fração de lodo ativo que ao decair se transforma em resíduo endógeno;

= 0,2 (Marais e Ekama, 1976);

f_n = fração de massa de nitrogênio nos sólidos orgânicos, em mg N/mg SSV;

= 0,1 (idem);

p = razão DQO/SSV, em mg DQO/mg SSV;

= 1,5 (Couras Dias *et alli.*, 1983);

b_h = constante de respiração endógena, em d^{-1}

= 0,272 para uma temperatura de 23 °C.

Para a lagoa LA_0 , a expressão empregada foi (Marais e Ekama, 1976):

$$X_a = \frac{(1 - f_{us} - f_{up}) * Y_h * S_{ti}}{(1 + b_h * R_s)} \quad (2)$$

Onde:

f_{up} = fração de DQO afluyente não biodegradável e particulada, em mg DQO/mg DQO;

= 0,06 (Couras Dias *et alli.*, 1983);

f_{us} = fração de DQO anfluyente não biodegradável e solúvel, em mg DQO/mg DQO;

= 0,14 (idem);

Y_h = coeficiente de rendimento, em mg SSV/mg DQO;

= 0,45 (Marais e Ekama, 1976);

$bh = 0,328$ para uma temperatura de $28\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 $St_i = \text{DQO afluente a } LA_0, \text{ em mg/l};$
 $= 600;$
 $R_s = \text{tempo de detenção, em dias};$
 $= 2.$

3.2 - Descrição do Sistema Anaeróbio

O Sistema Anaeróbio situou-se no Laboratório de Saneamento do Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da UFPb. Era composto de (a) cinco decantadores; (b) cinco digestores anaeróbios convencionais de mistura completa; (c) agitador; e (d) cinco medidores de gás. A figura 3.3 mostra um esquema desse sistema.

a) Decantador - Como decantadores, foram usados cinco baldes de plástico com capacidade, cada um, para dez (10) litros.

b) Digestores anaeróbios - A figura 3.4 mostra esquematicamente um dos digestores. Feitos em tubo de PVC com diâmetro interno de 100 mm, esses reatores apresentavam uma altura total de 1,20 m e útil de 1,00 m, dando um volume útil de 8,0 litros. Como a alimentação era de 800 ml a cada dois dias, o tempo de detenção era de 20 dias. Eram vedados nas extremidades por cap's, sendo que o da parte superior possuía um furo excêntrico onde foi adaptado uma mangueira, com 40 cm de comprimento e 7 mm de diâmetro interno, que unia o digestor a seu respectivo medidor de gás. Na parte lateral inferior, foi adaptada outra mangueira com diâmetro

interno de 10 mm e com 1 metro de comprimento, que servia como ponto de alimentação e, uma outra, a meia altura, com igual diâmetro e 1,5 m de comprimento, para servir como ponto de abstração do lodo.

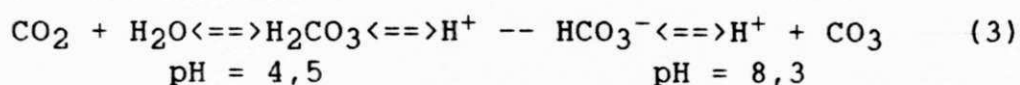
c) Agitador - o conteúdo dos digestores era agitado através de uma paleta acoplada axialmente a um eixo. Os eixos dos digestores eram adaptados a um sistema de agitação de teste de jarra (jar-test), marca Philips & Bird Inc.. A agitação era descontínua: períodos de cinco minutos com agitação eram seguidos por períodos de igual duração sem agitação.

Para evitar o escapamento de gás pelo furo por onde passava o eixo, adaptou-se uma mangueira com 25 cm de comprimento e diâmetro interno de 7 mm, fixa á tampa superior e envolvendo o eixo até abaixo do nível do lodo no digester, criando-se assim um selo hídrico.

d) Medidores de gás - construídos em tubos de PVC com diâmetro interno de 50 mm e com altura de 1,0 m eram vedados nas extremidades com cap's. Na parte superior, um furo permitia a ligação entre o medidor e seu respectivo digester, através de uma mangueira que era unida a mangueira da unidade de digestão por uma outra, de latex. Uma presilha funcionava como fecho rápido quando se queria interromper o fluxo de gás do digester para o medidor. A figura 3.4 dá mais detalhes desta unidade do sistema anaeróbio.

O funcionamento dessa unidade se dava da seguinte maneira: para fazer a medição da produção de metano se fez necessário elevar o pH até 10 da água do interior do

medidor, com uma solução de NaOH. Para se ter um melhor controle sobre o valor do pH, colocava-se um indicador de pH (fenolftaleína) na solução dentro do medidor. Como para pH acima de 8,3 (cf. equação abaixo) todo dióxido de carbono (CO₂) é transformado para bicarbonato, tinha-se como consequência a medição tão somente de todo volume de metano gerado.



O gás que passava por dentro dessa solução ia se acumular no topo do medidor que, como consequência, tinha a pressão aumentada, forçando assim a saída da solução aquosa pelo tubo colocado na sua parte lateral inferior (cf. figura 3.4), reequilibrando a pressão no interior do medidor e do digestor, igualando-a a atmosférica, continuamente. A diferença do nível d'água no medidor, verificada quando da alimentação dos digestores anaeróbios, foi considerada igual a produção de metano no período.

Para se medir todo o biogás produzido fez-se necessário baixar o pH para valores abaixo de 4,5. Este procedimento, conforme equação acima, fará com que a forma CO₂ não seja absorvida e por conseguinte se meça todo o gás gerado.

3.3 - Procedimentos operacionais

A operação do sistema de digestão anaeróbia teve início no dia 09 de junho de 1988 e término no dia 16 de

dezembro do mesmo ano, tendo como característica três fases bem definidas, a saber: (a) de 09 de junho a 14 de setembro - nesta fase o principal objetivo foi o de colocar os digestores anaeróbios em condições estacionárias, para que se pudesse ter dados coerentes e não muito dispersos; (b) de 14 de setembro a 02 de dezembro - nesse período, tendo-se os digestores em operação estacionária, obteve-se os dados relativos a um tempo de detenção, nos digestores, de 20 dias e, (c) de 02 a 14 de dezembro, onde se diminuiu o tempo de detenção de 20 para 10 dias.

Cada digestor era alimentado, de 02 em 02 dias, com 800 ml de lodo com idades diferentes entre si, e que provinham da lagoa aerada (LA₀) com um tempo de permanência de 02 dias e dos digestores aeróbio DA₁ com 1,8 dias; do DA₂ com 2,2 dias; do DA₃ com 3,1 e; do DA₄ com 5,9 dias.

O Sistema Anaeróbio operou a temperatura ambiental e na sombra, tendo, no período, registrado uma temperatura máxima média de 28 °C e uma mínima média de 22 °C.

3.3.1 - Inoculação

Para iniciar a operação do Sistema Anaeróbio, foi necessário inocular os digestores com lodo anaeróbio, proveniente de um Sistema Anaeróbio de Tratamento de Vinhoto. O volume de lodo adicionado em cada digestor, que já tinham sido cheios previamente com licor misto, foi de 500 ml com uma concentração de sólidos totais da ordem de 69,65 g/l e sólidos voláteis de 42,94 g/l. A atividade

específica foi de 0,59 mg DQO/mg SSV/d.

3.3.2 - Primeira fase da operação

A partir do segundo dia, após a inoculação, a alimentação passou a ser feita de dois em dois dias, com 800 ml de lodo, dando um tempo de detenção de 20 dias. Obviamente eram abstraídos dos referidos digestores, a cada dois dias, igual volume de lodo digerido.

Com a finalidade de detectar uma operação estacionária, teve início nesta fase o monitoramento da operação do sistema com o acompanhamento dos seguintes parâmetros: Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH e Alcalinidade Total do afluente e efluente, bem como de Ácidos Voláteis do efluente e produção de gás dos digestores.

Nesta fase, foi necessário adicionar aos digestores uma solução de Bicarbonato de Sódio nos dias 06, 08, 10, 12 e 14 de junho, para melhorar as condições de tamponação do conteúdo dos digestores. Foi preciso fazer uma parada do sistema anaeróbio, mas mantendo-se a agitação, no período de 05 a 17 de agosto, motivada pela insuficiência de lodo proveniente do sistema gerador de lodo. O Sistema Anaeróbio voltou a ser operado normalmente a partir do dia 18 do mesmo mês, sendo que foi necessário efetuar uma nova inoculação, com 200 ml do mesmo lodo anteriormente utilizado, no dia 22 de agosto para servir como reforço.

Durante essa primeira fase, o principal problema observado foi a falta de uma maior constância na quantidade de lodo proveniente do sistema gerador. Esse fato retardou a estabilização operacional do sistema anaeróbio, visto que os microorganismos, principalmente as bactérias metanogênicas, no interior dos digestores são muito sensíveis a flutuação na concentração de lodo afluente.

3.3.3 - Segunda fase da operação

Esta fase teve início assim que se observou que o sistema estava em regime estacionário. Manteve-se a mesma sistemática de alimentação: de dois em dois dias, 800 ml dos lodos obtidos do sistema gerador de lodo eram inoculados nos digestores anaeróbios. Manteve-se também a mesma sistemática das análises da fase primeira, sendo que, ao invés de biogás, passou-se a medir a produção de metano (CH_4) até 18 de novembro, onde se voltou novamente a medir todo o biogás e a fazer análise de amônia afluente e efluente aos digestores anaeróbios.

Esta fase foi marcada, também, pela necessidade de aumentar a alcalinidade nos digestores aeróbios DA_1 , DA_2 , DA_3 e DA_4 . Para tanto, foi adicionado 37 gramas de Bicarbonato de Sódio nos 30 litros de lodo proveniente da lagoa LA_0 . Como o sistema complementar operava em série, gradativamente, todo o sistema, não só os digestores aeróbios, como também os digestores anaeróbios, tiveram sua alcalinidade elevada. Esse procedimento teve início aos 119

dia de operação e estendeu-se até o final da pesquisa.

Vale ressaltar que a referida correção foi feita não para melhorar a alcalinidade nos digestores anaeróbios, mas sim, nos digestores aeróbios DA₁, DA₂, DA₃ e DA₄, que apresentavam pH e alcalinidade baixos, devido a nitrificação de amônia mineralizada.

3.3.4 - Terceira fase da operação

Esta fase se caracterizou, apenas, pela mudança de metodologia no que concerne ao tempo de detenção, que passou de 20 para 10 dias. Para tanto, passou-se a alimentar o sistema anaeróbio com 1600 ml de lodo e de dois em dois dias.

3.4 - Controle operacional do Sistema Anaeróbio

Com o objetivo de melhor monitorar o sistema em operação, foi necessário um acompanhamento, em dias alternados, quando da alimentação deste, dos seguintes parâmetros: (a) pH, (b) alcalinidade, (c) DQO, (d) SST, (e) SSV, (f) amônia, (g) ácidos voláteis e (g) biogás ou metano.

3.4.1 - Procedimentos analíticos

3.4.1.1 - pH

Foi determinado com a ajuda de um medidor pH-Metro

modelo PW 9420, da Philips.

3.4.1.2 - Alcalinidade total e Ácidos voláteis

Método titrimétrico segundo o método referido por VIEIRA & SOUZA durante o encontro técnico programado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), realizado em Coronel Pacheco - Minas Gerais, de 04 a 08 de maio de 1981.

4.1.1.3 - Demanda Química de Oxigênio

Obdeceu às técnicas do STANDARD METHODS (1985).

3.4.1.4 - Sólidos suspensos totais e voláteis

Feitos segundo técnicas do STANDARD METHODS (1985).

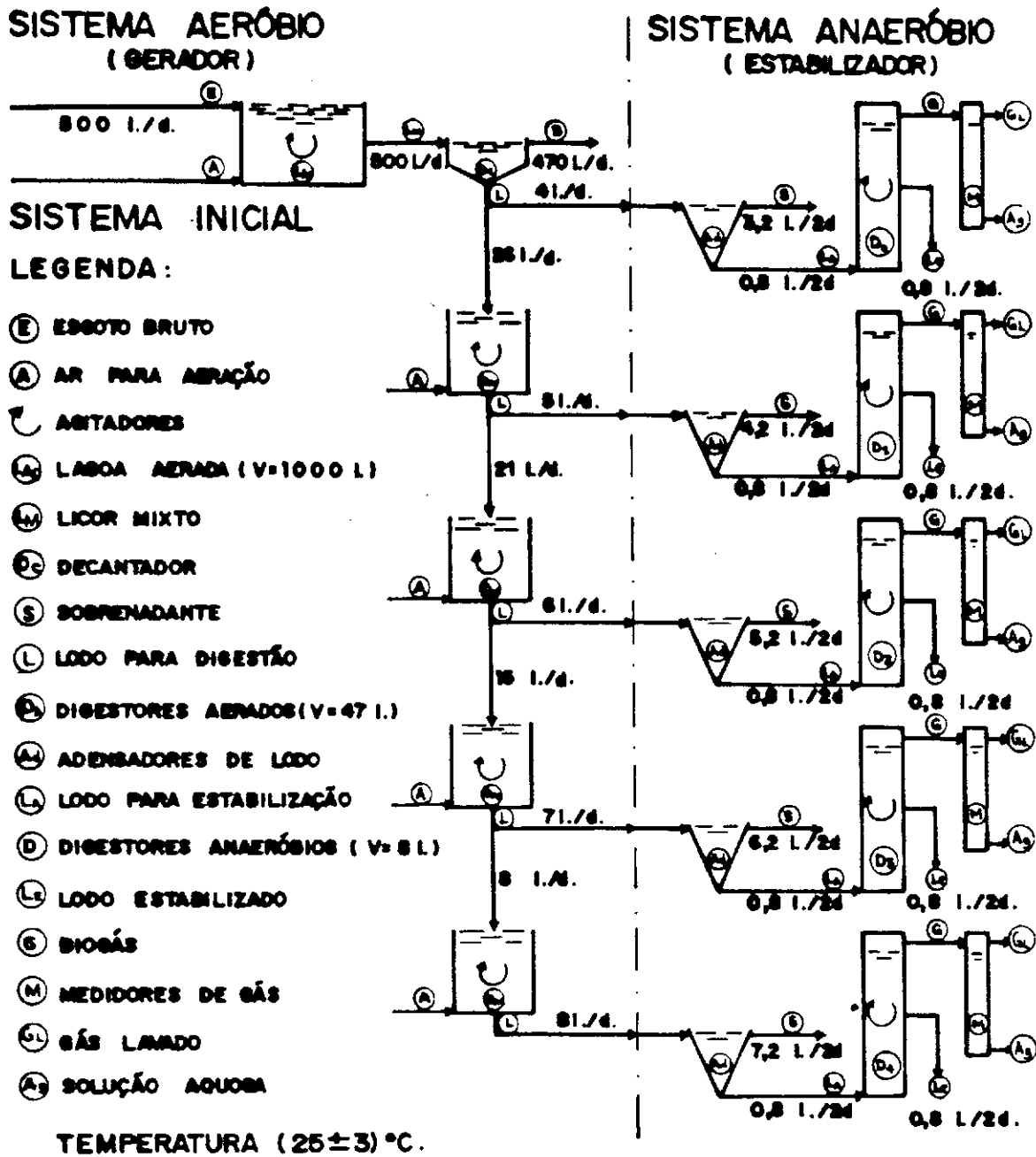
3.4.1.5 - Amônia

A análise da amônia foi feita com um medidor Orion Research Digital Ionalyzer/501, adaptado a um eletrodo Orion 9512, próprio para medir Ion NH_4^+ .

3.4.1.6 - Produção de metano e biogás

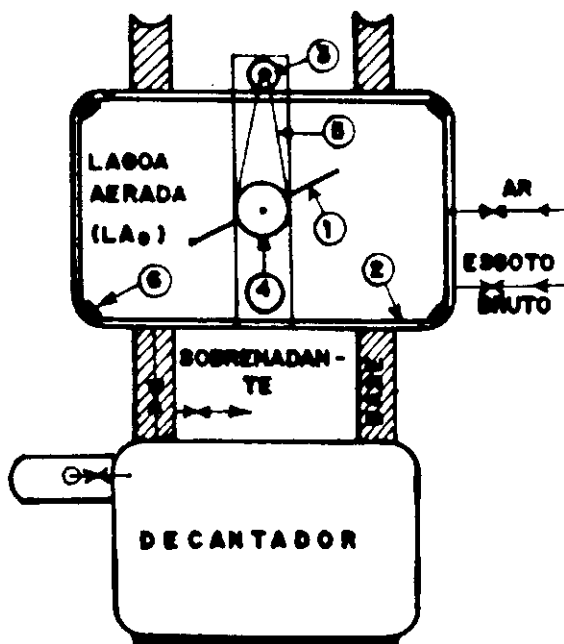
Foi utilizado medidores de gás conforme descrição feito no item 3.2 (d).

3.5 - FIGURAS

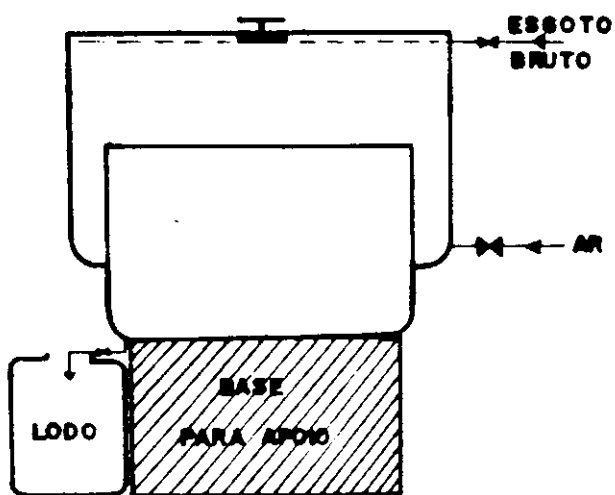
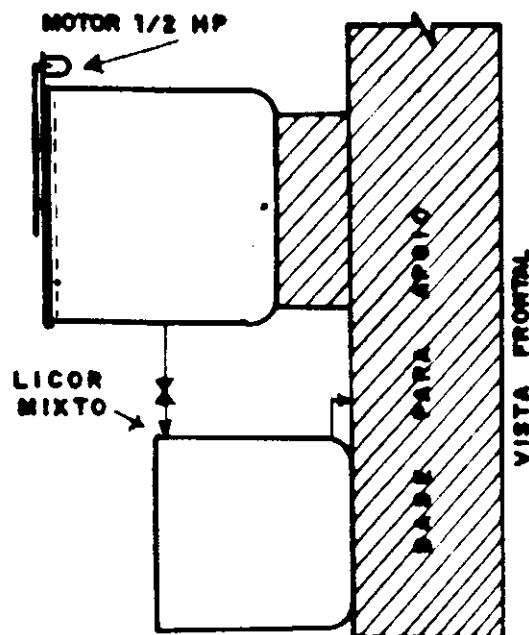


SISTEMA COMPLEMENTAR

FIGURA 3.0 - FLUXOGRAMA ESQUEMÁTICO DOS SISTEMAS GERADOR E ESTABILIZADOR DE LODO.



VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL

LEGENDA

- ① PALETA PARA ABITAÇÃO
- ② DISTRIBUIDOR DE AR
- ③ POLIA NORMAL
- ④ POLIA DE REDUÇÃO
- ⑤ CORREIA
- ⑥ PREGADORES DO TUBO DISTRIBUIDOR.
- ← VÁLVULAS

FIGURA: 3.1 – VISTAS ESQUEMÁTICAS DO SISTEMA GERADOR DE LODO / INICIAL (LAGOA LA0 E DECANTADOR).

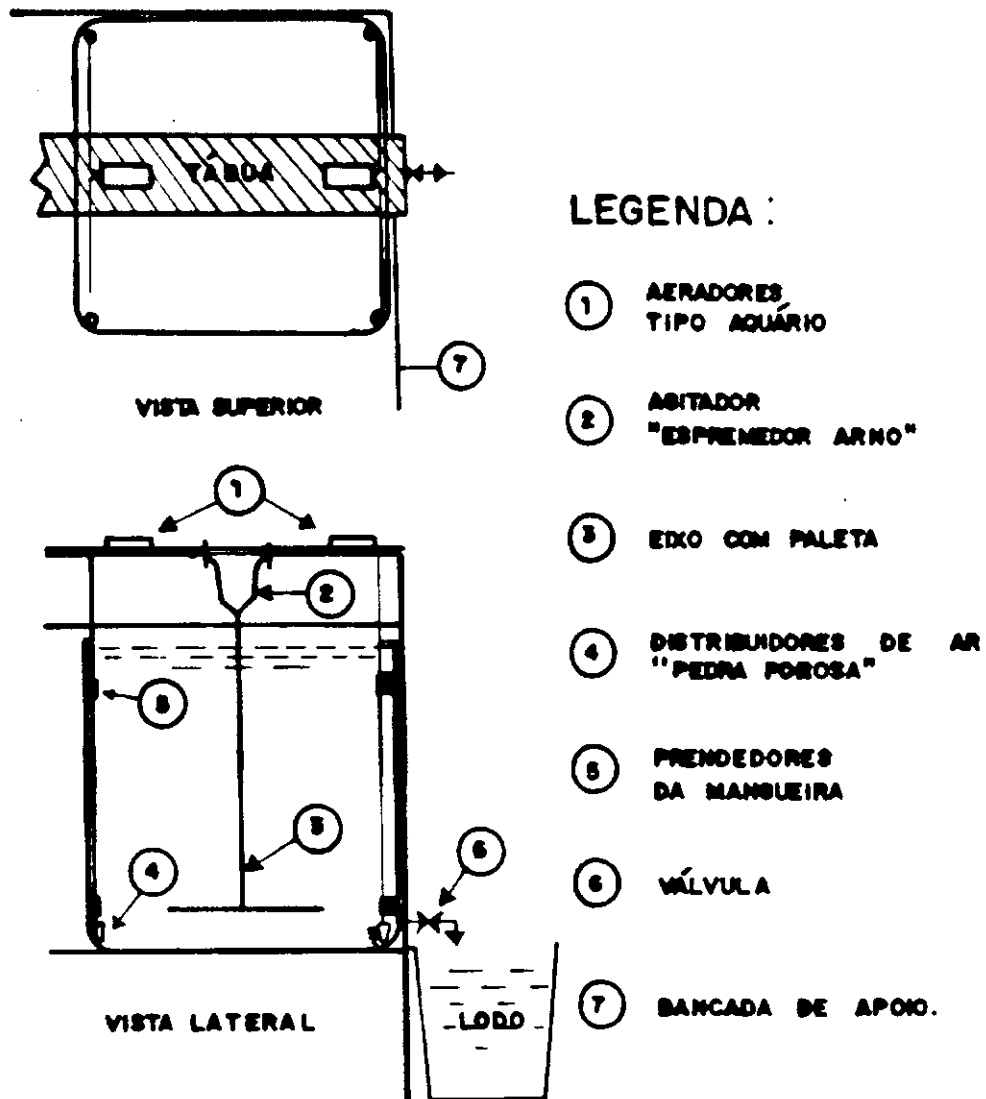


FIGURA: 3.2 — VISTA ESQUEMÁTICA DE UM DIGESTOR AERADO.

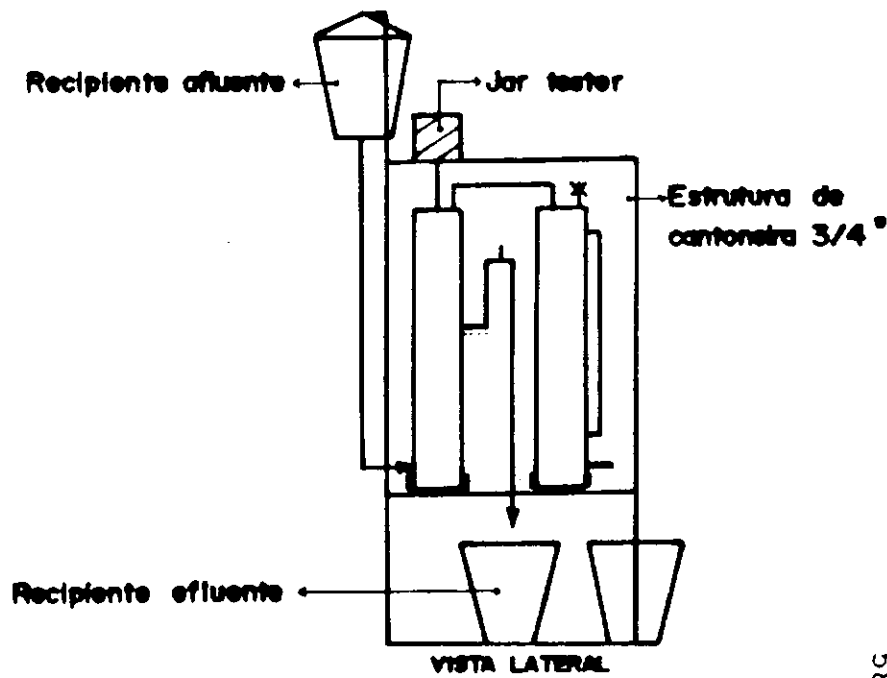
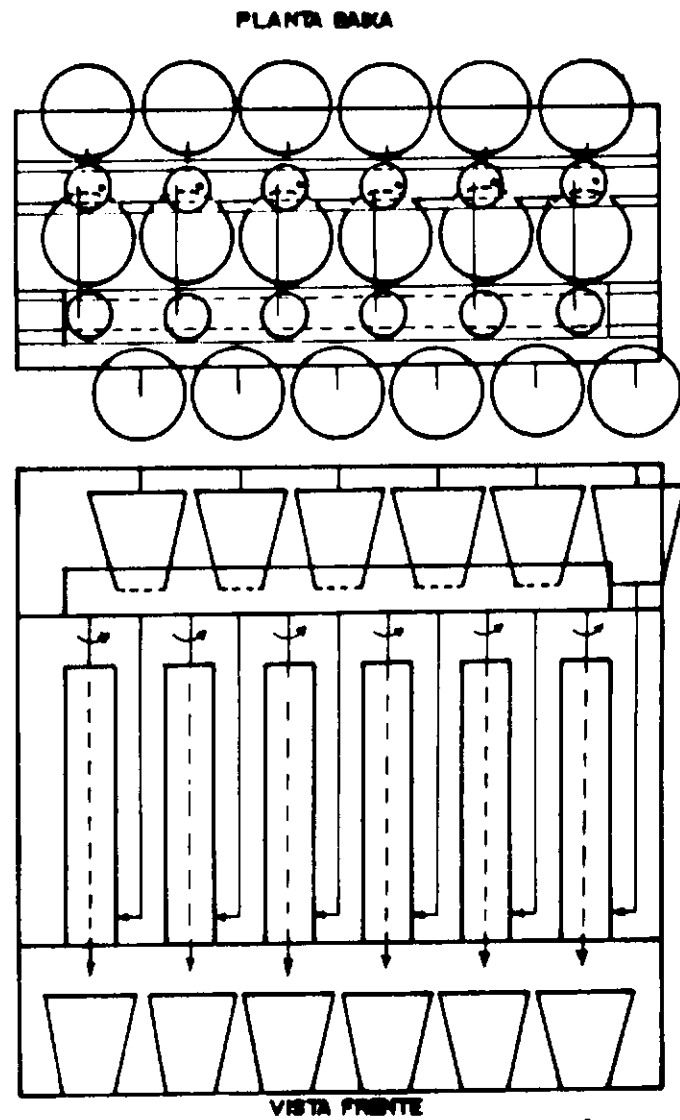


FIGURA:3.3 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO SISTEMA DE DIGESTÃO ANAERÓBIA.

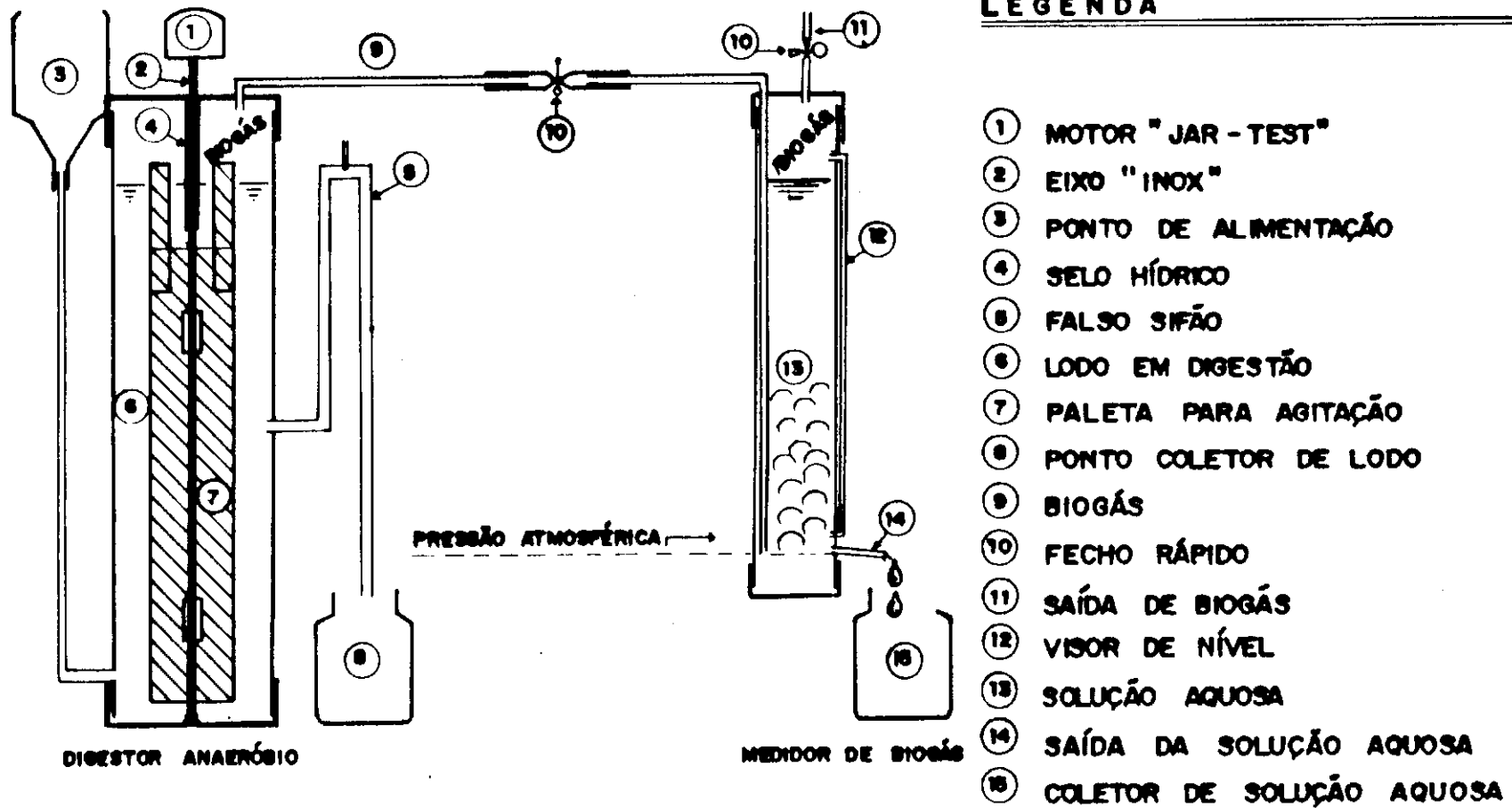


FIGURA : 3.4 – CROQUÍ DE UMA UNIDADE DE DIGESTÃO ANAERÓBIA COM SEU RESPECTIVO MEDIDOR DE GÁS.

IV - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como foi visto no capítulo Materiais e Métodos, o sistema de digestão anaeróbia de lodo foi operado em três fases. Entretanto, só os resultados das segunda e terceira fases da operação serão aqui considerados como realmente concernentes a elaboração da pesquisa que foi desenvolvida, sendo que a terceira fase, pelo período curto que teve, não será motivo de discussão mais aprofundada, haja vista que nesta fase buscava-se colocar o sistema em colapso. Mas, apesar da manobra feita nesse sentido, diminuição brusca do tempo de detenção de 20 para 10 dias, o sistema continuou a funcionar relativamente bem.

A primeira parte deste capítulo trará comentários sobre os resultados obtidos, ficando para o final a discussão propriamente dita desses resultados.

4.1 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1.1 - Sólidos Suspensos Totais e Voláteis : (SST); (SSV)

O quadro 4.A.0 e a figura 4.A.0 mostram os resultados obtidos com as análises dos SST e SSV que estão se referenciando ao digestor D_0 . Os Quadros 4.A.1; 4.A.2; 4.A.3 e 4.A.4 traduzem os resultados dos respectivos digestores D_1 ; D_2 ; D_3 e D_4 que estão associados, sucessivamente, às figuras 4.A.1; 4.A.2; 4.A.3 e 4.A.4.

Observa-se que durante a segunda fase (alimentação com 800 ml/2d) estabeleceu-se um estado estacionário dos valores constantes dos sólidos no afluente e efluente. Nota-se, também, que quando da mudança do regime de alimentação de 800 ml para 1600 ml, os sólidos efluentes suplantaram, em quantidade, os dos afluentes, o que já era esperado. Não se esperava, entretanto, que o sistema partisse para um novo equilíbrio como parece acontecer, o que, infelizmente, não dá para se confirmar de todo, devido ao término da pesquisa.

4.1.2 - Demanda Química de Oxigênio (DQO), Ácidos Voláteis, Metano e Biogás.

Os resultados numéricos desses parâmetros estão escritos nos quadros 4.B.0; 4.B.1; 4.B.2; 4.B.3 e 4.B.4, estando transpostos graficamente nas respectivas figuras 4.B.0; 4.B.1; 4.B.2; 4.B.3 e 4.B.4, que estão associadas concomitantemente aos digestores D(0; 1; 2; 3 e 4).

4.1.2.1 - Demanda Química de Oxigênio (DQO).

Pode-se observar através das figuras que retratam esses dados que, no que diz respeito a DQO afluente, essa ficou variando em uma faixa de 120 a 220 mg/l para os digestores D(0 e 1); 160 a 260 mg/l para D₂; 140 a 240 mg/l para D₃ e 140 a 200 mg/l para D₄. Já no tocante a DQO efluente, nota-se que esta vai diminuindo a medida que os

ácidos voláteis também o vão, chegando até a um estado onde os valores dos resultados nas análises ficam dentro de uma faixa estreita de variação. Verifica-se, também, que esta estabilidade é alcançada primeiramente em D(0; 1; 2 e 3), mais ou menos aos 105 dias de operação, e, por último em D₄ aos 135 dias de operação.

4.1.2.2 - Ácidos Voláteis

Nota-se que a produção de ácidos voláteis sofre, também, uma queda progressiva nos valores medidos até se atingir um estado quase estacionário e que esse estado é primeiramente atingido pelos digestores: D(0; 1 e 2) com valor médio de 300 mg/l e D₃ com média de 200 mg/l. E depois por D₄ com um valor na faixa de 120 mg/l. O que ocorreu aos 105 dias para àqueles e aos 133 para este.

4.1.2.3 - Produção de Metano e Biogás.

Uma boa visão do comportamento dessas variáveis, no decorrer da pesquisa, nos é mostrada pelas figuras 4.B.0; 4.B.1; 4.B.2; 4.B.3 e 4.B.4. Estas mostram que à medida que há um decaimento nos valores dos ácidos voláteis e da DQO, há uma ascensão na produção de metano e que essa se estabiliza ao mesmo tempo que aqueles valores também os fazem. Mostram, também, até onde se mediu só o gás metano e a partir de quando começa a medição da produção de biogás.

É importante observar que o comportamento acima

notado é um perfeito indicativo de que os digestores anaeróbios estão funcionando a contento.

4.1.3 - pH, Alcalinidade Total como CaCO_3 e Amônia como NH_4^+

Os dados referentes às análises desses parâmetros estão listados nos quadros 4.C.0; 4.C.1; 4.C.2; 4.C.3 e 4.C.4. As figuras gráficas que representam esses dados subsequentemente são: 4.C.0; 4.C.1; 4.C.2; 4.C.3 e 4.C.4, estando quadros e figuras referindo-se, respectivamente, aos digestores D(0, 1, 2, 3 e 4).

Ao se visualizar os gráficos onde esses dados estão plotados, menos os referentes a amônia, verifica-se duas situações bem distintas; uma, antes da adição de bicarbonato de sódio, utilizado para aumentar a alcalinidade nos digestores aerados, e outra, após essa adição.

4.1.3.1 - pH

Podemos observar através dos gráficos acima citados que o pH ficou oscilando entre os valores 7,0 e 8,0 para os efluentes, antes da adição de alcalinidade nos digestores aerados, e de 7,5 a 8,5 após essa adição. Quanto aos afluentes, essa variação ficou entre 7,0 a 8,0 em D_0 ; 6,5 a 7,5 em $D(1$ e $2)$; e entre 6,0 a 7,0 em $D(3$ e $4)$ antes da adição da alcalinidade. Após essa adição, a variação para

todos os digestores manteve-se na faixa de 7,5 a 8,5.

4.1.3.2 - Alcalinidade total como CaCO_3

Ao se visualizar as figuras onde os dados que representam essa variável estão plotados, nota-se que em D_0 a alcalinidade total está variando entre 200 e 400 mg/l no primeiro momento, sobe para uma faixa de 1100 mg/l nos 16 primeiros dias após a adição do bicarbonato de sódio e vai decaindo, gradativamente, até se estabilizar em 700 mg/l no período onde a alimentação dos digestores anaeróbios passa de 800 ml/2.dias para 1600 ml/2.dias. Isso no tocante ao afluente. Já o efluente sai de um patamar de 1400 mg/l observados no período de 89 a 113 dias de operação para 1900 mg/l dos 113 até o início do aumento artificial da alcalinidade afluente, onde o parâmetro em questão ficou numa faixa de 2500 mg/l até o término da segunda fase de operação, onde esse valor começa a cair, atingindo 1700 mg/l no último dia da pesquisa. A alcalinidade afluente para D_1 tem em seu primeiro momento um valor em torno de 180 mg/l; passa para 900 mg/l numa segunda situação e estabiliza-se, finalmente em 500 mg/l. Quanto ao efluente, apresenta uma alcalinidade média de 1550 mg/l até aos 137 dias; vai para 2400 mg/l entre os dias 137 e 159; começa a cair até atingir 1600 mg/l no último dia. Para D_2 , a alcalinidade total afluente foi de 100 mg/l até os 137 dias; a partir desse dia ela subiu para 600 mg/l atingindo um máximo de 900 mg aos 151 dias de operação; começou a

cair para um valor de 420 mg/l, permanecendo assim até o fim. O efluente iniciou numa faixa que oscilou em torno de 1300 mg/l entre 89 a 137 dias, subiu para 2000 mg/l entre 137 a 159 dias, onde começou a decrescer até o valor de 1350 mg/l ao término da operação do digestor. Em D₃, o afluente começou com 50 mg/l entre 89 a 135 dias; sobe para 500 mg/l entre 141 e 159 dias e recua para média de 400 mg/l no restante do período. O efluente que nos três primeiros dias aqui levados em consideração ficou nos 1300 mg/l, baixou um pouco para uma faixa de 1000 a 1200 mg/l até aos 125 dias; ficando entre 1200 a 1400 mg/l nos seis dias subsequentes; a partir dos 137 dias começou a subir, dia-após-dia, até um valor máximo de 1850 mg/l; iniciou um declínio, gradativamente, até um valor final de 1200 mg/l. O digestor D₄ teve uma alcalinidade total afluente de 50 mg/l até o dia onde se iniciou a adição de bicarbonato de sódio. A partir desse dia, ela foi subindo paulatinamente para um valor de 375 mg/l nos dias 151 e 153; começa a cair para 250 mg/l nos dias 165, 167 e 169; sobe novamente até alcançar 300 mg/l no último dia. A alcalinidade efluente começou o período com 1070 mg/l; baixou para uma média de 900 mg/l entre 95 e 111 dias de operação a partir do qual começou a ascender até um valor de 1100 mg/l aos 139 dias; pula para uma média de 1350 mg/l entre os dias 141 a 159, onde começa a cair para um valor de 1050 mg/l no fim do período observado.

De uma maneira geral, pode-se dizer, ao observar as figuras 4.C.0; 4.C.1; 4.C.2; 4.C.3 e 4.C.4, que a

alcalinidade total afluente começou em um patamar estável, cujo valor médio manteve-se na faixa de 300 mg/l para D₀, 150 mg/l para D₁, 100 mg/l para D₂ e 50 mg/l para D₃ e D₄, até o início do incremento na alcalinidade nos digestores aerados, a partir do qual esse patamar foi elevado a um outro de valor máximo de 1100mg/l em D₀, 900 mg/l em D₁, 700 mg/l em D₂, 500 mg/l em D₃ e de 350 mg/l em D₄, para em seguida tornar a baixar a um patamar um pouco inferior e da ordem de 700 mg/l em D₀, 500 mg/l em D₁, 450 mg/l em D₂, 300 mg/l em D₃ e 270 mg/l em D₄. Esse decréscimo se deu devido a diminuição na quantidade de bicarbonato de sódio adicionada aos digestores aerados. Esse tipo de comportamento também pode ser observado na alcalinidade efluente, sendo que essa não ficou estável no período onde há mudança no regime alimentar do lodo nos digestores anaeróbios, tornando-se mais acentuado nos digestores D(0, 1 e 2) e menos nos dois restantes.

4.1.3.3 - Amônia efluente

Através da visualização dos gráficos onde estão plotados os valores encontrados nas análises da amônia efluente, pode-se dizer que não há uma estabilização acentuada desse parâmetro em nenhum digestor. Apesar dessa instabilidade, nota-se que a mesma vai crescendo à medida que os digestores vão tornando-se mais maduros, o que acontecesse por volta dos 105 dias de operação. A partir desse dia, apesar das oscilações nos valores encontrados,

pode-se observar que esses valores giram em torno das seguintes médias: 250 mg/l para D₄; 375 mg/l para D₃; 450 mg/l para D₂; 525 mg/l para D₁ e 575 mg/l para D₀ na segunda fase da operação. Na terceira fase esses valores caem respectivamente para 175; 250; 350; 475 e 500 mg/l.

4.2 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A discussão aqui dar-se-á em torno dos valores médios das análises efetuadas nos afluente e efluente de cada digester, levando-se em conta as possíveis correlações que possam existir entre essas análises e a composição dos lodos estudados, no que concerne à sua atividade, ou seja, a quantidade de lodo ativo neles presente.

Esses valores médios estão anotados no quadro 4.D e referem-se a média dos dados compreendidos entre os dias de operação que vai de 89 a 167 e dizem respeito à segunda fase operacional do sistema de digestão anaeróbia convencional de mistura completa operados à temperatura média ambiental máxima de 28 °C; média de 25 °C e mínima de 22 °C e com 20 dias como tempo de permanência do lodo a ser estabilizado.

Nesse quadro, pode-se observar que a porcentagem de lodo ativo (fa) em relação aos sólidos suspensos voláteis (SSV) é de 72% em D₀, 56% em D₁, 44% em D₂, 25% em D₃ e 15% em D₄, satisfazendo assim a condição para o desenvolvimento deste trabalho no tocante a característica do lodo quanto a sua composição de lodo ativo. Estes valores foram

encontrados calculando-se a concentração de lodo ativo (X_a) através das equações (1) e (2) descritas no capítulo de Materiais e Métodos e, dividindo-os pelos valores médios respectivos de sólidos suspensos voláteis (SSV) encontrados nas análises laboratoriais. Nota-se que a quantidade de SSV decaído em termos percentuais vai decrescendo à medida que a fração ativa do lodo (f_a) também diminui. É interessante discutir porque, por exemplo em D_4 , houve um decaimento de SSV maior que a quantidade de lodo ativo (X_a) presente no digestor: isso se deve, provavelmente, ao fato de que o lodo decaído não seja tão somente X_a , mas também parcela de SVS não ativo e em quantidade fixa para todos os digestores.

Para analisar essa hipótese, plotou-se a porcentagem de SSV digerido nos digestores anaeróbios em função da fração ativa de lodo. A figura 4.D.1. mostra essa relação. O gráfico sugere uma relação linear que pode ser expressa como:

$$\% \text{ de SSV decaído} = 15 + 0,35 * f_a \quad (1)$$

É interessante comparar esse valor com a porcentagem de digestão obtida por O'ROUKE usando lodo primário, que para as mesmas condições é de 55 por cento, muito perto, portanto, do valor encontrado para lodo ativo: quando a (f_a) = 100 por cento, tem-se que % de SSV digerido = $15 + 0,35 * 100$ que é igual a 50%. Por outro lado, a porcentagem de lodo inativo é muito menor: para (f_a) = 0 a porcentagem de SSV decaído é de 15%.

Uma outra observação é que, embora em termos

percentuais a quantidade de sólidos suspensos totais (SST) decaídos não seja maior que a de SSV, o mesmo não acontece quando se analisa esses valores quanto à quantidade de gramas mineralizada. No quadro 4.D observa-se que houve uma destruição maior de SST do que de SSV e que aquela suplanta esta em 0,79 g em D₀ e mais ou menos 1,40 g nos demais digestores. Esse fato pode ser explicado se se levar em conta que houve uma provável solubilização dos sólidos fixos, apesar do aumento do pH e da alcalinidade no interior dos digestores. Possivelmente essa solubilização esteja associada a mineralização do lodo volátil.

Passando a analisar a produção de metano (CH₄), observa-se que a mesma está correlacionada com a fração ativa de lodo (fa) presente no lodo a ser estabilizado e que quanto maior for essa fração, maior será a produção de metano. Ao contrário do que afirma a literatura, não se pode dizer que há uma correlação direta entre essa produção e os valores de SSV, uma vez que houve uma maior quantidade desses sólidos afluente para D₁ que para D₀ e, no entanto, produziu-se mais metano em D₀ que em D₁. Se se transformar os SSV decaído em Demanda Química de Oxigênio (DQO) (1g de SSV é proporcional a 1,5 g de DQO - Couras Dias *et. alli.*, 1983) e subtrair desta a DQO produzida (DQO efluente no sobrenadante) e chamar o resultado de DQO destruída aproveitável (DQO_{DA}), plotar os valores encontrados em um gráfico versus produção de metano, conforme gráfico 4.D.2, tem-se que para cada grama de SSV mineralizado em termos de DQO_{DA} haverá uma produção de 0,500 litro de CH₄. A

confirmação dessa análise é dada através da visualização do gráfico 4.D.3. Nele está plotado os valores de SSV decaído em termos de DQO versus DQO total produzida (DQO do metano + DQO efluente no sobrenadante). Observa-se nesse gráfico que para cada 0,99 g de DQO destruída, está havendo uma equivalência de 1,0 g de DQO total produzida. Havendo portanto um erro de apenas 1%, na composição da equação de equilíbrio, já que o que desaparece de um lado da equação tem necessariamente de aparecer do outro lado. Esse resultado é 40% maior do que o encontrado por O'Rouke quando digeriu lodo primário nas mesmas condições.

Quanto a presença de amônia, pode-se afirmar, também, que a mesma sofre influência da composição do lodo, sendo a sua produção tanto maior quanto maior for a (fa) presente. Plotando-se os valores de amônia como NH_4^+ produzida versus DQO destruída, conforme gráfico 4.D.4, nota-se que há uma produção de 0,105 g de amônia para cada 1,0 g de SSV destruído. Valor esse bastante satisfatório, uma vez que Marais & Ekama (1976) cita como sendo de 0,11 g a amônia produzida para cada 1,50 g de DQO, em digestão aeróbia.

Outra variável analisada e que também sofre influência da (fa) é a alcalinidade, que como a produção de metano e amônia é tanto maior quanto maior for a presença de lodo ativo, caindo quando esse cai. Fica evidenciado que não há necessidade de se adicionar alcalinidade, uma vez que a produção da mesma é suficiente para manter o equilíbrio operacional do digestor. Um outro aspecto, como

mostra o gráfico 4.D.5, é que a produção de alcalinidade a bicarbonato como CaCO_3 é de 0,240 g para cada grama de SSV destruído, o esperado seria a produção de 0,357 g, que é o valor encontrado quando a digestão é aeróbia. Uma melhor análise desse parâmetro fica prejudicada pela não realização das análises de nitrato, devido a problemas técnicos, que, sem dúvida, influenciaria no valor da alcalinidade a bicarbonato produzida encontrada. Mas, pode-se confirmar o valor de 0,240 g/g de SSV, fazendo-se uma outra analogia, ou seja alcalinidade a bicarbonato versus produção de amônia. O gráfico 4.D.6 mostra essa correlação e, mais uma vez, encontra-se que o valor de alcalinidade a bicarbonato produzida é de 0,240 g para a produção de 0,105 g de amônia e, por conseguinte, na destruição de 1,50 g de lodo.

Voltando-se ao quadro 4.D, pode-se notar que no tocante aos ácidos voláteis efluente, há uma baixa produção e esses independem da composição do lodo. O significado dessa baixa produção é que quase todo lodo digerido é transformado em gás.

Por último, verifica-se que o pH nos digestores permanecem praticamente constante e tendo um valor de mais ou menos 7,85, apesar da variação nos valores do pH afluente que tem um máximo de 7,88 em D_0 e um mínimo de 7,20 em D_3 . Esse equilíbrio se deve ao bom efeito de tamponamento propiciado pela produção de alcalinidade no interior dos digestores anaeróbios.

Analisando-se esses parâmetros operacionais como um

todo, pode-se afirmar que a Digestão Biológica Anaeróbia de Lodo Ativado, gerado a partir de esgoto bruto em digestores convencionais de mistura completa e operados à temperatura ambiental média de (25 ± 3) °C e um tempo de detenção, para o lodo, de 20 dias é perfeitamente viável.

4.3 - QUADROS E FIGURAS

QUADRO 4.A.0 - VALORES DOS SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST)
E SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS (SSV) EM GRAMAS
NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₀.

Continua...

DIAS DE OPERAÇÃO	SST		SSV		OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	
89	15,00	6,01	11,93	5,00	
91	15,73	8,76	12,76	6,70	
93	10,64	3,22	15,00	6,48	
95	18,38	10,64	13,22	7,72	
97	15,65	13,85	11,66	9,62	
99	18,31	11,27	12,71	6,52	
101	16,53	8,39	11,36	5,94	
103	19,03	10,74	14,29	7,65	
105	13,80	9,88	11,10	7,01	
107	16,17	11,34	13,10	7,01	
109	15,47	6,34	9,76	3,26	
111	20,95	8,42	14,34	5,90	
113	19,07	11,15	13,84	9,78	
115	17,52	12,32	11,97	8,36	
117	14,83	8,41	10,63	5,74	
119	21,80	10,92	14,12	7,44	
121	21,98	9,53	15,75	6,48	
123	12,70	11,77	9,20	7,79	
125	19,42	12,42	11,66	8,26	
127	18,42	13,08	12,43	8,46	
129	21,20	14,27	13,84	9,11	
131	16,78	12,21	12,54	7,74	
133	21,13	12,78	15,70	8,13	
135	-	-	-	-	
137	11,07	14,00	7,74	9,05	

QUADRO 4.A.0 - VALORES DOS SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST)
E SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS (SSV) EM GRAMAS
NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₀.

Continuação.

DIAS DE OPERAÇÃO	SST		SSV		OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	
139	12,07	11,42	8,82	7,46	
141	15,32	11,51	11,78	7,46	
143	-	-	-	-	
145	14,51	10,56	10,75	6,86	
147	-	20,29	-	15,63	
149	10,58	11,42	8,05	7,34	
151	15,66	11,14	12,24	7,24	
153	15,43	11,24	12,01	7,62	
155	18,54	17,70	13,29	9,44	
157	14,07	12,61	10,03	8,05	
159	14,22	18,23	7,87	7,94	
161	-	-	-	-	
163	21,11	12,33	15,54	7,68	*
165	16,37	12,53	12,24	7,89	
167	22,86	25,68	15,41	16,64	
169	20,28	20,36	14,37	12,50	
171	16,69	21,81	12,35	14,22	
173	19,08	20,05	13,86	12,21	
175	16,82	19,09	12,51	11,89	
177	15,56	17,07	12,37	10,27	
179	14,61	16,43	8,61	10,74	
181	15,56	15,62	11,40	9,90	

(*) INICIO DE ALIMENTAÇÃO COM 1600 ml/2.d

QUADRO 4.A.1 - VALORES DOS SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST)
E SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS (SSV) EM GRAMAS
NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₁.

Continua...

DIAS DE OPERAÇÃO	SST		SSV		OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	
89	14,93	6,73	11,19	5,32	
91	17,05	9,43	12,75	7,24	
93	15,49	10,01	12,11	7,27	
95	15,72	8,32	11,72	6,18	
97	19,70	9,49	13,47	6,59	
99	21,60	11,56	14,27	6,75	
101	20,88	10,37	13,99	7,32	
103	15,14	10,62	11,52	7,53	
105	23,45	10,72	17,56	7,66	
107	22,43	12,63	-	-	
109	10,05	6,49	7,13	3,52	
111	21,72	10,87	14,46	7,64	
113	21,70	9,95	14,51	6,68	
115	20,88	14,01	14,58	9,49	
117	17,37	12,49	11,31	8,41	
119	23,06	11,89	13,94	8,05	
121	26,45	11,84	16,02	7,85	
123	19,14	13,41	12,78	8,74	
125	23,09	13,84	13,71	8,94	
127	22,18	15,17	13,01	9,74	
129	21,55	16,32	13,75	10,14	
131	17,25	16,06	11,66	9,83	
133	24,10	15,35	16,92	9,26	
135	-	-	-	-	
137	18,38	14,36	11,47	8,92	

QUADRO 4.A.1 - VALORES DOS SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST)
E SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS (SSV) EM GRAMAS
NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₁.

Continuação.

DIAS DE OPERAÇÃO	SST		SSV		OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	
139	17,02	12,42	11,79	7,77	
141	18,56	14,09	12,13	8,91	
143	-	-	-	-	
145	18,94	13,46	13,34	8,59	
147	-	16,71	-	10,31	
149	14,76	14,77	1,79	9,21	
151	14,21	13,50	9,53	8,44	
153	15,74	14,18	11,99	9,18	
155	18,65	17,41	12,38	9,64	
157	18,15	16,57	13,35	9,98	
159	13,16	20,30	8,09	14,25	
161	-	-	-	-	
163	10,90	15,50	6,98	9,63	*
165	21,55	14,13	15,19	8,69	
167	23,01	23,04	15,12	14,30	
169	23,40	25,58	15,44	15,75	
171	22,51	28,03	14,94	17,85	
173	19,46	26,46	12,96	16,13	
175	19,47	24,10	13,94	15,10	
177	18,45	20,93	12,57	12,14	
179	18,84	13,09	11,70	8,61	
181	17,66	18,88	12,00	11,14	

(*) INICIO DE ALIMENTAÇÃO COM 1600 ml/2.d

QUADRO 4.A.2 - VALORES DOS SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST)
E SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS (SSV) EM GRAMAS
NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₂.

Continua...

DIAS DE OPERAÇÃO	SST		SSV		OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	
89	12,13	6,92	9,28	5,55	
91	14,35	9,56	10,22	6,97	
93	16,84	11,21	11,85	7,53	
95	18,52	8,01	13,07	5,48	
97	18,78	12,57	12,71	8,34	
99	16,78	12,38	12,52	6,98	
101	20,66	9,52	12,74	6,42	
103	17,56	11,54	12,75	7,69	
105	17,68	11,68	12,87	7,69	
107	18,92	12,65	-	-	
109	17,30	7,22	10,99	3,67	
111	17,68	9,38	11,88	6,42	
113	20,55	11,73	13,58	7,94	
115	21,01	14,48	13,43	9,72	
117	18,99	12,60	12,02	8,31	
119	18,06	13,90	11,06	9,15	
121	20,20	11,66	11,85	7,62	
123	20,62	12,78	12,24	8,28	
125	16,00	14,90	9,74	9,47	
127	19,36	14,77	10,59	9,27	
129	21,84	16,26	12,90	10,01	
131	17,26	16,30	13,09	9,72	
133	17,71	16,36	11,02	9,55	
135	-	-	-	-	
137	20,13	14,46	12,24	8,57	

QUADRO 4.A.2 - VALORES DOS SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST)
E SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS (SSV) EM GRAMAS
NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₂.

Continuação.

DIAS DE OPERAÇÃO	SST		SSV		OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	
139	15,84	13,83	9,53	8,11	
141	14,72	14,77	9,35	8,85	
143	-	-	-	-	
145	17,07	12,99	11,64	7,78	
147	-	14,71	-	8,67	
149	15,74	13,85	10,17	8,21	
151	15,01	11,00	11,22	6,58	
153	15,53	14,40	10,75	9,02	
155	17,30	13,05	11,03	7,64	
157	17,70	16,26	12,05	9,81	
159	14,94	14,65	8,84	8,73	
161	-	-	-	-	
163	18,84	14,47	11,77	8,57	
165	11,71	14,21	5,57	8,42	
167	20,36	28,38	12,87	16,77	*
169	24,24	22,57	15,72	13,44	
171	20,59	25,39	13,27	14,90	
173	22,79	24,11	14,48	14,40	
175	22,32	23,28	14,91	14,13	
177	18,60	21,62	12,30	12,72	
179	19,53	16,13	12,06	9,98	
181	14,64	19,22	9,66	11,39	

(*) INÍCIO DE ALIMENTAÇÃO COM 1600 ml/2.d

QUADRO 4.A.3 - VALORES DOS SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST)
E SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS (SSV) EM GRAMAS
NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₃.

Continua...

DIAS DE OPERAÇÃO	SST		SSV		OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	
89	11,29	8,64	8,35	6,16	
91	12,20	10,35	8,75	7,09	
93	16,29	11,15	10,92	7,26	
95	18,78	9,88	12,84	6,59	
97	16,47	13,08	11,05	8,21	
99	19,43	13,24	11,84	7,24	
101	20,31	9,69	12,17	6,25	
103	17,80	11,37	12,09	7,29	
105	16,28	12,17	11,44	7,71	
107	18,23	14,57	-	-	
109	15,76	7,61	9,92	3,68	
111	18,32	11,93	12,50	7,82	
113	19,07	13,38	12,60	8,51	
115	18,30	14,41	12,15	9,43	
117	18,76	12,00	12,41	7,66	
119	17,98	13,80	11,73	9,04	
121	18,39	11,35	11,59	7,32	
123	21,54	13,23	12,72	8,56	
125	19,38	14,09	11,40	9,79	
127	17,56	15,87	10,25	9,76	
129	24,01	17,90	12,74	-	
131	19,08	15,57	10,87	9,37	
133	18,71	16,14	10,70	9,29	
135	-	-	-	-	
137	21,72	15,58	12,48	8,85	

QUADRO 4.A.3 - VALORES DOS SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST)
E SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS (SSV) EM GRAMAS
NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₃.

Continuação.

DIAS DE OPERAÇÃO	SST		SSV		OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	
139	19,67	12,45	11,75	7,20	
141	17,72	14,81	11,03	8,57	
143	-	-	-	-	
145	17,37	14,17	10,99	8,25	
147	-	17,53	-	9,92	
149	17,59	15,39	10,16	8,87	
151	16,01	13,21	10,19	7,60	
153	15,03	15,70	9,51	9,09	
155	16,31	15,44	9,50	9,34	
157	15,94	16,54	10,14	9,27	
159	16,72	15,33	9,77	8,75	
161	-	-	-	-	
163	17,01	15,95	10,95	9,15	
165	13,64	15,58	8,60	8,90	
167	19,61	29,01	11,19	16,11	*
169	26,06	24,45	15,00	13,86	
171	22,61	27,36	13,82	15,41	
173	21,97	26,64	13,33	15,14	
175	20,24	24,83	12,72	14,08	
177	14,47	22,38	9,12	12,85	
179	20,13	19,12	11,87	11,62	
181	18,54	21,02	11,24	12,42	

(*) INÍCIO DE ALIMENTAÇÃO COM 1600 ml/2.d

QUADRO 4.A.4 - VALORES DOS SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST)
E SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS (SSV) EM GRAMAS
NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₄.

Continua...

DIAS DE OPERAÇÃO	SST		SSV		OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	
89	10,93	8,33	7,57	5,79	
91	12,18	10,92	8,30	7,30	
93	13,42	10,28	8,84	6,46	
95	14,76	7,20	9,66	4,74	
97	13,64	13,17	8,75	8,05	
99	18,12	13,73	10,56	7,28	
101	19,48	7,71	11,11	4,91	
103	17,19	10,87	11,05	6,81	
105	17,08	11,70	11,00	7,22	
107	17,38	15,27	-	-	
109	14,61	7,83	8,55	3,48	
111	17,77	9,71	11,75	6,22	
113	18,12	14,47	11,75	8,82	
115	17,74	15,34	11,49	9,71	
117	18,75	15,35	11,94	9,49	
119	17,49	14,23	11,00	9,08	
121	17,94	11,85	11,33	7,43	
123	18,85	14,32	11,44	9,08	
125	16,93	15,22	10,15	9,70	
127	17,97	15,66	10,38	9,70	
129	23,12	16,56	13,28	-	
131	18,17	15,53	9,65	9,33	
133	20,75	16,40	10,91	9,73	
135	-	-	-	-	
137	23,84	15,09	12,53	8,69	

QUADRO 4.A.4 - VALORES DOS SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST)
E SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS (SSV) EM GRAMAS
NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₄.

Continuação.

DIAS DE OPERAÇÃO	SST		SSV		OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	
139	19,80	12,25	10,44	7,08	
141	-	16,27	-	9,24	
143	-	-	-	-	
145	18,40	13,54	10,24	7,60	
147	-	15,47	-	8,42	
149	15,67	19,94	9,02	12,17	
151	16,02	13,12	9,29	7,20	
153	15,60	14,30	9,01	7,93	
155	16,78	12,00	8,69	7,51	
157	15,08	18,15	8,75	9,82	
159	-	18,17	-	11,76	
161	-	-	-	-	
163	15,27	16,54	9,10	8,82	
165	11,76	15,47	7,11	8,24	
167	20,31	31,04	13,94	16,83	*
169	20,39	25,27	11,28	13,37	
171	20,06	27,97	11,33	14,91	
173	14,14	26,50	8,06	14,14	
175	21,74	23,50	12,42	12,48	
177	21,24	21,28	12,74	11,70	
179	19,62	21,62	11,37	12,19	
181	19,08	21,09	11,01	11,33	

(*) INÍCIO DE ALIMENTAÇÃO COM 1600 ml/2.d

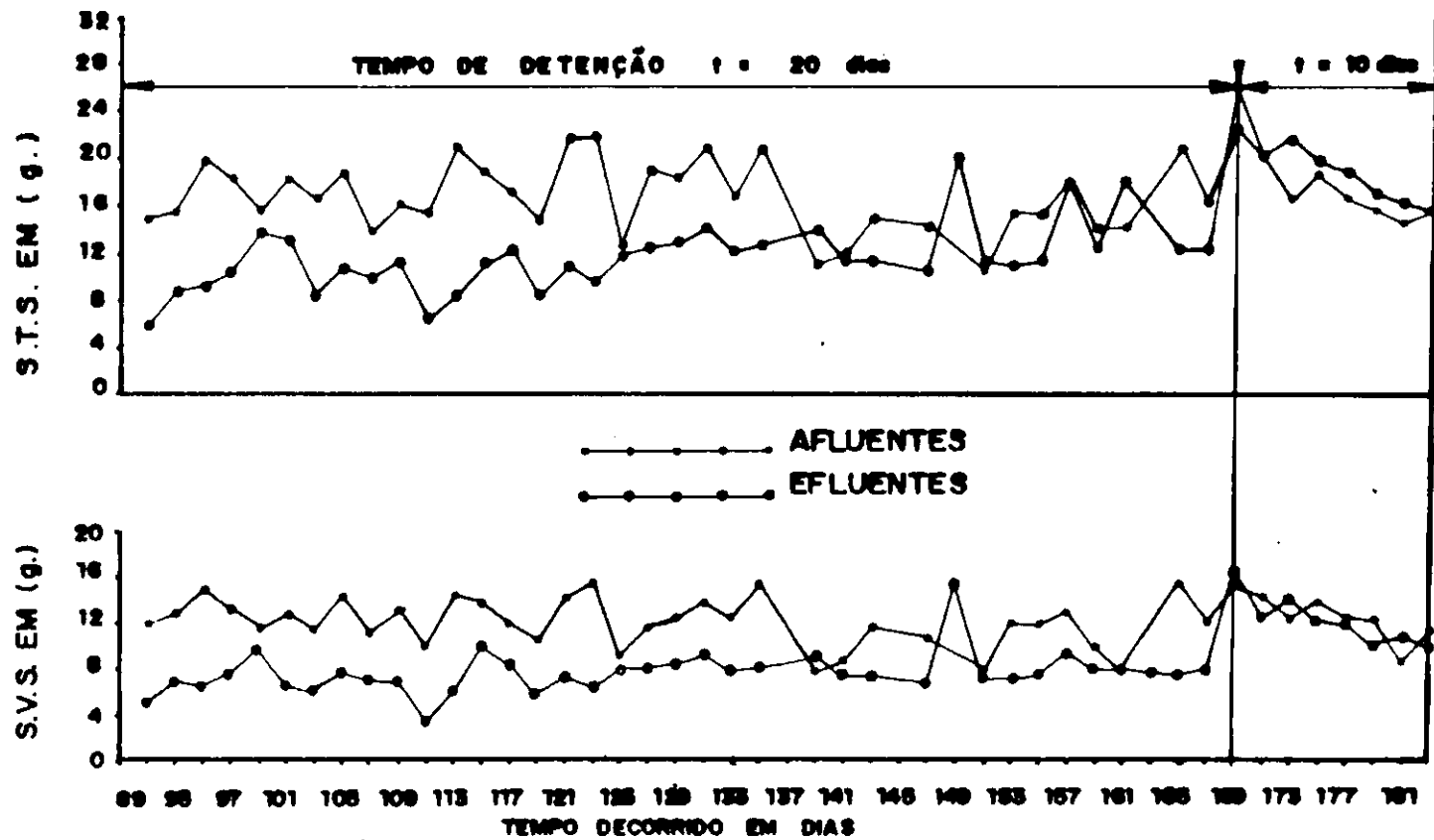


FIGURA: 4. A. 0 - MASSA DE SÓLIDOS TOTAIS SUSPENSOS (S.T.S.) E VOLÁTEIS (S.V.S.) AFLUENTE E EFLUENTE MEDIDOS A PARTIR DO 89º DIA DE OPERAÇÃO. TEMPERATURA AMBIENTAL DE $(25 \pm 3)^\circ\text{C}$ E / FRAÇÃO ATIVA DE LODO (10) DE 72 %.

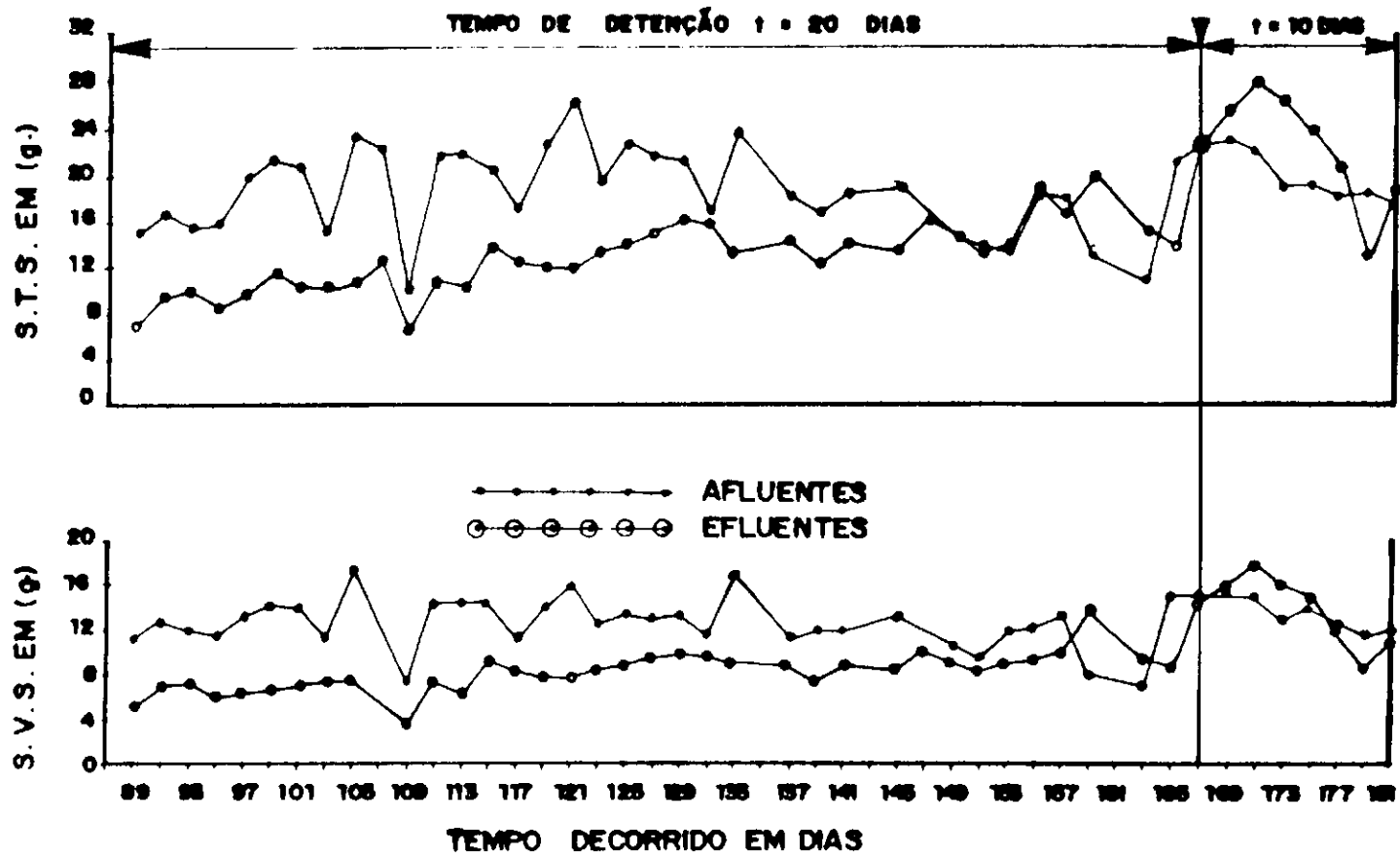


FIGURA: 4.A.1.- MASSA DE SÓLIDOS TOTAIS SUSPENSOS (S.T.S.) E VOLÁTEIS (S.V.S.) AFLUENTE E EFLUENTE / MEDIDOS A PARTIR DO 89º DIA DE OPERAÇÃO. TEMPERATURA AMBIENTAL DE $(25 \pm 3^\circ\text{C})$ E FRAÇÃO DE LODO (t_d) DE 56 %.

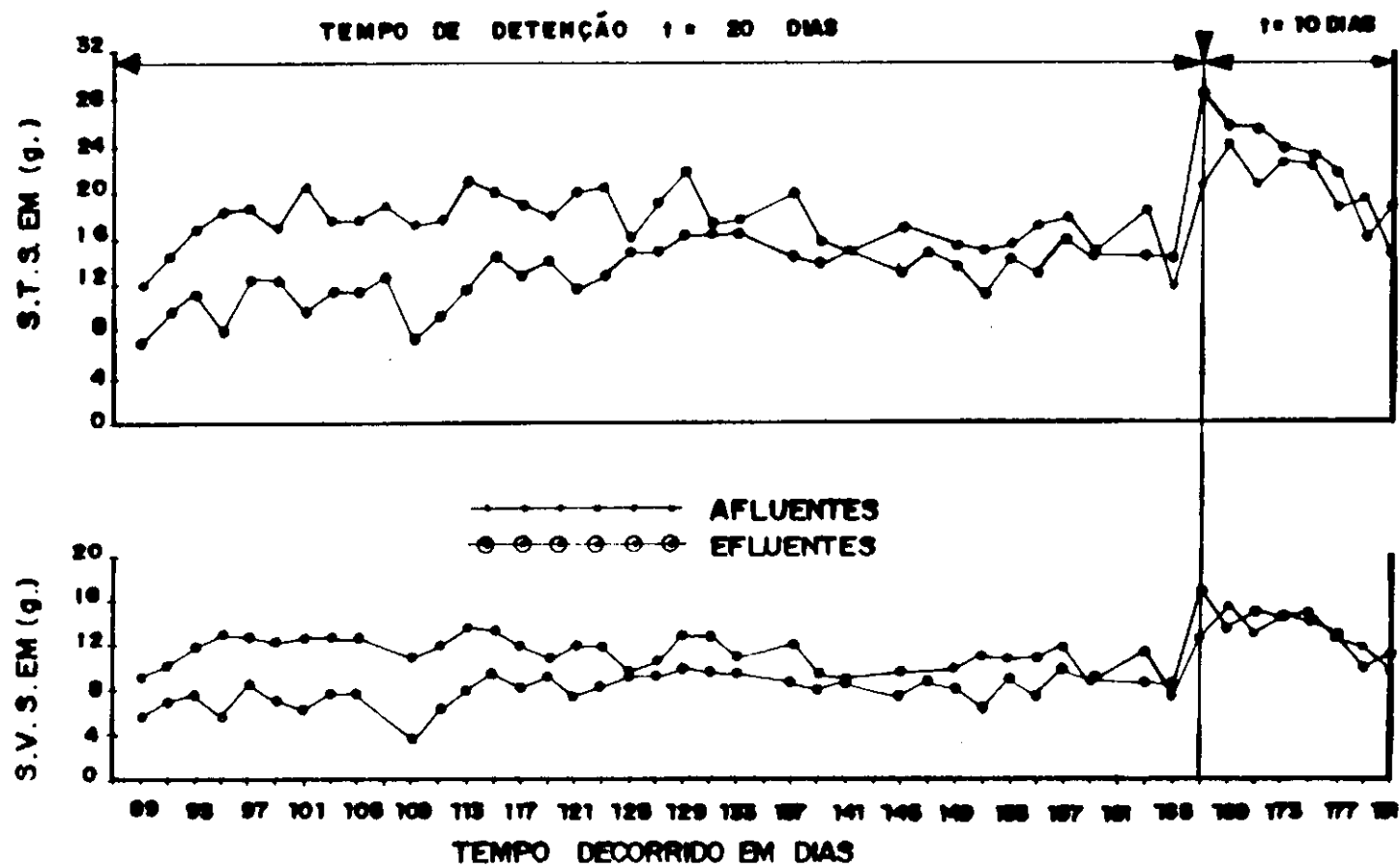


FIGURA: 4. A.2.- MASSA DE SÓLIDOS TOTAIS SUSPENSOS (S.T.S.) E VOLÁTEIS (S.V.S.) AFLUENTES E EFLUENTE MEDIDOS A PARTIR DO 89º DIA DE OPERAÇÃO. TEMPERATURA AMBIENTAL DE $(25 \pm 3)^\circ\text{C}$ E FRACÇÃO DE LODO (te) DE 44 %.

QUADRO 4.B.0 - VALORES DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGÊNIO (DQO) EM mg/l, ACIDOS VOLATEIS COMO ACIDO ACÉTICO EM mg/l E DE METANO E BIOGAS EM ml NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₀.

Continua...

DIAS DE OPERAÇÃO	DQO		ACIDOS VOLATEIS	METANO E BIOGAS	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE		
89	185	1150	389	1230	
91	231	1338	421	1800	
93	169	1200	410	1960	
95	238	1061	506	2000	
97	169	1154	376	2000	
99	192	1292	321	2320	
101	-	-	-	2520	
103	185	692	226	2450	
105	-	-	-	2540	
107	328	805	214	2760	
109	164	760	287	2880	
111	112	447	274	2940	
113	135	630	205	2640	
115	158	-	226	2020	
117	180	773	216	2120	
119	136	636	246	2200	
121	121	636	274	2180	
123	98	727	308	2200	
125	114	500	308	2000	
127	91	773	300	2040	
129	-	-	-	-	
131	126	578	294	1800	
133	-	-	342	1960	
135	200	489	315	1980	
137	-	-	270	2120	
139	141	578	319	1960	

QUADRO 4.B.0 - VALORES DE DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO) EM mg/l, ÁCIDOS VOLÁTEIS COMO ÁCIDO ACÉTICO EM mg/l E DE METANO E BIOGAS EM ml NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₀.

Continuação.

DIAS DE OPERAÇÃO	DQO		ÁCIDOS	METANO	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE	E BIOGAS	
141	-	-	336	2680	
143	-	-	-	3000	
145	156	534	239	2680	
147	-	-	-	2760	
149	267	534	205	2080	
151	-	356	217	1980	
153	-	579	262	2820	*
155	-	-	-	3340	
157	205	425	-	3900	
159	-	298	-	3900	
161	-	-	-	3800	
163	113	511	266	3560	
165	-	-	-	3600	
167	182	568	239	3600	**
169	174	644	222	2940	
171	235	682	222	2880	
173	-	-	222	2880	
175	189	568	233	2520	
177	169	739	-	2360	
179	-	-	433	2280	
181	-	-	-	2040	

(*) INÍCIO DE MEDIÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGAS

(**) INÍCIO DE ALIMENTAÇÃO COM 1600 ml/2.d

QUADRO 4.B.1 - VALORES DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGÊNIO (DQO) EM mg/l, ACIDOS VOLATEIS COMO ACIDO ACÉTICO EM mg/l E DE METANO E BIOGAS EM ml NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₁

Continua...

DIAS DE OPERAÇÃO	DQO		ACIDOS	METANO	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE	E BIOGAS	
89	215	1600	849	1010	
91	292	1700	907	1080	
93	177	1600	787	1360	
95	208	1523	602	1800	
97	161	1384	486	1520	
99	123	1292	451	1360	
101	-	-	-	1900	
103	169	1246	404	1920	
105	-	-	-	2000	
107	305	1118	393	1880	
109	184	1073	445	1920	
111	104	805	383	2040	
113	150	945	233	2120	
115	105	673	287	2200	
117	135	609	226	2640	
119	121	682	212	2130	
121	98	682	287	2320	
123	129	818	274	2320	
125	152	727	267	2280	
127	106	727	287	2360	
129	-	-	-	-	
131	156	756	219	2000	
133	-	-	228	2180	
135	311	489	287	2340	
137	-	-	205	2400	
139	126	622	331	2160	

QUADRO 4.B.1 - VALORES DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGÊNIO (DQO) EM mg/l, ACIDOS VOLATEIS COMO ACIDO ACÉTICO EM mg/l E DE METANO E BIOGAS EM ml NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₁.

Continuação.

DIAS DE OPERAÇÃO	DQO		ACIDOS	METANO	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE	E BIOGAS	
141	-	-	278	2100	
143	-	-	-	2310	
145	119	534	194	2100	
147	-	-	-	2440	
149	245	667	308	1800	
151	230	626	217	2180	
153	303	579	182	2340	*
155	-	-	-	2700	
157	234	596	-	2660	
159	142	425	-	2800	
161	-	-	425	3120	
163	149	554	253	3400	
165	-	-	-	2700	
167	197	492	276	2780	**
169	174	455	172	2560	
171	220	606	206	2520	
173	-	-	278	2640	
175	212	606	233	2200	
177	211	634	182	2160	
179	-	-	233	2560	
181	-	-	-	2200	

(*) INICIO DE MEDIÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGAS

(**) INICIO DE ALIMENTAÇÃO COM 1600 ml/2.d

QUADRO 4.B.2 - VALORES DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGENIO (DQO) EM mg/l, ACIDOS VOLATEIS COMO ACIDO ACÉTICO EM mg/l E DE METANO E BIOGAS EM ml NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₂.

Continua...

DIAS DE OPERAÇÃO	DQO		ACIDOS	METANO	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE	E BIOGAS	
89	192	1600	810	680	
91	300	1430	765	1020	
93	231	1569	616	1200	
95	185	1338	472	1320	
97	200	1523	417	1100	
99	146	1338	308	1340	
101	-	-	-	1360	
103	123	969	342	1200	
105	-	-	-	1640	
107	194	1073	301	1580	
109	179	715	280	1540	
111	156	715	301	2020	
113	150	1170	356	2040	
115	165	720	185	2120	
117	255	636	157	2160	
119	212	955	198	2280	
121	174	727	233	2220	
123	280	773	219	2240	
125	250	-	246	1920	
127	205	773	383	1800	
129	-	-	-	-	
131	207	889	335	1340	
133	-	-	285	1360	
135	252	756	287	1240	
137	-	-	257	1320	
139	141	578	296	1740	

QUADRO 4.B.2 - VALORES DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGENIO (DQO) EM mg/l, ACIDOS VOLATEIS COMO ACIDO ACÉTICO EM mg/l E DE METANO E BIOGAS EM ml NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₂.

Continuação.

DIAS DE OPERAÇÃO	DQO		ACIDOS	METANO	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE	E BIOGAS	
141	-	-	221	1300	
143	-	-	-	1300	
145	104	489	171	1060	
147	-	-	-	1520	
149	230	578	182	1200	
151	266	490	251	1260	
153	259	668	194	1620	*
155	-	-	-	1860	
157	234	383	-	1840	
159	-	340	-	1880	
161	-	-	222	2060	
163	141	426	200	2120	
165	-	-	-	2000	
167	152	303	186	1520	**
169	303	379	161	1560	
171	242	568	164	1540	
173	-	-	200	1620	
175	222	417	244	1340	
177	232	458	149	1480	
179	-	-	169	1640	
181	-	-	-	1500	

(*) INICIO DE MEDIÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGAS

(*) INICIO DA ALIMENTAÇÃO COM 1600 ml/2.d

QUADRO 4.B.3 - VALORES DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGÊNIO (DQO) EM mg/l, ACIDOS VOLATEIS COMO ACIDO ACÉTICO EM mg/l E DE METANO E BIOGAS EM ml NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₃.

Continua...

DIAS DE OPERAÇÃO	DQO		ACIDOS	METANO	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE	E BIOGAS	
89	192	1384	570	800	
91	200	-	473	1260	
93	208	1430	410	920	
95	146	1107	356	850	
97	177	1246	301	1100	
99	169	923	274	760	
101	-	-	-	1040	
103	185	831	267	1080	
105	-	-	-	1240	
107	171	939	212	1280	
109	179	581	212	1160	
111	149	-	192	1660	
113	150	810	157	1440	
115	158	675	171	1120	
117	210	636	164	1200	
119	212	682	185	1360	
121	212	682	185	1400	
123	227	591	205	1400	
125	197	455	219	1440	
127	273	682	233	1220	
129	-	-	-	-	
131	185	711	226	1280	
133	-	-	200	1260	
135	178	445	185	1120	
137	-	-	194	960	
139	119	534	194	1020	

QUADRO 4.B.3 - VALORES DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGÊNIO (DQO) EM mg/l, ACIDOS VOLATEIS COMO ACIDO ACÉTICO EM mg/l E DE METANO E BIOGAS EM ml NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₃.

Continuação.

DIAS DE OPERAÇÃO	DQO		ACIDOS	METANO	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE	E BIOGAS	
141	-	-	154	1020	
143	-	-	-	1100	
145	119	534	148	920	
147	-	-	-	1240	
149	178	445	137	960	
151	185	400	160	960	
153	207	579	148	1060	*
155	-	-	-	1200	
157	177	510	-	1120	
159	107	213	-	1000	
161	-	-	167	1160	
163	128	341	133	1220	
165	-	-	-	1240	
167	235	265	150	1140	**
169	242	568	203	1000	
171	265	455	142	860	
173	-	-	160	1000	
175	227	492	172	800	
177	204	634	-	880	
179	-	-	417	960	
181	-	-	-	860	

(*) INICIO DE MEDIÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGAS

(**) INICIO DE ALIMENTAÇÃO COM 1600 ml/2.d

QUADRO 4.B.4 - VALORES DE DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO) EM mg/l, ÁCIDOS VOLÁTEIS COMO ÁCIDO ACÉTICO EM mg/l E DE METANO E BIOGÁS EM ml NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₄.

Continua...

DIAS DE OPERAÇÃO	DQO		ÁCIDOS VOLÁTEIS	METANO E BIOGÁS	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE		
89	-	1200	590	250	
91	231	1338	583	320	
93	192	1385	629	260	
95	154	1061	643	340	
97	131	1384	636	280	
99	146	877	534	300	
101	-	-	-	140	
103	161	1338	588	168	
105	-	-	-	272	
107	186	1430	608	260	
109	164	1600	599	260	
111	127	939	643	420	
113	128	1395	568	560	
115	128	1215	492	760	
117	143	1000	356	1020	
119	167	864	274	1000	
121	136	955	267	800	
123	159	909	246	880	
125	182	818	335	900	
127	190	682	240	900	
129	-	-	-	-	
131	170	622	205	980	
133	-	-	114	800	
135	193	445	192	720	
137	-	-	188	700	
139	119	578	171	700	

QUADRO 4.B.4 - VALORES DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGÊNIO (DQO) EM mg/l, ACIDOS VOLATEIS COMO ACIDO ACÉTICO EM mg/l E DE METANO E BIOGAS EM ml NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₄.

Continuação.

DIAS DE OPERAÇÃO	DQO		ACIDOS	METANO	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE	E BIOGAS	
141	-	-	134	760	
143	-	-	-	720	
145	89	489	114	600	
147	-	-	-	740	
149	141	445	114	480	
151	193	400	114	600	
153	200	579	137	480	*
155	-	-	-	640	
157	170	425	-	600	
159	-	298	-	620	
161	-	-	-	800	
163	135	341	80	920	
165	-	-	-	940	
167	144	189	108	1000	**
169	197	417	97	869	
171	227	379	131	500	
173	-	-	93	500	
175	205	379	-	440	
177	25	634	90	460	
179	-	-	138	540	
181	-	-	-	600	

(*) INICIO DE MEDIÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGAS

(**) INICIO DE ALIMENTAÇÃO COM 1600 ml/2.d

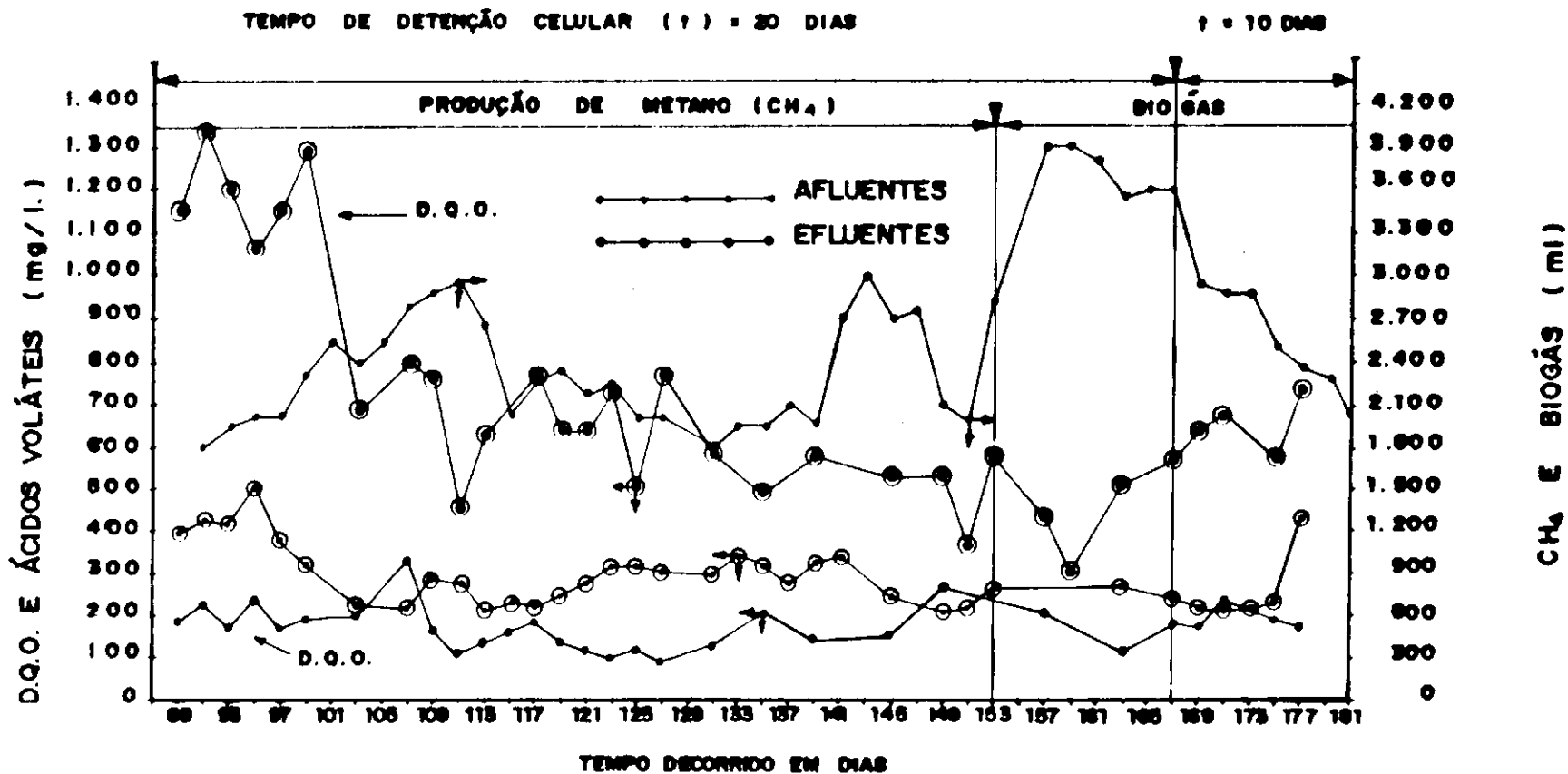


FIGURA 4. B. O. - CONCENTRAÇÃO DA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (D.Q.O.) AFLUENTE E EFLUENTE, ÁCIDOS / VOLÁTEIS EFLUENTE COMO ÁCIDO ACÉTICO E PRODUÇÃO DE METANO CH₄ E BIOGÁS. TEMPERATURA AMBIENTAL DE (25 ± 3) °C E FRAÇÃO ATIVA DE LODO (f_a) DE 72 % .

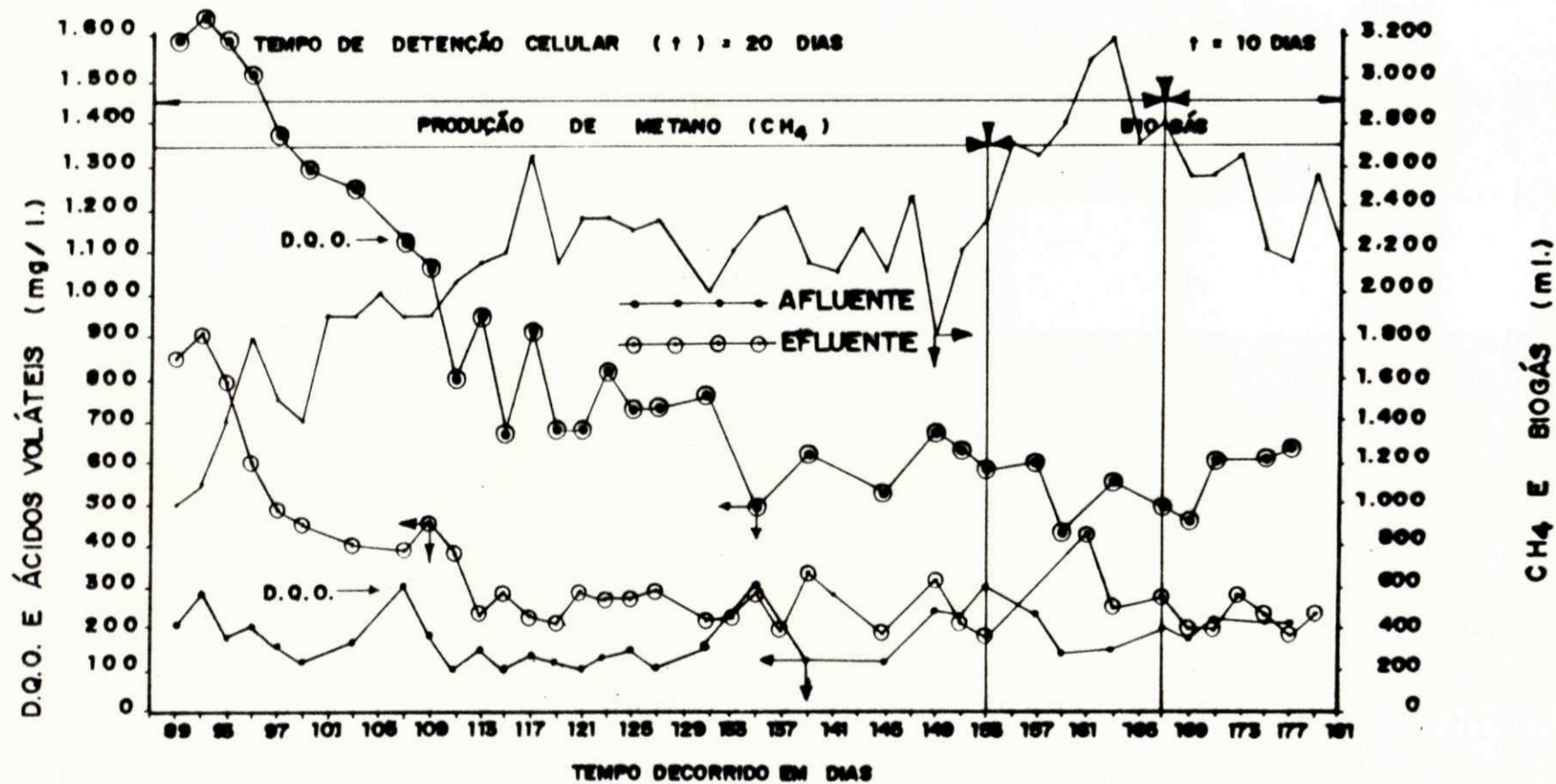


FIGURA:4. B. 1. - CONCENTRAÇÃO DA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (D.Q.O.) AFLUENTE E EFLUENTE, ÁCIDOS / VOLÁTEIS EFLUENTE COMO ÁCIDO ACÉTICO E PRODUÇÃO DE METANO CH_4 E BIOGÁS. TEMPERATURA AMBIENTAL DE $(25 \pm 3) ^\circ C$ E FRAÇÃO ATIVA DE LODO (f_a) DE 56 % .

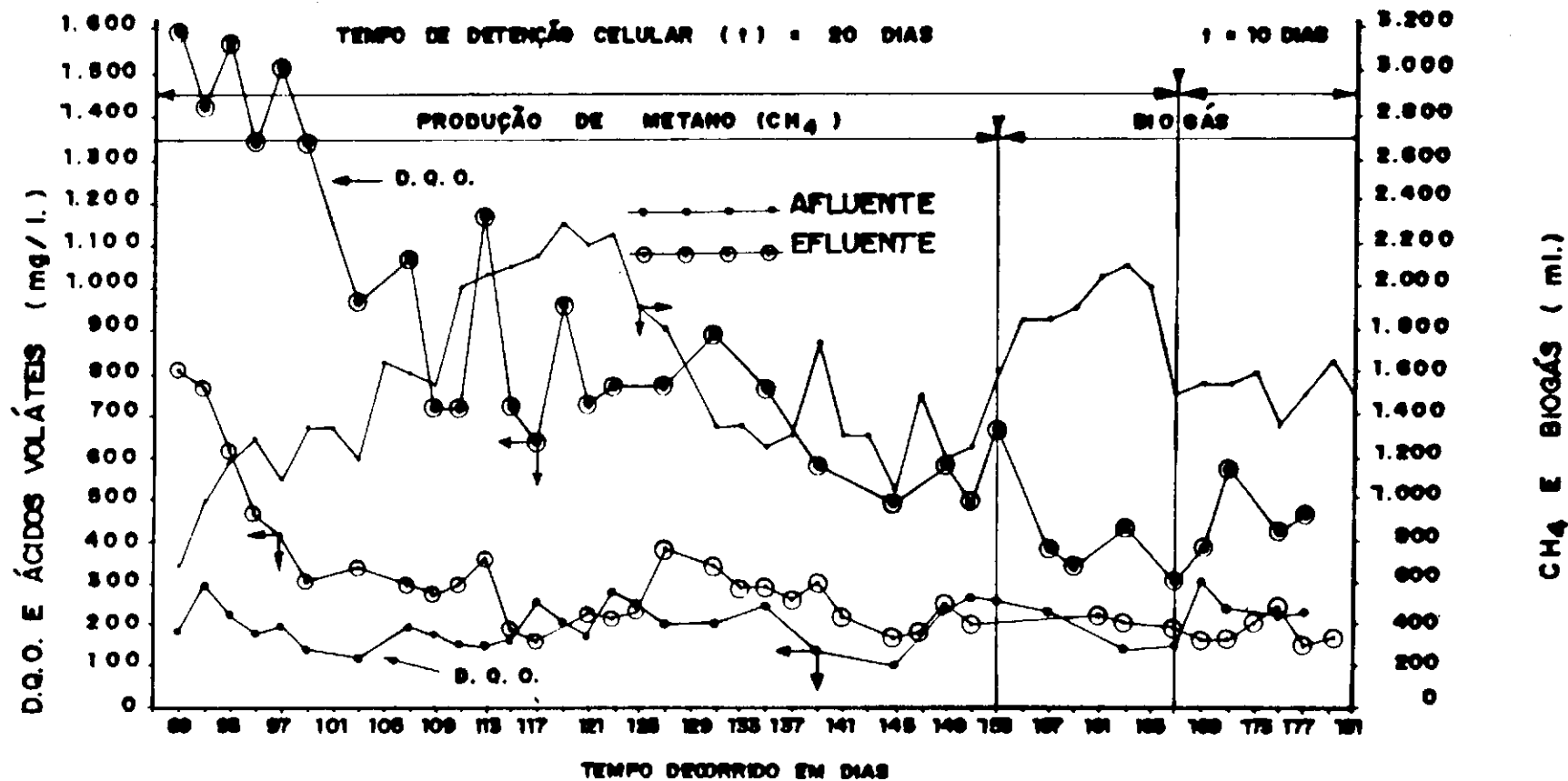


FIGURA:4.B.2.- CONCENTRAÇÃO DA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (D.Q.O.) AFLUENTE E EFLUENTE, ÁCIDOS / VOLÁTEIS EFLUENTE COMO ÁCIDO ACÉTICO E PRODUÇÃO DE METANO CH₄ E BIOGÁS. TEMPERATURA AMBIENTAL DE (25 ± 3) °C E FRAÇÃO ATIVA DE LODO (f_a) DE 46 %.

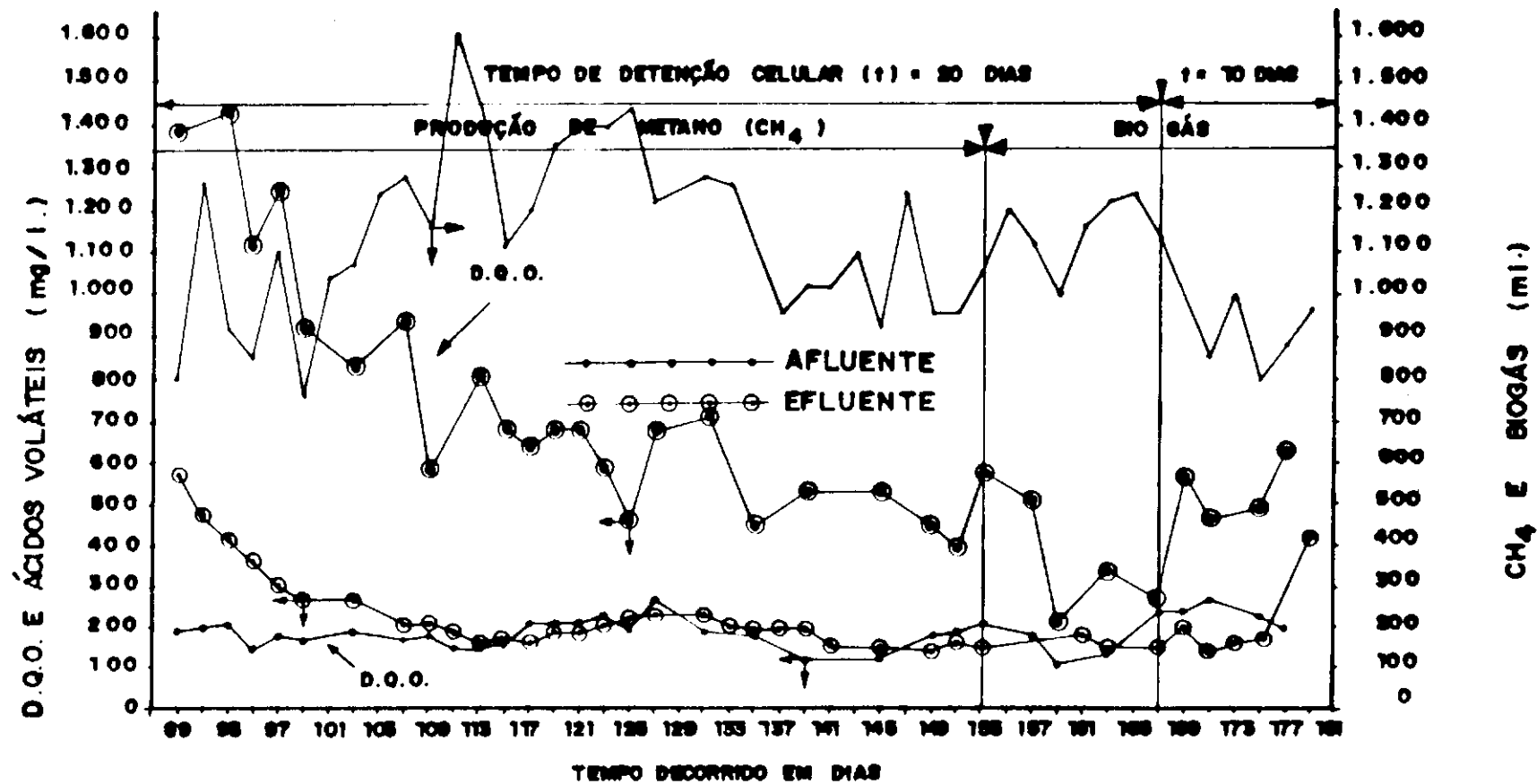


FIGURA 4.B.3. - CONCENTRAÇÃO DA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (D.Q.O.) AFLUENTE E EFLUENTE, ÁCIDOS / VOLÁTEIS EFLUENTE COMO ÁCIDO ACÉTICO E PRODUÇÃO DE METANO CH₄ E BIOGÁS. TEMPERATURA AMBIENTAL DE (25 ± 3) °C E FRAÇÃO ATIVA DE LODO (fa) DE 25 %.

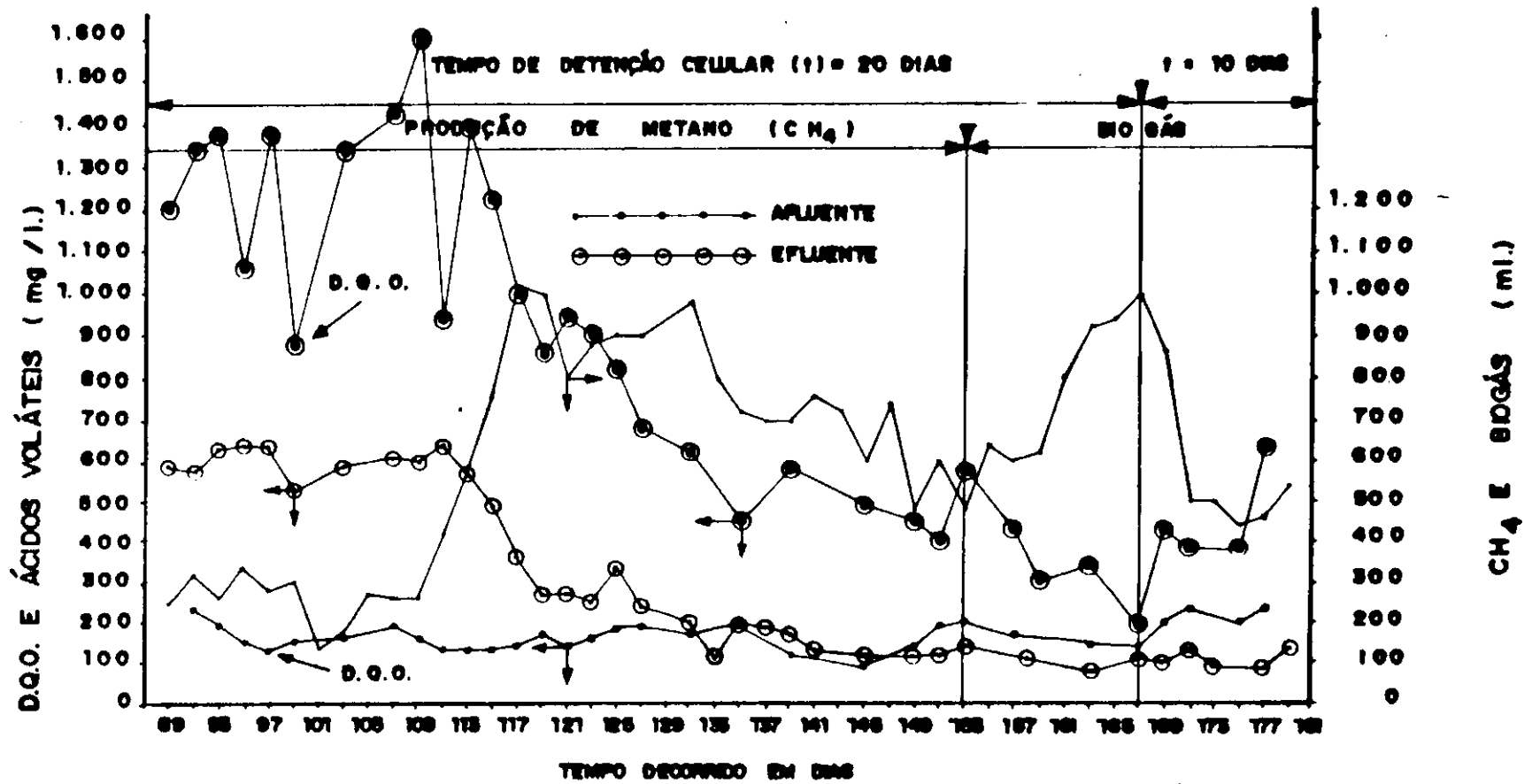


FIGURA: 4. B. 4. - CONCENTRAÇÃO DA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (D. Q. O.) AFLUENTE E EFLUENTE, ÁCIDOS VOLÁTEIS EFLUENTE COMO ÁCIDO ACÉTICO E PRODUÇÃO DE METANO CH₄ E BIOGÁS. TEMPERATURA AMBIENTAL DE (25 ± 3) °C E FRAÇÃO ATIVA DE LODO (f_a) DE 15 %.

QUADRO 4.C.0 - VALORES DE pH, ALCALINIDADE TOTAL COMO CaCO₃
EM mg/l E DE AMÔNIA COMO ION NH₄⁺ EM mg/l NO
DIGESTOR ANAERÓBIO D₀.

Continua...

DIAS DE OPERAÇÃO	pH		ALCALINIDADE		AMÔNIA	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE	
89	7,50	7,50	350	1344	159	
91	7,35	7,55	400	1464	195	
93	7,60	7,60	280	1512	352	
95	7,80	7,50	332	1377	352	
97	7,70	7,60	298	1408	451	
99	7,60	7,65	315	1346	511	
101	-	-	-	-	-	
103	7,35	7,75	272	1571	683	
105	-	-	-	-	-	
107	7,30	8,10	408	1352	379	
109	7,45	7,60	281	1805	408	
111	7,50	7,70	230	1816	423	
113	7,70	7,70	247	1275	435	
115	7,50	7,90	221	1652	484	
117	7,90	8,00	230	1895	685	
119	7,50	8,00	285	1938	926	
121	7,85	8,05	298	1938	921	
123	7,75	8,15	255	1958	527	
125	7,50	8,00	255	1928	605	
127	7,80	7,95	349	1918	525	
129	-	-	-	-	-	
131	7,65	8,00	264	1806	532	
133	-	7,60	-	1870	527	
135	7,95	7,80	383	2058	605	
137	8,75	8,20	918	1819	796	*

QUADRO 4.C.0 - VALORES DE pH, ALCALINIDADE TOTAL COMO CaCO₃
EM mg/l E DE AMÔNIA COMO ION NH₄⁺ EM mg/l NO
DIGESTOR ANAERÓBIO D₀.

Continuação.

DIAS DE OPERAÇÃO	pH		ALCALINIDADE		AMÔNIA	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE	
139	7,85	7,70	1111	2561	668	
141	8,10	7,70	1210	2409	495	
143	-	-	-	-	-	
145	8,10	8,00	1122	2719	471	
147	-	-	-	-	-	
149	8,50	8,15	1111	2746	796	
151	8,15	8,05	1265	2666	907	
153	8,20	8,05	1287	2798	698	
155	-	-	-	-	-	
157	8,05	7,65	-	-	729	
159	7,80	7,60	-	-	612	
161	8,00	7,65	693	2156	729	
163	8,30	8,00	458	2218	762	
165	-	-	-	-	-	
167	8,30	8,15	705	2252	698	**
169	8,35	7,90	755	2123	770	
171	8,40	7,95	678	2017	495	
173	8,30	7,95	724	1910	495	
175	8,35	7,85	693	1817	380	
177	8,45	8,30	662	-	223	
179	8,25	8,00	724	1709	332	
181	-	-	-	-	-	

(*) INICIO DA ADIÇÃO DE BICARBONATO DE SÓDIO NOS
DIGESTORES AERADOS.

(**) INICIO DE ALIMENTAÇÃO COM 1600 ml/2.d.

QUADRO 4.C.1 - VALORES DE pH, ALCALINIDADE TOTAL COMO CaCO₃
EM mg/l E DE AMÔNIA COMO ION NH₄⁺ EM mg/l NO
DIGESTOR ANAERÓBIO D₁.

Continua...

DIAS DE OPERAÇÃO	pH		ALCALINIDADE		AMÔNIA	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE	
89	7,40	6,90	321	1200	140	
91	7,20	7,00	320	1332	172	
93	7,80	7,40	310	1416	286	
95	7,60	7,70	247	1255	311	
97	7,40	7,60	179	1142	337	
99	7,35	7,70	170	1255	470	
101	-	-	-	-	-	
103	6,75	7,65	77	1387	628	
105	-	-	-	-	-	
107	7,40	8,05	272	1364	-	
109	6,95	7,50	119	1499	316	
111	6,80	7,50	68	1438	340	
113	7,40	7,70	128	-	340	
115	6,80	7,85	102	1499	832	
117	7,30	7,85	128	1516	360	
119	7,40	8,00	213	1632	490	
121	7,50	8,00	145	1693	747	
123	7,10	8,20	128	1642	771	
125	7,50	7,80	204	1693	463	
127	7,45	7,90	170	1685	450	
129	-	-	-	-	-	
131	7,00	8,00	102	1848	464	
133	-	7,70	-	1768	461	
135	8,40	7,80	-	1890	505	
137	8,85	8,30	816	1913	533	*

QUADRO 4.C.1 - VALORES DE pH, ALCALINIDADE TOTAL COMO CaCO₃ EM mg/l E DE AMÔNIA COMO ION NH₄⁺ EM mg/l NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₁.

Continuação.

DIAS DE OPERAÇÃO	pH		ALCALINIDADE		AMÔNIA	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE	
139	7,90	7,50	1012	2244	763	
141	8,20	7,70	1140	2354	471	
143	-	-	-	-	-	
145	8,20	7,80	858	2482	432	
147	-	-	-	-	-	
149	8,50	8,10	935	2508	729	
151	8,05	8,15	715	2508	869	
153	8,40	8,20	1023	2482	640	
155	-	-	-	-	-	
157	8,25	7,70	-	-	640	
159	7,70	7,70	-	-	492	
161	7,90	7,70	616	1848	668	
163	8,45	7,90	488	2033	668	
165	-	-	-	-	-	
167	8,60	8,10	510	2041	640	**
169	8,50	8,10	539	1891	705	
171	8,50	7,95	539	1833	433	
173	8,30	7,95	493	1740	541	
175	8,35	8,00	493	1648	318	
177	8,55	7,95	462	1663	214	
179	8,40	7,85	462	1586	278	
181	-	-	-	-	-	

(*) INICIO DA ADIÇÃO DE BICARBONATO DE SÓDIO NOS DIGESTORES AERADOS.

(**) INICIO DE ALIMENTAÇÃO COM 1600 ml/2.d.

QUADRO 4.C.2 - VALORES DE pH, ALCALINIDADE TOTAL COMO CaCO_3
EM mg/l E DE AMÔNIA COMO ION NH_4^+ EM mg/l NO
DIGESTOR ANAERÓBIO D₂.

Continua...

DIAS DE OPERAÇÃO	pH		ALCALINIDADE		AMÔNIA	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE	
89	7,00	7,00	160	1308	152	
91	6,65	7,00	130	1332	179	
93	6,90	7,40	80	1344	310	
95	7,00	7,70	111	1132	286	
97	6,90	7,50	60	1153	352	
99	6,80	7,65	77	1071	415	
101	-	-	-	-	-	
103	6,40	7,75	51	1173	398	
105	-	-	-	-	-	
107	6,65	7,75	85	1193	316	
109	6,90	7,75	111	1224	316	
111	6,50	7,45	51	1285	316	
113	6,75	7,65	60	1530	652	
115	6,60	7,80	60	1295	304	
117	7,10	7,85	85	1326	451	
119	7,20	7,70	213	1459	747	
121	7,60	8,05	102	1510	737	
123	7,00	7,90	102	1550	483	
125	7,15	7,95	102	1309	432	
127	7,05	7,90	120	1581	445	
129	-	-	-	-	-	
131	6,60	7,80	60	1124	-	
133	-	7,45	-	1516	440	
135	8,10	7,90	-	1607	470	
137	8,75	8,20	595	1505	613	*

QUADRO 4.C.2 - VALORES DE pH, ALCALINIDADE TOTAL COMO CaCO₃ EM mg/l E DE AMÔNIA COMO ION NH₄⁺ EM mg/l NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₂.

Continuação.

DIAS DE OPERAÇÃO	pH		ALCALINIDADE		AMÔNIA	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE	
139	7,75	7,30	616	1729	492	
141	8,40	7,70	715	1980	363	
143	-	-	-	-	-	
145	8,10	7,80	671	2020	332	
147	-	-	-	-	-	
149	8,35	8,10	737	2086	640	
151	8,20	8,10	880	2072	729	
153	8,05	8,15	726	2152	514	
155	-	-	-	-	-	
157	8,10	7,80	-	-	429	
159	7,60	7,60	-	-	379	
161	7,65	7,60	385	1694	561	
163	8,20	7,95	427	1663	561	
165	-	-	-	-	-	
167	8,40	8,00	420	1540	537	**
169	8,30	8,15	447	1621	565	
171	8,45	7,95	554	1555	318	
173	8,35	8,05	477	1494	433	
175	8,30	7,70	400	1448	223	
177	8,50	8,10	354	1401	150	
179	8,35	7,85	447	1371	204	
181	-	-	-	-	-	

(*) INICIO DA ADIÇÃO DE BICARBONATO DE SÓDIO NOS DIGESTORES AERADOS.

(**) INICIO DE ALIMENTAÇÃO COM 1600 ml/2.d.

QUADRO 4.C.3 - VALORES DE pH, ALCALINIDADE TOTAL COMO CaCO₃ EM mg/l E DE AMÔNIA COMO ION NH₄⁺ EM mg/l NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₃.

Continua...

DIAS DE OPERAÇÃO	pH		ALCALINIDADE		AMÔNIA	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE	
89	6,70	7,20	110	1296	140	
91	6,20	7,25	70	1320	172	
93	6,40	7,50	50	1344	286	
95	6,40	7,60	60	1061	263	
97	6,60	7,50	60	1153	352	
99	6,95	7,65	77	1020	433	
101	-	-	-	-	-	
103	6,05	7,70	35	1040	274	
105	-	-	-	-	-	
107	6,30	7,95	60	1020	284	
109	6,40	7,65	51	1112	294	
111	6,30	7,60	51	1122	305	
113	6,50	7,30	43	1112	510	
115	6,35	7,85	43	1091	236	
117	6,60	7,85	51	1122	398	
119	7,00	7,60	153	1173	631	
121	6,75	8,00	60	1193	591	
123	6,70	8,10	77	1224	408	
125	6,40	8,00	51	1193	335	
127	6,35	7,80	68	1330	333	
129	-	-	-	-	-	
131	6,20	8,05	43	1670	316	
133	-	7,70	-	1318	405	
135	7,55	7,75	-	1313	365	
137	8,50	8,20	264	1258	514	*

QUADRO 4.C.3 - VALORES DE pH, ALCALINIDADE TOTAL COMO CaCO₃ EM mg/l E DE AMÔNIA COMO ION NH₄⁺ EM mg/l NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₃.

Continuação.

DIAS DE OPERAÇÃO	pH		ALCALINIDADE		AMÔNIA	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE	
139	7,45	7,15	407	1426	396	
141	8,10	7,80	539	1617	267	
143	-	-	-	-	-	
145	7,90	7,90	495	1716	256	
147	-	-	-	-	-	
149	8,25	8,05	561	1795	586	
151	8,10	8,00	550	1822	613	
153	7,85	8,05	495	1835	432	
155	-	-	-	-	-	
157	8,00	7,80	-	-	432	
159	7,50	7,50	-	-	267	
161	7,60	7,65	385	1463	432	
163	8,20	7,95	336	1386	432	
165	-	-	-	-	-	
167	8,40	8,10	345	1463	434	**
169	8,40	8,20	385	1351	433	
171	8,45	7,90	431	1355	223	
173	8,45	7,95	416	1294	332	
175	8,35	7,95	370	1278	157	
177	8,45	8,20	308	1217	105	
179	8,20	7,75	308	1201	131	
181	-	-	-	-	-	

(*) INICIO DA ADIÇÃO DE BICARBONATO DE SÓDIO NOS DIGESTORES AERADOS.

(**) INICIO DE ALIMENTAÇÃO COM 1600 ml/2.d.

QUADRO 4.C.4 - VALORES DE pH, ALCALINIDADE TOTAL COMO CaCO₃ EM mg/l E DE AMÔNIA COMO ION NH₄⁺ EM mg/l NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₄.

Continua...

DIAS DE OPERAÇÃO	pH		ALCALINIDADE		AMÔNIA	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE	
89	6,60	7,20	80	1080	93	
91	6,45	7,10	80	1080	119	
93	6,60	7,40	60	1140	181	
95	6,50	7,50	51	877	173	
97	6,80	7,40	60	908	197	
99	6,80	7,35	60	877	352	
101	-	-	-	-	-	
103	6,25	7,55	43	898	167	
105	-	-	-	-	-	
107	6,10	7,70	51	867	237	
109	6,25	7,15	43	893	228	
111	6,35	7,30	43	867	228	
113	6,30	7,10	43	959	400	
115	6,35	7,75	34	918	168	
117	6,50	8,00	43	696	309	
119	6,50	7,70	68	1000	470	
121	6,50	8,05	51	989	433	
123	6,35	7,95	51	979	278	
125	6,65	7,90	60	1040	202	
127	6,65	8,05	60	1040	211	
129	-	-	-	-	-	
131	6,40	7,95	60	1365	188	
133	-	7,70	-	1063	284	
135	7,40	7,80	-	1092	270	
137	7,90	8,20	136	1054	396	*

QUADRO 4.C.4 - VALORES DE pH, ALCALINIDADE TOTAL COMO CaCO₃ EM mg/l E DE AMÔNIA COMO ION NH₄⁺ EM mg/l NO DIGESTOR ANAERÓBIO D₄.

Continuação.

DIAS DE OPERAÇÃO	pH		ALCALINIDADE		AMÔNIA	OBSERVAÇÕES
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	EFLUENTE	
139	6,90	7,00	154	1095	224	
141	7,70	7,60	176	1353	173	
143	-	-	-	-	-	
145	7,50	7,85	253	1386	158	
147	-	-	-	-	-	
149	8,15	8,20	330	1478	396	
151	7,70	7,95	385	1492	396	
153	7,70	8,10	374	1465	279	
155	-	-	-	-	-	
157	8,00	7,90	-	-	267	
159	7,40	7,65	-	-	145	
161	7,35	7,65	308	1156	347	
163	8,15	7,80	275	1201	347	
165	-	-	-	-	-	
167	8,40	7,95	240	1194	279	**
169	8,35	8,15	246	1158	304	
171	8,40	8,30	277	1140	120	
173	8,40	8,15	293	1119	223	
175	8,40	8,10	308	1016	92	
177	8,50	8,10	293	1016	164	
179	8,40	8,00	123	1047	77	
181	-	-	-	-	-	

(*) INICIO DA ADIÇÃO DE BICARBONATO DE SÓDIO NOS DIGESTORES AERADOS.

(**) INICIO DE ALIMENTAÇÃO COM 1600 ml/2.d.

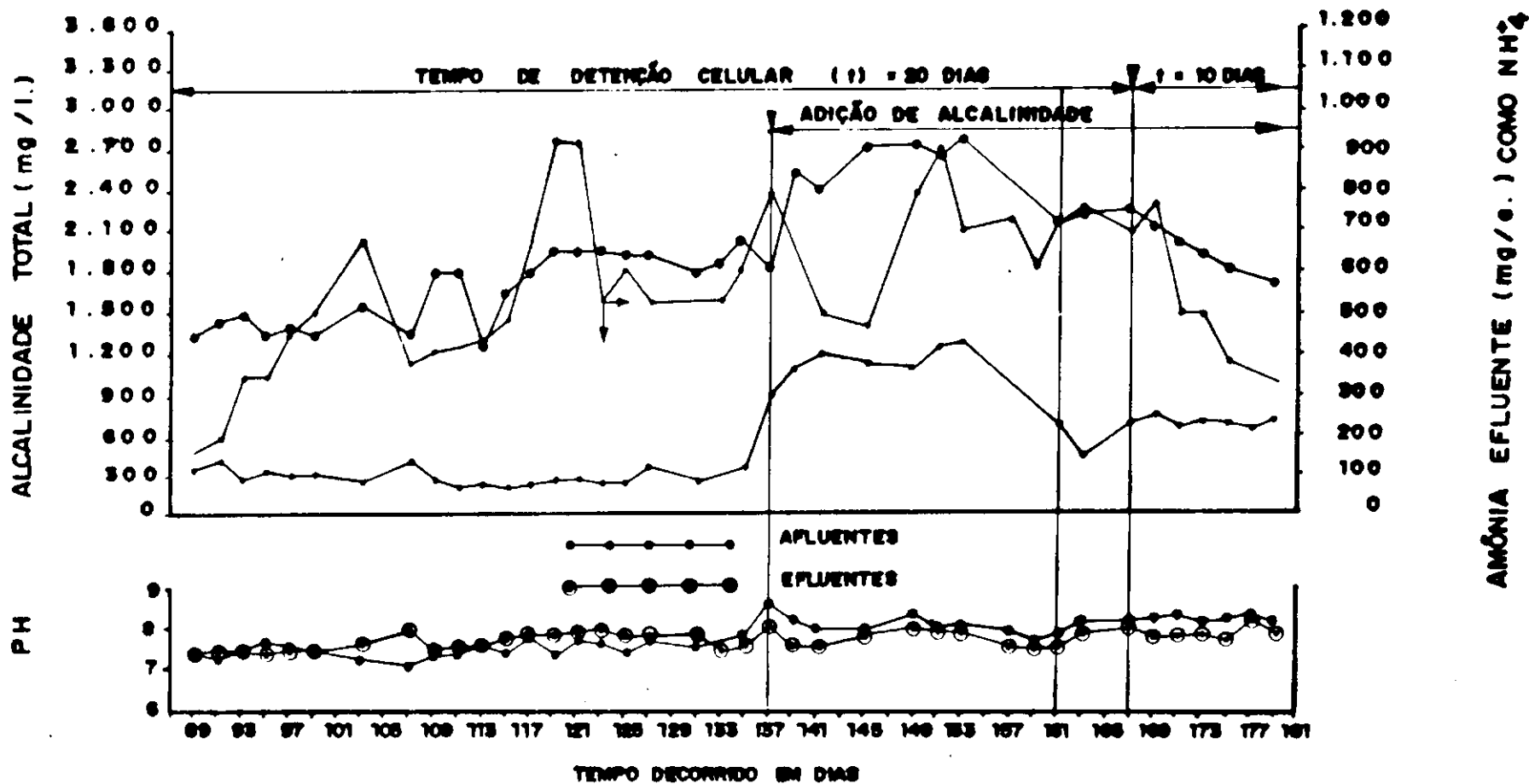


FIGURA 4.C.O. - CONCENTRAÇÃO DE ALCALINIDADE TOTAL COMO CaCO_3 E PH AFLUENTE E EFLUENTE E DE AMÔNIA EFLUENTE COMO NH_4 MEDIDA A PARTIR DO 89º DIA DE OPERAÇÃO. TEMPERATURA AMBIENTAL DE $(25 \pm 3)^\circ\text{C}$. E FRAÇÃO DE ATIVA DE LODO (f_a) DE 72%.

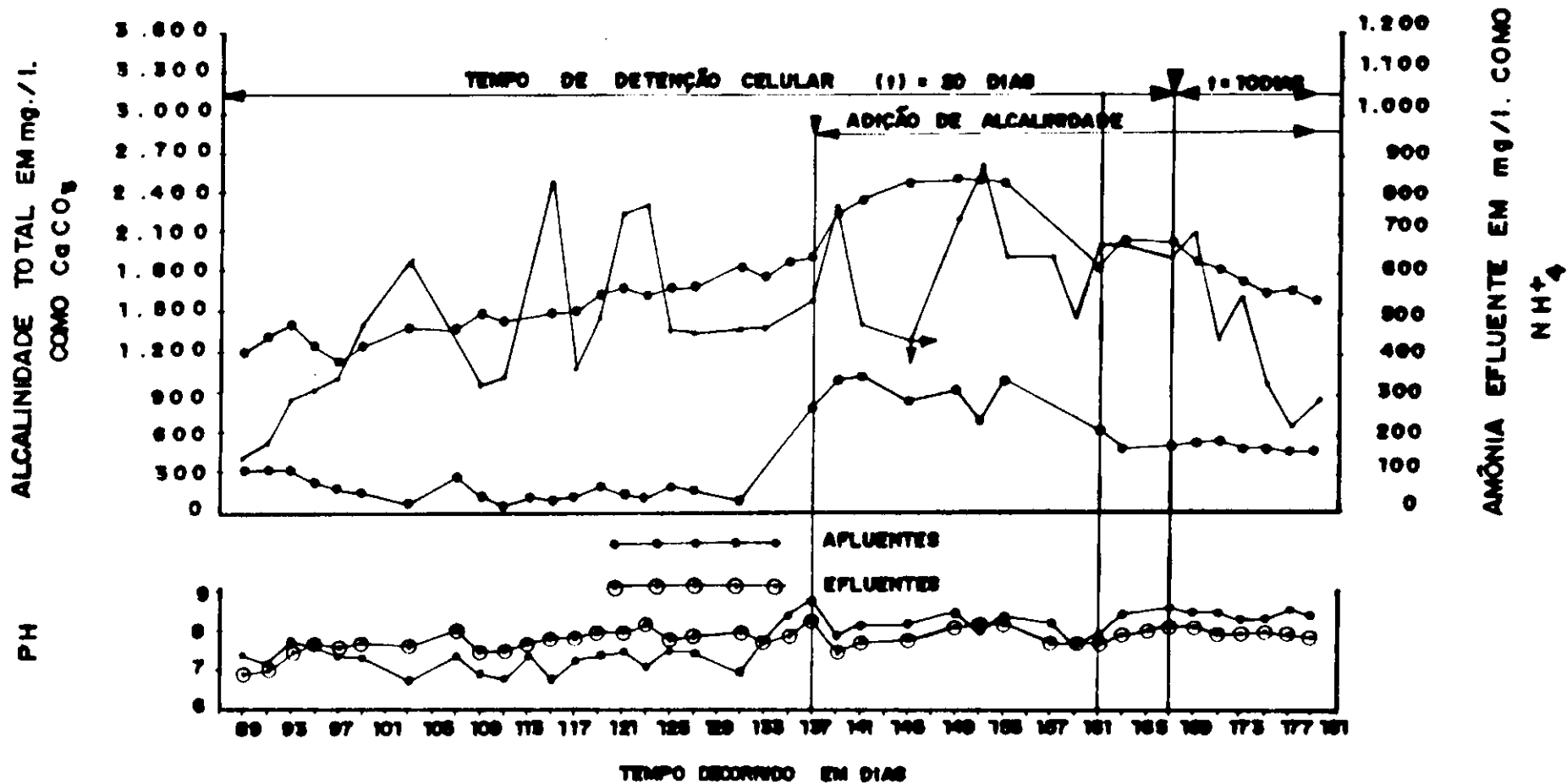


FIGURA:4.C.1. - CONCENTRAÇÃO DE ALCALINIDADE TOTAL COMO CaCO₃ E PH AFLUENTE E EFLUENTE E DE AMÔNIA EFLUENTE COMO NH₄ MEDIDA A PARTIR DO 89º DIA DE OPERAÇÃO. TEMPERATURA AMBIENTAL DE (25 ± 3)°C. E FRAÇÃO DE ATIVA DE LODO (f_a) DE 56%.

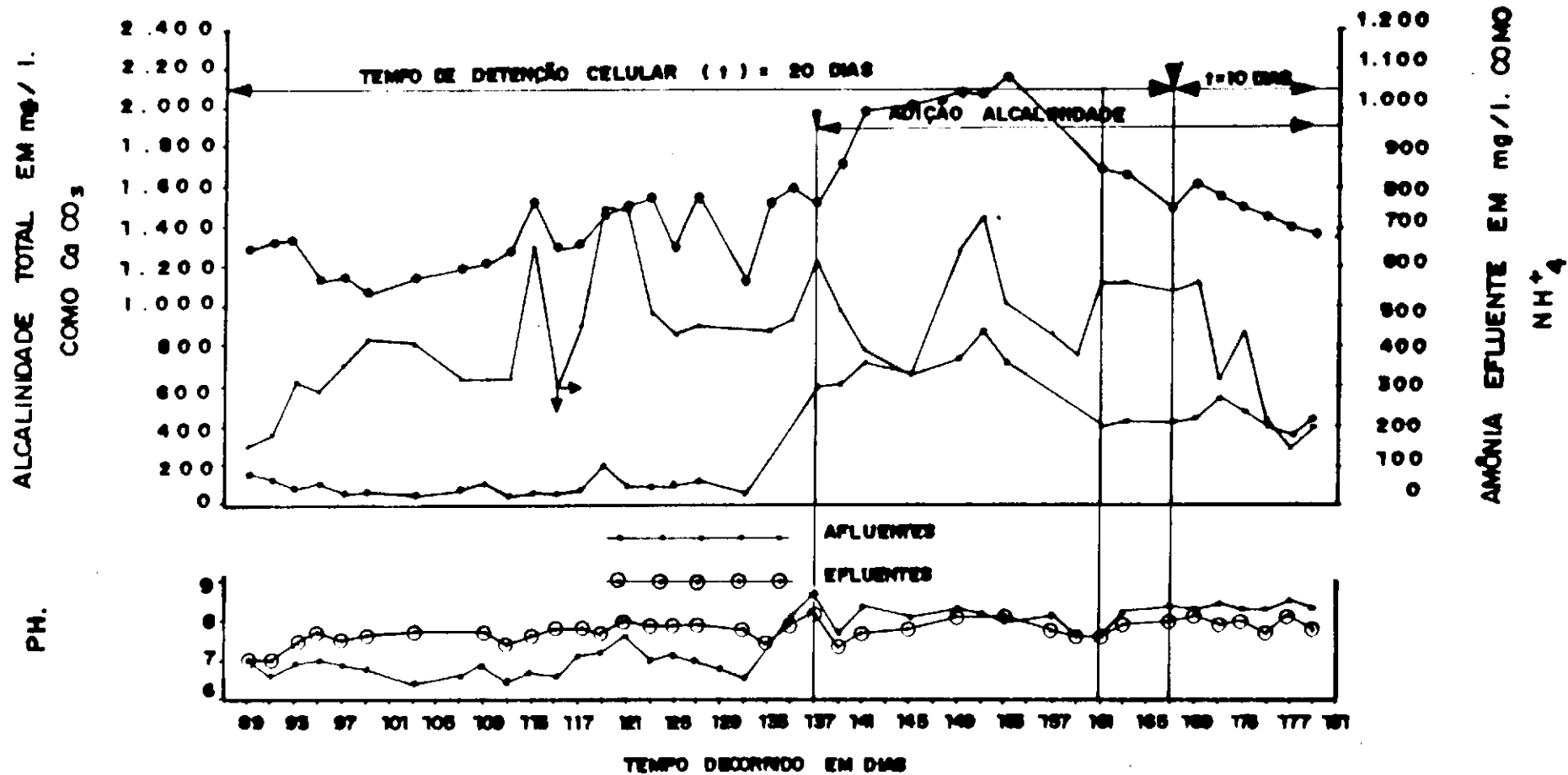


FIGURA: 4.C.2.- CONCENTRAÇÃO DE ALCALINIDADE TOTAL COMO CaCO₃ E PH AFLUENTE E EFLUENTE E DE / AMÔNIA EFLUENTE COMO NH₄⁺ MEDIDA A PARTIR DO 89º DIA DE OPERAÇÃO. TEMPERATURA / AMBIENTAL DE (25 ± 3)°C. E FRAÇÃO DE ATIVA DE LODO (f_a) DE 46 %.

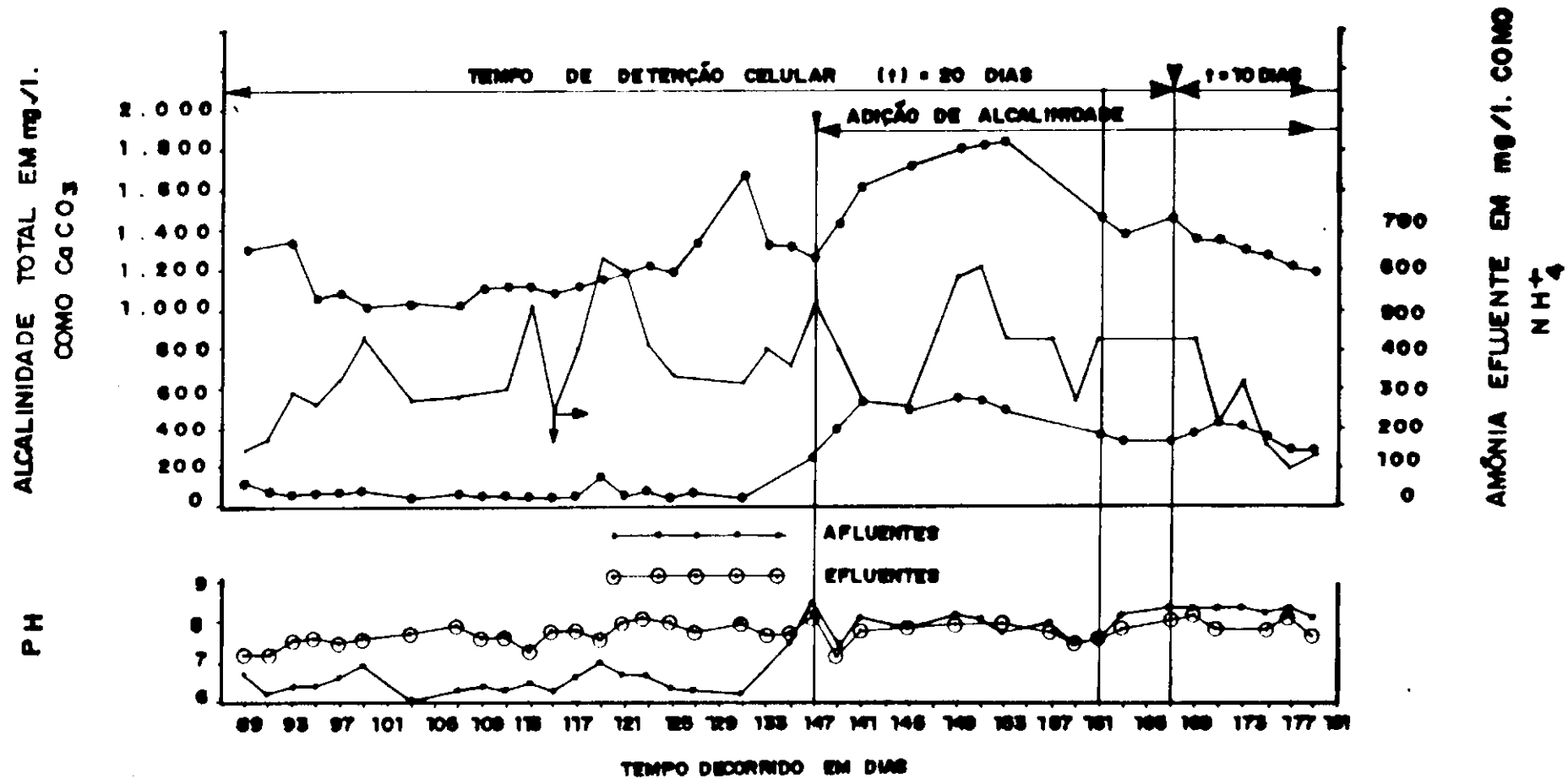


FIGURA 4.C.3.- CONCENTRAÇÃO DE ALCALINIDADE TOTAL COMO CaCO_3 E PH AFLUENTE E EFLUENTE E DE AMÔNIA EFLUENTE COMO NH_4^+ MEDIDA A PARTIR DO 89º DIA DE OPERAÇÃO. TEMPERATURA AMBIENTAL DE $(25 \pm 3)^\circ\text{C}$. E FRAÇÃO DE ATIVA DE LODO (f_a) DE 25 %.

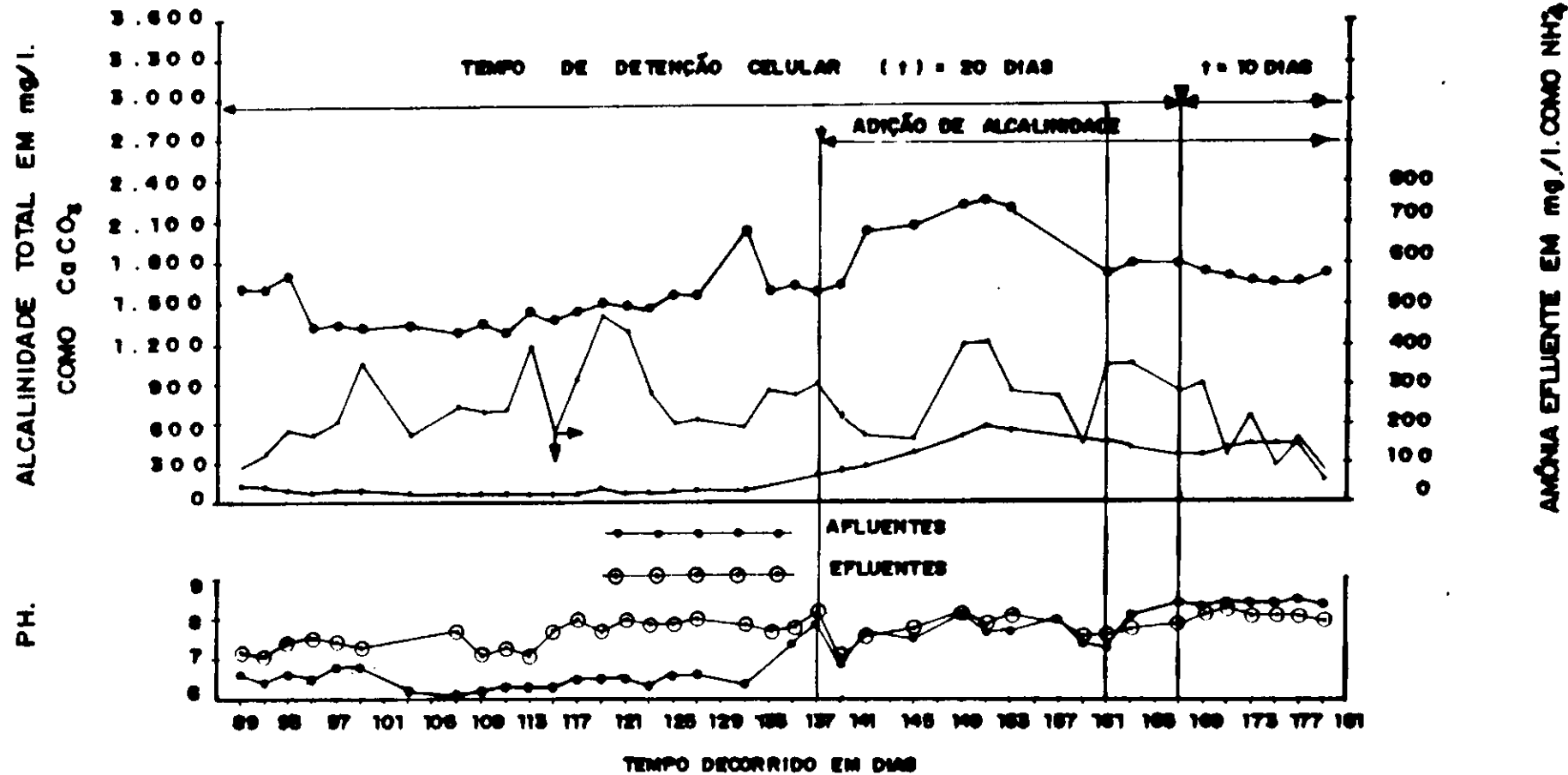


FIGURA: 4.C.4.- CONCENTRAÇÃO DE ALCALINIDADE TOTAL COMO CaCO₃ E PH AFLUENTE E EFLUENTE E DE AMÔNIA EFLUENTE COMO NH₄ MEDIDA A PARTIR DO 89º DIA DE OPERAÇÃO. TEMPERATURA AMBIENTAL DE (25 ± 3) °C. E FRAÇÃO DE ATIVA DE LODO (f_a) DE 15 %.

QUADRO 4.D - VALORES MÉDIOS DE LOTO ATIVO (Xa), SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS E TOTAIS (SSV E SST), DEMANDA QUÍMICA DE DE OXIGÊNIO (DQO), AMÔNIA (NH_4^+), ALCALINIDADE TOTAL (LC. T.), ALCALINIDADE A BICARBONATO (ALC. BIC.) ÁCIDOS VOLÁTEIS, EM GRAMA; BIOGAS E METANO EM LITRO E pH.

Continua...

PARÂMETROS	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	OBS.
Xa (afluente)	8,70	7,11	5,04	2,80	1,52	
SSV (afluente)	12,09	12,63	11,43	11,06	10,18	
% de Xa em SSV (a)	72,00	56,00	44,00	25,00	15,00	
SSV (efluente)	7,66	8,39	8,02	8,17	8,08	
SSV DECAIDOS	4,48	4,24	3,41	2,89	2,10	*
SST (afluente)	16,83	18,71	17,58	17,68	16,99	
SST (efluente)	11,64	12,92	12,81	13,53	13,67	
SST DECAIDOS	5,27	5,79	4,77	4,15	3,32	*
% de SSV DECAIDOS	36,00	34,00	30,00	26,00	21,00	
% de SST DECAIDOS	31,00	31,00	27,00	23,00	20,00	
DQO (afluente)	0,14	0,15	0,16	0,15	0,13	
DQO (efluente)	0,59	0,77	0,70	0,56	0,71	
DQO PRODUZIDA	0,45	0,62	0,54	0,41	0,58	**
NH_4^+ (afluente)	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	
NH_4^+ (efluente)	0,47	0,42	0,36	0,31	0,26	
NH_4^+ PRODUZIDA	0,44	0,41	0,35	0,30	0,26	**

QUADRO 4.D - VALORES MÉDIOS DE LOTO ATIVO (Xa), SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS E TOTAIS (SSV E SST), DEMANDA QUÍMICA DE DE OXIGÊNIO (DQO), AMÔNIA (NH_4^+), ALCALINIDADE TOTAL (LC. T.), ALCALINIDADE A BICARBONATO (ALC. BIC.) ACIDOS VOLÁTEIS, EM GRAMA; BIOGAS E METANO EM LITRO E pH.

Continuação.

PARÂMETROS	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	OBS.
ALC. T. (aflu.)	0,43	0,32	0,22	0,15	0,10	
ALC. T. (eflu.)	1,57	1,44	1,20	1,05	0,86	
ALC. T. PRODUZIDA	1,14	1,12	0,98	0,90	0,76	*
ALC. A BIC. PROD.	0,97	0,91	0,80	0,77	0,56	
Ac. Voláteis (e)	0,24	0,30	0,25	0,19	0,28	
METANO	2,30	2,05	1,49	1,13	0,59	
BIOGAS	3,68	2,88	1,90	1,13	0,80	
pH (afluente)	7,88	7,73	7,51	7,20	7,23	
pH (efluente)	7,89	7,86	7,85	7,81	7,86	

(*) Afluente menos Efluente.

(**) Efluente menos Afluente.

- Temperatura média ambiental de (25 ± 3) °C.

- Estequiometricamente 1 g de DQO = 0,383 litro de CH_4

nas condições em que o sistema foi operado.

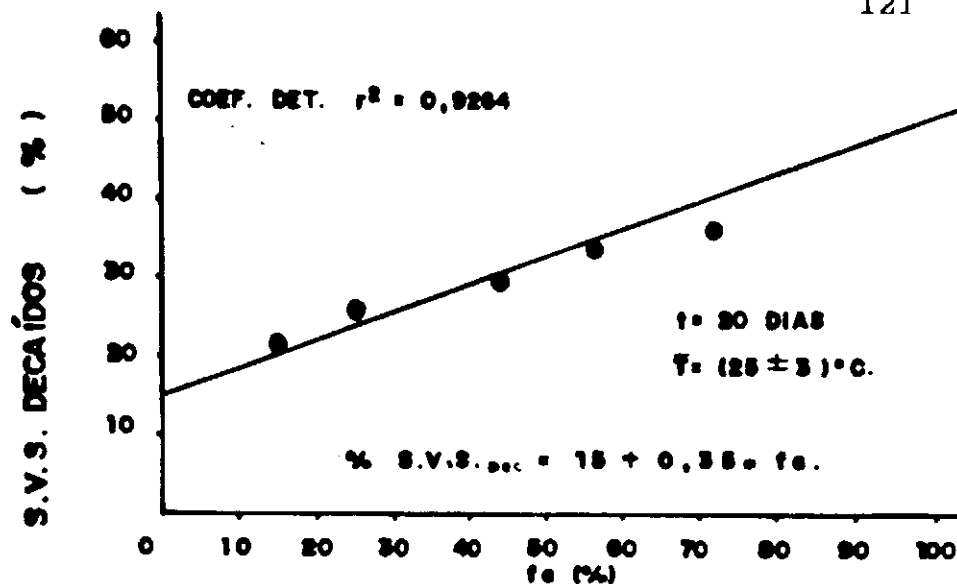


FIGURA: 4.D.1. - PORCENTAGEM DE DECAIMENTO DA MASSA INICIAL DE S.V.S. COMO FUNÇÃO DA FRAÇÃO ATIVA DO LODO (fa) NELA PRESENTE, EM DIGESTORES ANAERÓBIOS DE / MISTURA COMPLETA.

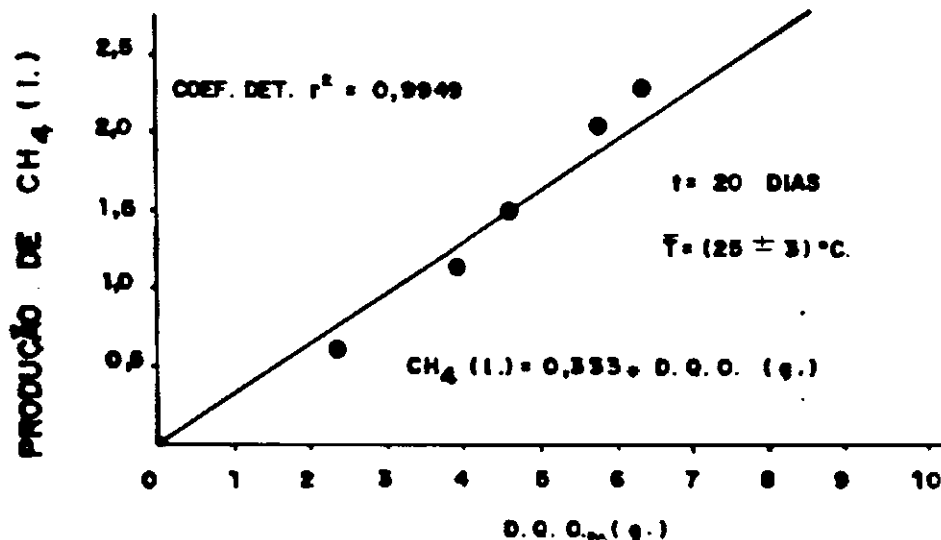


FIGURA: 4.D.2 - PRODUÇÃO DE METANO (CH_4) EM DIGESTORES ANAERÓBIOS DE MISTURA COMPLETA COMO FUNÇÃO DA / D.Q.O. DOS S.V.S. DECAÍDOS E TRANSFORMADOS EM METANO (D.Q.O. DA)

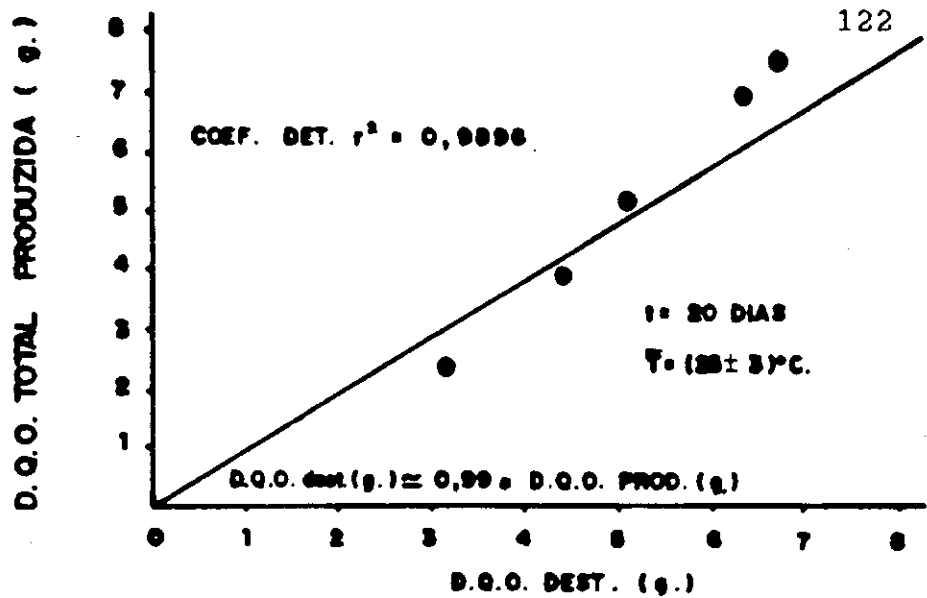


FIGURA: 4.D.3. - BALANÇO DE MASSAS ENTRE A D.Q.O. DOS S.V.S. DECAÍDOS (D.Q.O. dest.) E A D.Q.O. TOTAL PRODUZIDA (METANO MAIS SOBRENADANTE EFLUENTE).

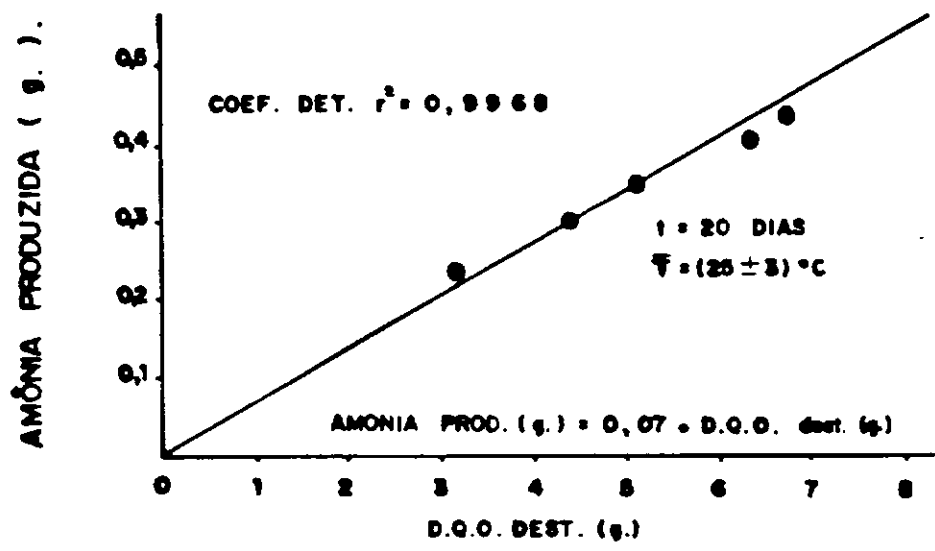


FIGURA: 4.D.4. - PRODUÇÃO DE AMÔNIA COMO NH_4 COMO FUNÇÃO DA D.Q.O. DOS S.V.S. DECAÍDOS (D.Q.O. dest.) EM DIGESTORES ANAERÓBIOS DE MISTURA COMPLETA.

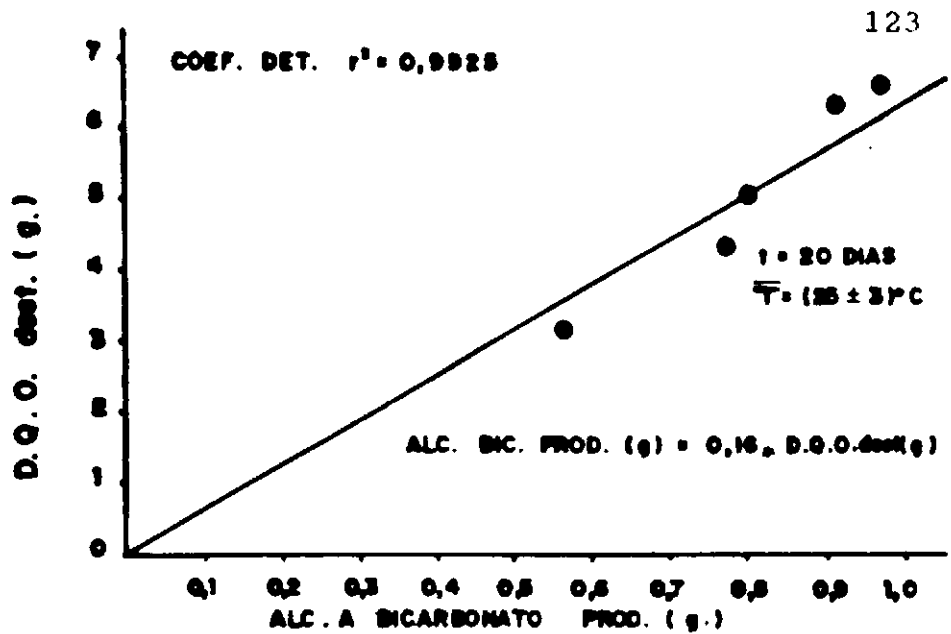


FIGURA: 4.D.5. - PRODUÇÃO DE ALCALINIDADE A BICARBONATO COMO $CaCO_3$ DIGESTORES ANAERÓBIOS DE MISTURA COMPLETA COMO FUNÇÃO DA D.O.O. DOS S.V.S. DECAÍDOS (D.O.O. dest.)

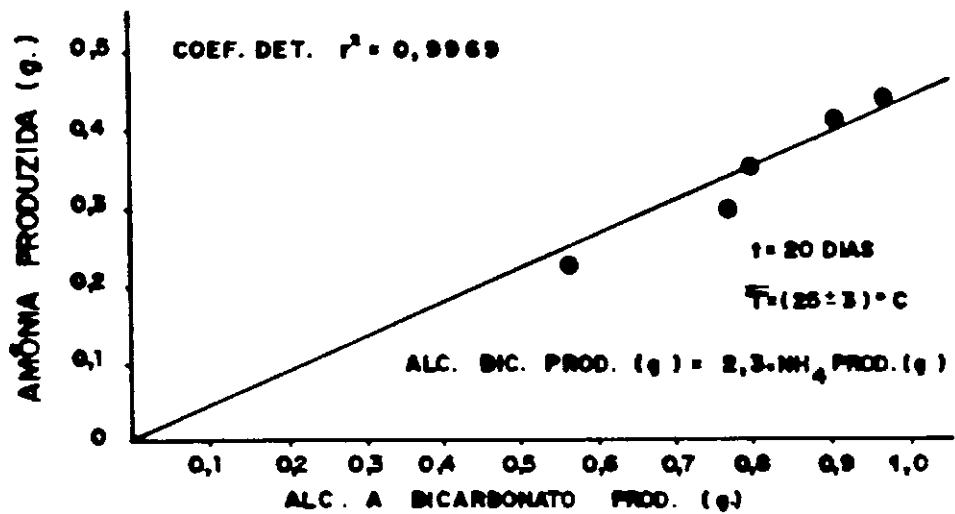


FIGURA: 4.D.6. - RELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO DE AMÔNIA COMO NH_4^+ E A PRODUÇÃO DE ALCALINIDADE A BICARBONATO COMO $CaCO_3$ EM DIGESTORES ANAERÓBIOS DE MISTURA COMPLETA.

CONCLUSOES

(1) DIGESTORES ANAERÓBIOS DE LODO ATIVADO OPERADOS A PARTIR DE ESGOTO BRUTO FUNCIONAM SATISFATORIAMENTE A TEMPERATURA MÉDIA AMBIENTAL DE (25 ± 3) °C E COM 20 DIAS COMO TEMPO DE PERMANÊNCIA PARA O LODO. NÃO HA NECESSIDADE DE ADIÇÃO DE NENHUMA SUBSTÂNCIA QUIMICA AO LODO A SER DIGERIDO;

(2) O DECAIMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS VOLÁTEIS É FUNÇÃO DA COMPOSIÇÃO DO LODO, NOTADAMENTE DA FRAÇÃO ATIVA DO LODO A SER DIGERIDO. NAS CONDIÇÕES DESCRITA NESTE TRABALHO A DECOMPOSIÇÃO DO LODO VOLÁTIL PODE SER EXPRESSA COMO:

$$\% \text{ DE SSV DECAIDOS} = 15 + 0,35 * f_a;$$

(3) A PRODUÇÃO DE METANO É COMPATIVEL COM A ESTEQUIOMETRIA DA DESTRUÇÃO DE MATERIAL ORGÂNICO E PODE SER EXPRESSA COMO:

$$\text{PRODUÇÃO DE CH}_4 \text{ (L)} = 0,333 * \text{LODO DESTRUIDO COMO DQO (g)};$$

(4) ATRAVÉS DO PROCESSO DE MINERALIZAÇÃO AUMENTA A CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA NA PROPORÇÃO DE 0,105 g N/g DE SSV MINERALIZADO;

(5) O LODO GERA ALCALINIDADE A BICARBONATO NA PROPORÇÃO DE 0,240 g COMO CaCO_3 POR GRAMA DE DQO DESTRUÍDA;

(6) QUANDO OS DIGESTORES FUNCIONARAM EM ESTADO ESTACIONÁRIO A DQO DO SOBRENADANTE NO EFLUENTE NÃO EXCEDEU AO VALOR DE 600 mg/l;

(7) O FATO DE QUE A CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS FIXOS DIMINUI DURANTE A DIGESTÃO ANAERÓBIA, INDICA QUE HÁ SOLUBILIZAÇÃO DE SÓLIDOS FIXOS;

(8) SOB AS CONDIÇÕES PESQUISADAS A CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDOS VOLÁTEIS EFLUENTE NO SOBRENADANTE, COMO ÁCIDO ACÉTICO, MANTÉM UM VALOR BAIXO; SEMPRE INFERIOR A 0,30 g.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTSOS, O. E., "Ammonia Nitrogen and the Anaerobic Environment". Journal Water Pollution Control Federation. Vol. 33, p. 978. (1961).
- BARBER, N. R. & DALE, C. W., "Increasing Sludge Digester Efficiency". Chem. Eng., July (1978).
- BURD, R. S., "A study of Sludge Handling and Disposal". Pub. WP-20-4, Fed. Water Pollution Control Admin., Dept. Interior, Washington, D.C.. (1968).
- BUSWELL, A. M. & NEAVE, S. L., "Laboratory Studies of Sludge Digestion". III State Water Surv. Bull. (1939).
- CLARK, R. H. & SPERCE, R. F., "The pH Tolerance of Anaerobic Digestion". Advances in Water Pollution Research. Vol. I. S. H. Jenkins, ed. Pergamon Press, Oxford, England. (1970).
- COURAS DIAS, M., CAVALCANTI CATUNDA, P.F. e VAN HAANDEL, A.C. "O Sistema de Lodo Ativado I - O estado Estacionário". Apresentado no XII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Camboriu, S.C. (1983).
- DeWALLE, F. B. et. alli., "Heavy Metal Removar with Completely Mixed Anaerobic Filtres". Journal Water Pollution Control Federation. Vol. 51, p. 22. (1979).
- "ENVIROMENTAL ENGINEERS HANDBOOK". Liptak, B. G. (Ed.) Chilton Book Co., Radnor, Penn.. (1974).

- Chilton Book Co., Radnor, Penn.. (1974).
- ESMOND, S. E. & PETRASEK, A. C., "*Removal of Heavy Metals by Wastewater Treatment Plants*". Presented at WWEMA Industrial Water and Pollution Conference. Chicago, Illinois. March (1973).
- FIEDS M. & AGARDY, F. J., "*Oxygen Toxicity in Digesters*". Proceedings 26th Purdue Industrial Waste Conference. Purdue University. p.284. (1971).
- HEUKELEKIAN, H. & HEINEMANN, B., "*Studies on Methane Producing Bacteria*". Sewage Works Journal. Vol. 11, p. 426, 571, 965. (1939).
- KARR, P.R. & KENNETH, T. M., "*Influence of Particle Size on Sludge Dewaterability*". Journal Water Pollution. Vol. 50, p. 1911. (1978).
- KUGELMAN, I. J. & CHIN, K. K., "*Toxicity, Synergism and Antagonism in Anaerobic Waste Treatment Process*". Anaerobic Biological Treatment Processes. Advances in Chemistry Series, No 105. Amet. Chem. Soc.. (1971).
- KUGELMAN, I. J. & McCARTY, P. L., "*Cation Toxicity and Stimulation in Anaerobic Waste Treatment, Part I - Sludge Free Studies*". Journal Water Pollution Control Federation. Vol. 37, p. 97. (1965).
- KUGELMAN, I. J. & McCARTY, P. L., "*Cation Toxicity and Stimulation in Anaerobic Waste treatment, Part II - Daily Feed Studies*". Proc. 19 th Ind. Waste Conf., Purdue Univ., 667. (1965).

- LAWRENCE, A. W. & McCARTY, P. L., "A Unified Basic for Biological Treatment Design and Operation". Journal Sanit. Eng. Div. Am. Soc. Civ. Eng., 96, 757. (1970).
- MARAIS, G.V.R. & EKAMA, G.A. "The Activated Sludge Process: Steady State Behaviour". Water S.A. 2.4 p. 163-200 (1976).
- McCARTY, P. L. & McKINNEY, R. E., "Volatile Acid Toxicity in Anaerobic Digestion". Journal Water Pollution Control Federation. Vol. 33, p. 223. (1961).
- McCARTY, P. M. & McKINNEY, R. G., "Salt Toxicity in Anaerobic Treatment". Journal Water Pollution Control Federation. Vol. 33, p. 399. (1961).
- McCARTY, P. L. & BROSEAU, M. H., "Toxic Effectt of Individual Volatile Acids in Anaerobic Treatment". Proceedings 18th Purdue Industrial Waste Conference. Purdue University, Lafayette, Indiana 47907. (1963).
- McCARTY, P. L., "Anaerobic Waste Treatment Fundamentals Part III - Toxic Materials and their Control". Public. Works. Nov.. (1964).
- METCALF & EDDY, "Tratamiento, Evacuación y Reutilización de Aguas Residuales". Ingeniería Sanitaria 2° Edición. Editora Labor, S.A.. Barcelona (1985).
- MIGNONE, N. A., "Elimination of Anaerobic Digester Supernatant". Water and Sewagw Works. p.48. February (1977).
- MORGAN, P. F., "Studies of Accelerated Digestion of Sewage

- Sludge*". Sewage and Industrial Wastes. Vol. 26, p. 462. (1954).
- MOSEY, F. E., "Assessment of the Maximum Concentration of Heavy Metals in Crude Sludge Which will not Inhibit the Anaerobic Digestion of Sludge". Water Pollution Control (G.B.), 75,10. (1976).
- MYLROIE, R. L. & HUNGATE, R.E., "Experiments on Methane Bacteria in Sludge." Canadian Journal of Microbiology. Vol. 1, p. 55. (1954).
- O'ROURKE, J. T., "Kinetics of Anaerobic Treatment at Reduced Temperatures". PhD. Thesis, Stanford Univ., Palo Alto, California. (1968).
- RUDOLFS, W. & HENKALAKIAN, H., "Relation Between Drainability of Sludge and Degree of Digestion". Sewage Works Journal. Vol. 6, p. 1073. (1934).
- SAWYER, C.N. & ROY, H.V., "A Laboratory Evaluation of High-Rate Sludge Digestion". Sewage and Industrial Wastes. Vol. 27, p. 135/6. (1955).
- SCHWERFR, D. J., "The Effect of Temperature on Anaerobic Digestion". Unpublished Master's thesis. Marquette University, Milwaukee, Wisconsin 53233. June (1976).
- SOUZA, M. E. de, "Fatores que Influenciam a Digestão Anaeróbia". Revista DAE. São Paulo, 44(137) : 88-94. Junho (1984).
- STANDARD METODOS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 16 th Edition, Washington. (1985).

- TORPEY, W. N., "*High-Rate Digestion of Concentrated Primary and Activated Sludge*". Sewage and Industrial Wastes. Vol. 26 p. 479. (1954).
- TORPEY, W. N. & MELBINGER, N. R., "*Reduction of Digested Sludge Volume by Controlled Recirculation*". Journal Water Pollution. Vol. 39, p. 1464. (1967).
- U.S.EPA, "*Trace Metal Removal by Wastewater Treatment*". EPA Technology Transfer, Cincinnati, Ohio 45268. January (1977).
- U.S.EPA, "*Process Design Manual, Sludge Treatment and Disposal*". Res. Lab., Cincinnati, Ohio (1979).
- VAN HAANDEL, A.C. & CAVALCANTI CATUNDA, P.F. "*Determinação da Taxa de Consumo de Oxigênio em Sistemas de Tratamento de Esgoto*". Rev. Engenharia Sanitária V.21-4 p. 481-488 (1982).
- VIEIRA, S.M. & SOUZA, M.E. de, "*Métodos analíticos para o acompanhamento de biodigestores*". Trabalho apresentado no Encontro Técnico programado pela EMBRAPA, Coronel Pacheco - M.G. (maio de 1981).
- WATER POLLUTION CONTROL FEDERAL (WPCF), "*Sludge Stabilization*" Manual of Practice N°. FD - 9, Washington, D.C. (1985).