

COMPORTAMENTO DO MATERIAL SÓLIDO EM REATORES
ANAERÓBIOS PRIMÁRIOS TRATANDO ESGOTOS DOMÉS
TICOS

VALDERI DUARTE LEITE

COMPORTAMENTO DO MATERIAL SÓLIDO EM REATORES ANAERÓ
BIOS PRIMÁRIOS TRATANDO ESGOTOS DOMÉSTICOS

Dissertação apresentada ao Curso
de Mestrado em Engenharia Civil
da Universidade Federal da Paraíba,
em cumprimento às exigências
para obtenção do grau de Mestre

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO - RECURSOS HÍDRICOS

ORIENTADORES - PROF. SALOMÃO ANSELMO SILVA
PROF. RUI DE OLIVEIRA

L533c Leite, Valderi Duarte.
Comportamento do material sólido em reatores anaeróbios primários tratando esgotos domésticos / Valderi Duarte Leite. - Campina Grande, 1986.
96 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1986.

Referências.
"Orientação : Prof. Dr. Salomão Anselmo Silva, Prof. M.Sc. Rui de Oliveira".

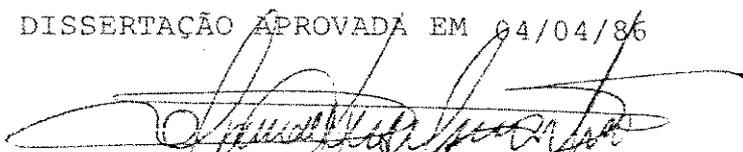
1. Lagoas Biológicas - Esgoto. 2. Tratamento de Esgoto. 3. Recursos Hídricos. 4. Dissertação - Engenharia Civil. I. Silva, Salomão Anselmo. II. Oliveira, Rui de. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 628.357(043)

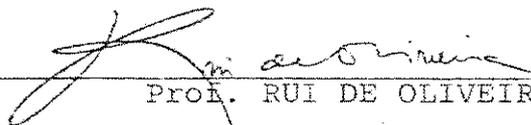
COMPORTAMENTO DO MATERIAL SÓLIDO EM
REATORES ANAERÓBIOS PRIMÁRIOS TRA
TANDO ESGOTOS DOMÉSTICOS.

VALDERI DUARTE LEITE

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 04/04/86



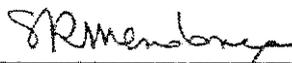
Prof. SALOMÃO ANSELMO SILVA-MSc PhD



Prof. RUI DE OLIVEIRA-MSc



Profª ANNEMARIE KÖNIG-PhD



Prof. SÉRGIO ROLIM MENDONÇA-MSc

OPRECIMENTO:

Aos meus filhos,

Alexandre e Marcus.

AGRADECIMENTOS

- Aos meus pais e a minha esposa, pela compreensão e o apoio que deram durante a realização deste trabalho;
- Ao Professor Salomão Anselmo Silva, pela atenção de dicada como orientador;
- Ao Professor Rui de Oliveira, pela dedicacão, incentivo e desempenho dados ao longo da orientacão deste trabalho;
- À Professora Annemarie Konig, pela disposicão cons tante em contribuir para a realizacão deste trabalho;
- A todos os colegas do curso que direta ou indiretamente prestaram suas contribuicões;
- A toda a equipe técnica da Estacão Experimental de tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários - EXTRA BES, pelo espírito de companheirismo e pela colabo ração prestada;
- Aos seguintes órgãos convenientes sem a ajuda dos quais este trabalho não poderia ter sido realizado:
 1. Universidade Federal da Paraíba - UFPb.
 2. Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba - CAGEPA;
 3. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste' SUDENE;
 4. Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP;
 5. Fundo de Incentivo à Pesquisa Técnico-Científico FIPEC - Banco do Brasil S/A;
 6. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

SUMÁRIO

Página

OPFERECIMENTO

AGRADECIMENTOS

FOLHA DE APROVAÇÃO

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS

RESUMO

ABSTRACT

INTRODUÇÃO	1
1. REVISÃO DE LITERATURA	3
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	21
4. DISCUSSÃO.....	88
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	95
Referências Bibliográficas.....	98

LISTA DE ABREVIATURAS

CRVL	=	Coeficiente de redução de volume de lodo
E	=	Eficiência de remoção de sólidos
ERMS	=	Eficiência de remoção de massa de sólidos
ERMSTV	=	Eficiência de remoção de massa de sólidos totais voláteis
ERMSS	=	Eficiência de remoção de massa de sólidos suspensos
ETS	=	Eficiência de transformação de sólidos
ETSTV	=	Eficiência de transformação de sólidos totais voláteis
MSA	=	Massa de sólidos afluente
MSAC	=	Massa de sólidos no lodo acumulado no reator
MSE	=	Massa de sólidos efluente
MST	=	Massa de sólidos transformadas
MSTV	=	Massa de sólidos totais voláteis
MSTVA	=	Massa de sólidos totais voláteis afluente
MSTT	=	Massa de sólidos totais transformadas
MSTVAC	=	Massa de sólidos totais voláteis acumulada
MSTVT	=	Massa de sólidos totais voláteis transformada
q	=	Contribuição per-capita de esgotos
Q	=	Vazão
ST	=	Sólidos totais
STV	=	Sólidos totais voláteis
STF	=	Sólidos totais fixos
SS	=	Sólidos suspensos
SSV	=	Sólidos suspensos voláteis
SF	=	Sólidos filtráveis
S.Sed.	=	Sólidos sedimentáveis
STA	=	Concentração de sólidos totais acumulados
STVA	=	Concentração de sólidos totais voláteis acumulados
STFA	=	Concentração de sólidos totais fixos acumulados
CSA	=	Concentração de sólidos afluente
SSF	=	Sólidos suspensos fixos
top	=	Tempo de operação
TTS	=	Taxa de transformação de sólidos
TTST	=	Taxa de transformação de sólidos totais

TTSTV = Taxa de transformação de sólidos totais voláteis
TALC = Taxa de acumulação per-capita de lodo
TU = Teor de umidade
V = Volume do reator
WL = Volume de lodo acumulado no reator
VLA = Volume de lodo afluente.

RESUMO

Este trabalho tem a finalidade de estudar qualitativamente e quantitativamente o comportamento do material sólido em lagoas de estabilização anaeróbias primárias tratando esgoto doméstico do sistema de esgotos da cidade de Campina Grande, Estado da Paraíba, região Nordeste do Brasil. São examinados vários aspectos importantes tais como a caracterização dos sólidos existentes no esgoto bruto afluente, a avaliação das eficiências de remoção de sólidos, a transformação e a acumulação de sólidos nos reatores. Foram definidas algumas expressões empíricas para estimar a eficiência de remoção da massa de sólidos totais voláteis, a concentração de sólidos totais voláteis no lodo acumulado assim como o volume de lodo acumulado nos reatores.

Os cinco reatores utilizados na obtenção dos dados, foram construídos em escala piloto, na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários - EXTRABES e operaram numa faixa de temperaturas médias de 25,25 a 26,67°C com períodos de detenção hidráulica médios entre 0,58 a 4,88 dias.

ABSTRACT

The aim of this work is to study the behavior of solid material in various primary anaerobic waste stabilization ponds treating raw sewage in the city of Campina Grande, North East Brazil. Various important aspects of the solid material were examined: characterization of solid material present in the raw sewage affluent, evaluation of the solid material removal efficiencies, the transformation and the accumulation of solids in the reactors. Some empiric equations were defined to estimate the efficiencies of total volatile solids mass, total volatile solids concentration in the accumulated sludge in the reactors.

Five pilot scale reactors built at EXTRABES, were used for data collecting. The average water temperature was between 25,25 and 26, 67°C and the mean hydraulic retention time varied from 0,58 to 4,88 days.

ÍNDICE

	Página
INTRODUÇÃO.....	1
1. Revisão de literatura.....	3
1.1. Introdução.....	3
1.2. Lagoas anaeróbias.....	4
1.2.1. Eficiência de lagoas anaeróbias.....	4
1.2.2. Projeto de lagoas anaeróbias.....	5
1.2.2.1. Critérios de carga.....	5
1.2.2.2. Critérios baseados no tempo de detenção hídrica.....	5
1.2.2.3. Critérios baseados na profundidade.....	5
1.3. Sólidos no esgoto.....	7
1.4. O lançamento de sólidos nos corpos receptores.....	8
2. Materiais e métodos.....	10
2.1. Descrição dos sistemas experimentais.....	10
2.2. Medição das temperaturas máxima e mínima.....	11
2.3. Coleta das amostras.....	11
2.3.1. Coleta das amostras durante o período de operação.....	11
2.3.2. Coleta das amostras de lodo.....	12
2.4. Procedimentos analíticos.....	13
2.4.1. Determinação de temperatura.....	13
2.4.1.1. Temperatura das amostras.....	13
2.4.1.2. Temperaturas máxima e mínima no interior de cada reator.....	13
2.4.2. Determinação de sólidos nas amostras de esgoto bruto e efluente dos reatores.....	13
2.4.3. Determinação do peso específico do lodo acumulado.....	14

	Página
2.4.4. Determinação do teor de umidade.....	14
2.4.5. Determinação da concentração de sólidos totais no lodo acumulado.....	14
3. Apresentação e análise dos resultados.....	21
3.1. Apresentação dos dados de sólidos do esgoto bruto.....	21
3.2. Cargas volumétricas de sólidos aplicadas aos reatores.....	25
3.3. Apresentação dos dados de sólidos nos efluentes dos reatores.....	26
3.4. Variação sazonal de sólidos.....	26
3.5. Avaliação das eficiências de remoção de sólidos nos reatores.....	34
3.6. Resultados referentes ao lodo acumulado no interior dos reatores.....	51
3.7. Transformação de sólidos nos reatores anaeróbios investigados.....	62
3.8. Taxa de acumulação de lodo.....	74
3.9. Coeficiente de redução de volume de lodo.....	74
3.10. Determinação de uma expressão para a estimativa do volume de lodo acumulado nos reatores..	77
3.11. Temperatura máxima, mínima e temperatura média no interior dos reatores.....	78
4. Discussão.....	88
5. Conclusões e recomendações.....	95
Referências bibliográficas.....	98

INTRODUÇÃO

Do ponto de vista de sua natureza o material sólido presente no esgoto pode ser classificado em material sólido orgânico e material sólido mineral. Independentemente de sua natureza os sólidos do esgoto podem apresentar-se constituindo solução ou suspensão dependendo, naturalmente, da magnitude das partículas envolvidas. Normalmente o esgoto doméstico apresenta cerca de 99,9% de água e 0,1% de material sólido e apesar dessa pequena percentagem é bastante difícil fazer a separação dos sólidos da fase líquida.

A maioria dos processos de tratamento de esgoto tem como objetivos principais a remoção de organismos vivos patogênicos e de material orgânico. Outros objetivos, podem ser incluídos pelas operações de tratamento tais como, remoção de micronutrientes, metais pesados e tóxicos de um modo geral. Objetivamente, no entanto, visa-se com tais operações de tratamento efetivar uma separação de fases - a separação dos sólidos da fase líquida.

Dentre os vários tipos de processos de tratamento de esgotos os processos biológicos e mais especialmente as lagoas de estabilização tem ultimamente adquirido grande conceito entre os projetistas devido a sua simplicidade de operação e manutenção associada à alta eficiência de remoção de organismos vivos e de material orgânico além de exigir baixos investimentos. O uso de lagoas de estabilização anaeróbias, por outro lado, vem se tornando cada vez mais adequado, em séries de lagoas, pelo fato de serem esses reatores bastante eficazes principalmente na remoção de material orgânico e além disso ocuparem uma pequena área.

Vários fenômenos ocorrem no interior de uma lagoa anaeróbia mas merece especial destaque a sedimentação do material sólido particulado e a degradação biológica anaeróbia do material orgânico. Um reator anaeróbio de tratamento de

esgoto doméstico é também um acumulador de lodo em processo contínuo de digestão e portanto torna-se importante caracterizar seu funcionamento através de análise das várias frações de sólidos que entram, saem, transformam-se ou se acumulam no seu interior. Portanto, o conhecimento real do material sólido afluente, efluente, acumulado e transformado por reatores anaeróbios primários se dá através da aplicação de um balanço preliminar de massa com base no conhecimento da concentração de sólidos presente no esgoto bruto, da vazão a que forem submetidos os reatores e do tempo de operação de cada reator.

Evidentemente não se pretende com este trabalho estabelecer um novo procedimento no projeto de lagoas anaeróbias tratando esgoto doméstico, mas, dar uma contribuição mesmo para o projeto desses reatores, através da definição de alguns índices e coeficientes representativos dos fenômenos que neles ocorrem, além de mostrar a influência de parâmetros operacionais sobre tais coeficientes.

Este trabalho tem a finalidade de estudar o comportamento do material sólido em reatores anaeróbios primários tratando esgoto doméstico. Tal comportamento é avaliado através de uma série de parâmetros que dizem respeito a remoção, transformação, acumulação e redução de volume de material sólido no interior dos reatores.

Além de estudar o comportamento dos reatores, o trabalho fornece subsídios para a caracterização do esgoto doméstico do sistema de esgotos de Campina Grande-Pb a partir de um levantamento de cinquenta e três meses de duração - junho de 1977 a dezembro de 1981.

O trabalho foi realizado com o uso de cinco reatores anaeróbios primários, projetados em escala piloto, construídos na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários - EXTRABES.

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. Introdução

Lagoas de Estabilização são reservatórios pouco profundos, normalmente escavados no solo e provido de taludes de terra cuja maior finalidade é o tratamento de águas residuárias por processo predominante biológico.

As lagoas de estabilização são aplicadas ao tratamento de um ou vários tipos de águas residuárias apresentando um grande número de vantagens entre as quais podem ser destacadas as seguintes: (Silva, & Mara, 1979).

- Baixo custo de instalação, operação e manutenção;
- O processo biológico ocorre razoavelmente bem em condições climáticas favoráveis;
- Suportam grandes variações de carga orgânica;
- Reduzem substancialmente a concentração de material orgânico e o número de organismos patogênicos de origem intestinal;
- Tratam uma grande variedade de águas servidas industriais e domésticas;
- Não exigem mão-de-obra especializada para sua operação e manutenção.

Existem três tipos principais de lagoas de estabilização:

- Lagoas Facultativas;
- Lagoas de Maturação;
- Lagoas Anaeróbias.

As Lagoas Facultativas são reatores biológicos que funcionam sob condições de aerobiose e anaerobiose e caracte

rizam-se pela ocorrência de três zonas distintas ao longo de sua profundidade. A zona superficial predominante aeróbia, a zona intermediária e a zona predominante anaeróbia situada próxima ao fundo do reator.

Lagoas de Maturação são lagoas que apresentam como função principal a destruição de organismos patogênicos, possuem baixa concentração de material orgânico e normalmente são utilizadas no tratamento de efluentes de lagoas facultativas.

1.2. Lagoas anaeróbias

Lagoas Anaeróbias apresentam condições de anaerobiose ao longo de toda a sua profundidade. Tais reatores conferem grau de tratamento primário ao esgoto e normalmente são utilizados em séries de lagoas, como unidade de pré-tratamento, já que podem sob condições favoráveis eliminar grande parte da DBO afluente contribuindo assim para a otimização do dimensionamento do sistema.

1.2.1. Eficiência de lagoas anaeróbias

Lagoas Anaeróbias adequadamente projetadas e operadas podem ser responsáveis por eficiências variáveis de remoção de DBO_5 . Mara (1976), citando dados operacionais de lagoas anaeróbias em Israel, África e Austrália, diz que para temperaturas maiores que $20^{\circ}C$ as eficiências médias de remoção de DBO_5 são de respectivamente 50, 60 e 70% para os tempos de detenção de 1, 2,5 e 5 dias embora admita que na prática os valores encontrados sejam maiores.

Na realidade a experiência adquirida na EXTRABES, demonstra que lagoas anaeróbias, em escala piloto, tratando esgoto doméstico do sistema de esgotos da cidade de Campina Grande-Pb, podem oferecer eficiências consideráveis, de remoção de DBO_5 . Estudos realizados a partir de 1977, mas em períodos distintos, revelaram eficiências de remoção de DBO_5 de 68%, 74%, 75%, 76% e 80%, respectivamente em lagoas anaeróbias.

róbias primárias com tempos de detenção hidráulica de 4,0, 6,8; 2,0; 0,8 e 1,9 dias para uma mesma faixa de temperatura (Silva, 1982). Além do mais, pela experiência adquirida na EXTRABES, parece que só o critério do período de detenção não é suficiente para determinar faixas de eficiências bem definidas.

1.2.2. Projeto de lagoas anaeróbias

O projeto de lagoas anaeróbias baseia-se comumente nos seguintes critérios:

1.2.2.1. Critérios de carga

- Carga Superficial de DBO_5 - 1000 a 6000 Kg $\text{DBO}_5/\text{ha} \cdot \text{d}$ (Mc Garry e Pescod, 1970) citado por Lumbers (1979).

- Carga Volumétrica de DBO_5 - 0,19 a 0,24 Kg $\text{DBO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ (Lumbers, 1979) 100 a 400 $\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ (Mara, 1976)

1.2.2.2. Critérios baseados no tempo de detenção hidráulica

$2 \leq t \leq 5\text{d}$ - Lumbers, 1979

$t = 5\text{d}$ - Mara, 1976

1.2.2.3. Critérios baseados na profundidade

$2 \leq h \leq 4\text{m}$ (Silva & Mara, 1979)

$3 \leq h \leq 5\text{m}$ (Lumbers, 1979)

Existem, no entanto, formulações empíricas, desenvolvidas a partir da prática, tais como a de Vincente et al (1963) citado por Lumbers (1979).

$$Le = \frac{Li}{Kn \left(\frac{Le}{Li}\right)^n \cdot R + 1} \quad 1.2.2.3.1$$

onde,

Le = DBO₅ efluente (mg/l)

Li = DBO₅ afluyente (mg/l)

Kn = Coeficiente

n = Constante

R = Tempo de detenção hidráulica (d)

Os valores de Kn e n dependem da temperatura e na Zâmbia foram determinados os valores de Kn = 6,0 e n = 4,8, para uma lagoa com temperatura média de 20°C (Lumbers, 1979).

Dos critérios apresentados geralmente são mais aceitos aqueles que se baseiam na carga volumétrica de DBO₅, assegurada, no entanto, a manutenção de uma profundidade adequada à condição de anaerobiose. (Lumbers, 1979).

Um outro aspecto bastante importante no uso de lagoas anaeróbias refere-se à acumulação de lodo e por conseguinte à frequência de limpeza. Lumbers, (1979) numa ampla revisão de literatura do assunto diz que a acumulação de lodo numa lagoa depende do tipo de lagoa, e do conteúdo de areia no esgoto bruto.

A acumulação líquida de lodo per-capita diminui com o tempo devido aos efeitos da compactação e da continuada digestão anaeróbia da camada. Valores típicos de taxas de acumulação na Índia variam de 0,08 a 0,3 m³/hab.ano (Arceivala, et al (1970). Mara (1976) referindo-se a trabalhos feitos em Zâmbia dá os valores entre 0,03 e 0,04 m³/hab. ano e sugere o extremo superior como adequado para o projeto de lagoas anaeróbias. A frequência de limpeza varia, normalmente, entre 5 e 12 anos dependendo do clima e da profundidade útil mínima desejada no final da operação. Mara (1976) sugere

re que o lodo deverá ser removido quando o depósito atingir metade do volume da lagoa anaeróbia e dá a seguinte expressão para estimar a frequência de limpeza:

$$n = \frac{1}{2} \frac{V}{TAL} \times P, \quad \text{onde} \quad 1.2.2.3.2$$

n = frequência de limpeza (ano)

V = volume da lagoa (m^3)

TAL = taxa de acumulação de lodo ($m^3/\text{hab.ano}$)

P = população atendida pelo reator (hab)

1.3. Sólidos no esgoto

As águas residuárias, especialmente esgotos domésticos possuem elevadas concentrações de sólidos. Estes sólidos são originados dos dejetos humanos e da água de abastecimento, e são constituídos por material mineral e orgânico.

Analiticamente, o conteúdo total de sólidos de uma água residuária se define como toda a matéria remanescente depois da evaporação e secagem a 103°C durante uma hora.

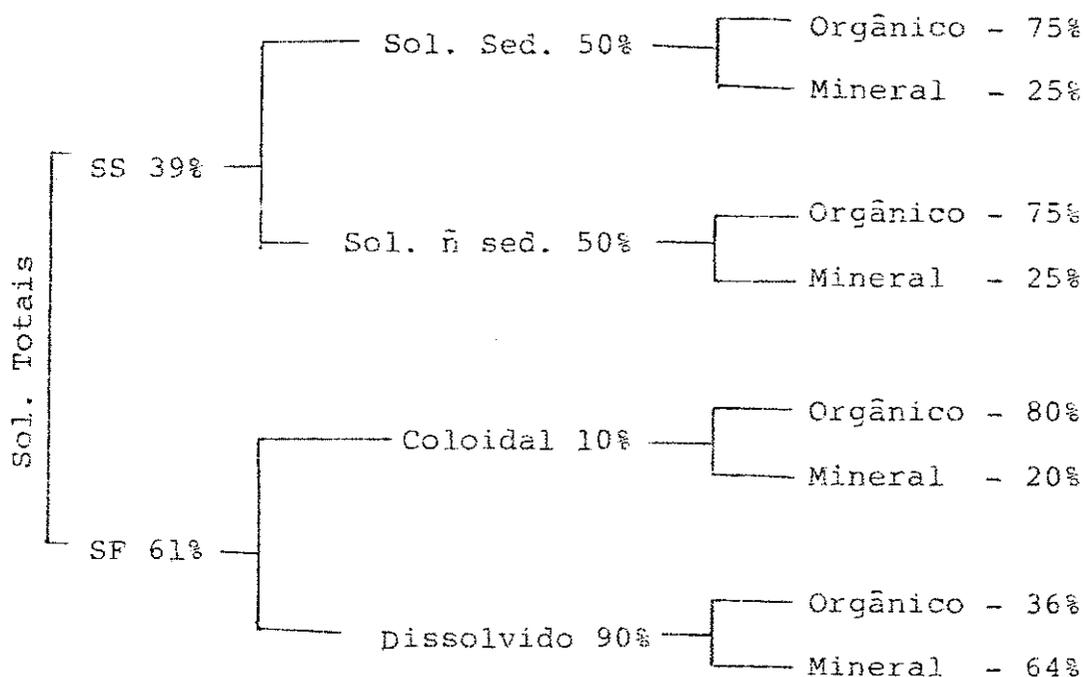
Sólidos em suspensão, por sua vez, referem-se ao resíduo não filtrável total retido, num filtro padrão de fibra de vidro, após filtração de uma amostra bem misturada com secagem posterior a $103 - 105^{\circ}\text{C}$ (Standard Methods, 1980). Os sólidos suspensos compreendem partículas, de naturezas orgânica e inorgânica, com tamanho entre $1,0$ e $100,0\mu\text{m}$ (Metcalf & Eddy, 1981). Das partículas suspensas são consideradas sedimentáveis aquelas com diâmetro igual ou superior a $10,0\mu\text{m}$.

Os sólidos dissolvidos, que somados aos suspensos devem resultar nos sólidos totais, compreendem partículas dissolvidas e colóides e de um modo geral compreendem todas as partículas sólidas com tamanho menor que $1,0\mu\text{m}$ (Metcalf & Eddy, 1981). A determinação dos sólidos dissolvidos da-se normalmente pela diferença entre sólidos totais e sólidos suspensos (Standard Methods, 1980)

Tanto os sólidos totais como os sólidos suspensos e

os sólidos dissolvidos são compostos por uma parte volátil e outra fixa. A definição dessas frações dá-se pela ignição a $550 \pm 50^{\circ}\text{C}$ do recipiente que contém o resíduo total.

A classificação dos sólidos presentes em uma água residual doméstica de intensidade média é dada por:



Fonte: Metcalf-Eddy - Tratamiento e Dupuraci3n de las guas Residuales, Barcelona - 1981

1.4. O lançamento de s3lidos nos corpos receptores

O lançamento de águas residuárias em corpos receptores está condicionado na maioria das vezes ao tratamento prévio destas guas. Quanto ao lançamento de s3lidos sedimentáveis em corpos receptores estes não devem ultrapassar 0.50 ml/l (Mijares, 1967). Os s3lidos suspensos são ofensivos aos corpos receptores por muitas raz3es. Quando os s3lidos suspensos contm elevadas concentra33es de matéria orgânica, ocorre a putrefa33o nos corpos receptores, tornando-os desprovidos de oxignio dissolvido. A matéria orgânica e mine

ral em estado de suspensão, produz lodo, criando uma camada no fundo do corpo receptor, prejudicando a vida animal e assoreando os rios. Os sólidos dissolvidos nos rios, dependem em parte das características geológicas e em parte da quantidade da poluição local.

Em caso de efluente tratado, para lançamento em corpos receptores, é aceitável o correspondente a 40 a 60mgSS/l dependendo da natureza da água original. (Mijares, 1967).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Descrição dos sistemas experimentais

Para a realização deste trabalho foram utilizados os dados operacionais de cinco (5) reatores anaeróbios primários, em escala piloto, construídos na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários - EXTRABES, os quais recebem neste trabalho as denominações de A, B, C, D e E. Todos os reatores experimentados foram construídos de alvenaria de tijolos com paredes verticais e piso nivelado, inteiramente revestidos com argamassa de cimento e areia para garantir sua estanqueidade.

Os dados referentes às dimensões desses reatores encontram-se resumidos no quadro 2.1.1. Os reatores em questão, são lagoas anaeróbias, e foram alimentados com esgoto bruto doméstico do sistema de esgotos da cidade de Campina Grande-PB, cujas características são apresentadas no quadro 2.1.2.

O esquema de alimentação consistiu basicamente no seguinte:

- O esgoto veiculado pelo interceptor da Depuradora, nas dependências da EXTRABES, tinha acesso a um poço úmido situado ao lado de um dos poços de visita do interceptor;

- uma bomba centrífuga de eixo vertical de 1 HP e 1750 rpm, LENZ, SÃO PAULO, modelo T - 214-6, bombeava o esgoto bruto do poço úmido para um tanque de nível constante situado no interior da casa de bombas;

- bombas dosadoras peristálticas (WATSON MARLOW, FALMOUTH, Inglaterra, modelo HRSV) eram utilizadas para alimentar os reatores com as vazões de operação pré-definidas no programa de pesquisas da EXTRABES.

O quadro 2.1.3 resume os dados referentes aos períodos de experimentação, às vazões de operação e aos tempos de detenção hidráulica dos reatores.

2.2. Medição das temperaturas máxima e mínima

Com a finalidade de caracterizar as faixas de temperatura nas quais os reatores foram operados era levada a efeito, diariamente, a determinação das temperaturas máxima e mínima no interior dos reatores. As leituras das temperaturas eram feitas com frequência diária sempre às 9 horas da manhã.

2.3. Coleta de amostras

2.3.1. Coleta de amostras durante o período de operação

As amostras do esgoto bruto afluente e dos efluentes dos diversos reatores eram coletadas às oito horas da manhã uma vez por semana, e imediatamente analisadas para a determinação de todos os parâmetros de controle de qualidade de funcionamento dos reatores. Neste trabalho, no entanto, interessa particularmente os dados relacionados às concentrações de sólidos e temperatura, os quais são discriminados abaixo:

- Sólidos totais - ST - (mg/l);
- sólidos totais voláteis - STV - (mg/l);
- sólidos totais fixos - STF - (mg/l);
- sólidos suspensos - SS - (mg/l);
- sólidos suspensos fixos - SSF - (mg/l);
- sólidos suspensos voláteis - SSV - (mg/l);
- sólidos filtráveis - SF - (mg/l);

- sólidos sedimentáveis - SSed - (ml/l);
- temperatura - T - ($^{\circ}$ C).

2.3.2. Coleta das amostras de lodo

Ao fim da operação dos reatores e após o esgotamento do líquido sobrenadante dos mesmos foi iniciada a operação de identificação da qualidade e da quantidade do lodo depositado em cada reator. Com o intuito de medir o volume de lodo acumulado, os reatores tiveram suas áreas superficiais divididas por seções transversais equidistantes e em número suficiente para garantir uma boa qualidade na medida. No reator A e B as seções foram definidas a cada 2,50 m enquanto que nos reatores C e D as distâncias entre uma seção e outra foram de 1,50 m. O reator E, devido as suas pequenas dimensões teve sua área superficial seccionada por apenas uma seção. O trabalho de seccionamento foi levado a efeito com o auxílio de fios de nylon esticados ao longo da largura dos reatores.

Nos reatores A e B foram feitas três leituras de lâminas de lodo por seção sendo que uma delas foi feita no centro e as outras duas nas extremidades das seções, enquanto que nos reatores C, D e E as leituras de lâminas de lodo foram realizados no centro de cada seção.

As leituras das lâminas de lodo foram utilizadas para o cálculo dos volumes de lodo acumulados, o qual se deu com o uso da técnica de cubação.

Nos pontos correspondentes às leituras de lâminas foram feitas também coletas de amostras de lodo. As amostras coletadas em cada seção eram então misturadas, proporcionalmente às lâminas, homogeneizadas e analisadas para as determinações de:

- concentração de sólidos totais acumulados - STA- (mg/l);
- concentração de sólidos totais voláteis acumulados

- STVA - (mg/l);
- concentração de sólidos totais fixos acumulados -
STFA - (mg/l);
- peso específico - γ - (g/l);
- teor de umidade - TU - (%).

2.4. Procedimentos analíticos

Todas as determinações analíticas levadas a efeito na fase de coleta de dados deste trabalho foram de natureza física e os procedimentos utilizados são descritos a seguir.

2.4.1. Determinação de temperatura

2.4.1.1. Temperatura das amostras - Determinada de acordo com as recomendações do Standard Methods (1975).

2.4.1.2. Temperaturas máxima e mínima no interior de cada reator - Determinadas com o auxílio de TERMÔMETROS DE MÁXIMA E MÍNIMA, providos de filamento de mercúrio, marca ARBA, imersos a meia profundidade dos reatores.

2.4.2. Determinação de sólidos nas amostras de esgoto bruto e efluentes dos reatores

As concentrações de ST, STV, STF, SS, SSV, SSF, SF e SSed, das amostras de esgoto bruto afluente e efluentes dos reatores foram determinadas de acordo com os procedimentos do Standard Methods (1975).

2.4.3. Determinação do peso específico do lodo acumulado

Os procedimentos analíticos utilizados na determinação do peso específico do lodo acumulado, basearam-se nas recomendações do Standard Methods, e seguiram os seguintes passos:

- Pesar uma proveta de 100 ml e anotar o peso;
- pesar a proveta com 100 ml de lodo e anotar o peso;

O peso específico foi calculado pela seguinte expressão:

$$\gamma \text{ (g/l)} = (\text{Peso da proveta c/lodo} - \text{peso da proveta vazia}) \times 10 \quad 2.4.3$$

2.4.4. Determinação do teor de umidade

O teor de umidade do lodo acumulado no interior dos reatores, teve sua determinação baseada no Standard Methods, (1975). O teor de umidade foi calculado pela expressão:

$$\text{TU (\%)} = \frac{Y - ST}{\gamma} \times 100 \quad 2.4.4.1$$

onde:

TU = teor de umidade (%)

γ = peso específico (g/l)

ST = concentração de sólidos totais acumulados (mg/l).

2.4.5. Determinação da concentração de sólidos totais no lodo acumulado

Esta determinação foi baseada nas recomendações do

Standard Methods de acordo com o seguinte roteiro:

- Pesar uma cápsula previamente ignizada e anotar o peso (X);
- colocar 100 ml da amostra de lodo na cápsula e colocá-la em banho-maria para evaporar a água;
- levar a cápsula para a estufa por toda uma noite a 103°C;
- esfriar;
- pesar (Y);
- levar a cápsula a ignição por 1 hora a 550 ± 50°C;
- esfriar;
- pesar (Z).

A concentração de sólidos totais é obtida com o uso da expressão:

$$ST = (Y - X) 10 \quad 2.4.5.1$$

A concentração de sólidos totais voláteis é dada por:

$$STV = (Y - Z) 10 \quad 2.4.5.2$$

A concentração de sólidos totais fixos é obtida pela diferença entre as concentrações de sólidos totais e os sólidos totais voláteis:

$$STF = (ST - STV) \quad 2.4.5.3$$

2.4.6. Caracterização dos reatores

Reator A - o reator A descrito neste trabalho refere-se a Lagoa A₁ da série de lagoas construídas na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários - EX TRABES. Neste trabalho, este reator foi operacionalizado em dois períodos distintos, conforme mostra o quadro 2.1.3. Do primeiro para o segundo período não houve a determinação do

volume de lodo acumulado no reator, somente no final do segundo período, após o reator ter saído de operação foi que determinou-se o volume de lodo acumulado no interior do reator.

Reator B - refere-se a Lagoa A₇ que funcionou de janeiro de 1981 a dezembro de 1981 na EXTRABES e submetidos aos parâmetros operacionais descrito no quadro 2.1.3.

Reator C - compreende a Lagoa A₂ que funcionou no período de junho de 1977 a março de 1979 na EXTRABES. Os parâmetros operacionais deste reator são mostrados no quadro 2.1.3.

Reator D - refere-se a Lagoa A₄ que funcionou no período de junho de 1977 a março de 1979 na EXTRABES. Os dados operacionais deste reator são mostrados no quadro 2.1.3.

Reator E - este reator compreende a primeira câmara do Tanque Séptico operacionalizado no período de junho de 1978 a setembro de 1979. Conforme mostra o quadro 2.1.3, tal reator foi submetido a dois períodos distintos de operação, sendo que o volume de lodo acumulado no interior do reator foi determinado após o final do segundo período de operação. O reator E foi investigado na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários - EXTRABES.

Os detalhes dos reatores, assim como os diagramas das instalações da antiga Estação de Tratamento de Esgotos e as instalações Experimentais existentes hoje na EXTRABES, são apresentados no anexo 01.

Quadro 2.1.1. Características geométricas dos reatores analisados

Reator	Comprimento (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
A	10,0	3,35	1,25	34,0	42,0
B	10,0	3,35	1,25	34,0	42,0
C	9,80	1,25	1,75	12,0	21,0
D	14,90	1,27	1,75	19,0	33,0
E	1,68	0,79	1,74	1,32	2,31

Quadro 2.1.2. Caracterização do esgoto bruto de Campina Grande-PB. Observações feitas entre 06/1977 e 12/1981.

Parâmetro	Unidade	Média e faixa de variação (mínimo e máximo)
DBO ₅	mg/l	249 (105-358)
DQO	mg/l	592 (399-827)
Amônia	mg/l	43,9 (29,2-54,5)
Nitrato	mg/l	0,29 (0,02-1,65)
Coliformes fecais	CF/100 ml	4×10^7 (2×10^6 - $8,4 \times 10^7$)
Estreptococos fecais	EF/100 ml	$6,8 \times 10^6$ ($2,6 \times 10^6$ - $12,4 \times 10^6$)
Sulfeto	mg/l	4,05 (2,58-5,77)
Sólidos totais	mg/l	1232 (1105-1430)
Sólidos totais fixos	mg/l	742 (508-866)
Sólidos totais voláteis	mg/l	490 (347-598)

Fonte: EXTRABES

Quadro 2.1.2. Caracterização do esgoto bruto de Campina Grande-PB- Observações feitas entre 06/1977 e 12/1981.

Parâmetros	Unidade	Média e faixa de variação (mínimo e máximo)
Sólidos suspensos	mg/l	395 (190-469)
Sólidos suspensos fixos	mg/l	70 (45-110)
Sólidos suspensos voláteis	mg/l	325 (240-290)
Sólidos filtráveis	mg/l	837 (716-1016)
Sólidos sedimentáveis	ml/l	8 (4-12)
Temperatura	°C	26,5 (24,2-28,10)
pH	Unidades	7,66 (7,35-8,06)
Cloreto	mg/l	344 (220-427)
Alcalinidade total	mg/l	332 (270-381)
Condutividade	µmho/cm	1650 (1394-1838)

Quadro 2.1.3. Parâmetros operacionais dos reatores

Reator	Período	Início - Término	Vazão (Q) (m ³ /d)	Tempo de de tenção de dráulica. h _i (d)	Tempo de operação (top) (d)
A	I	03/77 - 05/79	6,16	6,8	810,0
	II	06/79 - 11/80	21,24	2,0	540,0
B	-	01/81 - 12/81	10,56	4,0	365,0
C	-	06/77 - 03/79	26,78	0,78	660,0
D	-	06/77 - 03/79	17,80	1,90	660,0
E	I	06/78 - 05/79	4,80	0,48	356,0
	II	06/79 - 09/79	2,40	0,96	103,0

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1. Apresentação dos dados de sólidos do esgoto bruto

O monitoramento dos reatores analisados neste trabalho, deu-se ao longo de tres períodos:

Período I - junho de 1977 a maio de 1979;

Período II - junho de 1979 a novembro de 1980;

Período III - janeiro de 1981 a dezembro de 1981.

Os dados de sólidos referentes ao esgoto bruto afluente, encontram-se dispostos no quadro 3.1.1 e representam as concentrações médias dos sólidos totais e suas frações fixa e volátil, além das de sólidos filtráveis calculadas tomando-se os resultados obtidos durante todo o período estudado. As concentrações médias apresentadas no quadro 3.1.2 foram determinadas com base na média aritmética de todos os resultados obtidos em cada período considerado. Quando se considera todo o período, isto é, de junho de 1977 a dezembro de 1981, a concentração média dos sólidos totais é igual a 1232 mg/l, dos quais 60% correspondem à fração fixa e 40% à fração volátil.

Os sólidos suspensos apresentam uma concentração média de 395 mg/l dos quais 18% correspondem à fração fixa e 82% à fração volátil.

Os sólidos sedimentáveis apresentam uma concentração média de 8 ml/l.

O quadro 3.1.3 apresenta a composição percentual dos sólidos do esgoto bruto de Campina Grande, analisado ano a ano de 1978 a 1981.

Em média, os sólidos totais do esgoto bruto apresentam 60% de sólidos fixos e 40% de sólidos voláteis. Os sólidos

Quadro 3.1.1. Concentrações médias de sólidos e suas respectivas frações no esgoto bruto afluente, no período de junho de 1977 à dezembro de 1981.

Sólidos totais 103°C (mg/l)	Sólidos totais 550°C (mg/l)		Sólidos suspensos (mg/l)	Sólidos suspensos (mg/l)		Sólidos filtráveis (mg/l)	Sólidos sedimentáveis (ml/l)
	Fixos	Voláteis		Fixos	Voláteis		
1232	742	490	395	70	325	837	8

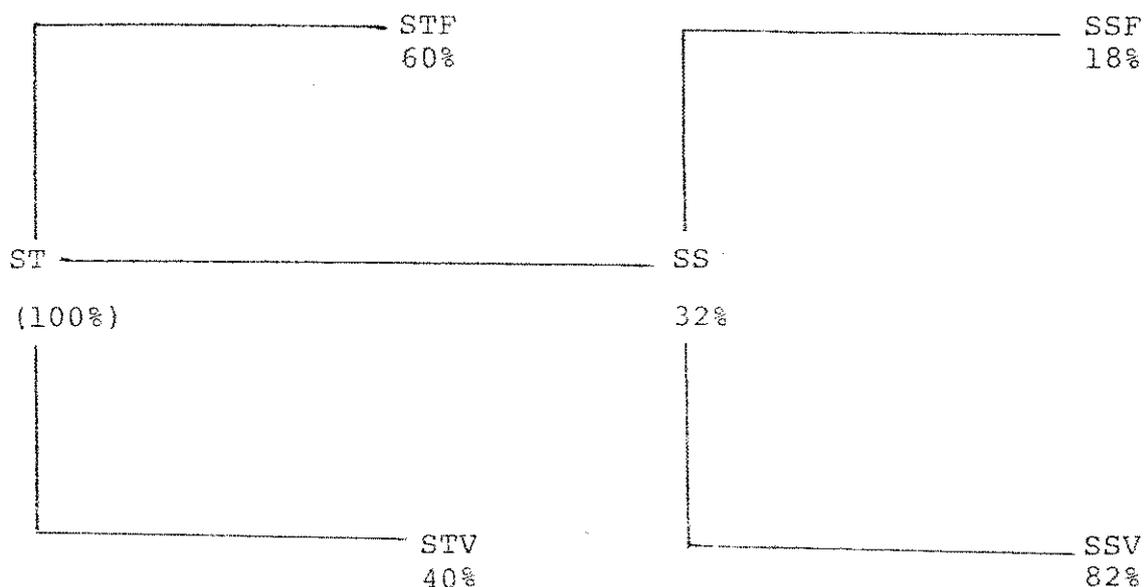
Quadro 3.1.2. Concentrações médias e faixas de variações (mínimo e máximo) de sólidos no esgoto bruto afluente nos tres distintos períodos da pesquisa.

Período	Sólidos totais 103°C (mg/l)	Sólidos totais fixos (mg/l)	Sólidos totais voláteis (mg/l)	Sólidos suspensos (mg/l)	Sólidos suspensos fixos (mg/l)	Sólidos suspensos voláteis (mg/l)	Sólidos filtráveis (mg/l)	Sólidos sedimentáveis (ml/l)
06/77 a 05/79	1195 (967-1310)	739 (583-820)	456 (336-546)	377 (190-460)	70 (45-88)	307 (240-375)	818 (716-948)	7 (4-10)
06/79 a 11/80	1328 (1198-1453)	815 (758-850)	513 (410-550)	391 (319-451)	65 (58-72)	326 (281-390)	937 (810-1002)	9 (7-11)
01/81 a 12/81	1174 (1077-1318)	674 (603-873)	500 (445-558)	418 (324-474)	75 (55-119)	343 (270-393)	756 (676-993)	9 (6-12)

Quadro 3.1.3. Composição percentual de sólidos no esgoto bruto de Campina Grande - Pb no período de 1978 à 1981.

Parâmetros Ano	Sólidos totais		SS	SS		Sólidos Filtráveis.	Sólidos Sedimentáveis.
	Fixos	Voláteis		Fixos	Voláteis		
1978	62	38	31	19	81	69	0,57
1979	58	42	28	19	81	72	0,62
1980	60	40	32	17	83	68	0,69
1981	58	42	36	18	82	64	0,75
Média	60	40	32	18	82	68	0,65

totais. Os sólidos suspensos ainda são compostos por 18% de sólidos fixos e 82% de sólidos voláteis. Os elementos que constituem o quadro 3.1.3 foram utilizados para compor a figura 3.1.1.



ST = sólidos totais
 STV = sólidos totais voláteis
 STF = sólidos totais fixos
 SS = sólidos suspensos
 SSV = sólidos suspensos voláteis
 SSF = sólidos suspensos fixos.

Figura 3.1.1 - Composição percentual média de sólidos do esgoto bruto de Campina Grande - PB no período 1978 a 1981.

3.2. Cargas volumétricas de sólidos aplicadas aos reatores ?

Os dados das concentrações médias de sólidos, em cada período considerado e os volumes dos reatores, foram utilizados para o cálculo das cargas volumétricas de sólidos, apli

casas aos reatores, cujos valores encontram-se dispostos no quadro 3.2.1. As cargas volumétricas de sólidos totais (λVST), sólidos totais voláteis ($\lambda VSTV$) e sólidos totais fixos ($\lambda VSTF$), variam respectivamente entre os valores mínimos de 0,295 kg ST/m³.d., 0,134 kg STV/m³.d., e 0,183 kg STF/m³.d no reator B, e os valores máximos de 2,250 kg ST/m³.d, 0,864 kg STV/m³.d e 1,390 kg STF/m³.d no reator E.

As cargas volumétricas de sólidos suspensos (λVSS), sólidos suspensos voláteis ($\lambda VSSV$) e sólidos suspensos fixos ($\lambda VSSF$), variaram respectivamente entre os valores mínimos de 0,094 kg SS/m³.d., 0,076 kg SSV/m³.d. e 0,0176 kg SSF/m³.d. no reator D e os valores máximos de 0,597 kg SS/m³.d., 0,488 kg SSV/m³.d. e 0,112 kg SSF/m³.d. no reator E.

3.3. Apresentação dos dados de sólidos nos efluentes dos reatores.

As concentrações médias de sólidos dos efluentes dos reatores analisados são apresentadas no quadro 3.3.1. Esses dados foram obtidos com o cálculo das médias aritméticas dos dados coletados ao longo dos períodos discriminados no referido quadro.

3.4. Variação sazonal de sólidos

As figuras 3.4.1 a 3.4.5 ilustram as variações médias mensais das concentrações de sólidos totais e sólidos suspensos que ocorreram no esgoto bruto afluente e nos efluentes dos reatores, nos períodos considerados. Pelo exame das figuras verifica-se que no geral houve uma tendência das concentrações de sólidos totais efluentes acompanharem as alterações das concentrações de sólidos totais no esgoto bruto afluente. Tal tendência não se registra para os sólidos

Quadro 3.2.1. Cargas volumétricas de sólidos aplicadas aos reatores.

Reator \ Parâmetro	λ_{vst} (Kg/m ³ .d)	λ_{vstv} (Kg/m ³ .d)	λ_{vstf} (Kg/m ³ .d)	λ_{vss} (Kg/m ³ .d)	λ_{vssv} (Kg/m ³ .d)	λ_{vssf} (Kg/m ³ .d)
A	0,375	0,148	0,229	0,0981	0,081	0,0168
B	0,295	0,125	0,169	0,105	0,086	0,0194
C	1,530	0,618	0,939	0,223	0,181	0,041
D	0,658	0,261	0,397	0,094	0,076	0,0176
E	2,25	0,864	1,23	0,597	0,488	0,112

2

Quadro 3.3.1. Concentrações médias e faixa de variação (mínima e máxima) de sólidos nos efluentes dos reatores nos distintos períodos da pesquisa.

Reator	Período	ST (mg/l)	SIF (mg/l)	STV (mg/l)	SS (mg/l)	SSF (mg/l)	SSV (mg/l)	SF (mg/l)	SSed. (ml/l)
A	06/77 a	908	718	190	50	8	42	858	0,28
	05/79	(762-938)	(535-783)	(78-275)	(31-100)	(3-11)	(27-51)	(730-901)	(0-1)
	06/79 a	898	728	170	54	6	48	844	0,24
	11/80	(880-1000)	(710-770)	(135-248)	(34-67)	(3-11)	(36-54)	(830-978)	(0,1-0,5)
B	01/81 a	791	613	178	57	9	48	734	0,13
	12/81	(660-1050)	(538-808)	(153-343)	(43-97)	(2-43)	(39-54)	(628-990)	(0-0,5)
C	06/77 a	856	657	199	74	14	60	782	0,57
	03/79	(762-955)	(547-718)	(100-272)	(57-117)	(10-18)	(45-69)	(697-869)	(0,1-0,8)
D	06/77 a	836	647	189	47	6	41	789	0,30
	03/79	(710-947)	(531-702)	(73-320)	(26-50)	(3-8)	(32-46)	(683-894)	(0-1)
E	06/78 a	890 (860-1015)	685 (652-820)	205 (190-286)	80 (58-101)	18 (12-38)	62 (46-86)	810 (779-934)	0,50 (0,3-1)
	05/79								
	06/77 a	968	721	247	86	20	66	882	0,70
	09/79	(940-990)	(710-820)	(193-250)	(80-102)	(18-22)	(58-72)	(838-900)	(0,3-0,8)

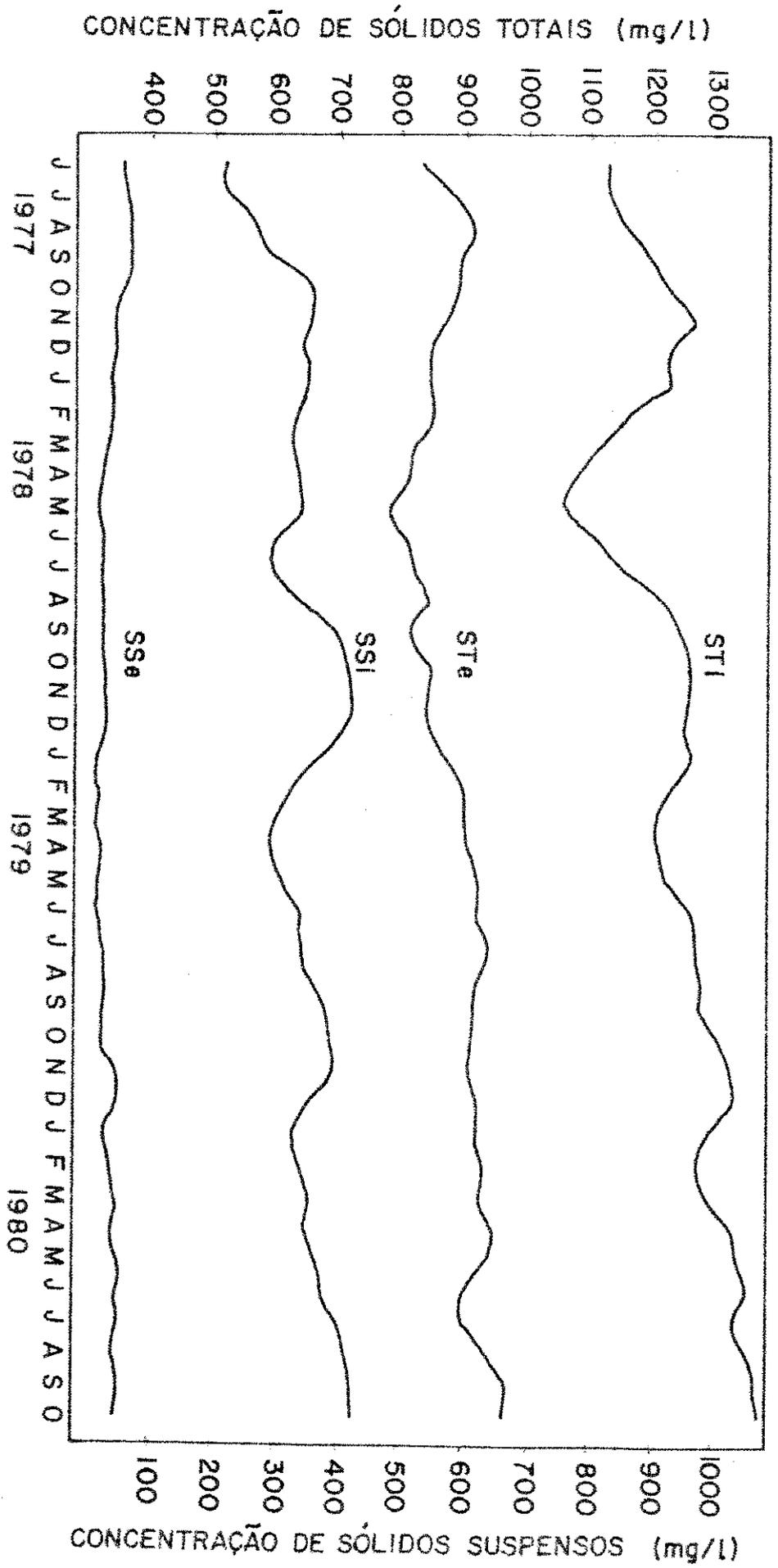


Fig - 3.4.1 - VARIACÃO SAZONAL DE SÓLIDOS TOTAIS E SUSPENSOS AFLUENTES E EFLUENTES NO REATOR A

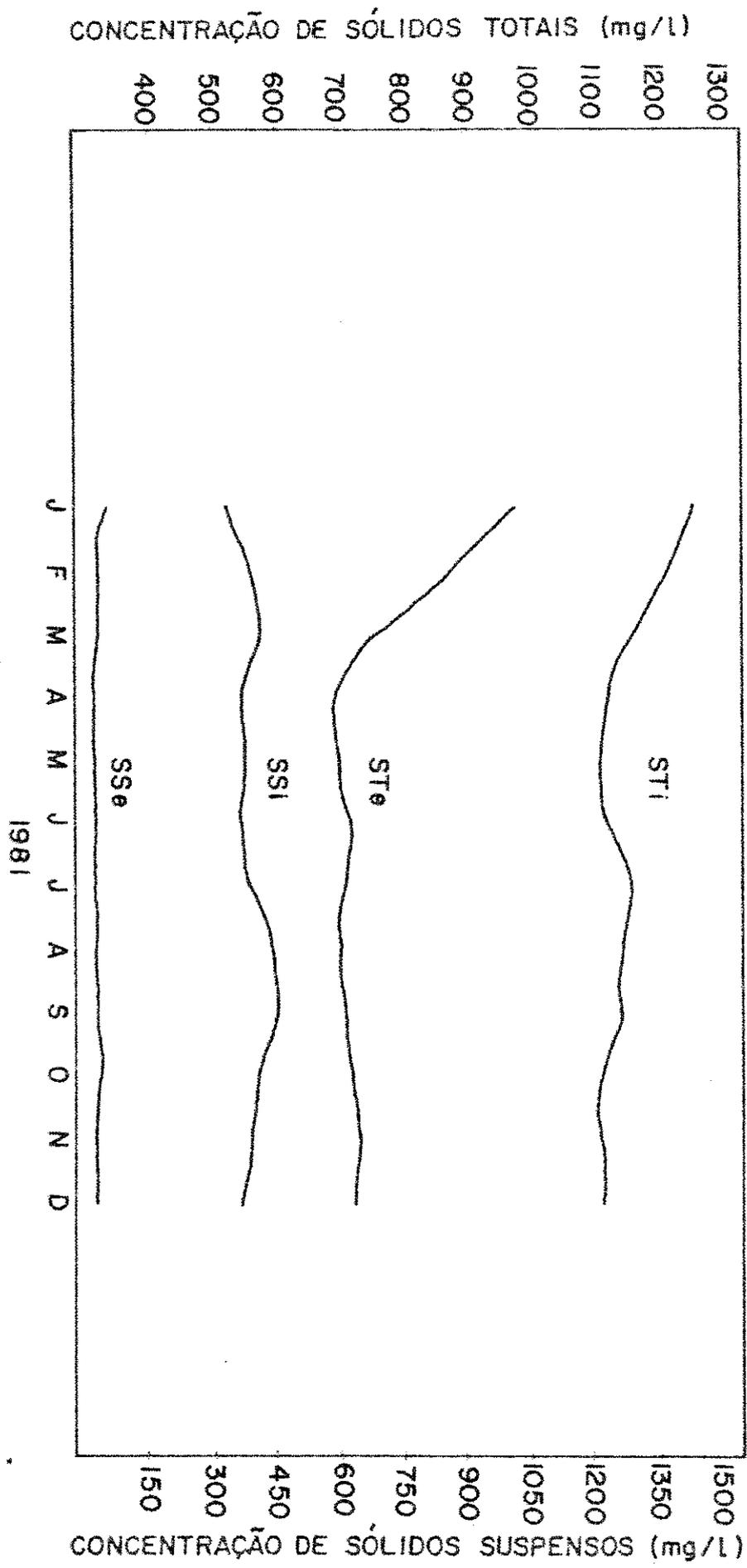


Fig - 3.4.2 - VARIAÇÃO SAZONAL DE SÓLIDOS TOTAIS E SUSPENSOS AFLUENTES E EFLUENTES NO REATOR B.

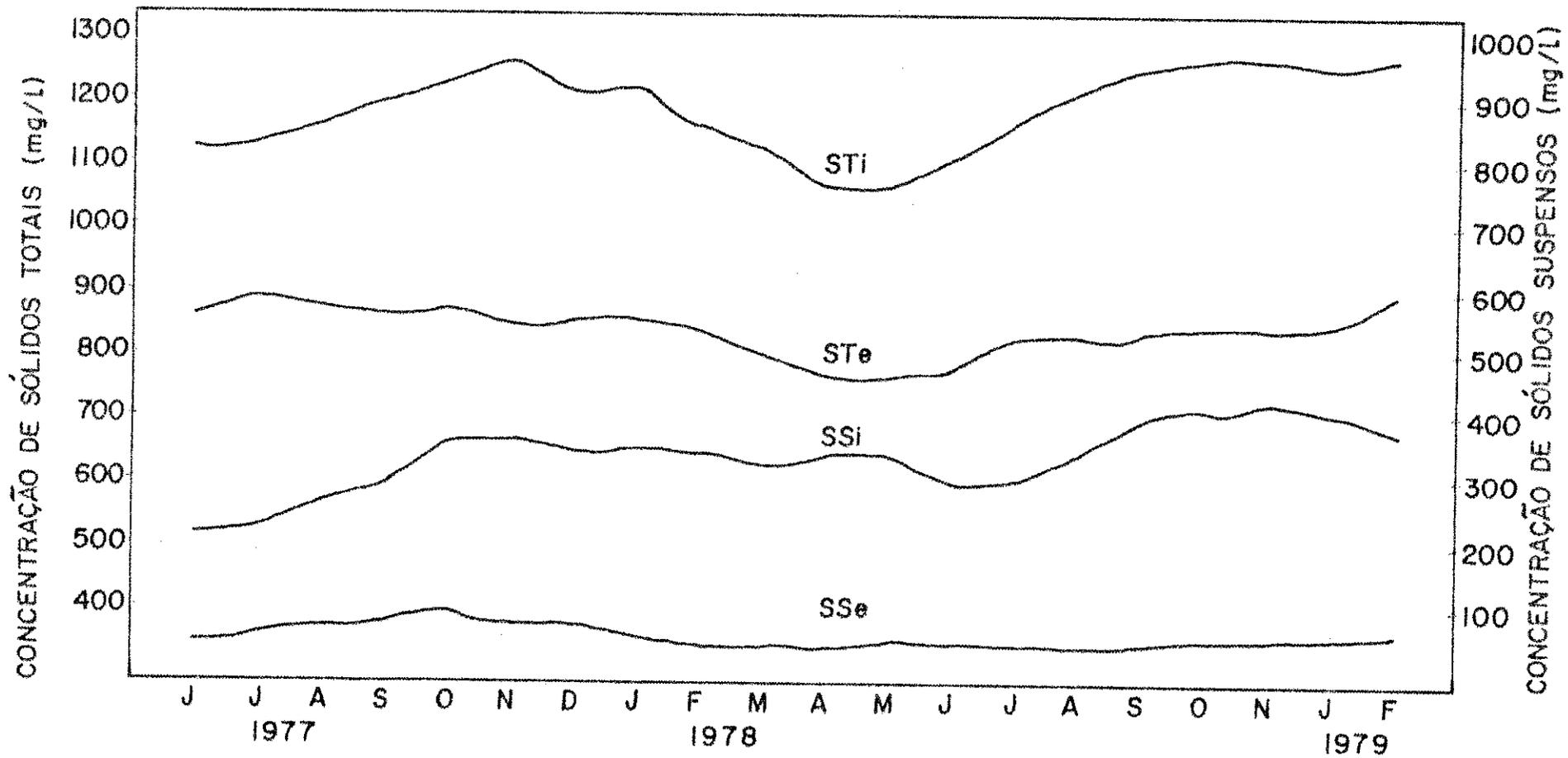


Fig - 3.4.3 - VARIAÇÃO SAZONAL DE SÓLIDOS TOTAIS E SUSPENSOS AFLUENTES E EFLUENTES NO REATOR C.

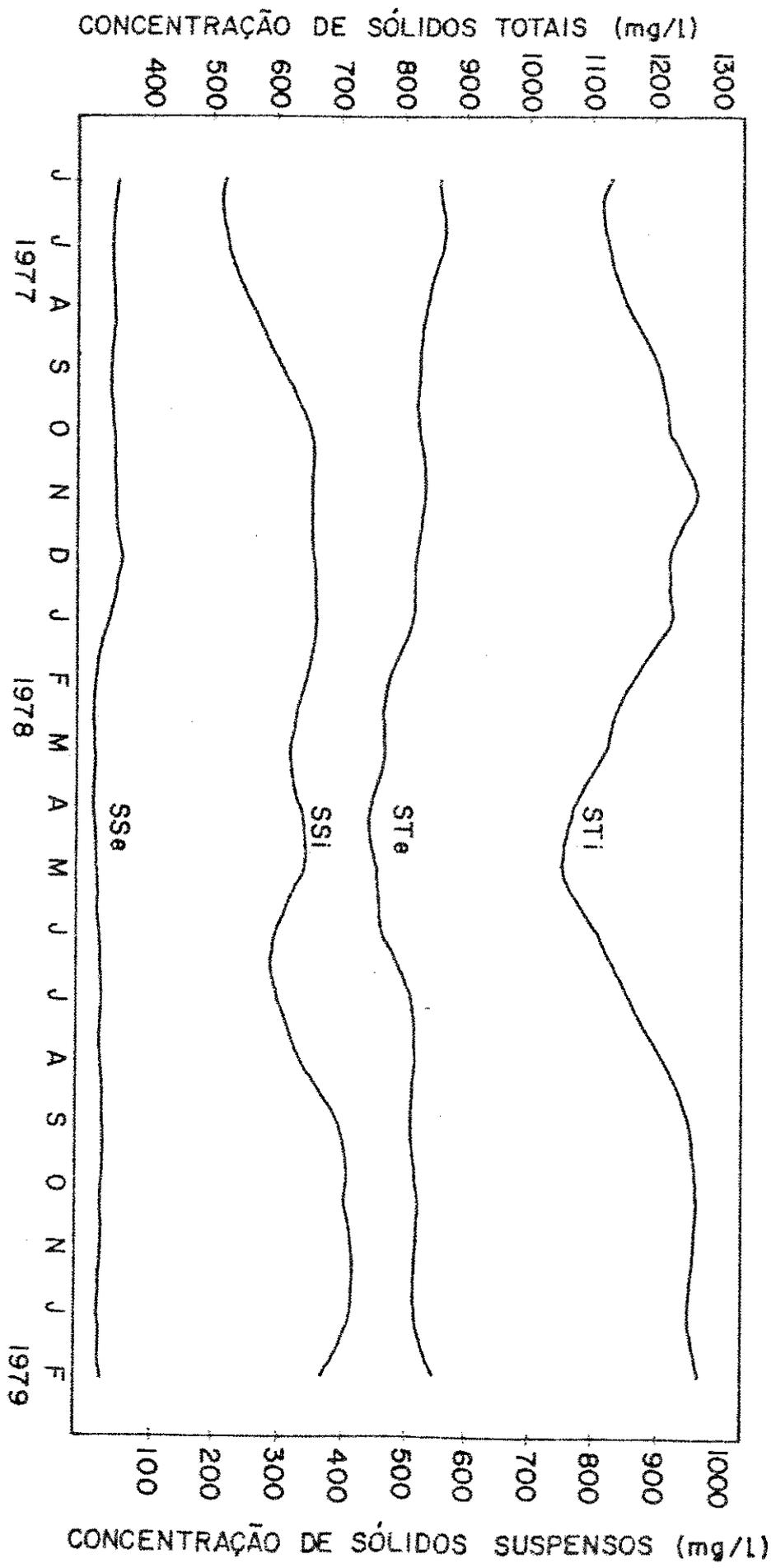


Fig - 3.4.4 - VARIACÃO SAZONAL DE SÓLIDOS TOTAIS E SUSPENSOS AFLUENTES E EFLUENTES NO REATOR D.

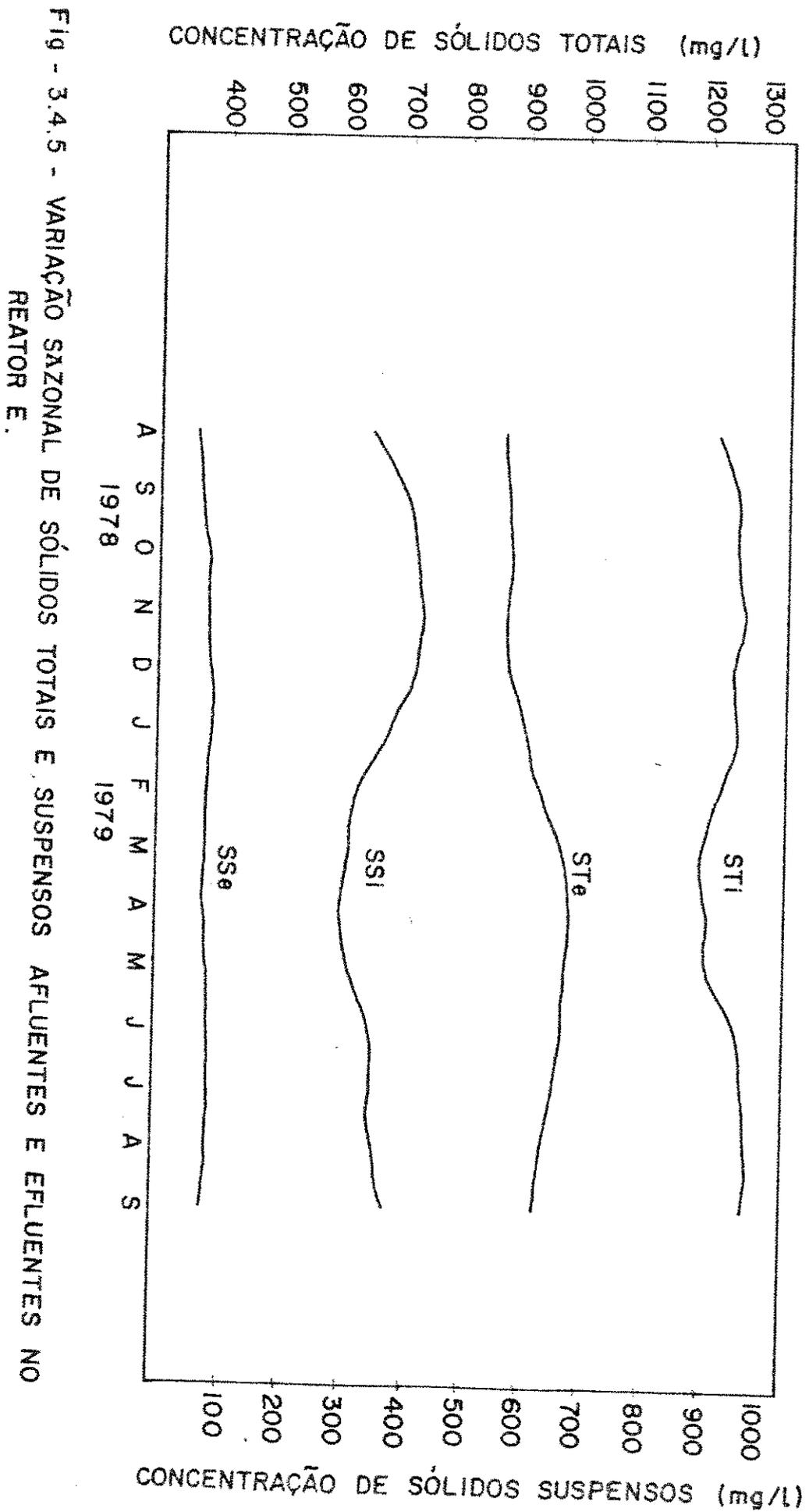


Fig - 3.4.5 - VARIACÃO SAZONAL DE SÓLIDOS TOTAIS E SUSPENSOS AFLUENTES E EFLUENTES NO REATOR E.

suspensos. Verifica-se que os reatores apresentaram a tendência de regularizar as concentrações de sólidos suspensos o que demonstra a eficiência de reatores anaeróbios na retenção de material sólido particulado assim como a sua capacidade de suportar grandes cargas de sólidos suspensos sem que isso represente comprometimento da qualidade do efluente. Um fato que vale destacar também, é que as concentrações de sólidos suspensos dos efluentes além de bastante uniformes, sempre foram inferiores a 100 mg SS/l. As figuras 3.4.1 a 3.4.5 foram construídas levando em conta as médias móveis três a três das médias mensais das concentrações de sólidos totais e sólidos suspensos.

3.5. Avaliação das eficiências de remoção de sólidos nos reatores

A análise comparativa preliminar dos resultados das concentrações de sólidos totais, sólidos suspensos e suas frações no afluente e efluentes dos reatores ao longo de todo o período de operação, permitiu avaliar as eficiências médias de remoção de sólidos nos cinco reatores experimentados. Tais eficiências são apresentadas no quadro 3.5.1 e foram calculadas com o uso da seguinte expressão:

$$E = \left(\frac{CSA - CSE}{CSA} \right) \cdot 100 \quad 3.5.1$$

Onde:

E = eficiência de remoção de sólidos (%)

CSA = concentração média afluente de sólidos (mg/l)

CSE = concentração média efluente de sólidos (mg/l).

Pela observação dos elementos do quadro 3.5.1., verificou-se que as eficiências de remoção de sólidos totais nos

reatores variam entre um mínimo de 25% e um máximo de 36 %. As eficiências de remoção de sólidos totais voláteis variaram entre um mínimo de 54% e um máximo de 64%.

No que diz respeito aos sólidos em suspensão, as eficiências de remoção variaram entre 79% e 88%, sendo que foram observadas as eficiências de 80% e 87% (mínimo e máximo) na remoção de sua fração volátil e 73% e 91% (mínimo e máximo) na remoção da fração fixa. Os valores das eficiências mostradas no quadro 3.5.1, sofrem variações quando o seu cálculo é feito com base na expressão:

$$ERMS = \left(\frac{MSA - MSE}{MSA} \right) \times 100 \quad 3.5.2$$

Onde:

ERMS = eficiência de remoção da massa de sólidos (%)

MSA = massa de sólidos afluente (kg)

MSE = massa de sólidos efluente (kg)

Os valores de MSA e MSE utilizados nos cálculos das eficiências de remoção de sólidos representam as massas afluente e efluente de sólidos ao longo do período operacional de cada reator.

Os valores de MSA e MSE são apresentados no quadro 3.5.2. O procedimento obedecido nos cálculos de MSA e MSE consistiu em se determinar mensalmente as massas de sólidos com base nas vazões, nas concentrações médias mensais de sólidos e no número de dias do mês. Finalmente, as massas calculadas mensalmente foram somadas ao longo do período de operação do reator. As eficiências de remoção da massa de sólidos são mostradas no quadro 3.5.3. e com base nestes dados verifica-se que a eficiência de remoção da massa de sólidos totais atingiu a uma média de 31%, enquanto que em relação às suas frações fixa e volátil, foram atingidos percentuais de remoção de 9% e 60% em média. Quanto aos sólidos

Quadro 3.5.1. Eficiências médias de remoção de sólidos totais e suspensos e suas respectivas frações nos reatores experimentados.

Reator	ERST (%)	ERSTV (%)	ERSS (%)	ERSSV (%)	ERSSF (%)
A	27	63	87	86	90
B	36	64	86	85	87
C	30	59	81	82	80
D	32	61	88	87	91
E	25	54	79	80	73

Quadro 3.5.2. Diversas frações de massa láfluente e efluente nos reatores.

Parâmetro / Reator	MST A (Kg)	MSTVA (Kg)	MSTFA (Kg)	MSSA (Kg)	MSSVA (Kg)	MSSFA (Kg)	MSTE (Kg)	MSIVE (Kg)	MSTFE (Kg)	MSS E (Kg)	MSSVE (Kg)	MSSFE (Kg)
A	21344,35	8373,73	13029,10	5567,39	4631,67	957,50	15194,10	3290,0	12108,30	724,61	598,20	110,66
B	4536,43	1915,30	2604,90	1613,78	1323,12	289,30	3047,10	682,86	2359,50	220,0	187,83	32,90
C	21567,40	8569,80	13016,90	3095,43	2514,90	577,59	15421,60	3567,80	11804,60	571,62	416,0	113,54
D	14333,60	5692,30	8648,10	2057,42	1671,83	383,92	9990,10	2248,80	7726,80	218,94	185,71	33,08
E	2431,20	934,20	1339,58	646,43	527,97	121,63	1575,1	405,0	1205,36	146,72	119,06	30,80

Quadro 3.5.3. Eficiência de remoção de massa de sólidos totais e suspensos e suas respectivas frações.

Parâmetro Reator	ERMSS (%)	ERMSSV (%)	ERMSSF (%)	ERMST (%)	ERMSTV (%)	ERMSTF (%)
A	87	87	88	29	61	7
B	86	86	87	33	64	9
C	82	83	80	28	58	9
D	89	89	91	30	60	11
E	77	77	75	35	57	10

dos suspensos a remoção da massa de sólidos atingiu um percentual de 84% sendo este mesmo valor válido para as suas frações fixa e volátil.

Com base nos elementos do quadro 3.5.4 foram construídas as figuras 3.5.1, 3.5.2, 3.5.3 e 3.5.4, que mostram respectivamente os pontos que relacionam as eficiências de remoção da massa de sólidos em cada reator com as cargas volumétricas de sólidos.

A figura 3.5.1 mostra os pontos que relacionam as eficiências de remoção de massa de sólidos totais com as cargas volumétricas de sólidos totais. Pela observação da figura não se constata haver uma tendência bem definida para o estabelecimento de uma correlação entre os dois parâmetros. A figura 3.5.2 mostra a disposição dos pontos que relacionam a eficiência de remoção da massa de sólidos totais voláteis com a carga volumétrica de sólidos totais voláteis. Verifica-se a existência de uma tendência, a correlação dos dois parâmetros que é interpretada pela linha exponencial, também mostrada na figura, cuja equação é a seguinte:

$$\text{ERMSTV} = 56,456 \cdot \lambda\text{VSTV}^{-0,052} \quad 3.5.3$$

A equação 3.5.3 proveio da equação 3.5.4

$$\ln \left(\frac{\text{ERMSTV}}{100} \right) = 0,57170 - 0,05169 \ln \lambda\text{VSTV} \quad 3.5.4$$

ou,

$$\ln \left(\frac{\text{ERMSTV}}{100} \right) = \ln 0,56456 - 0,05169 \ln \lambda\text{VSTV} \quad 3.5.5$$

A equação 3.5.3 foi determinada através do método dos mínimos quadrados, e estabelece a relação existente entre a eficiência de remoção da massa de sólidos totais voláteis à carga volumétrica de sólidos totais voláteis. A verificação da influência da carga volumétrica de sólidos voláteis (λVstv) sobre a eficiência de remoção da massa de sólidos totais voláteis (ERMSTV) foi determinada através do ajustamento, à

Quadro 3.5.4. Eficiência de remoção de massa e cargas volumétricas de sólidos totais, sólidos totais voláteis, sólidos suspensos e sólidos suspensos voláteis.

Parâmetro / Reator	ERMST (%)	ERMSTV (%)	ERMSS (%)	ERMSSV (%)	λ_{vst} (Kg/m ³ .d)	λ_{vstv} (Kg/m ³ .d)	λ_{vss} (Kg/m ³ .d)	λ_{vssv} (Kg/m ³ .d)
A	29	61	87	87	0,375	0,148	0,0981	0,081
B	33	64	86	86	0,295	0,125	0,105	0,086
C	28	58	82	83	1,530	0,618	0,223	0,181
D	30	60	89	89	0,658	0,261	0,094	0,076
E	35	57	77	77	2,250	0,864	0,597	0,488

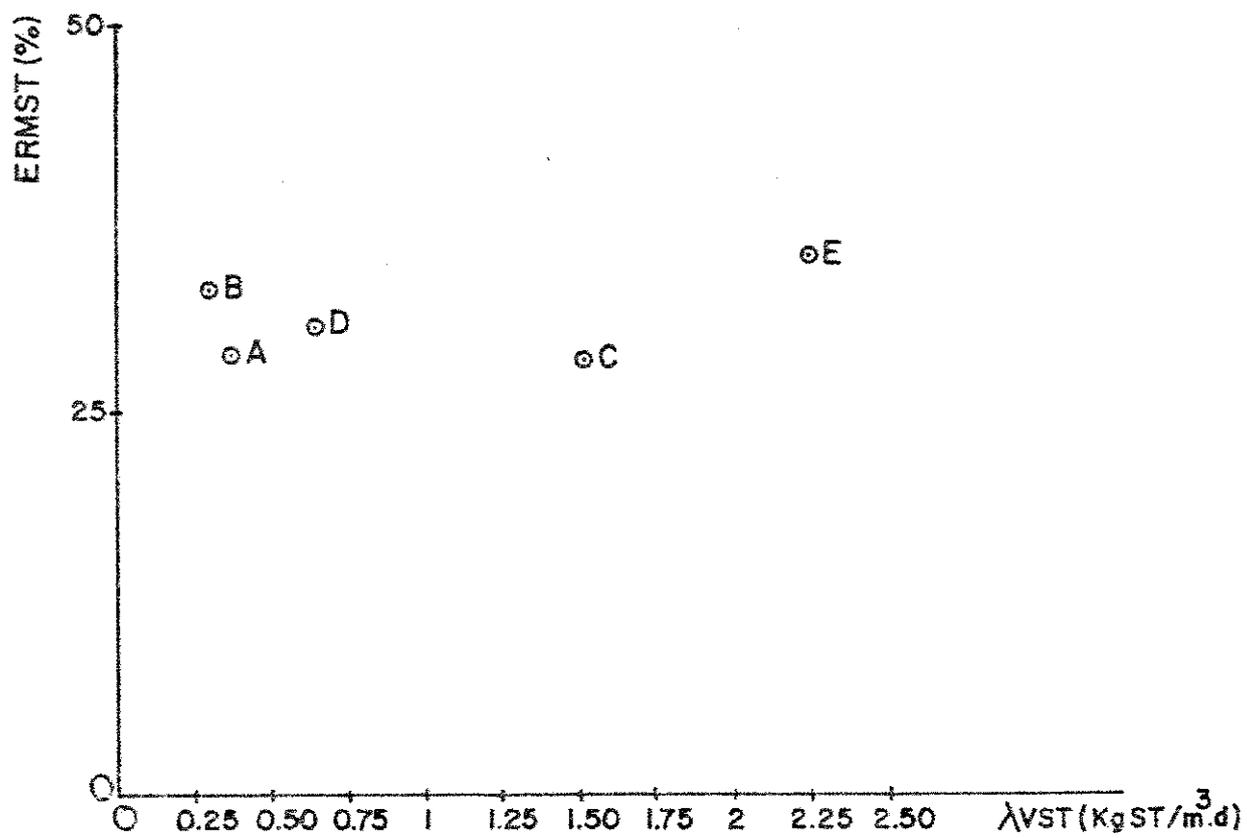


Fig - 3.5.1 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE MASSA DE SÓLIDOS TOTAIS COM AS CARGAS VOLUMÉTRICAS DE SÓLIDOS TOTAIS.

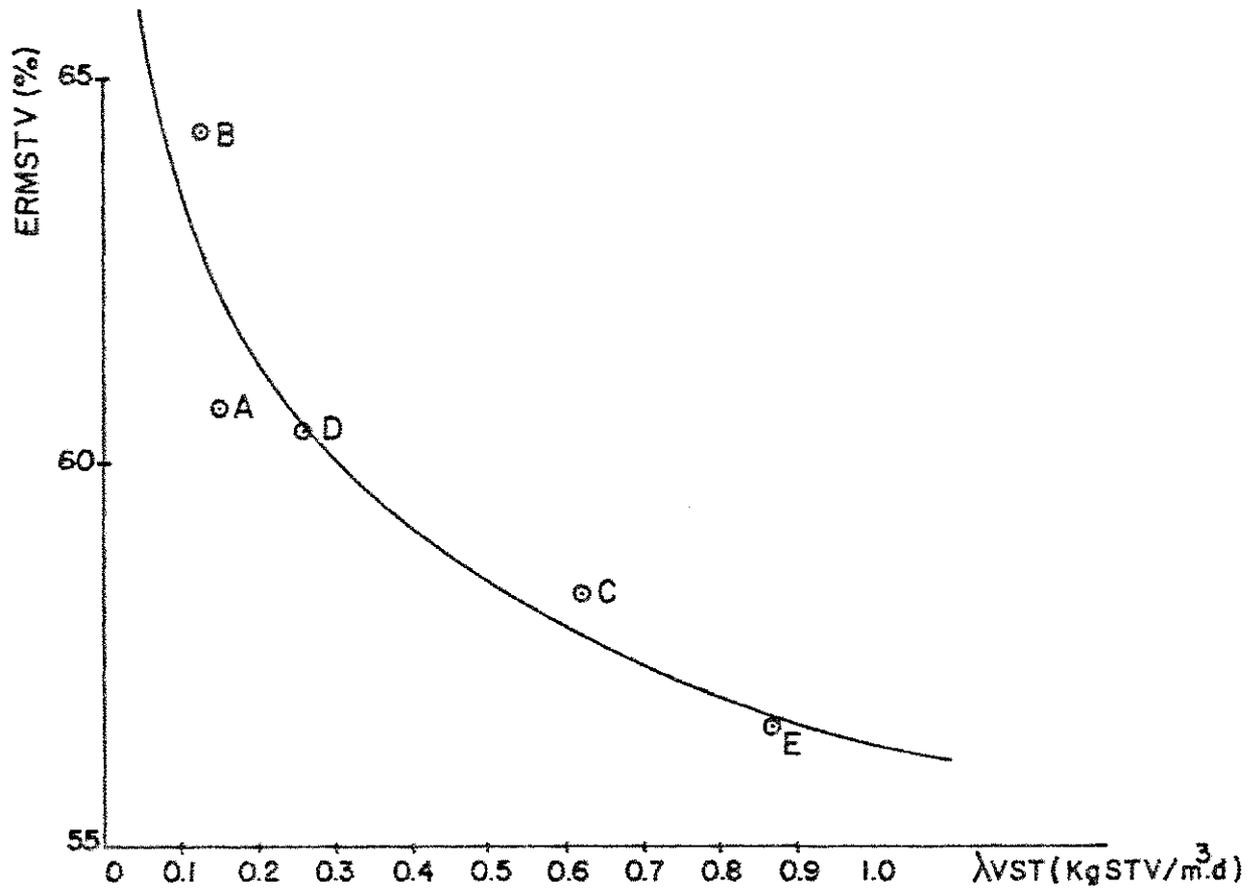


Fig - 3.5.2 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE MASSA DE SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS COM AS CARGAS VOLUMÉTRICAS DE SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS.

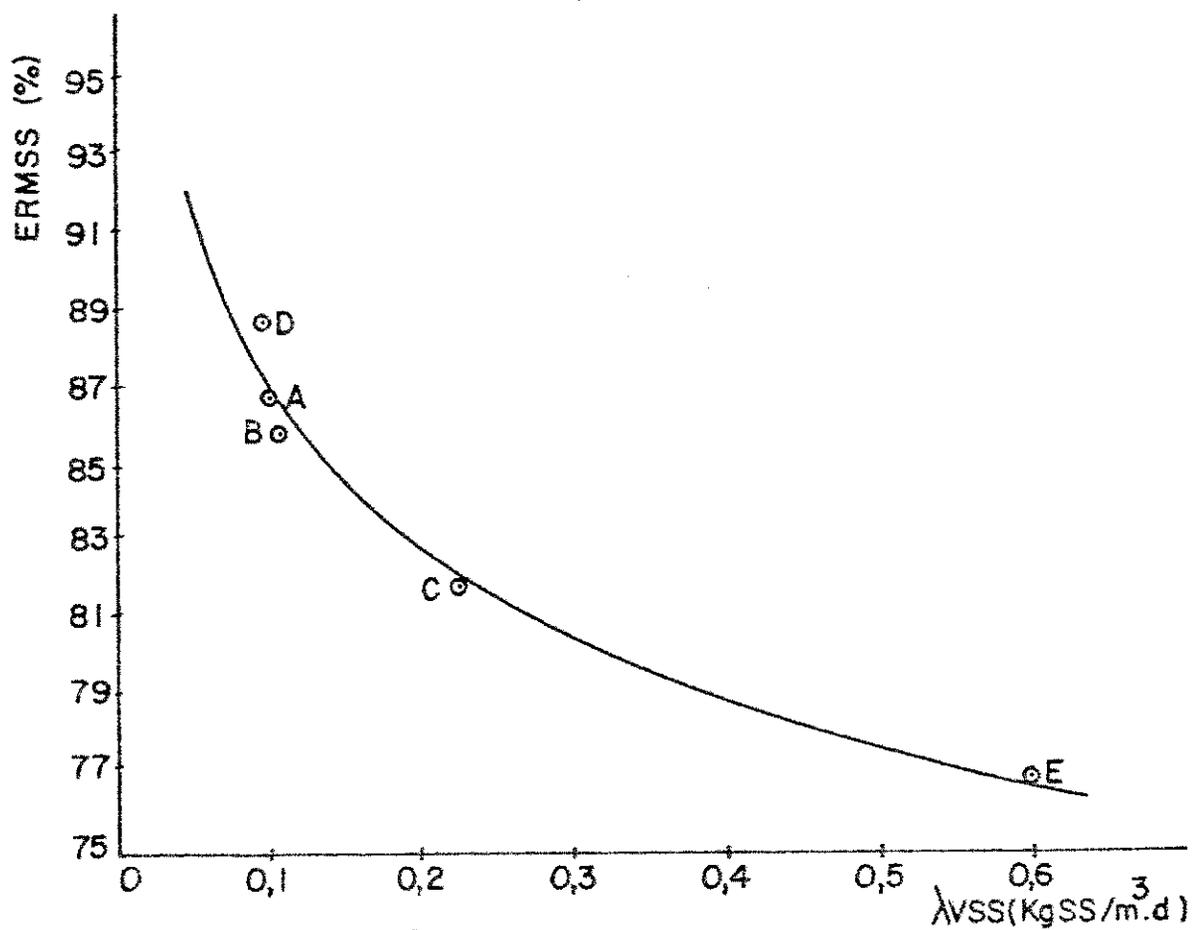


Fig - 3.5.3 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE MASSA DE SÓLIDOS SUSPENSOS COM AS CARGAS VOLUMÉTRICAS DE SÓLIDOS SUSPENSOS

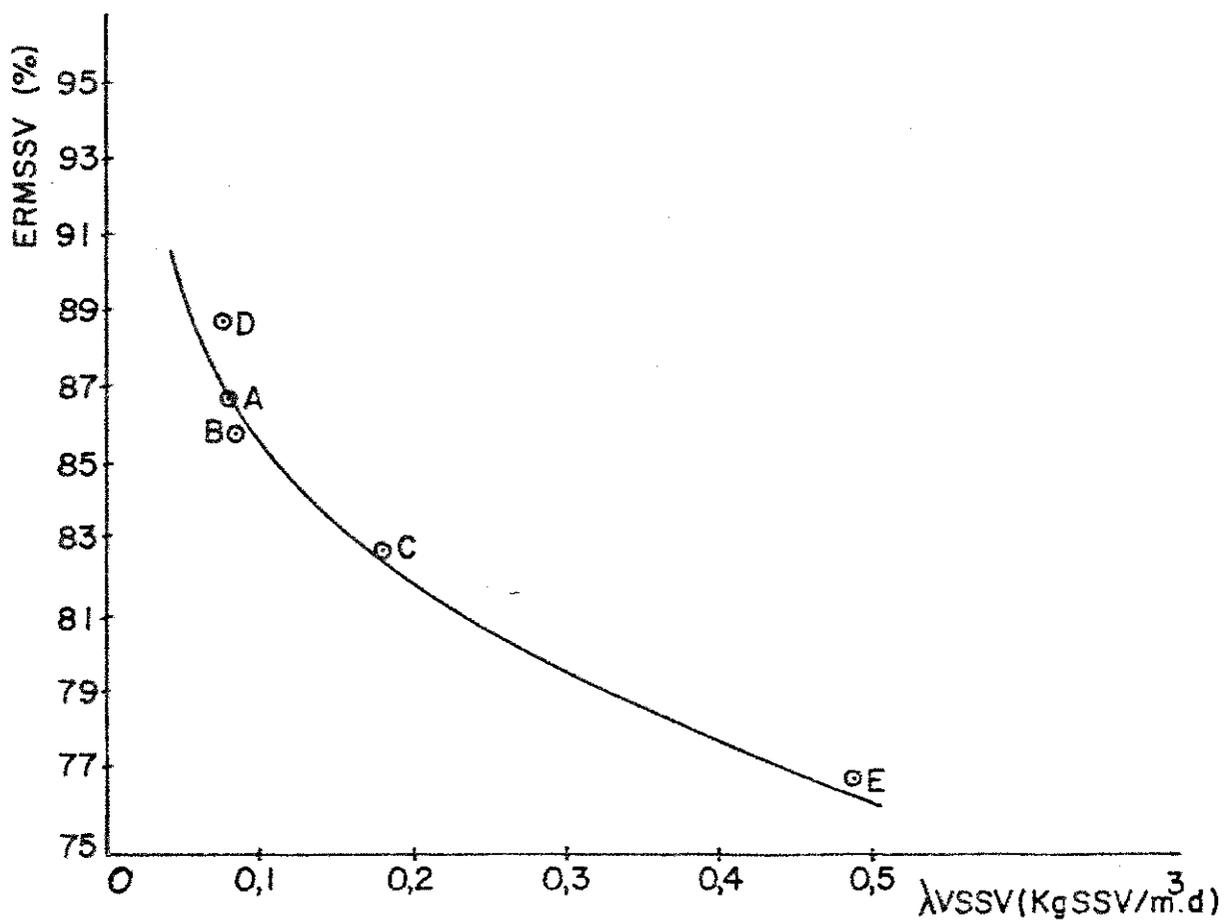


Fig - 3.5.4 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE MASSA DE SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS, COM AS CARGAS VOLUMÉTRICAS DE SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS

equação da linha reta de mínimos quadrados, dos pontos correspondentes aos logaritmos naturais da carga volumétrica de sólidos totais voláteis aplicada a cada reator e aos logaritmos naturais da eficiência de remoção da massa de sólidos totais voláteis apresentada por cada reator analisado.

A equação 3.5.4 apresenta os seguintes parâmetros estatísticos:

Coefficiente de correlação	$R = - 0.926$
Coefficiente de determinação	$R^2 = 0,867$
Erro padrão de estimativa:	$S_{yx} = 0,02088$
Graus de liberdade:	$GL = 3$
Nível de significância:	$0,01 < NS < 0,05$

Desse modo pode-se expressar a eficiência da remoção da massa de sólidos totais voláteis, em reatores anaeróbios com cargas volumétricas de sólidos totais voláteis entre um mínimo de $0,125 \text{ kg STV/m}^3 \cdot \text{d}$ e um máximo de $0,864 \text{ kg STV/m}^3 \cdot \text{d}$, em função dessas cargas volumétricas.

O quadro 3.5.5 mostra os valores observados e estimados das eficiências de remoção da massa de sólidos totais voláteis e os respectivos desvios.

A figura 3.5.3, mostra como os pontos que relacionam a eficiência de remoção da massa de sólidos suspensos à carga volumétrica de sólidos suspensos se apresentam. Verifica-se pela observação da figura, que os pontos correspondentes aos cinco reatores analisados, apresentam a tendência de se distribuir de acordo com uma linha curva exponencial, cuja equação é a seguinte:

$$ERMSS = 73,866 \cdot \lambda VSS^{-0,0731} \quad 3.5.6$$

A equação 3.5.6, proveio da equação 3.5.7

$$\ln \left(\frac{ERMSS}{100} \right) = 0,30292 - 0,0731 \ln \lambda VSS \quad 3.5.7$$

ou,

Quadro 3.5.5. Eficiências de remoção de massa de sólidos totais voláteis.

Parâmetro: Reator	ERMSTV (%) Valor obser- vado	ERMSTV (%) Valor esti- mado	Desvio absolu- to (%)	Desvio relati- vo (%)
A	60,7	62,4	-1,7	-2,7
B	64,3	62,9	+1,4	+2,2
C	58,4	57,9	+0,5	0,9
D	60,5	60,5	0,0	0,0
E	56,6	56,9	-0,3	-0,5

$$\ln \left(\frac{ERMSS}{100} \right) = \ln 0,73866 - 0,0731 \ln VSS \quad 3.5.8$$

A equação 3.5.6 foi determinada através do método dos mínimos quadrados, e estabelece a relação existente entre a eficiência de remoção da massa de sólidos suspensos à carga volumétrica de sólidos suspensos. A verificação da influência da carga volumétrica de sólidos suspensos (VSS) sobre a eficiência de remoção da massa de sólidos suspensos (ERMSS) foi determinada do ajustamento, à equação da linha reta de mínimos quadrados, dos pontos correspondentes aos logaritmos naturais das cargas volumétricas de sólidos suspensos aplicadas a cada reator e o logaritmo natural da eficiência de remoção de massa de sólidos suspensos apresentada por cada reator realizado. A equação 3.5.7 apresenta os seguintes parâmetros estatísticos:

Coefficiente de correlação:	$R = - 0,995$
Coefficiente de determinação:	$R^2 = 0,990$
Erro padrão de estimativa:	$S_{yx} = 0,0132$
Graus de liberdade:	$G.L = 3$
Nível de significância:	$NS < 0,01$

Portanto, fica constatado que a eficiência de remoção da massa de sólidos suspensos em reatores anaeróbios, com cargas volumétricas de sólidos suspensos entre um mínimo de $0,094 \text{ kg SS/m}^3 \cdot \text{d}$ e um máximo de $0,597 \text{ kg SS/m}^3 \cdot \text{d}$ pode ser correlacionada à carga volumétrica de sólidos suspensos. O quadro 3.5.6 mostra os valores observados e estimados das eficiências de remoção da massa de sólidos suspensos e os respectivos desvios.

A figura 3.5.4 mostra os pontos que relacionam a eficiência de remoção da massa de sólidos suspensos à carga volumétrica de sólidos suspensos variáveis. Verifica-se haver uma tendência dos pontos a se ajustarem a uma linha

Quadro 3.5.6. Eficiência de remoção de massa de sólidos suspensos.

Parâmetro: Reator	ERMSS (%) Valor observado	ERMSS (%) Valor estimado	Desvio absoluto (%)	Desvio relativo (%)
A	87,0	87,5	-0,5	-0,6
B	86,4	87,1	-0,7	-0,8
C	81,5	82,4	-0,9	-1,1
D	89,4	87,8	+1,6	+1,8
E	77,3	76,7	+0,6	+0,8

curva exponencial, cuja expressão é a seguinte:

$$\text{ERMSSV} = 73.159 \lambda \text{VSSV}^{-0,0713} \quad 3.5.9$$

A equação 3.5.9 proveio da equação 3.5.10

$$\ln \left(\frac{\text{ERMSSV}}{100} \right) = -0,31253 - 0,0713 \ln \lambda \text{VSSV} \quad 3.5.10$$

$$\ln \left(\frac{\text{ERMSSV}}{100} \right) = \ln 0,73159 - 0,0713 \ln \lambda \text{VSSV} \quad 3.5.11$$

A equação 3.5.9 foi determinada através do método dos mínimos quadrados, e estabelece a relação existente entre a eficiência de remoção da massa de sólidos suspensos voláteis à carga volumétrica de sólidos suspensos voláteis. A verificação da influência da carga volumétrica de sólidos suspensos voláteis (λVSSV) sobre a eficiência de remoção da massa de sólidos suspensos voláteis (ERMSSV) foi determinada através do ajustamento, à equação da linha reta de mínimos quadrados, dos pontos correspondentes aos logaritmos naturais das cargas volumétricas de sólidos suspensos voláteis aplicada a cada reator e o logaritmo natural da eficiência de remoção de massa de sólidos suspensos voláteis apresentada por cada reator analisado.

A equação 3.5.10 apresenta os seguintes parâmetros estatísticos:

$$\begin{aligned} R &= -1,00 \\ R^2 &= 1,00 \\ S_{yx} &= 0,0111 \\ GL &= 3 \\ NS &< 0,01 \end{aligned}$$

Fica constatado que a eficiência de remoção da massa de sólidos suspensos voláteis em reatores anaeróbios com car

Quadro 3.5.7. Eficiência de remoção de massa de sólidos suspensos voláteis.

Parâmetro Reator	ERMSSV (%) Valor observado	ERMSSV (%) Valor estimado	Desvio absoluto (%)	Desvio relativo (%)
A	87,1	87,5	-0,4	-0,46
B	85,8	87,1	-1,3	-1,5
C	85,4	82,6	2,8	3,4
D	88,9	87,9	1,0	1,1
E	77,4	77,0	+0,4	+0,52

gas volumétricas entre $0,076 \frac{\text{kg SSV}}{\text{m}^3 \cdot \text{d}}$ e $0,488 \text{ kg SSV/m}^3 \cdot \text{d}$

pode ser correlacionada a essas cargas volumétricas.

O quadro 3.5.7 mostra os valores observados e estimados das eficiências e os respectivos desvios.

3.6. Resultados referentes ao lodo acumulado no interior dos reatores

Os quadros 3.6.1 a 3.6.4 apresentam as características do lodo acumulado nos reatores A, B, C e D. Tais quadros resumem os dados referentes às lâminas de lodo, ao peso específico, ao teor de umidade e à concentração de sólidos totais acumulados e suas frações. O quadro 3.6.5 apresenta os elementos característicos do lodo acumulado no reator E com exceção do peso específico e do teor de umidade. O peso específico médio do lodo acumulado nos quatro primeiros reatores variou entre um mínimo de 1005,60 g/l no reator B e um máximo de 1016,10 g/l no reator A. O teor de umidade médio variou entre um mínimo de 92,10% no reator A e um máximo de 95,20% no reator B.

Os dados de lâminas de lodo foram utilizados para o cálculo dos volumes de lodo, enquanto que os dados das concentrações de sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos totais fixos foram utilizados para o cálculo das massas de sólidos acumulados. O quadro 3.6.6 apresenta os dados referentes aos volumes de lodo (V_L), concentração de sólidos totais acumulados (STA), concentração de sólidos totais voláteis acumulados (STVA) e concentração de sólidos totais fixos acumulados (STFA) para os cinco reatores analisados.

A figura 3.6.1 mostra a disposição dos pontos que relacionam as concentrações de sólidos totais no lodo acumulado no interior dos reatores, às cargas volumétricas de sólidos totais. Pela observação da figura não é possível o estabelecimento de uma tendência suficientemente clara para se interpretar o conjunto dos pontos.

Quadro 3.6.1. Características do lodo acumulado no reator A.

Seção	Lâmina de lodo (cm)			(g/l) γ	Amostra composta de P ₁ , P ₂ e P ₃			% de umidade
	Pontos de Leituras				Sólidos (mg/l)			
	P ₁	P ₂	P ₃		Totais	Fixos	Voláteis	
01	32,5	36,5	30,0	1050,1	175902	124629	51273	83,2
02	34,0	36,5	32,5	998,1	64442	60263	4179	93,5
03	38,0	39,5	35,0	1018,8	63204	26533	36671	93,8
04	40,50	41,0	37,0	1007,4	57734	24052	33682	94,3
05	40,0	43,0	43,0	1006,4	39714	16002	23712	96,0
Média	37,0	39,3	35,5	1016,1	80199,2	50295,8	29903,4	92,1

Quadro 3.6.2. Características do lodo acumulado no reator B.

Seção	Lâmina de lodo (cm)			(g/l) γ	Amostra composta de P ₁ , P ₂ e P ₃			% de umidade
	Pontos de leituras				Sólidos (mg/l)			
	P ₁	P ₂	P ₃		Totais	Fixos	Voláteis	
01	14,0	13,0	12,0	1005,0	69610	26690	42920	93,0
02	16,0	18,0	13,0	1005,0	58170	29320	28850	94,0
03	18,5	19,50	17,0	1023,0	59890	24840	35030	94,0
04	22,0	22,0	18,0	1005,0	36930	14020	22910	96,0
05	21,50	23,50	20,0	990,0	12250	4900	7350	99,0
Média	18,40	19,20	16,0	1005,60	47370	19954	27412	95,20

Quadro 3.6.3. Características do lodo acumulado no reator C.

Seção	Lâmina de lodo (cm)		(g/l) Y	Sólidos (mg/l)			% de umidade
	Ponto de leitura			Totais	Fixos	Voláteis	
	P ₁						
0	18,2		1053,5	158550	101520	57030	85,0
01	24,5		1016,0	63010	30110	32900	93,8
02	24,5		1019,4	68230	32730	35500	93,3
03	25		1011,3	59900	26410	33490	94,1
04	25,5		1004,4	62190	27530	34660	93,8
05	26		1022,3	94120	49770	44350	90,8
06	26		1015,2	78320	35420	42900	92,3
Média	24,2		1020,3	83474,2	43355,7	40118,5	91,8

Quadro 3.6.4. Características do lodo acumulado no reator D.

Seção	Lâmina de lodo (cm)	(g/l) γ	Sólidos			% de umidade
	Ponto de leitura		(mg/l)			
	P ₁		Totais	Fixos	Voláteis	
0	35,0	1004,7	31150	16770	14380	96,9
01	44,5	1016,7	44150	4550	22600	95,7
02	44,5	998,1	49270	23450	25820	95,1
03	45,0	1017,9	64900	32900	32000	93,6
04	45,0	1028,0	72520	36740	35780	92,9
05	44,0	1004,0	65790	33630	32160	93,4
06	45,0	1014,9	70140	35990	34150	93,1
07	45,0	1016,0	74640	37510	37130	92,6
08	45,0	1014,0	79370	39770	39600	92,2
09	45,0	1028,5	85120	43170	41950	91,7
10	41,0	973,3	60590	29680	30910	93,8
Média	43,68	1010,5	6342,8	31923,8	31498,1	93,7

Quadro 3.6.5. Características do lodo acumulado no reator E.

Seção	Ponto de leitura	Lâmina de lodo (m)	Sólidos (mg/l)		
			Totais	Fixos	Voláteis
01	P ₁	0,38	92100	43540	48560

Quadro 3.6.6. Volume e concentração média de lodo acumulada nos reatores.

Reator	V.L (m ³)	STA (kg/m ³)	STFA (kg/m ³)	STVA (kg/m ³)
A	12,93	80,19	50,29	29,90
B	6,0	47,37	19,95	27,42
C	2,88	83,47	43,36	40,10
D	8,30	55,20	26,12	29,0
E	0,505	92,10	43,54	48,50

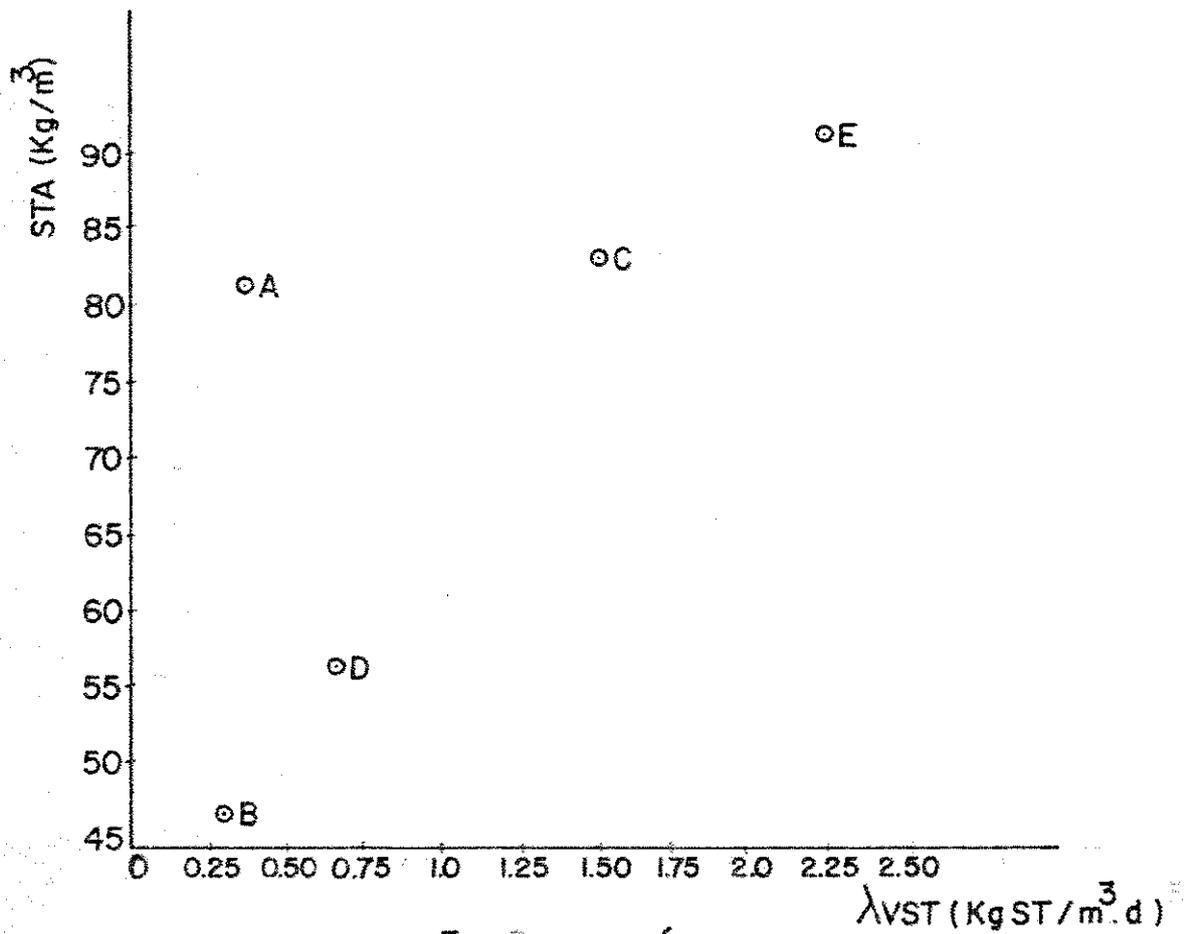


Fig - 3.6.1 - RELAÇÃO ENTRE SÓLIDOS TOTAIS ACUMULADOS E AS CARGAS VOLUMÉTRICAS DE SÓLIDOS TOTAIS

A figura 3.6.2, no entanto, mostra que há uma tendência bem definida na disposição dos pontos que relacionam a concentração de sólidos totais voláteis no lodo acumulado (STVA) à carga volumétrica de sólidos totais voláteis (λV_{STV}). A interpretação da tendência apresentada pelos pontos pode se dar com o uso da equação da linha exponencial.

$$STVA = 47,785 \cdot \lambda V_{STV}^{0,268} \quad 3.6.1$$

A equação 3.6.1 proveio da equação 3.6.2

$$\ln (STVA) = 3,86672 + 0,268 \cdot \ln (\lambda V_{STV}) \quad 3.6.2$$

ou,

$$\ln (STVA) = \ln 47,785 + 0,268 \cdot \ln (\lambda V_{STV}) \quad 3.6.3$$

A equação 3.6.1 foi determinada através do método dos mínimos quadrados, e estabelece a relação existente entre a concentração de sólidos totais voláteis acumulados à carga volumétrica de sólidos totais voláteis. A verificação da influência da carga volumétrica de sólidos totais voláteis (λV_{STV}) sobre a concentração de sólidos totais acumulados (STVA) foi determinada através do ajustamento, à equação da linha reta de mínimos quadrados, dos pontos correspondentes aos logaritmos naturais das cargas volumétricas de sólidos totais voláteis aplicadas a cada reator e o logaritmo natural da concentração de sólidos totais voláteis acumulados apresentada por cada reator analisado.

A equação 3.6.2 apresenta os seguintes parâmetros estatísticos:

$$R = 0,976$$

$$R^2 = 0,954$$

$$S_{YX} = 0,0585$$

$$GL = 3$$

$$NS < 0,01$$

O quadro 3.6.7 apresenta os valores observados, os va

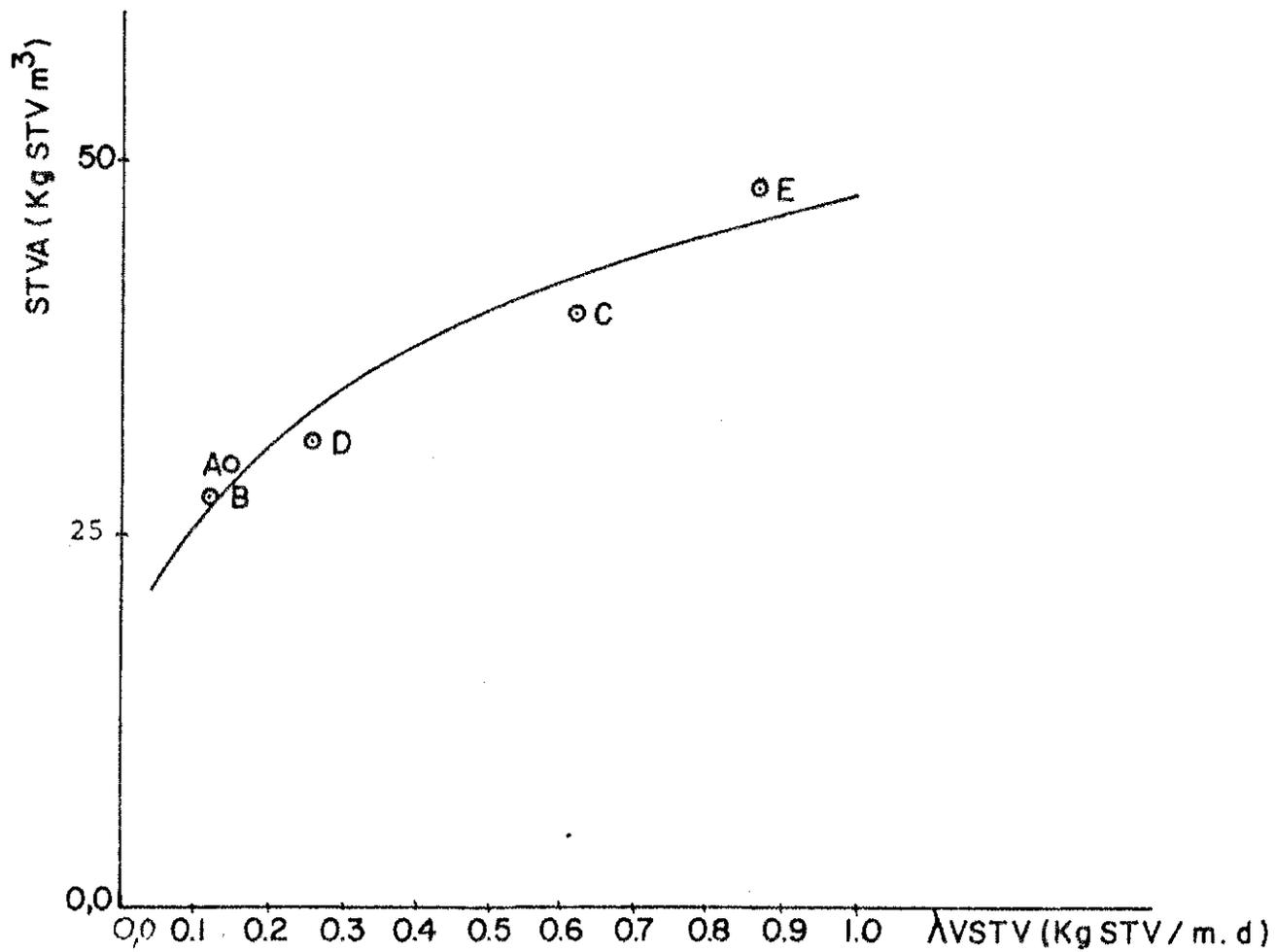


Fig- 3.6.2 - RELAÇÃO ENTRE SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS ACUMULADOS E AS CARGAS VOLUMÉTRICAS DE SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS

Quadro 3.6.7. Concentração de sólidos totais voláteis acumulado - valores observados e estimados.

Parâmetro Reator	STVA (kg/m ³) valor observado	STVA (kg/m ³) valor estimado	Desvio (kg/m ³)	Desvio (%)
A	29,90	28,64	1,26	4,40
B	27,40	27,37	0,03	0,11
C	40,10	42,00	-1,90	-4,50
D	29,00	33,34	-4,34	-13,00
E	48,50	45,95	2,55	5,50

lores estimados e os desvios para os cinco reatores analisados.

3.7. Transformação de sólidos nos reatores anaeróbios investigados

O quadro 3.7.1 apresenta as massas de sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos totais fixos transformados nos reatores ao longo de sua operação. O cálculo das massas de sólidos transformados se deu através da equação abaixo:

$$MST = MSA - MSE - MSAC \quad 3.7.1$$

onde,

MST = massa de sólidos transformados ao longo do período de operação (kg)

MSE = massa efluente de sólidos ao longo do período de operação (kg)

MSA = massa afluyente de sólidos ao longo do período de operação.

MSAC = massa de sólidos no lodo acumulado no reator durante o período de operação (kg).

A massa de sólidos no lodo acumulado foi estimada pelo produto do volume do lodo pela concentração de sólidos. As massas de sólidos no lodo acumulado, encontram-se também dispostas no quadro 3.7.1. Numa abordagem preliminar, os dados relativos às massas de sólidos transformados relacionados às respectivas massas de sólidos afluentes fornecem dados sobre as eficiências de transformação de sólidos nos reatores. Os cálculos das eficiências de transformação de sólidos foram levados a efeito com o uso da seguinte expressão:

$$ETS = \frac{MST}{MSA} \times 100 \quad 3.7.2$$

Quadro 3.7.1. Massa de sólidos totais e suas frações acumulada e transformada nos reatores.

Parâmetro Reator	STA (kg)	STVA (kg)	STFA (kg)	STT (kg)	STVT (kg)	STFT (kg)
A	1036,97	386,64	6520,2	5113,28	4697,09	344,85
B	284,22	164,47	119,70	1205,10	1067,97	47,70
C	240,39	115,71	95,55	5905,7	4886,29	1116,80
D	526,22	261,36	410,18	3817,28	3197,24	511,12
E	46,51	24,49	21,98	809,6	504,68	112,24

onde,

ETS = eficiência de transformação de sólidos (%)

MST = massa de sólidos transformada

MSA = massa de sólidos afluente

O quadro 3.7.2 mostra as eficiências de transformação de sólidos totais (ETST), sólidos totais voláteis (ETSTV) e sólidos totais fixos (ETSTF). Pode ser verificado pelo exame do quadro, que a ETST variou entre um mínimo de 23,96% para o reator A e um máximo de 33,30% no reator E enquanto que ETSTV variou de um mínimo de 54,02% no reator E e um máximo de 57,02% no reator C. A eficiência de transformação de sólidos totais fixos ficou entre um mínimo de 1,83% no reator B e um máximo de 8,58% no reator C. Uma análise mais detalhada dos dados referentes à massa transformada de sólidos revela que há uma tendência da massa de sólidos totais transformada e massa de sólidos totais voláteis transformada serem dependentes da massa de sólidos totais afluentes e massa de sólidos voláteis afluente respectivamente. As figuras 3.7.1 e 3.7.2 mostram a disposição dos pontos que relacionam as massas de sólidos transformados às massas de sólidos afluentes respectivamente para sólidos totais voláteis.

No caso das massas de sólidos totais voláteis transformadas, os pontos são melhor ajustados a uma linha curva exponencial cuja equação é a seguinte:

$$MSTVT = 0,486 MSTVA^{1,02} \quad 3.7.3$$

A equação 3.7.3 proveio da equação 3.7.4.

$$\ln MSTVT = 0,722 + 1,017 \ln MSTA \quad 3.7.4$$

ou,

$$\ln MSTVT = \ln 0,486 + 1,017 \ln MSTA \quad 3.7.5$$

A equação 3.7.3 foi determinada através do método dos mínimos quadrados, e estabelece a relação existente entre a

Quadro 3.7.2. Eficiência: de transformação de sólidos nos reatores experimentados.

Parâmetro Reator	ETST (%)	ETSTV (%)	ETSTF (%)
A	23,96	56,09	2,63
B	26,56	55,76	1,83
C	27,38	57,02	8,58
D	26,63	55,90	5,91
E	33,30	54,02	8,38

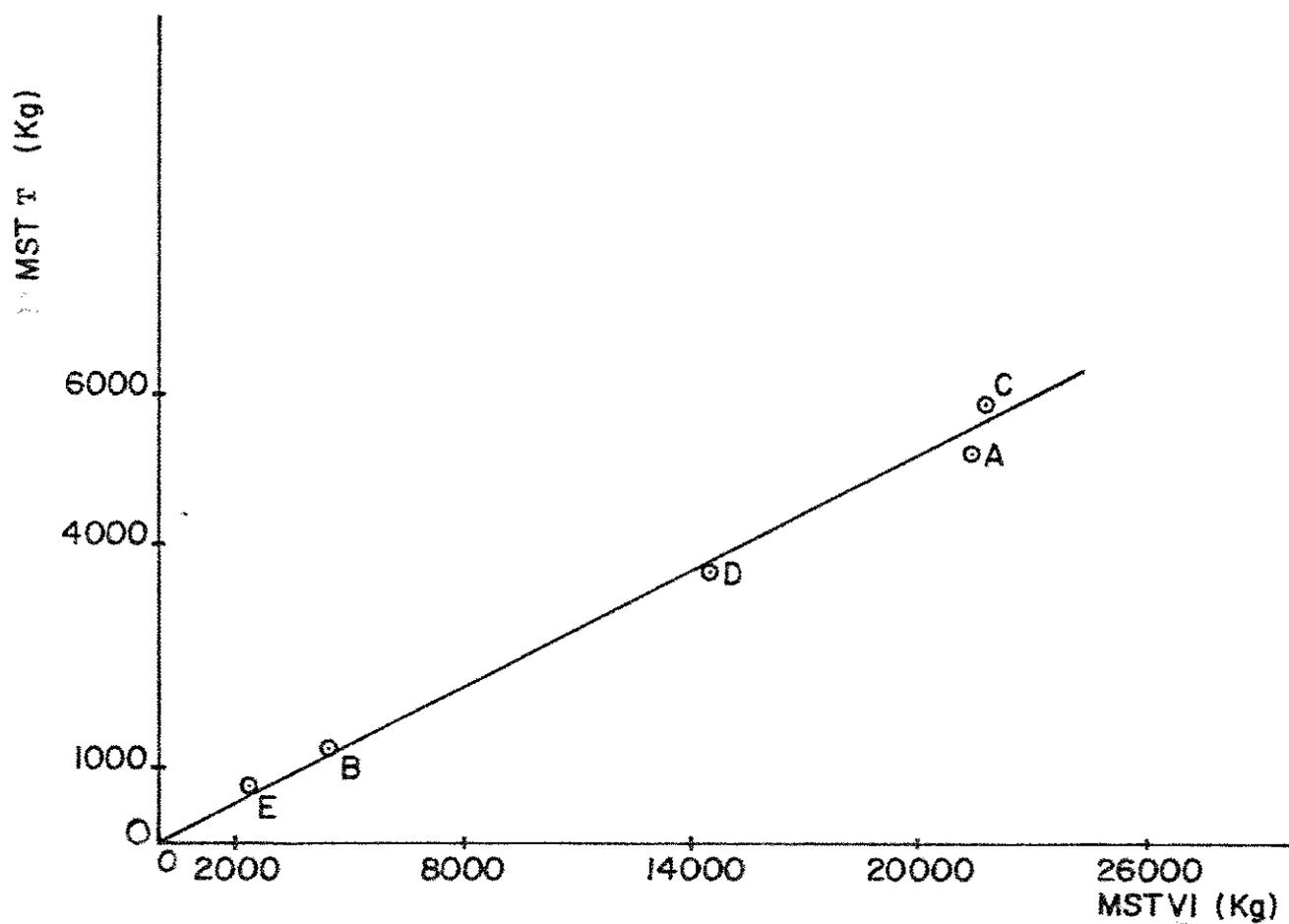


Fig - 3.7.1 - RELAÇÃO ENTRE AS MASSAS DE SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS TRANSFORMADAS E AS MASSAS DE SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS AFLUENTE.

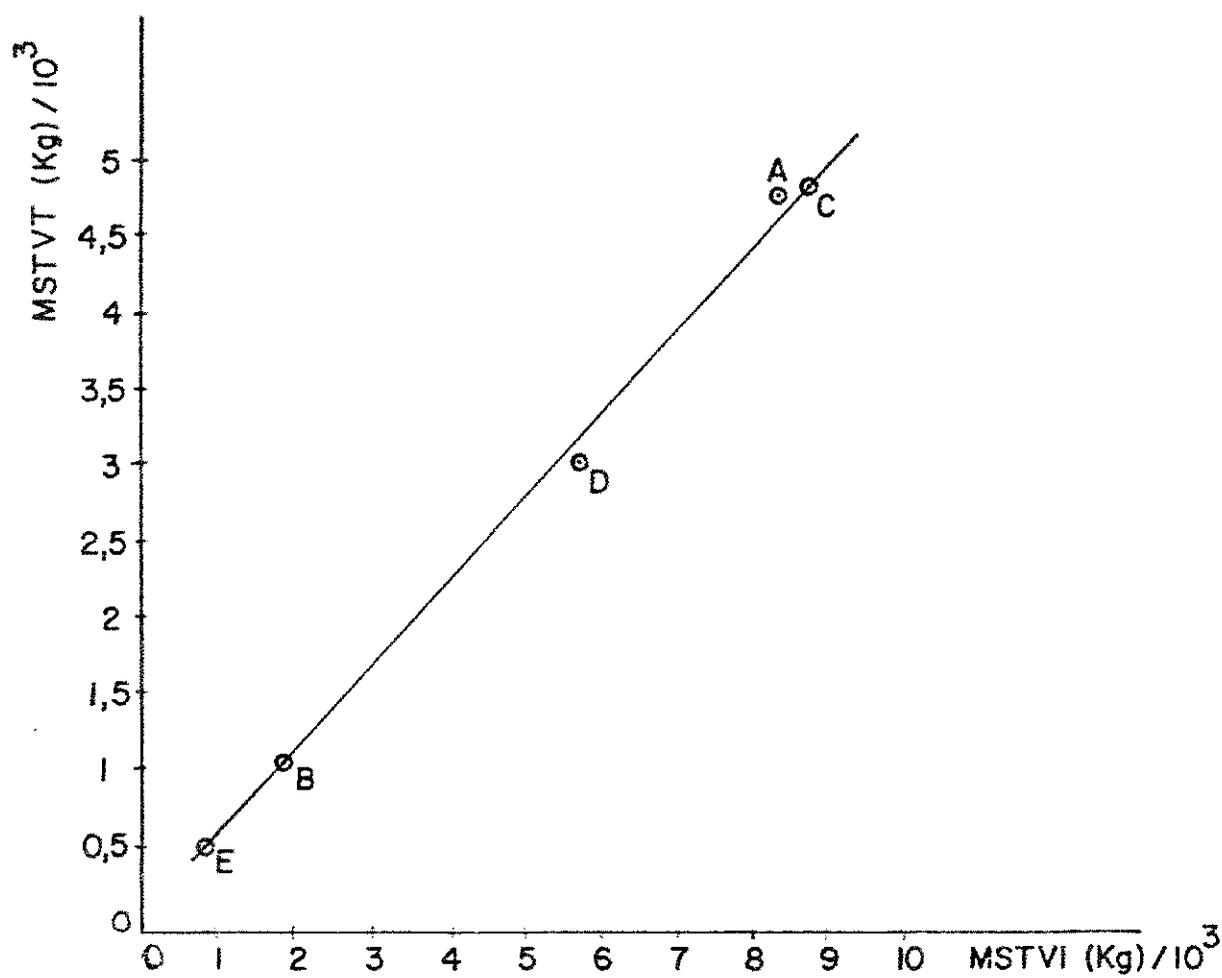


Fig - 3.7.2 - RELAÇÃO ENTRE AS MASSAS DE SÓLIDOS TOTAIS TRANSFORMADAS E AS MASSAS DE SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS AFLUENTE.

massa de sólidos totais voláteis transformada à massa de sólidos totais voláteis afluente. A verificação da influência da massa de sólidos totais voláteis afluente (MSTVA) sobre a massa de sólidos totais voláteis transformadas (MSTVT) foi determinada através do ajustamento, à equação da linha reta de mínimos quadrados, dos pontos correspondentes aos logaritmos naturais das massas de sólidos totais voláteis afluente em cada reator e o logaritmo natural da massa de sólidos totais voláteis transformada por cada reator analisado.

A equação 3.7.4 apresenta os seguintes parâmetros estatísticos:

$$R = 0,999$$

$$R^2 = 0,998$$

$$S_{yx} = 0,011$$

$$GL = 3$$

$$NS < 0,01$$

No que diz respeito aos sólidos totais transformados, foi definida a equação

$$MSTT = 0,392 \times MSTA^{0,981} \quad 3.7.6$$

Esta equação proveio da equação de mínimo quadrados

$$l_n MSTT = l_n 0,392 + 0,981 l_n MSTA \quad 3.7.7$$

Os parâmetros estatísticos da equação 3.7.7 são:

$$R = 0,970$$

$$R^2 = 0,941$$

$$S_{yx} = 0,283$$

$$G.L = 3$$

$$N.S < 0,01$$

As taxas de transformação de sólidos, definidas como a massa de sólidos transformados por unidade de volume na unidade de tempo, foram determinados considerando-se a massa de material transformado, o volume do reator e o tempo de operação:

$$TTS = \frac{MST}{V \cdot top} \quad 3.7.8$$

onde,

TTS = taxa de transformação de sólidos ($\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$)

MST = massa de sólidos transformados ao longo do período de operação (kg)

V = volume do reator (m^3)

top = tempo de operação (d).

O quadro 3.7.3 apresenta os valores das taxas de transformação de sólidos totais e de sólidos totais voláteis.

Observando os elementos do referido quadro, constata-se que as taxas de transformação de sólidos totais variaram entre um mínimo de $0,079 \text{ kg ST}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ no reator B e um máximo de $0,747 \text{ kg ST}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ no reator E. Com relação aos sólidos totais voláteis, as taxas variaram entre um mínimo de $0,070 \text{ kg STV}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ e um máximo de $0,481 \text{ kg STV}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ respectivamente para os reatores B e E.

As taxas de transformação de sólidos relacionam-se com as cargas volumétricas de sólidos. As figuras 3.7.3 e 3.7.4 mostram respectivamente para sólidos totais e sólidos totais voláteis a disposição dos pontos que relacionam as taxas de transformação às cargas volumétricas de sólidos.

A equação:

$$TTST = 0,284 \cdot \lambda VST^{1,111} \quad 3.7.9$$

relaciona quantitativamente a taxa de transformação com a carga volumétrica de sólidos totais. A equação 3.7.9, resul

QUADRO 3.7.3. Taxa de transformação de sólidos totais e sólidos totais voláteis nos reatores

Reator \ Parâmetro	TTST (kg/m ³ .d)	TTSTV (kg/m ³ .d)
A	0,090	0,083
B	0,079	0,070
C	0,426	0,352
D	0,175	0,147
E	0,749	0,481

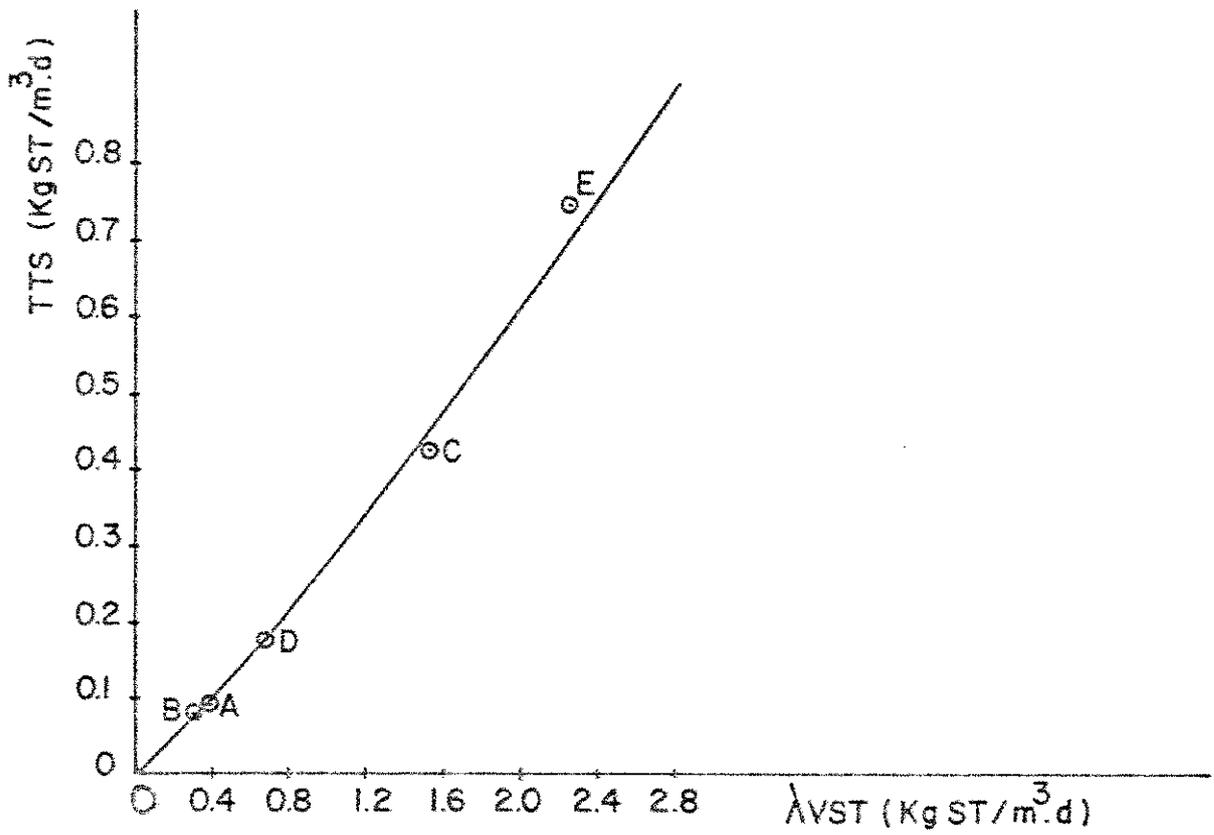


Fig - 3.7.3 - RELAÇÃO ENTRE AS TAXAS DE TRANSFORMAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS E AS CARGAS VOLUMÉTRICAS DE SÓLIDOS TOTAIS.

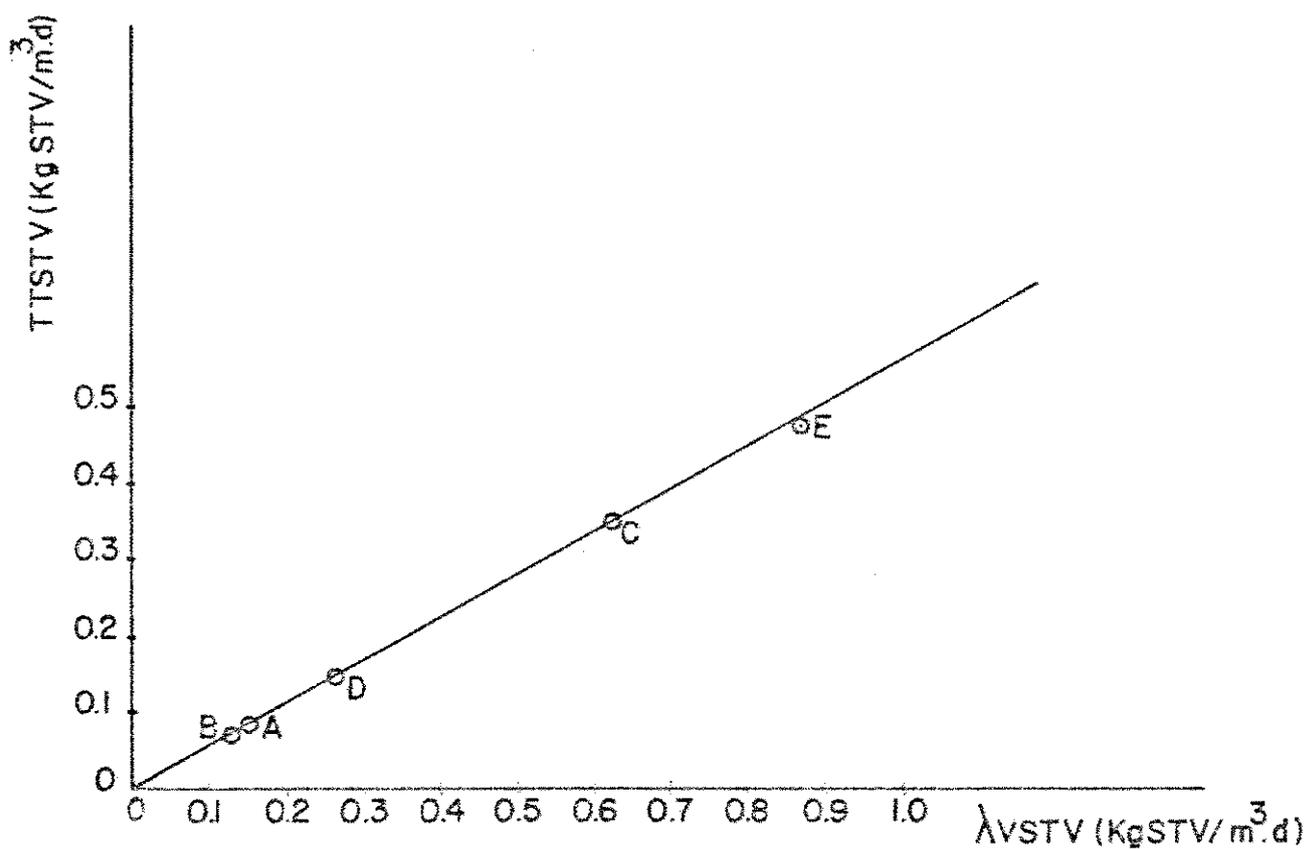


Fig - 3.7.4 - RELAÇÃO ENTRE AS TAXAS DE TRANSFORMAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS E AS CARGAS VOLUMÉTRICAS DE SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS.

tou de um rearranjo da equação de mínimos quadrados.

$$l_n \text{TTST} = l_n 0,284 + 1,111.l_n \lambda \text{VST} \quad 3.7.10$$

A equação 3.7.9 foi determinada através do método dos mínimos quadrados, e estabelece a relação existente entre a taxa de transformação de sólidos totais e a carga volumétrica de sólidos totais. A verificação da influência da carga volumétrica de sólidos totais sobre a taxa de transformação de sólidos totais (TTST) foi determinada através do ajustamento, à equação da linha reta de mínimos quadrado, dos pontos correspondentes aos logaritmos naturais das cargas volumétricas de sólidos totais aplicada a cada reator e os logaritmos naturais da taxa de transformação de sólidos totais apresentada por cada reator analisado.

A equação 3.7.10 apresenta os seguintes parâmetros estatísticos:

$$R = 0,991$$

$$R^2 = 0,983$$

$$S_{yx} = 0,0369$$

$$N.S < 0,01$$

As taxas de transformação de sólidos totais voláteis, relacionam-se às respectivas carga volumétricas de sólidos totais voláteis através da equação da linha reta.

$$\text{TTSTV} = 0,562. \lambda \text{VSTV} \quad 3.7.11$$

que apresenta os seguintes parâmetros estatísticos:

$$R = 0,999$$

$$R^2 = 0,997$$

$$S_{yx} = 0,0099$$

$$G.L = 3$$

$$N.S < 0,01$$

3.8. Taxa de acumulação de lodo

Levando em consideração os volumes de lodo acumulados, as concentrações de sólidos totais acumulados e os respectivos tempos de operação, podem ser calculadas as taxas de acumulação de lodo de 1,25; 0,85; 0,35; 0,79; e 0,11kg ST/d, respectivamente para os reatores A, B, C, D e E.

Considerando-se os volumes de lodo acumulado, e os números médios de beneficiários, podem ser obtidas as taxas per-capita de acumulação de lodo do quadro 3.8.1, respectivamente para as contribuições per-capita de esgoto de 100, 150 e 200 l/hab.d. Os valores médios das taxas de acumulação per capita de lodo são de 0,035 m³/hab.ano, 0,052 m³/hab.ano e 0,070 m³/hab.ano, respectivamente para as contribuições de 100, 150 e 200 l/hab.d.

Admitindo-se no entanto, que a contribuição per-capita de 100 l/hab.d representa um valor realista para a cidade de Campina Grande, a taxa de acumulação per-capita de lodo situar-se-á em 0,0350 m³/hab.ano, a qual é compatível com aquelas determinadas em Zâmbia e na África do Sul (Mara, 1976).

3.9. Coeficiente de redução de volume de lodo

O quadro 3.9.1 apresenta os valores dos volumes de lodo calculados com base nas concentrações de sólidos sedimentáveis para o afluente e o efluente dos reatores. Esse quadro apresenta ainda os volumes de lodo acumulado nos reatores ao longo dos períodos de operação, assim como os coeficientes de redução de volume de lodo. O coeficiente de redução de volume de lodo (CRVL) representa a fração a que é reduzido o volume de lodo fresco afluente pelo efeito da digestão anaeróbia. Tal coeficiente foi calculado levando-se em consideração que $CRVL \times VLA = VL + VLE$, logo:

$$CRVL = \frac{VL + VLE}{VLA}$$

onde,

Quadro 3.8.1. Taxa de acumulação per-capita de lodo.

Parâmetro Reator	TALC ₁₀₀ (m ³ /hab.ano)	TALC ₁₅₀ (m ³ /hab.ano)	TALC ₂₀₀ (m ³ /hab.ano)
A	$7,40 \times 10^{-2}$	$1,10 \times 10^{-1}$	$1,47 \times 10^{-1}$
B	$6,2 \times 10^{-2}$	$9,31 \times 10^{-2}$	$1,24 \times 10^{-1}$
C	$5,82 \times 10^{-3}$	$8,74 \times 10^{-3}$	$1,16 \times 10^{-2}$
D	$2,5 \times 10^{-2}$	$3,8 \times 10^{-2}$	$5,1 \times 10^{-2}$
E	$1,05 \times 10^{-2}$	$1,50 \times 10^{-2}$	$2,1 \times 10^{-2}$

Quadro 3.9.1. Volume de lodo afluente, efluente, acumulado, e os seus respectivos coeficientes de redução.

Parâmetro Reator	VLA (m ³)	VIE (m ³)	VL (m ³)	CRVL
A	132,76	5,23	12,93	0,14
B	31,42	0,44	6,0	0,20
C	128,82	10,33	2,88	0,10
D	84,86	3,84	8,30	0,14
E	14,52	1,29	0,505	0,12

CRVL = coeficiente de redução de volume de lodo

VL = volume de lodo acumulado (m^3)

VLA = volume de lodo afluente (m^3)

VLE = volume de lodo efluente (m^3).

Observando os valores dos CRVL do quadro 3.9.1, verifica-se que o coeficiente de redução de volume de lodo variou entre um mínimo de 0,10 para o reator C e um máximo de 0,20 para o reator B.

3.10. Determinação de uma expressão para a estimativa do volume de lodo acumulado nos reatores

Partindo-se da equação:

$$MSTVT = MSTVA - MSTVE - MSTVAC \quad 3.10.1$$

onde,

MSTVT = massa de sólidos totais voláteis transformados ao longo do período de operação (kg)

MSTVA = massa de sólidos totais voláteis afluente (kg)

MSTVAC = massa de sólidos totais voláteis no lodo acumulado (kg)

evidenciando MSTVAC tem-se

$$MSTVAC = MSTVA - MSTVE - MSTVT \quad 3.10.2$$

mas, $MSTVT = 0,486 \cdot M_{STVA}^{1,02}$

e

$$MSTVAC = VL \cdot STVA$$

As seguintes equações já foram definidas anteriormente:

$$STVA = 47,785 \cdot \lambda VSTV^{0,268} \quad e$$

$$ERMSTV = 56,456 \cdot \lambda VSTV^{-0,052}$$

Levando-se em consideração o conjunto de equações a apresentadas, determina-se uma equação que define o volume de lodo acumulado nos reatores.

$$VL = 12 \times 10^{-3} \lambda VSTV^{-0,32} \cdot MSTVA - 10^{-2} \lambda VSTV^{-0,27} \cdot MSTVA^{1,02} \quad 3.10.3$$

O quadro 3.10.1 apresenta os valores observados, os valores estimados através da equação 3.10.3 e os seus respectivos desvios relativos.

3.11. Temperatura máxima, mínima e temperatura média no interior dos reatores.

Os quadros 3.11.1 a 3.11.5 mostram as variações de temperatura máxima, mínima e temperatura média determinadas no interior dos reatores.

A temperatura é um parâmetro de projeto para lagoas de estabilização, haja visto, a dinâmica do processo biológico que ocorre nas lagoas, no caso lagoas anaeróbias primárias, ser mais favorável em climas tropicais. Em climas onde a temperatura é maior do que 15°C , a digestão anaeróbia ocorre com maior intensidade, dificultando o aumento da espessura da camada de lodo acumulado. A temperatura influencia substancialmente a taxa de digestão na camada de lodo.

Observando o quadro 3.11.6, verifica-se que a temperatura média ao longo de todo o período de operação atingiu o valor mínimo de $25,25^{\circ}\text{C}$ no reator B e o valor máximo de $26,67^{\circ}\text{C}$ obtido no interior do reator D.

As temperaturas médias foram calculadas com base na média aritmética das temperaturas máximas e mínimas da massa líquida.

Quadro 3.10.1. Volume de lodo observado e estimado nos reatores.

Parâmetro Reator	VL observado (m ³)	VL estimado (m ³)	Desvio relativo (%)
A	12,93	17,16	-24,60
B	6,00	5,65	6,20
C	2,88	2,99	-3,70
D	8,30	7,73	7,40
E	0,505	0,60	-15,80

Quadro 3.11.1. Temperatura máxima, mínima e temperatura média no interior do reator A no período de julho de 1977 a novembro de 1980.

Mês	Temperatura (°C)		
	Máx.	Mín.	Média
Julho/77	23,64	22,68	23,16
Junho	24,00	22,71	23,35
Agosto	24,29	23,06	23,67
Setembro	25,87	23,79	24,83
Outubro	25,37	24,17	24,77
Novembro	25,48	24,44	24,96
Dezembro	25,5	24,50	25,00
Janeiro/78	25,60	24,60	25,10
Fevereiro	26,0	25,0	25,50
Março	25,70	24,70	25,20
Abril	26,80	25,50	26,15
Maio	26,30	25,10	25,70
Junho	24,50	23,70	24,10
Julho	24,20	23,40	23,80
Agosto	23,80	22,90	23,35
Setembro	23,90	23,20	23,55
Outubro	24,80	23,80	24,30
Novembro	25,50	24,50	25,00
Dezembro	25,50	24,60	25,05
Janeiro/79	26,0	25,00	25,50

Quadro 3.11.1. Temperatura máxima, mínima e temperatura média no interior do reator A no período de julho de 1977 a novembro de 1980.

Mês	Temperatura (°C)		
	Máx.	Mín.	Média
Fevereiro/79	26,40	25,40	25,90
Março	26,50	25,50	26,00
Abril	26,70	25,70	26,20
Maio	25,70	28,20	26,95
Junho	25,00	24,1	24,55
Julho	24,70	23,7	24,20
Agosto	25,3	24,4	24,85
Setembro	25,4	24,5	24,95
Outubro	26,3	25,3	25,80
Novembro	27,1	25,8	26,45
Dezembro	27,5	26,30	26,90
Janeiro/80	27,4	26,10	26,75
Fevereiro	27,5	26,4	26,95
Março	27,6	26,30	26,95
Abril	27,9	26,2	27,05
Maio	27,0	25,8	26,40
Junho	26,30	25,00	25,65
Julho	27,4	25,9	28,65
Agosto	26,0	24,7	25,35
Setembro	26,6	25,30	25,95

Quadro 3.11.1. Temperatura máxima , mínima e temperatura média no interior do reator A no período de julho de 1977 a novembro de 1980 .

Mês	Temperatura(°C)		
	Máx.	Mín.	Média
Outubro/80	27,0	25,3	26,15
Novembro	26,9	25,6	26,25

Quadro 3.11.2. Temperatura máxima, mínima e temperatura média no interior do reator B.

Mês	Temperatura (°C)		
	Máx.	Mín.	Média
Janeiro/81	26,0	25,0	25,5
Fevereiro	26,0	25,0	25,5
Março	26,0	25,0	25,5
Abril	26,0	25,0	25,5
Maio	26,0	25,0	25,5
Junho	26,5	25,0	25,25
Julho	25,5	24,0	24,75
Agosto	25,0	24,0	24,50
Setembro	25,5	24,0	24,75
Outubro	26,0	24,50	25,25
Novembro	26,0	25,0	25,50
Dezembro	26,0	25,0	25,50

Quadro 3.11.3. Temperatura máxima, mínima e temperatura média no interior do reator C no período de julho de 1977 a março de 1979.

Mês	Temperatura (°C)		
	Máx.	Mín.	Média
Julho/77	25,03	24,0	24,51
Agosto	25,50	24,37	24,93
Setembro	26,0	24,85	25,42
Outubro	26,81	25,89	26,35
Novembro	27,0	26,55	26,77
Dezembro	28,08	27,03	27,55
Janeiro/78	28,50	27,60	28,05
Fevereiro	28,40	27,50	27,95
Março	28,0	26,80	27,40
Abril	28,20	26,90	27,55
Maiο	27,50	26,30	26,95
Junho	26,50	25,40	25,95
Julho	26,10	25,0	25,55
Agosto	25,60	24,30	24,95
Setembro	26,10	25,0	25,55
Outubro	26,70	25,70	26,20
Novembro	27,70	26,50	27,10
Dezembro	28,0	26,50	27,25
Janeiro/79	28,50	27,20	27,85
Fevereiro	28,80	27,60	28,20
Março	28,70	27,70	28,20

Quadro 3.11.4. Temperatura máxima, mínima e temperatura média no interior do reator D no período de julho de 1977 a março de 1979.

Mês	Temperatura (°C)		
	Máx.	Mín.	Média
Julho/77	24,93	33,93	24,43
Agosto	25,38	24,37	24,87
Setembro	25,75	24,88	25,31
Outubro	26,55	25,89	26,22
Novembro	27,18	26,47	26,82
Dezembro	27,52	26,68	27,10
Janeiro/78	27,80	27,10	27,45
Fevereiro	27,90	27,20	27,55
Março	27,70	26,70	27,15
Abril	27,80	26,60	27,20
Maio	27,10	25,90	26,50
Junho	26,30	25,30	25,80
Julho	26,0	24,80	25,40
Agosto	25,50	24,30	24,90
Setembro	25,80	24,90	25,35
Outubro	26,60	25,60	26,10
Novembro	27,60	25,50	26,55
Dezembro	27,00	26,00	26,50
Janeiro/79	28,0	27,0	27,50
Fevereiro	28,70	27,40	28,05
Março	28,60	27,20	27,90

Quadro 3.11.5. Temperatura máxima, mínima e temperatura média no interior do reator E no período de agosto de 1978 a setembro de 1979.

Mês	Temperatura (°C)		
	Máx.	Mín.	Média
Agosto/78	25,9	24,1	25,0
Setembro	26,2	24,6	25,4
Outubro	26,8	25,3	26,0
Novembro	28,0	26,4	27,2
Dezembro	27,9	23,6	27,1
Janeiro/79	28,8	27,0	27,9
Fevereiro	29,2	27,3	28,2
Março	29,1	27,5	28,3
Abril	28,7	27,5	28,1
Maio	27,2	26,6	26,9
Junho	24,9	24,7	24,8
Julho	24,8	24,4	24,6
Agosto	25,2	24,6	24,9
Setembro	24,8	24,5	24,6

Quadro 3.11.6. Temperatura média ao longo do tempo de operação no interior dos reatores.

Reator	Temperatura média (°C)	$\delta n-1$
A	25,38	1,099
B	25,25	0,31
C	26,67	1,18
D	26,41	1,07
E	26,40	1,41

4. DISCUSSÃO

Conforme ficou definido anteriormente, este trabalho trata do comportamento do material sólido em reatores anaeróbios primários, em escala piloto, tratando esgoto doméstico do sistema de esgotos da cidade de Campina Grande-PB.

As temperaturas médias no interior dos reatores variaram entre 25,25 e 26,67°C. Pode-se considerar que a faixa de temperaturas experimentadas é bastante estreita impossibilitando o estabelecimento de correlações entre este parâmetro e qualquer um outro ao longo deste estudo, assim como a definição de coeficientes dependentes da temperatura.

Foram analisados cinco reatores operados com períodos de detenção hidráulica médias entre 0,58 e 4,88 dias e com período de operação contínua entre 365 dias (1 ano) e 1350 dias (3,7 anos). Ao longo dos períodos de operação as vazões administradas aos reatores variaram entre um mínimo de 2,40 m³/d no segundo período de operação do reator E e um máximo de 26,78 m³/d no reator C.

As cargas volumétricas de DBO₅, tomando-se como base a DBO₅ média de 250 mg/l, variaram entre 51 e 431 g DBO₅/m³.d. Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, no entanto, fez-se necessário utilizar as cargas volumétricas de sólidos, especialmente de sólidos totais voláteis, como o parâmetro de projeto mais adequado à análise dos reatores experimentados. Isto não é muito comum já que a demanda bioquímica de oxigênio é normalmente o parâmetro escolhido pelos projetistas para determinar as taxas de carregamento com as quais são dimensionados tais reatores. Decorre disso o fato da maioria dos critérios de projeto de reatores anaeróbios basearem-se na DBO₅. Tais critérios, sem dúvida, conduzem a dimensionamento corretos do ponto de vista do funcionamento dos reatores anaeróbios, mas não determinam muitas informações a respeito de elementos operacionais como efi

ciência de remoção de materiais, acumulação de lodo e frequência de limpeza.

Foi verificado, neste trabalho, que a carga volumétrica de sólidos totais voláteis influi sobre alguns parâmetros como eficiência de remoção de sólidos totais voláteis, com base nas massas de sólidos afluente e efluente ao longo do período de operação, concentração de sólidos totais voláteis no lodo acumulado, taxa de transformação de sólidos totais voláteis e volume de lodo acumulado.

Constatou-se que a eficiência de remoção de massa de sólidos totais voláteis é influenciada exponencial e inversamente pela carga volumétrica da fração volátil dos sólidos totais (vide fig. 3.5.2). Uma explicação física para isto pode estar baseada no fato de que a carga, quociente entre a massa afluente diária de sólidos totais voláteis e volume do reator, determina as condições de fluxo hidráulico através do reator, os quais exercem influência sobre a separação da fase sólida especialmente na decantação de material particulado. A influência das condições de fluxo pode ser estendida à camada de lodo, determinando o maior ou menor arrastamento do material já sedimentado, se bem que, isto pode ser influenciado também pela intensidade da atividade biológica (Digestão anaeróbia) no lodo depositado no fundo do reator.

As relações encontradas entre as eficiências de remoção de massa de sólidos suspensos voláteis e as respectivas cargas volumétricas de sólidos, indicam comportamento análogo e contribuem para reforçar as argumentações feitas acima.

A carga volumétrica de sólidos totais voláteis, influi exponencial e diretamente sobre a concentração de sólidos totais voláteis no lodo acumulado e isso indica que, apesar da provável influência do fluxo hidráulico sobre a remoção de material sólido, a quantidade de sólidos voláteis administrada, por unidade de volume, na unidade de tempo ao reator, é um dos fatores que mais contribui para o acréscimo da concentração de sólidos acumulados no interior

do reator (vide fig. 3.1.2). O efeito da carga volumétrica de sólidos totais voláteis sobre as taxas de transformação de sólidos totais voláteis pode ser interpretado pela equação de uma linha reta que passa pela origem do sistema de eixos. A taxa de transformação de sólidos totais voláteis, isto é a quantidade de sólidos totais voláteis que é gaseificada por unidade de volume na unidade de tempo é, de acordo com a equação 3.7.11, cerca de 56,2% da carga volumétrica de sólidos totais voláteis. Sendo a taxa de transformação de sólidos totais voláteis uma fração fixa da carga volumétrica e levando-se em conta somente os efeitos da transformação e da acumulação de sólidos totais voláteis, pode-se entender que a massa desses sólidos no lodo acumulado deve ser crescente na medida em que a carga aumenta.

O volume de lodo acumulado no interior dos reatores é parcialmente influenciado pela carga volumétrica de sólidos totais voláteis que entra em cada reator ao longo dos respectivos períodos de operação.

A equação que estima o volume de lodo acumulado nos reatores, é pois, influenciada por uma combinação de valores de carga volumétrica de sólidos totais voláteis e massa afluente de sólidos totais voláteis. Uma análise mais detalhada da equação 3.10.3 mostra que para diferentes cargas volumétricas de sólidos totais voláteis (entre 0,10 e 1,0 $\text{kg/m}^3 \cdot \text{d}$) pode ser obtida uma família de curvas que representam as variações dos volumes de lodo acumulado com as massas de sólidos totais voláteis afluentes. A figura 4.1, ilustra o comportamento da família de curvas e verifica-se que todas as curvas apresentam a tendência de se comportar da seguinte maneira:

- Inicialmente os valores do Volume de lodo (VL) são crescentes com as de massa de sólidos totais voláteis afluente (MSTVA);

- É atingido um valor máximo de VL para um determinado valor de MSTVA em cada curva correspondente a cada carga volumétrica;

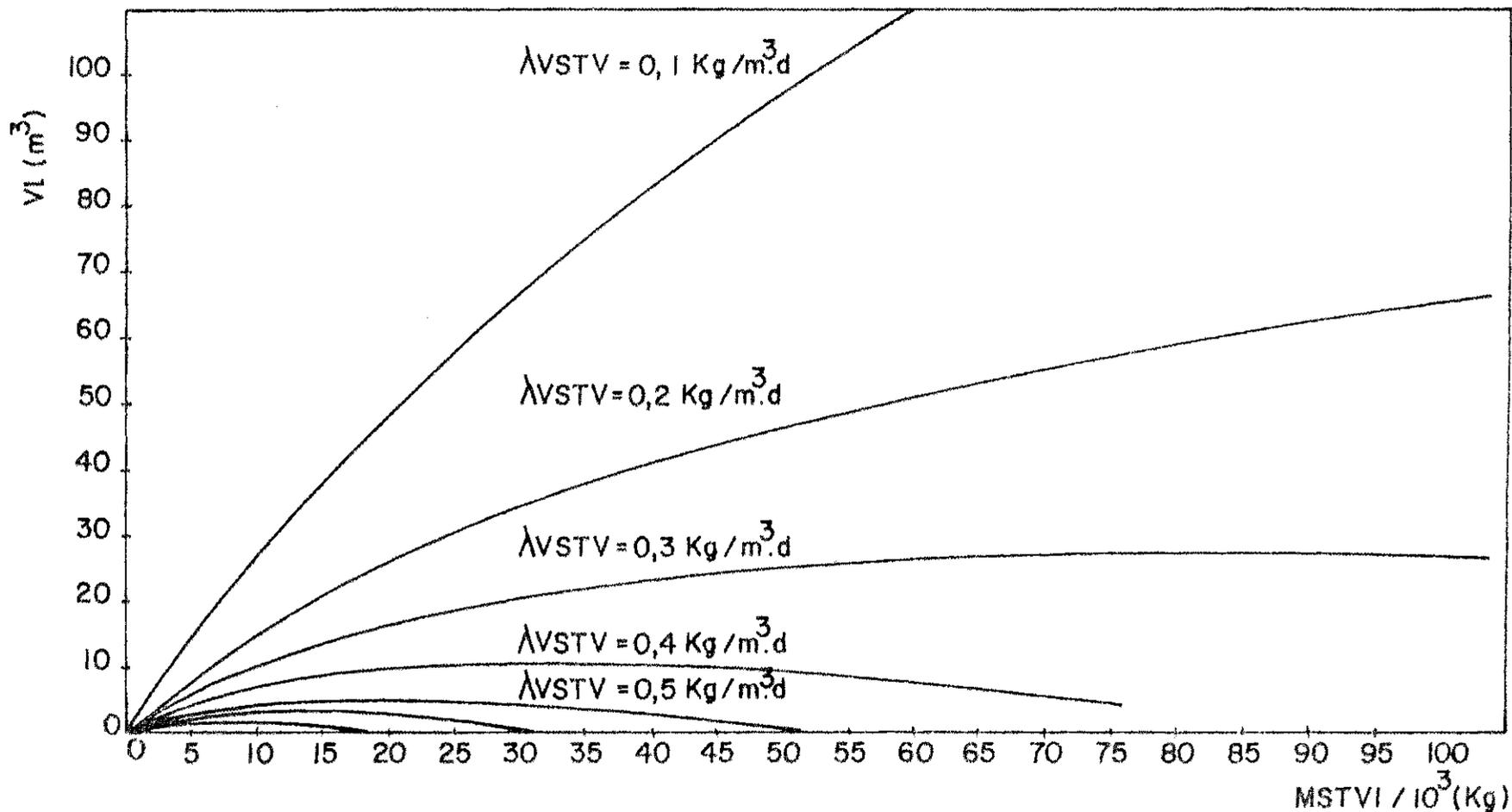


Fig - 4.1 - VARIAÇÃO DO VOLUME DE LODO ACUMULADO, ESTIMADO PELA EQUAÇÃO 3.10.3., EM FUNÇÃO DA MASSA AFLUENTE DE SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS, PARA DIFERENTES CARGAS VOLUMÉTRICAS DE SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS.

- Os valores de VL diminuem, anulam-se e tornam-se inclusive negativos.

Os valores de MSTVA para os quais os volumes de lodo são máximos obedecem a seguinte expressão:

$$\text{MSTVA} = 3381 \lambda \text{VSTV}^{-2,50} \quad (4.1)$$

A equação 4.1 resultou da derivação da equação 3.10.3 em relação a MSTVA e define o valor de MSTVA para o qual a derivada primeira se anula e a derivada segunda é negativa. Para a carga de $0,1 \text{ kg STV/m}^3 \cdot \text{d}$, um volume máximo de lodo acumulado é obtido para a massa de $1.069.166,1 \text{ kg STV}$; já para a carga de $1,0 \text{ kg STV/m}^3 \cdot \text{d}$ um volume máximo de $0,79 \text{ m}^3$ é obtido para uma massa afluyente de sólidos totais voláteis de 3381 kg . A carga volumétrica de sólidos totais voláteis depende da concentração de sólidos totais voláteis, da vazão de esgotos e do volume do reator. Naturalmente para uma mesma carga podem existir, por exemplo, lagoas com volumes de 50 m^3 e 500 m^3 .

A massa de sólidos totais voláteis afluyente depende da concentração de STV, da vazão e do tempo de operação e um reator de 50 m^3 projetado com uma carga de, por exemplo $0,50 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$, apresentará uma MSTVA significativamente menor que a de um reator de 500 m^3 projetado com a mesma carga num mesmo tempo de operação.

Tomando como base o exemplo acima e levando em conta que os dois reatores, A, com um volume de 50 m^3 e B com um volume de 500 m^3 sejam projetados com a carga de $0,5 \text{ kg STV/m}^3 \cdot \text{d}$ e operados por um tempo de 3 anos, as massas de sólidos voláteis administrados aos dois reatores serão respectivamente de 27375 kg e 273750 kg . Utilizando a equação 3.10.3 para estimar os volumes de lodo acumulados nos dois reatores são obtidos respectivamente os valores de $5,15 \text{ m}^3$ e $140,13 \text{ m}^3$. Tomando um terceiro reator C de 5000 m^3 de volumes útil e utilizando a equação 3.10.3 o volume de lodo acumulado passa a ser $- 3391,96 \text{ m}^3$. Na realidade a equação

3.10.3 é válida, estatisticamente para as condições de operação dos reatores, em escala piloto, investigados mas seu poder de extrapolação, pelo menos nas bases aqui discutidas, não existe. Diante da impossibilidade de estender para escalas reais, os resultados aqui obtidos, no tocante e estimativa do volume de lodo acumulado, voltam-se as vistas para a utilização de coeficientes per-capita de acumulação de lodo como, tradicionalmente, se faz no projeto de reatores anaeróbios primários.

Foram consideradas para efeito de estimativa das taxas médias de acumulação per-capita de lodo, três contribuições médias per-capita de esgoto: 100 l/hab.dia; 150 l/hab.d e 200 l/hab.d; isso decorreu do fato de não ser conhecida, com precisão, o valor da contribuição per-capita para a cidade de Campina Grande. Conforme o que foi apresentado no quadro 3.8.1, verifica-se que as taxas de acumulação per-capita de lodo são de $0,035 \text{ m}^3/\text{hab.ano}$; $0,052 \text{ m}^3/\text{hab.ano}$ e $0,070 \text{ m}^3/\text{hab.ano}$ respectivamente para as contribuições citadas. Pode-se admitir, no entanto, que a contribuição per-capita de 100 l/hab.dia representa um valor realista para as condições de Campina Grande e dessa maneira a taxa média de acumulação per-capita de lodo situar-se-á em torno de $0,035 \text{ m}^3/\text{hab.ano}$, a qual é compatível com aquelas determinadas em Zâmbia e na África do Sul, entre $0,03$ e $0,04 \text{ m}^3/\text{hab.ano}$. Nessas condições o valor de $0,04 \text{ m}^3/\text{hab.ano}$, pode ser considerado como um bom valor de projeto.

Fica no entanto marcada a influência da carga volumétrica de sólidos totais voláteis, sobre o desempenho de reatores anaeróbios primários, tratando esgoto doméstico. Retomando a expressão da eficiência de remoção de sólidos totais voláteis, pode-se esboçar um roteiro de projeto com base no seguinte:

1º) Escolher uma eficiência de remoção adequada de sólidos totais voláteis;

2º) Determinar a carga volumétrica de sólidos totais

voláteis correspondente àquela eficiência com o uso da equação 3.5.3;

3º) Calcular o período de detenção hidráulica com base no quociente entre a concentração média de sólidos totais voláteis (Quadro 3.1.1) do esgoto bruto afluente e a carga volumétrica;

4º) Determinar o volume útil do reator pelo produto da vazão média afluente pelo período de detenção hidráulica;

5º) Estimar a frequência de limpeza com base no critério que diz que o reator deve ser limpo quando metade do seu volume estiver ocupado por lodo e que usa dados relativos à população e a taxa média per-capita de acumulação de lodo. Eq. 1.2.2.3.2

Como exemplo pode-se examinar o seguinte conjunto de dados e projetar um reator anaeróbio primário:

População = 20.000 hab.

Contribuição per-capita de esgoto = 100 l/hab.d

Vazão = 2.000 m³/dia

Taxa per-capita de acumulação de lodo = 0,04 m³/hab.ano

Admitindo-se uma eficiência de remoção de sólidos totais voláteis de 60%, a carga volumétrica será $K_{VSTV} = 0,310$ kg STV/m³.d, o período de detenção hidráulica será $t_d = 1,55$ dias e volume útil do reator $V = 3100$ m³. O tempo de limpeza será de 2 anos.

O roteiro de projeto aqui esboçado pode se constituir num critério alternativo de projeto de reatores anaeróbios primários, tratando esgoto doméstico típico do sistema de esgoto de Campina Grande, embora se reconheça que critérios de projeto com base na DBO₅ sejam tradicionalmente bem aceitos pelos projetistas.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Como decorrência da análise e discussão dos dados pesquisados pode ser concluído o seguinte:

- 5.1. Os reatores anaeróbios primários reduzem significativamente a matéria sólida presente no esgoto doméstico, atingindo uma eficiência média de 60% na remoção dos sólidos totais voláteis e 84% na remoção dos sólidos suspensos.
- 5.2. Os sólidos totais voláteis são, devido a ação biológica, bastante reduzidos e ficou demonstrado que a eficiência de remoção da massa de sólidos totais voláteis é influenciada pela carga volumétrica de sólidos totais voláteis de acordo com a equação:

$$ERMSTV = 56,456 \lambda VSTV^{-0,052}$$

- 5.3. A eficiência de remoção da massa de sólidos suspensos atingiu uma média de 84% e essa eficiência pode ser estimada utilizando-se a seguinte equação:

$$ERMSS = 73,866 \lambda VSS^{-0,0731}$$

- 5.4. O lodo acumulado nos reatores apresentou elevada concentração de sólidos totais voláteis e foi determinado que a concentração destes sólidos é exponencial e diretamente dependente da carga volumétrica de sólidos totais voláteis, conforme mostra a equação:

$$STVA = 47,785 \lambda VSTV^{0,268}$$

5.5. A taxa média de acumulação per-capita de lodo, considerando-se uma contribuição per-capita média de esgoto de 100 l/hab.d é da ordem de $0,035 \text{ m}^3/\text{hab. ano}$ sendo compatível com os valores observados em Zâmbia e na África do Sul. (Mara, 1976).

5.6. Considerando-se o volume de lodo afluente o volume médio de lodo digerido efluente e o volume de lodo acumulado no reator, verificou-se que o coeficiente de redução de volume de lodo afluente variou entre 0,1 e 0,2, conforme a equação:

$$CRVL = \frac{VL + VLE}{VLA}$$

5.7. Que da fração correspondente aos sólidos totais fixos os reatores anaeróbios primários conseguem transformar uma média de 5%.

5.8. A taxa de transformação de sólidos totais alcançou a média de $0,30 \text{ KgST}/\text{m}^3.\text{d}$, e esta taxa pode ser determinada pela equação:

$$TTST = 0,284 \cdot \sqrt[1,111]{VST}$$

5.9. O volume de lodo acumulado, que depende da carga volumétrica de sólidos totais voláteis e da massa de sólidos totais afluente, pode ser estimado pela seguinte equação:

$$VL = 12 \cdot 10^{-3} \sqrt[0,32]{VSTV} \cdot MSTVA - 10^{-2} \sqrt[0,27]{VSTV} \cdot MSTVA^{1,02}$$

5.10. Recomenda-se que seja investigado o comportamento do material sólido em reatores facultativos primários e secundários tratando esgotos domésticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCEIVALA, S.J. et al. Waste Stabilization Ponds, Design Construction and Operation in India. Central Public Health Engineering Research Institute, Nagpur, India, 1970.
- LUMBERS, J.P. Waste Stabilization Ponds: Design Considerations and Methods. The Public Health Engineer, vol7, Nº 2 pp.70 of 77, 1979.
- MARA, D.D. Sewage Treatment in Hot Climates - John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England, 1976.
- METCALF & EDDY, Tratamiento y Depuración de las Águas Residuales. Editorial Labor S.A, 2ª Edición, Barcelona, 1981.
- MIJARES, G.R. Tratamiento del Agua Residual. Editora Vargas S.A. Venezuela, 1967.
- SAWER, Clair N. & Mc Carty, Perry L. Chemistry for Sanitary Engineers. New York, Mc Graw - Hill Book Company, 1967.
- SILVA, S.A. Tratamento de esgoto doméstico em Lagoas de Estabilização no Nordeste do Brasil. Tese de Doutorado. Universidade de Dundee, Escócia. 1982.
- SILVA, S.A. & MARA, D.D. Tratamentos Biológicos de Águas Residuárias - Lagoas de Estabilização. Rio de Janeiro, ABES, 1979.
- SPIEGEL, M. R. Estatística - Coleção Schaum, Tradução de Pedro Consentino, ed. revisada por Carlos José Pereira de Lucena, Mc Graw-Hill do Brasil, São Paulo, 1977.

WPCF, AWWA, APHA. Standard Methods for the Examination of
Water and Wastewater, 14th edition. Washington, 1975.

WPCF, AWWA, APHA. Standard Methods for the Examination of
Water and Wastewater, 15th edition. Washington, 1980.

ANEXO 01

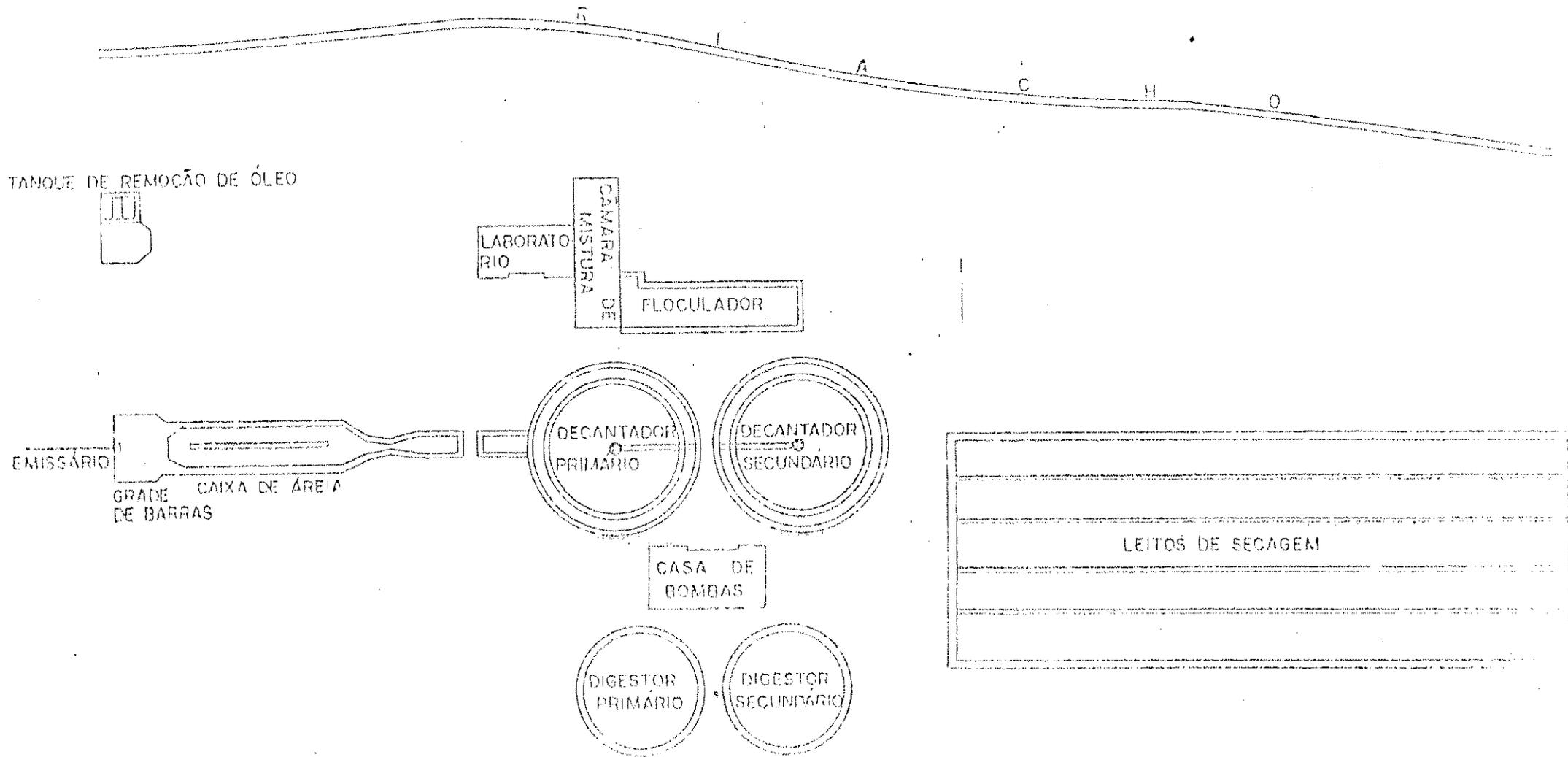
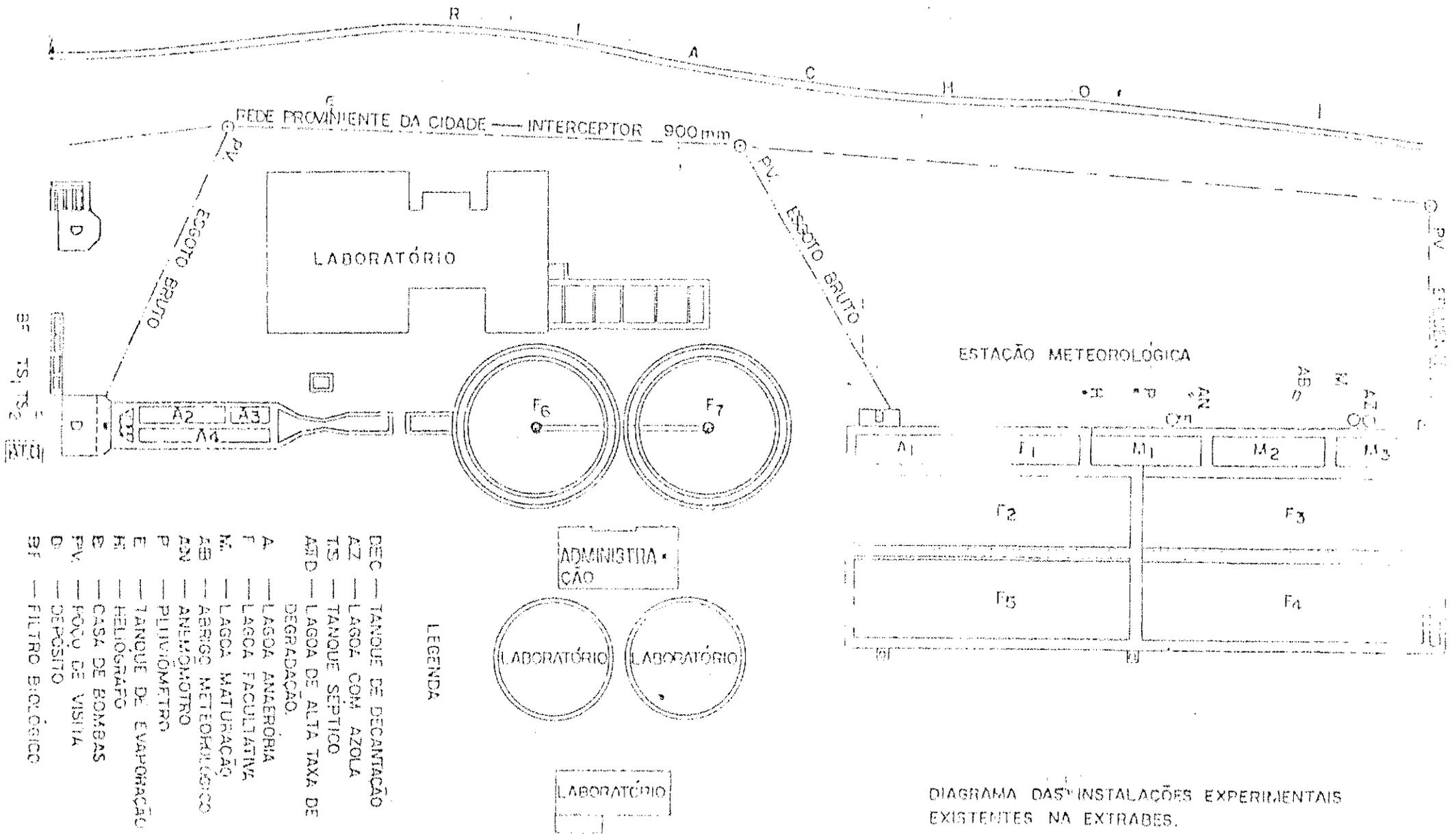


DIAGRAMA DAS INSTALAÇÕES EXISTENTES NA ANTIGA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE CAMPINA GRANDE, PARAIBA

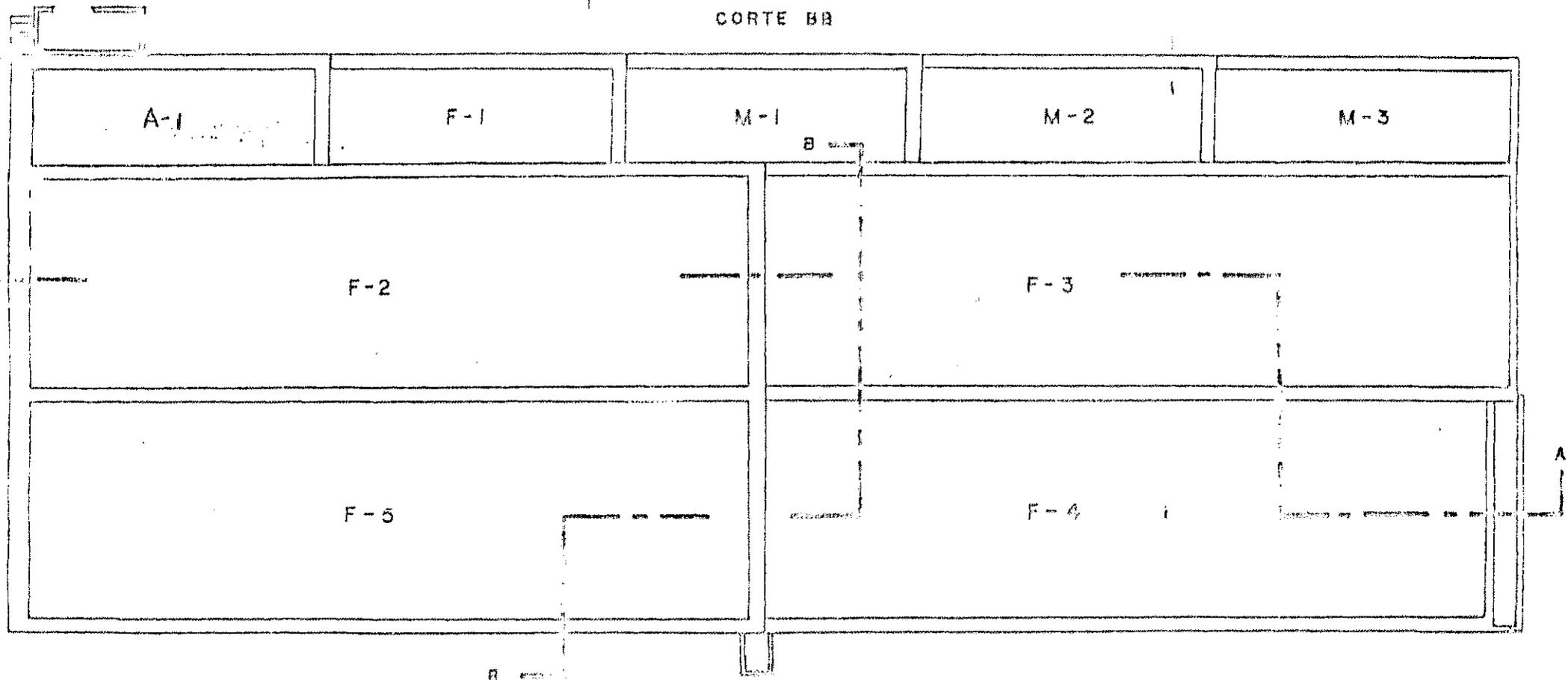




CORTE AA



CORTE BB

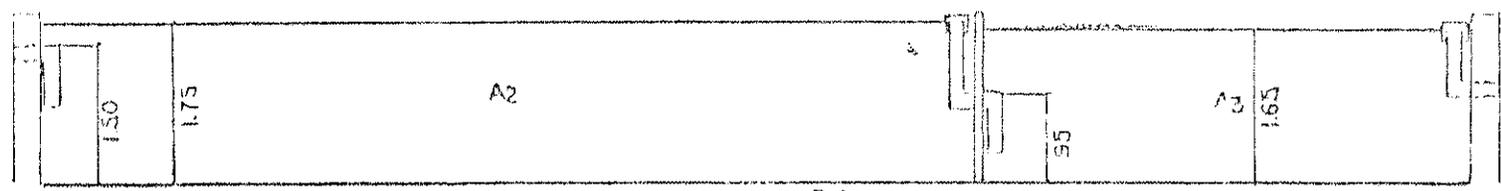


PLANTA BAIXA

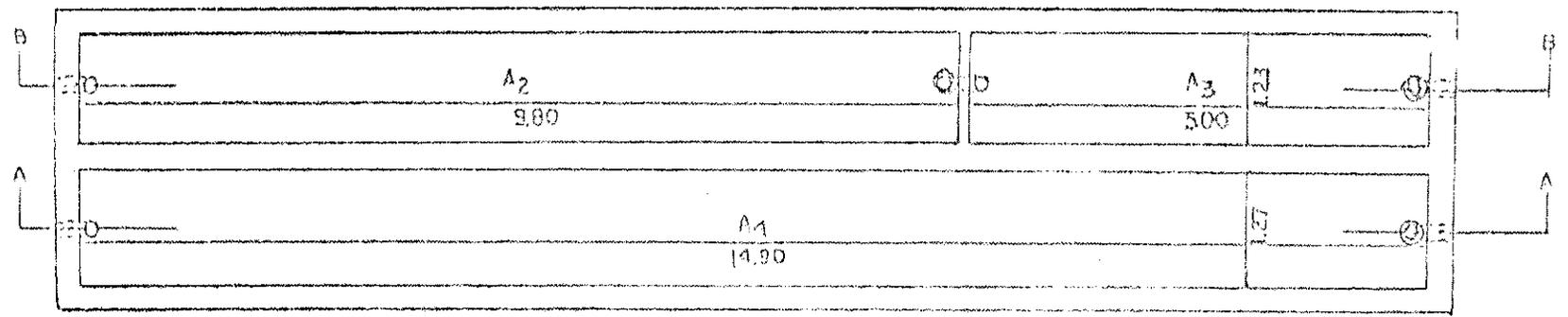
Detalhes dos Reatores A e B (Lagoa A₁)



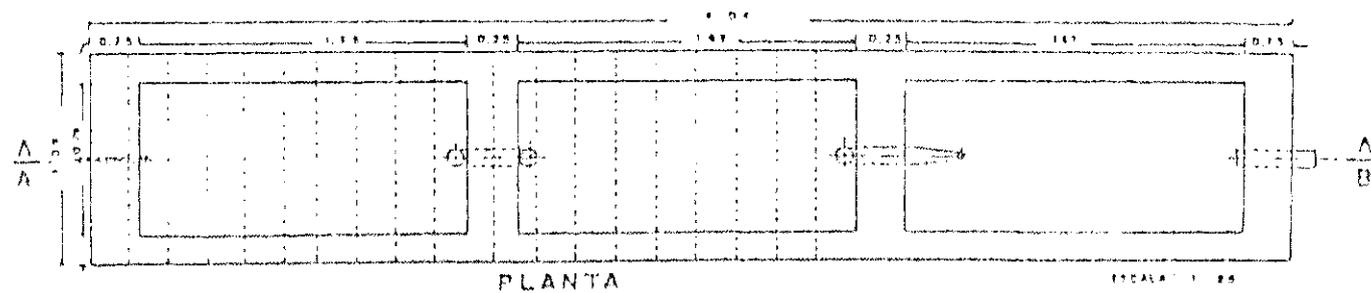
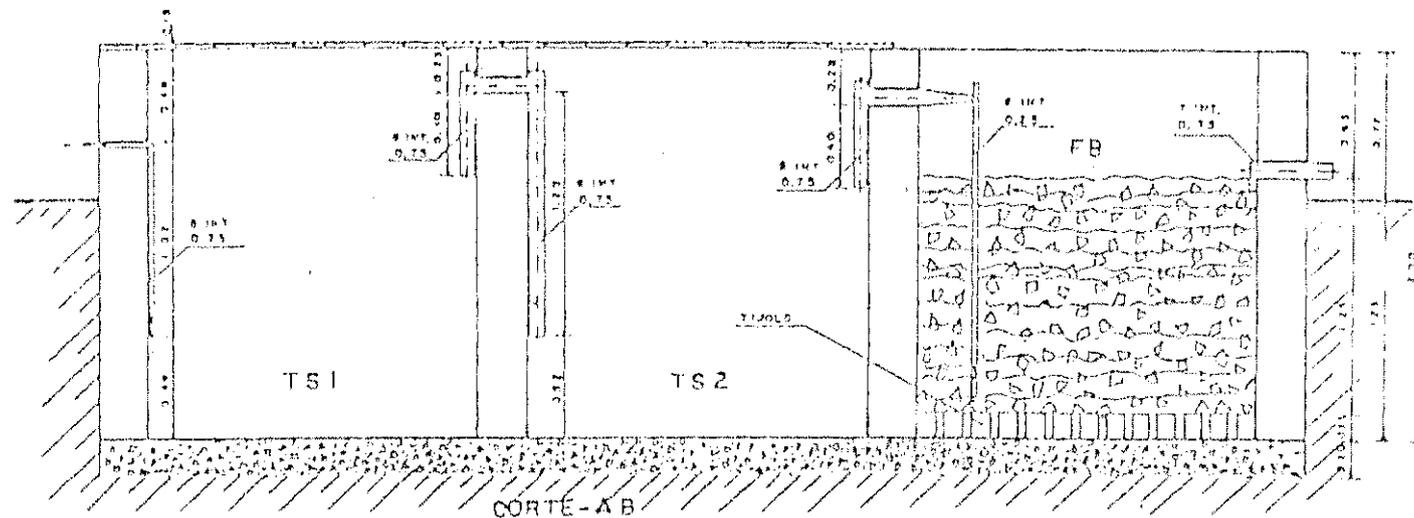
CORTE A-A



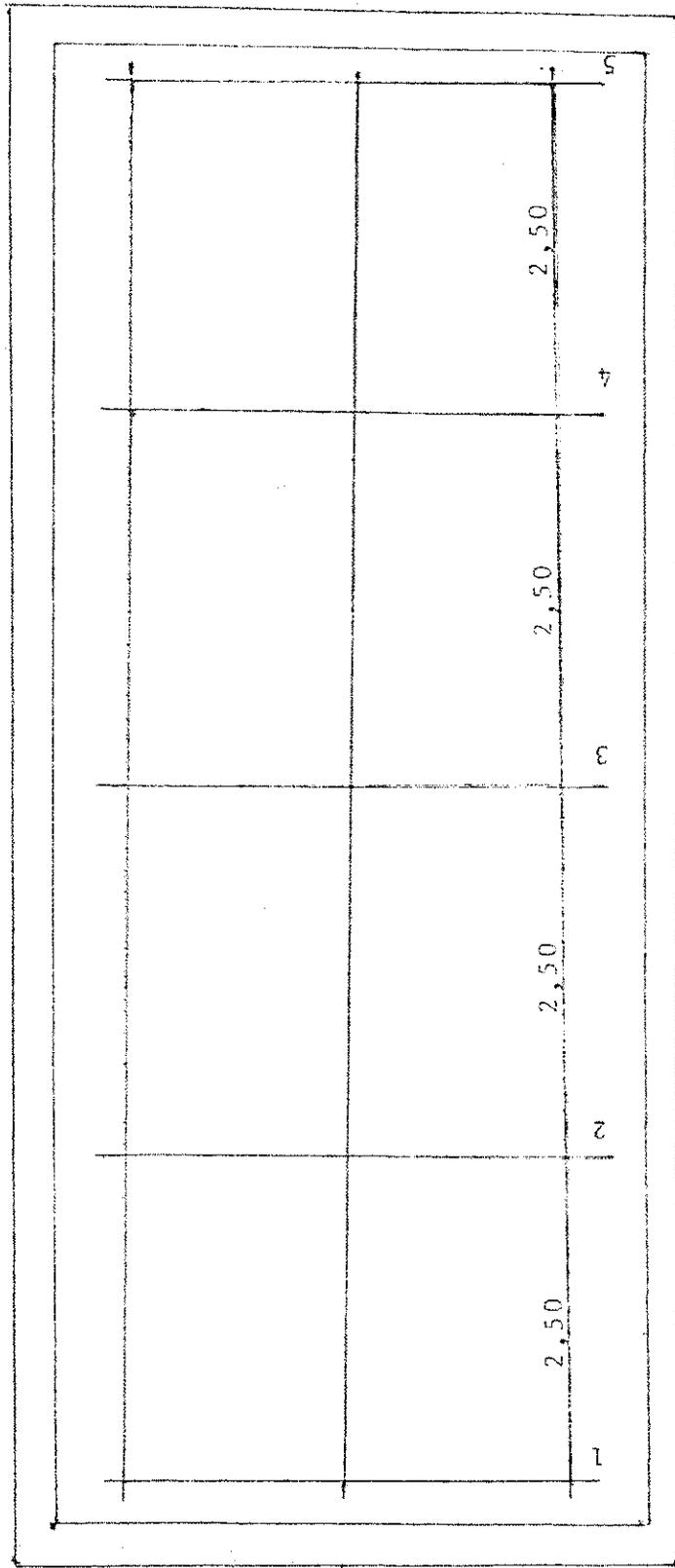
CORTE B-B



Detalhes dos Reatores C e D (Lagoa A₂ e A₄)



Detalhes do Reator E (Tanques Séptico - 1  Câmara)



Detalhes do Seccionamento dos Reatores A e B