

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS  
SUB-ÁREA: ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

SEDIMENTAÇÃO DE LODO ATIVADO

por

CARLOS ANTONIO ALVES PONTES

CAMPINA GRANDE - PB

JANEIRO/1986

CARLOS ANTONIO ALVES PONTES

SEDIMENTAÇÃO DE LODO ATIVADO

Dissertação apresentada ao Cur  
so de Mestrado em Engenharia Ci  
vil da Universidade Federal da  
Paraíba, em cumprimento às exi  
gências para a obtenção do grau  
de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS

ORIENTADORES:

ADRIANUS CORNELIUS van HAANDEL  
RUI DE OLIVEIRA

CAMPINA GRANDE - PB

JANEIRO/1986

**DIGITALIZAÇÃO:**  
**SISTEMOTECA - UFCG**

P814s Pontes, Carlos Antonio Alves.  
Sedimentação de lodo ativado / Carlos Antonio Alves  
Pontes. Campina Grande, 1986.  
98 f.

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

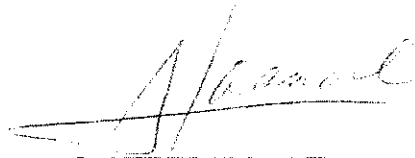
1. Lodo Ativado - Segmentação. 2. Recursos Hídricos. 3.  
Dissertação - Engenharia Civil. I. Haandel, Adrianus  
Cornelius Van. II. Oliveira, Rui de. III. Universidade  
Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 628.355(043)

SEDIMENTAÇÃO DE LODO ATIVADO

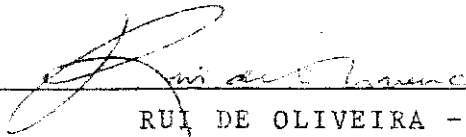
CARLOS ANTONIO ALVES PONTES

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 14/01/1986



---

ADRIANUS CORNELIUS van HAADEL - Ph.D.



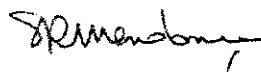
---

RUI DE OLIVEIRA - M.Sc.



---

SALOMÃO ANSELMO SILVA - Ph.D.



---

SÉRGIO ROLIM MENDONÇA - M.Sc.

CAMPINA GRANDE - PB

JANEIRO / 1986

## LISTA DE SIMBOLOS

$A$	= área transversal do decantador
$A_d$	= área transversal do adensador por unidade de DQO aplicada ao sistema
$a_m$	= área mínima por unidade de vazão influente
$b_h$	= constante de digestão aeróbia
$C$	= concentração de sólidos suspensos
$C_e$	= concentração de sólidos que entra no decantador
$C_l$	= concentração limitante
$C_m$	= concentração mínima de lodo de retorno
$C_r$	= concentração de lodo de retorno
$f$	= fração do resíduo endógeno
$f_{ip}$	= concentração de sólidos inorgânicos por unidade de DQO
$f_{up}$	= fração da DQO influente que é particulada e não biodegradável
$f_{us}$	= fração da DQO influente que é solúvel e não biodegradável
$F$	= fluxo de sólidos que passa num determinado nível do decantador
$F_{Des}$	= descarga de sólidos
$F_l$	= fluxo limitante
$(F_l)_{m\acute{a}x}$	= fluxo limitante máximo
$F_r$	= fluxo de recirculação

$F_s$	= fluxo de sedimentação
$F_{sol}$	= carga de sólidos aplicada ao decantador
$(F_{sol})_{ad}$	= carga de sólidos a ser aplicada ao adensador
$M_e$	= massa de sólidos que entra no decantador por <u>u</u> nidade de tempo
$MS_{ti}$	= massa de DQO aplicada diariamente
$mW_t$	= massa de sólidos descarregado diariamente por <u>u</u> nidade de DQO aplicada ao sistema
$mX_t$	= massa de lodo no sistema por unidade de massa de DQO aplicada diariamente
$p$	= razão DQO/SSV
$Q_e$	= vazão que entra no decantador
$Q_i$	= vazão influente ao sistema principal
$Q_r$	= vazão de lodo de retorno
$R$	= fator de recirculação
$R_s$	= idade de lodo
$S_{ti}$	= DQO influente
$T_r$	= taxa de recirculação
$T_s$	= taxa de escoamento superficial
$V_d$	= volume do decantador secundário
$V_r$	= volume do reator biológico
$V_t$	= volume total do sistema principal de tratamento
$V$	= velocidade de descida dos sólidos
$V_s$	= velocidade de sedimentação
$V_o, K$	= parâmetros que caracterizam a sedimentação do <u>lo</u> do

## RESUMO

Neste trabalho, interpreta-se um modelo matemático para dimensionar Decantadores Secundários, levando-se em consideração as características de sedimentação do lodo e a recirculação do lodo dentro do sistema principal de tratamento. Para isto, analisa-se o funcionamento em regime contínuo de um Decantador Secundário que recebe uma vazão de licor misto proveniente do Reator Biológico. Parte desta vazão sai como efluente clarificado (livre de sólidos em suspensão), e a parte restante retorna ao Reator Biológico como lodo decantado. De acordo com as características de sedimentação do lodo e as condições de operação definidas pela vazão de recirculação os sólidos são distribuídos dentro do decantador formando três regiões distintas, região de sedimentação uniforme, zona de transição e região de compressão. Estas regiões são importantes no estabelecimento de critérios que consistem na capacidade de transmissão de sólidos e na retirada de sólidos do fundo do decantador. Para a avaliação de tais critérios utiliza-se o conceito de Fluxo de Sólidos que é estudado a partir das curvas de fluxo (Curva de Fluxo de Sedimentação e Curva de Fluxo de Recirculação). A formulação matemática do modelo envolve a utilização da Equação de Vesilind que expressa a velocidade de sedimentação em zona como uma função exponencial da concentração de

sólidos suspensos. No capítulo 5 discute-se o uso do modelo para otimizar o dimensionamento do sistema principal de tratamento.

Para justificar o uso da Equação de Vesilind, são feitos ensaios de sedimentação que consistem na determinação da velocidade de sedimentação em zona, variando-se a concentração de sólidos suspensos totais dentro de uma faixa de 2 a 7 g/l. O lodo ensaiado foi gerado, a partir de esgoto doméstico da cidade de Campina Grande, com Idade de Lodo de cinco dias a uma temperatura média ambiente de 28°C. Os ensaios foram repetidos para o lodo digerido aerobiamente durante um, três e cinco dias. Para a efetivação dos ensaios foi construído um sistema composto por um Cilindro de Sedimentação, (para a efetivação do ensaio propriamente dito), uma Lagoa Aerada alimentada intermitentemente (para a geração do lodo), e um Digestor Aeróbio (para a estabilização do lodo).

O trabalho experimental foi desenvolvido nas instalações do Laboratório de Saneamento do Centro de Ciências e Tecnologia da UFPb - Campus II, da cidade de Campina Grande - Pb.



## ABSTRACT

In this work a mathematical model is interpreted to be used in the design of secondary settlers. The model considers the settling characteristics and recirculation of the sludge through the system. The performance of a secondary settler receiving mixed liquor from a biological reactor is analysed for steady state conditions. A fraction of the mixed liquor flow leaves the settler as clarified effluent and the remainder returns to the biological reactor as settled sludge. According to the settling characteristics of the sludge and operational conditions solids are distributed through the settling tank in three regions: uniform sedimentation region, transition zone and compression zone. These regions are very important to establish design criteria which are based on the solids transmission capacity and on the output of solids from the bottom of the tank. The evaluation of such criteria is based on the solids flux concept studied from batch flux and discharge flux curves. Vesilind's equation expresses the zone settling velocity as an exponential function of the suspended solids concentration. This equation is used in the mathematical model formulation. In chapter 5 the use of the model for design optimization of the whole system is discussed.

Settling test were carried out to assess the validity

of Vesilind's equation. Zone settling velocities were determined for suspended solids concentrations varying within a range of 2.0 to 7.0 g. $\ell^{-1}$ . These tests were performed using a settling cylinder, an aerated tank and an aerobic digester all built at laboratory scale.

The experimental work was carried out at the Laboratory of the Sanitary and Environmental Engineering Area - UFPB - Campus II - Campina Grande - PB - Brazil.

## ÍNDICE

	Página
LISTA DE SIMBOLOS .....	ii
RESUMO .....	iv
ABSTRACT .....	vi
INTRODUÇÃO .....	01
1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	05
1.1 - Generalidades da sedimentação .....	05
1.1.1 - Sedimentação discreta .....	07
1.1.2 - Sedimentação flocculenta discreta .....	08
1.1.3 - Sedimentação estorvada .....	08
1.1.4 - Sedimentação em zona .....	08
1.1.5 - Sedimentação por compressão .....	09
1.2 - Considerações sobre sedimentação em zona .....	09
1.2.1 - Determinação da velocidade da sedimentação em zo na .....	10
1.2.2 - Fatores que afetam a medida da velocidade em zo na .....	12
1.2.3 - Relação entre a velocidade de sedimentação em zo na e a concentração de sólidos suspensos .....	13
1.2.4 - Curva de fluxo de sedimentação .....	14
1.3 - Considerações sobre o lodo produzido em sistema de lodo ativado .....	16
1.3.1 - Determinação da massa de lodo .....	17

1.3.2 - Estabilização de lodo .....	18
2 - DESENVOLVIMENTO DO MODELO MATEMÁTICO PARA O DIMEN SIONAMENTO DE DECANTADORES SECUNDÁRIOS DE SISTEMAS UNITÁRIOS DE LODO ATIVADO .....	21
2.1 - Funcionamento em regime contínuo de un decantador secundário .....	21
2.1.1 - Alimentação e operação .....	25
2.1.2 - Distribuição dos sólidos ao longo do decantador.	27
2.1.3 - Capacidade de transmissão de sólidos no decanta dor .....	29
2.1.3.1 - Curvas de fluxo .....	30
2.1.3.2 - Fluxo limitante .....	33
2.1.3.3 - Método gráfico para determinação do fluxo limi tante .....	35
2.2 - Formulação do modelo matemático para o dimensio namento de decantadores secundários .....	37
2.2.1 - Aplicação da equação de Vesilind para determina ção analítica do fluxo $F_{\ell}$ e das concentrações $C_{\ell}$ e $C_m$ .....	37
2.2.2 - Área mínima .....	40
3 - MATERIAIS E MÉTODOS .....	43
3.1 - Descrição do sistema .....	44
3.1.1 - Cilindro de sedimentação .....	44
3.1.2 - Lagoa aerada .....	46
3.1.3 - Digestor aeróbio .....	46
3.2 - Procedimento experimental .....	46

	Página
3.3 - Procedimento analítico .....	48
4 - APRESENTAÇÃO DOS DADOS E RESULTADOS .....	52
5 - DISCUSSÃO .....	77
5.1 - Resultados obtidos em laboratório.....	77
5.2 - Dimensionamento de decantadores secundários ...	79
5.2.1 - Cálculo da área de um decantador secundário .	83
5.2.2 - Cálculo do volume de um decantador secundário	85
5.3 - Otimização do dimensionamento do sistema princi pal reator biológico - decantador secundário ..	86
5.4 - Dimensionamento de adensadores .....	91
6 - CONCLUSÕES .....	94
7 - SUGESTÕES .....	96
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	97

## INTRODUÇÃO

O lodo, produzido em Sistemas de Lodo Ativado, é a fase sólida da suspensão de licor misto, cuja fase líquida é composta, basicamente, por água e material dissolvido. O lodo deve ser separado da fase líquida, que sai do sistema como efluente clarificado, permanecendo no sistema, até ser retirado como lodo de excesso. Por sua vez, o lodo de excesso deve ser concentrado para diminuir seu volume e facilitar seu tratamento e disposição final. A separação sólidos-líquido é feita através de sedimentação por gravidade, constituindo-se no principal fenômeno que ocorre nas unidades de decantação final e adensamento.

Em Sistemas Unitários de Lodo Ativado, o Reator Biológico e o Decantador Secundário formam o Sistema Principal de Tratamento. O Reator Biológico é a unidade onde ocorre a depuração da carga orgânica influente, e o Decantador Secundário é a unidade de separação sólidos-líquidos, que promove a clarificação do efluente e proporciona o retorno de lodo para o Reator Biológico. Nestes sistemas, ainda existe uma outra unidade de separação sólidos-líquido, que é auxiliar do Sistema Principal de Tratamento, utilizada para receber o lodo de excesso e fornecer um lodo adensado de alta concentração. Esta unidade é chamada de Adensador.

O funcionamento do Reator Biológico depende da eficiência

cia de separação sólidos-líquido do Decantador Secundário . Se a separação for imperfeita, haverá descarga de sólidos no efluente, ocasionando perdas de lodo. Essas perdas podem acarretar uma diminuição da massa de lodo, que é responsável pela depuração da carga orgânica influente. Além disso, uma descarga de sólidos no efluente, aumenta, consideravelmente, a concentração de material orgânico remanescente, o que compromete a eficiência de todo o sistema. Um outro aspecto a considerar, no que diz respeito à importância dos Decantadores Secundários, é o problema do volume de tais unidades, que representa uma parcela significativa na composição dos custos totais de construção do sistema. Já os Adensadores, como unidades auxiliares de separação sólidos-líquido, também desempenham papel de suma importância nos Sistemas de Lodo Ativado, isto porque, reduzem, consideravelmente, a um baixo custo, o volume do lodo de excesso, e proporcionam grande economia no seu tratamento e disposição final. Por estas razões, o dimensionamento das unidades de separação sólidos-líquido deve ser feito em bases racionais, de maneira que, garanta o funcionamento do sistema com a eficiência desejada, proporcione a minimização dos custos de construção, e torne mais econômicos o tratamento e disposição final do lodo de excesso.

Os objetivos, a que se propõe o presente trabalho, são de dois tipos, um de cunho teórico e outro com caráter experimental.

No plano teórico, os objetivos consistem em si interpretar um modelo matemático para dimensionar Decantadores

Secundários, levando-se em consideração a efetivação simultânea das funções de clarificação e de adensamento, exercidas por tais unidades. Para tanto, se faz necessária uma análise do funcionamento, em regime contínuo, de um Decantador Secundário, estudando-se o comportamento da distribuição dos sólidos no decantador, relacionado às características de sedimentação do lodo e à retirada de lodo para o reator. A formulação matemática do modelo, envolve a utilização da expressão de Vesilind ( $V_s = V_o \cdot \text{Exp}(-KC)$ ), que dá a velocidade de sedimentação em zona como uma função exponencial da concentração de sólidos em suspensão no licor misto, onde as constantes  $V_o$  e  $K$  são os parâmetros que caracterizam a sedimentação do lodo ativado.

Ainda no plano teórico, mostra-se a utilidade do modelo matemático para otimizar o dimensionamento do sistema principal de tratamento, com a finalidade de minimizar os custos totais de construção, representados pelos volumes do reator e do decantador.

No tocante ao dimensionamento de Adensadores, os objetivos teóricos se atêm, apenas, a estudar uma expressão para a determinação analítica da área necessária para o adensamento do lodo de excesso, derivada a partir da curva de fluxo de sedimentação.

No que concerne à parte experimental, o presente trabalho se propõe a testar o modelo de Vesilind para a determinação analítica da velocidade de sedimentação em zona, bem como, determinar valores numéricos para os parâmetros



V<sub>o</sub> e K. Investiga-se, ainda, a influência da composição biológica do lodo, do ponto de vista de sua reatividade biológica, sobre sua sedimentação.

## 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O objetivo desta revisão bibliográfica é avaliar o estado em que se encontra a teoria sobre sedimentação, notadamente, os aspectos pelos quais se processa a sedimentação em zona, e suas relações com as outras formas de sedimentação. Procura, ainda, tecer considerações sobre o lodo e sua reatividade biológica, representada pela fração de lodo ativo.

### 1.1 - Generalidades da Sedimentação

Segundo Fitch (1958), as partículas em suspensão, dependendo principalmente da concentração e da tendência a flocular, sedimentam de quatro maneiras distintas, quais sejam, sedimentação discreta, floculenta discreta, sedimentação em zona e por compressão.

A Fig. 1.1 mostra o "Diagrama de Paragenesis", criado por Fitch (1958), para interrelacionar, esquematicamente, as quatro formas de sedimentação e os dois parâmetros, concentração e tendência a flocular. O eixo vertical do diagrama representa o decréscimo da concentração de sólidos, ou seja, concentração das partículas. O eixo horizontal representa o incremento da tendência a flocular das partículas. No extremo esquerdo do eixo horizontal, as partículas estão completamen

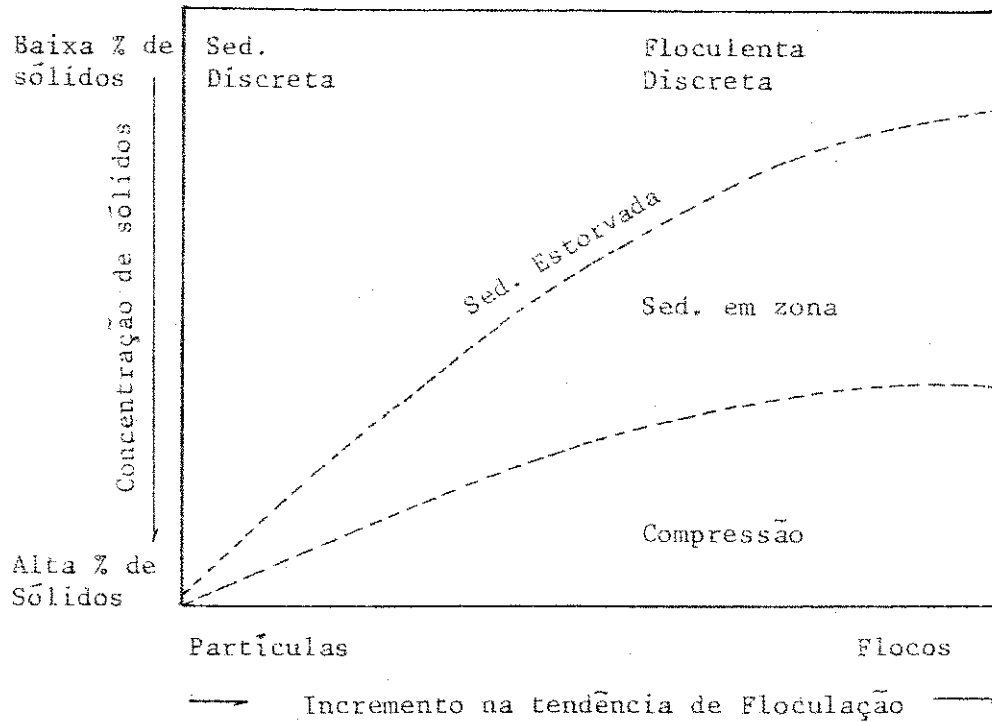
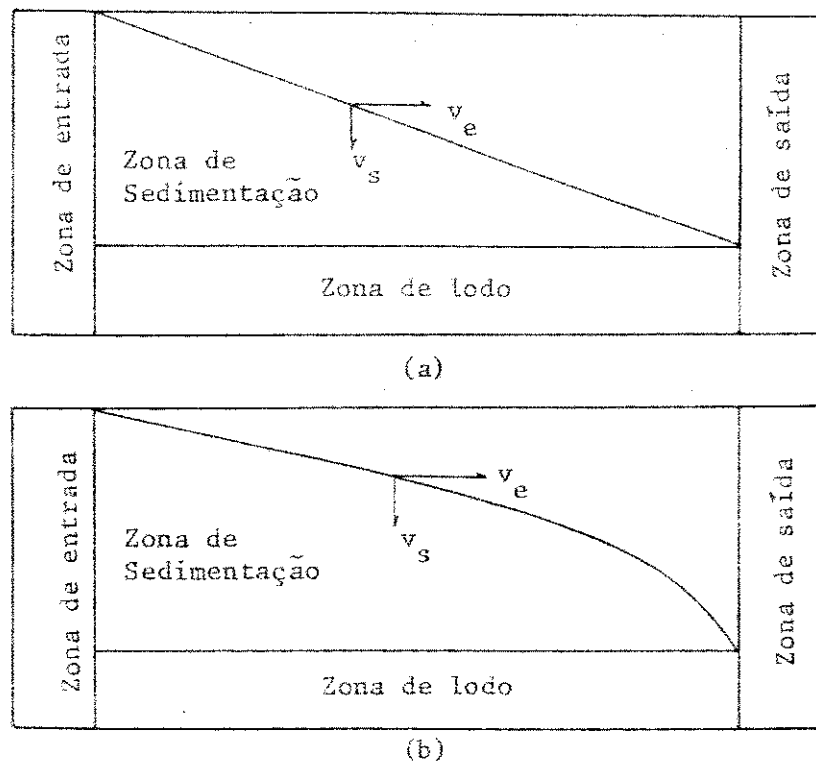


Fig. 1.1 - Diagrama de Paragenesis, Fitch (1958).

Fig. 1.2 - Trajeto de uma partícula em um tanque ideal de escoamento horizontal  
a) Sed. Discreta b) Sed. Floculenta Discreta

te dispersas, não apresentando nenhuma tendência a se aglutinarem durante alguma colisão eventual, desta forma, cada partícula sedimenta com uma velocidade que lhe é característica, até que atinjam o fundo do recipiente. No extremo direito do eixo horizontal, as partículas apresentam forte tendência a formar flocos. Em qualquer ponto ao longo do eixo horizontal, exceto no extremo esquerdo, qualquer uma das quatro formas de sedimentação pode ocorrer, dependendo da concentração.

### 1.1.1 - Sedimentação discreta

A teoria que descreve o comportamento da sedimentação discreta foi desenvolvida por Hazen (1904). Sob as mesmas condições, os fatores que influem na sedimentação discreta são o tamanho, forma e densidade das partículas em suspensão, e a viscosidade e densidade do meio líquido. O que caracteriza a sedimentação discreta, é o fato de que a velocidade individual de cada partícula se mantém constante durante todo o processo, podendo ser definida a partir das características físicas da partícula e do meio líquido.

Em um tanque ideal de sedimentação com escoamento horizontal, quando sólidos em suspensão sedimentam de maneira discreta, a representação gráfica do trajeto descrito por uma partícula assemelha-se a uma linha reta (Fig. 1.2.a). A remoção de partículas é uma função da taxa de escoamento superficial,  $Q/A$  ( $Q$  é a vazão e  $A$  é a área superficial), usualmente expressa em termos de  $m^3/m^2/d$ , Fitch (1958).

### 1.1.2 - Sedimentação flocculenta discreta

Quando duas ou mais partículas ao colidirem, aglutinam-se formando uma só unidade, chamada de floco, a velocidade de descida desta unidade aumenta, devido, exclusivamente, ao incremento de sua massa. Conseqüentemente, a representação gráfica de seu trajeto não mais será uma linha reta, e sim, uma curva como mostrado na Fig. 1.2.b. Quando a sedimentação se dá de maneira flocculenta discreta, a velocidade da partícula é uma função tanto da taxa de escoamento superficial quanto da profundidade.

### 1.1.3 - Sedimentação estorvada

Em ambas as formas de sedimentação, discreta e flocculenta discreta, a sedimentação estorvada pode ocorrer. Esta ocorrência é devido a concentração de partículas ser tão grande que o deslocamento ascendente do líquido, provocado pela sedimentação das partículas, se dá a uma taxa bastante significativa, o que resulta numa diminuição da velocidade de sedimentação efetiva, porque a velocidade observada da partícula é igual ao vetor soma da velocidade ascendente do deslocamento do líquido e a velocidade descendente dos sólidos.

### 1.1.4 - Sedimentação em Zona

Na forma de sedimentação em zona, a concentração de

partículas flocculentas é tão grande que elas apresentam interligações, formando uma suspensão estruturada, que sedimenta com a mesma velocidade. Esta velocidade depende da taxa de deslocamento ascendente do líquido através da massa de sólidos. Normalmente, uma interface bem definida se forma entre a massa de sólidos que sedimenta e o sobrenadante.

#### 1.1.5 - Sedimentação por compressão

A sedimentação por compressão é observada tanto no fundo de cilindros de sedimentação, nos testes para a determinação da velocidade de sedimentação em zona, quanto nas camadas de lodo no fundo dos decantadores. Na região de compressão, cada camada de sólidos exerce uma pressão mecânica sobre as camadas que se encontram em posições inferiores.

#### 1.2 - Considerações sobre sedimentação em zona

Devido a alta concentração de sólidos em suspensão com forte tendência a floccular, o licor misto de lodo ativado tende a sedimentar de maneira estruturada, formando uma rede ou matriz de partículas interligadas, todas sedimentando com a mesma velocidade, o que caracteriza uma sedimentação em zona. A concentração mínima, para se desenvolver sedimentação em zona, está na faixa de 1000 a 1500 mg/ℓ. Normalmente, em sistemas de lodo ativado, a concentração de sólidos em suspensão

está na faixa de 1500 a 4000 mg/ℓ, bem superior ao limite mínimo para se ter sedimentação em zona.

#### 1.2.1 - Determinação da velocidade de sedimentação em zona

A velocidade de sedimentação em zona pode ser observada, convenientemente, no decantador descrito por Vesilind (1958). O decantador é constituído por um cilindro oco, disposto verticalmente, onde o lodo é colocado, e o seguinte comportamento é observado:

- 1 - Inicialmente, a concentração de sólidos é uniformemente distribuída, e a Região B ocupa toda a extensão do cilindro, (Fig. 1.3.a).
- 2 - Transcorridos alguns minutos, a sedimentação começa e uma interface sólidos-líquido, bem definida, se desenvolve. A Região A, de líquido clarificado, é formada, simultaneamente, com as Regiões C e D, (Fig. 1.3.b).
- 3 - Na Região B, a suspensão sedimenta uniformemente, deslocando a interface sólidos-líquido com velocidade constante. É importante notar que, em qualquer ponto desta região a concentração é a mesma, e permanece igual à concentração inicial, (Fig. 1.3.c).
- 4 - A Região C, uma zona de transição, mantém sua extensão praticamente inalterada, onde a velocidade

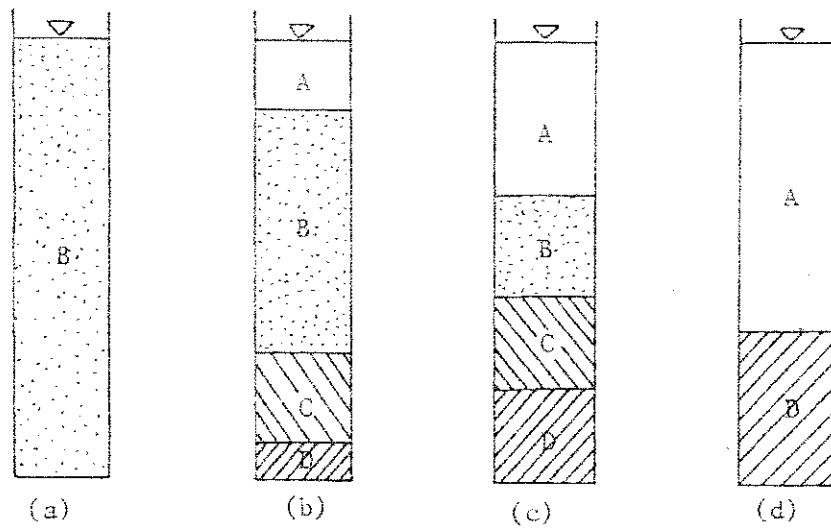


Fig. 1.3 - Teste para a determinação da velocidade de sedimentação em zona.

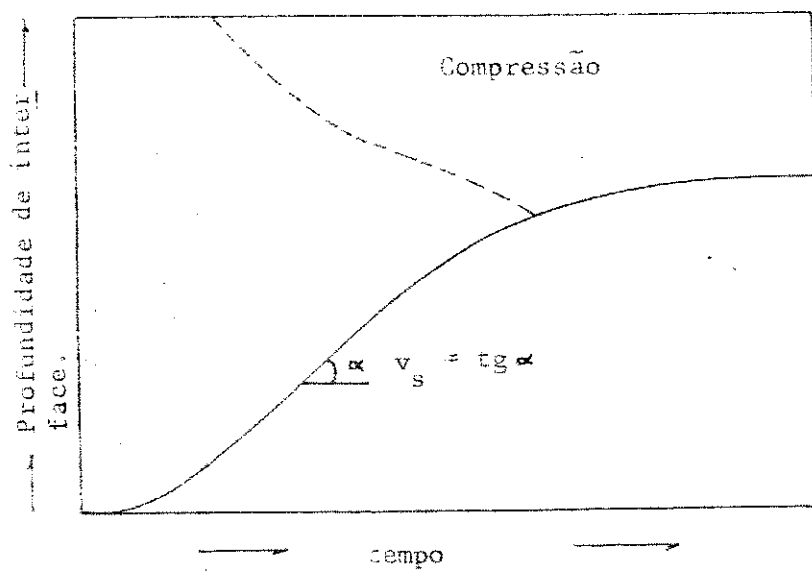


Fig. 1.4 - Curva de sedimentação (Profundidade de interface x tempo).



ascensional do líquido decresce desde seu topo até o início da Região D, e a concentração aumenta progressivamente no mesmo sentido.

- 5 - É na Região D, no fundo do cilindro, onde o lodo se acumula com concentração alta e baixa velocidade de sedimentação, formando uma zona de compressão. A altura desta região aumenta até que todo o lodo da suspensão faça parte dela, isto é, até que a interface separe o sobrenadante e o lodo decantado. (Fig. 1.3.d).

A Figura 1.4 mostra uma curva típica do deslocamento da interface sólidos-líquido com o tempo, onde a declividade da parte linear é a velocidade de sedimentação em zona.

#### 1.2.2 - Fatores que afetam a medida da velocidade de sedimentação em zona

Segundo Dick (1973), a medida da velocidade de sedimentação em testes de laboratório é afetada, principalmente, pelo diâmetro do cilindro, profundidade inicial da coluna e as condições de agitação. Estes três fatores são determinantes na correlação entre o teste de laboratório e as velocidades experimentadas pelo lodo em unidades de separação sólidos-líquido em escala real. Entretanto, o mesmo Dick (1973), esclarece que as condições dos testes para a determinação da velocidade de sedimentação é de difícil padronização, por causa das diferenças na natureza física dos vários tipos de lodo.

Os cilindros de sedimentação tendem a criar, junto à sua parede, caminhos preferenciais para o deslocamento ascensional do líquido, acarretando uma maior velocidade de sedimentação. Por outro lado, os sólidos tendem a criar, transversalmente ao cilindro uma superfície arqueada, que reduz a velocidade de sedimentação. A concentrações relativamente baixas, o efeito da parede é mais significativo, e a velocidade medida tende a ser maior que a velocidade nas unidades em escala real. A concentrações mais altas, o efeito mecânico da superfície arqueada predomina, e o lodo tende a sedimentar com velocidade menor do que nas unidades em escala real.

A profundidade inicial da coluna de sedimentação tende a influenciar a medida da velocidade de sedimentação, por causa da existência da região de compressão formada no fundo do cilindro. Entretanto, para profundidades maiores que 1 m, a medida da velocidade não mais sofre efeitos significativos.

Em cilindros de sedimentação, a excessiva turbulência, ocasionada pela rápida ascensão do líquido, perturba a aglomeração das partículas flocculentas, formando canais através da estrutura que sedimenta. Uma agitação moderada evita a formação destes canais, e melhora a correlação entre o teste em laboratório e a velocidade nas unidades em escala real.

### 1.2.3 - Relação entre a velocidade de sedimentação em zona e a concentração de sólidos suspensos

Vesilind (1968), estudando as relações entre a veloci

dade de sedimentação em zona e a concentração de sólidos suspensos, propõe a seguinte equação:

$$V_s = V_0 \cdot \text{Exp}(-KC) \quad (1.1)$$

onde, a velocidade de sedimentação em zona é expressa como uma função exponencial da concentração de sólidos suspensos no licor misto, e as constantes  $V_0$  e  $K$  são os parâmetros que caracterizam a sedimentação do lodo.

A Fig. 1.5 mostra uma curva típica teórica, que relaciona o logarítmo natural da velocidade de sedimentação em zona com a concentração de sólidos suspensos. Os coeficientes linear e angular são os parâmetros  $V_0$  e  $K$ , respectivamente.

#### 1.2.4 - Curva de fluxo de sedimentação

A Fig. 1.6 mostra uma curva de fluxo de sedimentação, que é conseguida multiplicando-se as velocidades de sedimentação em zona pelas respectivas concentrações de sólidos suspensos.

Cada ordenada da curva de fluxo de sedimentação, representa a massa de sólidos, que sedimenta por ação da gravidade, por unidade de área na unidade de tempo, quando a concentração da suspensão de licor misto é igual à abscissa correspondente àquela ordenada.

A curva de fluxo de sedimentação é estudada, mais detalhadamente, no Capítulo 2, e serve para uma melhor compreensão

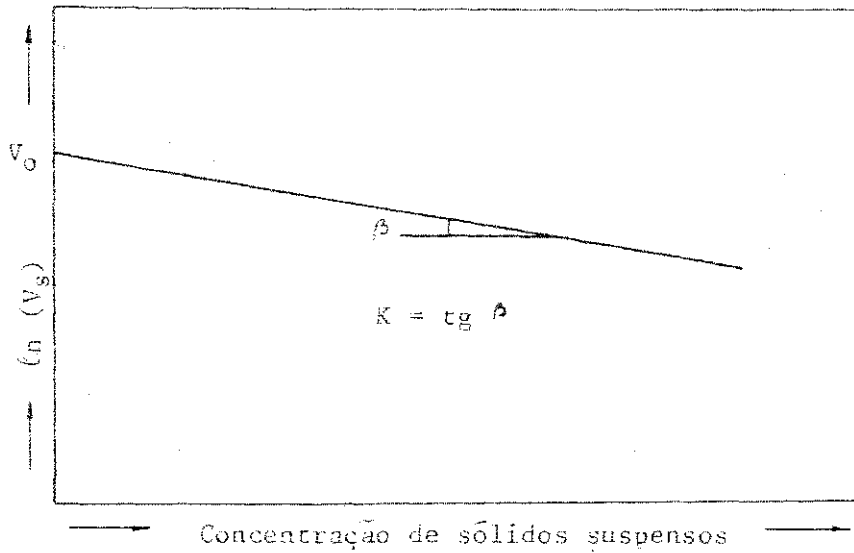


Fig. 1.5 - Relação entre velocidade de sedimentação em zona e a concentração de sólidos suspensos.

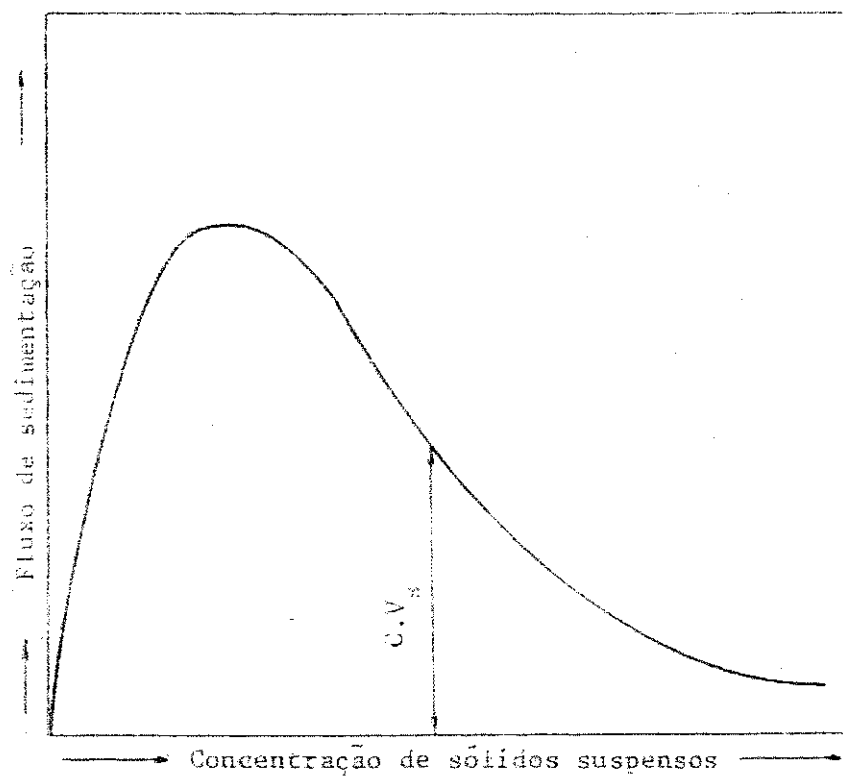


Fig. 1.6 - Curva de fluxo de sedimentação.

são do funcionamento do decantador, bem como, de base para a formulação matemática do modelo para o seu dimensionamento.

### 1.3 - Considerações sobre o lodo produzido em sistemas de lodo ativado

O lodo é produzido no Reator Biológico, por processos predominantemente bioquímicos em ambiente aeróbio. O lodo é recirculado dentro do Sistema Principal de Tratamento, e o Decantador Secundário promove a separação sólidos-líquido. A recirculação é imposta para que a depuração da carga orgânica influente seja feita por uma grande massa de lodo, requerendo, portanto, um volume pequeno para o Reator Biológico.

Segundo Marais & Ekama (1976), o lodo é composto por flocos, que formam a fase sólida da suspensão de licor misto. A fase líquida é formada, basicamente, por água e material sólido dissolvido. Os flocos são formados, principalmente, por microrganismos vivos, resíduo endógeno e material orgânico não biodegradável e particulado. Os microrganismos vivos são responsáveis pela depuração da carga orgânica influente, que é usada para síntese de material celular novo e para obtenção de energia. O crescimento líquido dos microrganismos e a incorporação de material orgânico não biodegradável e particulado aos flocos, fazem com que a massa de sólidos aumente dentro do sistema, sendo necessária uma descarga de lodo de excesso. Esta descarga mantém, dentro do sistema, uma massa de lodo praticamente constante. A massa de sólidos e a vazão de

de lodo de excesso, definida pela idade de lodo  $R_s$ , são os parâmetros que permitem a determinação do volume do Reator Biológico.

### 1.3.1 - Determinação da massa de lodo

Marais e Ekama (1976), desenvolveram a seguinte expressão para a massa de lodo:

$$\begin{aligned}
 MX_t &= mX_t \cdot MS_{ti} \\
 &= (1 - f_{us} - p \cdot f_{up}) \cdot (1 + f \cdot b_h \cdot R_s) \cdot y_h \cdot R_s / (1 + b_h \cdot R_s) + \\
 &\quad + (f_{up} + f_{ip}) \cdot R_s \cdot S_{ti} \cdot Q_i
 \end{aligned} \tag{1.2}$$

onde:

$mX_t$  = massa de lodo no sistema por unidade de massa de DQO aplicada diariamente.

$MS_{ti}$  = massa de DQO aplicada diariamente.

$S_{ti}$  = DQO influente.

$f_{us}$  = fração da DQO influente que é solúvel e não biodegradável.

= 0,10 (esgoto doméstico)

$f_{up}$  = fração da DQO influente que é particulado e não biodegradável.

= varia entre 0,02 e 0,09 mgSSV/mgDQO (esgoto doméstico).

- $f_{ip}$  = concentração de sólidos inorgânicos por unidade de DQO.  
 = 0,02 mgSS/mgDQO (esgoto doméstico).
- $f$  = fração do resíduo endógeno.  
 = 0,2
- $b_h$  = constante de digestão aeróbia.  
 = 0,24 (1,037)<sup>T-20</sup>
- $Y_h$  = coeficiente de rendimento.  
 = 0,45 mgSSV/mgDQO
- $p$  = razão DQO/SSV = 1,5 mgDQO/mgSSV
- $R_s$  = idade de lodo (d)

### 1.3.2 - Estabilização de lodo

Quando lodo produzido em Sistemas de Lodo Ativado, permanece em um ambiente aeróbio sem alimentação de material orgânico biodegradável, observa-se que há uma diminuição da concentração de sólidos orgânicos e que ocorre consumo de oxigênio dissolvido. Este processo é chamado de Digestão Aeróbia, e o consumo de oxigênio é requerido pela fração de lodo ativo, que é composta pelos microorganismos vivos, e a taxa com a qual o oxigênio é consumido diminui exponencialmente com a continuidade do processo. A Fig. 1.7, mostra uma curva que relaciona o logaritmo natural da taxa de consumo de oxigênio com o tempo de digestão.

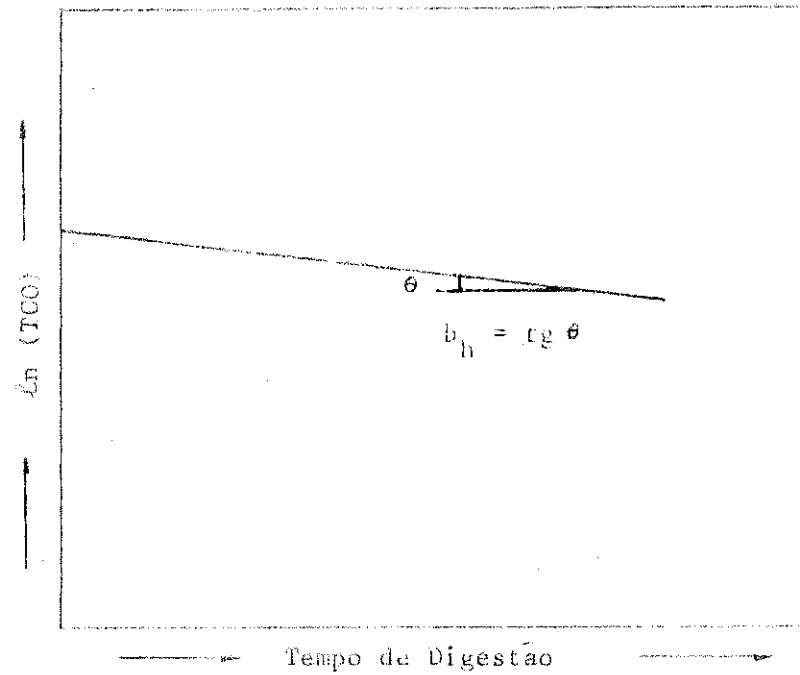


Fig. 1.7 - Relação entre a TCO (Taxa de Consumo de Oxigênio) e o Tempo de Digestão.



Como a taxa de consumo de oxigênio diminui exponencialmente com o tempo de digestão aeróbia, a é requerida pelo lodo ativo, a concentração de lodo ativo também diminui na mesma razão. Definindo-se Grau de Estabilização como sendo a fração de lodo não ativo, é possível, para fins práticos, representar os crescentes graus de estabilização pelos Períodos de Digestão Aeróbia, medidos em dias, durante os quais o lodo é digerido aerobiamente.

O Período de Digestão de Zero Dia representa o Grau de Estabilização do Lodo Cru, que está presente no licor misto de Lodo Ativado, sendo, portanto, o mais baixo grau de estabilização de um lodo para uma determinada Idade de Lodo. Os Períodos de Digestão Aeróbia em Um, Três e Cinco Dias representam os crescentes graus de estabilização do lodo que foi digerido durante um, três e cinco dias, respectivamente.

## 2 - DESENVOLVIMENTO DO MODELO MATEMÁTICO PARA O DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES SE CUNDÁRIOS DE SISTEMAS UNITÁRIOS DE LODO ATIVADO

Os Decantadores Secundários são unidades de separação sólidos-líquido, e funcionam em regime contínuo. Recebem uma vazão de licor misto e descarregam, como efluente clarificado, parte desta vazão e a parte restante é retornada para o reator biológico, como lodo de retorno. Portanto, exercem, simultaneamente, as funções de clarificação e adensamento, como se pode observar na Fig. 2.1.

### 2.1 - Funcionamento em regime contínuo de um decantador secundário

A Fig. 2.2 mostra, esquematicamente, um corte longitudinal de um decantador secundário que funciona em regime contínuo. A seção transversal do decantador tem forma geométrica circular. O licor misto, proveniente do reator biológico, é introduzido a uma determinada profundidade abaixo da superfície do líquido, por um tubo colocado no centro da seção transversal. O líquido, livre de sólidos em suspensão, sai como efluente clarificado pelo topo do decantador. O lodo adensado

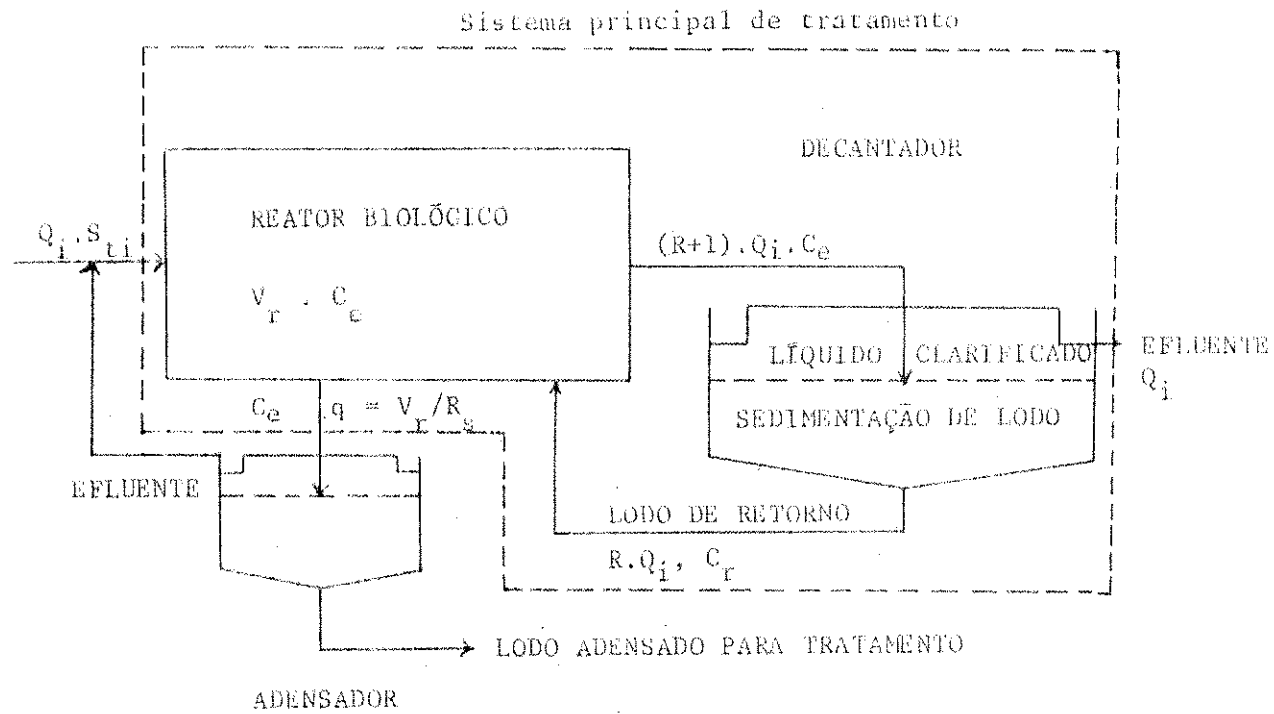


Fig. 2.1 - Representação esquemática de um sistema de lodo ativado

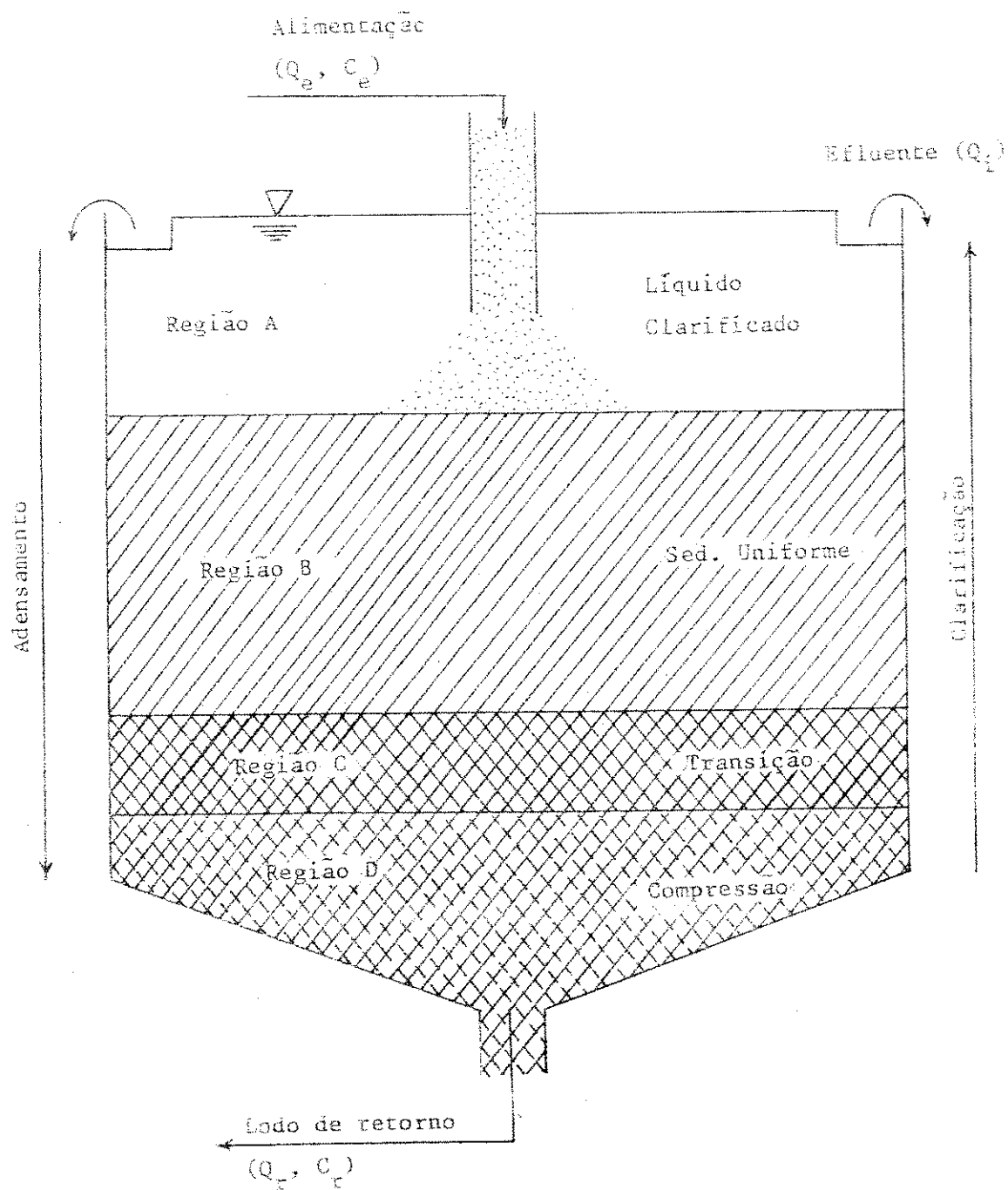


Fig. 2.2 - Corte Longitudinal de um Decantador Secundário.

é retirado do fundo do decantador para ser retornado ao reator biológico.

A vazão de licor misto que entra no decantador é a soma da vazão influente ao sistema principal e a vazão que sai do decantador como lodo de retorno para o reator biológico:

$$Q_e = Q_i + Q_r \quad (2.1)$$

onde:

$Q_e$  = vazão que entra no decantador;

$Q_i$  = vazão influente ao sistema principal (sai do decantador como efluente clarificado);

$Q_r$  = vazão de lodo de retorno.

A massa de sólidos que entra no decantador por unidade de tempo é o produto da vazão  $Q_e$  pela concentração de sólidos no licor misto proveniente do reator biológico, e é dada por:

$$\begin{aligned} M_e &= C_e \cdot Q_e \\ &= C_e (Q_i + Q_r) \end{aligned} \quad (2.2)$$

onde:

$M_e$  = massa de sólidos que entra no decantador por unidade de tempo;

$C_e$  = concentração de sólidos que entra no decantador (concentração de sólidos no licor misto no reator biológico).

Os sólidos que descem para o fundo do decantador devem

ser retirados com uma concentração desejada. Para isto, é necessário que o estado estacionário seja atingido, ou seja, a massa de sólidos que entra no decantador na unidade de tempo deve ser igual à massa de sólidos que sai pelo fundo do decantador na mesma unidade de tempo. Portanto,

$$C_e (Q_i + Q_r) = C_r \cdot Q_r$$

$$C_r = C_e \cdot (Q_i + Q_r) / Q_r \quad (2.3)$$

onde:

$C_r$  = concentração de sólidos que sai do decantador como lodo de retorno.

A Eq. (2.3), define o estado estacionário. Se a concentração de saída  $C_r$  for menor que a concentração dada por esta equação, haverá acumulação de sólidos no decantador até que a concentração  $C_r$  seja conseguida, e o estado estacionário seja atingido, ou a camada de lodo subirá até transbordar pelo topo do decantador.

### 2.1.1 - Alimentação e operação

As vazões  $Q_i$  e  $Q_r$ , através do decantador, tomam destinos diferentes. A vazão  $Q_i$ , influente ao sistema principal, sai pelo topo do decantador. A vazão  $Q_r$  sai pelo fundo do decantador como lodo adensado, vai para o reator biológico e retorna ao decantador, juntamente com a vazão  $Q_i$ .  $Q_r$  é uma vazão que recircula através do decantador, devido a isto, defi

ue as condições de operação do decantador.

Dividindo-se a massa de sólidos que entra no decantador na unidade de tempo pela área da seção transversal, tem-se:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{sol}} &= M_e / A \\
 &= C_e (Q_i + Q_r) / A \\
 &= C_e (Q_i / A + Q_r / A) \qquad (2.4)
 \end{aligned}$$

onde:

$F_{\text{sol}}$  = carga de sólidos aplicada ao decantador (carga de alimentação);

$A$  = área da seção transversal do decantador.

Para uma condição fixa de operação, ou seja, quando se recircula uma vazão inalterada  $Q_r$ , a carga de alimentação vai depender do valor de  $Q_i$ . Isto porque, a concentração  $C_e$  é mantida a um valor praticamente constante, em decorrência de que, a massa de sólidos em suspensão no licor misto, dentro do reator biológico, sofre pequenas variações.

O quociente entre a vazão  $Q_i$  e a área  $A$ , que aparece na Eq. (2.4), é a velocidade ascensional do líquido clarificado, e é chamado de Taxa de Escoamento Superficial, ( $T_s$ ).

O quociente entre a vazão  $Q_r$  e a área  $A$ , que também aparece na Eq. (2.4), é a Taxa de Recirculação, ( $T_r$ ), e dá o valor da velocidade descensional da fase líquida que desce para o fundo do decantador.

O quociente entre a vazão  $Q_r$  e a vazão  $Q_i$ , é definido como sendo o Fator de Recirculação, (R). Utilizando-se o fator de recirculação e a Eq. (2.3), as concentrações  $C_r$  e  $C_a$  podem ser relacionadas pela seguinte expressão:

$$C_r = C_a \cdot (R + 1) / R \quad (2.6)$$

Dividindo-se a massa de sólidos que sai pelo fundo do decantador na unidade de tempo pela área transversal, tem-se:

$$F_{Des} = C_r \cdot Q_r / A$$

$F_{Des}$  = descarga de sólidos.

As relações acima definidas são importantes para o estabelecimento de critérios que permitam a formulação do modelo matemático para o dimensionamento de decantadores secundários, e são utilizados nas seções seguintes.

### 2.1.2 - Distribuição dos sólidos ao longo do decantador

Os sólidos que entram no decantador são distribuídos uniformemente num determinado nível. Normalmente, neste nível, forma-se uma interface que separa o líquido clarificado, na parte superior, e a suspensão de licor misto, que desce para o fundo do decantador, na parte inferior. Abaixo da interface, forma-se uma região de sedimentação uniforme, seguida por uma zona de transição, e, no fundo do decantador, uma região de compressão é constituída, (ver Fig. 2.2).



Na região de sedimentação uniforme, a concentração de sólidos será sempre maior do que a concentração  $C_e$ , isto porque, a vazão  $Q_e$  se divide em uma vazão  $Q_i$ , que sai pelo topo do decantador como líquido clarificado, e uma vazão  $Q_r$ , que sai pelo fundo como lodo de retorno. É na zona de transição que a concentração aumenta até um valor  $C_r$ , a qual é observada em toda região de compressão.

Dependendo das condições de carga e operação, as regiões de sedimentação uniforme e compressão têm importância relativa para o funcionamento do decantador.

A importância da região de sedimentação uniforme está ligada às condições de carga, existindo uma concentração crítica, para esta região, quando uma dada vazão  $Q_r$  é recirculada, que determina a capacidade máxima de transmissão de sólidos para a região de compressão. Conseqüentemente, a carga de alimentação, a ser aplicada, fica limitada. Se a carga de alimentação for excessiva, a capacidade máxima de transmissão de sólidos será ultrapassada, e a região de sedimentação uniforme subirá acima do nível de alimentação e, certamente, aparecerão sólidos no efluente, comprometendo a função de clarificação. Se a carga de alimentação for muito pequena, poderá aparecer, sobre a interface, uma região de baixa concentração de sólidos.

A importância da região de compressão está ligada à recirculação, existindo uma vazão  $Q_r$ , quando uma dada carga de alimentação é aplicada, que determina a retirada de sólidos do fundo do decantador a uma concentração desejada. Se a va

zão de recirculação for menor que aquela vazão  $Q_r$ , a região de compressão subirá, podendo eliminar a região de sedimentação uniforme, e atingir o nível de alimentação, o que, certamente, resultará na descarga de sólidos no efluente. Se a vazão de recirculação for maior que aquela vazão  $Q_r$ , a região de compressão poderá não ser formada, comprometendo a função de adensamento.

### 2.1.3 - Capacidade de transmissão de sólidos no decantador

Para avaliar a capacidade de transmissão de sólidos da região de sedimentação uniforme para a região de compressão, quando o decantador opera a uma dada taxa de recirculação, define-se Fluxo de Sólidos, que passa em um determinado nível do decantador, como sendo a massa de sólidos por unidade de tempo e por unidade de área, que passa naquele nível. O Fluxo de Sólidos é dado pelo produto da concentração de sólidos suspensos e a velocidade de descida dos sólidos no nível considerado:

$$F = C.V \quad (2.7)$$

onde:

F = fluxo de sólidos que passa num determinado nível do decantador;

C = concentração de sólidos suspensos no nível considerado;

V = velocidade de descida dos sólidos naquele nível.

A velocidade de descida dos sólidos é dada pela soma de duas velocidades componentes. Uma, é a velocidade descensional da fase líquida em relação à parede do decantador, provocada pela vazão  $Q_r$ , a outra, é a velocidade de sedimentação em relação à fase líquida. Portanto,

$$V = Q_r/A + V_s$$

$$V = T_r + V_s \quad (2.8)$$

onde:

$T_r$  = velocidade descensional da fase líquida em relação à parede do decantador;

$V_s$  = velocidade de sedimentação em relação à fase líquida.

Agora, a Eq. (2.6) pode ser escrita como:

$$F = C.T_r + C.V_s$$

$$F = F_r + F_s \quad (2.9)$$

onde:

$F_r$  = Fluxo de sólidos devido à retirada de lodo (Fluxo de Recirculação);

$F_s$  = Fluxo de sólidos devido à sedimentação (Fluxo de Sedimentação).

### 2.1.3.1 - Curvas de fluxo

Para avaliar o valor do fluxo  $F$  (Fluxo Total), é conveniente

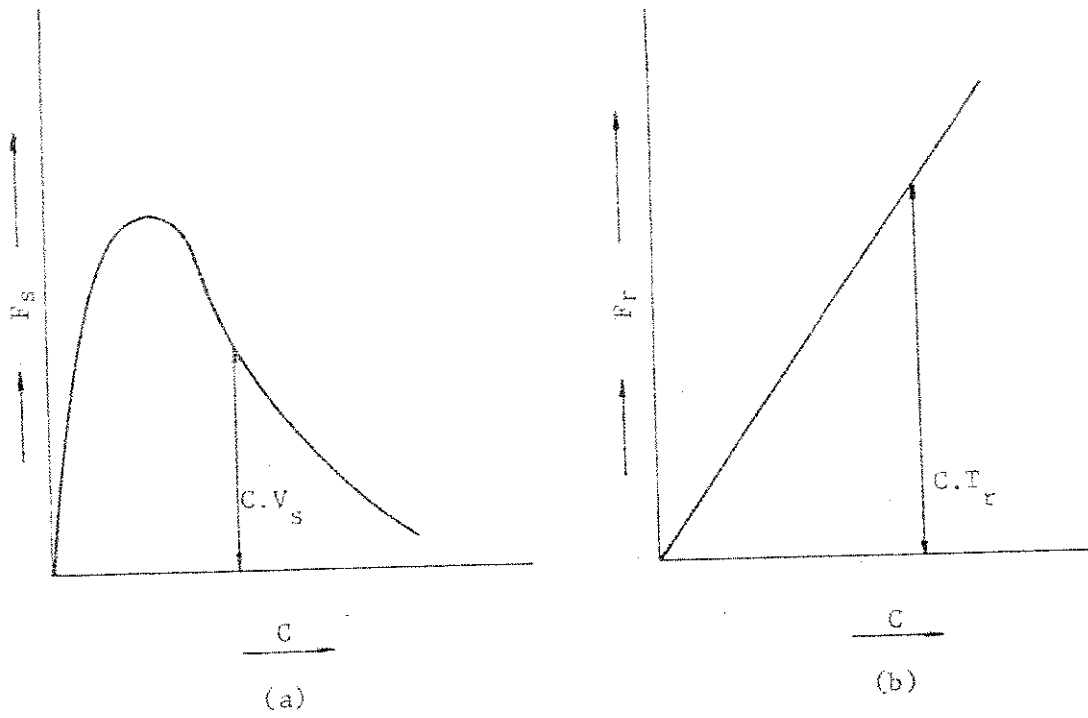


Fig. 2.3 - Curvas de Fluxo de Sedimentação e Recirculação

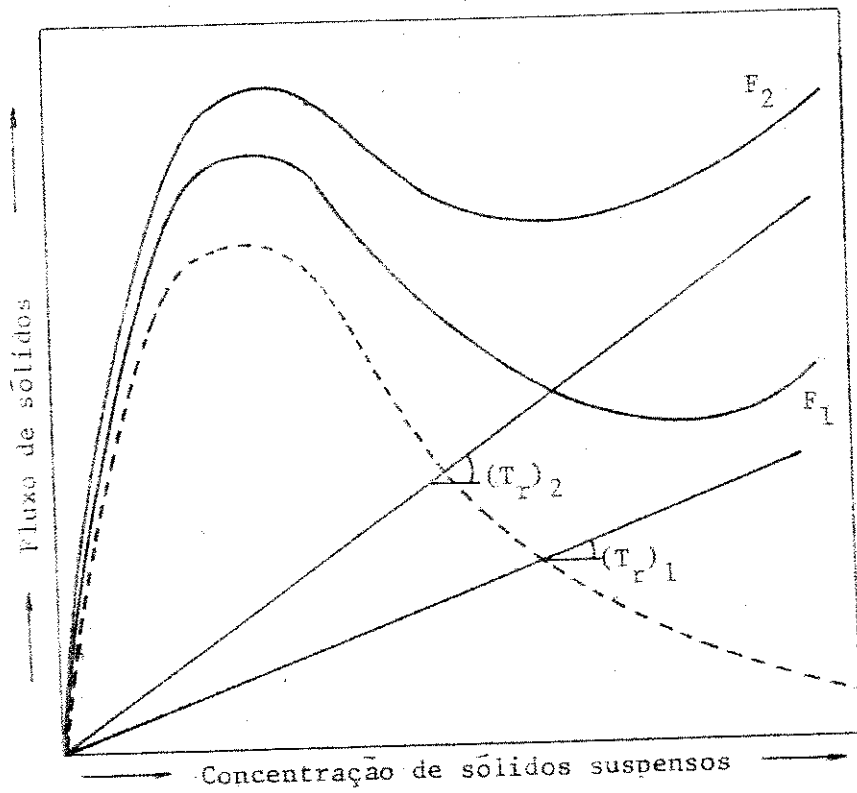


Fig. 2.4 - Curvas de Fluxo Total  $F$ , para duas condições diferentes de operação.

niente que sejam analisados, graficamente, os fluxos componentes  $F_r$  e  $F_s$ , que são representados pelas curvas de fluxo mostradas na Fig. 2.3.

Na Fig. 2.3.a, que mostra a curva  $F_s$ , observa-se que, para baixas concentrações, a curva apresenta valores próximos a zero, apesar de serem altas as velocidades de sedimentação. Para concentrações altas as velocidades de sedimentação são pequenas e, novamente, a curva apresenta valores próximos a zero. Para concentrações intermediárias, a curva assume os maiores valores possíveis.

A Fig. 2.3.b, mostra a curva  $F_r$ , que é uma função linear da concentração, isto porque, a taxa de recirculação é constante quando se recircula uma vazão  $Q_r$  inalterada.

Como a curva de fluxo total  $F$  é composta por uma curva  $F_s$ , que depende das características físicas do lodo empregado, e por uma curva  $F_r$ , que depende da vazão  $Q_r$ , a curva  $F$  será diferente para diferentes condições de operação.

A Fig. 2.4 mostra duas curvas de fluxo total  $F$  ( $F_1$  e  $F_2$ ), para duas condições de operação diferentes. Cada ordenada das curvas  $F_1$  e  $F_2$ , representam os valores dos fluxos que podem ser transmitidos através de um determinado nível do decantador, quando a concentração, neste nível, é a abscissa correspondente àquela ordenada (da curva  $F_1$  ou da curva  $F_2$ ), quando as taxas de recirculação forem  $(T_r)_1$  e  $(T_r)_2$ , respectivamente.

### 2.1.3.2 - Fluxo limitante

Observa-se na Fig. 2.5 que a curva de fluxo total  $F$  exibe um mínimo entre as concentrações  $C_1$  e  $C_2$ . Este valor mínimo representa a capacidade máxima de transmissão de sólidos no decantador e, por esta razão, é chamado de Fluxo Limitante,  $F_L$ .

Ao fluxo  $F_L$  corresponde uma concentração  $C_L$ , no eixo das abscissas. A concentração  $C_2$  é a maior concentração que a região de sedimentação uniforme pode apresentar, quando uma vazão  $Q_r$  é recirculada. Se a carga  $F_{sol}$ , a ser aplicada ao decantador, for maior que o fluxo  $F_L$ , a capacidade máxima de transmissão de sólidos será ultrapassada. Isto acontecendo, a região de sedimentação uniforme subirá até atingir o nível de alimentação e sairão sólidos no efluente, comprometendo a função de clarificação. Se a carga  $F_{sol}$  for igual ao fluxo  $F_L$ , toda a massa de sólidos será transmitida para a região de compressão. A concentração, nesta região, será  $C_r$ , que corresponde à abscissa  $C_2$ . Se a carga  $F_{sol}$  for menor que o fluxo  $F_L$  toda a massa de sólidos também será transmitida para a região de compressão, só que, a concentração  $C_r$  será menor que a abscissa  $C_2$ . Portanto, a função de adensamento fica comprometida.

Do exposto conclui-se que, quando uma determinada massa de sólidos deve ser recirculada a uma dada vazão  $Q_r$ , sem que a função de clarificação seja comprometida, a carga de sólidos  $F_{sol}$ , a ser aplicada, deverá ser igual ao fluxo limitante  $F_L$ .

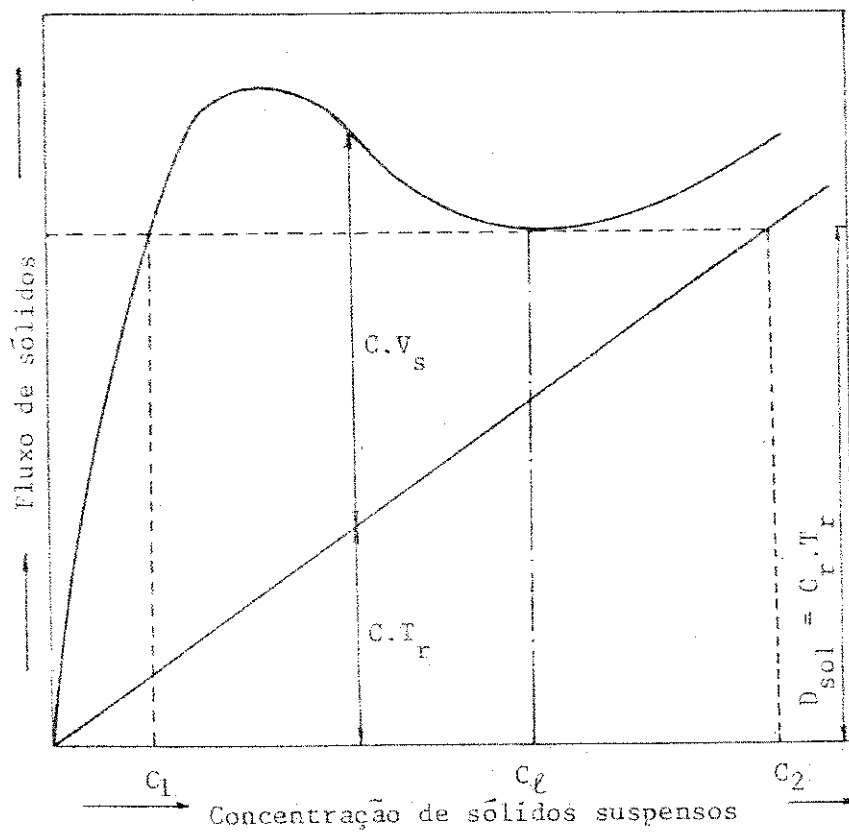


Fig. 2.5 - Curva de Fluxo Total, F.

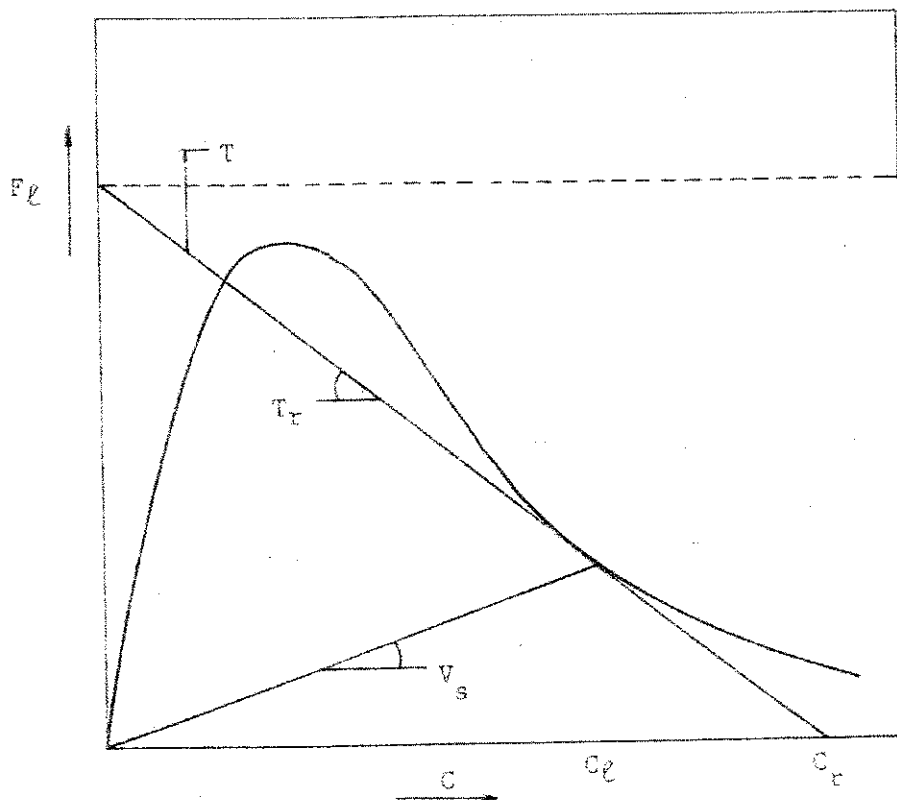


Fig. 2.6 - Método gráfico para a determinação do Fluxo Limitante.

### 2.1.3.3 - Método gráfico para a determinação do fluxo limitante

O fluxo limitante  $F_L$  pode ser determinado, geometricamente, utilizando-se o método desenvolvido por Yoshioka et alii (1957). Este método consiste em se traçar uma reta tangencial  $T$ , à parte côncava da curva  $F_s$  (ver Fig. 2.6). Esta reta tem inclinação igual, mas negativa, à reta  $F_r$ .

O ponto de interseção da reta  $T$ , de inclinação  $-T_r$ , com o eixo das ordenadas é o fluxo limitante  $F_L$ . O ponto de tangência tem como abscissa a concentração limitante  $C_L$ . Uma reta que une a origem ao ponto de tangência tem como inclinação a velocidade de sedimentação em zona na região de sedimentação uniforme.

A vantagem do método de Yoshioka é que dá o equivalente geométrico do fluxo  $F_L$ , sem que seja necessário traçar uma nova curva de fluxo total  $F$ , quando uma outra taxa de recirculação for requerida.

Observa-se que o método de Yoshioka se aplica, somente, quando é possível traçar uma reta tangencial à parte côncava da curva  $F_s$ . Existe uma concentração mínima  $C_m$ , tal que, para concentrações de lodo de retorno menores que  $C_m$ , não mais é possível traçar uma reta tangencial à parte côncava da curva  $F_s$ . A reta que passa por  $C_m$ , no eixo das abscissas, e intercepta a curva  $F_s$  no seu ponto de inflexão  $C_i$ ,  $(F_s)_i$ , de termina, no eixo das ordenadas, o fluxo limitante máximo,  $(F_L)_{\text{máx}}$ . Esta situação está representada na Fig. 2.7. Observa-se, ainda, que a taxa de recirculação também é máxima, e é



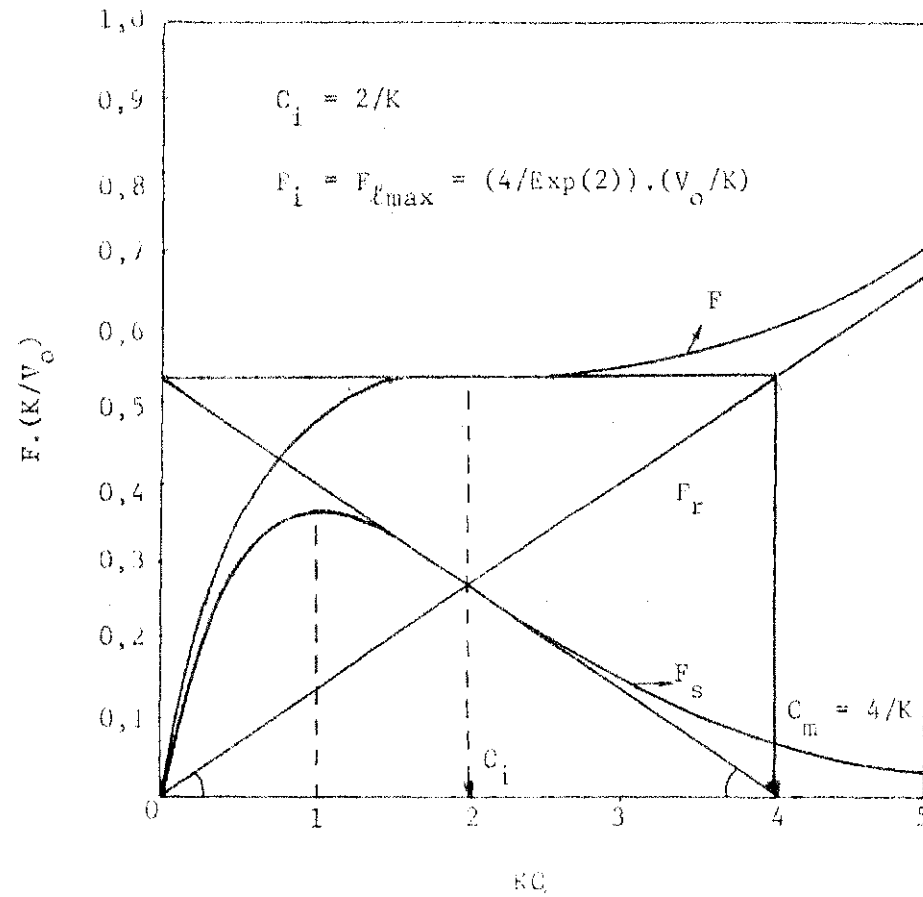


Fig. 2.7 - Fluxo de Sedimentação ( $F_s$ ), de Recirculação ( $F_r$ ) e Total ( $F$ ) em função da concentração para  $C_r = C_m = 4/K$  (Concentração mínima de lodo de retorno)

dada por:

$$(T_r)_{\max} = (F_l)_{\max} / C_m \quad (2.10)$$

## 2.2 - Formulação do modelo matemático para o dimensionamento de Decantadores Secundários

O dimensionamento de decantadores consiste em encontrar-se uma área mínima da seção transversal, de modo a permitir que o decantador opere a uma determinada taxa de recirculação, definida pela vazão  $Q_r$ , trabalhando sob uma carga de alimentação crítica. Para atender a essas condições, a carga de alimentação a ser aplicada ao decantador deverá ser igual ao fluxo limitante, que determina a capacidade máxima de transmissão de sólidos para o fundo do decantador, referente à taxa de recirculação a ser utilizada.

Para estabelecer expressões que permitam calcular, analiticamente, a área mínima, se faz necessário o desenvolvimento de expressões que forneçam o fluxo limitante, a concentração limitante e a concentração mínima.

### 2.2.1 - Aplicação da equação de Vesilind para a determinação analítica do fluxo $F_l$ e das concentrações $C_l$ e $C_m$

O fluxo de sedimentação, utilizando-se a Equação de Vesilind, é escrito como sendo:

$$F_s = C \cdot V_o \cdot \text{Exp}(-KC) \quad (2.11)$$

Diferenciando-se  $F_s$  com relação a  $C$ , tem-se:

$$dF_s/dC = (1-KC) \cdot V_o \cdot \text{Exp}(-KC) \quad (2.12)$$

No ponto onde  $C = C_\ell$ , tem-se a declividade da reta tangencial  $T$ ,

$$m = (1 - KC_\ell) \cdot V_o \cdot \text{Exp}(-KC_\ell) \quad (2.13)$$

onde:

$m$  = declividade da reta tangencial  $T$ .

A reta  $T$  é dada pela seguinte equação:

$$T = m (C - C_r)$$

ou,

$$T = (1 - KC_\ell) \cdot V_o \cdot \text{Exp}(-KC_\ell) (C - C_r) \quad (2.14)$$

Fazendo-se  $C = 0$  na Eq. (2.14), tem-se o valor do fluxo limitante,

$$F_\ell = C_r \cdot V_o \cdot (KC_\ell - 1) \text{Exp}(-KC_\ell) \quad (2.15)$$

No ponto de tangência as curvas  $T$  e  $F_s$  possuem o mesmo valor. Igualando-se as Eqs. (2.11) e (2.14), com  $C = C_\ell$ , tem-se:

$$C_\ell \cdot V_o \cdot \text{Exp}(KC_\ell) = (1 - KC_\ell) \cdot V_o \cdot \text{Exp}(-KC_\ell) \cdot (C_\ell - C_r)$$

ou,

$$C_{\ell} = \frac{1}{2} C_r (1 + \sqrt{1 - 4/(KC_r)}) \quad (2.16)$$

A reta T, que corta o eixo das abscissas no ponto  $C_m$ , também é dada pela Equação (2.14), com a particularidade de que a sua declividade é máxima (ver Fig. 2.7). Portanto,

$$\frac{dm}{dC} = \frac{d^2 F_s}{dC^2} = 0 \quad (2.17)$$

$$C = C_i$$

onde,

$C_i$  = concentração no ponto de inflexão da curva  $F_s$ .

Diferenciando-se  $m$  com relação a  $C$ , tem-se:

$$\frac{dm}{dC} = -2.K.V_o \cdot \text{Exp}(-KC) + K^2.C.V_o \cdot \text{Exp}(-KC) \quad (2.18)$$

Fazendo-se  $C = C_i$ , na Eq. (2.18) e igualando-a a zero, tem-se o valor de  $C_i$ ,

$$C_i = 2/K \quad (2.19)$$

O Fluxo  $(F_s)_i$  (no ponto de inflexão), é dado por:

$$\begin{aligned} (F_s)_i &= C_i.V_o \cdot \text{Exp}(-KC_i) \\ &= 2/K.V_o \cdot \text{Exp}(-2) \\ &= 2 V_o / (K \text{Exp}(2)) \end{aligned} \quad (2.20)$$

A declividade da reta que passa por  $C_m$ , no eixo das

abscissas,  $\bar{a}$  igual  $\bar{a}$  derivada de  $F_s$  no ponto de inflexão. Portanto,

$$\begin{aligned} m_{\bar{m}\bar{x}} &= (dF_s/dC)_C = 2/K \\ &= -(V_o/Exp(2)) \end{aligned} \quad (2.21)$$

$m_{\bar{m}\bar{x}}$  = declividade máxima da reta tangencial T.

Desse modo, a reta tangencial de declividade máxima, se escreve como:

$$T_{\bar{m}\bar{x}} = -(V_o/Exp(2))(C-4/K) \quad (2.22)$$

A concentração  $C_m$  pode ser encontrada igualando-se a zero a Eq. (2.22), e seu valor será:

$$C_m = 4/K \quad (2.23)$$

onde,  $C_m$  = concentração mínima de lodo de retorno.

### 2.2.2 - Área mínima

A expressão que dá a área mínima pode ser conseguida igualando-se a carga de alimentação, a ser aplicada no decantador, ao fluxo limitante.

$$F_{sol} = F_L$$

$$C_e (R + 1) Q_i / A = C_r \cdot V_o \cdot (KC_L - 1) \cdot Exp(-KC_L)$$

ou,

$$Q_i / A = [C_r / C_e (R+1)] \cdot V_o \cdot (KC_L - 1) \cdot Exp(-KC_L) \quad (2.24)$$

Como as concentrações  $C_e$  e  $C_r$  estão relacionadas pelo fator de recirculação  $R$ , a Eq. (2.24) pode ser escrita como:

$$T_s = V_o \left[ \frac{(KC_\ell - 1)}{R} \right] \cdot \text{Exp}(-KC_\ell) \quad (2.25)$$

onde,

$$T_s = Q_i / A = \text{taxa de escoamento superficial.}$$

Definindo-se área mínima por unidade de vazão como sendo o inverso de  $T_s$ , tem-se:

$$a_m = 1/T_s$$

e,

$$\ell_n(a_m) = KC_\ell - \ell_n V_o - \ell_n \left[ \frac{(KC_\ell - 1)}{R} \right] \quad (2.26)$$

onde,

$a_m$  = área mínima por unidade de vazão influente.

$$C_\ell = \frac{1}{2} \cdot C_r \cdot \left( 1 + \sqrt{1 - 4/(KC_r)} \right)$$

A Eq. (2.26) mostra que a taxa de escoamento superficial

- é proporcional à constante  $V_o$
- depende do fator de recirculação  $R$
- é uma função complexa da concentração  $C_r$  e da constante  $K$ .

O modelo matemático para dimensionar decantadores secundários está na dependência direta de valores numéricos das

constantes  $V_0$  e  $K$ . Esses valores são os parâmetros físicos que caracterizam a sedimentação do lodo produzido em sistemas de Lodo Ativado, e podem ser determinados em laboratório.

### 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa desenvolveu-se, inteiramente, nas instalações do Laboratório de Saneamento do Centro de Ciências e Tecnologia no Campus II da UFPb, no período compreendido entre outubro de 1984 e janeiro de 1985.

O lodo submetido aos ensaios de sedimentação foi gerado a partir de esgoto cujas características físicas e químicas são mostradas na Tabela I. O esgoto foi coletado de um interceptor do sistema de esgoto da cidade de Campina Grande-Pb, e transportado em depósitos plásticos de 50 litros, e em seguida, acondicionado em um freezer com capacidade para 200 litros a uma temperatura de média de 4°C.

Os ensaios de sedimentação consistiram em determinar-se a velocidade de sedimentação em zona, variando-se a concentração de sólidos suspensos numa faixa de 2000 a 7000 mg/l, para o lodo com vários graus de estabilização. Os ensaios foram efetivados para testar a Equação de Vesilind e determinar valores para os parâmetros  $V_0$  e K. O lodo foi digerido aerobicamente para possibilitar a investigação da influência de sua composição, do ponto de vista da reatividade biológica, sobre a sedimentação.

Os ensaios foram feitos por batelada, em dois conjun

T. - cada batelada corresponde



aeróbia de zero, um e três dias. À segunda batelada foram acrescentados dados referentes ao período de cinco dias.

Para a realização dos ensaios de sedimentação foi construído um sistema composto por um cilindro de sedimentação, para efetivar o ensaio propriamente dito, uma lagoa aerada, para a geração de lodo, e um digestor aeróbio para a estabilização do lodo.

### 3.1 - Descrição do sistema

#### 3.1.1 - Cilindro de sedimentação

O cilindro de sedimentação (Fig. 3.1), foi construído a partir de um tubo de PVC rígido, de 4 cm de diâmetro e 85 cm de comprimento. Uma tampa, também de PVC, foi adaptada na parte inferior do tubo para conter o lodo. No centro da tampa foi adaptada uma mangueira de látex, com a finalidade de facilitar a retirada total do lodo submetido ao ensaio.

Para ser possível a visualização da interface sólidos-líquido foram colocados dois visores de vidro de 1 cm de largura por 50 cm de comprimento, diametralmente dispostos na parte superior do cilindro. Para medir-se o deslocamento da interface sólidos-líquido, uma escala milimétrica foi colocada junto a um dos visores.

Para promover uma agitação moderada dentro do cilindro de sedimentação foi colocado um conjunto de hastes metálicas (mostrado na Fig. 3.1), girando com uma velocidade de 0,6 RPM.

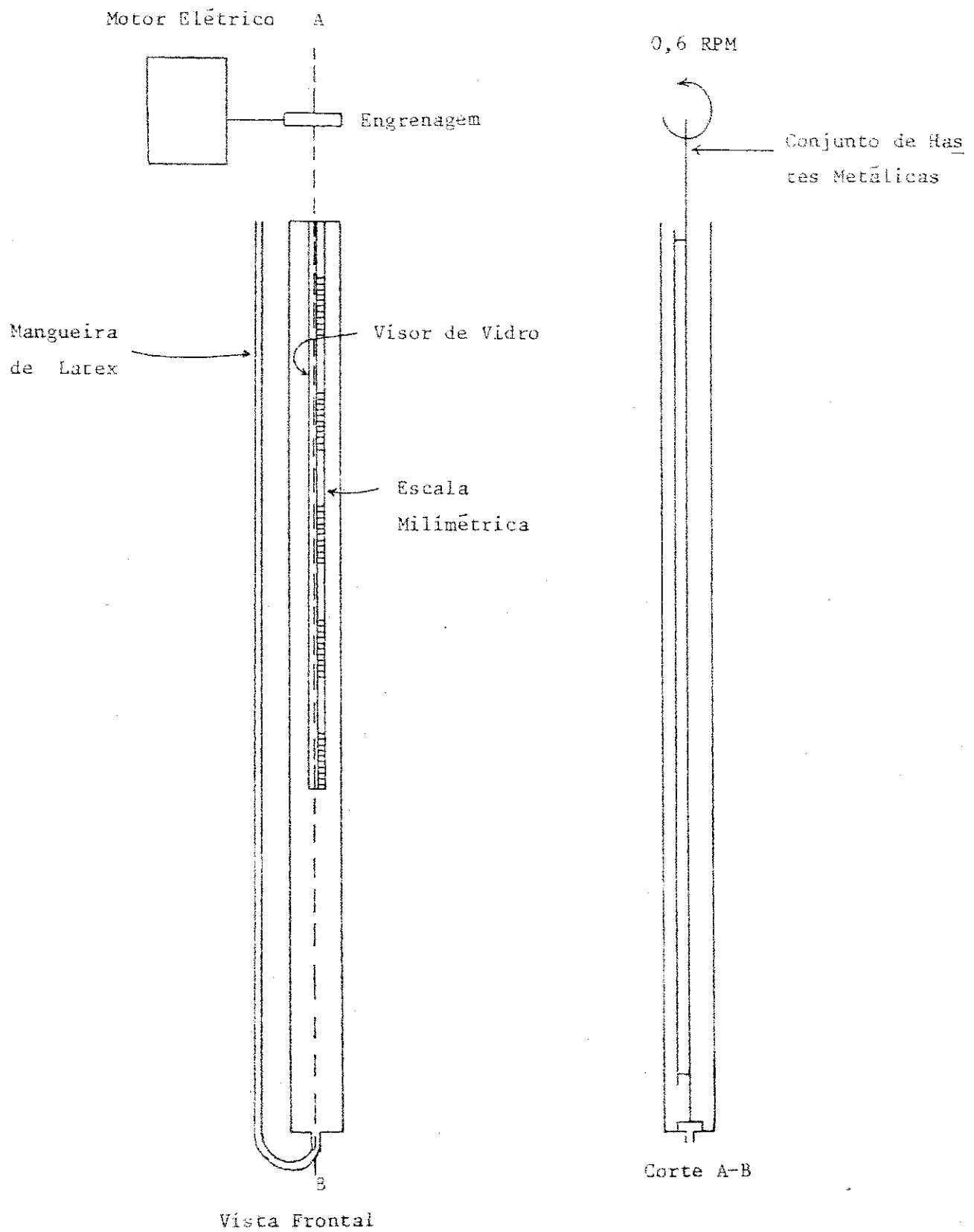


Fig. 3.1 - Cilindro de Sedimentação

### 3.1.2 - Lagoa aerada

A lagoa aerada foi construída a partir de um recipiente de cimento amianto, com capacidade para 100 litros operando com idade de lodo de cinco dias em um ambiente com temperatura média de 28°C. A alimentação foi feita intermitentemente, retirando-se diariamente 20 litros de licor misto e colocando-se 20 litros de esgoto bruto. A aeração foi feita através de um conjunto de quatro aeradores, que mantiveram a concentração de oxigênio dissolvido acima de 2 mg/l. Um sistema de agitação constituído por uma palheta de 4 x 30 cm<sup>2</sup>, uma engrenagem e um motor elétrico, foi utilizado para manter as condições de mistura completa no interior da lagoa.

### 3.1.3 - Digestor aeróbio

O digestor aeróbio foi construído a partir de um recipiente plástico, com capacidade para 10 litros, munido de um sistema de aeração idêntico ao empregado na lagoa aerada. Este sistema além de manter uma concentração de oxigênio dissolvido acima de 2 mg/l, manteve as condições de mistura completa dentro do digestor.

## 3.2 - Procedimento experimental

Para o lodo se achar em condições de ser ensaiado, a

lagoa aerada foi operada por um período de tempo mínimo igual a idade de lodo escolhida. Atingido o tempo de operação mínimo necessário, o lodo foi concentrado para um volume de 10 litros e colocado no digestor para estabilização.

Antes do processo de digestão aeróbia ser iniciado, o lodo cru foi ensaiado, obtendo-se os dados necessários para a determinação das velocidades de sedimentação em zona do lodo com grau de estabilização representado pelo Período de Digestão de Zero Dia. Os ensaios foram repetidos após cada período de digestão de um, três e cinco dias.

Para cada batelada foi observado o seguinte procedimento:

- 1) Operar a lagoa aerada por um período mínimo de cinco dias.
- 2) Observado o ítem anterior, concentrar o lodo para um volume de 10 litros, e transportá-lo para o digestor aeróbio.
- 3) Concentrar parte do lodo do digestor para um volume de um litro de maneira que a massa de sólidos fique em torno de 7000 mg.
- 4) Colocar o litro de lodo no cilindro de sedimentação e marcar o tempo zero para a posição inicial da interface sólidos-líquido. Antes disso, o sistema de agitação moderada deve entrar em funcionamento.
- 5) Registrar o deslocamento da interface sólidos-líquido

do e o tempo correspondente a este deslocamento, até que se tenham pontos suficientes para a construção da curva que fornece a velocidade de sedimentação em zona.

- 6) Retirar o lodo do cilindro.
- 7) Homogeneizar o lodo retirado do cilindro de sedimentação e retirar 100 ml.
- 8) Completar o volume de um litro com 100 ml de sobrenadante.
- 9) Do volume retirado ensaiar 50 ml para a determinação da concentração de sólidos suspensos totais (SST), procedendo-se de acordo com o Standart Methods for Examination of Water and Wastewater, 14<sup>th</sup> Edition.
- 10) Colocar o lodo, agora diluído, no cilindro de sedimentação e repetir todos os itens a partir do quinto, até que a concentração de SST esteja em torno de 2500 mg/l.

### 3.3 - Procedimento analítico

Os dados obtidos diretamente do cilindro de sedimentação foram utilizados para a construção das curvas que dão a velocidade de sedimentação em zona. Estas curvas foram construídas plotando-se os deslocamentos da interface sólidos-líquido contra os tempos correspondentes a estes deslocamentos.

A partir destas curvas foram determinados todas as velocidades de sedimentação em zona referentes a cada concentração de SST na faixa de 2000 a 7000 mg/ℓ, para cada grau de estabilização considerado.

Para analisar a influência da concentração de SST sobre a velocidade de sedimentação em zona, foram plotados os logarítmos naturais da velocidade contra as respectivas concentrações de SST. Os pontos assim obtidos foram ajustados a uma reta de regressão linear, cujos coeficientes linear e angular são os parâmetros  $V_0$  e K.

Para cada batelada foi observado o seguinte procedimento:

- 1) Plotar os deslocamentos da interface sólidos-líquido contra os tempos correspondentes, observados durante o ensaio do lodo com grau de estabilização de finido pelo Período de Digestão de Zero dia, e concentração de SST em torno de 7 g/ℓ.
- 2) Determinar, graficamente, a velocidade de sedimentação em zona, calculando-se a tangente do ângulo de inclinação da parte linear da curva construída no item anterior.
- 3) Calcular o logarítmo natural da velocidade de sedimentação em zona.
- 4) Repetir os itens anteriores para todas as concentrações dentro da faixa estabelecida no Procedimento Experimental.

- 5) Plotar os logarítmos naturais das velocidades con  
tra as concentrações de SST correspondentes.
- 6) Ajustar os pontos obtidos no ítem anterior a uma re  
ta de regressão linear, calculando-se os coeficien  
tes linear e angular.
- 7) Repetir todo o procedimento anterior para os demais  
graus de estabilização.

TABELA I

Características físicas, químicas e bioquímicas do esgoto doméstico da cidade de Campina Grande - Pb.

	Valores médios das médias mensais	Período
pH	7,5	03/77 a 05/79
DBO <sub>5</sub>	294 mg/ℓ	03/77 a 05/79
DQO	659 mg/ℓ	03/77 a 05/79
Nitrogênio Amomíaco	49 mgN/ℓ	03/77 a 05/79
Nitrato	0,13 mgN/ℓ	08/78 a 05/79
Fósforo Total	7,59 mgP/ℓ	09/78 a 05/79
Fósforo Solúvel	3,88 mgP/ℓ	09/78 a 05/79
Alcalinidade Total	346 mgCaCO <sub>3</sub> /ℓ	04/78 a 05/79
Sólidos Totais	1194 mg/ℓ	05/77 a 05/79
Sólidos em Suspensão	340 mg/ℓ	05/77 a 05/79
Sólidos Sedimentáveis	7,2 mL/ℓ	05/77 a 05/79

\* Fonte Piatti Neto, C.L. (08).



#### 4 - APRESENTAÇÃO DOS DADOS E RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os dados obtidos em laboratório (Quadros de I a VII), as curvas de sedimentação construídas a partir destes dados (Figuras de 4.1 a 4.7), e as curvas que relacionam o logaritmo natural da velocidade de sedimentação em zona e a concentração de SST (Figuras de 4.8 a 4.14). Os valores numéricos determinados para os parâmetros  $V_0$  e  $K$  são apresentados nas Figuras 4.14 e 4.15.

QUADRO I

Batelada I

Período de Digestão de Zero Dia

SST = Concentração de sólidos suspensos totais

T = Tempo correspondente a cada posição da interface sólidos-líquido

P = Profundidade da interface sólidos-líquido

SST = 8174 mg/ℓ			SST = 6870 mg/ℓ			SST = 6400 mg/ℓ			SST = 5600 mg/ℓ			SST = 4880 mg/ℓ			SST = 3900 mg/ℓ			SST = 2930 mg/ℓ		
T	P		T	P		T	P		T	P		T	P		T	P		T	P	
min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	25	0,6	2	0	1,0	1	50	1,1	1	20	1,1	1	15	2,5	1	15	2,5	1	20	4,7
5	10	3,6	3	40	1,9	3	25	3,3	3	00	4,5	2	50	9,5	2	50	13,0	3	05	16,2
7	20	5,6	5	15	5,4	5	00	6,3	4	35	8,8	4	25	17,0	4	30	23,0	4	40	27,9
8	10	6,6	6	50	7,7	6	40	9,8	6	10	13,3	6	05	24,5	6	10	32,0	6	10	38,2
9	05	7,6	8	30	10,3	8	20	13,3	7	50	18,0	7	45	31,0						
10	05	8,6	10	10	13,2	10	00	16,8	9	30	22,8									
11	35	10,6	11	50	16,2	11	45	20,8	11	05	27,0									
12	15	11,6	13	25	19,3															
13	00	12,6																		
13	45	13,6																		
15	15	15,6																		
17	15	19,6																		

QUADRO 11

Batelada 1

Período de Digestão de Um Dia

SST = Concentração de sólidos suspensos totais

T = Tempo correspondente a cada posição de interface sólidos-líquido

P = Profundidade da interface sólidos-líquido

SST = 9040 mg/l			SST = 8216 mg/l			SST = 6725 mg/l			SST = 5390 mg/l			SST = 4240 mg/l			SST = 3474 mg/l		
T	P		T	P		T	P		T	P		T	P		T	P	
min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	00	0,8	2	45	1,0	3	55	2,0	2	40	2,9	1	10	1,0	1	15	2,0
4	40	1,7	4	25	2,3	5	30	3,7	4	20	6,7	2	45	5,7	2	45	9,0
6	20	2,8	6	00	3,8	7	10	5,7	5	50	10,5	4	20	12,3	4	25	18,0
7	55	3,8	7	40	5,5	8	45	7,7	7	30	14,3	6	00	18,7	6	00	26,2
9	35	5,4	9	20	7,2	10	25	10,1	9	10	18,1	7	40	24,0	7	40	33,0
11	15	6,6	11	00	9,0	12	05	12,5	10	50	21,7	9	15	34,2			
12	55	7,1	12	40	11,0	13	40	15,2	12	25	25,3						
14	35	9,8	14	15	12,9	15	20	17,7									
16	10	11,2	15	55	14,9	16	55	20,2									
17	45	13,0	17	30	16,8	18	35	23,0									
19	30	14,6	19	10	19,8	20	15	25,7									
21	05	15,3															

QUADRO III

Batelada I

Período de Digestão de Três Dias

SST = Concentração de sólidos suspensos totais

T = Tempo correspondente a cada posição de interface sólidos-líquido

P = Profundidade da interface sólidos-líquido

SST = 6820 mg/ℓ			SST = 6200 mg/ℓ			SST = 5585 mg/ℓ			SST = 4860 mg/ℓ			SST = 4000 mg/ℓ			SST = 3230 mg/ℓ		
T	P		T	P		T	P		T	P		T	P		T	P	
min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	25	1,2	2	25	1,5	3	20	3,5	3	20	4,1	2	40	3,0	2	00	2,0
4	05	2,5	4	05	2,8	5	00	7,1	5	00	10,1	4	20	8,5	3	40	11,0
5	40	4,5	5	40	6,3	6	40	11,0	6	40	15,1	6	00	15,7	5	15	19,5
7	20	6,6	7	20	9,2	8	20	14,6	8	20	19,6	7	35	21,0	6	55	26,5
9	00	9,0	8	55	12,0	10	00	18,3	10	00	23,8	9	15	26,0	8	35	32,0
10	55	11,7	10	35	15,1	11	40	21,8	11	40	27,6	11	00	30,3	10	15	41,2
12	15	14,1	12	10	18,0	13	20	25,3	13	20	31,2						
13	55	16,9	13	50	21,0	15	00	29,5	15	00	34,6						
15	30	19,6	15	30	24,2												
17	10	22,2	17	10	27,1												
18	50	24,9	18	30	30,0												
20	30	27,7															

QUADRO IV

Batelada II

Período de Digestão de Zero Dia

SST = Concentração de sólidos suspensos totais

T = Tempo correspondente a cada posição da interface sólidos-líquido

P = Profundidade da interface sólidos-líquido

SST = 6862 mg/ℓ			SST = 5954 mg/ℓ			SST = 5446 mg/ℓ			SST = 4838 mg/ℓ			SST = 4150 mg/ℓ			SST = 3524 mg/ℓ			SST = 3124 mg/ℓ		
T	P		T	P		T	P		T	P		T	P		T	P		T	P	
min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	00	0,8	3	00	1,4	2	30	1,4	2	20	2,1	2	10	2,8	1	15	2,6	3	35	9,6
4	40	1,9	4	40	3,2	4	15	3,6	2	45	3,1	3	50	9,8	2	45	10,6	4	10	22,6
6	20	3,4	6	20	5,3	5	55	6,8	4	25	8,1	5	30	16,6	4	25	21,1	5	50	33,6
7	55	4,8	7	55	7,1	7	30	10,6	5	55	13,1	7	10	22,6	6	05	28,6			
9	30	6,3	9	30	10,1	9	05	13,8	7	45	17,8	8	40	26,8	7	45	33,8			
11	10	8,3	11	05	13,1	10	50	17,6	9	25	21,6	10	20	30,3						
12	50	11,1	12	45	16,1	12	30	20,8	10	55	25,1	12	00	33,6						
14	30	13,6	14	15	19,1	14	10	24,1	12	35	28,3	13	00	36,6						
16	10	16,1	15	55	22,1	15	45	27,4	14	15	31,6									
17	45	19,1	17	35	25,1	17	25	29,5	15	55	34,9									
19	25	21,6	19	15	27,9	19	05	32,9	17	35	37,1									
21	05	24,2																		

QUADRO V

Batelada II

Período de Digestão de Um Dia

SST = Concentração de sólidos suspensos totais

T = Tempo correspondente a cada posição da interface sólidos-líquido

P = Profundidade da interface sólidos-líquido

SST = 6754 mg/l SST = 6312 mg/l SST = 5464 mg/l SST = 5058 mg/l SST = 4512 mg/l SST = 3694 mg/l SST = 4092 mg/l

T			P			T			P			T			P			T			P		
min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	00	0,8	1	15	0,8	2	10	1,0	1	50	2,8	2	35	4,6	1	35	2,6	2	40	6,6			
3	35	1,9	2	55	2,1	3	50	4,1	3	30	4,9	4	15	10,1	3	10	10,6	4	20	13,6			
5	15	3,9	4	35	4,4	5	25	7,2	5	10	9,1	5	50	15,9	4	45	18,6	6	00	21,1			
6	55	5,9	6	15	6,3	7	00	10,5	6	45	13,6	7	35	21,1	6	25	26,8	7	35	26,8			
8	30	8,1	7	55	10,0	8	45	14,0	8	25	18,1	9	10	25,6	8	05	32,6	9	10	31,4			
10	10	10,4	9	35	13,0	10	20	17,4	10	05	22,1	10	50	29,5	9	40	37,6						
11	50	13,0	11	10	15,8	12	00	21,1	11	45	25,9	12	30	31,2									
13	30	15,7	12	50	18,9	13	40	24,6	13	20	29,4												
15	05	18,2	14	30	21,7	15	20	27,6	15	00	32,6												
16	45	21,0	16	10	24,8	17	00	30,6															
18	25	23,4	17	45	27,6																		
20	00	25,8	19	25	30,1																		

QUADRO VI

Barrelada II

Período de Digestão de Três Dias

SST = Concentração de sólidos suspensos totais

T = Tempo correspondente a cada posição da interface sólidos-líquido

P = Profundidade da interface sólidos-líquido

(continua)

SST = 6720 mg/ℓ			SST = 5960 mg/ℓ			SST = 5390 mg/ℓ			SST = 4818 mg/ℓ			SST = 4418 mg/ℓ			SST = 3628 mg/ℓ		
T	P		T	P		T	P		T	P		T	P		T	P	
min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	00	0,6	4	25	1,6	3	20	1,1	2	45	2,0	2	00	0,6	1	30	1,0
4	40	1,1	6	05	3,2	5	05	2,6	5	20	3,2	3	40	2,7	3	15	4,0
6	20	2,4	7	40	4,8	7	45	4,7	7	05	6,6	5	15	5,6	4	55	9,0
8	00	3,4	9	20	6,8	8	25	6,8	8	45	9,3	6	55	9,1	6	30	14,0
9	40	4,4	10	55	8,8	10	00	9,1	10	25	12,0	8	30	12,3	8	10	18,5
11	20	5,5	12	35	10,6	11	40	11,2	12	05	14,7	10	10	15,6	9	50	23,3
13	00	6,7	14	10	12,6	13	15	13,5	13	45	17,4	12	50	18,6	10	30	27,0
14	40	8,0	15	50	14,6	14	55	15,8	15	25	20,0	15	10	24,6	12	10	30,5
15	20	9,3	17	30	16,6	16	35	18,1	17	05	22,6	16	45	27,7			
17	00	10,9	19	10	18,6	18	10	20,4	18	45	25,0						
18	40	12,4															
19	20	13,9															
21	00	15,6															

QUADRO VI

(continuação)

SST = 3052 mg/ℓ			SST = 2758 mg/ℓ		
T		P	T		P
min	seg	cm	min	seg	cm
0	0	0	0	0	0
3	40	6,5	3	45	4,0
5	20	13,0	5	25	11,0
6	55	20,0	7	05	19,0
8	35	26,0	8	45	27,5
10	15	30,0	9	25	34,5



QUADRO VII

Bate-lata VI

Período de Digestão de Cinco Dias

SST = Concentração de sólidos suspensos totais

T = Tempo correspondente a cada posição da interface sólidos-líquido

P = Profundidade da interface sólidos-líquido

SST = 6666 mg/ℓ SST = 6072 mg/ℓ SST = 5508 mg/ℓ SST = 4906 mg/ℓ SST = 4456 mg/ℓ SST = 3822 mg/ℓ SST = 3270 mg/ℓ

T		P		T		P		T		P		T		P		T		P		
min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm	min	seg	cm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	00	0,7	2	55	1,0	3	45	1,3	3	10	1,4	3	00	1,8	3	10	3,0	2	50	1,3
4	40	1,5	4	35	2,1	4	25	3,5	4	50	3,7	4	40	4,3	4	50	7,5	4	30	5,8
6	20	2,8	6	10	4,2	6	05	5,5	6	30	6,2	6	20	7,3	6	30	12,0	6	10	11,8
8	00	4,3	7	50	6,4	7	45	6,8	8	10	8,7	8	00	10,4	8	10	16,5	7	50	18,3
9	40	6,0	9	40	8,4	9	25	10,2	9	50	11,4	9	10	13,7	9	50	20,5	9	30	24,3
10	20	7,8	11	10	10,4	11	05	12,7	11	20	14,2	11	20	16,8	11	30	24,3			
12	00	9,5	12	50	12,6	12	45	15,2	13	10	16,9	13	00	20,1						
13	40	11,2	14	25	14,7	14	25	17,6	14	50	19,7	14	40	23,3						
15	20	13,0	16	00	15,6	16	05	20,0	16	30	22,3	16	20	26,3						
17	00	14,8	11	40	18,8															

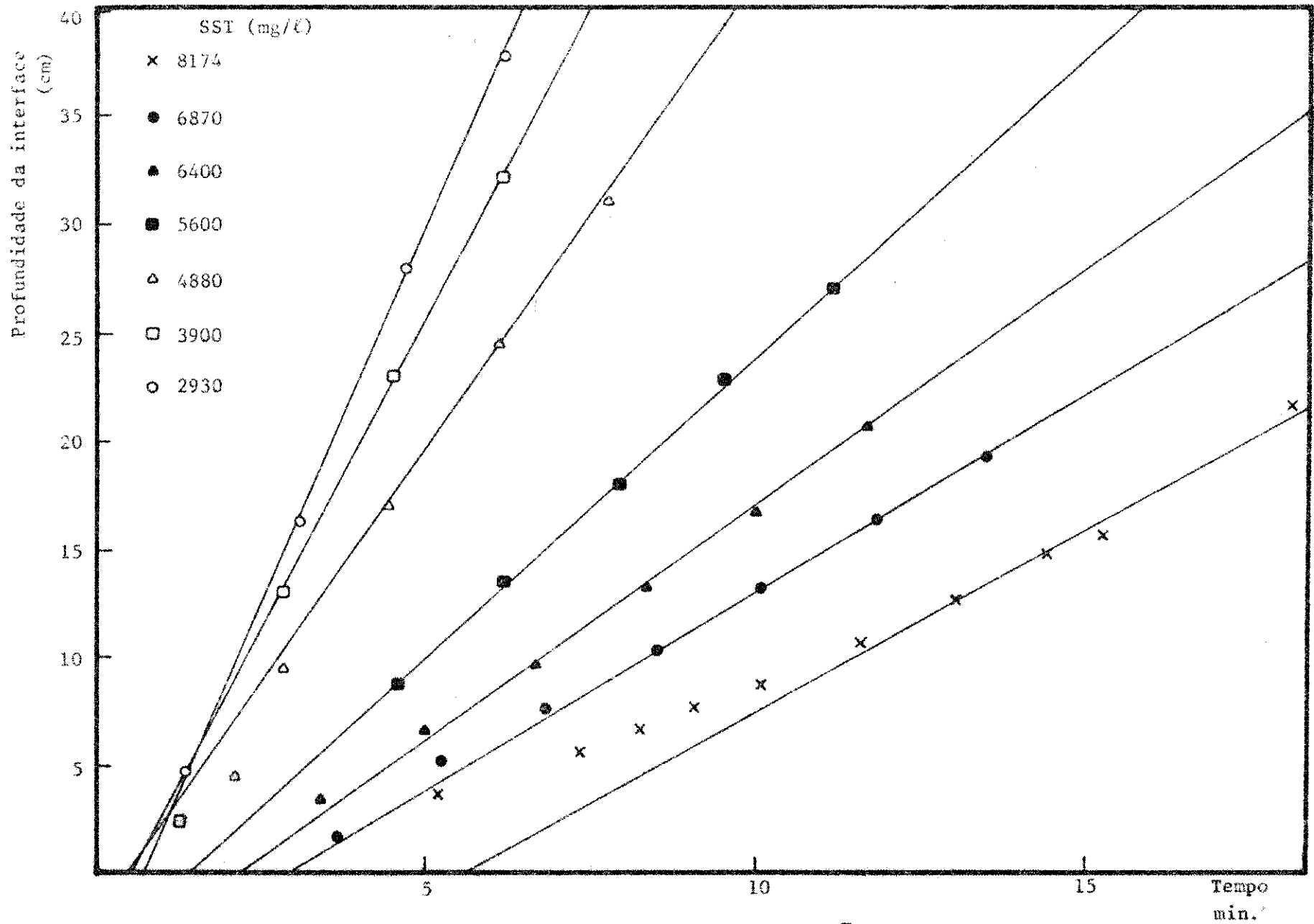


Fig. 4.1 - Curva de Sedimentação (Batelada 1, período de digestão de zero dia).

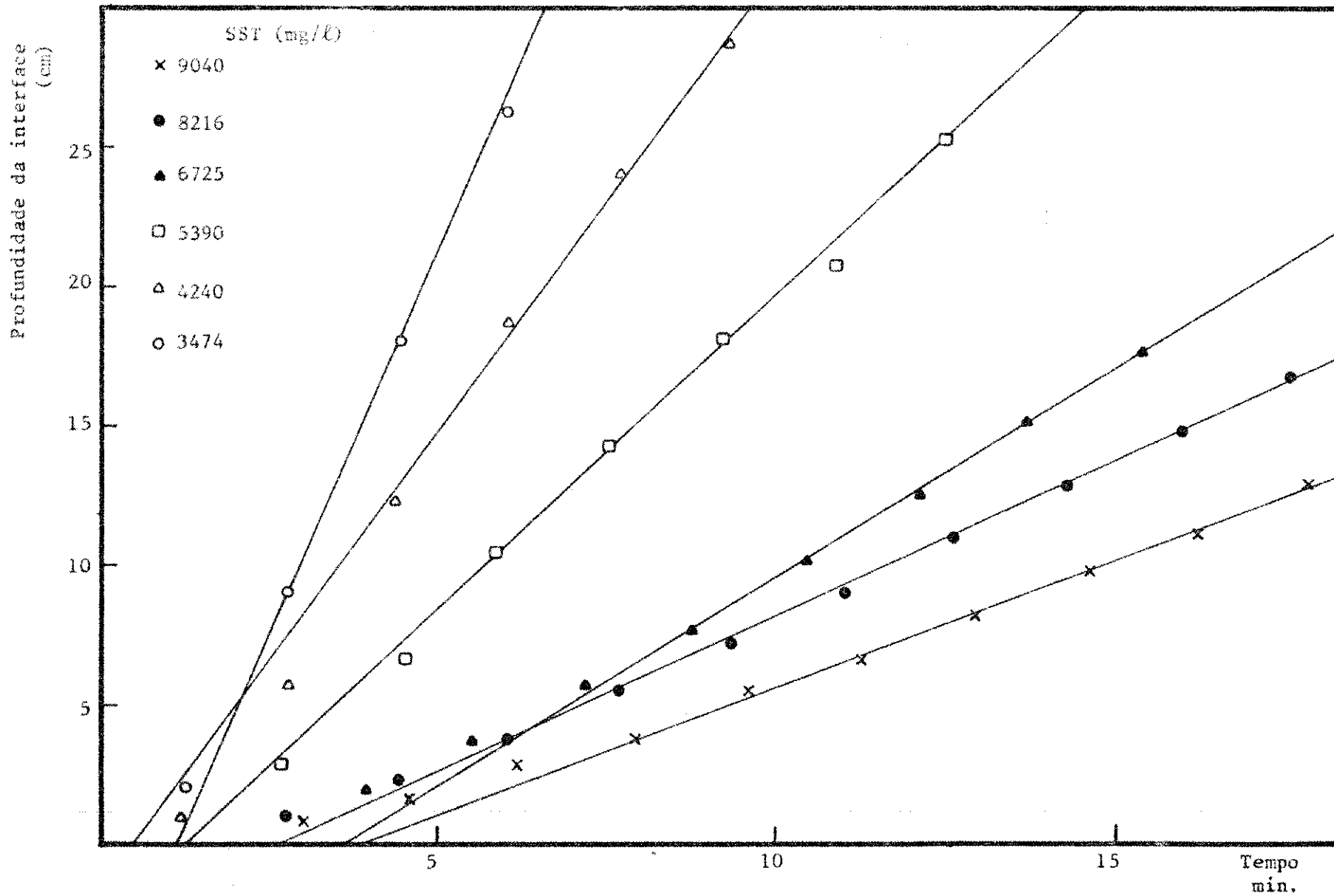


Fig. 4.2 - Curva de Sedimentação (Batelada 1, período de digestão de um dia).

Profundidade da interface  
(cm)

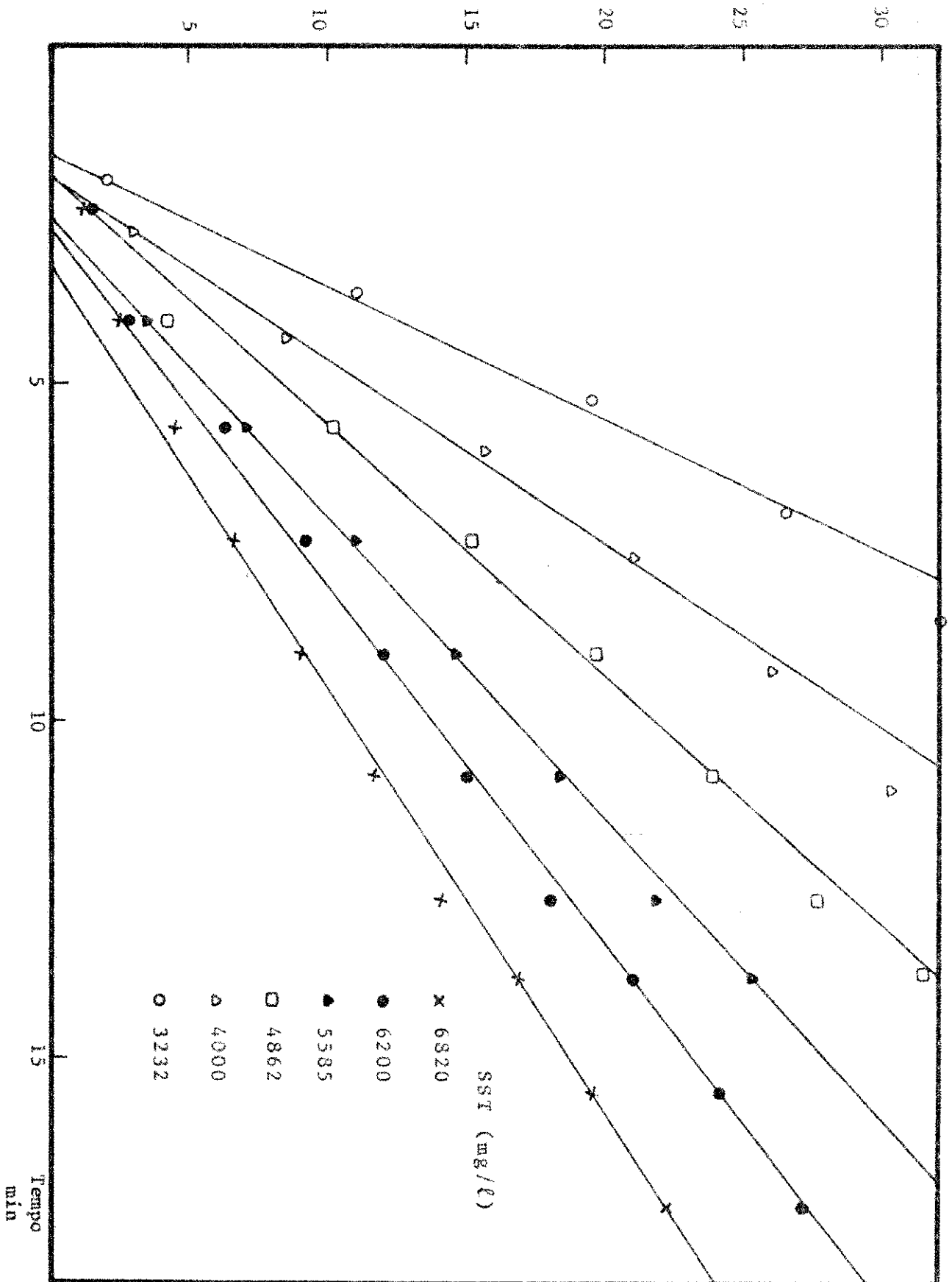


Fig. 4.3 - Curva de Sedimentação (Batelada 1, período de digestão de três dias).

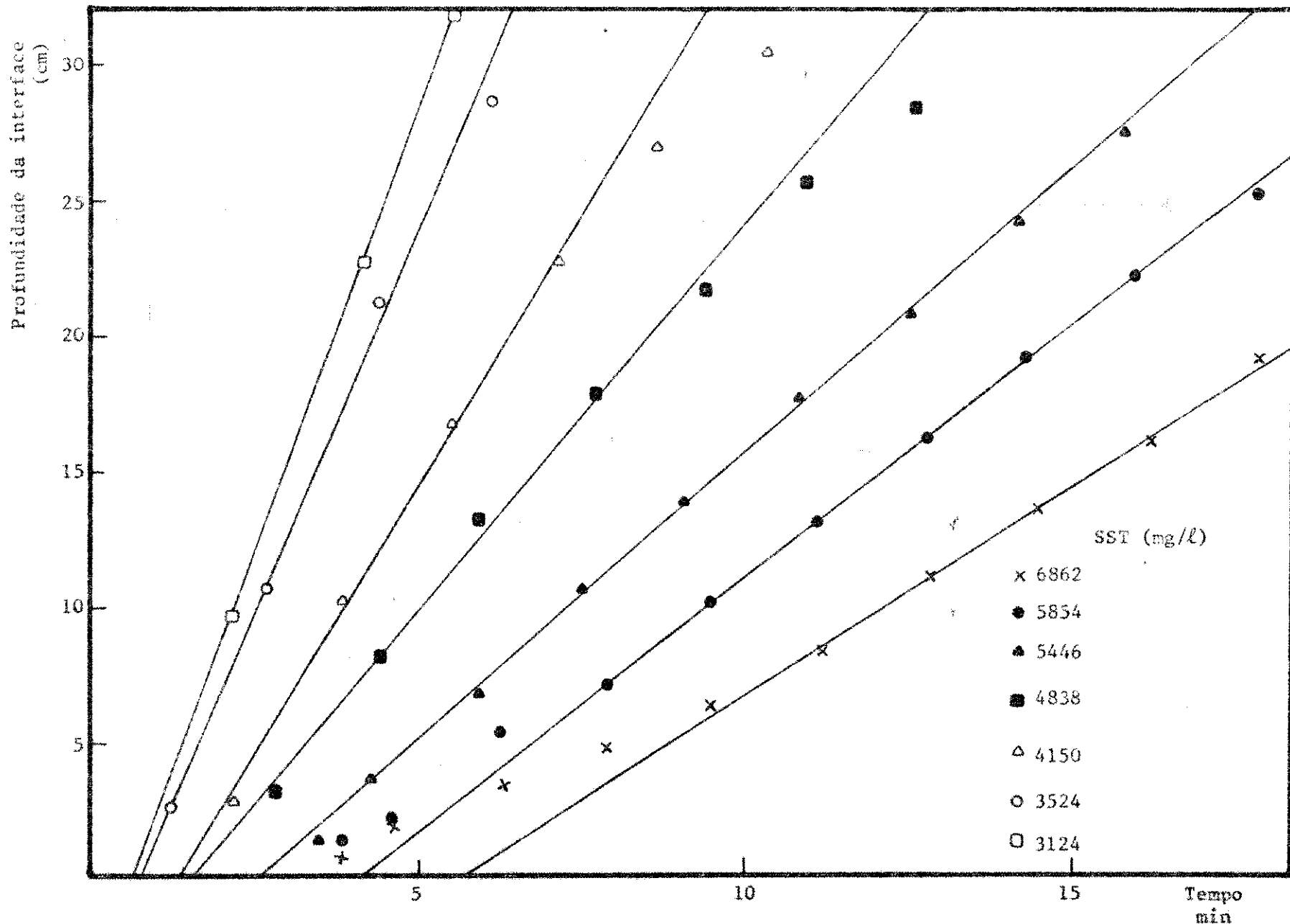


Fig. 4.4 - Curva de Sedimentação (Batelada II, período de digestão de zero dia).

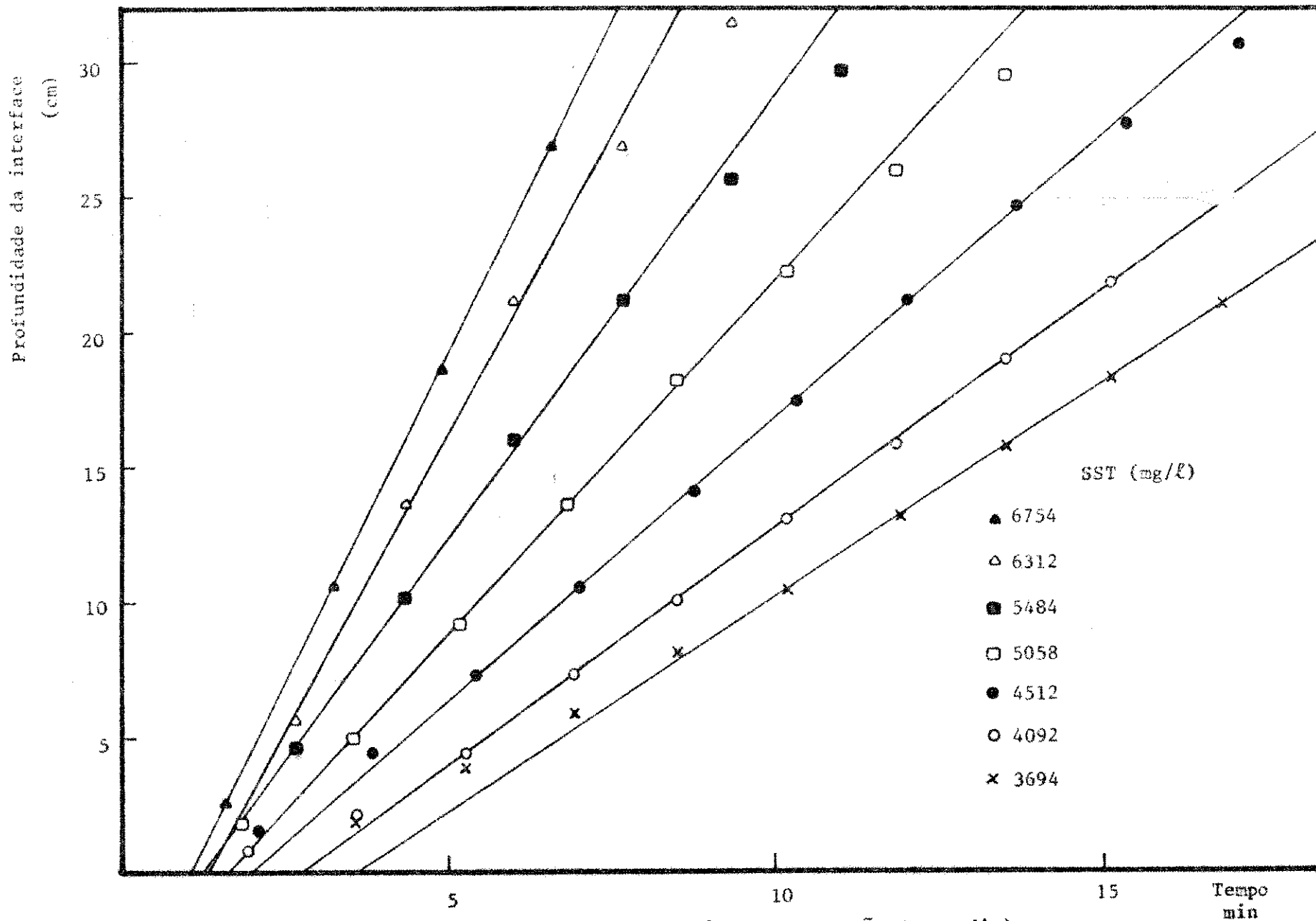


Fig. 4.5 - Curva de Sedimentação (Batelada II, período de digestão de um dia).

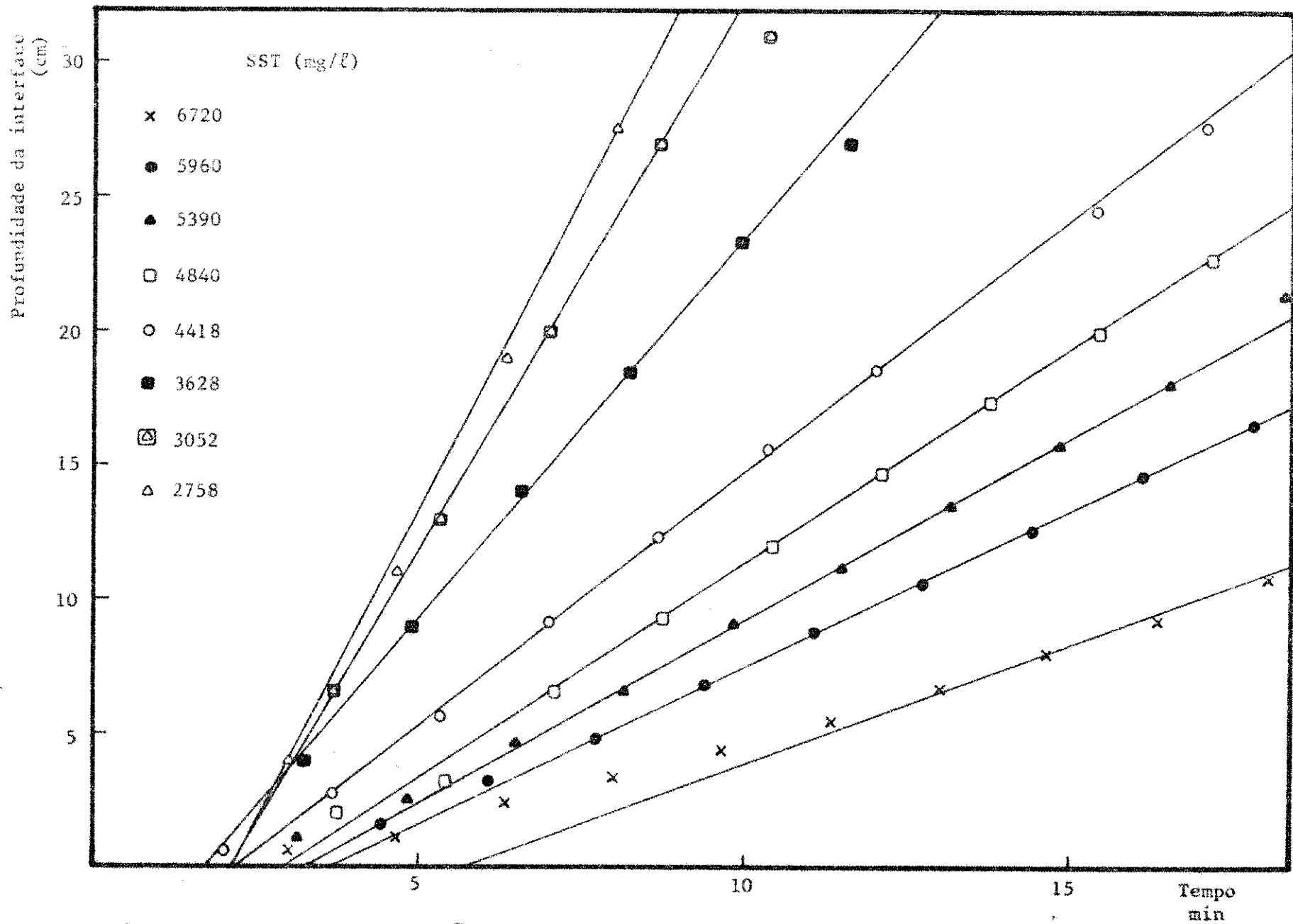


Fig. 4.6 - Curva de Sedimentação (Batelada II, período de três dias).

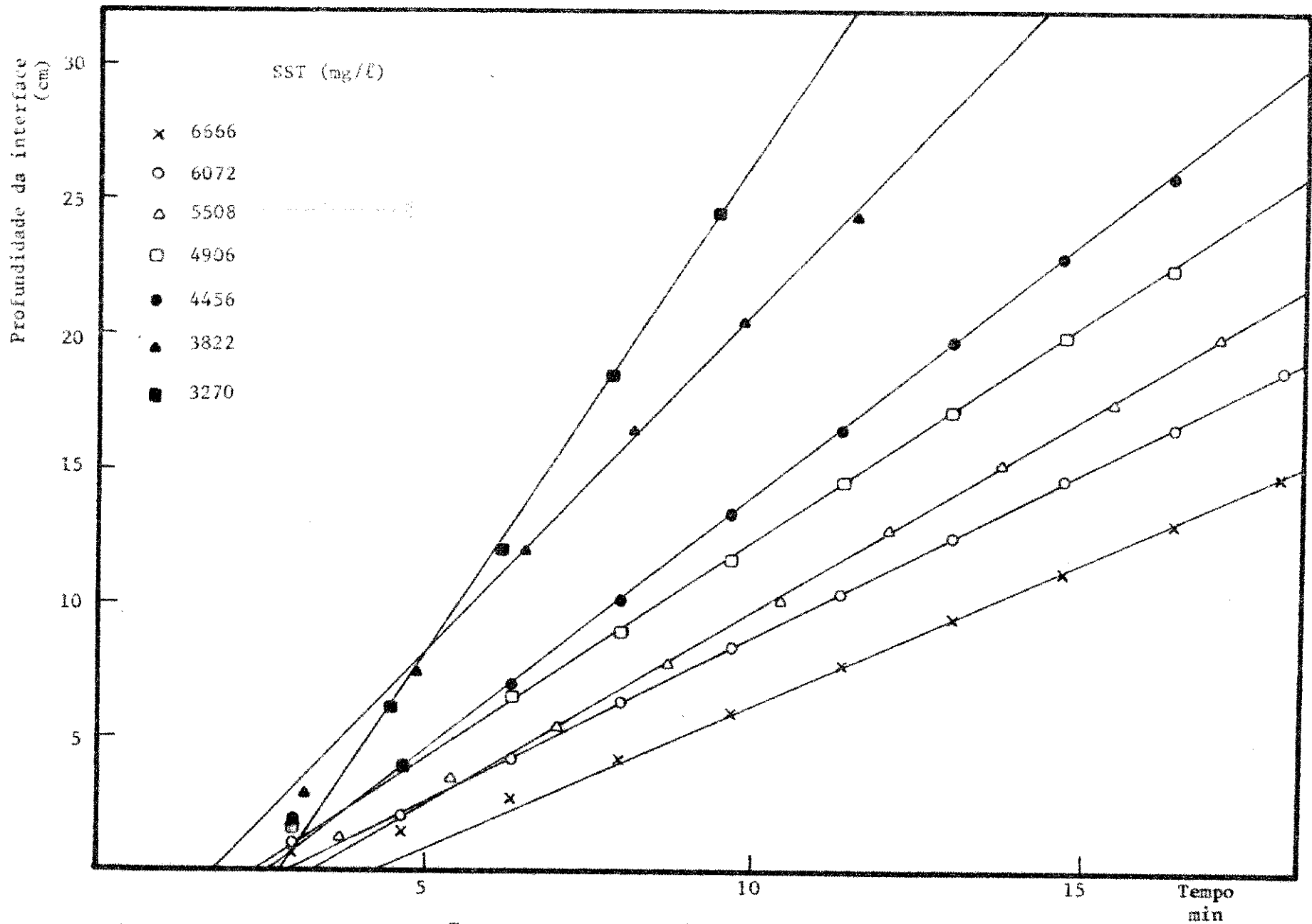


Fig. 4.7 - Curva de Sedimentação (Batelada II, período de cinco dias).



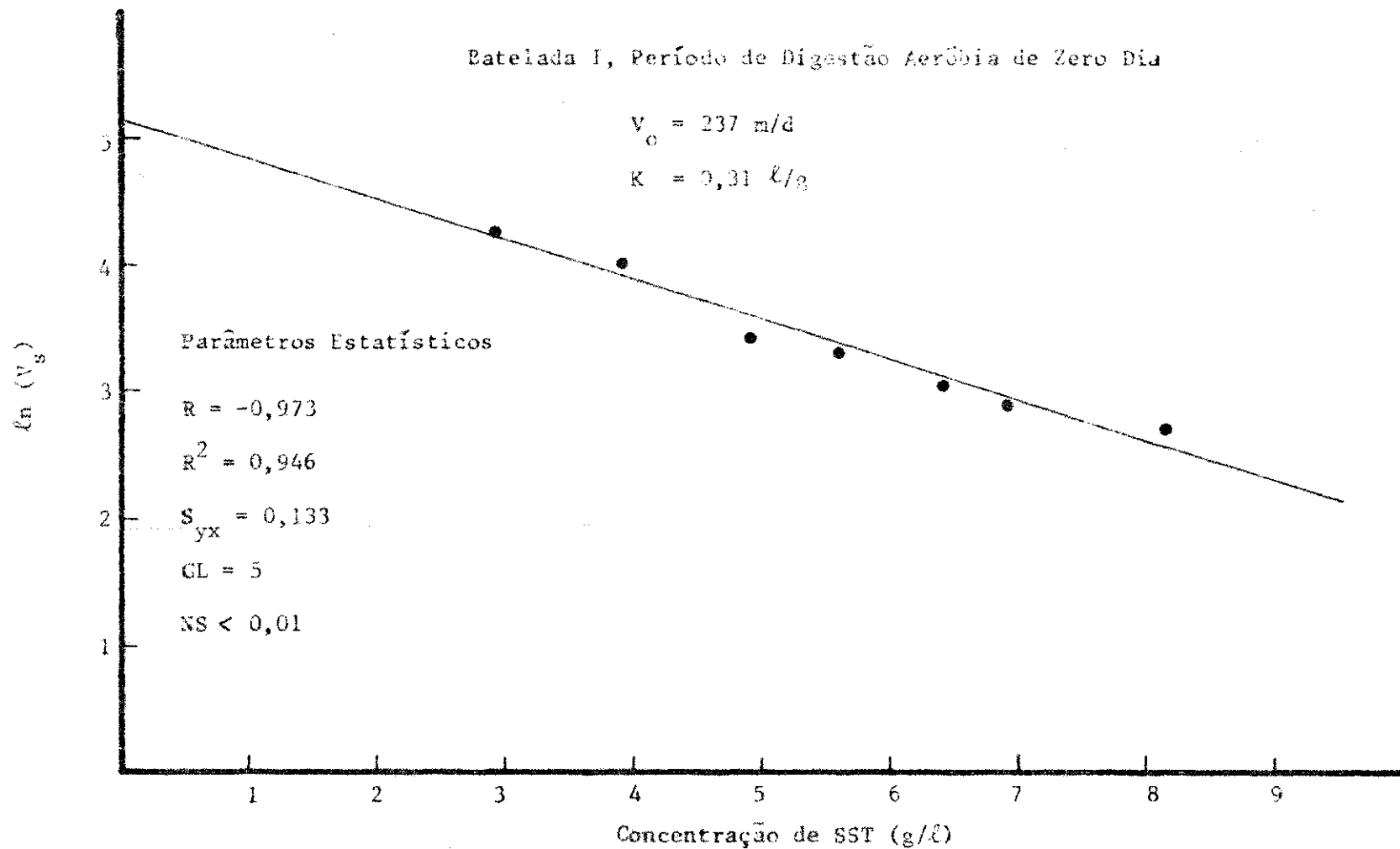


Fig. 4.8 - Curva que relaciona o logaritmo natural da velocidade de sedimentação em zona com a concentração de SST ( $\ln(V_s) \times C$ ).

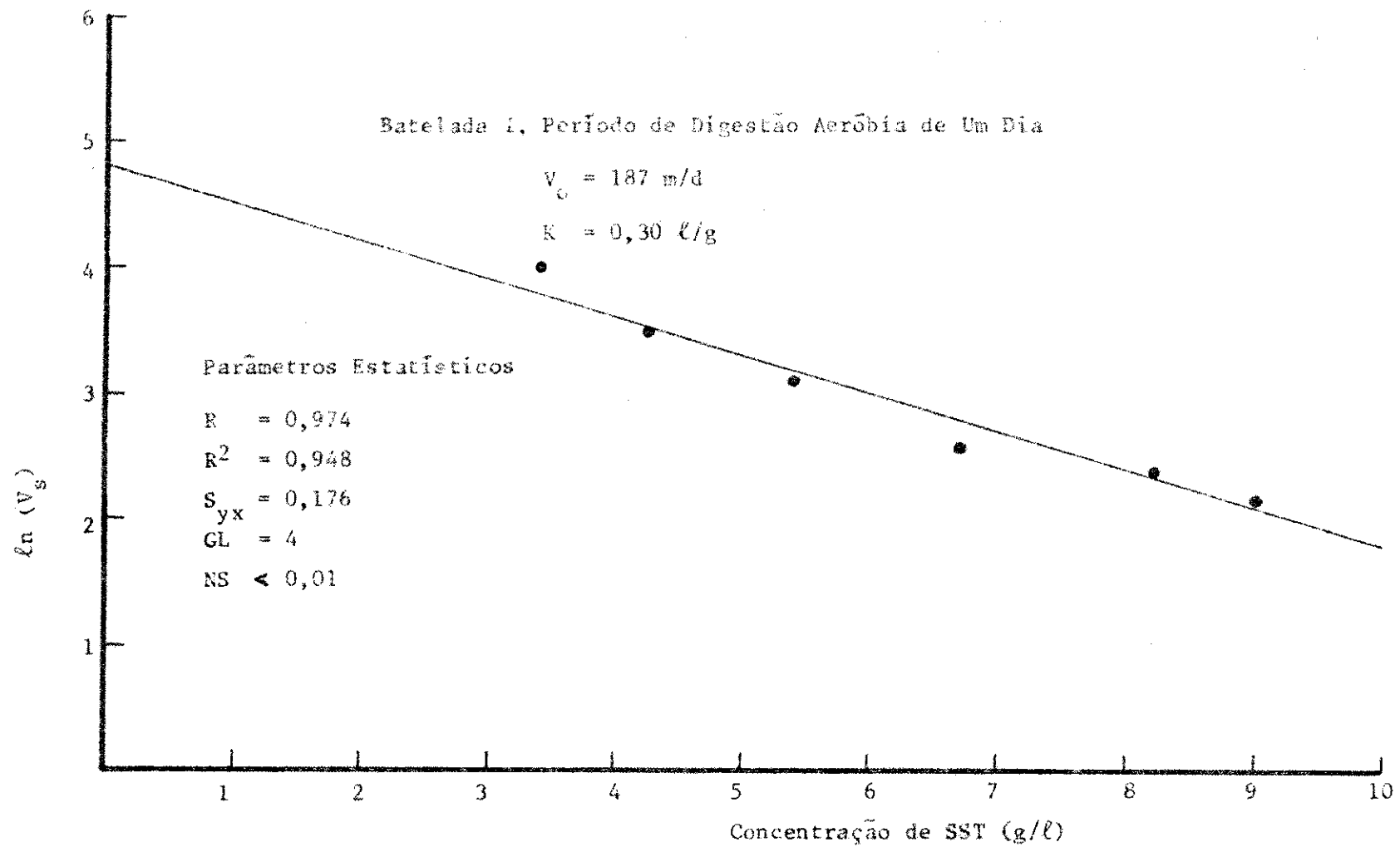


Fig. 4.9 - Curva que relaciona o logarítmo natural da velocidade de sedimentação em zona com a concentração de SST ( $\ln(V_s) \times C$ ).

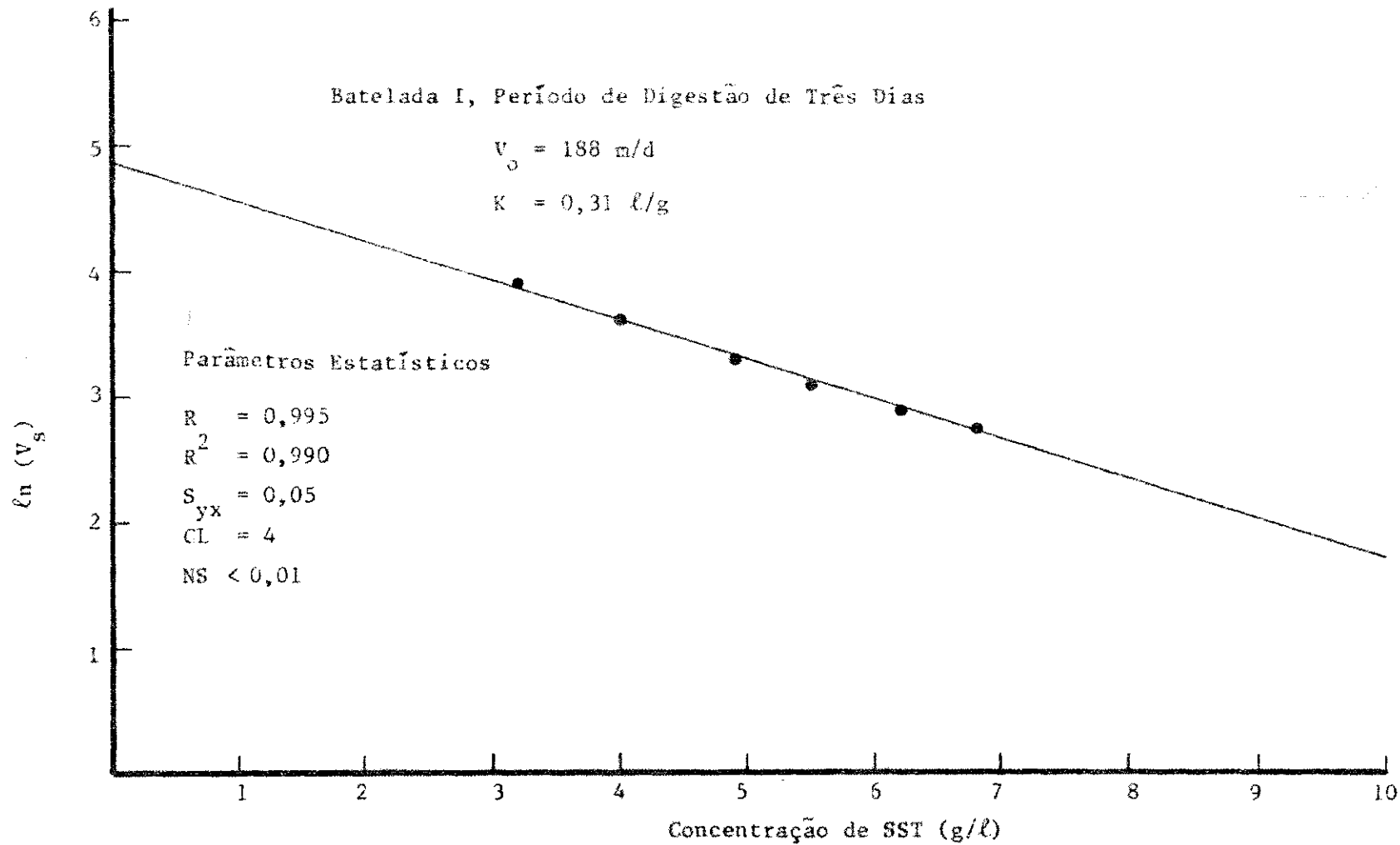


Fig. 4.10 - Curva que relaciona o logaritmo natural da velocidade de sedimentação em zona com a concentração de SST ( $\ln(V_s) \times C$ ).

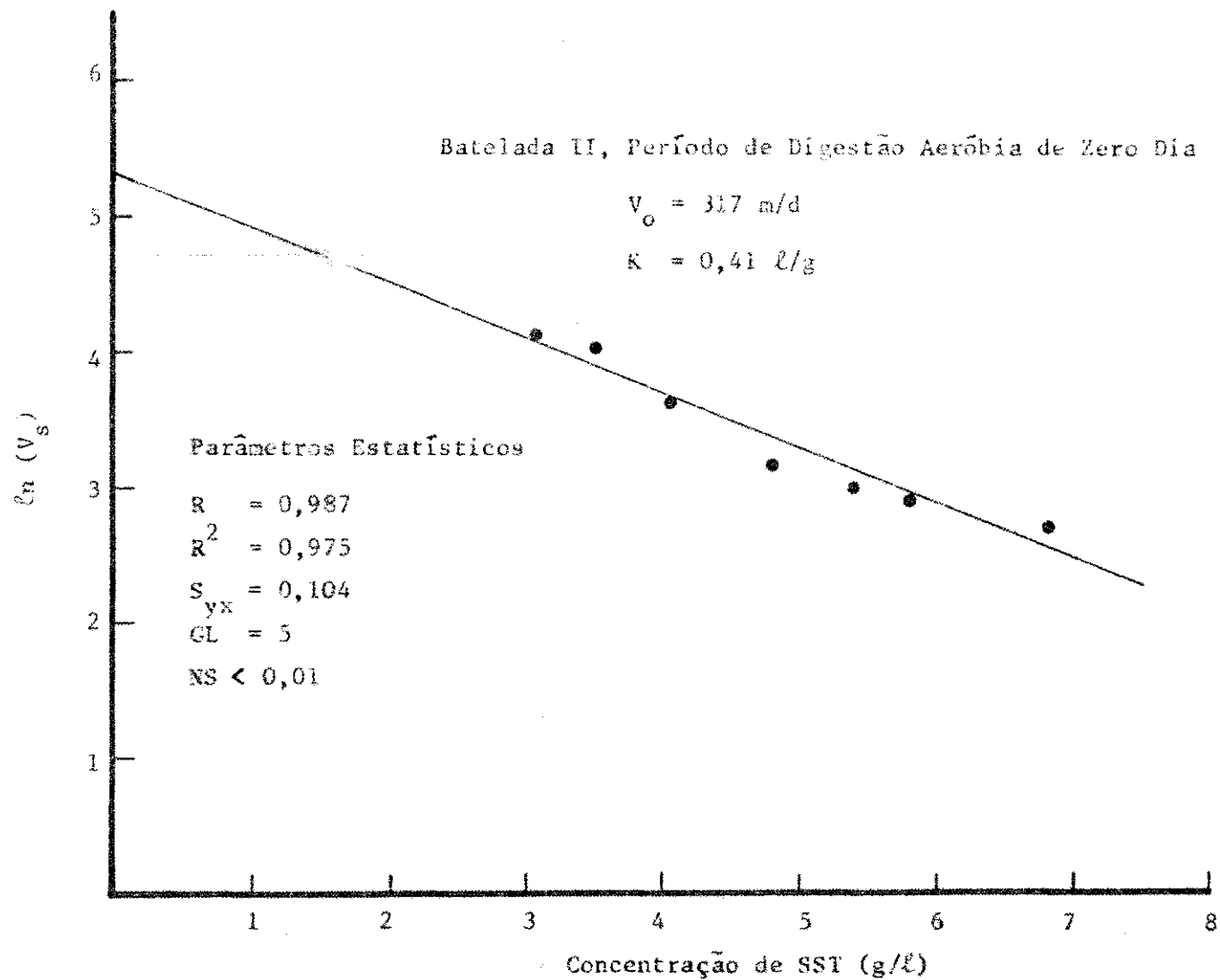


Fig. 4.11 - Curva que relaciona o logaritmo natural da velocidade de sedimentação em zona com a concentração de SST ( $\ln(V_s) \times C$ ).

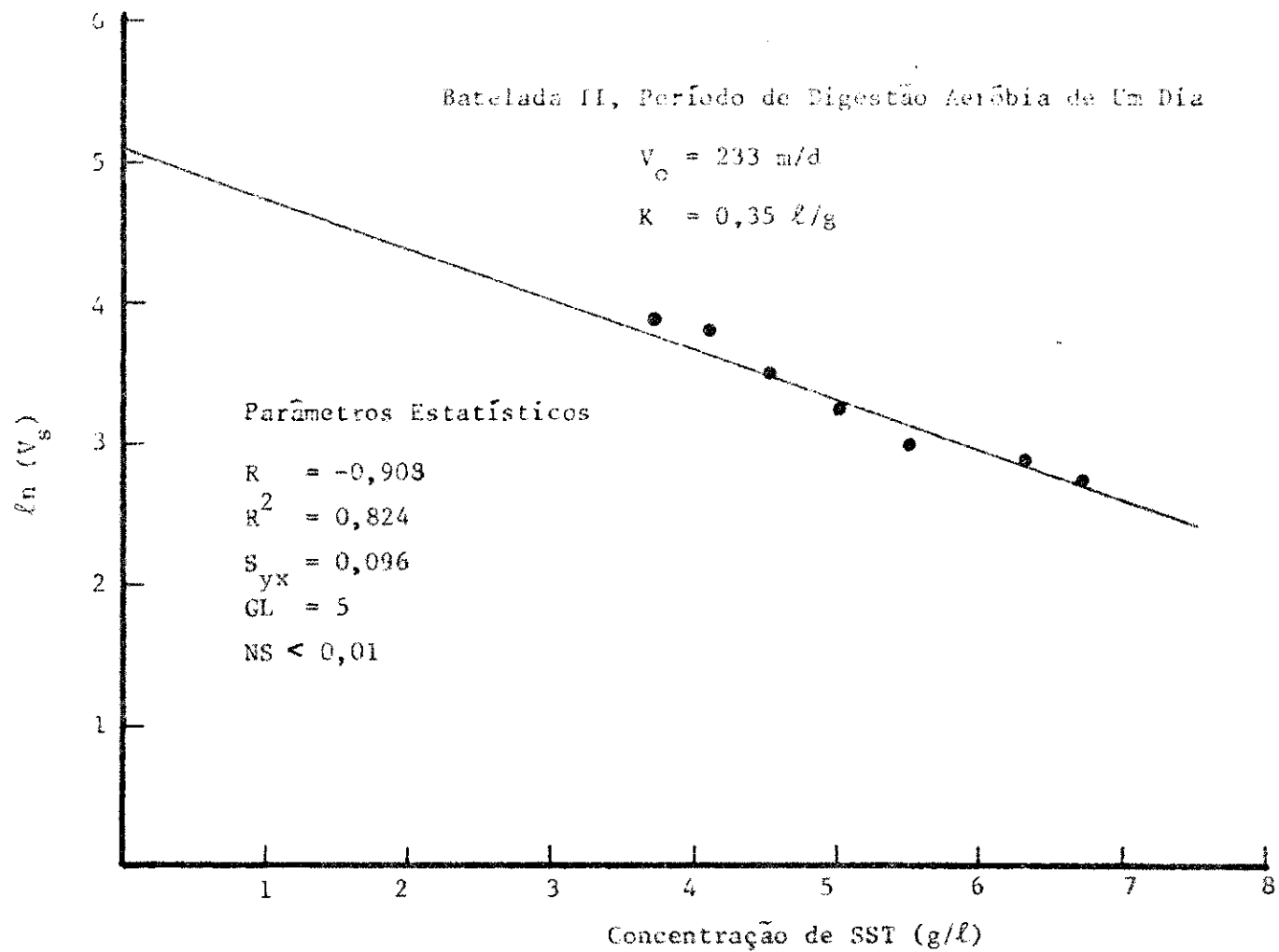


Fig. 4.12 - Curva que relaciona o logarítmo natural da velocidade de sedimentação em zona com a concentração de SST ( $\ln(V_s) \times C$ ).

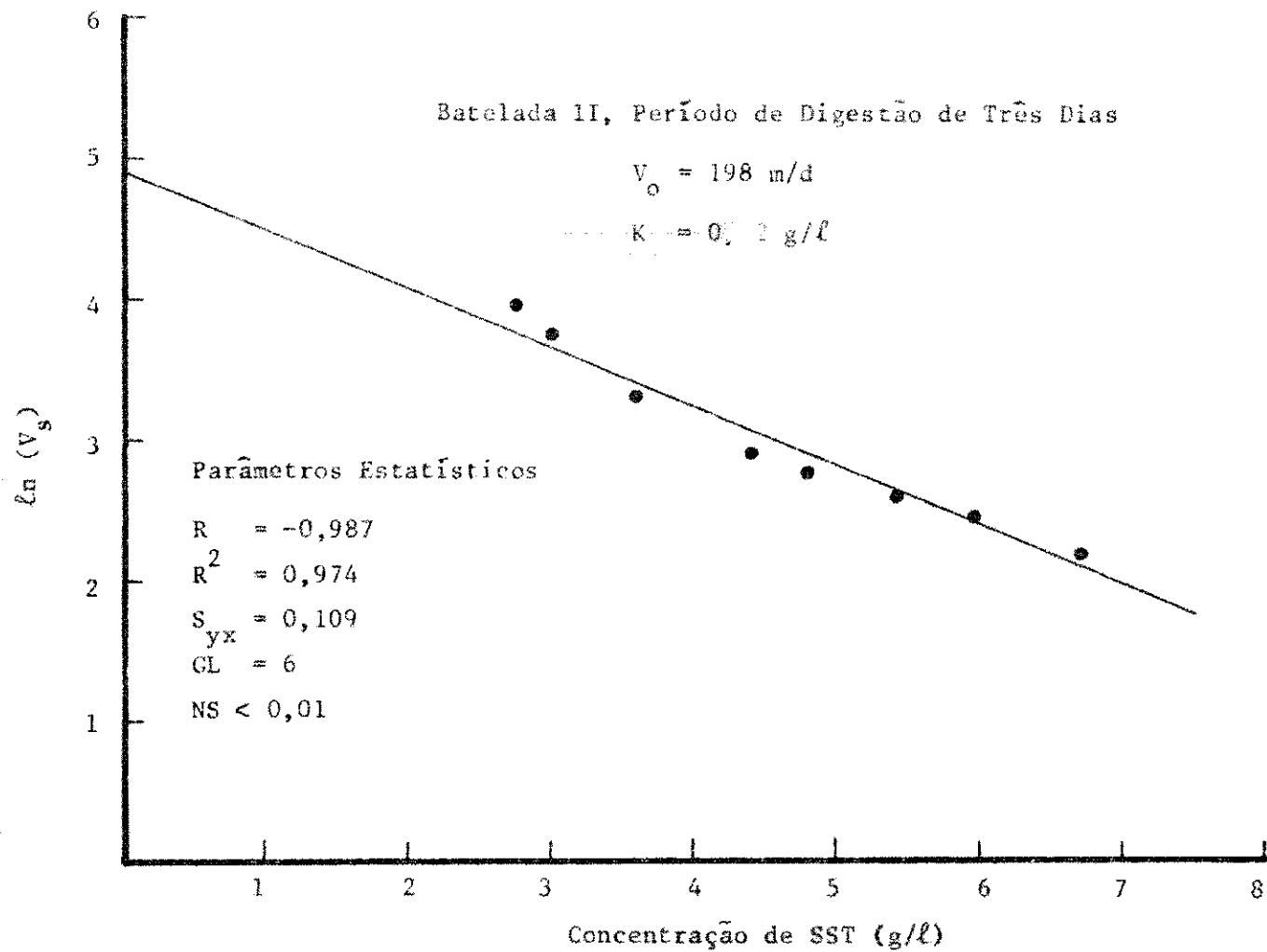


Fig. 4.13 - Curva que relaciona o logarítmo natural da velocidade de sedimentação em zona com a concentração de SST ( $\ln(V_s) \times C$ ).

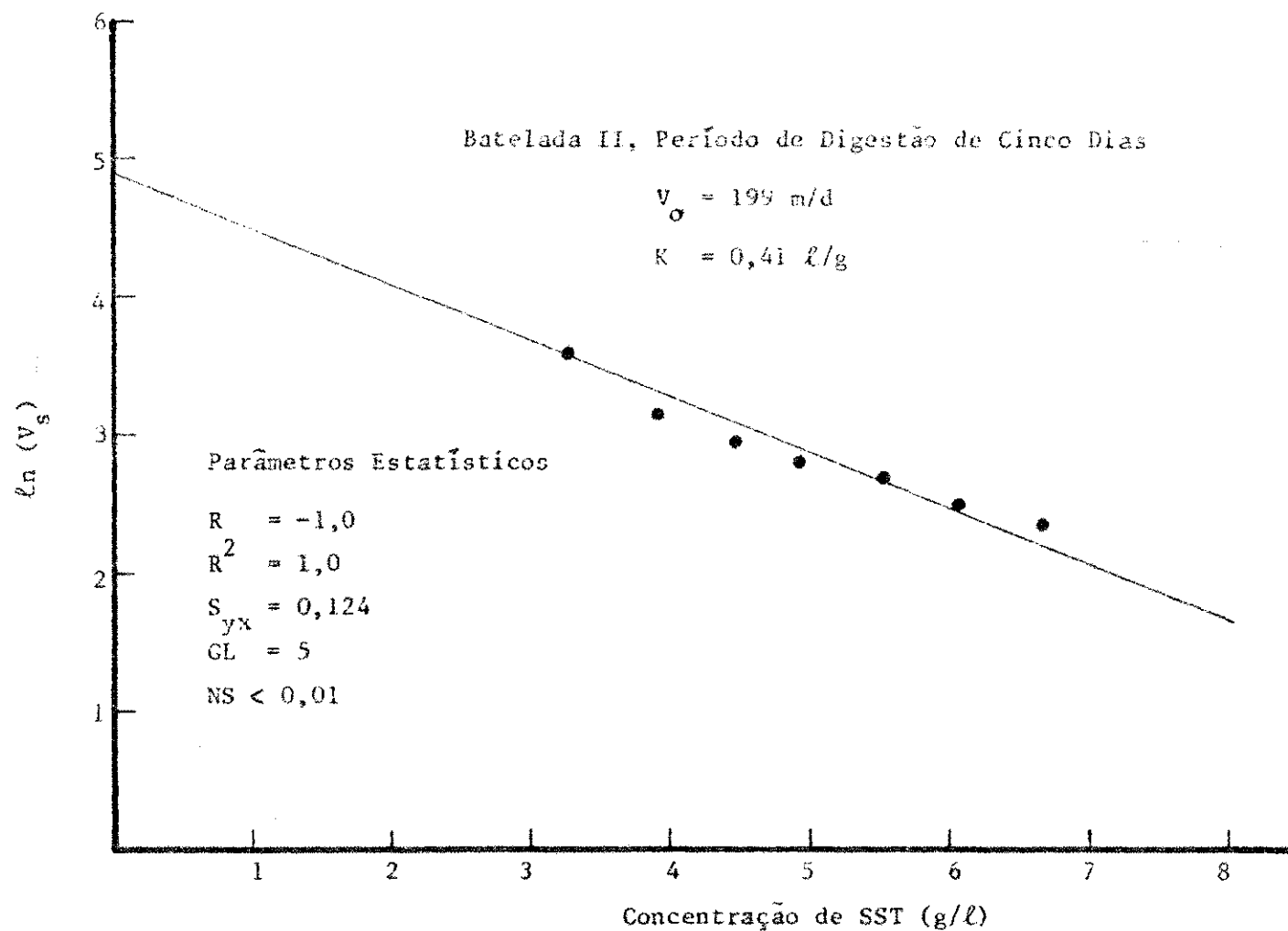


Fig. 4.14 - Curva que relaciona o logaritmo natural da velocidade de sedimentação em zona com a concentração de SST ( $\ln(V_s) \times C$ ).

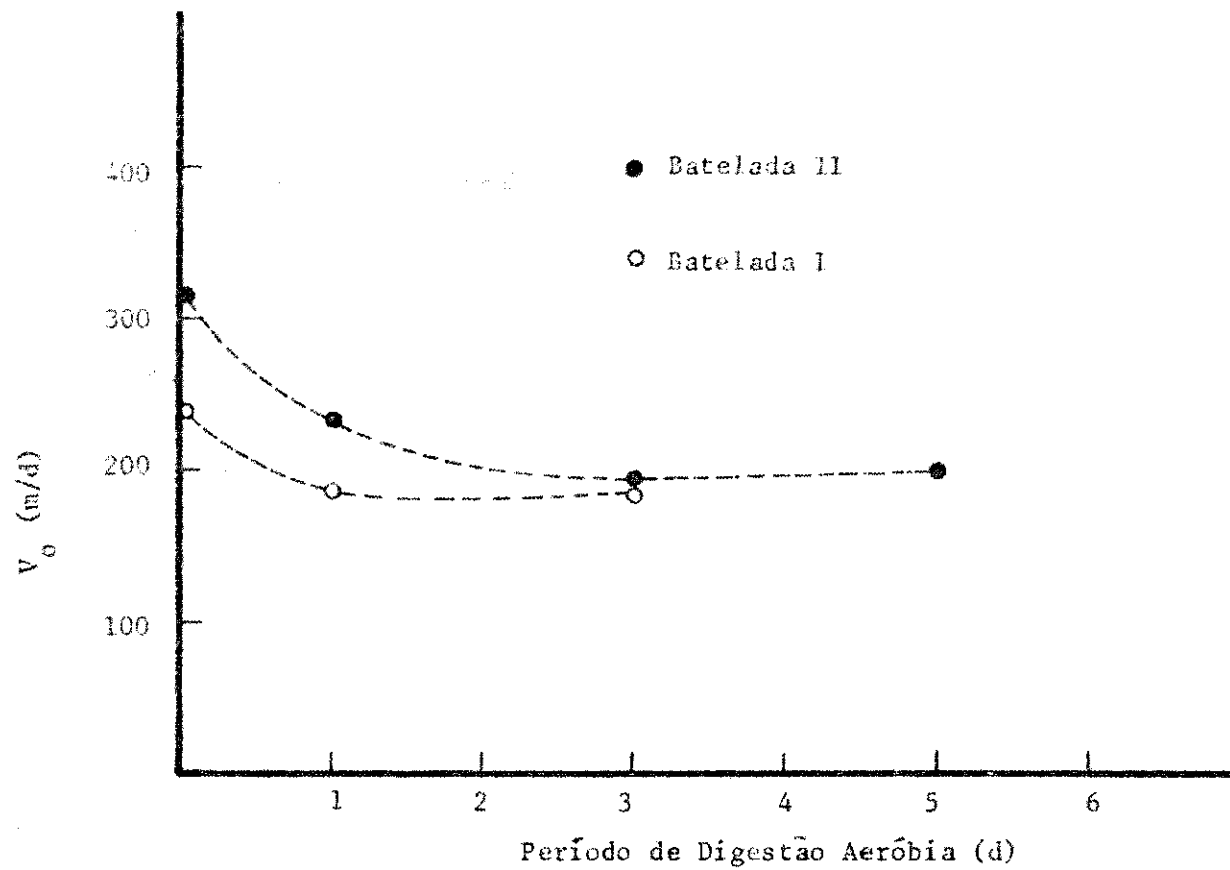


Fig. 4.15 - Valores de  $V_o$  em função do tempo de digestão para cada batelada produzida.



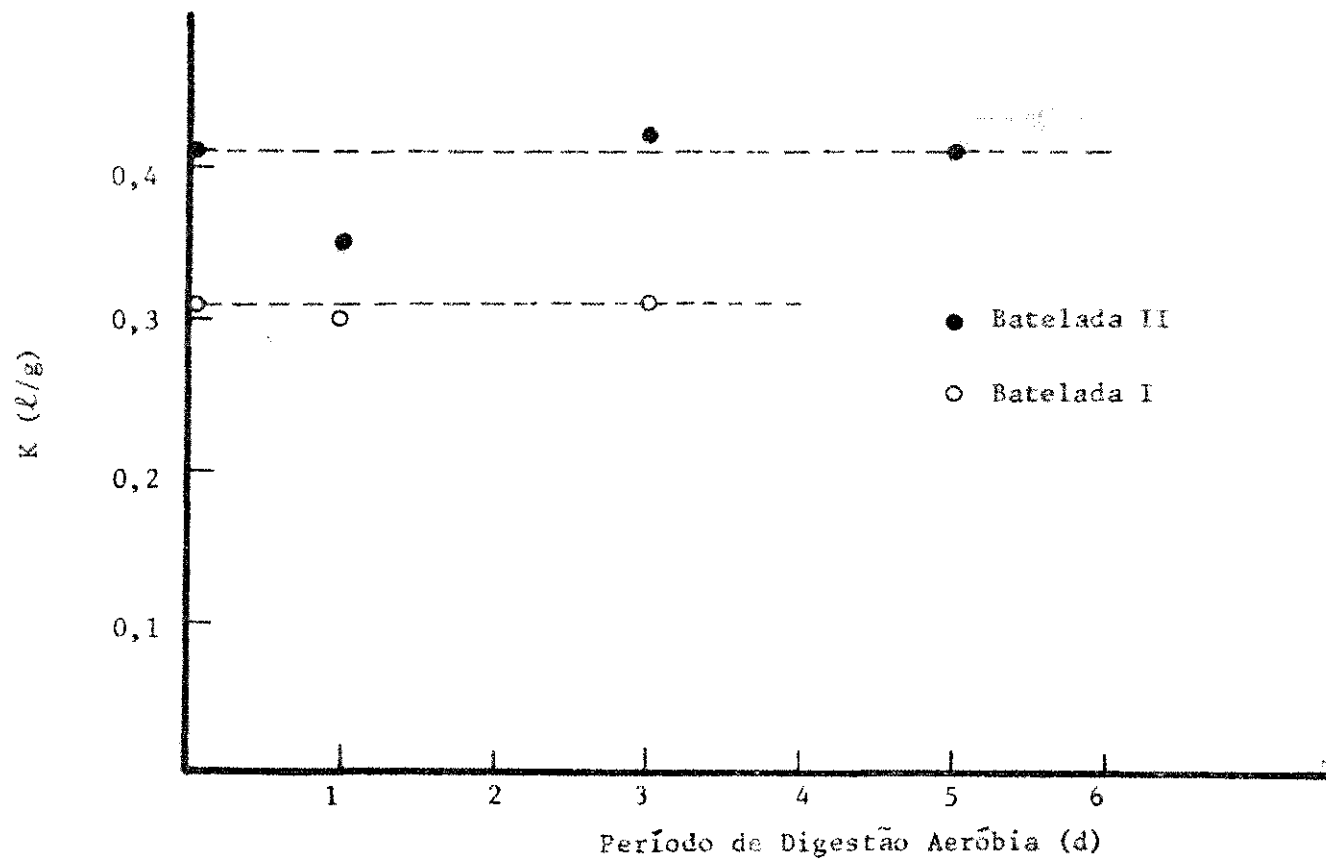


Fig. 4.16 - Valores de K em função do tempo de digestão para cada batelada produzida.

## 5 - DISCUSSÃO

O objetivo deste capítulo, no que se refere à parte experimental, é discutir a validade da Equação de Vesilind para expressar a velocidade de sedimentação em zona como uma função exponencial da concentração de sólidos suspensos. No que se refere à parte teórica, discute-se o uso da Eq. (2.26), que dá a área mínima por unidade de vazão influente, no cálculo do volume do Decantador Secundário. Discute-se, ainda, a otimização do dimensionamento do sistema principal de tratamento, e o dimensionamento de Adensadores.

### 5.1 - Resultados obtidos em laboratórios

Quando plotados os logaritmos naturais das velocidades de sedimentação em zona contra as respectivas concentrações de SST, observa-se que uma relação aproximadamente linear é conseguida. Ajustando-se os pontos obtidos a uma reta de regressão linear, cujos coeficientes linear e angular são os parâmetros  $V_0$  e  $K$ , respectivamente, (ver Fig. 4.8 a 4.14), para todos os graus de estabilização considerados nas duas bateladas produzidas, as retas de regressão linear determinadas forneceram correlações tais que, comprovam a linearidade da rela

ção entre os logaritmos naturais da velocidade de sedimentação em zona e as respectivas concentrações de SST.

Daí conclui-se que a Equação de Vesilind é válida para interpretar a sedimentação do lodo produzido em sistemas de Lodo Ativado, como também, para o lodo digerido aerobicamente.

É importante notar que, para concentrações inferiores a 1500 mg/l a sedimentação em zona não mais ocorre. Como o parâmetro  $V_0$  corresponde a uma concentração zero, com mais razão ainda a sedimentação em zona não é observada. Portanto, o parâmetro  $V_0$  é puramente teórico, sendo calculado matematicamente. Contudo, isto não significa que a Equação de Vesilind não seja válida, isto porque, para concentrações dentro da faixa onde a sedimentação em zona ocorre, esta equação fornece resultados satisfatórios.

Quanto à estabilização, os valores de  $V_0$  e K mostraram a seguinte tendência:

- a) O lodo cru apresentou um determinado valor de  $V_0$  que decresceu após um dia de digestão, permanecendo praticamente inalterado durante os dias subsequentes (ver Fig. 4.15).
- b) Durante toda a digestão, para uma mesma batelada, o parâmetro K permanecer praticamente inalterado (ver Fig. 4.16).

Para o lodo cru, a primeira batelada apresentou um valor de 237 m/d para o  $V_0$  e 0,3 l/g para K, e a segunda batelada apresentou para os mesmos parâmetros valores de 317 m/d e

0,4  $\ell/g$ , respectivamente. Isto indica que estes parâmetros variam dentro de uma determinada faixa. É possível que esta variação deva-se ao fato de que o lodo foi produzido a partir de esgoto bruto cujas características físicas, químicas e biológicas são variáveis. Como foram produzidas apenas duas bateladas, não é estatisticamente seguro indicar valores para tais parâmetros nem estipular faixas de variações.

### 5.2 - Dimensionamento de decantadores secundários

Para dimensionar decantadores secundários, a área mínima por unidade de vazão influente deve ser encontrada para determinados valores das concentrações de entrada e de lodo de retorno ( $C_e$  e  $C_r$ , respectivamente). A Eq. (2.26) dá a área necessária para a efetivação simultânea das funções de clarificação e adensamento, e é derivada a partir de critérios, tais como capacidade de transmissão de sólidos e retirada de lodo de retorno, que garantem, prioritariamente, o adensamento. Em consequência, seu uso fica restrito a pares de valores ( $C_e$ ,  $C_r$ ) tais que,  $C_e$  seja sempre menor que  $C_\ell$  (concentração limitante que determina a capacidade máxima de transmissão de sólidos), e  $C_r$  seja sempre maior que  $C_m$  (concentração mínima de lodo de retorno). Por outro lado, é sempre possível a determinação da área necessária para a clarificação, quaisquer que sejam os pares de valores ( $C_e$ ,  $C_r$ ) escolhidos. Para tanto a carga de sólidos a ser aplicada ao decantador ( $F_{sol}$ ), deve ser igual ao fluxo de sólidos

dado por:

$$F = C_e V_o \text{Exp}(-KC_e) + R Q_i / A \quad (5.1)$$

O que resulta em,

$$Q_i / A = V_o \text{Exp}(-KC_e) \quad (5.2)$$

Escrevendo-se a Eq. (5.2) em termos de área mínima por unidade de vazão influente, tem-se:

$$\ell_n(a_m) = KC_e - \ell_n V_o \quad (5.3)$$

A Eq. (5.3) dá a área mínima por unidade de vazão influente, necessária para que a clarificação seja efetivada, e mostra que, esta área depende das características de sedimentação do lodo e da concentração  $C_e$ , e independe da concentração  $C_r$  e do fator de recirculação  $R$ .

Como as Eqs. (2.26) e (5.3) fornecem valores diferentes para a área mínima ora considerando-se prioritariamente o adensamento, ora considerando-se apenas a clarificação, se faz necessário a definição de pares de valores ( $C_e$ ,  $C_r$ ), que permita escolher qual a equação a ser utilizada no dimensionamento de decantadores secundários. O diagrama adimensional da Fig. (5.1) mostra o logaritmo natural de  $(a_m \cdot V_o)$  em função de  $K C_e$ . A reta  $Y$ , que parte da origem e tem inclinação igual a 1, representa, graficamente a Eq. (5.2), que é escrita como sendo,

$$Y = \ell_n(a_m \cdot V_o) = KC_e \quad (5.4)$$

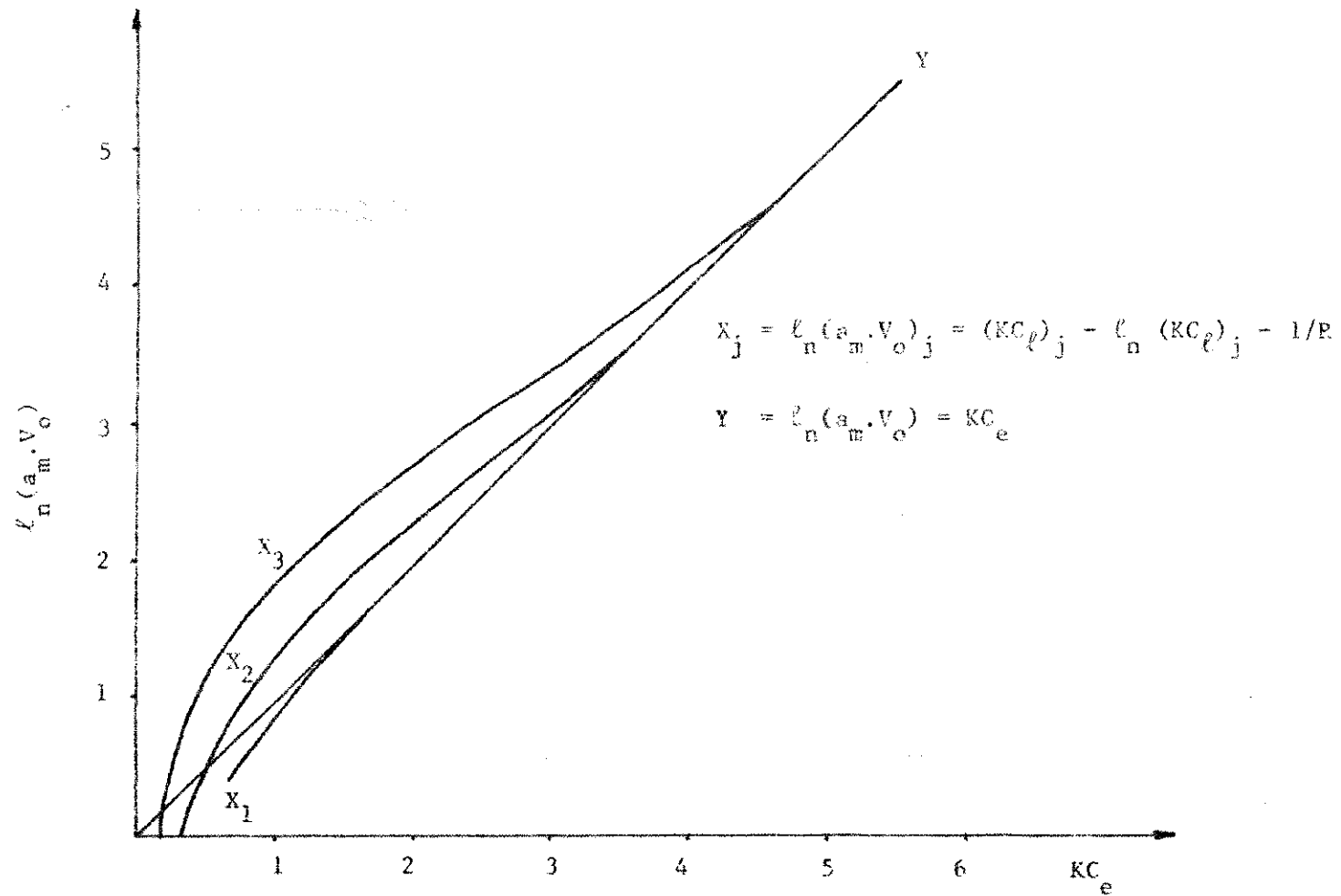


Fig. 5.1 - Valores da área mínima necessária para a clarificação ou adensamento, em função de  $KC_e$ , para qualquer valor de  $V_o$ .

A Eq. (2.26) é representada pelas curvas  $X_j$  (com  $j = 1, 2, 3$ ) e é escrita como sendo:

$$X_j = \ell_n (a_m \cdot V_o)_j = (KC_\ell)_j - \ell_n (KC_\ell)_j - 1/R \quad (5.5)$$

onde,

$$(KC_\ell)_1 = 2 \quad \text{para} \quad (KC_r)_1 = KC_m = 4$$

$$(KC_\ell)_2 = 3,62 \quad \text{para} \quad (KC_r)_2 = 5$$

$$(KC_\ell)_3 = 4,73 \quad \text{para} \quad (KC_r)_3 = 6$$

$$\frac{(R + 1)}{R} = \frac{(KC_r)_j}{KC_e}$$

Do diagrama adimensional da Fig. (5.1), pode-se tirar as seguintes informações:

- 1 - Na maioria dos casos, a função de adensamento é prioritária, desde que,  $X_j$  forneça valores maiores que  $Y$ .
- 2 - Os pontos de interseção entre  $X_{1,2}$  e  $Y$ , determinam valores de  $KC'_\ell$ , para os quais, valores menores de  $KC_e$  tornam a função de clarificação prioritária.
- 3 - Quando  $KC'_r = KC_m = 4$ ,  $X_1$  fornece valores menores que  $Y$ , tornando a função de clarificação novamente prioritária.

- 4 - Quando  $KC_e$  é maior que  $(KC_\ell)_j$ , o decantador só pode ser dimensionado atendendo-se apenas a função de clarificação.

Para a determinação da faixa de valores para  $KC_e$  e  $KC_r$ , que permita a escolha entre a Eq. (2.26) e Eq. (5.3), constrói-se um diagrama, também adimensional, que relaciona  $KC$  em função de  $KC_r$  (Fig. 5.2). Este diagrama mostra a região onde a função de adensamento é prioritária ( $KC'_\ell \leq KC_e \leq KC_\ell$  e  $KC_r \geq KC_m$ ), e onde o é a função de clarificação ( $KC_e < KC'_\ell$  ou  $KC_e > KC_\ell$ ).

#### 5.2.1 - Cálculo da área de um decantador secundário

Para calcular a área, primeiro tem-se que encontrar a área mínima por unidade de vazão influente, para um par de valores  $(C_e, C_r)$  escolhido. Para isto, o seguinte roteiro pode ser observado:

- 1 - Escolher valores de  $C_e$  e  $C_r$ .
- 2 - Entrar no diagrama da Fig. 5.2 com  $KC_e$  e  $KC_r$ , e determinar qual a função prioritária.
- 3 - Se for adensamento utilizar a Eq. (2.26), calculando-se, primeiramente, a concentração  $C_\ell$  (Eq. 2.16) e o fator de recirculação  $R$  (Eq. 2.6).
- 4 - Se for clarificação, utilizar a Eq. (5.3).



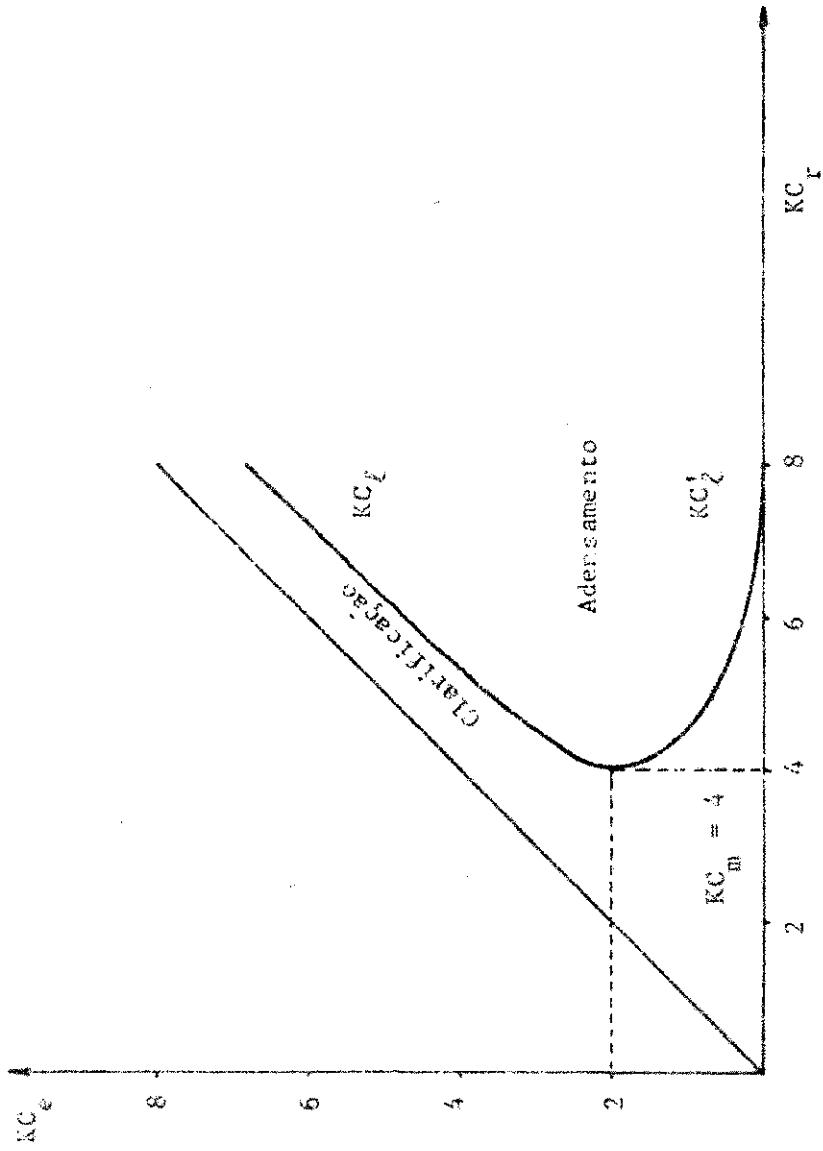


Fig. 5.2 - Valores de  $KC_e'$  e  $KC_f'$  em função de  $KC_f$ , mostrando as faixas de concentração para as quais as funções de clarificação ou adensamento são prioritárias.

A área conseguida no Ítem 3 ou Ítem 4, deve ser multiplicada pela vazão influente  $Q_i$ , o que resulta na área do decantador

$$A = a_m \cdot Q_i \quad (5.6)$$

onde,

A = área do decantador secundário

### 5.2.2 - Cálculo do volume do decantador secundário

Para calcular o volume do decantador, multiplica-se a área A (Eq. 5.6) por uma profundidade entre 3,5 e 5m. Estes valores são recomendados por Metcalf e Eddy (1979), baseados em regras empíricas. São valores conservadores e asseguram uma profundidade suficiente para comportar as regiões de sedimentação uniforme e de compressão que se formam. Quanto ao tempo de detenção hidráulica no decantador, não deve ser inferior a 1h e não superior a 2h. Em consequência, o volume deve apresentar um valor entre dois limites, que são impostos pela seguinte inequação:

$$1h \leq V_d / Q_i \cdot (R+1) \leq 2h \quad (5.7)$$

O limite inferior é imposto para evitar turbulência excessiva, e o limite superior, é para evitar que o licor misto fique exposto muito tempo em um ambiente não aerado, e cause vários problemas como lodo filamentoso, anaerobiose,

maus odores, redução da reatividade biológica; desnitrificação com flotação de lodo, etc.

### 5.3 - Otimização do dimensionamento do sistema principal reator biológico - decantador secundário

Na seção anterior mostrou-se como calcular o volume de um decantador para valores especificados das concentrações de entrada e de lodo de retorno. Porém, se faz necessário, a determinação de valores para  $C_e$  e  $C_r$ , que permitam projetar um sistema de tratamento de esgoto com boa estabilidade operacional e custo de construção mínimo. Os custos de construção são definidos, principalmente, pelos volumes necessários do reator biológico e do decantador secundário.

O volume do reator biológico é inversamente proporcional à concentração  $C_e$ , e à medida que esta aumenta, montando-se uma taxa de recirculação constante, o volume do decantador também tenderá a aumentar. Por conseguinte, uma concentração  $C_e$ , ótima, deverá ser encontrada, de modo que, seja mínima a soma dos volumes do reator biológico e do decantador secundário.

A concentração  $C_r$ , que depende da taxa de recirculação, também deverá ter um valor ótimo, de modo que, a estabilidade operacional seja assegurada.

Para encontrar tais valores, é preciso analisar o comportamento dos volumes do reator biológico e do decantador frente às variações de  $C_e$  e  $C_r$ . Fixando-se R e variando-

se  $C_e$ , é possível analisar o comportamento do volume do decantador por unidade de vazão influente, para vários valores de  $(C_e, C_r)$ . O diagrama adimensional da Fig. 5.3, mostra o volume do decantador por unidade de vazão influente ( $V_d/Q_i$ ) em função de  $C_e$ , para vários valores fixos de  $R$ . O diagrama foi construído seguindo-se o roteiro da seção 5.2.1, e adotando-se valores para  $V_0$  e  $K$  de 317 m/d e 0,4 l/g, respectivamente, e uma profundidade de 4 m.

Para analisar o comportamento do volume total ( $V_d+V_r$ ), é preciso calcular o volume do reator. Este volume é dado pela razão entre a massa de lodo presente no reator e a concentração de sólidos no licor misto:

$$V_r = MX_t/C_e \quad (5.8)$$

Dividindo-se  $V_r$  por  $Q_i$ , tem-se o volume do reator biológico por unidade de vazão influente, ( $V_r/Q_i$ ).

No diagrama da Fig. 5.4 observa-se que o valor ótimo para a concentração  $C_e$ , (para  $K = 0,4$  l/g e  $V_0 = 317$  m/d) é de 5 g/l e o fator de recirculação de 1. Estes valores fornecem uma concentração de lodo de retorno de 10 g/l e uma área mínima para o decantador de  $0,023 \text{ m}^2/\text{m}^3/\text{d}$ . É importante notar que  $0,023 \text{ m}^2/\text{m}^3/\text{d}$  é a área requerida tanto para a clarificação quanto para o adensamento, em decorrência de que  $C_r = 10$  g/l é a concentração mínima de lodo de retorno ( $C_m = 4/K$ ). O volume do decantador é  $0,092 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$ , o que dá um tempo de detenção hidráulica de 1,1 h.

Do ponto de vista do dimensionamento do sistema principal de tratamento, os valores de  $C_e$  e  $C_r$ , encontrados aci

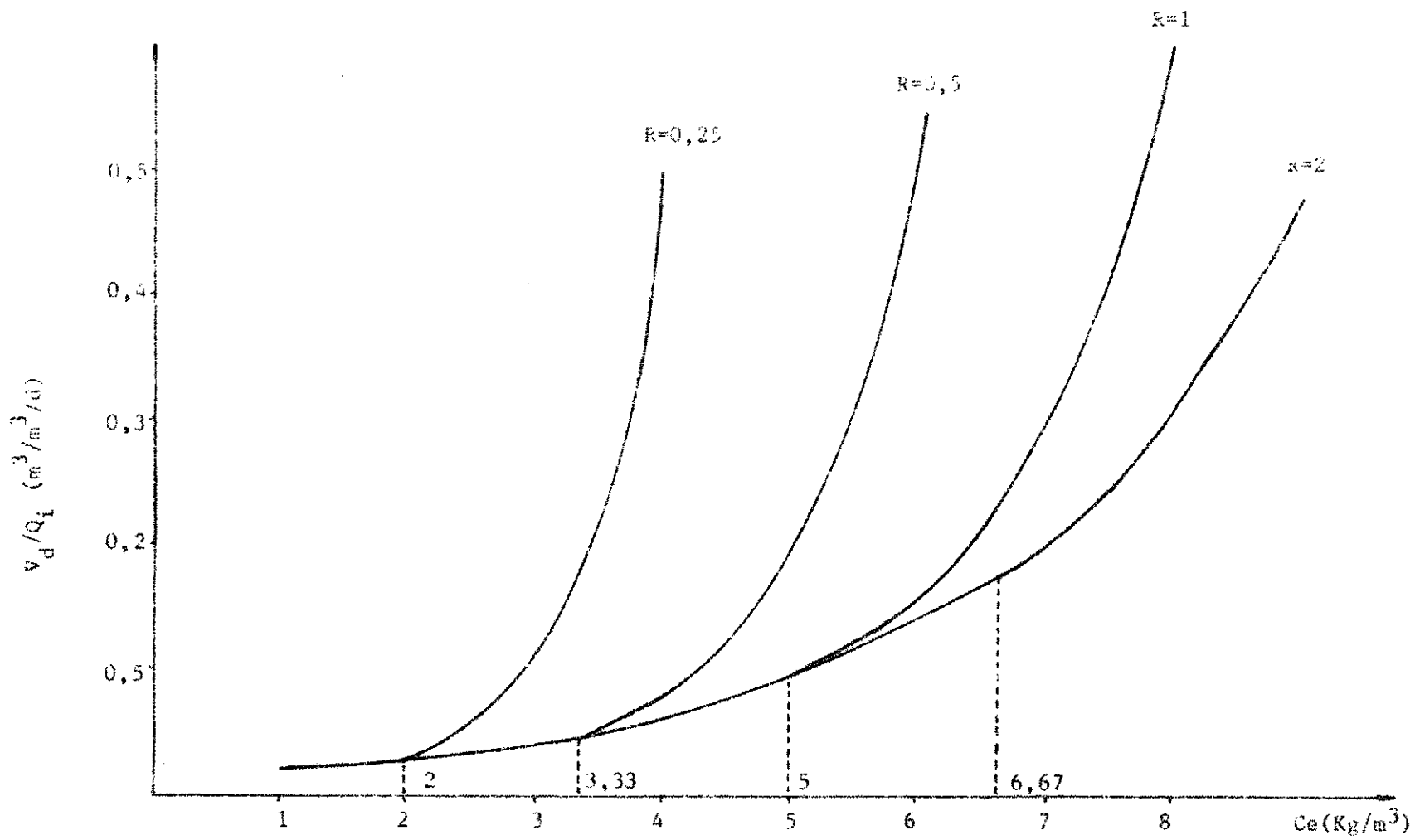


Fig. 5.3 - Volume do decantador secundário por unidade de vazão influente em função de  $C_e$  para vários valores fixos de  $R$ .

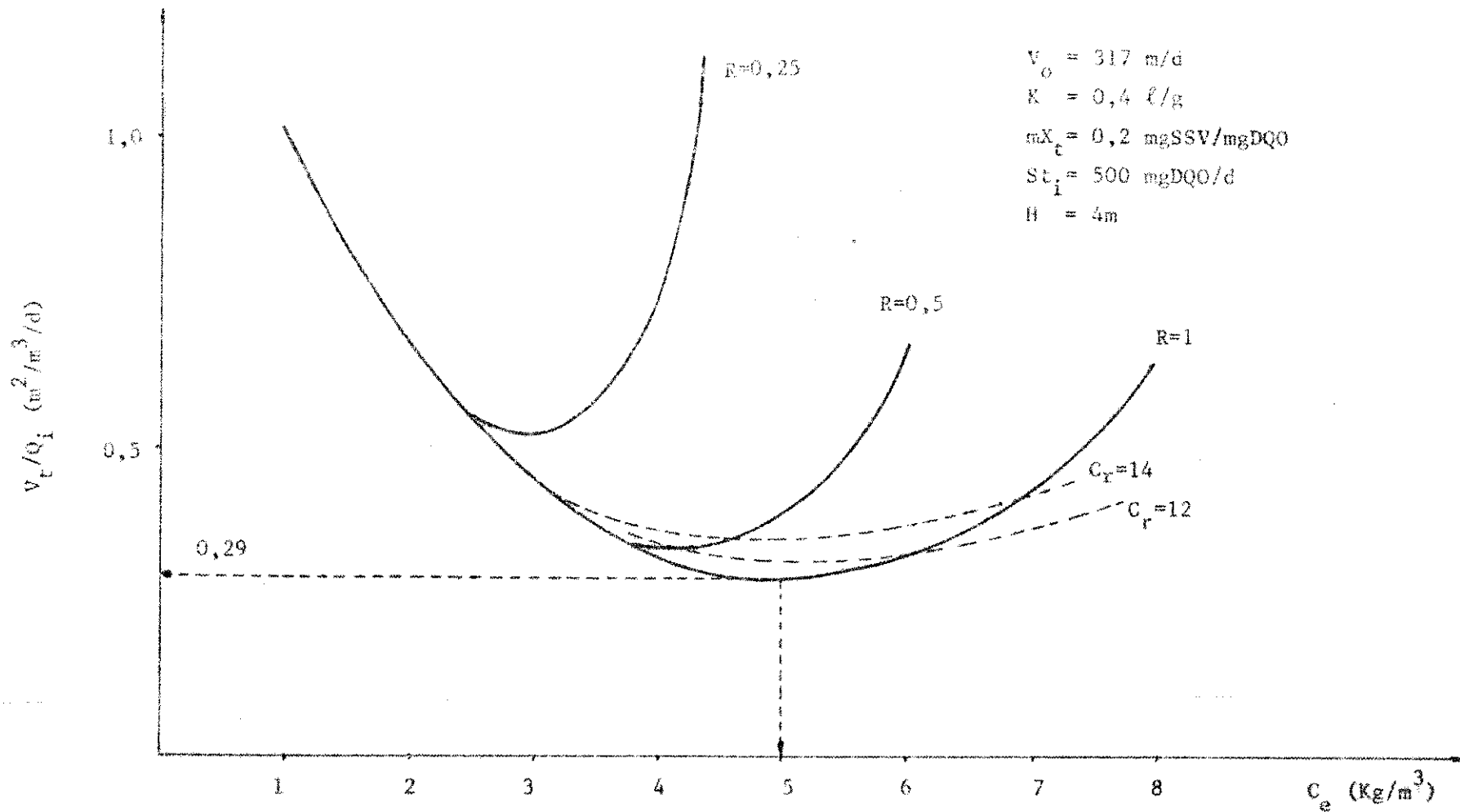


Fig. 5.4 - Volume total por unidade de vazão influente em função de  $C_e$ , para vários valores fixos de  $R$ .

ma, fornecem o menor volume total (soma dos volumes do reator biológico e do decantador secundário). Resta saber se estes valores são adequados quando analisados do ponto de vista da operação. Quando a vazão  $Q_i$  sofre variações momentâneas durante o dia, a carga de sólidos pode se tornar maior que aquela utilizada em projeto (apesar de  $C_e$  não ser afetada), fazendo com que a área necessária para a clarificação se torna insuficiente. Além disso haverá acúmulo de sólidos no fundo do decantador. O problema do acúmulo de sólidos pode ser resolvido aumentando-se a vazão de retorno  $Q_r$ . No entanto, o problema da clarificação não fica resolvido desde que a área necessária para a clarificação não depende do fator de recirculação. Este problema pode ser solucionado adotando-se um fator de segurança que forneça uma área suficiente para absorver uma variação máxima de  $Q_i$ .

Antes da definição de um fator de segurança adequado, é interessante analisar a operação do decantador considerando-se outro par de valores ( $C_e$ ,  $C_r$ ). Escolhendo-se 4 e 12 g/l para  $C_e$  e  $C_r$  respectivamente, tem-se um fator de recirculação de 0,5. Estes valores fornecem uma área de  $0,0195 \text{ m}^2/\text{m}^3/\text{d}$  para o decantador. A área requerida para a clarificação será  $0,0156 \text{ m}^2/\text{m}^3/\text{d}$ . Isto significa que a área do decantador por unidade de vazão influente é 25% maior que a área requerida para a clarificação, enquanto que, o volume total do sistema principal aumenta em cerca de 12% em relação do volume total mínimo. Se a vazão influente atingir um valor 25% maior que a vazão  $Q_i$  de projeto, a área de decantador será suficiente para absorver a sobrecarga e clarifi

car o efluente. Como haverá acúmulo de sólidos no fundo do decantador, a vazão  $Q_r$  deverá ser aumentada para evitar que a zona de compressão suba e eventualmente haja descarga de sólidos no efluente. Contudo, se  $Q_i$  sofrer uma variação de maior amplitude a clarificação novamente será prejudicada, embora o adensamento possa ser resolvido mediante o aumento de  $Q_r$ .

Do exposto pode-se concluir que a definição do fator de segurança depende da amplitude de variação da vazão  $Q_i$ . Como o acúmulo de sólidos no decantador implica na alteração da vazão  $Q_r$ , é interessante que a definição de um fator de segurança seja feita considerando-se também as mudanças da vazão  $Q_r$  que deverão ser efetuadas.

#### 5.4 - Dimensionamento de adensadores

Os adensadores são unidades auxiliares de separação sólidos-líquidos, sendo dimensionados levando-se em consideração as características do lodo e a retirada de lodo adensado com alta concentração. O critério básico para o dimensionamento é o fluxo limitante obtido diretamente da curva de fluxo de sedimentação, construída a partir dos ensaios de sedimentação. O fluxo limitante é determinado utilizando-se o método gráfico de Yoshioka, onde a reta tangencial T representa o fluxo de retirada de lodo adensado. Utilizando-se a Equação de Vesilind é possível desenvolver-se uma expressão para calcular analiticamente a área mínima neces



sária.

Os adensadores recebem uma vazão de lodo de excesso, que depende da idade de lodo com a qual o sistema de tratamento opera. Por definição, quando a idade de lodo tem um valor  $R_s$  dias, então uma fração  $1/R_s$  do volume do reator biológico é descarregado diariamente como lodo de excesso. Portanto,

$$m W_t = m X_t / R_s \quad (5.9)$$

onde

$m W_t$  = massa de sólidos descarregados diariamente por unidade de de DQO aplicada ao sistema.

Dividindo-se  $m W_t$  pela área transversal do adensador, tem-se

$$(F_{sol})_{ad} = m W_t / A_d \quad (5.10)$$

onde,

$(F_{sol})_{ad}$  = carga de sólidos a ser aplicada ao adensador

$A_d$  = área transversal do adensador por unidade de DQO aplicada diariamente.

Igualando-se a carga de sólidos a ser aplicada ao adensador ao Fluxo Limitante (dado pela Eq. 2.15), tem-se:

$$A_d = m W_t / F_\ell$$

$$Ad = \frac{(1-f_{us}-p.f_{up})(1+f.b_h.R_s) y_h / (1+b_h.R_s) + f_{up} + f_{ip}}{CrVo(KC_\ell - 1) \text{Exp}(-KC_\ell)} \quad (5.11)$$

A Eq. (5.10) é uma expressão geral para o dimensionamento de adensadores. Analisando-se a Eq. (5.9) observa-se que, a área do adensador independe da concentração de entrada. Um procedimento muito aplicado na prática é de descarregar o lodo de excesso da vazão do lodo de retorno, que tem uma concentração de sólidos mais alta que o licor misto do reator biológico. A suposição feita é que o adensador deverá produzir um lodo mais adensado de maior concentração se a concentração de lodo na entrada é alta. A Eq. (5.10) mostra que esta suposição não tem fundamento teórico. Por outro lado, a concentração de sólidos no lodo de retorno varia, consideravelmente, devido a flutuação da vazão influente, tornando difícil o controle da massa de lodo descarregado, que determina a idade de lodo do sistema. Para controle mais preciso deste parâmetro é preferível descarregar o lodo de excesso diretamente do reator, onde as flutuações da concentração de sólidos são muito menores.

Para o dimensionamento completo de adensador precisa-se ainda definir a profundidade da unidade. Em geral a profundidade do adensador poderá ser menor que a de um decantador secundário, tendo em vista que não há necessidade de criar uma capacidade de armazenagem de lodo. Se o adensador for sobrecarregado o excesso de carga será simplesmente retornado para o reator biológico.

## 6 - CONCLUSÕES

A importância do modelo matemático, aqui estudado, que leva em consideração a efetivação simultânea das funções de clarificação e adensamento, reside no fato de que permite uma melhor compreensão do funcionamento de um decantador secundário. Isto porque, interrelaciona todos os parâmetros envolvidos no dimensionamento, ou seja, área transversal do decantador, vazão influente, vazão de retorno, concentrações de entrada e de lodo de retorno, taxa e fator de recirculação, e os parâmetros físicos  $V_0$  e  $K$ , que caracterizam a sedimentação do lodo. Além disso, permite a otimização do dimensionamento do sistema principal de tratamento, tornando possível a minimização dos custos totais de construção.

Quanto aos adensadores, a determinação da área necessária para o adensamento do lodo de excesso, depende da carga orgânica aplicada diariamente ao sistema de lodo ativado, e independe da concentração de entrada, o que torna indicado a retirada de lodo de excesso diretamente do reator biológico.

Na formulação matemática do modelo, a Equação de Vesilind é usada como base empírica para expressar o Fluxo de Sedimentação, com vistas ao desenvolvimento de expressões para o cálculo da área do decantador. Essa equação é válida

para expressar a velocidade de sedimentação em zona como função exponencial da concentração de sólidos suspensos, o que foi comprovado determinando-se, experimentalmente, as velocidades de sedimentação em zona para concentrações dentro da faixa de 2 a 7 g/l, tanto para o lodo cru quanto para o lodo digerido aerobicamente.

Os parâmetros  $V_0$  e K, para o lodo cru, tiveram valores de 237 e 317 m/d e 0,3 e 0,4 l/g, respectivamente. Por ser insuficiente o número de bateladas produzidas, não é estatisticamente seguro indicar valores para estes parâmetros nem estipular faixas de variação. É possível que estas variações sejam devidas à natureza variável do esgoto doméstico quanto às características físicas, químicas e biológicas.

Quanto à estabilização, o parâmetro K não sofreu variações apreciáveis para uma mesma batelada, e o parâmetro  $V_0$ , em ambas as bateladas, mostrou-se sempre maior para o lodo cru do que para o lodo digerido.

## 7 - SUGESTÕES

No presente trabalho ficou demonstrado que o dimensionamento, em bases racionais, de decantadores secundários é de extrema importância no que diz respeito ao projeto e funcionamento de sistema de lodo ativado. No entanto, o assunto ainda não está totalmente esgotado, ficando aqui registradas algumas sugestões que por ventura poderão ser utilizadas em trabalhos futuros:

- 1 - Determinação de valores médios para os parâmetros  $V_o$  e K, mediante a produção de um maior número de bateladas, de modo que a indicação de tais valores para projetos de decantadores secundários seja feita de maneira segura.
- 2 - Investigação da influência da idade de lodo sobre a sedimentação do lodo ativado.
- 3 - Estudo da sedimentação de lodo ativado, quando o sistema de geração de lodo for alimentado sob regime contínuo.
- 4 - Definição da profundidade de decantadores secundários.
- 5 - Estudo da operação de decantadores secundários frente às flutuações da vazão influente ao sistema de lodo ativado.

## 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 - COURA DIAS, M., CAVALCANTI CATUNDA, P.F. & van HAANDEL, A.C. "O Sistema de Lodo Ativado - Estado Estacionário". In: 11º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Camboriú, 1983.
- 02 - DICK, R.I. "Thickening". In Gloyna & Eckenfelder. "Water Quality Improvement by Physical and Chemical Process". Austin, 1973, 448 p.
- 03 - FITCH, E.B. In: McCabe, J. & Eckenfelder, W.W. Jr. "Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes - Vol 2: Anaerobic Digestion and Solids-Liquid Separation". New York, Reinhold Publishing Corp, 1958, 160 p.
- 04 - HAZEN, A. "On Sedimentation". Trans. ASCE 53, 1904.
- 05 - MARAIS, G.v.R. & EKAMA, G.A. "The Activated Sludge Process, part I: Steady State Behaviour". Water S.A., 1976.
- 06 - METCALF & EDDY, Inc. "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and re-use". 2ª Ed. New York, McGraw-Hill, 1979.
- 07 - MURRAY, R.S. "Estatística". Trad. Consentino, Pedro. São Paulo, McGraw-Hill, 1977, 580 p.
- 08 - PIATTI NETO, C.L. "Dissertação de Mestrado - Eficiência de um

Sistema de Lagoas de Estabilização em Série no Tratamento de Esgotos Domésticos no Nordeste do Brasil". Campina Grande, UFPb, 1981.

- 09 - TENÓRIO, M.A.A. "Dissertação de Mestrado - Cinética da Digestão Aeróbia de Lodo Ativado". Campina Grande, UFPb, 1985.
- 10 - VESILIND, P.A. "Theoretical Considerations: Design of Prototype Thickeners from Batch Settling Tests". Water & Sew. Works, 1968.
- 11 - YOSHIOKA, N.; HOLTA, Y.; TANAKA, S.; NAITO, S. & TSUGAMI, S. "Continuous Thickening of Homogeneous Flocculated Slurries". Tokyo, Chem. Engng., 1957.
- 12 - APHA - STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 14<sup>a</sup> Ed. Washington, DC, 1976.