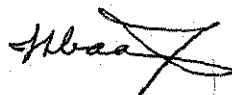


Este exemplar corresponde a redação final da tese defendida por Denis Miguel Roston e aprovada pela Comissão Julgadora em 09 de dezembro de 1985.

Campinas, 09 de dezembro de 1985

Denis Miguel Roston

Orientador: Profa. Dra. Irenilza de Alencar Nääs



Presidente da Banca

ESTUDO SOBRE TRATAMENTO DE ÁGUAS  
RESIDUÁRIAS DE LACTICÍNIOS

↳ consta "RESIDUÁRIAS II"

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências.

**UNICAMP**  
**BIBLIOTECA CENTRAL**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

NOVEMBRO 1985

Agradecimentos. . .

- . . . . à Profa. Dra. Irenilza de Alencar Nääs pela orientação e amizade,
- . . . . aos amigos da Faculdade de Engenharia Agrícola, pela ajuda e principalmente pelo estímulo
- . . . . aos amigos do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos pela ajuda;
- . . . . ao Prof. Ivanildo Hespanhol, pelas facilidades junto à Cetesb.
- . . . . à Empresa Coonai.
- . . . . ao CNPq pela ajuda financeira.
- . . . . à Associação Brasileira das Indústrias de Alimentos -  
- ABIA, pelas cópias.

## RESUMO

Neste trabalho são caracterizados os efluentes de lacticínios que são portadores de elevada carga de poluição. É estudado o tratamento biológico para tais resíduos.

O tratamento biológico é simulado em reatores biológicos descontínuos e contínuos. Em ambos são obtidas altas porcentagens de remoções de DBO e DQO.

Também são pesquisadas influências dos teores de nitrogênio e fósforo na estabilização aeróbia dos efluentes.

Determinam-se parâmetros bioquímicos de um sistema de lodos ativados para o tratamento de efluentes de lacticínios a partir de resultados de experiências de laboratório com reatores biológicos contínuos.

## SUMMARY

In this work, the wastes resulting from a dairy industry are characterized. They contain a high pollution load. Biological treatment process is searched for these wastes.

The biological treatment is simulated utilizing discontinuous and continuous biological reactors. In both systems were obtained high reductions of BOD and COD.

The ratios of nitrogen and phosphorus in the wastes and their influences on aerobic biological stabilization are investigated in this research.

The biochemistry parameters of an activated sludge process to treat dairy wastes are obtained with the data from laboratory biological continuous reactors.

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	03
2.1. Produção Leiteira no Brasil .....	03
2.1.1. Distribuição Regional da Produção Leiteira ...	03
2.2. Produção Nacional de Produtos Lácteos Industrializados	07
2.3. Composição do Leite .....	22
2.4. O Indústria do Leite .....	22
2.5. Processos Empregados pela Indústria .....	25
2.5.1. Usina de Leite .....	26
2.5.2. Fábrica de Queijo .....	30
2.5.3. Fábrica de Manteiga .....	34
2.6. Os Resíduos .....	37
2.6.1. Caracterização dos Resíduos .....	37
2.6.2. Comentários .....	38
2.7. Processos de Tratamento dos Resíduos .....	43
2.7.1. Pré-tratamento e Tratamento Primário .....	43
2.7.2. Filtro Biológico.....	44
2.7.3. Processos Anaeróbios .....	45
2.7.4. Lagoas de Estabilização.....	47
2.7.5. Irrigação .....	48

.../.

2.7.6. Lodos Ativados .....	50
2.7.7. Outros Métodos .....	54
2.8. O Processo de Lodos Ativados .....	55
2.8.1. Considerações Gerais .....	55
2.8.2. O Processo Convencional e suas Variantes .....	56
2.8.3. Cinética do Crescimento Biológico .....	62
2.8.4. Modelos Matemáticos .....	66
2.8.5. Mecanismo da Decomposição Aeróbica .....	69
2.8.6. Parâmetros Bioquímicos .....	72
2.8.7. Determinação do Oxigênio Requerido ao Processo de Lodos Ativados .....	75
2.8.8. Determinação da Produção Líquida de Sólidos Vo láteis em Suspensão no Tanque de Aeração .....	76
2.8.9. Determinação da Produção de Excesso de Lodo ..	77
2.8.10. Avaliação das Condições de Sedimentabilidade do Lodo .....	80
2.8.11. Controle do Processo de Lodos Ativados .....	84
2.8.12. Dinâmica da População de Microorganismos .....	85
2.8.13. Determinação Experimental dos Parâmetros Bio químicos .....	89
3. METODOLOGIA .....	95
3.1. Caracterização dos Resíduos .....	95

3.2. Sistema Descontínuo (Ensaio nº 1) .....	96
3.3. Sistema Descontínuo (Ensaio nº 2) .....	97
3.4. Sistema Contínuo .....	99
4. RESULTADOS .....	107
4.1. Caracterização dos Resíduos .....	107
4.2. Sistema Descontínuo (Ensaio nº 1) .....	107
4.2.1. Variação do pH .....	107
4.2.2. Variação da DBO .....	109
4.2.3. Variação dos Sólidos Totais, Sólidos não Volá teis e Sólidos Voláteis .....	110
4.3. Sistema Descontínuo (Ensaio nº 2) .....	111
4.3.1. Variação de DBO .....	111
4.3.2. Variação de DQO .....	111
4.3.3. Variação de pH .....	111
4.4. Sistema Contínuo .....	118
4.4.1. Determinação do Parâmetro Bioquímico $k$ .....	121
4.4.2. Determinação dos Parâmetros Bioquímicos $a$ e $b$ .....	121
4.4.3. Determinação dos Parâmetros Bioquímicos $a'$ e $b'$ .....	121
4.4.4. Determinação do Parâmetro Bioquímico $\bar{a}$ .....	125
4.4.5. Determinação da Relação F/M Ótima .....	125
5. DISCUSSÃO .....	126

5.1. Caracterização dos Resíduos.....	126
5.2. Sistema Decontínuo (Ensaio nº1).....	127
5.3. Sistema Descontínuo(Ensaio nº2).....	128
5.4. Sistema Contínuo.....	128
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	132
7. BIBLIOGRAFIA.....	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. - Processamento do leite; origem e natureza dos despejos	27
Figura 2.2. - Produção de queijo; origem e natureza dos despejos	31
Figura 2.3. - Produção de Manteiga; origem e natureza dos despejos	35
Figura 2.8.1. - Esquema do Processo Convencional de Lodos Ativados	57
Figura 2.8.2. - Esquema da variante aeração escalonada do Processo de Lodos Ativados	58
Figura 2.8.3. - Esquema de um sistema de Lodos Ativados - do Tipo aeração derivada	59



Figura 2.8.4.	- Esquema da variante aeração prolongada do Processo de Lodos Ativados	60
Figura 2.8.5.	- Esquema da variante de mistura completa do Processo de Lodos Ativados	61
Figura 2.8.6.	- Esquema da variante estabilização por contacto do Processo de Lodos Ativados.	62
Figura 2.8.7.	- Esquema Simplificado de um Sistema Contínuo perfeitamente agitado	66
Figura 2.8.8.	- Esquema do Mecanismo da Decomposição Aeróbia.	72
Figura 2.8.9.	- Esquema do Processo de Lodos Ativados com Tanque de Aeração Perfeitamente Agitado	78
Figura 2.8.10.	- Determinação do valor de $Z S V$	82
Figura 2.8.11.	- Relação entre $F/M$ e os valores de $IVL$ e $ZSV$	83
Figura 2.8.12.	- Taxa de Metabolismo em Função da Relação $F/M$	87
Figura 2.8.13.	- Determinação do Coeficiente $k$ .	91
Figura 2.8.14.	- Determinação dos Parâmetros Bioquímicos $a$ e $b$ .	91
Figura 2.8.15.	- Determinação dos Parâmetros Bioquímicos $a'$ e $b'$ .	91
Figura 3.1.	- Esquema do sistema contínuo utilizado	10

Figura 4.1.	- Variação de DBO no Reator 1	113
Figura 4.2.	- Variação de DBO no Reator 2	114
Figura 4.3.	- Variação de DQO no Reator 1	115
Figura 4.4.	- Variação de DQO no Reator 2	116
Figura 4.5.	- Variação de pH nos 2 Reatores.	117
Figura 4.6.	- Determinação do Parâmetros Bioquímico K	122
Figura 4.7.	- Determinação dos Parâmetros Bioquímicos $\underline{a}$ e $\underline{b}$	123
Figura 4.8.	- Determinação dos Parâmetros Bioquímicos $\underline{a}'$ e $\underline{b}'$	124

#### ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1.	- Produtividade do Rebanho Leiteiro em Alguns Países	04
Tabela 2.2.	- Projeções da População do Brasil e da Produção e Disponibilidade de Leite, a partir de 1975	04
Tabela 2.3.	- Distribuição Percentual da Produção Nacional de Leite por Estado	05
Tabela 2.4.	- Produção Brasileira de Leite nos Anos 1979 e 1980	06
Tabela 2.5.	- Produtividade de Leite nas Diversas Regiões Brasileiras	07
Tabela 2.6.	- Produção dos Estabelecimentos de Lactifícios com Inspeção Federal	08

Tabela 2.7.	- Idem	09
Tabela 2.8.	- Idem	10
Tabela 2.9.	- Idem	11
Tabela 2.10.	- Idem	12
Tabela 2.11.	- Idem	13
Tabela 2.12.	- Idem	14
Tabela 2.13.	- Idem	15
Tabela 2.14.	- Idem	16
Tabela 2.15.	- Idem	17
Tabela 2.16.	- Idem	18
Tabela 2.17.	- Idem	19
Tabela 2.18.	- Idem	20
Tabela 2.19.	- Idem	21
Tabela 2.20.	- Composição Média do Leite e Sub-Produtos	23
Tabela 2.21.	- Quantidade e Classificação dos Estabelecimentos de Laticínios sob Inspeção Federal	25
Tabela 2.22.	- Características de Resíduos de Lactocinios, segundo vários autores	39
Tabela 2.23.	- Valores para DBO de vários Produtos de Lactocinios	40

Tabela 2.24.	- Valores de DBO para vários constituintes do Leite e seus Despejos	4
Tabela 2.25.	- Dados da Literatura para Despejos de Lactocínios (Tratamento pelo Processo de Lodos Ativados).	4
Tabela 2.26.	- Dados de Desempenho de várias Estações - de tratamento de Resíduos de Lactocínios (sistema de Lodos Ativados).	5
Tabela 3.1.	- Características dos Reatores	10
Tabela 3.2.	- Volumes de "Liquor" retirados por dia em cada um dos Reatores.	10
Tabela 3.3.	- Frequência das Análises e Exames	10
Tabela 4.1.	- Caracterização dos Resíduos	1
Tabela 4.2.	- Valores de pH para o Ensaio Descontínuo nº 1	1
Tabela 4.3.	- Valores de DBO obtidos na Fase Final da Experiência	1
Tabela 4.4.	- Sólidos Totais, não voláteis, e voláteis durante a última fase da Experiência	1
Tabela 4.5.	- Valores de sólidos totais, sólidos não voláteis, sólidos voláteis, sólidos sedimentáveis, pH, DQO e DBO, durante o ensaio nº 2 do sistema descontínuo.	1

Tabela 4.6	- Valores obtidos após a entrada do sistema em Regime Permanente.	119
Tabela 4.7.	- Cálculos necessários para a determinação dos Parâmetros Bioquímicos.	120
Tabela 4.8.	- Valores de F/M relacionados a valores de IVL	125
Tabela 5.1.	- Comparação entre os valores dos Parâmetros Bioquímicos do Resíduo de Laticínios com os de outros resíduos.	131

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $a$  - coeficiente de síntese celular
- $\bar{a}$  - fração do substrato removido que é utilizado para síntese
- $a'$  - coeficiente de oxigênio necessário à remoção do substrato que é oxidado.
- $b$  - coeficiente de decaimento da massa celular devido a respiração endógena, em  $(\text{dia})^{-1}$
- $b'$  - coeficiente de oxigênio necessário à respiração endógena, em  $(\text{dia})^{-1}$
- DBO - demanda bioquímica de oxigênio, em mg/L
- DBO<sub>5</sub> - demanda bioquímica de oxigênio de 5 dias a 20°C, em mg/L
- DBO<sub>e</sub> - DBO efluente do tanque de aeração, em mg/L
- DBO<sub>a</sub> - DBO afluente ao tanque de aeração, em mg/L
- DQO - demanda química de oxigênio, em mg/L
- DQO<sub>e</sub> - DQO efluente do tanque de aeração, em mg/L
- DQO<sub>a</sub> - DQO afluente ao tanque de aeração, em mg/L
- F/M - relação alimento/microorganismo, em
- $\frac{\text{kg substrato/dia}}{\text{kg SVSTA}}$       ou       $\frac{\text{mg substrato/dia}}{\text{mg SVSTA}}$
- IVL - índice volumétrico de lodo, em mg/L
- $k$  - constante de remoção de substrato, em  $(\text{L/mg dia})$
- $K$  - coeficiente de desoxigenação, em  $(\text{dia})^{-1}$
- $K_m$  - máxima taxa de utilização do substrato  $S$ , quando  $S$  é limitado,  $(\text{dia})^{-1}$
- $K_S$  - concentração do substrato na qual  $K(S) = 0,5K_m$ , em mg/L
- $K(S)$  - taxa de remoção de substrato, em  $(\text{dia})^{-1}$
- $N$  - concentração de nitrogênio, em mg/L
- OD - concentração de oxigênio dissolvido, em mg/L

- P - concentração de fósforo, em mg/L
- Q - vazão afluente ao tanque de aeração, em m<sup>3</sup>/dia ou L/dia
- Q<sub>F</sub> - vazão efluente do decantador primário, em m<sup>3</sup>/dia ou L/dia
- Q' - vazão efluente do decantador secundário, em m<sup>3</sup>/dia ou L/dia
- Q'' - vazão de excesso de lodo removido no decantador secundário em m<sup>3</sup>/dia ou L/dia
- r - fator de correlação
- R - taxa de utilização de oxigênio, em mg/L dia
- S - substrato remanescente no tanque de aeração num tempo t, em mg/L
- S<sub>e</sub> - substrato efluente do tanque de aeração, em mg/L
- S<sub>o</sub> - substrato afluente ao tanque de aeração, em mg/L
- S' - concentração de substrato utilizável ao redor dos microorganismos, em mg/L
- ST - sólidos totais, em mg/L
- SNV - sólidos não voláteis, em mg/L
- SV - sólidos voláteis, em mg/L
- S<sub>Sed</sub> - sólidos sedimentáveis, em mg/L
- SVSTA - sólidos voláteis em suspensão no tanque de aeração
- t - tempo de aeração ou tempo de retenção, em dias
- t<sub>s</sub> - idade do lodo, em dias
- V - volume do tanque de aeração, em m<sup>3</sup> ou L
- X<sub>1</sub> - concentração da massa de microorganismos formados por síntese, em mg/L
- X<sub>2</sub> - concentração da massa celular destruída pela respiração endógena, em mg/L
- X<sub>a</sub> - concentração de microorganismos ativos presentes, em mg/L
- X<sub>nve</sub> - concentração de sólidos suspensos não voláteis no efluente do decantador secundário, em mg/L

- $X_{nvF}$  - concentração de sólidos suspensos não voláteis no efluente do decantador primário, em mg/L
- $X_{nvo}$  - concentração de sólidos suspensos não voláteis no afluente ao tanque de aeração, em mg/L
- $X_{nvu}$  - concentração de sólidos suspensos não voláteis no lodo de retorno, em mg/L
- $X_{va}$  - concentração de sólidos voláteis em suspensão no tanque de aeração, em mg/L
- $\Delta X_{nv}$  - massa de sólidos não voláteis suspensos no excesso de lodo, em mg/dia
- $\Delta X_t$  - massa de sólidos suspensos totais do excesso de lodo, em mg/dia
- $\Delta X_v$  - produção líquida de sólidos voláteis em suspensão no tanque de aeração, em mg/dia
- ZVS - velocidade de sedimentação da zona de sedimentação, em m/s



## 1. INTRODUÇÃO

A indústria de laticínios é parcela importante da agro indústria e suas águas residuárias tem grande poder poluidor, principalmente pelo alto teor de matéria orgânica presente. As elevadas taxas de DBO desses efluentes atestam a necessidade do tratamento prévio ao lançamento no corpo receptor, sem o qual graves danos podem ser causados à fauna e à flora de tais corpos.

Com o aumento da produção de leite e conseqüente proliferação de indústrias do gênero torna-se imprescindível e inadiável a proteção dos corpos receptores.

Na maioria dos estados da região sudeste e sul do país, os despejos de laticínios contribuem com elevadas taxas de DBO/dia, variando de 6000 kg DBO/dia a 15000 kg DBO/dia, o que vem a ser uma população equivalente variando de 100.000 a 250.000 pessoas aproximadamente. Só o estado do Paraná, por exemplo, contribui com cerca de 6500 kg DBO/dia, o que equivale a uma população de 120.000 habitantes. [34].

Segundo a grande maioria dos autores, despejos de laticínios devem ser submetidos a tratamento do tipo biológico devido a grande quantidade de matéria orgânica facilmente biodegradável, presente em sua composição.

FISCHER[17], analisando vários tipos de tratamento para efluentes de laticínios, chama a atenção para a alta eficiência do processo de lodos ativados com aeração prolongada para este tipo de resíduo.

Por sua vez, HESPANHOL [19] afirma que no Brasil, os parâmetros biológicos que representam as características dos resíduos de laticínios necessários para o projeto de sistemas de lodos ativados, são geralmente extraídos de literatura estrangeira.

O processo de lodos ativados vem, nos últimos anos, se difundindo bastante no tratamento de efluentes industriais e, por essa razão, reveste-se de grande interesse a determinação de parâmetros de projeto de instalações de sistemas de lodos ativados, para esse tipo de resíduo. Esses parâmetros são geralmente determinados a partir de reatores em escala de laboratório que operam com vazão contínua.

De acordo com o que foi exposto, os objetivos deste trabalho são:

- a. Caracterizar os resíduos de laticínios.
- b. Determinar os parâmetros bioquímicos de um sistema de lodos ativados, variante aeração prolongada, para os resíduos de laticínios.
- c. Pesquisar tempos de aeração que conduzam a remoções satisfatórias de substrato.
- d. Investigar teores de nitrogênio e fósforo necessários à estabilização aeróbia dos resíduos.
- e. Estabelecer valores de idade do lodo compatíveis com as características dos efluentes.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Produção Leiteira no Brasil

A produtividade do rebanho leiteiro brasileiro é considerada baixa, se comparada com a de países mais desenvolvidos, como se observa na Tabela 2.1.

A EMBRAPA (15), através do Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite afirma que em 1975 as estimativas de produção de leite no Brasil e da população brasileira (Tabela 2.2), permitem observar que a disponibilidade "per capita" anual foi de 89,1 litros de leite, marca que está abaixo das exigências nutricionais mínimas, recomendadas por instituições de saúde internacionais, que é da ordem de 146 litros/"capita" ano. Vê-se, portanto, que a produção necessária para se atender à exigência recomendada teria que ser 64% superior para aquele ano, sem que houvesse importação do produto.

Projeções indicam que o "deficit" na produção do leite em 1985 será de cerca de 5,8 bilhões de litros, apenas ligeiramente inferior ao "deficit" calculado para 1975, que foi de 6 bilhões de litros [15]. A produção no ano de 1985, teria então que ser 38% superior àquela projetada.

#### 2.1.1. Distribuição Regional da Produção Leiteira

A nível estadual a produção de leite acha-se

TABELA 2.1 - Produtividade do Rebanho Leiteiro em alguns Países.

Fonte: Production Year Book, FAO citado por EMBRAPA (15)

País	Produtividade kg leite/vaca ano	País	Produtividade kg leite/vaca ano
Israel	5621	México	1188
E.U.A.	4696	Venezuela	1063
Noruega	4587	Costa Rica	1061
Dinamarca	4393	Colômbia	767
Holanda	4348	Brasil	765
Suécia	4230	Egito	674
Reino Unido	4217	Malásia	600
Japão	4136	Indonésia	571
Alemanha	3997	Índia	496
Finlândia	3991	Zâmbia	300
Canadá	3849	Paraguai	244

TABELA 2.2 - Projeções da população do Brasil e da produção e disponibilidade de leite, a partir de 1975.

Fonte: EMBRAPA (15).

Ano	População (hab)	Produção (milhões de litros)	Disponibilidade litros/"capita" ano
1975	109.044.000	9.712	89,1
1980	125.189.340	12.160,4	97,1
1985	143.725.200	15.226,8	105,9

fortemente concentrada em três estados: Minas Gerais, que respondeu com 27,0% da produção em 1977. São Paulo com 15,7% e Rio Grande do Sul com 16,2%. Somente estes estados totalizaram 58,3% da oferta de leite, ou seja, 5406,4 milhões de litros [42].

Em termos percentuais, para o ano de 1977, a distribuição da produção nacional de leite pode ser observada na Tabela 2.3.

TABELA 2.3 - Distribuição percentual da Produção Nacional de Leite por Estado.

Fonte: SUPLAN/MA citado por EMBRAPA (15)

Estado/Território	Participação Percentual	Estado/Território	Participação Percentual
Brasil	100,000	Alagoas	0,783
Rondonia	0,008	Sergipe	0,593
Acre	0,057	Bahia	3,673
Amazonas	0,163	Minas Gerais	27,038
Roraima	0,072	Espírito Santo	2,885
Pará	0,226	Rio de Janeiro	3,894
Amapá	0,010	São Paulo	15,104
Maranhão	0,619	Paraná	5,913
Piauí	0,220	Santa Catarina	4,572
Ceará	2,505	R. Grande do Sul	16,253
R. Grande do Norte	0,507	Mato Grosso	3,092
Paraíba	1,147	Goiás	8,249
Pernambuco	2,341	D. Federal	0,093

A produção brasileira de leite para os anos de 1979 e 1980 são apresentados na Tabela 2.4.

TABELA 2.4 - Produção Brasileira de Leite nos Anos 1979 e 1980

(em 1000 L)

Fonte: EMBRAPA (15)

	1979	1980		1979	1980
BRASIL	9.803.285	9.870.977			
REGIÃO NORTE	44.086	45.537	REGIÃO SUDESTE	4.311.264	4.188.977
Rondônia	1.291	1.365	Minas Gerais	2.311.264	2.268.363
Acre	4.384	3.825	Espírito Santo	220.725	239.441
Amazonas	12.860	11.408	Rio de Janeiro	388.250	380.957
Roraima	5.252	4.019	São Paulo	1.385.697	1.300.196
Pará	19.635	24.037			
Amapá	664	584			
REGIÃO NORDESTE	1.084.516	945.358	REGIÃO SUL	2.900.816	2.992.804
Maranhão	59.104	53.444	Paraná	713.429	770.416
Piauí	17.557	13.660	Santa Catarina	398.292	341.141
Ceará	190.324	150.258	Rio Grande do Sul	1.789.095	1.981.287
R. Gde. do Norte	40.610	33.111			
Paraíba	91.830	65.745	REGIÃO CENTRO-OESTE	1.498.603	1.698.384
Pernambuco	233.747	222.637	Mato Grosso	153.457	174.384
Alagoas	76.251	77.748	Mato Grosso do Sul	353.002	540.878
Sergipe	57.104	59.911	Goiás	982.009	972.173
Bahia	281.989	268.824	Distrito Federal	10.045	10.903

Embora seja a Região Sudeste que apresenta maior produção de leite, é a Região Sul que apresenta maior índice de produtividade 874 kg/vaca ano [15].

A Tabela 2.5 indica a produtividade por região.

TABELA 2.5 - Produtividade de Leite nas Diversas Regiões Brasileiras

Fonte: EMBRAPA (15)

Região	Produtividade kg/ vaca ano
Norte	331
Nordeste	448
Sudeste	779
Sul	874
Centro-Oeste	365
Brasil	655

## 2.2. Produção Nacional de Produtos Lácteos Industrializados

À semelhança da oferta de leite, a produção de derivados acha-se fortemente concentrada na Região Sudeste.

As Tabelas 2.6 à 2.19 apresentam a produção brasileira dos diversos produtos comercializados pelos laticínios sob inspeção federal.

TABELA 2.6 - Produção dos Estabelecimentos de Laticínios com Inspeção Federal  
(Valores em mil litros)

Fonte: SERPA (38)

Unidade da Federação	Leite in natura	Leite Pré-Beneficiado			Leite Pasteurizado				
		Integral	Padronizado	Desnatado	Tipo "A"	Tipo "B"	Tipo "C"	2% Gord.	Desnatado
Rondônia	895	-	-	-	-	-	347	-	-
Acre	4.859	-	-	-	-	-	3.601	-	-
Amazonas	121	-	-	-	-	-	-	-	-
Pará	3.581	1.700	-	-	-	-	1.640	902	-
Maranhão	6.005	7.248	-	-	-	-	4.819	-	-
Piauí	5.505	-	-	-	-	-	-	1.496	-
Ceará	29.939	5.846	-	-	-	-	-	11.929	-
Rio Grande do Norte	8.212	3.033	-	-	-	-	4.985	4.735	-
Paraíba	13.777	-	-	-	-	-	1.147	-	-
Pernambuco	50.648	47.711	-	-	-	-	23.826	-	-
Alagoas	18.286	-	-	3.973	-	-	-	8.316	-
Sergipe	20.180	6.132	-	-	-	-	-	7.645	-
Bahia	125.114	77.175	3.655	1.410	-	-	4.361	10.400	-
Minas Gerais	2.083.719	1.853.439	151.403	46.623	-	14.296	29.374	101.178	-
Espírito Santo	214.622	134.839	67.511	-	-	-	32.046	13.471	-
Rio de Janeiro	455.921	129.008	140.273	1.066	-	20.425	79.014	75.693	-
São Paulo	1.206.238	35.621	57.233	43.366	-	297.423	209.351	127.088	5.110
Paraná	364.972	123.423	575	-	28	1.256	28.938	23.259	-
Santa Catarina	84.334	21.177	-	-	-	-	51.430	9.575	-
Rio Grande do Sul	488.911	170.327	8.381	260	-	-	70.017	75.110	-
Mato Grosso	15.181	2.081	-	-	-	-	1.615	-	-
Goiás	506.681	353.529	50.158	13.081	-	-	1.730	35.631	-
Distrito Federal	15.451	3.691	-	-	-	-	2.600	8.668	-
Mato Grosso do Sul	72.815	-	-	-	-	-	13.864	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>5.795.967</b>	<b>2.975.980</b>	<b>479.189</b>	<b>109.779</b>	<b>28</b>	<b>333.400</b>	<b>564.705</b>	<b>515.096</b>	<b>5.110</b>



TABELA 2.7 - Produção dos Estabelecimentos de Laticínios com Inspeção Federal  
(Valores em mil litros)

Fonte: SERPA (38)

Unidade da Federação	Leite Pasteurizado							
	3,2% Gordura	Reconstituído				Aromatizado		
		3% de Gordura	2% de Gordura	Semi Desnatado	Desnatado	Integral	3% de Gordura	Desnatado
Rondônia	346	-	92	-	-	-	-	-
Acre	695	-	-	-	-	-	-	-
Amazonas	-	2.426	-	-	-	-	-	-
Pará	812	-	-	-	-	-	-	-
Maranhão	1.056	-	28	-	-	-	-	-
Piauí	3.273	-	4.674	-	-	-	-	-
Ceará	17.618	-	8.609	-	-	-	-	-
Rio Grande do Norte	1.774	-	324	-	-	-	-	-
Paraíba	3.942	-	14.928	-	-	-	-	-
Pernambuco	12.155	-	-	-	-	-	-	-
Bahia	13.554	-	4.391	-	-	-	-	-
Minas Gerais	217.764	-	17.009	-	-	38	-	-
Espírito Santo	5.918	17.741	2.775	-	-	-	-	-
Rio de Janeiro	182.730	61.856	112.795	-	-	-	26	-
São Paulo	301.770	39	75.209	6.441	-	96	-	-
Paraná	114.652	355	17.288	-	-	-	-	625
Santa Catarina	53	-	3.052	-	-	-	-	-
Rio Grande do Sul	159.809	2.875	33.589	35	121	-	-	-
Mato Grosso	1.402	-	126	-	-	-	-	-
Goiás	51.005	45	628	-	-	-	-	-
Distrito Federal	15.646	241	6.257	-	-	-	-	-
Mato Grosso do Sul	1.175	115	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>1.107.149</b>	<b>85.693</b>	<b>311.774</b>	<b>6.476</b>	<b>121</b>	<b>134</b>	<b>26</b>	<b>625</b>

TABELA 2.8 - Produção dos Estabelecimentos de Laticínios com Inspeção Federal  
(Valores em mil litros)

Fonte: SERPA (38)

Unidade da Federação	Leite Esterilizado							
	Integral	2% de Gordura	Semi Desnatado	Desnatado	Aromatizado			
					3% de Gordura	2% de Gordura	Semi Desnatado	Desnatado
Bahia	15.313	-	905	340	-	-	-	449
Minas Gerais	14.684	2.049	8.623	1.972	-	-	1.110	-
Espírito Santo	1	-	-	-	-	-	-	-
Rio de Janeiro	23.601	-	7.258	765	12	-	2.819	291
São Paulo	-	13.279	215	407	-	1.098	1.081	-
Paraná	-	-	-	-	-	-	4.341	-
Santa Catarina	-	-	-	-	-	-	1.873	-
<b>TOTAL</b>	<b>53.599</b>	<b>15.328</b>	<b>17.001</b>	<b>3.484</b>	<b>12</b>	<b>1.098</b>	<b>11.224</b>	<b>740</b>

TABELA 2.9 - Produção dos Estabelecimentos de Laticínios com Inspeção Federal

(Valores em mil litros)

Fonte: SERPA (38)

Unidade da Federação	Leite Concentrado Industrial	Leite Evaporado	Leite Condensado			Leite em Pó			
			Consumo Direto	Industrial		Consumo Direto			
				Em Pasta	Em Bloco	Padronizado	Semi Desnatado	Desnatado	
Amazonas	-	-	-	-	-	233	-	253	-
Pernambuco	-	-	-	-	-	-	-	-	52
Alagoas	-	-	-	-	-	-	-	-	293
Bahia	-	-	-	-	-	8.592	-	-	167
Minas Gerais	19.129	-	24.266	-	-	40.930	-	-	6.219
Espírito Santo	293	-	-	-	-	6.965	-	-	4.253
Rio de Janeiro	250	44	4.849	974	3.394	5.739	-	-	3.429
São Paulo	4.167	102	26.582	2.774	-	18.289	159	628	4.194
Paraná	-	-	-	-	-	1.967	-	-	2.753
Rio Grande do Sul	-	-	-	-	-	2.854	-	-	1.206
Goiás	-	-	-	-	-	2.744	-	-	751
<b>TOTAL</b>	<b>23.839</b>	<b>146</b>	<b>55.697</b>	<b>3.748</b>	<b>3.349</b>	<b>88.313</b>	<b>159</b>	<b>881</b>	<b>23.312</b>

TABELA 2.10 - Produção dos Estabelecimentos de Laticínios com Inspeção Federal  
(Valores em Toneladas)

Fonte: SERPA (38)

Unidade da Federação	Leite em Pó						Creme de Leite			
	Industrial				Modif.	Importado e Reprocessado	in Natura	Industrial	Consumo Direto	
	integral	padron.	magro	desnat.					pasteurizado	esterilizado
Rondônia	-	-	-	-	-	-	8	8	-	-
Acre	-	-	-	-	-	-	78	66	-	-
Pará	-	-	-	-	-	-	10	27	-	-
Maranhão	146	-	-	-	-	-	202	96	-	-
Piauí	-	-	-	-	-	-	-	108	-	-
Ceará	-	-	-	-	-	-	136	275	2	-
Rio Grande do Norte	-	-	-	-	-	-	27	86	-	-
Paraíba	-	-	-	-	-	-	13	39	-	-
Pernambuco	-	-	338	829	-	-	1.841	612	-	-
Alagoas	-	-	-	248	-	-	571	-	-	-
Bahia	-	-	-	-	-	-	1.220	617	-	-
Minas Gerais	3.337	-	253	91	1.826	4.324	21.354	6.594	380	-
Espírito Santo	-	-	-	3.884	-	-	4.826	2.971	-	10
Rio de Janeiro	1.364	-	-	63	-	-	4.113	3.694	305	1.314
São Paulo	1.672	16	-	1.551	17.576	-	7.742	10.384	4.189	12.800
Paraná	-	-	-	-	-	-	-	2.124	658	-
Santa Catarina	-	-	-	-	-	-	411	233	568	-
Rio Grande do Sul	-	-	-	-	-	-	557	4.136	1.931	-
Mato Grosso	-	-	-	-	-	-	3	35	-	-
Goiás	9	-	-	2	-	-	-	6.566	-	-
Distrito Federal	-	-	-	-	-	-	729	-	-	-
Mato Grosso do Sul	-	-	-	-	-	-	-	237	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>6.528</b>	<b>16</b>	<b>591</b>	<b>6.668</b>	<b>19.402</b>	<b>4.324</b>	<b>43.841</b>	<b>39.908</b>	<b>8.033</b>	<b>14.124</b>

TABELA 2.11 - Produção dos Estabelecimentos de Laticínios com Inspeção Federal

Fonte: SERPA (38)

Unidade da Federação	Leitelho		Soro de Leite			Lactose Comestível (Tonelada)	Caseína Comestível (Tonelada)	Massa Coalhada para Queijo (Tonelada)
	Líquido (mil litros)	Em Pó (Toneladas)	Líquido (mil litros)	Concentrado (Tonelada)	Em Pó (Tonelada)			
Bahia	-	-	2.527	-	222	-	-	-
Minas Gerais	-	-	28.375	1.814	2.209	112	59	4.341
Rio de Janeiro	253	-	-	-	450	-	-	-
São Paulo	-	48	3.657	-	25	-	12	-
Paraná	1.961	109	5.009	-	787	-	-	-
Santa Catarina	-	-	-	-	-	-	-	169
Goiás	-	-	23.107	-	-	-	-	37
Distrito Federal	-	-	-	16	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>2.214</b>	<b>157</b>	<b>62.675</b>	<b>1.830</b>	<b>3.693</b>	<b>112</b>	<b>71</b>	<b>4.547</b>

TABELA 2.12 - Produção dos Estabelecimentos de Laticínios com Inspeção Federal  
(Valores em Toneladas)

Fonte: SERPA (38)

Unidade de Federação	Iogurte				Coalhada	Leite Gelificado	Queijo Minas	
	Natural	Aromatizado	Com Frutas	Outros Tipos			Frescal	Curado
Acre	-	-	-	-	-	-	2	-
Ceará	280	-	87	-	-	-	-	-
Pernambuco	-	-	-	-	-	139	72	-
Bahia	50	-	460	-	-	-	23	42
Minas Gerais	1.896	-	1.136	2.386	-	2.727	13.602	2.694
Espírito Santo	-	-	-	-	-	-	146	297
Rio de Janeiro	1.482	7.130	9.376	405	273	3.955	1.105	65
São Paulo	7.925	1.041	28.035	583	223	7.317	2.395	218
Paraná	100	-	6.476	3.481	-	909	204	14
Santa Catarina	-	-	173	45	-	-	89	-
Rio Grande do Sul	181	-	1.242	761	-	-	136	65
Goiás	-	168	-	-	-	-	35	213
Distrito Federal	9	-	-	-	-	-	73	-
Mato Grosso do Sul	-	-	-	-	-	-	254	-
<b>TOTAL</b>	<b>11.923</b>	<b>8.339</b>	<b>46.985</b>	<b>7.661</b>	<b>496</b>	<b>15.047</b>	<b>18.136</b>	<b>3.608</b>

TABELA 2.13 - Produção dos Estabelecimentos de Laticínios com Inspeção Federal

(Valores em Toneladas)

Fonte: SERPA (38)

Unidade da Federação	Queijo							
	Prato	Tipo						
		Parmesão	Provolone	Mussarela	Caccio Cavalo	Reino	Estepe	Gouda
Rondônia	10	-	-	1	-	-	-	-
Acre	52	-	-	4	-	-	-	-
Pará	39	-	-	-	-	-	-	-
Pernambuco	168	-	-	27	-	-	-	-
Sergipe	-	-	-	26	-	-	-	-
Bahia	1.941	132	33	187	-	110	27	-
Minas Gerais	17.110	4.643	1.251	6.642	101	2.042	2.407	442
Espírito Santo	429	107	-	992	5	84	22	2
Rio de Janeiro	262	122	-	175	-	-	1	-
São Paulo	4.343	482	890	5.096	7	-	-	-
Paraná	3.578	642	57	5.485	3	20	-	-
Santa Catarina	992	32	-	247	-	-	-	-
Rio Grande do Sul	7.509	1.051	1	1.419	-	10	20	7
Mato Grosso	142	-	-	878	-	-	-	-
Goiás	8.506	2.332	17	3.064	-	-	433	22
Distrito Federal	114	6	-	50	-	-	40	-
Mato Grosso do Sul	1.637	592	-	2.600	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>46.832</b>	<b>10.141</b>	<b>2.249</b>	<b>26.893</b>	<b>116</b>	<b>2.266</b>	<b>2.950</b>	<b>473</b>

TABELA 2.14 - Produção dos Estabelecimentos de Laticínios com Inspeção Federal  
(Valores em Toneladas)

Fonte: SERPA (38)

Unidade da Federação	QUEIJO							
	TIPO							
	Batavo	Limburgo	Camembert	Tilsit	Gorgonzola	Gruyère	Emental	Cheddar
Minas Gerais	-	4	77	19	202	26	216	18
Espírito Santo	-	-	-	-	-	11	-	-
São Paulo	-	-	-	-	-	-	9	-
Paraná	623	-	-	-	-	-	-	-
Santa Catarina	-	2	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>623</b>	<b>6</b>	<b>77</b>	<b>19</b>	<b>202</b>	<b>37</b>	<b>225</b>	<b>18</b>



TABELA 2.15 - Produção dos Estabelecimentos de Laticínios com Inspeção Federal  
(Valores em toneladas)

Fonte: SERPA (38)

Unidade da Federação	QUEIJO						
	TIPO						
	Port Salut	Cottage	Quark	Petit Suisse	Itálico	Quartirolo	Pecorino
Minas Gerais	34	-	-	7.479	58	205	1
Rio de Janeiro	-	27	-	294	-	-	-
São Paulo	2	-	-	4.943	-	-	-
Paraná	-	-	24	-	-	-	-
Santa Catarina	-	-	5	-	-	-	69
Rio Grande do Sul	-	-	41	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>	<b>27</b>	<b>70</b>	<b>12.716</b>	<b>58</b>	<b>205</b>	<b>70</b>

TABELA 2.16 - Produção dos Estabelecimentos de Laticínios com Inspeção Federal  
(valores em toneladas)

Fonte: SERPA (38)

Unidade da Federação	QUEIJO							
	Requeijão	Pasteurizado	Ralado	Fatiado	Fundido	Ricota		Outros tipos
						frescal	defumada	
Acre	1	-	-	-	-	-	-	-
Paraíba	17	-	-	-	-	-	-	-
Pernambuco	40	-	358	-	12	-	-	33
Sergipe	98	-	-	-	-	-	-	-
Bahia	13	-	-	-	-	-	-	-
Minas Gerais	5.102	1.387	2.588	420	544	741	-	593
Espírito Santo	252	-	-	-	-	-	-	-
Rio de Janeiro	940	-	4	-	-	-	-	-
São Paulo	1.826	-	2.913	214	533	466	15	8
Paraná	13	15	20	-	12	-	-	11
Santa Catarina	-	29	19	-	-	-	-	-
Rio Grande do Sul	300	-	648	71	206	-	-	5
Goiás	1.467	-	433	-	-	4	-	45
Distrito Federal	-	-	-	-	-	27	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>10.069</b>	<b>1.431</b>	<b>6.983</b>	<b>705</b>	<b>1.307</b>	<b>1.238</b>	<b>15</b>	<b>695</b>

TABELA 2.17 - Produção dos Estabelecimentos Laticínios com Inspeção Federal  
(Valores em toneladas)

Fonte: SERPA (38L)

Unidade da Federação	Doce de Leite			Manteiga		
	Em Pasta	Tabletes	Outros tipos	Extra	De Primeira	De Segunda
Rondônia	-	-	-	-	-	10
Acre	2	-	-	-	75	-
Amazonas	-	-	-	-	-	17
Pará	-	-	-	-	9	15
Maranhão	26	-	-	-	70	-
Piauí	-	-	-	-	46	9
Ceará	-	-	-	-	77	202
Rio Grande do Norte	-	-	-	-	-	75
Paraíba	15	-	-	-	-	30
Pernambuco	-	-	-	646	-	552
Alagoas	-	-	-	-	-	376
Sergipe	21	-	-	196	-	75
Bahia	24	-	-	142	851	220
Minas Gerais	6.238	1.933	1.043	6.673	4.886	5.793
Espírito Santo	491	82	-	2.533	788	380
Rio de Janeiro	892	174	98	2.644	346	2.565
São Paulo	2.544	261	710	3.283	2.066	1.697
Paraná	229	-	-	2.562	201	210
Santa Catarina	98	-	-	121	153	61
Rio Grande do Sul	2.015	-	-	1.420	1.519	32
Mato Grosso	-	-	-	-	20	4
Goiás	210	-	-	29	387	1.962
Distrito Federal	-	-	-	13	434	8
Mato Grosso do Sul	-	-	-	-	177	174
<b>TOTAL</b>	<b>12.805</b>	<b>2.450</b>	<b>1.851</b>	<b>20.262</b>	<b>12.105</b>	<b>14.467</b>

TABELA 2.18 - Produção dos Estabelecimentos de Laticínios com Inspeção Federal  
(Valores em toneladas)

Fonte: SERPA (38)

Unidade da Federação	Óleo de Manteiga (Butter Oil)	Margarina		Caramelo de Leite	Outros Produtos	Soro de Leite	
		De Consumo Direto	Industrial			Líquido	Em Pó
Ceará	-	2.513	-	-	-	-	-
Minas Gerais	77	-	-	1.997	7	2.462	-
Rio de Janeiro	-	-	-	-	-	-	42
São Paulo	-	209.568	8.997	-	24.109	521	8
Paraná	-	-	-	-	-	806	41
Rio Grande do Sul	-	25.069	-	-	-	2.169	-
<b>TOTAL</b>	<b>77</b>	<b>237.150</b>	<b>8.997</b>	<b>1.997</b>	<b>24.116</b>	<b>5.958</b>	<b>91</b>

TABELA 2.19 - Produção dos Estabelecimentos de Laticínios com Inspeção Federal  
(Valores em toneladas)

Fonte: SERPA (38).

Unidade da Federação	Leitelho		Caseína não Comestível	Outros Sub- Produtos Lácteos	Coalho	
	Líquido	Em Pó			Líquido	Em Pó
Pernambuco	825	-	-	-	-	-
Minas Gerais	1.244	5	39	20	320	22
Espírito Santo	-	-	3	-	-	-
Rio de Janeiro	-	-	3	-	-	-
São Paulo	-	-	1	-	560	48
Paraná	89	-	1	38	-	-
Santa Catarina	-	-	3	-	72	35
Rio Grande do Sul	-	-	5	11	85	7
Goiás	-	-	4	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>2.168</b>	<b>5</b>	<b>59</b>	<b>69</b>	<b>1.037</b>	<b>112</b>

SOUZA [42] ressalta que cerca de 50% da oferta de leite não sofre nenhum tipo de inspeção higiênico-sanitária. Portanto, os volumes de derivados de leite apresentados pelas tabelas são subestimados. A produção efetiva, principalmente de produtos tais como queijos, manteiga, etc., é substancialmente mais elevada.

### 2.3. Composição do Leite

A composição média do leite e de vários de seus sub-produtos é apresentada na Tabela 2.20.

### 2.4. A Indústria do Leite

O fato do leite ser um produto perecível e volumoso faz com que até meados da segunda década deste século o leite destinado ao consumo "in natura" fosse produzido nos arrabaldes dos centros consumidores e fornecidos diretamente pelo produtor ao consumidor. Por exemplo, durante a primeira década deste século, o leite "in natura" consumido na cidade de São Paulo era produzido por vaqueiros portugueses em estábulos construídos num raio de 10 km do centro da cidade, sendo então distribuído aos consumidores de porta em porta, pelos produtores [42]. Aliás, este método de distribuição é encontrado até hoje em muitos centros urbanos do país, principalmente nas regiões norte e nordeste. Devido ao aumento

TABELA 2.20 - Composição Média do Leite e Sub-produtos (em 100 g)

Fonte: Relatório EPA - 12.060 EGU (9,22)

Produto	Gordura (g)	Proteína (g)	Lactose (g)	Ácido Lático (g)	Ingredientes Orgânicos Adicionados	Sólidos Orgânicos Totais	Ca (mg)	P (mg)	Cl (mg)	S (mg)	Cinza Total (g)	Viscosidade (Cp 20°C)
Leite Desnatado	0,08	3,5	5,0	-	-	8,56	121	95	100	17	0,7	1,4
Leite (2%)	2,0	4,2	6,0	-	-	12,2	143	112	116	20	0,8	2,4
Leite Integral	3,0	3,5	4,9	-	-	13,1	118	93	102	19	0,7	2,2
50%	11,7	3,2	4,6	-	-	19,5	108	85	90	16	0,6	7,5
Creme com café	18,0	3,0	4,3	-	-	25,3	102	80	73	12	0,6	15,0
Creme grosso	40,0	2,2	3,1	-	-	45,3	75	59	38	9	0,4	25,2
Leite com chocolate	3,5	3,4	5,0	-	sacarose 6% chocolate sólido 1%	18,5	111	94	100	19	0,7	75,0
Manteiga batida	0,3	3,0	4,6	0,1	-	8,0	121	95	103	15	0,8	1,5
Manteiga refinada	0,1	3,6	4,3	0,8	-	10,0	121	95	105	17	0,7	500
Creme ácido	18,0	3,0	3,6	0,75	-	24,6	102	80	73	12	0,6	10.000
Iogurte	3,0	3,5	4,0	1,1	frutas, aromas	10,5	143	112	105	19	0,7	9.000
Leite condensado	8,0	7,0	9,7	-	-	27,0	757	205	210	39	1,6	30,0
Sorvete	10,0	4,5	6,8	-	acúcar, 15%	41,3	146	115	194	20	0,9	35,0
Soro (fresco)	0,3	0,9	4,9	0,2	-	6,3	51	53	95	8	0,6	1,4
Soro de requeijão	0,08	0,9	4,4	0,7	-	6,1	96	76	95	8	0,8	1,3

constante do número de consumidores nos centros urbanos, principalmente São Paulo e Rio de Janeiro, este sistema de comercialização (produtor-consumidor) ficou cada vez mais difícil de ser operacionalizado. Por razões sanitárias, os estábulos nos arredores das cidades tiveram que desaparecer. Por outro lado, o aumento do preço da terra forçou o deslocamento da atividade de produção leiteira para mais longe dos mercados consumidores. Com o desenvolvimento dos sistemas de transportes ferroviários, e, posteriormente, rodoviários e a construção de postos de resfriamento no interior e usinas de pasteurização nos centros urbanos, tornou-se viável transportar leite de grandes distâncias sem comprometer

a sua qualidade. Desta forma, as bacias leiteiras dos grandes centros do país (São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte) se expandiram cada vez mais para o interior, sendo o leite coletado de milhares de fazendas e processado em usinas localizadas nas proximidades dos mercados consumidores. Daí em diante as chamadas "usinas de leite" se multiplicaram por todo o país.

A Tabela 2.21 apresenta o número de estabelecimentos existentes no país em 1977.

Deve-se ressaltar que esses números apresentados nessa tabela são bem maiores se considerarmos as empresas que trabalham sem nenhum controle higiênico sanitário ou somente com inspeção estadual. Segundo levantamento preliminar feito pela SUPLAN/MA a quantidade dessas pequenas empresas, que recebem até 5.000 litros de leite por dia, manufaturando queijos e manteiga, é bastante expressivo.



TABELA 2.21 - Quantidade e Classificação dos Estabelecimentos de Laticínios sob Inspeção Federal (1977)

Fonte: citado por EMBRAPA (15).

	1977
- Fábrica de Laticínios	496
- Usina de Beneficiamento	286
- Posto de Refrigeração	260
- Entrepasto - Usina	10
- Posto de Coagulação	9
- Entrepasto de Laticínios	37
- Fábrica de Coalho e de Coagulantes	5
- Entrepasto de Beneficiamento para Coalho e Coagulantes	1
<b>TOTAL</b>	<b>1.104</b>

### 2.5. Processos Empregados pela Indústria

Os resíduos estudados neste trabalho foram coletados de uma indústria onde o principal processo era a produção de leite. Eram produzidos em menor escala, queijo e manteiga.

Nos próximos itens apresenta-se fluxogramas e descrição dos processos de fabricação desses produtos.

### 2.5.1. Usina de Leite

A Fig. 2.1 apresenta o fluxograma do processamento do leite, a origem e natureza dos despejos.

#### 2.5.1.1. Recepção

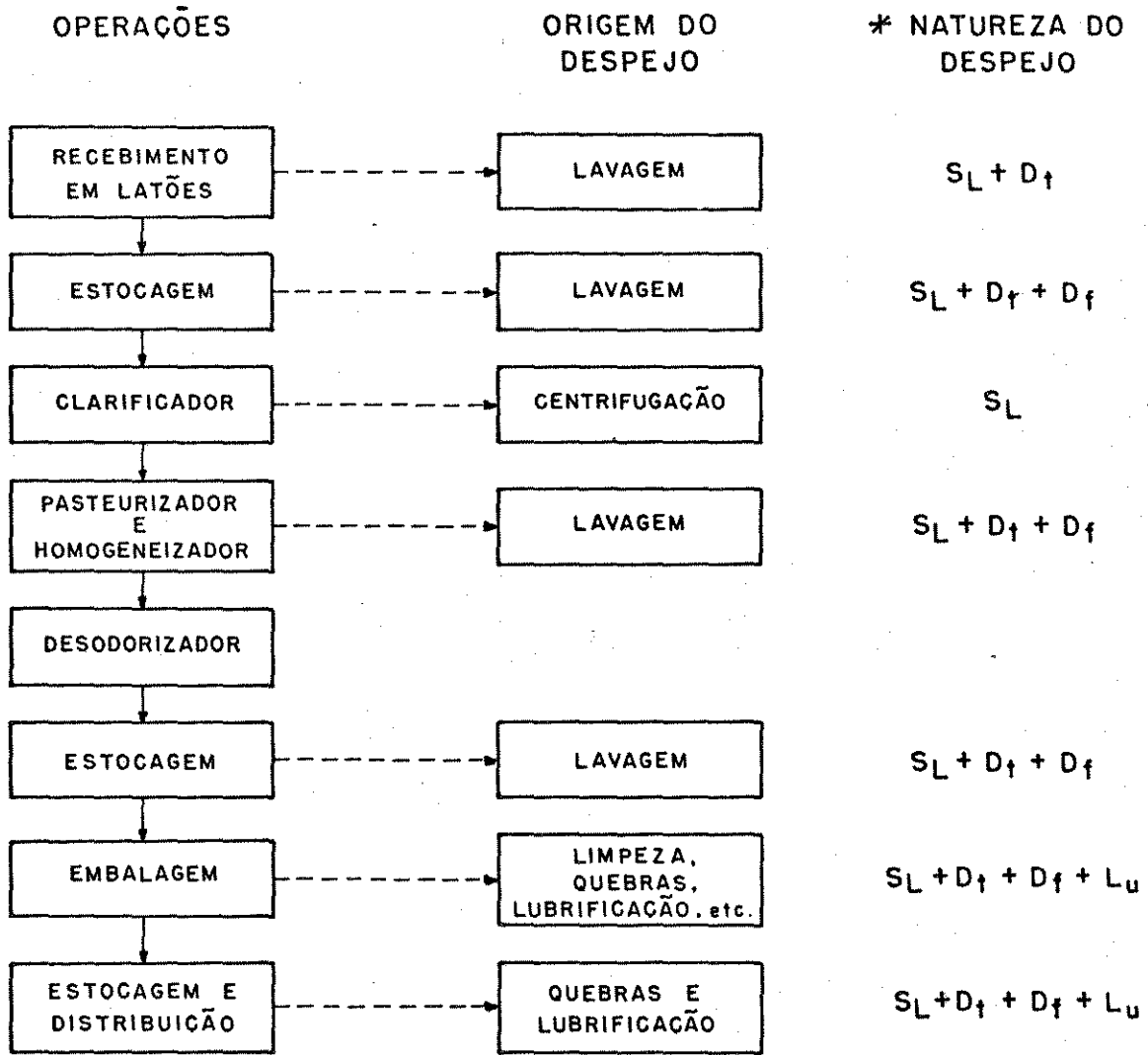
O leite cru é recebido em latões que são trazidos diretamente das fazendas. Os respingos, perdas de leite e a lavagem dos latões são responsáveis pela água residuária desta seção.

#### 2.5.1.2. Estocagem

O leite cru é bombeado para um tanque de estocagem refrigerado e lá permanece até quando necessário. Do tanque de estocagem é distribuído para as linhas de produção. Aqui, perdas por vazamento, acidentes e principalmente lavagem e desinfecção do tanque são responsáveis pelos despejos.

#### 2.5.1.3. Clarificação

O leite cru é clarificado (filtrado) numa centrifugadora.



\*  $S_L$  - sólidos de leite  
 $D_t$  - detergente  
 $D_f$  - desinfetante  
 $L_u$  - lubrificante

Figura 2.1 - Processamento do leite; origem e natureza dos despejos.

#### 2.5.1.4. Pasteurização

O leite clarificado é então pasteurizado num pasteurizador de fluxo contínuo.

#### 2.5.1.5. Homogeneização

O produto pasteurizado é homogeneizado numa bomba a pressão onde são "quebradas" as partículas de gordura para mantê-las em suspensão. As águas residuárias da pasteurização e homogeneização são consequência principalmente da lavagem.

#### 2.5.1.6. Desodorização

O leite homogeneizado é submetido a um tratamento para retirada de odores e sabores não desejáveis.

#### 2.5.1.7. Estocagem

O leite pasteurizado é resfriado depois de deixar o tratamento anterior e é então enviado para tanques de estocagem permanecendo lá até que seja necessário na seção de empacotamento.

A principal fonte de água residuária é a água de lavagem e perdas quando da drenagem dos tanques.

#### 2.5.1.8. Embalagem

O leite é empacotado automaticamente em sacos plásticos. Os despejos são formados principalmente por vazamentos nos sacos, perdas nas enchedeiras, água de lavagem e lubrificantes usados nos transportadores.

#### 2.5.1.9. Estocagem e Distribuição

O produto já embalado é mantido estocado por um curto período de tempo e em seguida é distribuído por caminhões refrigerados. Os danos aos sacos plásticos, a água de lavagem e os lubrificantes são as principais fontes de despejos.

Em todas as operações que envolvem lavagem são utilizados detergentes como desinfetantes. Segundo Braille (4) tanto detergentes como desinfetantes não interferem significativamente no tratamento dos despejos, embora, alguns tipos de desinfetantes podem ter um certo grau de toxidez. Não existe também, nenhuma literatura mencionando lubrificantes, como fonte significativa de poluentes da indústria de laticínios.

## 2.5.2. Fábrica de Queijo

A Fig. 2.2 apresenta o fluxograma do processamento do queijo; a origem e natureza dos despejos.

### 2.5.2.1. Separação

O leite cru é bombeado através de um aquecedor e enviado para uma centrífuga (separador), a qual remove parte do creme do leite. Este creme é usado para fabricação de sub-produtos. Esta separação é necessária para fabricação de queijos com baixo teor de gordura. Os despejos são provenientes principalmente da limpeza do equipamento.

### 2.5.2.2. Pasteurização

O leite cru é pasteurizado. Aqui também os despejos são provenientes principalmente da limpeza.

### 2.5.2.3. Tanques de Fermento e Coalho

Usados para armazenamento de fermento e coalho utiliza

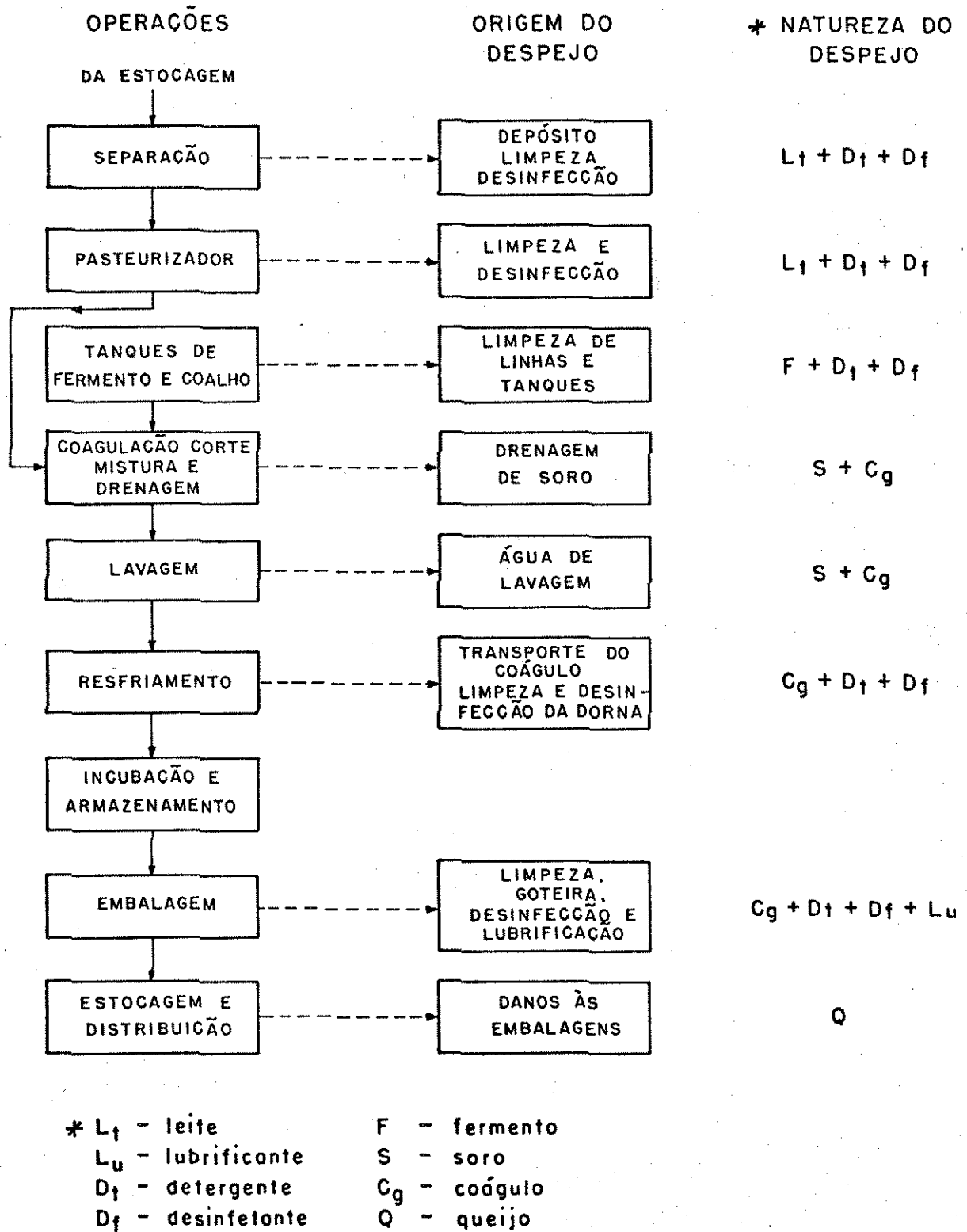


Fig. 2.2 - Produção de Queijo; origem e natureza dos despejos

dos no processo. Os despejos são constituídos principalmente pela perda desses materiais e da água de lavagem das linhas e tanques.

#### 2.5.2.4. Coagulação, Mistura, Corte e Drenagem

O leite pasteurizado é bombeado para os tanques de coagulação e então inoculado com uma cultura. Ao fim de um determinado período de tempo o leite já coagulado é drenado. O soro é a principal fonte de poluição.

No caso desta determinada fábrica, o soro era coletado separadamente e voltava novamente para alguns fazendeiros que o utilizavam na alimentação de porcos.

Em alguns casos, o soro não é utilizado e é também lançado ao esgoto, o que aumenta consideravelmente a capacidade poluidora do resíduo, já que no soro a concentração de DBO é bastante elevada.

#### 2.5.2.5. Lavagem

O coágulo é então lavado com água potável, a qual completa a retirada do soro. O resíduo é formado por esta água com soro e também por pedaços de coágulo que, eventualmente, podem



ser retirados pela água.

#### 2.5.2.6. Resfriamento

É também feito com água, sendo praticamente continuação da lavagem. O despejo é constituído por pedaços de coágulo que podem ser desperdiçados quando da retirada e transporte do mesmo, limpeza e desinfecção do tanque de coagulação.

#### 2.5.2.7. Incubação e Armazenamento

O queijo é colocado em ambiente controlado e incubado por um determinado período para sua completa formação.

#### 2.5.2.8. Embalagem

O queijo é embalado com equipamento automático. Os despejos são provenientes principalmente da limpeza.

#### 2.5.2.9. Estocagem e Distribuição

O produto é estocado até que possa ser distribuído para consumo. A ruptura de embalagens pode fazer com que pedaços de queijo estejam presentes nos despejos.

### 2.5.3. Fábrica de Manteiga

A Fig. 2.3 apresenta o fluxograma do processamento da manteiga, a origem e natureza dos despejos.

#### 2.5.3.1. Separação

Vindo dos tanques de armazenamento, o leite passa por um aquecedor que o aquece até uma temperatura aproximada de 32° e em seguida é centrifugado. O creme com um teor de gordura de 30 a 40% é separado, resfriado e armazenado. Os despejos são formados principalmente pelo desperdício de leite desnatado e água de limpeza.

#### 2.5.3.2. Resfriamento

O creme é resfriado e bombeado para os tanques de armazenamento.

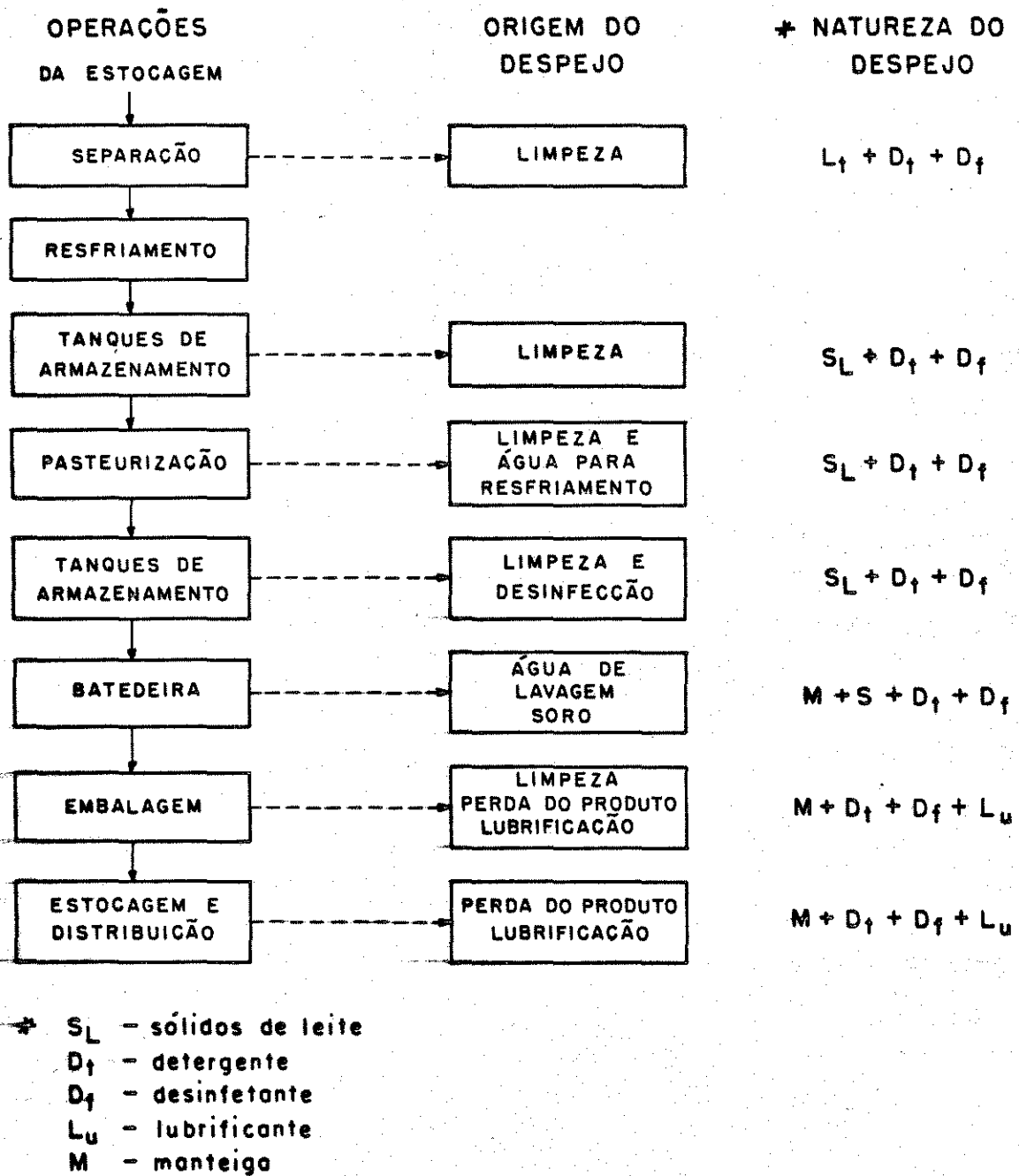


Figura 2.3 - Produção de Manteiga: origem e natureza dos despejos

#### 2.5.3.3. Armazenamento

O produto é mantido armazenado e refrigerado.

#### 2.5.3.4. Pasteurização

O creme é então bombeado para o pasteurizador onde é pasteurizado e resfriado. As águas residuárias são provenientes da limpeza do equipamento e do recinto e resfriamento do produto.

#### 2.5.3.5. Armazenamento

O produto já pasteurizado e resfriado é mantido em tanques até sua futura utilização.

#### 2.5.3.6. Batedeira

O creme pasteurizado é mantido a uma temperatura de 7°C e é batido; O leitelho que resulta do processo de bater é derivado. Os grãos de manteiga são então lavados, a água drenada, lavados novamente e novamente drenada. A manteiga então é "trabalhada" para ter a consistência desejada. Em seguida é

enviada para embalar .O leite e a água são as principais fontes de despejos, além de pedaços de manteiga que se perdem.

#### 2.5.3.7. Embalagem

É dado forma ao produto e embalado automaticamente. A perda de manteiga por acidente, água de limpeza e lubrificantes para as máquinas compõem as águas residuárias.

#### 2.5.3.8. Estocagem e Distribuição

O produto é estocado em refrigeradores até sua distribuição ao consumo.

### 2.6. Os Resíduos

#### 2.6.1. Caracterização dos Resíduos

Águas residuárias de laticínios são poluentes quase que exclusivamente devido ao alto teor de matéria orgânica que possuem [48], matéria orgânica essa proveniente de perdas de leite ou sub-produtos do leite que durante o processamento vão para

o esgoto. Essas perdas são em sua maioria devido a restos de produtos deixados em dornas, tanques, tubulações, espirros de leite no chão, água de lavagem, perdas nos evaporadores, nas enchedeiras e ocasionalmente lançamento deliberado no esgoto de material em excesso como soro de queijo e de manteiga.

A Tabela 2.22 mostra as características de águas residuárias de laticínios segundo vários autores.

#### 2.6.2. Comentários

Segundo WATSON, citado por JONES [22], os despejos de laticínios têm concentrações de DBO variando entre 500 e 4000 mg/l e a concentração de DQO normalmente fica em torno de 2 a 2,5 vezes o valor da DBO.

Os sólidos suspensos, segundo JONES (22), não têm grande significado pois normalmente são bastante baixos.

Segundo BRAILE (7), os produtos de limpeza, principalmente em grandes indústrias, podem ocasionar variações no pH do efluente, situação essa que normalmente pode ser corrigida equalizando-se o resíduo antes do tratamento. A literatura fornece muito pouca informação sobre temperatura, pH, gordura, proteínas, carboidratos, surfactantes e produtos de desinfecção. FISHER [17] afirma que os produtos de limpeza e desinfecção, bem como os lubrificantes, não interferem no tratamento do resíduo por processos biológicos.

TABELA 2.22 - Características de resíduos de Laticínios, segundo vários autores.

Fonte: Relatório da EPA 12.060. EGU [g]

Autor	Produto	DBO (mg/L)	Sólidos suspensos (mg/L)	Sólidos suspensos voláteis (mg/L)	Sólidos suspensos Totais (mg/L)	Sólidos Totais (mg/L)	pH
Gauchmen	Queijo	13760	4500	-	-	-	8,0
Hatch	Queijo	775	-	-	-	1246	6,7
McKee	Queijo	1890	396	560	2698	4516	5,7
Schweizer	Queijo	1000-2700	-	-	-	1500-8500	7,1-7,4
Sarka & col.	Queijo	1045	306	-	1391	2192	8,4
Gauchmen	Manteiga	3760	-	-	-	5300	7,6
Hatch	Manteiga	1246	-	-	-	2242	7,7
Morgan	Manteiga	3030	-	1360	1740	-	-
Schweizer	Manteiga	250-1700	-	-	-	700-4000	7,6-8,3
Sarka & col.	Manteiga	873	354	-	763	1158	8,1
Hatch	Leite condensado	1291	-	-	-	2793	7,8
Morgan	Leite em pó	2150	-	500	1199	-	-
De Martin	Secagem de soro	15	24	17	57	156	7,7
De Martin	Secagem de soro	574	67	44	166	450	-
De Martin	Secagem de soro	623	6	-	102	135	7,2
Montagne	Leite	545	-	-	-	797	7,3-8,1
Has Further	Leite	1010	250	230	1320	1340	7,9
Anderson	Manteiga, Leite em pó	3060	1322	-	-	3182	4,4
Walgren	Queijo, Manteiga	780	-	-	1130	2300	5,3-9,2
Bloodgood	Produtos em Geral	548	-	-	-	863	8,0
Lawton & col.	Desconhecido	4790	1025	998	3800	5450	5,6
		4310	1040	910	4740	6490	4,8
		1280	361	303	1350	2280	6,8
		1241	619	561	1240	2653	6,4

Segundo JONES [22] a concentração de DBO dos efluentes de laticínios variam em função dos produtos fabricados, uma vez que são necessários diferentes quantidades de oxigênio para oxidação dos diferentes constituintes do despejo, tais como, gordura, carboidrato e proteína.

Os constituintes principais de vários produtos estão listados na Tabela 2.20, e são os mesmos que estarão presentes no efluente.

A Tabela 2.23 mostra os valores de DBO para vários produtos de laticínios.

TABELA 2.23 - Valores para DBO de vários produtos de laticínios

Fonte: Relatório EPA 12060 EGU [9]

Produtos	Porcentagem de sólidos orgânicos	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DBO <sub>u</sub> * (mg/L)
Leite desnatado	8,2	40.000 - 73.000	82.000
Leite integral	11,7	84.350 - 125.000	117.000
Creme - 40%	44,9	399.000	449.000
Leite Concentrado (2:1)	26,2	208.000	262.000
Sorvete	34,0	292.000	340.000
Manteiga Batida	6,8	55.000 - 72.000	68.000
Soro Fresco	6,0	25.000 - 120.000	60.000

\* Assumindo oxidação de 100% da matéria orgânica ( $DBO_u = DBO_{total}$ ).



A Tabela 2.24 mostra os valores de DBO para vários constituintes do leite e seus despejos.

TABELA 2.24 - Valores de DBO para vários constituintes do leite e seus despejos.

Fonte: Relatório EPA - 12060 EGU [9]

Constituintes	kg DBO <sub>5</sub> /kg do componente*
Lactose	0,65
Glucose	0,66
Ácido Lático	0,63
Gordura do Leite	0,89
Proteína do Leite	1,03
Caseína	1,04
Hidrocolóides	
Alginato de sódio	0,36
Carboximetil - celulose	0,30
Detergentes	
Sabão	1,43
Alquil - Benzeno - Sulfonato	0,02

\* Valores médios

A Tabela 2.25 apresenta dados da literatura para despejos de indústrias que produzem diversos produtos. Alguns estudos apresentam apenas os despejos como de laticínios, sem especifi-

TABELA 2.25 - Dados da Literatura para Despejos de Lacticínios (Tratamento pelo processo de lodos ativados)

(\*\*) Fonte: EPA, Dairy Food Plant Waste and Waste Treatment Practices [9]

Processo	$S_0$ (mg/L DBO <sub>5</sub> )	$S_e$ (mg/L DBO <sub>5</sub> )	$X_{va}$ (mg/L)	t (dia)	$k^{(*)}$ (L/mg dia)	Observações	Ref. (**)
Engarrafamento, queijo, leite em pó	528	10-63	1600-4900	0,96	0,0043		Furhoff
Engarrafamento	740	15	5600	0,83	0,0104	unidade experimental;	
	740	22	4800	0,50	0,0136	leite desnatado diluído como afluente	Muller
	810	81	2200	0,83	0,0049		
	500	155	6100	0,65	0,0006		
Lacticínio	567	19	3640	1,40	0,0057	sem retirada de lodo; OD = 4,5 - 2,6 ppm OD <sub>efluente</sub> = 1,0 - 0,0 ppm	Thayer Hauer
Lacticínio							
outubro	400-2200	8-235	300-2800	1,96	0,0032	Tanque equalização	
novembro	365-1600	8-60	1800-4000	1,79	0,0054	aerado, com 1 dia	Thom
dezembro	237-1800	7-27	1700-6400	1,75	0,0083	tempo de retenção	
Leite	211	4	4700	1,13	0,0097	unidade experimental, leite diluído	Schaafsma
Leite	224	7	9200	1,67	0,0020	valo de oxidação	

(\*) k calculado de:  $\frac{S_0 - S_e}{S_0} = k S$

car os produtos fabricados. Deve-se ressaltar que esta tabela também apresenta os valores de  $DBO_5$  para o resíduo depois de submetido a tratamento.

Pela Tabela 2.22 nota-se a alta concentração de  $DBO$ , o que caracteriza um resíduo com grande potencial de poluição e também a grande quantidade de sólidos voláteis, o que indica a natureza orgânica dos despejos favorecendo assim amplamente o tratamento biológico. A Tabela 2.25 nos mostra a grande eficiência em remoção de  $DBO$  pelo método dos Lodos Ativados.

## 2.7. Processos de Tratamento dos Resíduos

### 2.7.1. Pré-Tratamento e Tratamento Primário

Segundo BRAILE [7] esses tratamentos dependem essencialmente das características tanto dos despejos, como do sistema de tratamento a ser adotado. Tem como função amenizar os efeitos de choque de cargas em tratamentos que adotam o sistema de lodos ativados e filtros biológicos.

Os processos mais usados segundo o autor acima são:

- a. Gradeamento - usado para remoção de coágulos de leite em fábricas de queijo.
- b. Tanque de equalização de vazões - empregado principalmente em indústrias onde o período de trabalho é

curto, ou onde os despejos são intermitentes.

- c. Sedimentação - este processo é normalmente usado para remoção dos sólidos suspensos.
- d. Caixas de gorduras e flotores - empregados para remover óleos e gorduras. Os equipamentos de flotação, por serem mais sofisticados, retiram também parte dos óleos emulsionados aumentando a eficiência do tratamento. Óleos e gorduras devem ter destinação apropriada, sendo encaminhados para reaproveitamento ou para aterro sanitário.

#### 2.7.2. Filtro Biológico

Segundo FISHER (17), filtração dupla alternada (ADF) foi considerado o método padrão de tratamento de águas residuárias de laticínios na Grã-Bretanha, onde o método foi originalmente desenvolvido pelo "Department of Scientific & Industrial Research" em 1941. WHEATLAND (48) indica os critérios para projeto para tais unidades de tratamento e dá detalhes do desempenho de 4 grandes estações de tratamento operando com esse processo.

Embora este método ainda seja aceito na Grã-Bretanha, não acontece o mesmo em outros países do mundo. Nos Estados Unidos, por exemplo, o "US PUBLIC HEALTH SERVICES INDUSTRIAL WASTE GUIDE TO INDUSTRY" (47) não faz sequer menção ao método. SLADKA (40) sugere o filtro de alta taxa com recirculação para tratamento desse

tipo de resíduo.

BRAILE [7] indica o filtro biológico convencional antecedido por um tanque de equalização e seguido por um decantador secundário. Nesse caso, consegue-se redução da DBO em 65%. No entanto, o mesmo autor afirma que as informações obtidas na literatura a respeito do desempenho detalhado de filtros biológicos é controversa, sendo portanto recomendável, no caso de projetos, efetuar ensaios prévios confirmativos.

### 2.7.3. Processos ANAERÓBIOS

A forma mais simples é a fossa séptica que não é porém, eficiente para resíduos de laticínios.

Na literatura encontram-se alguns casos em que, como medida de emergência, foram lançados diretamente em digestores de lodo de estações de tratamento de esgotos municipal, grandes volumes de leite condensado [2] e leite desnatado não diluído [44]. Em nenhum dos casos houve problemas com o desempenho dos digestores.

SPAULDING [43], utilizando um digestor experimental, conseguiu reduções de DBO maiores que 99% tratando leite em pó diluído, com DBO de 3300 mg/L. O tempo de retenção era de 6 dias. O efluente tinha odor extremamente forte que era reduzido por aeração.

WOOLINGS [49], com um tempo de retenção similar, obteve 65% de redução de DBO tratando soro de leite com DBO inicial de 1110 mg/l.

MEINCK & SCHLICHTING [25] diluíram leite integral obtendo um esgoto artificial com DBO de 2200 mg/l e passaram-no por dois frascos anaeróbios em série, obtendo uma redução de DBO em 95% com tempo de retenção de 4 dias. Afirmam também que a recirculação do efluente não aumenta o desempenho. ANDERSON & POULSEN, (1), utilizando um tempo de retenção similar para tratar leite integral diluído com DBO de 7.000 mg/l, obtiveram uma redução de DBO de 87%.

DEWES [10] utilizando um filtro biológico anaeróbico de fluxo ascendente, tratou uma mistura de leite e soro com um valor de consumo de  $\text{KMnO}_4$  de 1.500 mg/l. Depois de 2-4 horas no filtro, este valor foi reduzido em 70%. Um tratamento subsequente com cal ( $120 \text{ g/m}^3$ ) reduziu o valor total em 90%, o que corresponde a uma redução de DBO de 80-85% aproximadamente.

Segundo BRAILE [7] a eficiência do processo de digestão anaeróbia, em termos de redução de DBO é pequena chegando aproximadamente a 50% com tempo de retenção de 4 dias. Afirmam ainda que o sistema é afetado por cargas de choque, pelas variações de temperatura e por desinfetantes que contenham substâncias tóxicas e que a qualidade do efluente deixa muito a desejar, devendo o processo ser encarado apenas como tratamento parcial.

Os processos anaeróbios normalmente requerem períodos longos de detenção, o que corresponde a unidades grandes de tra

tamento. Os filtros anaeróbios parecem ter algumas vantagens sobre os outros processos anaeróbios, principalmente pelo fato de ser bastante eficiente na remoção de poluentes, mas YOUNG & MC CARTY (50), no entanto, apontam algumas desvantagens tais como: formação de odores devido à produção de gás sulfídico, necessidade de lavagem a contra corrente, eventual demora para entrar em operação bem como a necessidade de a água residuária estar relativamente livre de sólidos suspensos para prevenir colmatação.

#### 2.7.4. Lagoas de Estabilização

As lagoas anaeróbias usualmente não são empregadas para tratamento de resíduos de laticínios, principalmente por exalarem odor insuportável. Entretanto, onde as condições climáticas são favoráveis, as lagoas aeróbias comuns ou as aeradas mecanicamente têm sido usadas.

Um estudo feito em escala piloto (6-8 m<sup>3</sup>) na República Árabe Unida [14] usando como substrato leite parcialmente desnatado, demonstrou, depois de um período de aclimação dos microorganismos, que havia uma alternância regular nas taxas de remoção de DBO, isto é: altas por um período e baixas no outro. Descobriu-se que isto se devia às mudanças cíclicas da flora. Quando a flora era predominantemente bacteriana a taxa de remoção de DBO era alta. Por outro lado, quando as condições eram mais favoráveis ao crescimento de algas, a taxa de remoção de DBO decrescia. Obviamente, como os dois tipos de organismos, algas e bacté

rias, são dependentes um do outro, não haveria possibilidade de se obter uma flora que fosse contínua e predominantemente bacteriana.

Na Índia [33], uma lagoa com profundidade de 1,2 m, carregada a uma taxa de 92 kg DBO/ha/dia, apresentou uma redução de DBO de 52 a 74% após um período de retenção de 12 dias.

Segundo BRAILE [7], para que sistemas de lagoas de oxidação possam ser empregados no tratamento de resíduos de laticínios deve-se proceder ensaios em escala de laboratório seguidos de ensaios em escala piloto e então, a partir dos parâmetros obtidos, projetar-se o sistema de tratamento definitivo.

#### 2.7.5. Irrigação

As indústrias localizadas em fazendas podem utilizar o sistema de disposição do resíduo por irrigação se existir área suficiente e tipo adequado de solo.

Águas residuárias de laticínios não contêm sais inorgânicos com excessão de Na, que geralmente está presente nos agentes alcalinos de limpeza normalmente usados na indústria. O Na pode substituir o Ca no solo por um processo de troca iônica. Com isto, o solo se desintegra e são formadas "panelas" que podem evoluir, resultando no surgimento de pequenas lagoas. Os solos argilosos são mais propensos a se desintegrarem pela alta concen



tração de Na. MCKEE [28] recomenda que o limite máximo de Na em águas residuárias de laticínios aplicadas em solos argilosos, seja de 100 mg/l.

Estes resíduos têm algum valor como fertilizantes. 1 m<sup>3</sup> de leite desnatado é equivalente a 9,6 kg de superfosfato, 3,9 kg de K<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> e 26,5 kg de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> [27]. No entanto, é um fertilizante desbalanceado que pode necessitar suplementação.

O volume e a concentração da água residuária é que vai definir a área irrigada, dependendo, obviamente, também do tipo de solo.

Solos de estruturas abertas (aerossos) são ideais. No entanto, outros tipos de solos podem ser utilizados, mas com uma taxa mais baixa de aplicação. Na Nova Zelândia [29] é recomendada a aplicação de 30 mm de água residuária de laticínios/irrigação para solos arenosos cascalhentos, bastante porosos, e somente 2,5 mm para solos argilosos compactados.

A declividade do terreno é também importante, porque com alta declividade corre-se o risco de o resíduo simplesmente escorrer sem haver possibilidade de purificação. MCKEE [29] recomenda uma declividade máxima de 6%.

Para as aplicações em pastagens, é recomendado um período de 14 dias [23] entre o término da irrigação e a entrada do animal no pasto como medida de segurança contra uma eventual contaminação.

Nas épocas de chuvas, recomenda-se diminuir a aplicação

ção para 28 mm, no caso de solo arenosos, interrompendo-a, no caso de solos argilosos (27).

A irrigação pode ser feita por aspersão, por sulcos ou mesmo por caminhões tanques.

#### 2.7.6. Lodos Ativados

Segundo BRAILE [7] o processo de lodos ativados é um dos mais utilizados para o tratamento de águas residuárias de laticínios.

FISHER [17] indica três modificações do processo convencional, como particularmente interessantes para o tratamento, ou seja: aeração prolongada, valos de oxidação e estabilização por contato.

PAWLOWSKY [34] estudou despejos formulados de laticínios em uma unidade contínua, em escala de laboratório, utilizando o processo de aeração prolongada, com DBO variando entre 465 mg/L a 1367 mg/L e obteve remoções de 78 a 85% em termos de DBO. O despejo era preparado pela mistura de leite com água de torneira, e adição de nutrientes conforme a relação DBO/100 : N/5 : P/1. O tempo de retenção era de 48 horas. Foram determinadas as presenças de flocos de bactérias, leveduras, protozoários sésseis e rotíferos. Foi constatado um elevado número de protozoários sésseis e rotíferos com permanência praticamente estável, o que caracteriza uma fase bem adaptada do processo de aeração prolon

TABELA 2.26 - Dados de desempenho de várias estações de tratamento de resíduos de laticínios  
(sistema de lodos ativados)

Fonte: FISHER [17]

Processo ou Produto	Volume de Resíduos (m <sup>3</sup> /dia)	Tipo de unidade de aeração etc.	Período de Retenção na unidade de aeração (h)	Sólidos suspensos no tanque de aeração (mg/l)	DBO (média)		Observações
					Influente (mg/l)	Remoção (%)	
Engarrafamento	90-100	único tanque aeração com escova Kessener	48	-	180	81-95	Água residuária pré-tratada por decantação
-	-	Tanque único mistura completa	20 12 8 4 2	5600 4800 6000 6300 7300	740 740 710 680 860	98 97 91 87 74	Unidade experimental usando leite desnatado diluído <u>co</u> <u>mo</u> influente
Engarrafamento	250	Tanque único, mistura completa	14	-	550	90	Unidade residuária pré-tra- tada em tanque de balancea- mento aerado
Engarrafamento	38	Tanque único, mistura completa	24	-	520	98	como acima
Engarrafamento	206	Tanque único, mistura completa	Período I, 49 Período II, 50	- -	830 620	98 64	No período II, houve grande formação de sólidos com <u>con</u> <u>sequente</u> descarga no efluen- <u>te</u>
-	-	Aeração e zonas de sedimentação num único tanque	20 15,5 6 5,2	2160 6140 3120 2200	810 500 480 620	90 69 80 24	Unidade experimental usando leite desnatado diluído <u>co</u> <u>mo</u> influente

Tab. 2.26 - Continuação

Processo ou Produto	Volume de Resíduos (m <sup>3</sup> /dia)	Tipo de unidade de aeração etc.	Período de Retenção na unidade de aeração (h)	Sólidos suspensos no tanque de aeração (mg/l)	DBO (média)		Observações
					Influyente (mg/l)	Remoção (%)	
-	-	"Fill and Draw"	23 (aeração) 3/4 (decantação) 1/4 (drenagem)	1600-4900	528	88-98	como acima
Engarrafamento, queijo, leite em pó	31	"Fill and Draw"	19 (aeração) 1 (decantação) 1 1/2 (drenagem) 2 1/2 (rearação do lodo)	-	950	90	Água residual adicionada durante as primeiras 6 ho- ras de aeração
Queijo	96	2 tanques em série. Mistu- ra completa, sem decanta- ção interme- diária	21	5000-6000	940	99	Água residual pré-tratada em tanque de balanceamento aerado
Queijo	30	como acima	15	-	1310	95-99	0,4 - 0,8 m <sup>3</sup> de lodo removi- dos diariamente
Engarrafamento	23 14	como acima	4 34	- -	930 570	97 90	Água residual pré-tratada em tanque de balanceamento aerado
-	-	2 tanques, mis- tura completa, com decantação intermediária	19 estágio, 2 29 estágio, 4 Total, 6	7300 3900 -	860 230 860	74 85 96	Unidade experimental usando leite desnatado diluído co- mo influente

Tab. 2.26 - Continuação

Processo ou Produto	Volume de Resíduos (m <sup>3</sup> /dia)	Tipo de Unidade de aeração etc.	Período de Retenção na Unidade de Aeração (h)	Sólidos Suspensos no Tanque de Aeração (mg/l)	DBO (média)		Observações
					Influyente (mg/l)	Remoção (%)	
Engarrafamento	70	Valo de oxidação, usado também para decantação	103 (excluindo os períodos de decantação)	-	750	-	Controle automático da decantação e da descarga do efluente, baseado na vazão da água residuária
Engarrafamento	40	como acima	120 (excluindo os períodos de decantação)	-	875	98	Controle manual de decantação e descarga do efluente
-	-	Valo de oxidação	27 40	4700 9200	211 224	98 97	Unidade experimental usando leite desnatado como influente. Lodo em excesso não foi produzido no 1º ano de operação
Leite em pó, Leite condensado	-	Unidade Experimental de Estabilização por Contato, Tanque de Reaeração com 2X a Capacidade do Tanque de aeração	Período I, 1,6 Período II, 1,7 Período III, 1,7	8970 7700 10670	1440 3000 3000	69 63 68	Nos períodos I e II, a vazão do influente era variada para simular os padrões normais de descarga. O lodo apresentou boas características de sedimentação durante todo o experimento
Leite em pó, Leite condensado	-	como acima	Período I, 4,8 Período II, 1,6 Período III, 1,6	- - -	~1500 - ~1500	- - ~65	Nos períodos I e III, água residuária adicionada continuamente. Durante o período II, água residuária foi adicionada por 8 horas diariamente. Lodo com boas características de sedimentação só foi produzido no período III

gada no tratamento de despejos de laticínios.

Segundo a EPA [9] os melhores sistemas trabalham com períodos de aeração de 15-30 horas, o que sugere o uso do processo de aeração prolongada. Tal processo oferece vantagens como: dispensa do decantador primário, a estabilização do lodo, parcial ou completa, no tanque de aeração (ao mesmo tempo em que se trata o despejo), redução do volume do lodo a ser disposto e remoções de DBO da ordem de 85 a 90%.

A Tabela 2.2.6 mostra detalhes de operação e desempenho de algumas estações de tratamento de resíduos de indústrias de leite atuando com o sistema de lodos ativados [17].

#### 2.7.7. Outros Métodos

Outros métodos ainda usados, embora não usualmente, são: tratamento químico, eletrodialise, osmose reversa. Destes, o tratamento químico (coagulação) é o mais comum. Os coagulantes mais usados são os sais de alumínio e de ferro. Para subsequente remoção dos sólidos emprega-se usualmente a decantação. Muitos autores consideram apenas como um tratamento parcial porque a fração solúvel dos materiais poluidores não é removido.

SOUTHGATE [4] mostra em seu trabalho reduções de DBO entre 54 e 76% usando esse tipo de tratamento.

O elevado custo destes tratamentos e o lodo para disposição são fatores desencorajadores para seu emprego.

## 2.8. O Processo de Lodos Ativados

### 2.8.1. Considerações Gerais

De todos os processos biológicos de tratamento, provavelmente o processo de lodos ativados é o que mais se tem aplicado ao tratamento de efluentes industriais.

O sistema de lodos ativados é constituído basicamente de um tanque de aeração onde são formados flocos biológicos resultantes do desenvolvimento e aglomeração de microorganismos. Esses flocos são insolúveis e exercem demanda de oxigênio. Além do tanque de aeração, existe um decantador onde são removidos os flocos biológicos de seu efluente. A esses flocos biológicos dá-se o nome de lodos ativados. Parte dos flocos biológicos retorna ao tanque de aeração através de bombeamento. O lodo de retorno, assim chamado, mistura-se com o afluente do tanque de aeração, que pode ser efluente de decantador, formando-se o "liquor". É fundamental que essa mistura seja bastante uniforme.

O lodo de retorno é um excelente acelerador do processo de estabilização da matéria orgânica, pois, além de ser um inoculador ao afluente do tanque de aeração, é portador de alta capacidade de depuração.

O floco biológico que se forma no tanque de aeração é constituído, geralmente, de bactérias, fungos, protozoários, algas e rotíferos.

Quando o sistema entra em equilíbrio, também chamado de

estado estacionário ou regime permanente, o substrato do efluente do decantador secundário medido em termos de DBO ou DQO se mantém constante.

Retira-se do sistema o excesso de lodo produzido de modo a se manter determinado teor de sólidos voláteis em suspensão no tanque de aeração (SVSTA). O lodo retirado do sistema é encaminhado para os digestores ou leitos de secagem ou outro sistema de tratamento e disposição do lodo.

### 2.8.2. O Processo Convencional e Suas Variantes

Os principais sistemas de lodos ativados são: convencional, aeração escalonada, aeração derivada, aeração prolongada, mistura completa e estabilização por contacto.

O sistema convencional constitui-se de um tanque de aeração e um decantador secundário. O lodo de retorno é misturado com o afluente ao tanque de aeração na extremidade inicial deste. Por esse motivo, a taxa de utilização de oxigênio é muito grande na extremidade inicial do tanque de aeração e vai decrescendo até atingir a outra extremidade onde se aproximará bastante do nível correspondente à respiração endógena. Portanto o espaçamento dos aeradores não pode ser constante. Variações bruscas na carga afluente podem causar sérios problemas ao tanque de aeração. O período de aeração varia de 3 a 8 horas, podendo ser maior para águas residuárias de alguns tipos de indústrias. A razão de recirculação do lodo está compreendida entre 25 e 50%.

Mostra-se na Fig. 2.8.1 o esquema do processo convencional de lodos ativados.



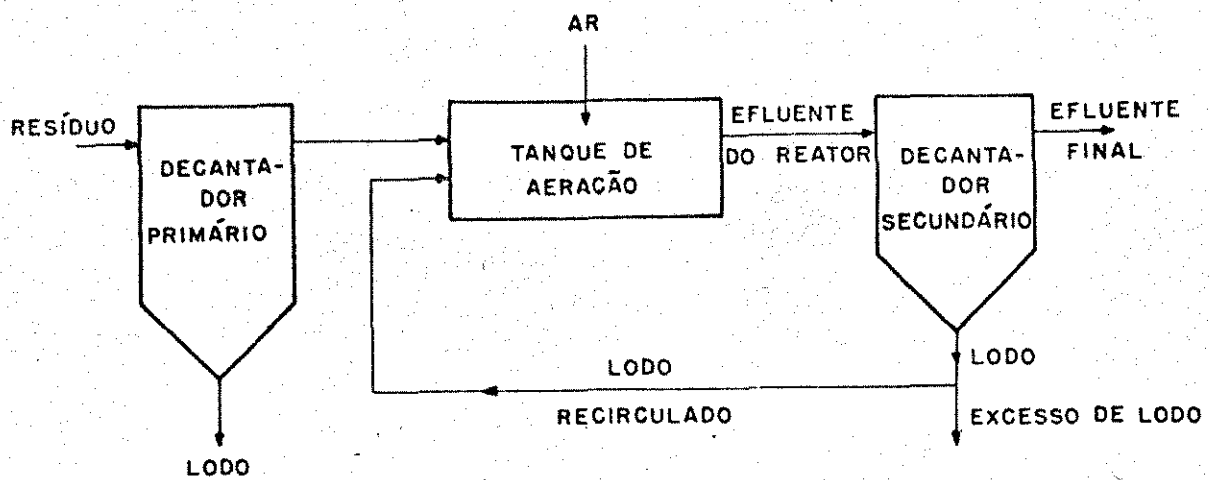


Fig. 2.8.1 - Esquema do Processo Convencional de Lodos Ativados

A variante chamada de aeração escalonada é uma modificação do processo convencional, na qual o afluente ao tanque de aeração é distribuído em pelo menos 3 pontos distintos e igualmente espaçados no tanque de aeração. Deste modo, garante-se uma distribuição uniforme da relação alimento/microorganismos em toda a extensão do tanque, que fica dividido em câmaras em sêrie. Uma grande vantagem é o baixo teor de sólidos voláteis suspensos na extremidade final do tanque de aeração. Pode-se conseguir períodos de aeração relativamente curtos, mesmo que a carga do afluente seja elevada.

O período de aeração está normalmente compreendido entre 3 e 7 horas, podendo em alguns casos ultrapassar esse valor. A Razão de recirculação do lodo varia de 25 a 50%.

Na Fig. 2.8.2 é mostrado o esquema da variante aeração escalonada.

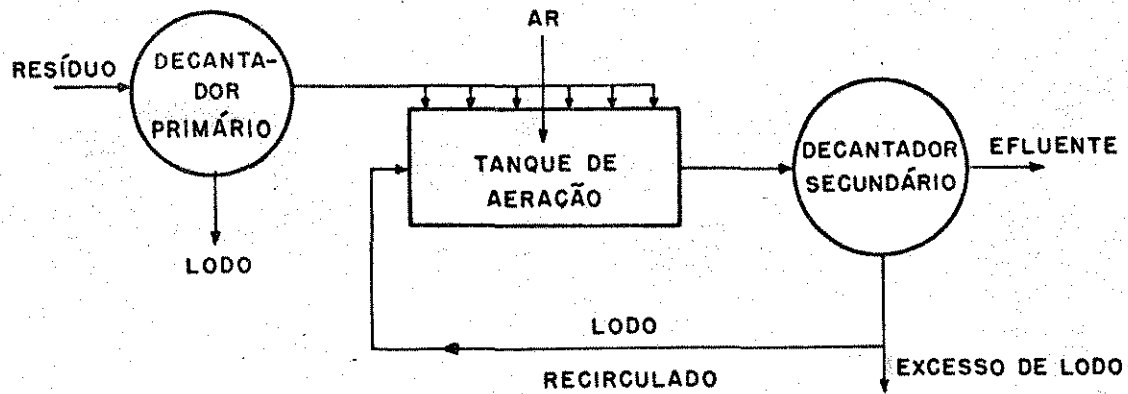


Fig. 2.8.2 - Esquema da Variante Aeração Escalonada do Processo de Lodos Ativados

No processo denominado aeração derivada tenta-se equiparar a demanda de oxigênio com a quantidade de ar injetada, ao longo de todo o tanque de aeração. O tanque de aeração deve ser retangular e deve funcionar como um reator tipo fluxo pistonar ou tubular. Na extremidade inicial do reator, os aeradores são menos espaçados que na extremidade oposta. O período de aeração é cerca de 3 a 8 horas. Recircula-se de 25 a 50% do lodo sedimentado no decantador secundário.

Mostra-se na Fig. 2.8.3 o esquema de um sistema de lodos ativados do tipo aeração derivada.

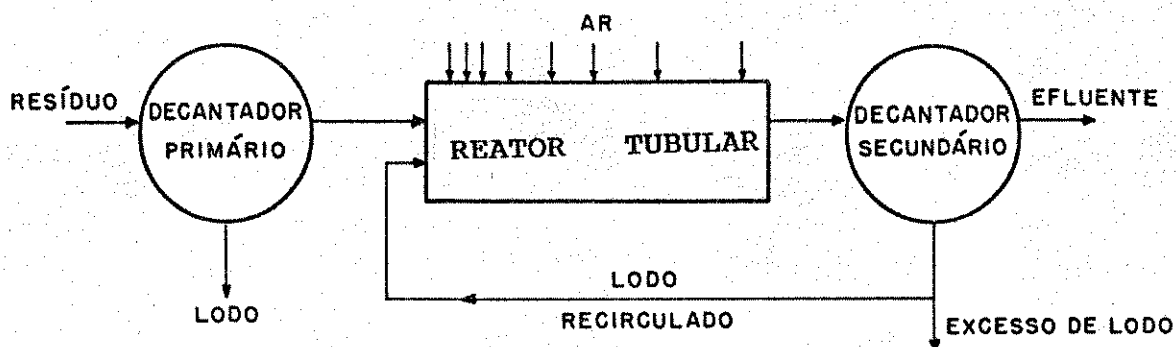


Fig. 2.8.3 - Esquema de um Sistema de Lodos Ativados do Tipo Aeração Derivada

A aeração prolongada é caracterizada por elevados valores da idade do lodo e pela presença de oxigênio em excesso no tanque de aeração. Para que se obtenha o resultado desejado é necessário que se aumente o tempo de aeração. Deste modo, todo o lodo biodegradável que se forma é destruído pela respiração endógena. Estima-se entre 1 ou 2 dias o tempo de aeração necessário para a oxidação biológica dos sólidos produzidos por síntese devido à remoção do substrato. Recircula-se até a totalidade do lodo sedimentado no decantador secundário. A grande vantagem dessa variante consiste no reduzido volume de lodo a ser disposto em leitos de secagem. O valo de oxidação é um exemplo de aeração prolongada.

Apresenta-se na Fig. 2.8.4 o esquema genérico da variante aeração prolongada.

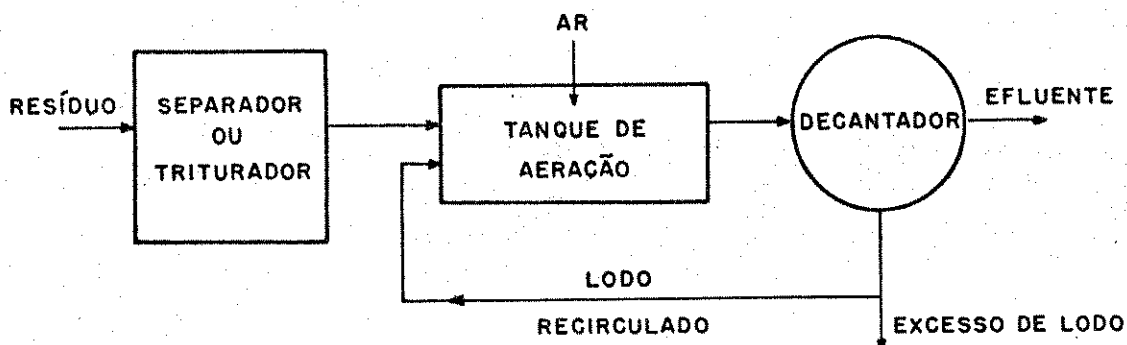


Fig. 2.8.4 - Esquema da Variante Aeração Prolongada do Processo de Lodos Ativos

No sistema de mistura completa o lodo recirculado e o efluente do tanque de aeração são misturados e conduzidos a um canal central do tanque de aeração, de onde é feita a distribuição uniforme do "liquor" por toda a extensão do tanque. O efluente do tanque de aeração é coletado lateralmente e daí conduzido ao decantador secundário. Essa variante é a mais recomendada no tratamento de resíduos industriais, pois resiste razoavelmente bem a grandes variações da carga afluente. O período de aeração está normalmente compreendido entre 3 e 6 horas, podendo em alguns casos ultrapassar esse tempo. A razão de recirculação do lodo é de 100%.

A Fig. 2.8.5 mostra um esquema da variante mistura completa.

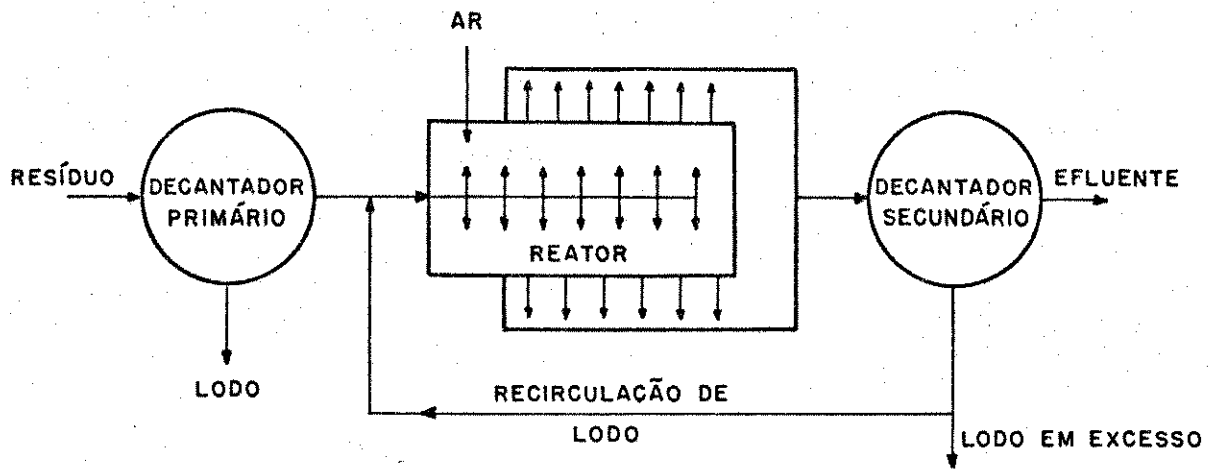


Fig. 2.8.5 - Esquema da Variante de Mistura Completa do Processo de Lodos Ativados

O processo de estabilização por contacto surgiu de observações realizadas no sistema convencional, onde a maior parte da matéria orgânica dissolvida era removida após curtos períodos de aeração. O processo consiste em se misturar o afluente do tanque de aeração com o lodo já estabilizado. Essa mistura é aerada em um tanque de contacto, durante cerca de 20 a 40 minutos, onde boa parte do substrato afluente é removida por adsorção biológica. O efluente do tanque de contacto é conduzido ao decantador. O lodo decantado é recirculado à razão de 40 a 100%. O período de retenção no tanque de aeração é de 3 a 8 horas. Em relação ao sistema convencional, esse processo é cerca de três vezes mais econômico relativamente aos volumes dos tanques de estabilização.

Mostra-se na Fig. 2.8.6 o esquema da variante estabilização por contacto.

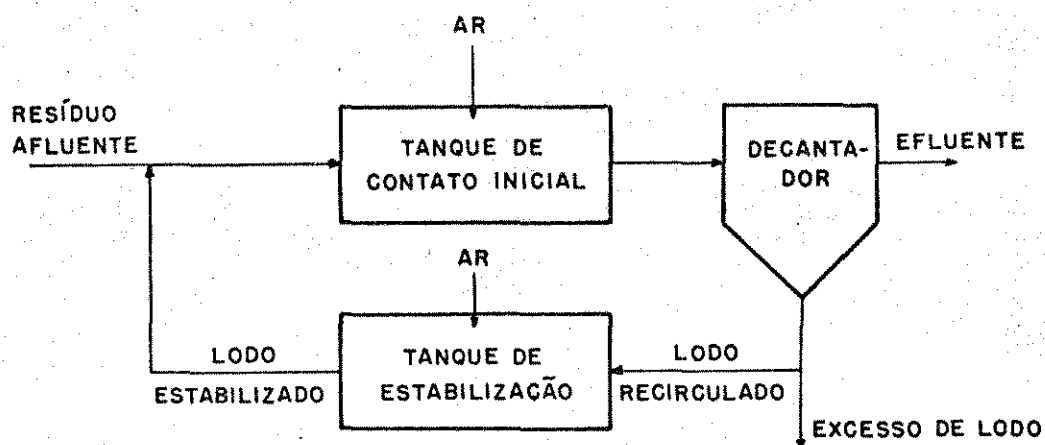


Fig. 2.8.6 - Esquema da Variante Estabilização por Contacto do Processo de Lodos Ativados

### 2.8.3. Cinética do Crescimento Biológico

A teoria cinética do crescimento biológico é fundamentada nos seguintes princípios:

- a. A massa do lodo biológico formada por síntese é proporcional à massa de substrato utilizado;
- b. A taxa de utilização do substrato é proporcional à massa de microorganismos e é função da concentração do substrato ao redor dos microorganismos;
- c. A taxa de destruição de células pela respiração endógena é proporcional à massa biológica presente.

Sejam:

$$\frac{dS'}{dt} = K(S') \cdot X_a \quad (2.2)$$

$K(S')$  é dado por MONOD, (31), (32) conforme a eq. (2.3)

$$K(S') = \frac{K_m \cdot S'}{K_s + S'} \quad (2.3)$$

onde:

$K_m$ : máximo coeficiente de utilização do substrato  $S'$ , quando  $S'$  é muito grande.

$K_s$ : concentração do substrato na qual  $K(S') = 0,5 K_m$

Levando-se o valor de  $K(S')$  obtido em (2.3) até a eq. (2.2), vem:

$$\frac{dS'}{dt} = \frac{K_m \cdot S'}{K_s + S'} \cdot X_a \quad (2.4)$$

Levando-se o valor de  $dS'/dt$  obtido em (2.4) até a eq. (2.1), tem-se:

$$\frac{dX_1}{dt} = \frac{a \cdot K_m \cdot S'}{K_s + S'} \cdot X_a \quad (2.5)$$

Na eq. (2.3), se  $S'$  for muito maior que  $K_s$ , resulta que:

$$K(S') = K_m \quad (2.6)$$

A conclusão a que se chega com a eq. (2.6) não tem apli

cação prática nos sistemas com tanque de aeração tipo perfeitamente agitado, pois o objetivo desses sistemas é reduzir-se ao máximo o valor de  $S'$ .

Se na eq. (2.3) o valor  $S'$  for muito menor que o de  $K_s$ , resulta que:

$$K(S') = \frac{K_m}{K_s} \cdot S' = k S' \quad (2.7)$$

Levando-se o valor de  $K(S')$  obtido em (2.7) até a eq. (2.2), tem-se:

$$\frac{dS'}{dt} = k \cdot S' \cdot X_a \quad (2.8)$$

Com o valor de  $K(S')$  da eq. (2.7) levado à eq. (2.5), tem-se:

$$\frac{dX_1}{dt} = a \cdot k \cdot S' \cdot X_a \quad (2.9)$$

De acordo com o terceiro princípio, escreve-se:

$$\frac{dX_2}{dt} = b \cdot X_a \quad (2.10)$$

Sabe-se que a taxa líquida de crescimento da massa de microorganismos é igual à taxa de síntese menos a taxa de massa celular destruída pela respiração endógena, ou seja:



$$\frac{dX_a}{dt} = \frac{dX_1}{dt} - \frac{dX_2}{dt} \quad (2.11)$$

Levando-se a eq. (2.9) e a eq. (2.10) à eq. (2.11), vem:

$$\frac{dX_a}{dt} = a \cdot k \cdot S' \cdot X_a - bX_a = (a \cdot k \cdot S' - b)X_a$$

#### 2.8.4. Modelos Matemáticos

Seja o sistema contínuo perfeitamente agitado ( $S_e=S$ ) mostrado na Fig. 2.8.7

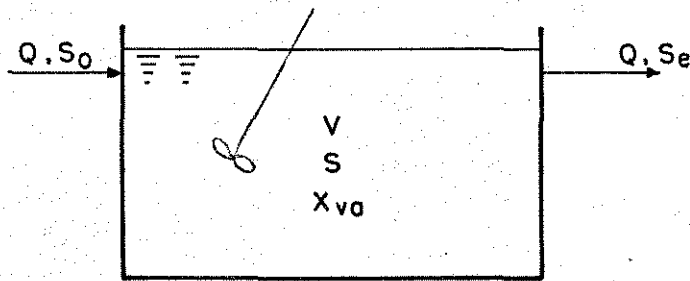


Fig. 2.8.7 - Esquema simplificado de um sistema contínuo perfeitamente agitado.

e sejam:

V: volume do tanque de aeração, em m<sup>3</sup>

Q: vazão do resíduo afluente, em m<sup>3</sup>/dia

S<sub>0</sub>: concentração do substrato afluente, em mg/L.

$S_e$ : concentração do substrato efluente, em mg/L

$X_{va}$ : concentração de sólidos voláteis em suspensão no tanque de aeração, em mg/L

$S$ : concentração do substrato remanescente no tanque de aeração num tempo  $t$ , em mg/L

Admitindo-se que a taxa de remoção do substrato seja proporcional ao substrato remanescente, depois de atingido o estado estacionário, tem-se:

$$\frac{dS}{dt} = -K \cdot S$$

onde:

$K$ : coeficiente de desoxigenação em  $(\text{dia})^{-1}$

$\frac{dS}{dt}$ : taxa de remoção de substrato, em mg/L.dia

Pode-se exprimir  $dS/dt$  em função da concentração de sólidos voláteis em suspensão no tanque de aeração, ou seja:

$$\frac{dS}{dt} \cdot \frac{1}{X_{va}} = -kS$$

ou

$$\frac{dS}{dt} = -k \cdot X_{va} \cdot S \quad (2.12)$$

Tem-se que:

$$K = k \cdot X_{va} ,$$

e  $k$  = constante de remoção do substrato

O substrato pode ser expresso, por exemplo, em termos de DQO, DBO (5 dias, 20°C), DTO, etc.

Costuma-se expressar o substrato em termos de DQO ou DBO (5 dias, 20°C) e nestes casos  $k$  é a constante de remoção de DQO ou DBO, em (L/mg.dia) .

Como o sistema mostrado na Fig. 2.8.7 é contínuo e perfeitamente agitado, para um tempo  $t$  igual ao tempo de retenção no tanque de aeração,  $S$  torna-se  $S_e$  e a eq. (2.12) pode ser reescrita:

$$\frac{dS}{dt} = -k \cdot X_{va} \cdot S_e$$

Da Fig. 2.8.7 deduz-se que a taxa de variação do substrato,  $A$ , no reator, é igual a taxa de alimentação do substrato,  $B$ , devido ao esgoto afluente, menos a taxa de retirada do substrato,  $C$ , devido ao efluente do tanque de aeração, menos a taxa de redução do substrato  $D$  devido à reação.

Tem-se então:

$$A = B - C - D \quad (2.13)$$

Quando se atinge o estado estacionário a concentração do substrato no reator permanece constante, ou seja:

$$A = 0$$

A eq. (2.13) torna-se:

$$B - C - D = 0 \quad (2.14)$$

mas

$$B = Q \cdot S_o \quad (2.15)$$

$$C = Q \cdot S_e \quad (2.16)$$

$$D = k \cdot X_{va} \cdot S_e \cdot V \quad (2.17)$$

Levando-se as eqs.(2.15), (2.16) e (2.17) à eq.(2.14) ,

tem-se:

$$Q S_o - Q S_e - (k \cdot X_{va} \cdot S_e) V = 0$$

ou

$$Q(S_o - S_e) - k \cdot X_{va} \cdot S_e \cdot V = 0$$

ou

$$\frac{Q}{V} (S_o - S_e) = k \cdot X_{va} \cdot S_e$$

mas,

$$t = V/Q = \text{tempo de detenção no reator}$$

então, tem-se:

$$\frac{(S_o - S_e)}{X_{va} \cdot t} = k \cdot S_e \quad (2.18)$$

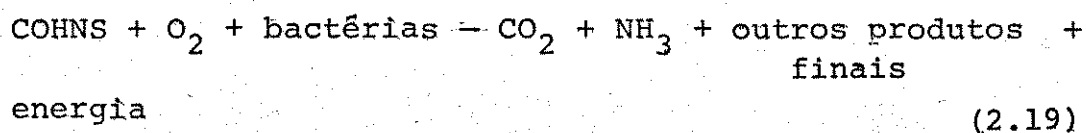
#### 2.8.5. Mecanismo da Decomposição Aeróbia

A decomposição aeróbia de resíduos orgânicos é função

da natureza dos seus substratos. Num sistema de lodos ativados a remoção do substrato decorre de reações de síntese e de oxidação da matéria orgânica desse substrato.

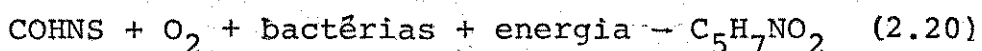
Segundo METCALF & EDDY (26) uma parte da matéria orgânica é oxidada a produtos finais. Esse processo é realizado para se obter a energia necessária para a síntese de novas células. Es tequiometricamente esses processos podem ser representados pelas equações (2.19) e (2.20).

Oxidação ( processo dissimilatório)



Parte do substrato é então utilizado para síntese de novas células.

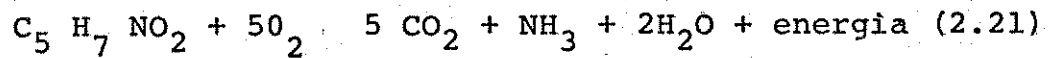
Síntese ( processo assimilatório)



Nessas equações a fórmula COHNS representa a matéria orgânica na água residuária. A formula  $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ , que representa as células de novas bactérias, foi obtida de estudos experimentais levados a efeito por HOOVER e PORGES (20) em 1952.

Quando o sistema não dispõe mais de alimento, isto é , de matéria orgânica, as bactérias se auto-oxidam a produtos finais gasosos e a um resíduo não biodegradável para obtenção de energia necessária à sua manutenção. É o que se chama de respiração endógena e está representada na reação (2.21).

Respiração Endógena (auto-oxidação).



Segundo ainda METCALF & EDDY (26), apesar da reação de respiração endógena estar mostrando como resultado produtos finais relativamente simples e energia, na verdade também e são formados produtos orgânicos estáveis.

No processo de lodos ativados esses três processos ocorrem simultaneamente.

Deve-se notar que para a quase totalidade dos resíduos industriais não é possível o estabelecimento de equações ou reações que representam a matéria orgânica presente no substrato. Por esse motivo, as equações de síntese e de oxidação da matéria orgânica de tais resíduos são absolutamente desconhecidas.

A oxidação da matéria orgânica define o parâmetro bioquímico  $a'$ . A síntese de novas células define os parâmetros bioquímicos  $a$  e  $\bar{a}$ . A respiração endógena define os parâmetros  $b$  e  $b'$ .

Mostra-se na Fig. 2.8.8 o esquema com o mecanismo da decomposição aeróbia, segundo ECKENFELDER (11).

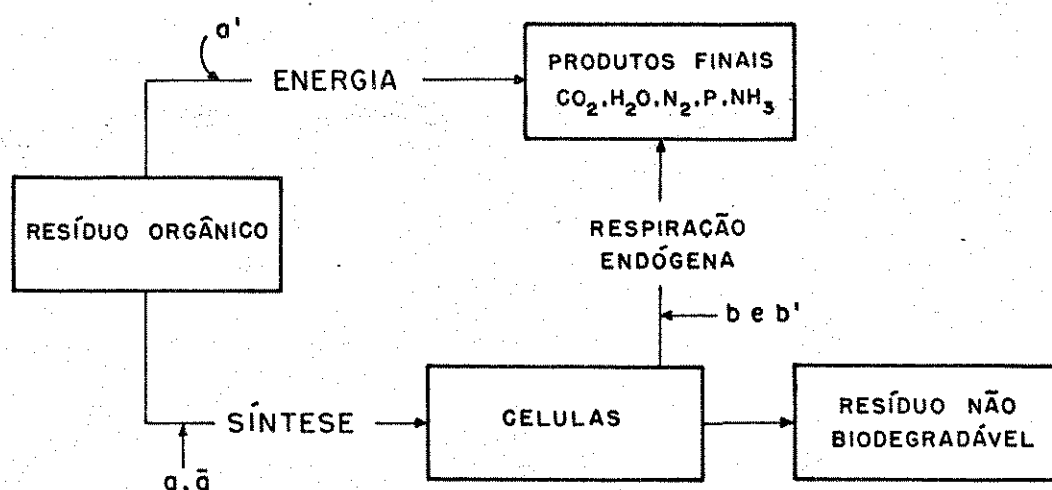


Fig. 2.8.8 - Esquema do mecanismo da decomposição aeróbia

Fonte: ECKENFELDER (11).

### 2.8.6. Parâmetros Bioquímicos

Os parâmetros bioquímicos são:  $k$ ,  $a$ ,  $a'$ ,  $b$ ,  $b'$  e  $\bar{a}$ .

- a. parâmetro  $k$  - é a constante de remoção de substrato, expresso em termos de DBO, DQO, etc. Está definido na equação (2.18). Exprime-se geralmente em (L/mg dia).
- b. parâmetro  $a$  - é o coeficiente de síntese celular. É definido por:

$$a = \frac{\text{Kg de SVSTA produzido /dia}}{\text{kg substrato total removido/dia}} \quad (2.22)$$

onde: SVSTA = sólidos voláteis em suspensão no tanque de aeração.

- c. parâmetro  $b$  - é o coeficiente de decaimento da massa celular devido a respiração endógena. É expresso por:

$$b = \frac{\text{Kg de SVSTA oxidado/dia}}{\text{Kg de SVSTA}} \quad (2.23)$$

- d. parâmetro  $a'$  - coeficiente de oxigênio necessário à remoção do substrato que é oxidado. É definido por:

$$a' = \frac{\text{Kg substrato removido utilizado para energia}}{\text{Kg substrato total removido}}$$

ou

$$a' = \frac{\text{Kg de oxigênio/dia}}{\text{Kg substrato total removido/dia}} \quad (2.24)$$



e. parâmetro  $b'$  - coeficiente de oxigênio necessário à res  
piração endógena. É expresso por:

$$b' = \frac{\text{Kg de oxigênio/dia}}{\text{Kg SVSTA}} \quad (2.25)$$

f. parâmetro  $\bar{a}$  - é definido como sendo a fração do substra  
to removido que é utilizado para síntese de novas célu  
las, ou seja:

$$\bar{a} = \frac{\text{Kg de substrato removido utilizado para síntese}}{\text{Kg de substrato total removido}} \quad (2.26)$$

Examinando-se as eqs.(2.24) e (2.26), vê-se de imediato que a soma dos parâmetros  $a'$  e  $\bar{a}$  deve ser igual à unidade, pois cada um dos parâmetros encerra uma fração do total do substrato que é oxidado. Tem-se então:

$$\bar{a} + a' = 1 \quad (2.27)$$

Segundo HESPANHOL (19), demonstra-se estequiometricamente que os parâmetros  $b$  e  $b'$  estão relacionados como mostrado em (2.28):

$$b' = 1,42 b \quad (2.28)$$

### 2.8.7. Determinação do Oxigênio Requerido do Processo de Lodos Ativados

O oxigênio que é injetado no tanque de aeração é utilizado para a obtenção de energia e para a respiração endógena.

#### a. Oxigênio para a obtenção de energia

Da eq. (2.24), deduz-se:

$$\text{Kg } O_2/\text{dia} = a' \cdot \text{Kg substrato removido}/\text{dia}$$

ou

$$\text{Kg } O_2/\text{dia} = a' (S_o - S_e)Q \quad (2.29)$$

#### b. Oxigênio utilizado na respiração endógena

Da eq. (2.25), vem:

$$\text{Kg } O_2/\text{dia} = b' \cdot \text{Kg SVSTA}$$

ou

$$\text{Kg } O_2/\text{dia} = b' \cdot X_{va} \cdot V \quad (2.30)$$

A quantidade total de oxigênio requerido no tanque de aeração é o somatório das eqs. (2.29) e (2.30), ou seja:

$$\text{Kg } O_2/\text{dia} = a' (S_o - S_e)Q + b' X_{va} \cdot V \quad (2.31)$$

Chamando de R a taxa de utilização de oxigênio por unidade de volume, a eq.(2.31) pode ser reescrita:

$$R.V = a'(S_o - S_e)Q + b' \cdot X_{va} \cdot V \quad (2.32)$$

#### 2.8.8. Determinação da Produção Líquida de Sólidos Voláteis em Suspensão no Tanque de Aeração

Sabe-se que parte do substrato removido é utilizado para a produção de SVSTA, ou seja, síntese de novas células, e a parte restante é oxidada pela respiração endógena. Tem-se então:

##### a. sólidos voláteis em suspensão no tanque de aeração produzidos por síntese

Da eq.(2.22) vem:

$$\text{Kg SVSTA produzido /dia} = a \cdot \text{Kg substrato removido/dia}$$

ou

$$\text{Kg SVSTA produzido /dia} = a(S_o - S_e)Q \quad (2.33)$$

##### b. sólidos voláteis em suspensão no tanque de aeração destruídos pela respiração endógena

Da eq.(2.23) vem:

$$\text{Kg SVSTA oxidado/dia} = b \cdot \text{Kg SVSTA}$$

ou

$$\text{Kg SVSTA oxidado/dia} = b \cdot X_{va} \cdot V \quad (2.34)$$

A produção líquida de sólidos voláteis em suspensão no tanque de aeração é dada pelo somatório das eqs. (2.33) e (2.34), esta última com sinal negativo.

$$\Delta X_v = a(S_o - S_e)Q - b X_{va} \cdot V \quad (2.35)$$

onde:

$\Delta X_v$  é a produção líquida de SVSTA/dia

#### 2.8.9. Determinação da Produção de Excesso de Lodo

Seja  $\Delta X_t$  a massa de sólidos totais do excesso de lodo. Obviamente, essa massa de sólidos totais é a soma das parcelas de sólidos voláteis e sólidos não voláteis presentes no excesso de lodo. Tem-se que:

$$\Delta X_t = \Delta X_v + \Delta X_{nv}$$

onde:

$\Delta X_{nv}$  é a massa de sólidos não voláteis presentes no excesso de lodo/dia

A Fig. 2.8.9. mostra um esquema do processo de lodos ativados com tanque de aeração perfeitamente agitado.

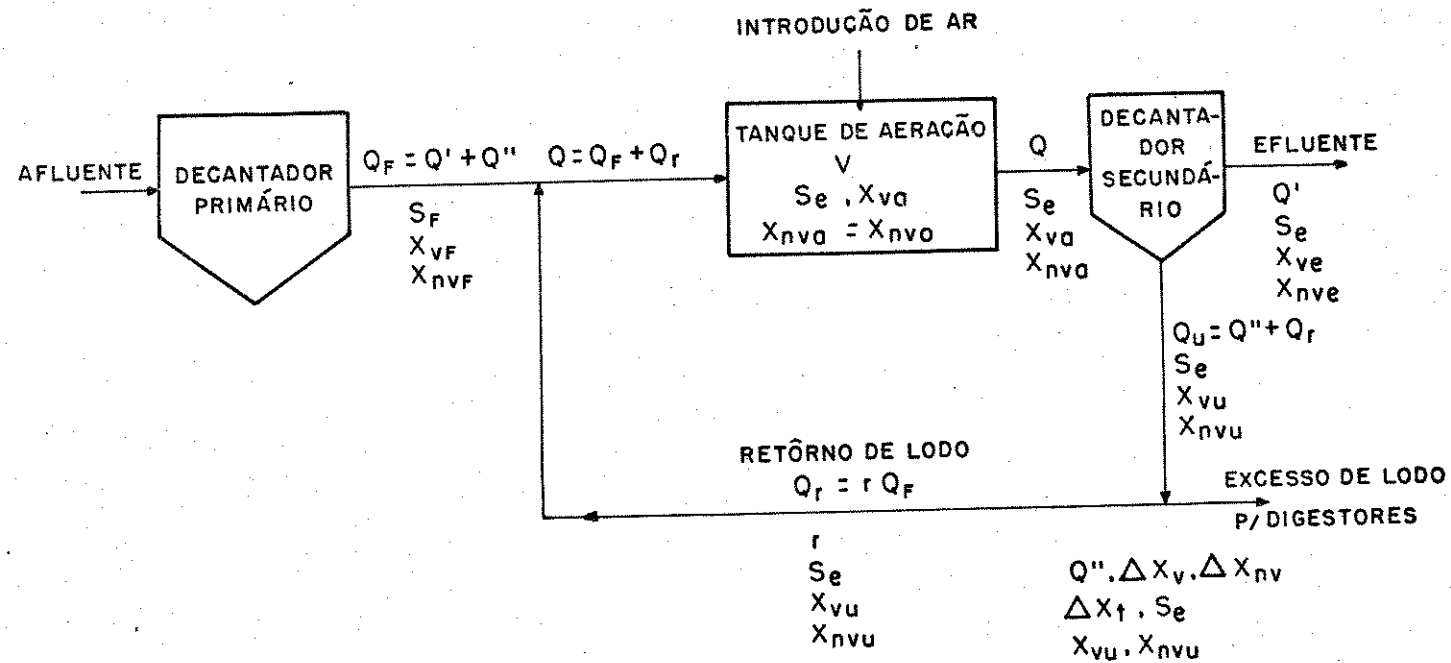


Figura 2.8.9 - Esquema do processo de lodos ativados com tanque de aeração perfeitamente agitado.

Observando-se a Fig. 2.8.9, vê-se que o efluente do decantador primário contém sólidos suspensos de natureza não biológica,  $X_{nv_F}$ . A concentração de sólidos suspensos não voláteis de pois que o efluente do decantador primário é misturado ao lodo de retorno é  $X_{nvo}$ . Chama-se  $X_{nvu}$  a concentração de sólidos suspensos não voláteis presentes no lodo de retorno. Também no efluente do tanque de aeração a concentração de sólidos suspensos não voláteis é  $X_{nvo}$ , pois o sistema é de mistura completa e consequentemente não há deposição de sólidos no tanque de aeração. Já no efluente do decantador secundário, a concentração de sólidos suspensos não voláteis é  $X_{nve}$ .

Com relação aos sólidos suspensos voláteis, deve-se levar em consideração que sua concentração no efluente do decantador primário é  $X_{v_F}$ . Por esse motivo, a eq.(2.35) deve ser reescrita:

$$\Delta X_v + Q_F \cdot X_{v_F} = a(S_o - S_e)Q - b \cdot X_{va} \cdot V + Q_F \cdot X_{v_F} \quad (2.36)$$

onde:

$Q_F$  é a vazão do efluente do decantador primário.

Fazendo-se o balanço de sólidos suspensos não voláteis no decantador secundário, tem-se:

$$Q_F \cdot X_{nv_F} = Q' \cdot X_{nve} + Q'' \cdot X_{nvu} \quad (2.37)$$

onde:

$Q'$  é a vazão do efluente do decantador secundário

$Q''$  é a vazão do excesso de lodo produzido no decantador secundário

A eq.(2.37) pode ser reescrita, lembrando-se que  $\Delta X_{nv}$  é o teor de sólidos não voláteis presentes no excesso de lodo. Tem-se, então:

$$Q_F \cdot X_{nv_F} = Q' \cdot X_{nve} + \Delta X_{nv} \quad (2.38)$$

Da Fig. 2.8.9 deduz-se que:

$$Q' = Q_F - Q'' \quad (2.39)$$

Levando-se a eq.(2.39) à eq.(2.38), vem:

$$\Delta X_{nv} = Q_F \cdot X_{nv_F} - (Q_F - Q'') X_{nve}$$

ou 
$$\Delta X_{nv} = Q_F (X_{nv_F} - X_{nve}) + Q'' X_{nve} \quad (2.40)$$

A quantidade total de lodo em excesso,  $\Delta X_t$ , é a soma das parcelas correspondentes às eqs.(2.36) e (2.40):

$$\begin{aligned} \Delta X_t = & a(S_o - S_e)Q - b \cdot X_{va} \cdot V + Q_F \cdot X_{VF} + Q_F (X_{nv_F} - X_{nve}) + \\ & + Q'' X_{nve} \end{aligned} \quad (2.41)$$

#### 2.8.10. Avaliação das Condições de Sedimentabilidade do Lodo

A relação alimento/microorganismo, chamada de F/M e o índice volumétrico de lodo, IVL, definem as condições ótimas de

sedimentabilidade do lodo no decantador secundário.

A relação F/M é definida por:

$$\frac{F}{M} = \frac{\text{substrato do afluyente (kg/dia)}}{\text{SVSTA (kg)}}$$

ou 
$$\frac{F}{M} = \frac{Q \cdot S_o}{X_{va} \cdot V}$$

ou 
$$\frac{F}{M} = \frac{S_o}{X_{va} \cdot t}$$

Alguns autores, tais como MARAIS [24] e METCALF & EDDY [26], consideram a relação F/M como sendo:

$$\frac{F}{M} = \frac{S_o - S_e}{X_{va} \cdot t}$$

O índice volumétrico de lodo é definido como sendo o volume em ml que é ocupado por um grama de lodo, após período de sedimentação de meia-hora. O índice volumétrico de lodo também é conhecido pelo nome de Índice de Mohlman.

$$\text{IVL} = \frac{\text{teor de lodo}}{X_{va}} \cdot 1000$$

onde o teor de lodo é o valor expresso em ml/ml quando se coloca um litro de lodo para sedimentar durante trinta minutos em cone Inhoff.



Valores de IVL entre 200 e 1000 ml/g indicam lodo intu mescido. Valores abaixo de 100 ml/g indicam lodo com boas condi ções de sedimentabilidade. Valores entre 100 e 200 mg/l indicam condições intermediárias. Deve-se levar em conta que a determina ção do IVL não é muito precisa e varia muito com a qualidade do substrato.

Em substituição ao índice volumétrico de lodo, pode-se empregar o VSZ, velocidade de sedimentação da zona de sedimenta ção ou ZSV ("Zone Settling Velocity"). Esse parâmetro é definido pela velocidade com que as partículas em suspensão se sedimentam. Numa proveta de 1000 ml é colocada a amostra. Em intervalos de tempo faz-se a leitura da sedimentação do lodo. Lança-se em gráfi co a altura da proveta contra o tempo das leituras e traça-se a curva. A tangente de maior inclinação a essa curva determina o va lor de ZSV, conforme mostra a Fig. 2.8.10.

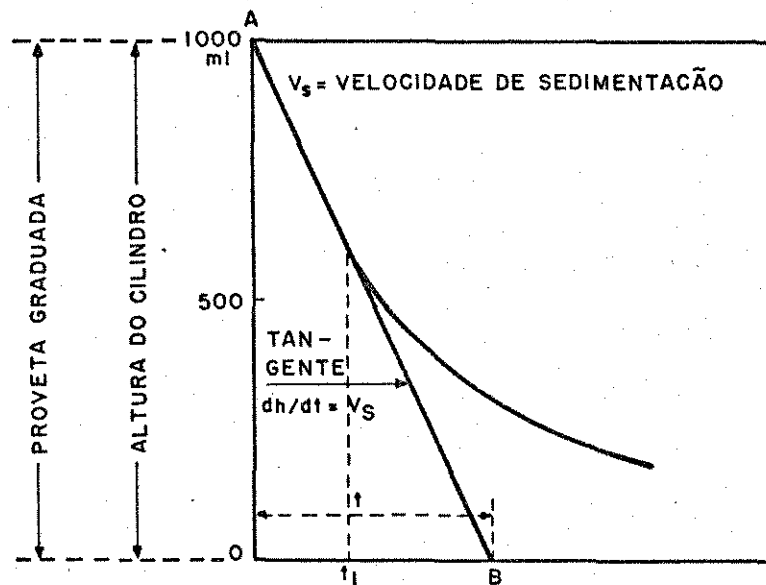


Fig. 2.8.10 - Determinação do valor de ZSV

A Fig. 2.8.11, segundo RAMALHO [36], indica a faixa de ótima decantação, correlacionando-se a relação F/M, com os valores de IVL e ZSV.

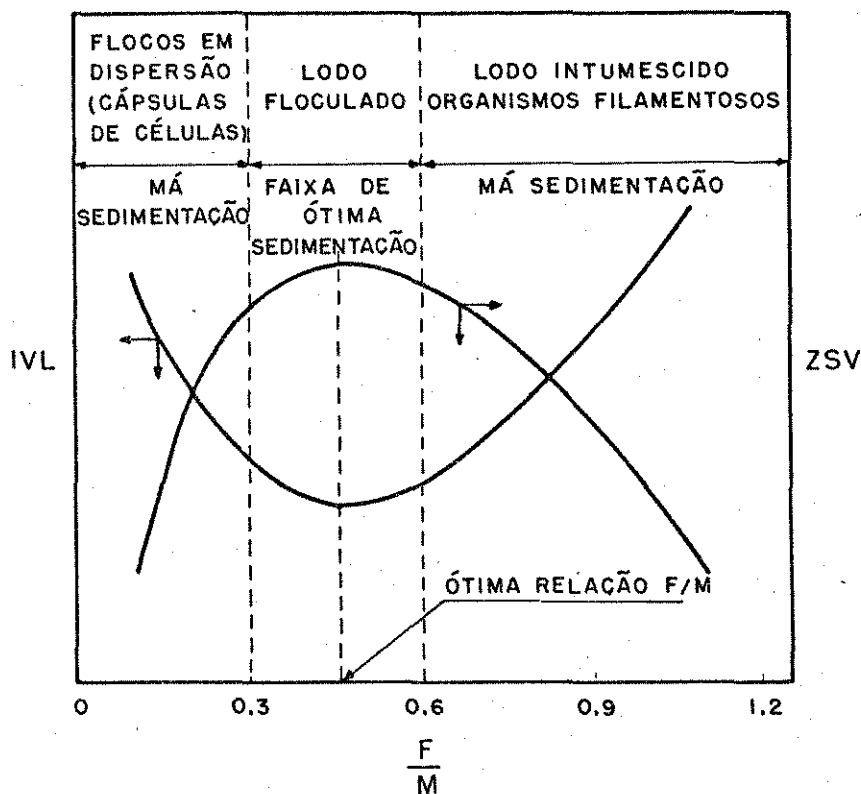


Fig. 2.8.11 - Relação entre F/M e os valores de IVL e ZSV

Fonte: RAMALHO [36]

Em relação à Fig. 2.8.11, para valores de F/M abaixo do valor 0,3 a sedimentação é deficiente, pois os microorganismos não têm alimento para sua manutenção. Ocorre o início da fase de predominância da respiração endógena que tem como resíduo resultante cápsulas de células que são razoavelmente leves. Os flocos, por esse motivo, não são removidos satisfatoriamente. Os valores de F/M acima de 0,6 indicam predominância de fungos filamentosos que fazem

com que o lodo tenha má sedimentação.

#### 2.8.11. Controle do Processo de Lodos Ativados

O controle do processo de lodos ativados pode ser efetuado de várias maneiras, sendo as que se seguem as mais utilizadas:

- a. Controle pelos sólidos voláteis em suspensão no tanque de aeração.

Fixa-se o teor de SVSTA e retira-se, diariamente, quantidades de lodo do tanque de aeração, de modo a manter o teor de SVSTA fixado. Esse tipo de controle tem a grande desvantagem de só se obter o valor dos SVSTA algumas horas após a retirada de amostra do lodo. Na maioria das vezes, quando se obtém o resultado as condições no tanque de aeração são diversas daquelas existentes à época da retirada da amostra do lodo.

- b. Controle pela idade do lodo

A idade do lodo é definida como sendo o tempo médio de detenção dos sólidos voláteis suspensos no tanque de aeração, ou a relação entre a quantidade de sólidos voláteis suspensos no tanque de aeração e a quantidade de sólidos voláteis produzidos diariamente, ou seja:

$$t_s = \frac{X_{va} \cdot V}{\Delta X_v} \quad (2.42)$$

onde:

ts é a idade do lodo.

O controle do processo pela idade do lodo é bem mais simples que o caso anterior. Consiste na retirada diária de certo volume de lodo, de modo a se manter determinada idade do lodo fixa da previamente. Com esse procedimento, ao ser atingido o regime permanente, o teor de sólidos voláteis em suspensão no tanque de aeração permanecerá constante. Esse tipo de controle é o que mais se tem empregado nas estações de lodos ativados.

#### 2.8.12. Dinâmica da População de Microorganismos

As condições ambientais no tanque de aeração e a natureza dos compostos orgânicos existentes na água residuária a ser estabilizada, determinam o gênero de bactéria ou a espécie de microorganismo que predominará. Na competição pelo substrato, predominam os organismos que estabilizam a matéria orgânica com maior produção de energia.

As bactérias são vegetais simples e são fundamentais na estabilização da matéria orgânica. Podem ser autótrofas ou heterótrofas, sendo que as heterótrofas aeróbias e facultativas interessam ao processo de lodos ativados. As bactérias se alimentam de matéria orgânica solúvel.

Os fungos são vegetais microscópicos que não realizam a

fotossíntese. Estão presentes em meios ricos em carboidratos, quando o pH é baixo, quando é baixo o teor de oxigênio no tanque de aeração ou há deficiência de nutrientes.

Os protozoários pertencem ao grupo de animais e são seres unicelulares. Contribuem apenas indiretamente para a degradação da matéria orgânica. Vivem em função das bactérias. Se o meio tiver grande população de bactérias livre-natantes, haverá predominância dos protozoários ciliados livre-natantes. À proporção que as bactérias livre-natantes desaparecem, os ciliados livre-natantes são substituídos por ciliados pedunculares. Os protozoários alimentam-se de matéria orgânica suspensa e de bactérias livre-natantes.

Os rotíferos só existem quando há a oxidação total da matéria orgânica e, por isso mesmo, funcionam como verdadeiros indicadores do grau de estabilização de um sistema de lodos ativados. Alimentam-se de bactérias e de fragmentos de flocos.

Mostra-se na Fig. 2.8.12 a relação entre a taxa de metabolismo e a relação F/M, em um sistema de lodos ativados.

O processo de degradação de matéria orgânica inicia-se após a adaptação dos microorganismos. No início do processo, o meio possui alta relação alimento/microorganismo, o que faz com que as bactérias e os protozoários se reproduzam rapidamente, o que caracteriza a fase de crescimento logarítmico. Com o passar do tempo, começa a diminuir a quantidade de matéria orgânica disponível, atingindo-se deste modo a fase de declínio, onde o crescimento dos microorganismos é diretamente proporcional à quantidade

de matéria orgânica ainda disponível. No início da fase de declínio a relação F/M atinge valor crítico, entre 2,1 e 2,5. A relação F/M cai a valores bem inferiores à 2,1 e, como é baixo o nível energético do sistema, as bactérias permanecem juntas pela ação das forças de Van der Waals. Ao se atingir o valor mínimo de F/M, inicia-se a fase de respiração endógena, onde as bactérias se alimentam de bactérias. Na bactéria que morre, sua enzima intracelular dissolve a parede da célula e serve de alimento às bactérias ainda vivas. Prosseguindo-se a aeração, só os protozoários ciliados pedunculares permanecem. Inicia-se então a proliferação de rotíferos.

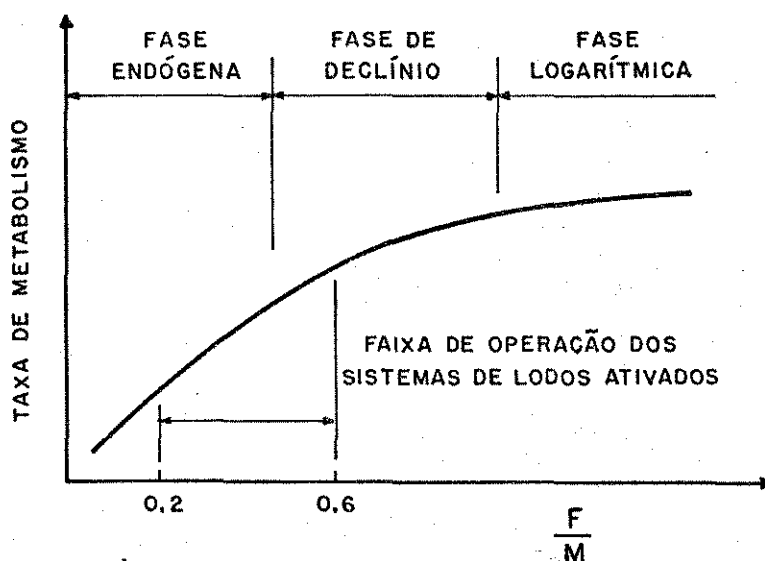


Fig. 2.8.12 - Taxa de metabolismo em função da relação F/M

Fonte: BERNARDO [4]

Vários são os fatores intervenientes no crescimento de microorganismos. Os mais importantes são: a temperatura, o oxigênio

nio disponível, os nutrientes e o pH.

A temperatura é importante na medida que ela varia, pois sabe-se que a um aumento de temperatura corresponde um aumento na atividade biológica. Entre 5 e 35°C, um aumento de temperatura de 10°C acarreta a duplicação da atividade biológica.

O teor de oxigênio dissolvido no tanque de aeração deve ser tal que o mesmo não se torne fator limitante ao crescimento de microorganismos, nem crie zonas anaeróbias. BALMER e outros [3] sugerem que o teor de oxigênio dissolvido esteja compreendido entre 1 e 5 mg/l. FORD [18] afirma que o teor de oxigênio dissolvido no tanque de aeração deve ser de 2 mg/l. Para ECKENFELDER [12], o teor mínimo de oxigênio dissolvido deve ser de 1 mg/l.

Os microorganismos necessitam de certos teores de nutrientes para a formação do protoplasma. O fósforo e o nitrogênio são os nutrientes requeridos em maior quantidade. Outros nutrientes são requeridos em quantidades menores, como por exemplo: cálcio, ferro, magnésio, molibdênio e potássio.

Os teores de nitrogênio e fósforo estão associados a valores de DBO. Assim, Helmers e outros citados por ECKENFELDER [13] sugerem que a relação DBO:N:P, seja da ordem de 150:5:1. KILGORE e SAWYER citados por IMHOFF [21] sugerem que a relação DBO:N:P seja de 100:4,7 a 7,4:0,36 a 1,25. Frame e outros citados por ECKENFELDER [13] indicam que a relação deve ser 100:4,3:0,6. HELMERS, citado por IMHOFF [21], sugere que a relação seja 100:3 a 4:0,5 a 0,7.

É desejável que o pH do "liquor" seja neutro. Entretanto

to, a faixa de pH compreendida entre 6,5 e 8,5 é adotada pela maioria dos pesquisadores. Valores de pH abaixo de 6,5 propiciam a proliferação de fungos filamentosos. Acima do valor 8,5, o processo de decomposição da matéria orgânica é inibido.

#### 2.8.13. Determinação Experimental dos Parâmetros Bioquímicos

Em escala de laboratório trabalha-se com estações piloto de lodos ativados de vazão descontínua e vazão contínua. O sistema de vazão descontínua, chamado de sistema "Batch" é mais empregado na avaliação qualitativa de despejos orgânicos, embora com o seu emprego se possa determinar alguns dos parâmetros bioquímicos. Alguns autores consideram que o sistema descontínuo simula perfeitamente um sistema convencional de lodos ativados, como é o caso de MCKINNEY [30]. O tempo de duração de um ensaio num sistema descontínuo é de 20 dias. O sistema é caracterizado por elevados valores de F/M no início do processo.

O sistema contínuo é o empregado na determinação experimental dos parâmetros bioquímicos. Segundo MCKINNEY [30], não existem diferenças entre as estações piloto contínuas de lodos ativados e estações em escala real. Entretanto, os resultados obtidos em escala de laboratório devem ser encarados com certa reserva e, se possível, devem ser testados em escala real. Ao contrário do que ocorre, em escala real, não há recirculação de lodo em



estações piloto, pois o tanque de aeração e o decantador estão justapostos e interligados. O tempo de detenção no tanque de aeração está compreendido entre 30 minutos e 7 dias.

Os parâmetros bioquímicos são determinados a partir dos resultados obtidos em laboratório, empregando-se as eqs. (2.18), (2.27), (2.32) e (2.41).

a. determinação do parâmetro bioquímico k

Retoma-se a eq. (2.18):

$$\frac{S_0 - S_e}{X_{va} \cdot t} = k \cdot S_e \quad (2.18)$$

Lançam-se em gráfico os valores de  $(S_0 - S_e)/X_{va} \cdot t$  no eixo das ordenadas contra os valores de  $S_e$  no eixo das abscissas, como mostra a Fig. 2.8.13. O coeficiente angular da reta é o valor de k.

Na verdade a reta não passa pela origem, pois nem todo o substrato é biodegradável, resultando, portanto, a parcela  $S_n$  que não se biodegrada. A eq. (2.18) é corrigida e escreve-se:

$$\frac{S_0 - S_e}{X_{va} \cdot t} = k(S_e - S_n)$$

Nessa determinação de parâmetro e nas subsequentes, cada ponto do gráfico, corresponde a um reator utilizado e para que se obtenha resultado satisfatório, os pontos devem ser ajustados, por exemplo, pelo processo dos mínimos quadrados.

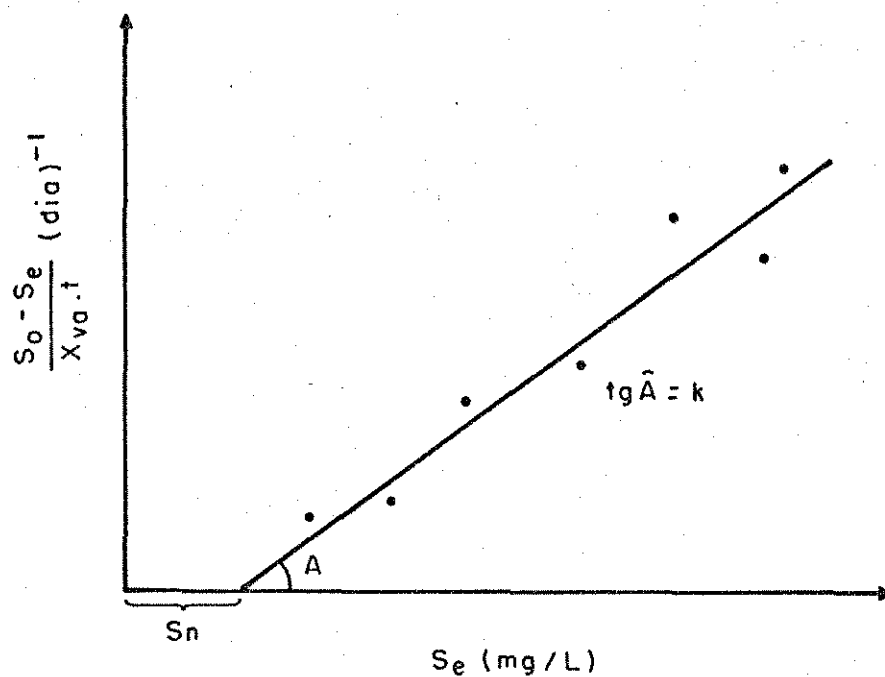


Fig. 2.8.13 - Determinação do coeficiente k

b. determinação dos parâmetros bioquímicos a e b

Seja a eq. (2.41):

$$\Delta Xt = a(S_0 - S_e)Q - b \cdot X_{va} \cdot V + Q_F \cdot X_{VF} + Q_F (X_{nv_F} - X_{nve}) + Q'' X_{nve} \quad (2.41)$$

Como em sistemas de laboratório não há recirculação de lodo, vem:

$$Q'' = 0$$

$$Q_F = 0$$

$$X_{nv_F} = X_{nvo}$$

$$X_{v_F} = X_{vo}$$

A eq. (2.41) é então reescrita:

$$\Delta X_t = a(S_o - S_e)Q - bX_{va}.V + Q.X_{vo} + Q(X_{vo} - X_{nve})$$

ou 
$$\Delta X_t - Q(X_{nvo} - X_{nve} + X_{vo}) = a(S_o - S_e) - b.X_{va}.V$$

ou

$$\frac{\frac{\Delta X_t}{V} - \frac{X_{nvo} - X_{nve} + X_{vo}}{t}}{X_{va}} = \frac{a(S_o - S_e)}{X_{va}.t} - b = \frac{\frac{\Delta X_v}{V}}{X_{va}} \tag{2.44}$$

Como na maior parte dos casos, os valores de  $X_{nvo}$ ,  $X_{nve}$  e  $X_{vo}$  são desprezíveis, a eq. (2.44) é reescrita:

$$\frac{\Delta X_t}{V.X_{va}} = \frac{\Delta X_v}{V.X_{va}} = \frac{a(S_o - S_e)}{X_{va}.t} - b$$

mas  $X_t/V.X_{va}$  é o inverso da idade do lodo, definida pela eq. (2.42). Tem-se finalmente:

$$\frac{1}{ts} = \frac{a(S_o - S_e)}{X_{va}.t} - b$$

Ao se lançar em gráfico,  $1/ts$  no eixo das ordenadas contra  $(S_o - S_e)/X_{va}.t$  no eixo das abscissas o valor de "a" será o coeficiente angular da reta e o valor de "b" será o coeficiente linear da reta, como é mostrado na Fig. 2.8.14.

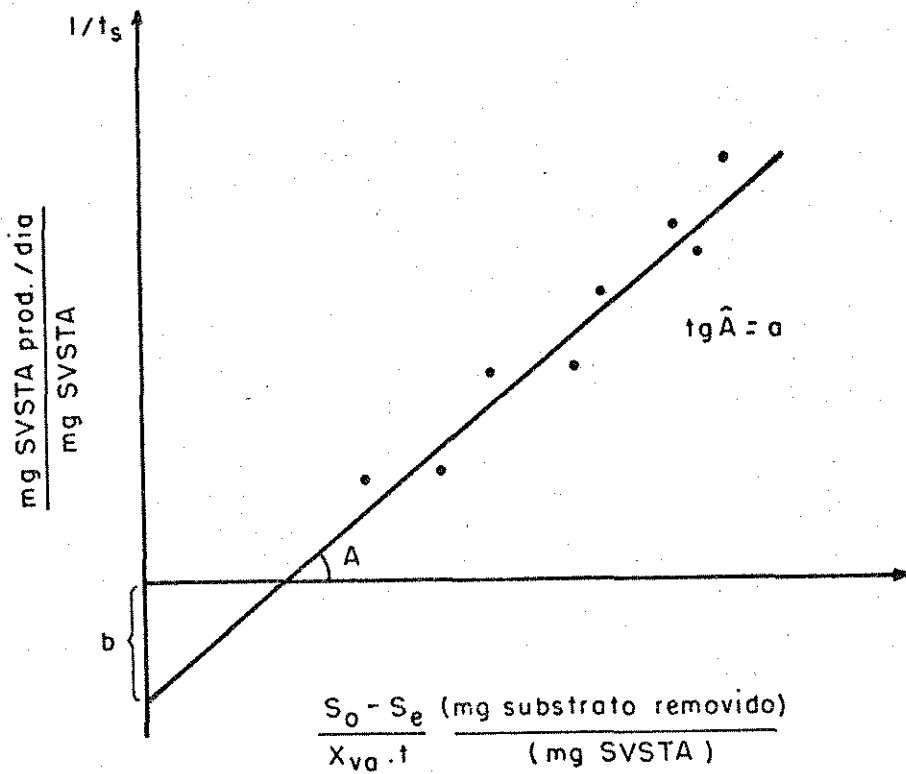


Fig. 2.8.14 - Determinação dos parâmetros bioquímicos a e b

c. determinação dos parâmetros bioquímicos a' e b'

Seja a eq. (2.32):

$$R \cdot V = a' (S_0 - S_e) Q - b' \cdot X_{va} \cdot V \quad (2.32)$$

Reescrevendo-se a eq. (2.32), tem-se:

$$\frac{R}{X_{va}} = \frac{a' (S_0 - S_e)}{X_{va} \cdot t} - b' \quad (2.46)$$

Lançando-se em gráfico  $R/X_{va}$  no eixo das ordenadas contra  $(S_0 - S_e)/X_{va} \cdot t$  no eixo das abscissas, o coeficiente angular da reta será o valor de a' e o valor do coeficiente linear da reta será o valor de b' ,

como se mostra na Fig. 2.8.15.

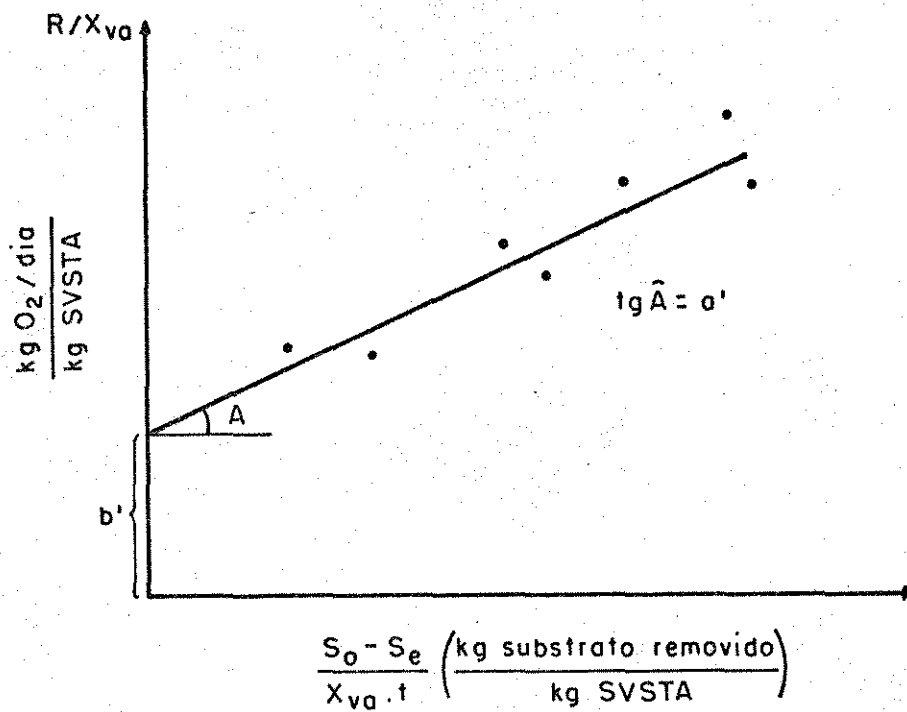


Fig. 2.8.15 - Determinação dos parâmetros bioquímicos  $a'$  e  $b'$

d. determinação do parâmetro bioquímico  $\bar{a}$

Uma vez determinado o valor de  $a'$ , aplica-se a eq. (2.27), ou seja:

$$\bar{a} + a' = 1 \quad (2.27)$$

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Caracterização dos Resíduos

Para a caracterização dos resíduos foi levado em consideração apenas o efluente final da indústria, uma vez que foi impossível isolar os efluentes de cada setor produtivo e avaliar corretamente a influência de cada um sobre o efluente final, pelo fato de as tubulações serem embutidas e os técnicos da indústria não conseguiram identificá-las com exatidão. Entretanto, o trabalho não foi prejudicado, uma vez que as características do efluente final são as mais importantes, haja vista que este é o que vai ser tratado e posteriormente lançado à rede coletora ou a um corpo receptor qualquer.

Foram utilizadas amostras compostas para as diversas determinações, que eram conseguidas retirando-se 1,0 litro de residuo a cada 30 minutos durante 4 horas seguidas. Desse modo, foi retirada 1 amostra por dia, durante 10 dias, totalizando 10 amostras. Procurou-se dar início à retirada das amostras sempre em horários diferentes.

As determinações realizadas foram de: sólidos sedimentaveis, sólidos totais, sólidos não voláteis, sólidos voláteis, nitrogênio, óleos e graxas, pH, DQO e DBO.

Todas as determinações de todos os ensaios foram realizados de acordo com o "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" [45]. A DQO (Demanda Química de Oxigênio) foi determinada pelo processo do refluxo, utilizando-se dicromato de

potássio como oxidante; a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) foi determinada através do método de Winkler modificado por Alsterberg; a determinação de nitrogênio foi realizada de acordo com o método de digestão e destilação de Kjeldahl; o pH foi medido eletrometricamente.

### 3.2. Sistema Descontínuo (Ensaio nº 1)

Este ensaio foi realizado com a finalidade de se avaliar a biodegradabilidade do resíduo e, por isso mesmo, as análises químicas não foram realizadas com a preocupação de se manter intervalos de tempo regularmente espaçados.

Decantava-se o resíduo por 1 hora, sendo o mesmo, em seguida, transferido por sucção para um reator, tomando-se o cuidado de se evitar a retirada do material sedimentado e do flotante. O reator era constituído de tanque de aeração e câmara de decantação e foi construído em acrílico transparente. O volume útil era de 6,0 litros. A entrada de ar e o dreno localizavam-se na parte inferior e o ponto de coleta do efluente estava posicionado na parte superior. A Fig. 3.1 mostra o esquema do reator.

Preencheu-se o reator até as proximidades do nível de saída do efluente. O sistema de aeração compunha-se de um aerador de aquário e difusores de pedra porosa. Eram colocados 2 difusores: um na parte inferior e outro na parte superior para que se aumentasse o teor de oxigênio dissolvido no reator.

O resíduo foi aerado por 10 dias, tempo suficiente para a formação e desenvolvimento de flocos biológicos. Ao fim do décimo dia de aeração, preparou-se novo reator, composto do lodo até então formado e de nova porção de resíduo decantado. Aerou-se por mais 6 horas para que se conseguisse um maior desenvolvimento de microorganismos. Drenou-se então o sobrenadante e acrescentou-se resíduo decantado prosseguindo-se a aeração por mais 15 dias.

Retiravam-se cerca de 150 ml de amostra que eram decantados durante 1 hora, e utilizados nas determinações de sólidos totais, sólidos voláteis, sólidos não voláteis e DBO. O volume retirado era repostado com o resíduo bruto decantado.

O pH era medido por processo eletrométrico e eventualmente corrigido para valores em torno de 7, de modo a favorecer o desenvolvimento de microorganismos.

Todas as determinações foram realizadas somente nos últimos quinze dias de aeração, excessão feita à medida do pH que era realizada diariamente durante todas as fases do experimento.

### 3.3. Sistema Descontínuo (Ensaio nº 2)

Neste ensaio procurou-se avaliar a influência do nutriente fósforo na estabilização aeróbia do resíduo. Para tanto, foram utilizados 2 reatores biológicos, tendo o resíduo as seguintes características:



a. Reator nº 1 - resíduo bruto decantado

relação DBO:N:P igual a 100:4,7:0,5

b. Reator nº 2 - resíduo bruto decantado

relação DBO:N:P igual a 100:4,7:0.91

No reator nº 1, o teor de fósforo era o próprio do resíduo. No reator nº 2, adicionou-se fósforo sob a forma de fosfato de potássio dibásico.

Antes de ser iniciado o ensaio, todo o resíduo disponível foi decantado por 1 hora, tendo-se o cuidado também de se eliminar a parte superficial do sobrenadante, evitando-se assim as partículas flotantes. Isto feito, parte do resíduo foi utilizado para enchimento dos reatores e o restante foi guardado em geladeira.

Utilizou-se a mesma célula de aeração descrita anteriormente no item 3.2. Encheu-se cada um dos reatores até a proximidade do nível de saída do efluente. Em cada reator foram colocados 2 difusores de ar, um na parte inferior e outro na superior, ambos alimentados por um aerador de aquário.

Os resíduos dos 2 reatores foram aerados durante 16 dias ininterruptos. Diariamente eram retiradas amostras de 1000 ml de cada reator e colocadas para sedimentar em cones Imhoff por 1 hora. Retiravam-se em seguida, 350 ml do sobrenadante para as determinações diárias. Completava-se em cada cone Imhoff o volume de 1000 ml com os resíduos brutos restantes com e sem adição de fósforo respectivamente e devolvia-se o conteúdo de cada cone ao seu

respectivo reator. Como esses resíduos utilizados para completar o volume retirado eram guardados em geladeira, tomou-se o cuidado de serem deixados fora dela por algum tempo até atingir a temperatura ambiente. Diariamente, eram feitas determinações de sólidos totais, sólidos voláteis, sólidos não voláteis e sólidos sedimentáveis. A cada 2 dias eram feitas determinações de DQO e DBO. O pH era medido 2 vezes por dia por processo eletrométrico e corrigido sempre que necessário para valores compreendidos entre 6,8 e 7,2. Nesta correção, era utilizado hidróxido de cálcio. Duas vezes por semana era medido o teor de oxigênio em cada um dos reatores, com a utilização de medidor contínuo de oxigênio dissolvido, para se ter certeza que os níveis mínimos de oxigênio estavam sendo assegurados.

#### 3.4. Sistema Contínuo

O ensaio foi realizado em duas etapas. Primeiramente, utilizou-se 4 reatores, cada um deles com volume útil de 6 litros. Estes reatores foram denominados reatores 1, 2, 3 e 4. Na segunda etapa, utilizou-se 4 reatores, que foram denominados 5, 6, 7 e 8, com capacidade de 12 litros cada. Este volume foi obtido com a junção dos reatores, dois a dois, através da união dos seus drenos em um único. Para que se garantisse uma uniformidade de mistura nesses reatores, retirava-se frequentemente resíduos do dreno comum e distribuía-se em cada um dos reatores. As características dos reatores são mostrados na Tabela 3.1.

Reator nº	Idade do lodo (dia)	Vazão L/dia	Tempo de Retenção (dia)
1	2	6,0	1
2	3	6,0	1
3	4	6,0	1
4	5	6,0	1
5	7	6,0	2
6	8	6,0	2
7	9	6,0	2
8	10	6,0	2

Tabela 3.1 - Características dos reatores

O resíduo utilizado era primeiramente decantado no próprio recipiente plástico que vinha da indústria e posteriormente transferido a outro de tal modo que se evitasse retirar o sobrenadante que poderia conter os sólidos que flotassem e obviamente e evitando também turbulências que pudessem atingir o material sedimentado no fundo. Procurou-se trabalhar com resíduos na faixa de DQO entre 1000 mg/L e 2000 mg/L porque estes são os valores médios mais comumente encontrados para o despejo final de indústrias de leite.

Ao lado dos reatores havia um recipiente, onde se colocava o resíduo afluente aos mesmos. Uma bomba peristáltica bombeava o resíduo do recipiente para cada um dos reatores com vazão

constante de 6 litros/dia. No caso dos reatores 5, 6, 7 e 8, uma conexão em "tê" era colocada na parte superior dos reatores uni dos dois a dois, de modo que metade da vazão bombeada se dirigis se para cada um dos tanques de aeração. A bomba peristáltica ti nha sua vazão aferida diariamente. Seus tubos eram limpos a cada 2 dias para prevenir entupimentos.

Para a aeração foram utilizados 2 difusores de pedra po rosa colocados no fundo e na parte intermediária da câmara de ae ração. O ar era introduzido por aeradores comuns de aquário. O sis tema de aeração era regulado de tal maneira a proporcionar mistu ra completa no tanque de aeração e que não houvesse aeração e nem turbulência no decantador.

O esquema do sistema contínuo utilizado é mostrado na Fig. 3.1.

No início da operação, o sistema permanecia descontínuo permitindo assim o desenvolvimento de microorganismos e consequen temente a formação de flocos biológicos. Quando julgava-se sufici ente o número de flocos, iniciava-se o sistema contínuo propria mente dito. Nesta fase, o pH do "liquor" era medido duas vezes por dia e corrigido para valores em torno de 7 quando necessário.

Iniciando-se o sistema contínuo, o pH do afluente também era verificado e corrigido, quando necessário, para valor em tor no de 7. Nessas correções, usualmente era utilizado hidróxido de sódio. O pH era medido eletrometricamente.

As amostras para as determinações necessárias só começa

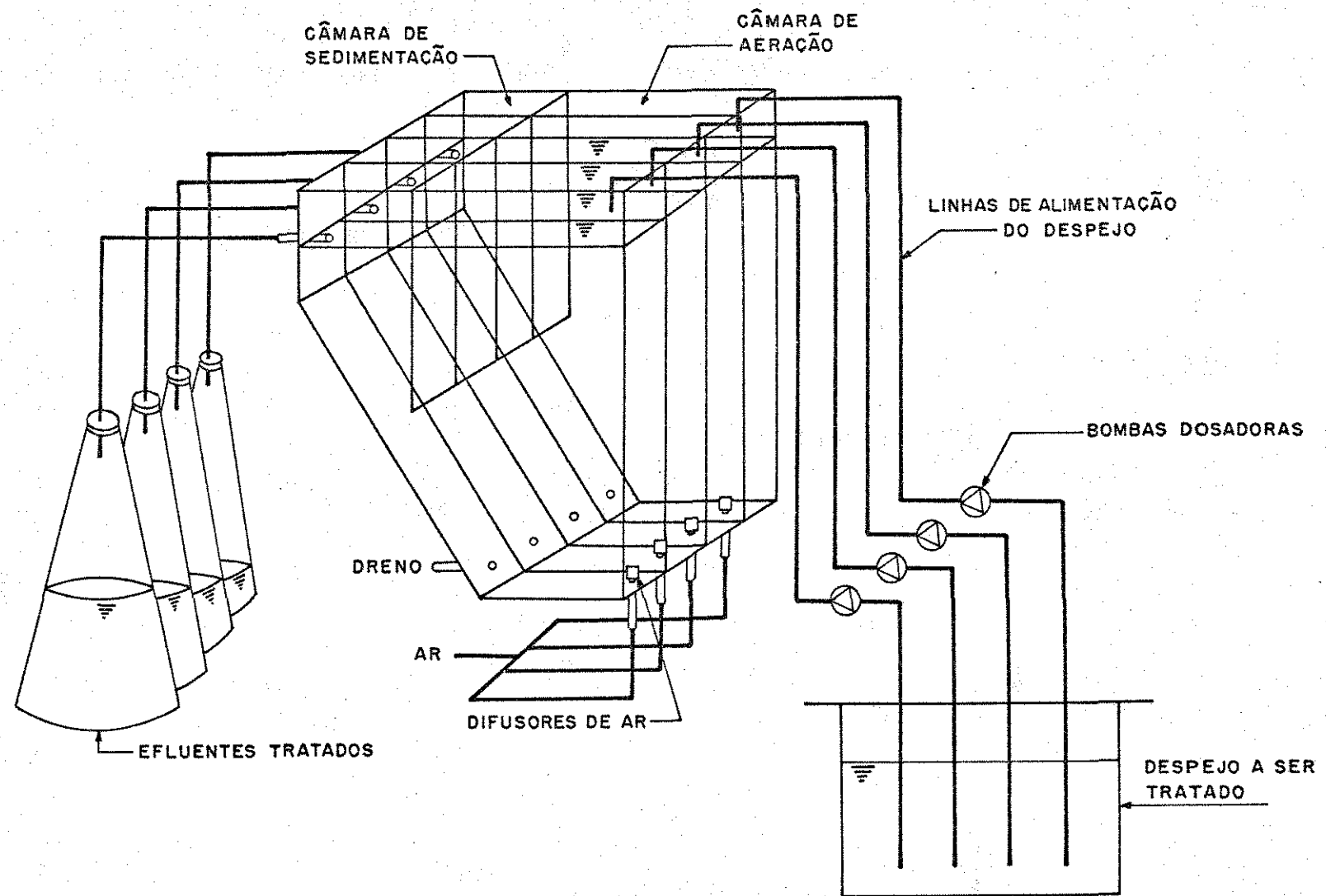


Figura 3.1 - Esquema do sistema contínuo utilizado

ram a ser retiradas após o sistema entrar em regime permanente.

O controle do processo era feito pela idade do lodo. Para tanto, retirava-se diariamente determinada massa de "liquor" de cada reator, de modo a se manter a idade do lodo previamente especificada. Esse lodo era retirado em parcelas iguais 4 vezes ao dia para que não provocasse grande desequilíbrio ao sistema. Ao se retirar o lodo, agitava-se com um bastão o tanque de aeração e o decantador. Esse procedimento era repetido várias vezes ao dia também com a finalidade de se minimizar o problema do efeito de parede. A Tabela 3.2 mostra as quantidades de "liquor" retiradas diariamente de cada um dos reatores, para a manutenção de suas respectivas idades do lodo.

Reator	Idade do lodo (dia)	Volume do Reator (litros)	Volume retirado por dia (ml)
1	2	6,0	3000
2	3	6,0	2000
3	4	6,0	1500
4	5	6,0	1200
5	7	12,0	1714
6	8	12,0	1500
7	9	12,0	1333
8	10	12,0	1200

Tab. 3.2 - Volumes de "liquor" retirados por dia em cada um dos reatores

Três vezes por semana retirava-se 1 litro de "liquor" de cada reator e colocava-se para sedimentar em cone Imhoff por meia hora. Fazia-se a leitura dos sólidos sedimentáveis. Em seguida, agitava-se o conteúdo dos cones e retiravam-se em torno de 400 ml que eram utilizados nas determinações dos sólidos voláteis suspensos no tanque de aeração e da DQO filtrada. Os volumes restantes de cada cone eram devolvidos aos seus respectivos reatores. As determinações de DBO filtradas foram realizadas uma vez, quando o sistema estava em equilíbrio. Também as determinações da taxa de utilização de oxigênio foram realizadas quando o sistema atingiu o equilíbrio. O teor de oxigênio dissolvido nos reatores era medido diariamente, eletrometricamente.

As determinações dos sólidos voláteis em suspensão no tanque de aeração, da DQO e DBO filtradas, exigiam a filtração do "liquor", o que foi feito com utilização de vácuo e cadinho de Gooch.

Os sólidos voláteis em suspensão no tanque de aeração eram determinados indiretamente, pela subtração dos sólidos voláteis existentes no "liquor", antes e depois de filtrado.

A taxa de utilização de oxigênio era medida com o emprego de medidor contínuo de oxigênio dissolvido. Enchia-se um "erlenmeyer" de 250 ml com líquido do reator biológico até transbordar. Tampava-se com uma rolha de borracha acoplada ao eletrodo do aparelho, de modo que se evitasse a formação e penetração de bolhas de ar dentro do erlenmeyer. Seu conteúdo era agitado usando-se agitador magnético. Media-se a queda de oxigênio dissolvido em intervalos de 15 ou 30 segundos. Lançava-se em gráfico, oxigênio

dissolvido em ordenadas contra tempo das leituras em abscissas. A tangente à curva determina o valor da taxa de utilização de oxigênio R.

Depois que o sistema entrou em regime permanente, prosseguiu-se a aeração durante uma semana, no mínimo. As análises e exames foram realizados como foi proposto por RAMALHO [35] e mostrados na Tab. 3.3. Para cor e turbidez não foram feitas determinações, pois não têm maior significado para esse tipo de resíduo. Os exames microscópicos não foram realizados por absoluta falta de condições.

Análises ou Exames	Frequência	Afluente	"Liquor"	Efluente
DQO e DBO filtrados	3 por semana	X		X
SVSTA e IVL	3 por semana		X	
Oxigênio dissolvido	1 por dia		X	
Taxa de utilização de oxigênio	3 por semana		X	
Cor e Turbidez	3 por semana			X
Exames microscópicos	3 por semana		X	

Tabela 3.3 - Frequência das análises e exames

Fonte: RAMALHO [35]



Todas as determinações foram realizadas de acordo com o  
"Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" [45].

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Caracterização dos Resíduos

A Tabela 4.1 apresenta as determinações que caracterizam o efluente final, isto é, proveniente das três seções de produção.

A caracterização apresentada na Tabela 4.1 é relativa a 10 coletas efetuadas como descritas anteriormente. Isto foi feito para que se pudesse avaliar as possíveis variações principalmente de DBO e DQO.

### 4.2. Sistema Descontínuo (Ensaio nº 1)

O sistema descontínuo - ensaio nº 1 - foi operado utilizando-se um só reator.

#### 4.2.1. Variação do pH

O "liquor" ao fim do primeiro dia de aeração tinha o pH de 4,8. Já a partir do segundo dia, estava se elevando. No quarto dia, estava em 6,8 e permaneceu em torno desse valor até o décimo dia de aeração. Ao se iniciar a última fase da experiência, ou seja, os últimos quinze dias de aeração, o pH no reator

Tabela 4.1 - Caracterização dos Resíduos

Amostra	Sólidos sedimentáveis mg/L	Sólidos Totais mg/L	Sólidos não voláteis mg/L	Sólidos voláteis mg/L	Nitrogênio mg/L	Óleos e graxas mg/L	pH	DQO mg/L	DBO mg/L
1	4,0	1.100	86	1.014	21	85	7,2	562	315
2	68,0	4,200	617	3.583	100	292	7,1	3780	2135
3	11,5	1.832	290	1.542	45	1230	6,9	1155	643
4	0,6	1.212	251	961	28	1345	6,8	635	372
5	14,6	2.935	561	2.374	52	345	6,8	1532	989
6	23,5	2.635	498	2.137	85	236	7,1	2135	1643
7	20,5	1.944	509	1.435	60	1485	7,3	1645	1102
8	1,0	966	87	879	42	1935	7,5	405	285
9	6,5	1.315	149	1.166	35	271	7,3	780	597
10	2,5	989	112	887	38	231	6,9	505	278

era de 5,8. Como anteriormente, esse valor foi se elevando e no segundo dia atingiu o valor 7,1 e permaneceu em torno desse valor até o fim do ensaio.

A Tabela 4.2 dá os valores obtidos de pH na 1ª e 2ª fase do ensaio.

Tabela 4.2 - Valores de pH para o ensaio descontínuo nº 1

1ª fase		2ª fase	
Dias de Aeração	pH	Dias de Aeração	pH
01	4,8	01	5,8
02	5,0	02	7,1
04	6,8	03	7,1
06	6,9	05	7,0
08	7,1	07	7,1
10	7,0	09	7,5
		11	7,3
		13	7,3
		15	7,2

#### 4.2.2. Variação de DBO

Apresentam-se na Tabela 4.3 os valores de DBO obtidos durante a fase final de aeração.

Tabela 4.3 - Valores de DBO obtidos na fase final da experiência

Dias de Aeração	DBO (mg/L)	Redução de DBO (%)
01	855	-
03	342	60
05	214	75
07	43	95
09	26	97
11	60	93
13	26	97
15	17	98

4.2.3. Variação dos Sólidos Totais, Sólidos não Voláteis e Sólidos Voláteis

Apresentam-se na Tabela 4.4 os valores obtidos para sólidos totais, sólidos não voláteis e sólidos voláteis durante os últimos 15 dias de aeração.

Tabela 4.4. - Sólidos Totais, Não Voláteis e Voláteis durante a última fase da experiência

Dias de Aeração	Sólidos totais (mg/L)	Sólidos não voláteis (mg/L)	Sólidos Voláteis (mg/L)
01	1445	300	1145
06	733	390	343
12	612	546	66
15	745	635	110

#### 4.3. Sistema Descontínuo (Ensaio nº 2)

A Tabela 4.5 mostra os valores de sólidos totais, sólidos não voláteis, sólidos voláteis, sólidos sedimentáveis, pH, DQO e DBO para os dois reatores.

##### 4.3.1. Variação de DBO

As Figs. 4.1 e 4.2 mostram as curvas de variação de DBO em cada reator, em função do tempo de aeração.

##### 4.3.2. Variação de DQO

As Figs. 4.3 e 4.4 mostram as curvas de variação de DQO de cada reator, em função do tempo de aeração.

##### 4.3.3. Variação do pH

Na Fig. 4.5 são mostrados os valores de pH obtidos nos dois reatores, em função do tempo de aeração.

Tabela 4.5 - Valores de sólidos totais, sólidos não voláteis, sólidos voláteis, sólidos sedimentáveis, pH, DQO e DBO, durante o ensaio n°2 do sistema descontínuo.

Dias de Aeração	REATOR 1								REATOR 2								Reator 1	Reator 1
	ST (mg/L)	SNV (mg/L)	SV (mg/L)	S <sub>Sed</sub> (ml/L)	pH Inicial	pH Final	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	ST (mg/L)	SNV (mg/L)	SV (mg/L)	S <sub>Sed</sub> (ml/L)	pH Inicial	pH Final	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	% Remoção DBO	% Remoção DBO
Resíduo Bruto	2945	585	2360	8,0	5,2	5,2	2030	1565	2945	585	2360	8,0	5,2	5,2	2030	1565	-	-
01	2732	676	2056	15,0	5,5	6,5	-	-	2720	618	2102	16,0	5,3	6,2	-	-	-	-
02	2551	648	1903	28,0	6,8	7,1	612	395	2467	592	1875	32,0	6,8	7,2	598	377	75,0	76,0
03	2110	506	1604	32,0	6,9	7,2	-	-	2210	625	1585	35,0	6,9	7,0	-	-	-	-
04	2051	636	1415	35,0	7,1	8,1	305	172	2011	609	1402	42,0	6,3	6,8	482	238	83,0	85,0
05	1703	578	1125	33,0	7,6	7,5	-	-	1690	615	1075	45,0	6,2	6,7	-	-	-	-
06	1428	525	903	41,0	7,3	7,6	265	125	1482	588	894	43,0	6,3	7,0	182	110	92,0	93,0
07	1410	600	810	39,0	7,5	8,1	-	-	1380	625	755	44,0	7,1	6,9	-	-	-	-
08	1396	711	685	42,0	7,1	7,2	175	95	1234	602	632	46,0	7,2	7,5	121	78	94,0	95,0
09	1201	799	402	40,0	7,2	7,2	-	-	1037	616	421	52,0	7,2	6,9	-	-	-	-
10	1052	737	315	38,0	7,0	8,1	132	70	877	572	305	39,0	6,7	6,9	102	62	95,5	96,0
11	917	696	221	39,0	6,9	7,6	-	-	837	625	212	43,0	6,8	7,0	-	-	-	-
12	802	651	151	38,0	7,1	7,2	91	47	740	625	115	45,0	7,1	6,8	81	33	97,0	98,0
13	562	447	115	38,0	7,3	7,2	-	-	710	615	95	42,0	6,5	6,8	-	-	-	-
14	689	561	128	42,0	6,9	7,1	82	47	715	595	120	48,0	7,0	7,1	69	32	97,0	98,0
15	813	611	202	45,0	7,5	7,3	-	-	817	622	195	50,0	6,8	7,1	-	-	-	-
16	908	688	220	49,0	7,1	7,2	59	31	802	613	189	51,0	6,9	7,2	168	32	98,0	98,0

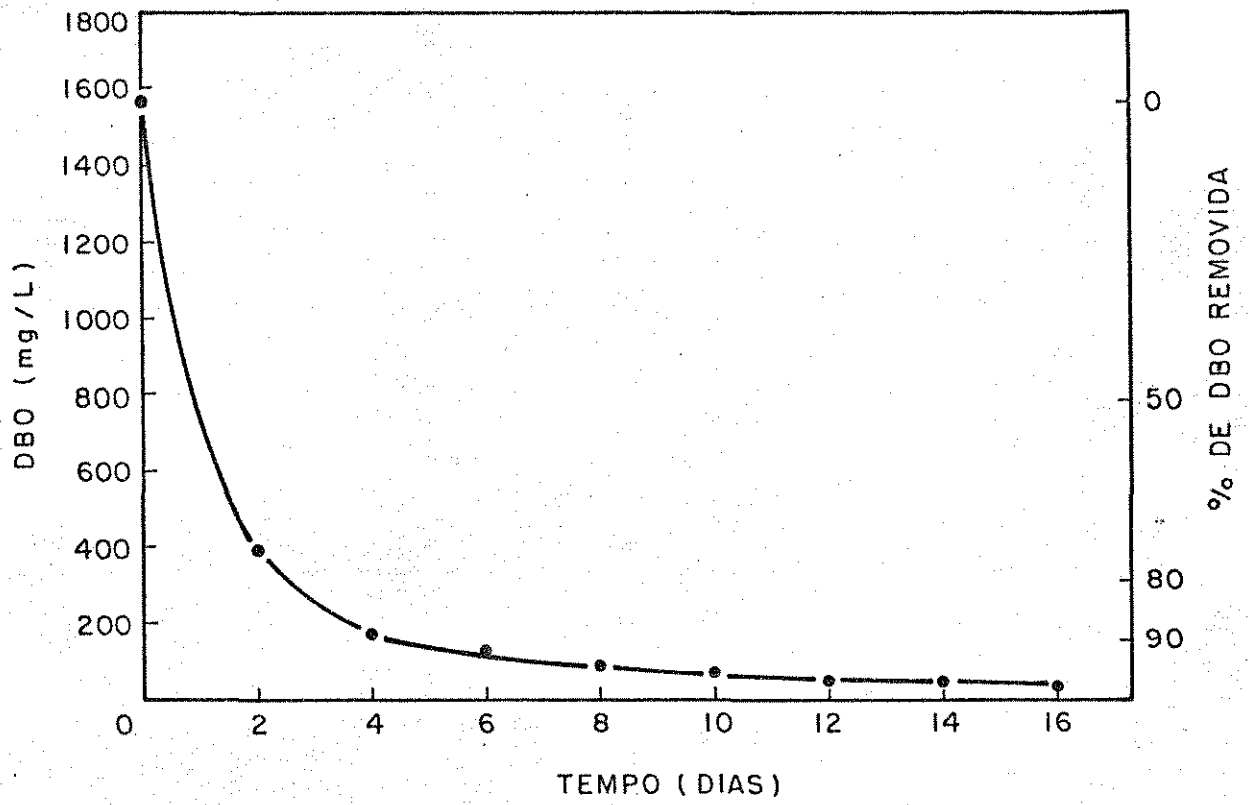


Figura 4.1 - Variação de DBO no reator 1



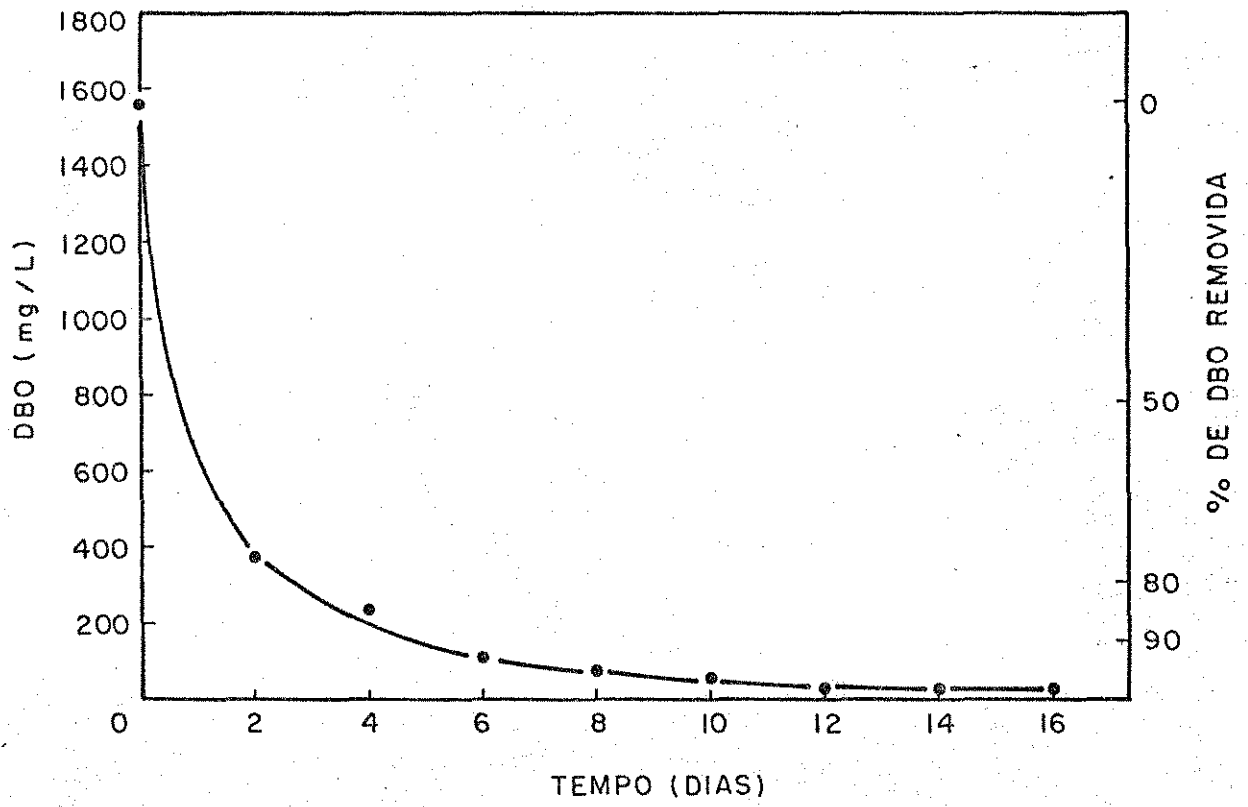


Figura 4.2 - Variação de DBO no reator 2

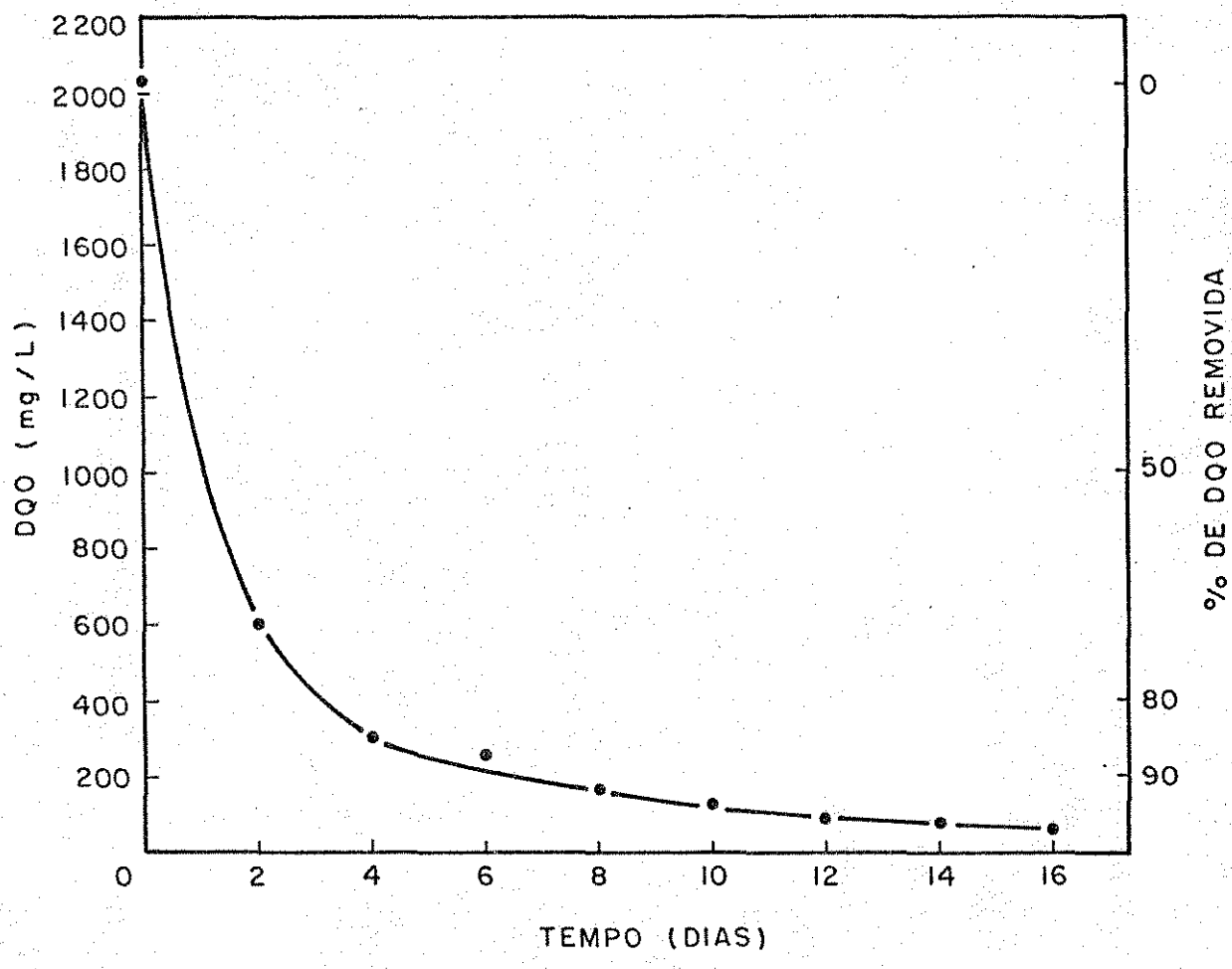


Figura 4.3 - Variação de DQO no reator 1

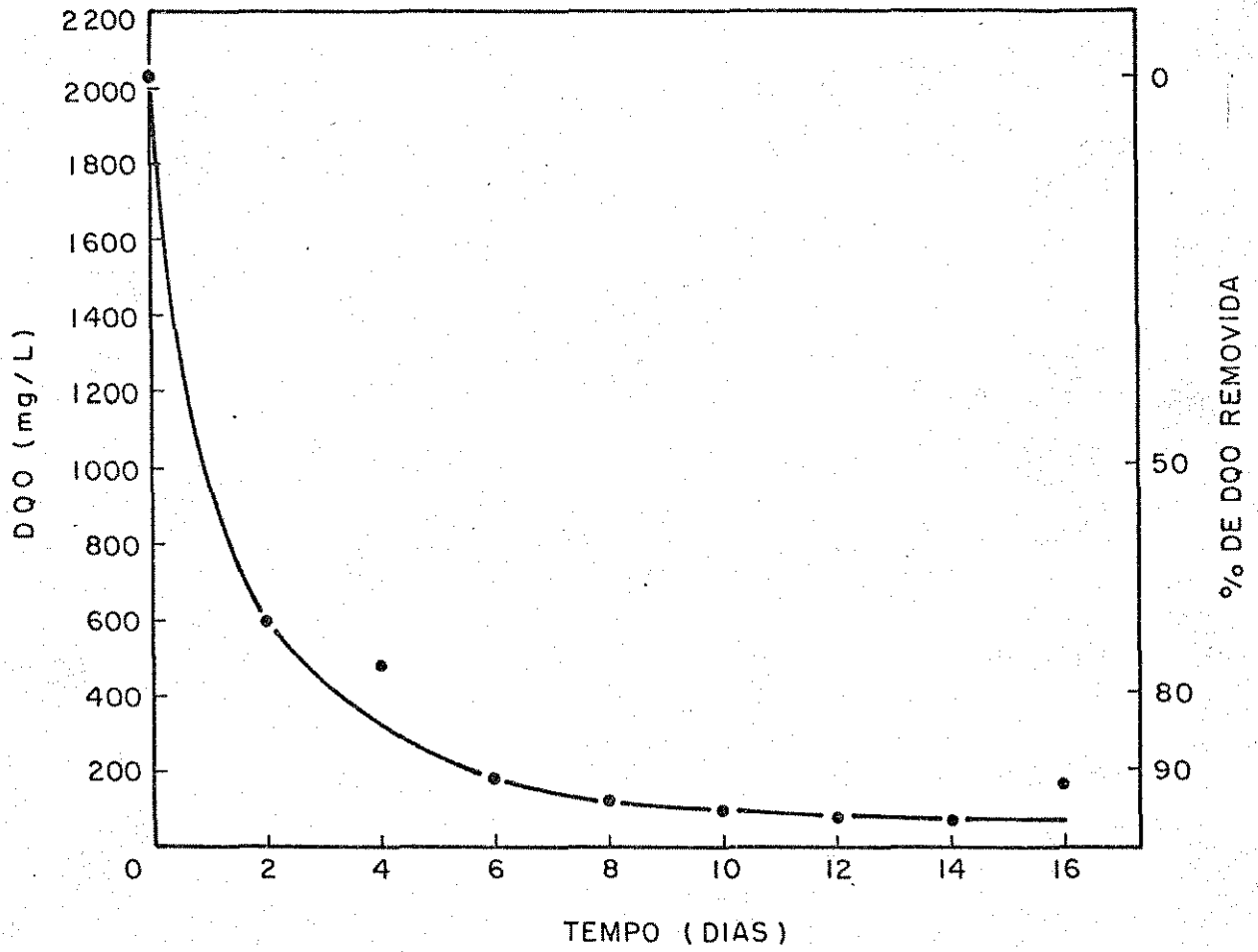


Figura 4.4 - Variação de DQO no reator 2

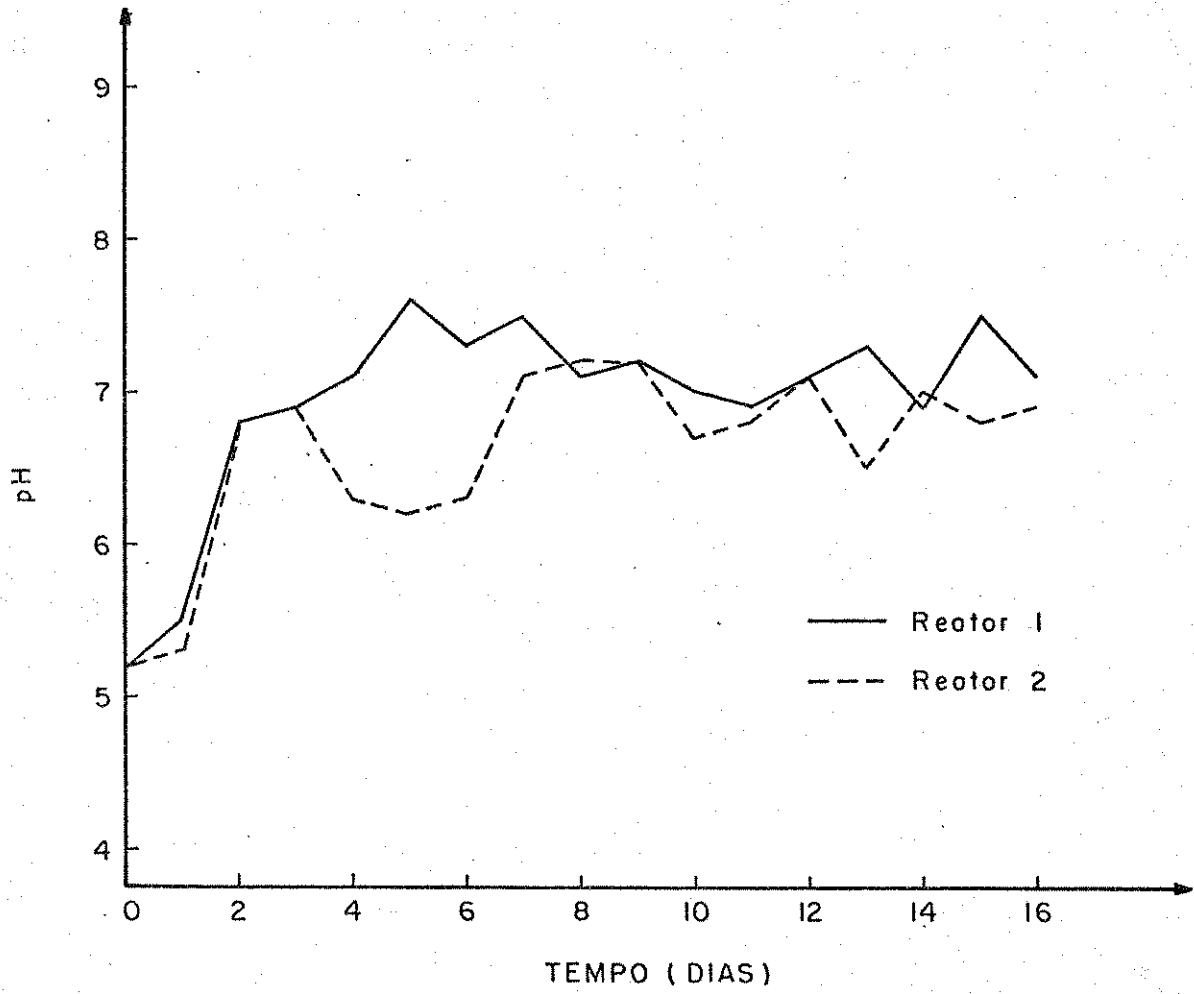


Figura.4.5 - Variação de pH nos 2 reatores

#### 4 .4. O Sistema Contínuo

Para início do ensaio os reatores 1, 2, 3 e 4 foram operados descontinuamente por 10 dias e daí então iniciado o sistema contínuo. Assim foi operado por mais 8 dias quando foi atingido o regime permanente. Já em regime permanente, o sistema foi operado por 15 dias, quando então, foram feitas as determinações.

Os reatores 5, 6, 7 e 8 iniciaram a operação à partir dos resíduos dos reatores 1, 2, 3 e 4 misturados com o novo resíduo. A operação foi iniciada já na forma contínua. Após três dias de operação o sistema atingiu o regime permanente e assim foi operado por mais 10 dias.

A Tabela 4.6 mostra as características dos reatores depois de atingido o regime permanente.

A Tabela 4.7 mostra os cálculos necessários para determinar os parâmetros bioquímicos. Todos os parâmetros foram determinados em relação a DQO, por ser esta determinação mais rápida e precisa que a de DBO.

Tabêla 4.6 - Valores obtidos apôs a entrada do sistema em regime permanente

Reator Nº	DQOa (mg/L)	DQOe (mg/L)	Xva (mg/L)	% rem DQO	DBOa (mg/L)	DBOe (mg/L)	% rem DBO	R (mg/L dia)	pH
1	1005	168	917	83	765	145	81	541	7,3
2	1005	120	1575	88	765	115	85	633	7,1
3	1005	134	1172	86	765	153	80	543	6,9
4	1005	107	1867	89	765	115	85	805	7,2
5	1610	140	1780	91	1100	165	85	696	7,2
6	1610	64	2029	96	1100	110	90	659	6,9
7	1610	109	1249	93	1100	143	87	515	7,2
8	1610	82	2110	95	1100	99	91	770	7,1

(DQO ou DBO)a = DQO ou DBO afluente ao tanque de aeração

(DQO ou DBO)e = DQO ou DBO efluente do tanque de aeração

X<sub>va</sub> = Teor de sólidos voláteis em suspensão no tanque de aeração

R = Taxa de utilização de oxigênio

Tabela 4.7 - Cálculos necessários para a determinação dos parâmetros bioquímicos.

Reator Nº	So (mg/L)	Se (mg/L)	Xva (mg/L)	Q (L/dia)	t=V/Q (dia)	Idade		Xva.t (mg/L/dia)	$\frac{So - Se}{Xva.t}$ (dia <sup>-1</sup> )	$\frac{F}{M} = \frac{So}{Xva.t}$ $\frac{mg\ DCO/dia}{mg\ SVSTA}$	IVL (ml/g)	R (mg/l/dia)	R/Xva (dia <sup>-1</sup> )	I/ts (dia <sup>-1</sup> )
						do lodo (dia)	So - Se mg/L							
1	1005	168	917	6,0	1	2	837	917	0,913	1,096	105	541	0,590	0,500
2	1005	120	1575	6,0	1	3	885	1575	0,562	0,638	60	633	0,402	0,333
3	1005	134	1172	6,0	1	4	871	1172	0,743	0,858	95	543	0,463	0,250
4	1005	107	1867	6,0	1	5	898	1867	0,481	0,538	52	805	0,431	0,200
5	1610	140	1780	6,0	2	7	1470	3560	0,413	0,452	48	696	0,391	0,143
6	1610	64	2029	6,0	2	8	1546	4058	0,381	0,397	40	659	0,325	0,125
7	1610	109	1249	6,0	2	9	1501	2498	0,601	0,645	51	515	0,412	0,111
8	1610	82	2110	6,0	2	10	1528	4220	0,362	0,382	38	770	0,365	0,100

#### 4.4.1. Determinação do Parâmetro Bioquímico k

O parâmetro bioquímico  $k$ , constante de remoção de substrato, expresso aqui em termos de DQO, foi determinado de acordo com o que foi exposto no item 2.8.13.

Mostra-se na Figura 4.6 a determinação do valor de  $k$ . O valor do coeficiente de correlação, que indica o grau de ajuste dos pontos à curva, está próximo de 95%.

#### 4.4.2. Determinação dos parâmetros bioquímicos a e b

Os parâmetros bioquímicos  $a$ , coeficiente de síntese celular, e  $b$ , coeficiente de decaimento da massa celular devido a respiração endógena foram determinados de acordo com o que foi exposto no item 2.8.13.

A Figura 4.7 mostra a determinação dos valores de  $a$  e  $b$ .

#### 4.4.3. Determinação dos Parâmetros bioquímicos $a'$ e $b'$

A determinação dos parâmetros  $a'$ , coeficiente de oxigênio necessário à remoção do substrato que é oxidado, e  $b'$ , coeficiente de oxigênio necessário à respiração endógena, foram determinados de acordo com o item 2.13.



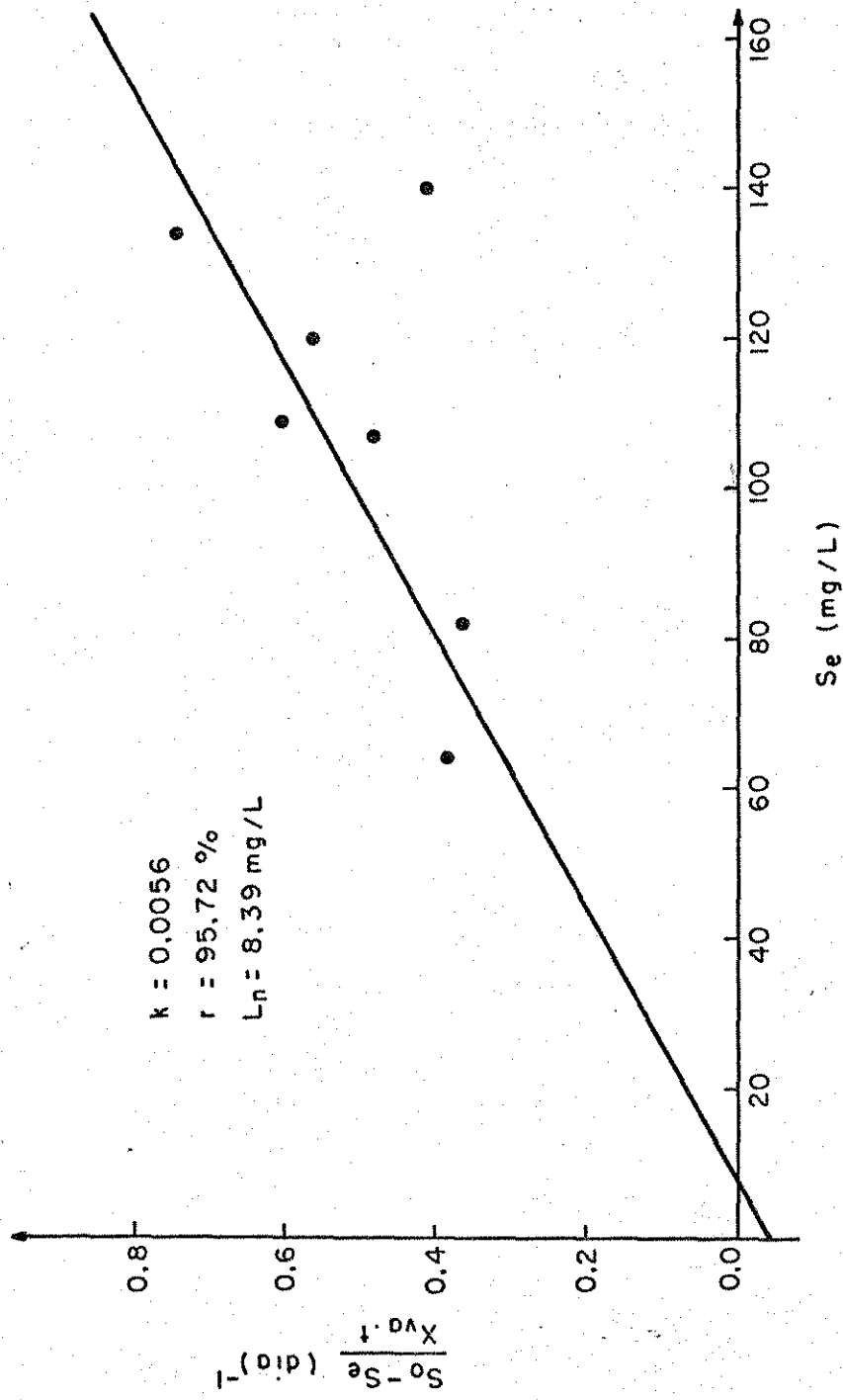


Figura 4.6 - Determinação do parâmetro bioquímico k

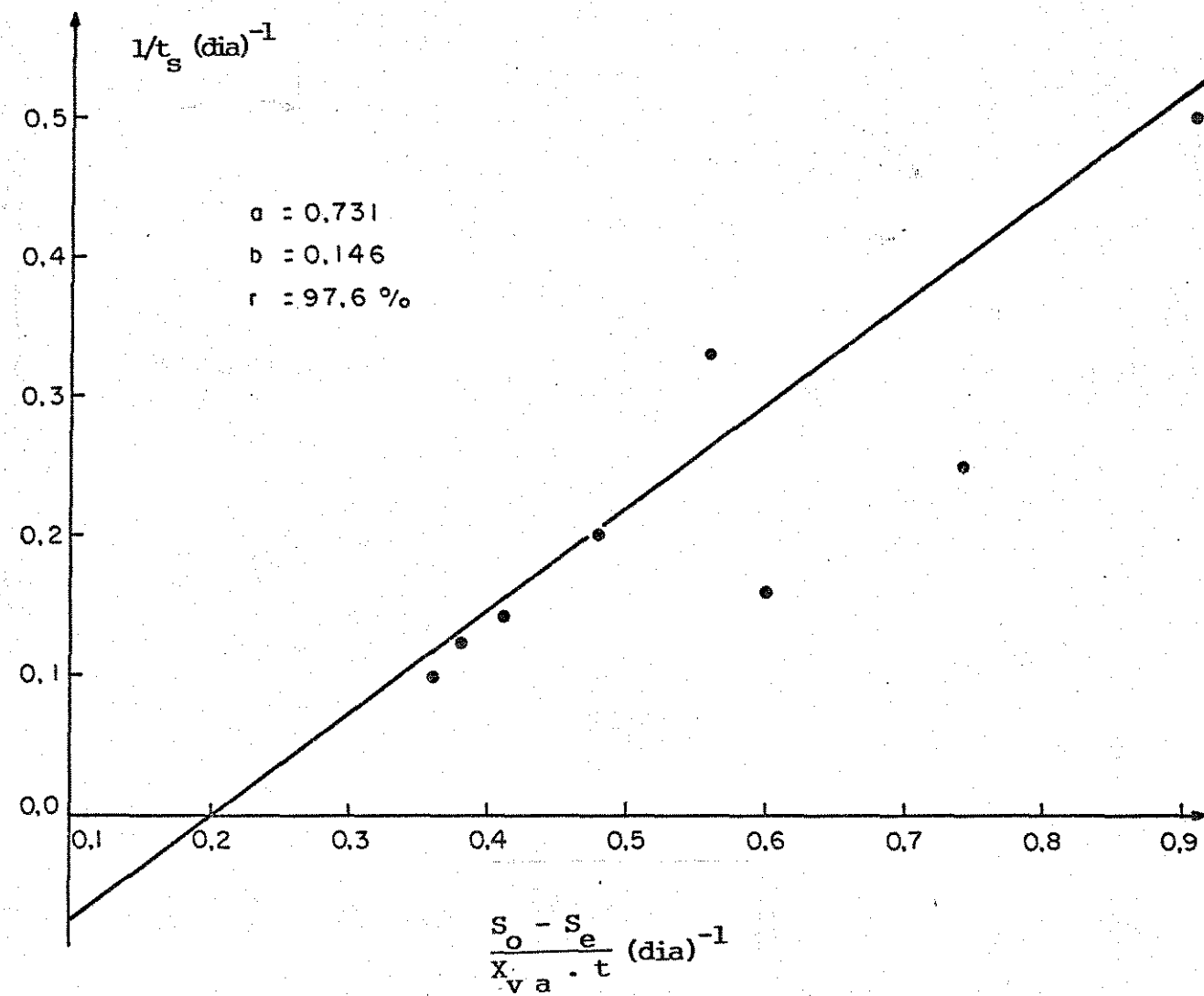


Figura 4.7 - Determinação dos parâmetros bioquímicos a e b

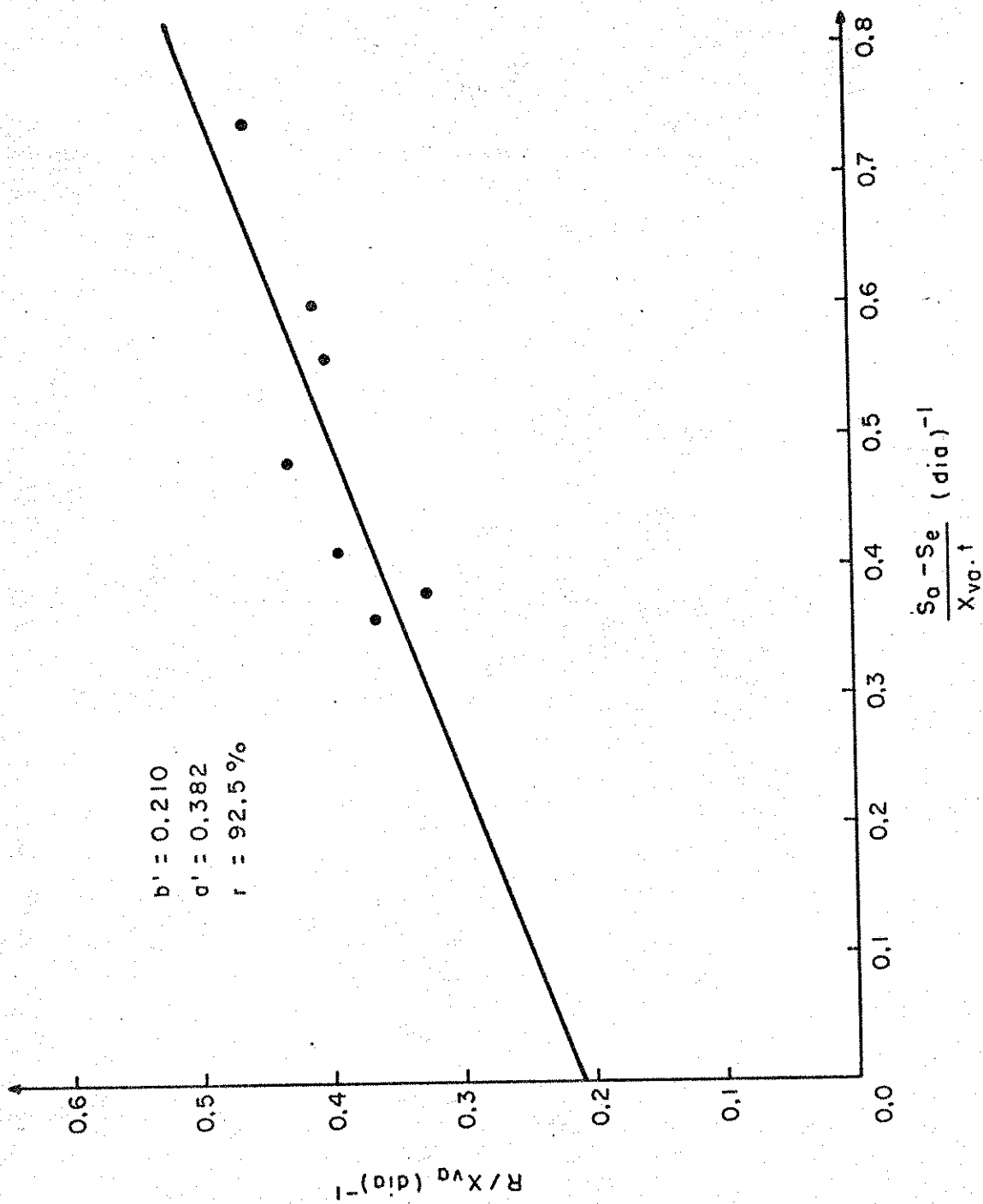


Figura 4.8 - Determinação dos parâmetros bioquímicos  $a'$  e  $b'$

A Figura 4.8 mostra a determinação dos parâmetros  $a'$  e  $b'$ .

#### 4.4.4. Determinação do parâmetro bioquímico $\bar{a}$

$$\bar{a} + a' = 1 \quad (2.27)$$

$$\bar{a} = 1 - 0,382 = 0,618$$

#### 4.4.5. Determinação da relação F/M ótima

Na Tabela 4.8 tem-se os valores de F/M nas suas duas formas e seus respectivos valores de índice volumétrico de lodo.

Tabela 4.8 - Valores de F/M relacionados a valores de IVL

Reator	$F/M = \frac{S_o}{XVA \cdot t}$	$F/M = \frac{S_o - S_e}{Xva \cdot t}$	IVL
1	1,096	0,913	105
2	0,638	0,562	60
3	0,858	0,743	95
4	0,538	0,481	52
5	0,452	0,413	48
6	0,397	0,381	40
7	0,645	0,601	51
8	0,382	0,362	38

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. Caracterização dos Resíduos

Note-se que entre uma amostra e outra houve grande variação dos valores apresentados na Tabela 4.1. Isto, de certa forma, concorda com as características apresentadas por diversos autores na Tabela 2.22, as quais também variam bastante. Ao longo deste trabalho ocorreram grandes variações nos valores de DBO e DQO dos resíduos das diversas coletas realizadas. Essas variações devem ser decorrentes dos seguintes fatores:

- a) Horários de pico de trabalho, como no caso, por exemplo da chegada dos latões de leite à usina, o que provoca uma produção grande de resíduos com concentrações de DBO e DQO altas, ou durante a noite em que a atividade era muito pouca, e não havia praticamente produção de resíduos com concentrações altas de DBO e DQO.
- b) Maior ou menor quantidade de água utilizada para limpeza, uma vez que não havia controle da água. Grandes quantidades de água provocam elevadas diluições dos resíduos e, conseqüentemente, menores valores de DQO e DBO.
- c) Maior ou menor perda por acidente ou defeito, de produtos nas diversas linhas de produção.

## 5.2. Sistema Descontínuo - Ensaio nº 1

No sistema descontínuo procurou-se avaliar a estabilização aeróbia, sem inoculação, dos efluentes de lacticínios.

O resultado obtido na avaliação de biodegradabilidade de do resíduo - remoção de 98% de DBO - atesta a eficiência desse tipo de processo para este resíduo.

A remoção de DBO foi de 97% no 9º dia de aeração e decresceu ligeiramente até o 11º dia. Esse decréscimo pode ter sido causado por rompimento de flocos passando ao sobrenadante. A aeração prolongada faz com que os microorganismos consumam toda a matéria orgânica disponível. As bactérias morrem e servem de alimento às remanescentes num processo de seleção. A enzima intracelular da bactéria que morre dissolve a parede celular e a parte que não serve de alimento às outras bactérias, constituída de cápsulas leves que não se sedimentam, aumenta a quantidade de matéria orgânica presente.

Era de se esperar que a percentagem de redução de DBO permanecesse constante ou até mesmo diminuísse ligeiramente até o 15º dia de aeração.

Entre o 12º e 15º dia de aeração, os valores dos sólidos totais e dos sólidos voláteis aumentaram em relação aos valores do 12º dia. Isso deve ter sido causado pelo rompimento de flocos.

### 5.3. Sistema Descontínuo - Ensaio nº 2

Os teores de fósforo diferentes nos reatores nºs 1 e 2, não influenciaram no processo de estabilização do resíduo, haja vista as percentagens de remoção de DBO já no 14º dia de ensaio que foram de 97% e 98% para os reatores 1 e 2, respectivamente. As percentagens de remoção de DQO foram de 96% e 97% para os reatores 1 e 2 respectivamente, o que confirma o excelente resultado. Portanto, é de se supor que a relação DBO:N:P encontrada no próprio resíduo é suficiente para que haja uma ótima estabilização sem que seja necessário qualquer ajuste de nutrientes.

Já a partir do segundo dia de aeração, os valores de pH nos dois reatores estavam praticamente na mesma faixa, ou seja, em torno de 7,0, valor esse indicado por vários autores para o bom desenvolvimento de microorganismos responsáveis pela oxidação da matéria orgânica. Há que se notar também que não houve variações bruscas do pH durante o ensaio.

Note-se que por volta do 14º dia de aeração deve ter ocorrido rompimento de flocos.

### 5.4. Sistema Contínuo

As percentagens de remoção de DQO e DBO obtidas ao se atingir o regime permanente e mostradas na Tabela 4.6 são compatíveis àquelas que normalmente se esperaria de um sistema de

lodos ativados.

O tempo de aeração dos reatores 5, 6, 7 e 8 foram dobrados com a finalidade de se reduzir a relação F/M (relação alimento/microorganismo). Isso foi conseguido, com exceção do reator 7, possivelmente pelo fato de o teor de sólidos voláteis suspensos no tanque de aeração ter se reduzido sensivelmente. Não foi possível obter um valor crítico para o tempo de aeração, de tal modo que para valores acima dele, acréscimos no tempo de aeração conduzissem a reduções significativas do valor da relação F/M, por absoluta inadequabilidade dos equipamentos de laboratório disponíveis. A determinação dos parâmetros bioquímicos não ficou prejudicada, pois sabe-se que qualquer que seja a percentagem de remoção de DQO ou DBO obtidas ou o tempo de aeração adotado, os valores dos parâmetros bioquímicos permanecem inalterados.

A Tabela 4.8 mostra que mesmo os valores de F/M superiores a 0,6 conduziram a valores de IVL (índice volumétrico de lodo) que refletem lodos com boas condições de sedimentação, conflitando com a afirmação de RAMALHO [36] de que valores de F/M acima de 0,6 tem-se lodo intumescido e conseqüente má sedimentação. PAWLOWSKY [34] estudando resíduos formulados de lactínicos não encontrou relação entre F/M e IVL.

Ao se analisar as Tabelas 4.6 e 4.7 nota-se que aumentos nos valores das idades do lodo eram correspondidos por aumentos nas percentagens de remoção de DQO e DBO com exceção apenas dos reatores 3 e 7. Isso nos leva a crer que com o aumento da idade do lodo até um valor crítico há um aumento na percenta



gem de remoção de DBO e DQO.

Os valores de pH obtidos e mostrados na Tabela 4.6 estiveram entre 6,9 e 7,3. Em sistemas de lodos ativados a faixa ótima de pH está compreendida entre 6,5 e 8,5, portanto, o sistema em estudo esteve dentro da faixa considerada ótima.

Os parâmetros bioquímicos foram determinados em relação à DQO, por ser essa determinação sujeita a menores erros que a de DBO e também por ser mais rápida.

Compara-se na Tabela 5.1 os valores dos parâmetros obtidos para o resíduo de laticínios e os valores obtidos para outros resíduos, calculados em termos de DQO e DBO.

A relação  $b'/b = 1,42$  foi confirmada de acordo com o que foi exposto no item 2.8.6.

Tabela 5.1 - Comparação entre os valores dos parâmetros bioquímicos do resíduo de laticínios com os de outros resíduos:

Resíduo	k (L/mg dia)	a	a'	b (dia) <sup>-1</sup>	b' (dia) <sup>-1</sup>	Base	Fonte
Laticínios	0,0056	0,731	0,382	0,146	0,210	DQO	
Formulado de Laticínios	0,00287	0,84	0,18	0,16	0,02	DQO	PAWLOWSKY [34]
Químico e Petroquímico	0,029-0,018	0,31-0,72	0,31-0,76	0,05-0,18	-	DBO	ECKENFELDER [12]
Farmacêutico	0,074	0,77	0,35	0,10-0,16	-	DBO	ECKENFELDER [13]
Cervejaria	-	0,56	0,48	0,10	-	DBO	ECKENFELDER [12]
Refinaria	0,074	0,49-0,62	0,40-0,77	0,10-0,16	--	DBO	ECKENFELDER [12]
Esgoto Doméstico	0,017-0,03	0,73	0,52	0,075	-	DBO	ECKENFELDER [12]

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho, conclui-se que:

- a) As características dos resíduos de laticínios variam de acordo com tipo de operação que se processa no decorrer do período de trabalho da indústria, com os tipos de produtos que são processados e com as perdas de matéria-prima durante o processo industrial.
- b) Através do sistema descontínuo mostrou-se que o tratamento biológico é absolutamente viável para esse tipo de resíduo.
- c) No sistema descontínuo foram obtidas elevadas remoções de DBO e DQO, sempre acima de 90%.
- d) Os teores de nitrogênio e fósforo existentes no resíduo são suficientes para a estabilização aeróbia da matéria orgânica.
- e) No sistema descontínuo foram obtidas elevadas remoções de DBO e DQO, compatíveis com o sistema de lodos ativados. As percentagens de remoção ficaram compreendidas entre 81 e 96%.
- f) Não foi constatada relação entre o índice volumétrico de lodo e a relação alimento/microorganismo.

- g) Elevações dos valores das idades de lodo corresponderam a aumentos das percentagens de remoção de substrato.
- h) Os valores dos parâmetros bioquímicos para os resíduos de laticínios são:
- $a = 0,731$   
 $b = 0,146 \text{ dia}^{-1}$   
 $a' = 0,382$   
 $b' = 0,210 \text{ dia}^{-1}$   
 $k = 0,0056 \text{ ( L/mg dia)}$
- i) A relação estequiométrica entre os parâmetros  $b$  e  $b'$   $b'/b = 1,42$ , foi confirmada no presente trabalho.

Para futuras investigações, recomenda-se:

- a) Pesquisar o comportamento da célula de aeração para diferentes valores de concentração de substrato a fluente e suas implicações nas determinações dos parâmetros bioquímicos.
- b) Repetir o sistema contínuo, utilizando tempos de aeração superiores a 2 dias.
- c) Investigar uma gama maior de idades de lodo a fim de se determinar uma idade ótima, para a qual se obtenha a máxima percentagem de remoção de substrato.

- d) Determinar os parâmetros bioquímicos em um outro sistema, que seja constituído de um tanque de aeração e de um decantador independentes. Comparar os valores obtidos com os deste trabalho.
- e) Fazer análises microbiológicas em todas as fases do processo para investigação dos tipos de microorganismos e crescimento.
- f) Investigar a quantidade necessária de microorganismos aclimatados ao se iniciar a operação contínua do sistema de lodos ativados.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] ANDERSON, K.P. & POULSEN, P.R. - Investigations on the Treatment of dairy waster in septic Tanks, - 13<sup>th</sup> Dairy Congr., 1953.
- [2] BACKMEYER, D.P. - Sewage works J. 21 1076. Proc. 5<sup>th</sup> Ind. Waste Conf., Purdue Univ. 411 - 1949.
- [3] BÄLMER, P. et alii - Step Sludge - A New Approach to Waste Treatment - J.W.P.C.F. - 39(6) - 1021 - 1027, june 1967
- [4] BERNARDO, L. di - Ecologia do Processo de Lodos Ativados USP - São Carlos, São Paulo, novembro 1974.
- [5] BERNARDO, L. di - Processo de Lodos Ativados - EESC - USP São Carlos, SP.
- [6] BERNARDO, L. di - Determinação Experimental dos Parâmetros  $k$ ,  $a$ ,  $a'$ ,  $b$  e  $b'$  - EESC - USP - São Carlos, SP.
- [7] BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. - Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais - CETESB - 1979.
- [8] BRANCO, S.M. - Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária. São Paulo, CETESB, 1971.
- [9] Dairy Food and Waste Treatment Practices. Washington , U.S. Environmental Protection Agency, 1971 (Water Pollut. Control Research Series, 12.060 EGU 03/71).

- [10] DEWES, E. - Ber. abwassertech Verein. 12 1969 - 1960.
- [11] ECKENFELDER JR., W.W. - Manual of Treatment Processes - Environment Science Services Corporation, V-1, P.1-18 ( Water Resource Management Series).
- [12] ECKENFELDER JR., W.W. - Water Quality Engineering for Practicing Engineers - USA - Barnes & Noble - 1970.
- [13] ECKENFELDER JR., W.W. - Industrial Water Pollution Control New York, Mc Graw Hill Book Comp. 1966.
- [14] EL-BAROUDI, H.M. & MOAWAD, S.K. - J.WATER POLLUT. Control Fed - 39 - 1626 - 1967.
- [15] Embrapa - Relatório Tec. Anual do Centro Nac. de Pesquisa de Gado de Leite - 1981.
- [16] FIGUEIREDO, R.F. - Tratamento Biológico de águas Residuárias da Industrialização de Frutas Cítricas. EESC - USP, São Carlos, SP, 1977 (Dissertação de Mestrado).
- [17] FISHER, W.J. - Treatment and Disposal of Dairy Waste Waters - Water Pollut. Research Lab. Stevenage - England - 1968.
- [18] FORD, D.L. - Laboratory Methodology for Developing Biological Treatment Information - In: ECKENFELDER JR., W.W. et alii - Manual of Treat. Processes - Env. Sci, Services Corp. V-1 (Water Resource Management Series).
- [19] HESPANHOL, I. - Filosofia de Pesquisa da CETESB - Remoção de Nitrogênio e Fósforo. Tratamento Biológico de Resíduos de Laticínios - Rev. DAE - nº 114 - 1977.

- [20] HOOVER, S.R., and PORGES N. - Assimilation of DAIRY WASTES by Activated Sludge , II: The Equation of Synthesis and Oxygen utilization, Sewage Ind. Wastes, vol.24, 1952.
- [21] IMHOFF, K. - Manual de Tratamento de Águas Residuárias - São Paulo, Edgard Blücher, 1966.
- [22] JONES, H.R. - Pollution Control in the Dairy Industry - New Jersey, Noyes Data Corporation, 1974.
- [23] KÖSER, A. - Ber. abwassertech Verein 11-104 - 1960.
- [24] MARAIS, G.V.R. - The Activated Sludge Process at Long Sludge Ages - Research Report n. W.3, Cape Town, Univ. of Cape Town, march 1973.
- [25] MEINCK, F. & SCHLICHTING, H. - Gesundheits Ingenieur 71 180 - 1950.
- [26] METCALF & EDDY, Inc. - Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse - USA - Mc Graw Hill - 1979.
- [27] MCDOWALL, F.H.; THOMAS, R.H. - Disposal of Dairy Waste by Spray Irrigation on Pasture Land - N.Z. Pollut. Advis. Council - Publ. 8 - 1961.
- [28] MCKEE, F.J. - Proc. 10<sup>th</sup> Ind. Waste Conf. Purdue Univ. 514 1955.
- [29] MCKEE, F.J. - Sewage Ind. Wastes - 29-157 - 1957.
- [30] MCKINNEY, R.E. - Mathematics of Complete Mixing Activated Sludge - Journal of the Sanitary Engineering Division Proc. of the Am. Soc. of Civil Eng. - SA 3-87-113, may 1962.



- [31] MONOD, J. - Recherches sur la croissance des cultures bacteriennes - Herman et Cie., Paris, 1942.
- [32] MONOD, J. - The Growth of Bacterial Cultures, Ann. Rev. Microbiol, vol. III, 1949.
- [33] PARABRAHMAN, M.; LAKSHMINARYANA, J.S.S.; MOHANGRO, G.J. - Proc. of Symp. on Waste Treatment by Oxidation Ponds. Nagpur, India, 1963.
- [34] PAWLOWSKY, V. et alii - Aeração Prolongada de Despejo Formulado de Laticínio - IX Congresso Bras. de Eng. Sanitária - Belo Horizonte - 1977.
- [35] RAMALHO, R.S. - The Activated Sludge Process - Water Pollut. Control Eng.; COPPE\_UFRJ, Rio de Janeiro, Volume II, 1974.
- [36] RAMALHO, R.S. - Introduction to Wastewater Treatment Process - New York, Academic Press, 1977.
- [37] SANT'ANNA JR., G.L. - Estudo Cinético do Processo de Lodos Ativados. Rio de Janeiro, COPPE\_UFRJ, 1976 (Dissertação de Mestrado).
- [38] Serviço de Inspeção de Produtos de origem animal - SERPA-SP. Ministério da Agricultura - Boletim Estatístico - 1981.
- [39] SILVA, M.D.P.A. da - Análise Físico-Químicas para Controle das Estações de Tratamento de Esgotos. São Paulo, CETESB, 1977.

- [40] SLADKA, A. - Vod. Hospod - Water Pollut Abstr. - 39 - 1967 - 1965.
- [41] SOUTHGATE, B.A. - Dairy Industries 13.235 - Dairy Sci. Abstr. 16-427 - 1954.
- [42] SOUZA, F.A.S. de - A Regulamentação do Mercado do Fluido e a Transformação Tecnológica da Pecuária de Leite no Brasil Public. da Coordenadoria de Assuntos Econômicos do Ministério da Agricultura - Brasília - Agosto 1979.
- [43] SPAULDING, R.A. - Proc. 4<sup>th</sup> Ind. Waste Conf. Purdue Univ. 40-1948.
- [44] State of JERSEY SEWERAGE BOARD - Second Report on the Operation of the Bellozanne Waste Conversion and Sewerage Treatment Works - 1963.
- [45] STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER - American Public Health Association - 13<sup>th</sup> ed. - USA - 1971.
- [46] UHTE, W.R. - The Mathematics of Activated Sludge Control. Journal Water Pollut. Control Fed, 42(7):1293-1304, jul. 1970.
- [47] U.S. PUBLIC HEALTH SERVICE - An Industrial Waste Guide to the Milk Processing Industry - U.S. Publ. Health Service Publs. 298 - 1959.
- [48] WHEATLANT, A.B. - The Treatment of Effluents from the Milk Industry - Water Pollut. Research Lab. Stevenage Herts - 1967.

[49] WOOLINGS, N.D. - Municip. Util. 90(11) - 25 - 1952.

[50] YOUNG, J.C.; MCCARTY, P.L. - Proc. 23<sup>th</sup> Ind. Waste Conf.

Purdue Univ. - 1967.