

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS II - CAMPINA GRANDE-PB

**ASPECTOS DO FUNCIONAMENTO DE UMA ESTAÇÃO
DE TRATAMENTO DE LATICÍNIOS (CAMPINA GRANDE-PB)**

LÉDA MARIA MOTA LIMA

Campina Grande- PB

- Dezembro de 1997 -

**ASPECTOS DO FUNCIONAMENTO DE UMA ESTAÇÃO
DE TRATAMENTO DE LATICÍNIOS (CAMPINA GRANDE-PB)**

LÊDA MARIA MOTA LIMA

**ASPECTOS DO FUNCIONAMENTO DE UMA ESTAÇÃO
DE TRATAMENTO DE LATICÍNIOS (CAMPINA GRANDE-PB)**

Dissertação apresentada ao curso de
Mestrado em Engenharia Civil da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para a
obtenção do grau de mestre.

Área de concentração - Recursos Hídricos
Sub área de concentração - Engenharia Sanitária

Orientadores: Annemarie König
Beatriz Susana Ovruski Ceballos

Campina Grande- PB

- Dezembro de 1997 -

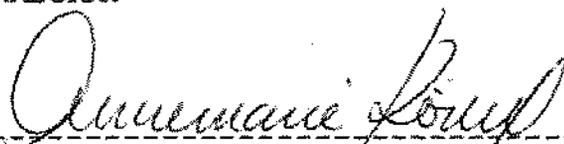


L732a	<p>Lima, Lêda Maria Mota. Aspectos do funcionamento de uma estação de tratamento de laticínios (Campina Grande - PB) / Lêda Maria Mota Lima. - Campina Grande, 1997. 118 f.</p> <p>Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1997. Referências. "Orientação : Profa. Dra. Annemarie Konig, Profa. Dra. Beatriz Susana Ovruski Ceballos".</p> <p>1. Estação de Tratamento - Laticínios. 2. Leite - Processamento. 3. Pasteurização - Leite. 4. Engenharia Sanitária. 5. Dissertação - Engenharia Civil. I. Konig, Annemarie. II. Ceballos, Beatriz Suzana Ovruski de. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU 628.1:637.1(043)</p>
-------	---

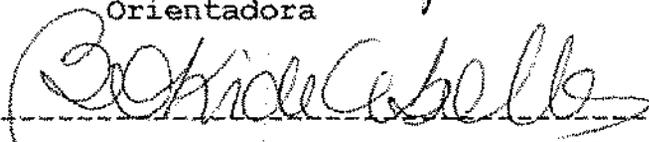
ASPECTOS DO FUNCIONAMENTO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE LATICÍNIOS (CAMPINA GRANDE - PB)

LÊDA MARIA MOTA LIMA

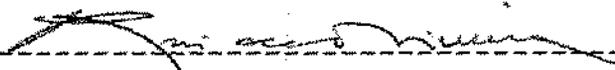
COMISSÃO EXAMINADORA:



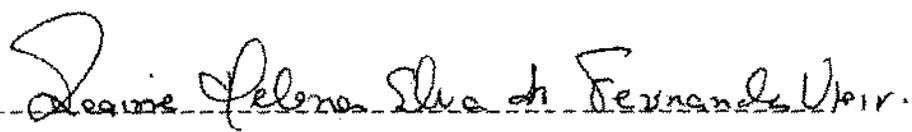
Prof. Dra. Annemarie König
Orientadora



Prof. Dra. Beatriz S. Ovruski de Ceballos
Orientadora



Prof. Dr. Rui de Oliveira
Examinador Interno



Prof. Dra. Regine Helena Silva dos Fernandes Vieira
Examinador Externo

Campina Grande - Paraíba
Dezembro de 1997

AGRADECIMENTOS

As professoras Annemarie König e Beatriz Susana Ovruski Ceballos pela orientação e apoio no desenvolvimento do trabalho.

Ao meu marido e filhos pela compreensão e estímulo.

Aos meus irmãos Lourivaldo Mota e Lindinalva Mota que, com paciência e dedicação, lançando mão, muitas vezes, de suas horas de lazer, colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus companheiros de mestrado.

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

Ao PICD-CAPES pelo apoio financeiro.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1. Conceito, Composição Química e Classificação do Leite ...	03
2.1.1. Conceito	03
2.1.2. Composição Química	03
2.1.3. Classificação do Leite	05
2.2. Microbiologia Típica do Leite	05
2.2.1. Bactérias Patogênicas no Leite	06
2.3. Processamento do Leite Cru	08
2.3.1. Pasteurização	08
2.3.2. Produtos Derivados do Processamento do Leite	09
2.3.3. Soro	10
2.4. Características dos efluentes de Laticínios	13
2.5. Sistemas de Tratamento para Águas Residuárias de Laticínios	16
2.5.1. Pré-tratamento e Tratamento Primário	18
2.5.2. Lodos Ativados	19
2.5.3. Filtros Biológicos	21
2.5.4. Filtro Biológico Anaeróbio de Fluxo Ascendente ..	22
2.5.5. Valos de Oxidação	22
2.5.6. Digestão Anaeróbia	23
2.5.7. Lagoas de Estabilização	25
2.6. Impactos Ambientais Provocados por Águas Residuárias de Indústrias de Laticínios	27

2.7. Objetivos	29
3. MATERIAS E MÉTODOS	31
3.1. Descrição do Sistema Experimental	31
3.2. Descrição da Empresa	31
3.3. Componentes do Sistema	33
3.4. Metodologia da Pesquisa	37
3.4.1. Dados Climatológicos	37
3.4.2. Descrição dos Trabalhos de Campo	37
3.5. Parâmetros Analisados e Métodos Analíticos	39
3.5.1. Parâmetros Físico-químicos	39
3.5.2. Parâmetros Microbiológicos	46
3.5.3. Análise de Dados	51
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	52
4.1. Definição das Épocas Climáticas Homogêneas	52
4.2. Monitoramento Sistemático	53
4.2.1. Características Físico-químicas	54
4.2.2. Características Microbiológicos	72
4.3. Estudos no Ciclo Diário	77
4.3.1. Características Físico-químicas	79
4.3.2. Características Microbiológicos	86
4.3.3. Análise de Correlação	101
5. CONCLUSÃO	110
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1 - Média percentual dos principais componentes do leite	04
2.2 - Fluxograma do processamento, origem e natureza dos despejos de indústrias de laticínios	11
2.3 - Efluentes contaminados e a cadeia alimentar	30
3.1 - Representação esquemática da ETE da ILCADA	32
4.1 - Ciclos anuais de precipitação pluviométrica para o município de Campina Grande-PB - Fonte: LRMS/PB	52
4.2 - Variações, no ciclo diário, da vazão no esgoto bruto afluente à ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, nas épocas de seca S ₁ (12/08 a 28/10/94) e S ₂ (30/11/95)	68
4.3 - Variações, no ciclo diário, da temperatura no esgoto bruto (a), efluente do tanque de equalização (b) e efluente final dos filtros anaeróbios (c) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, nas épocas de seca S ₁ (12/08 a 28/10/94) e S ₂ (30/11/95)	89
4.4 - Variações, no ciclo diário, do pH no esgoto bruto (a), efluente do tanque de equalização (b) e efluente final dos filtros anaeróbios (c) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, nas épocas de seca S ₁ (12/08 a 28/10/94) e S ₂ (30/11/95)	90
4.5 - Variações, no ciclo diário, do Oxigênio Dissolvido no esgoto bruto (a), efluente do tanque de equalização (b) e efluente final dos filtros anaeróbios (c) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, nas épocas de seca S ₁ (12/08 a 28/10/94) e S ₂ (30/11/95)	91

4.6 - Variações, no ciclo diário, da DBO ₅ no esgoto bruto (a), efluente do tanque de equalização (b) e efluente final dos filtros anaeróbios (c) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, nas épocas de seca S ₁ (19/08 a 28/10/94) e S ₂ (30/11/95) ..	92
4.7 - Variações, no ciclo diário, da DQO no esgoto bruto (a), efluente do tanque de equalização (b) e efluente final dos filtros anaeróbios (c) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, nas épocas de seca S ₁ (14/08 a 28/10/94) e S ₂ (30/11/95)	93
4.8 - Variações, no ciclo diário, de Fósforo Total no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na época de seca S ₂ (30/11/95)	94
4.9 - Variações, no ciclo diário, de Ortofosfato Solúvel no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na época de seca S ₂ (30/11/95)	94
4.10 - Variações, no ciclo diário, de Amônia no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na época de seca S ₂ (30/11/95)	95
4.11 - Variações, no ciclo diário, de Sólidos Sedimentáveis no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na época de seca S ₂ (30/11/95)	95
4.12 - Variações, no ciclo diário, dos Sólidos Totais no esgoto bruto (a), no efluente do tanque de equalização (b) e efluente final dos filtros anaeróbios (c) da ETE da ILCASA - Campina Grande-	

	PB, nas épocas secas S ₁ (19/08 a 23/09/94) e S ₂ (30/11/95)	96
4.13	- Variações, no ciclo diário, dos Sólidos Totais Fixos no esgoto bruto (a), no efluente do tanque de equalização (b) e no efluente final dos filtros anaeróbios (c) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, nas épocas secas S ₁ (19/08 a 23/09/94) e S ₂ (30/11/95)	97
4.14	- Variações, no ciclo diário, dos Sólidos Totais Voláteis no esgoto bruto (a), no efluente do tanque de equalização (b) e no efluente final dos filtros anaeróbios (c) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, nas épocas secas S ₁ (19/08 a 23/09/94) e S ₂ (30/11/95)	98
4.15	- Variações, no ciclo diário, dos Sólidos Suspensos Totais (a), Fixos (b) e Voláteis (c) no esgoto bruto (Bet 1), no efluente do tanque de equalização (Bet 2) e no efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3), da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na época de seca S ₂ (30/11/95)	99
4.16	- Variações, no ciclo diário, do logaritmo do número de Coliformes Fecais no esgoto bruto (Bet 1), no efluente do tanque de equalização (Bet 2) e no efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3), da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na época de seca S ₂ (30/11/95)	100
4.18	- Variações, no ciclo diário, do logaritmo do número de Estreptococos Fecais no esgoto bruto (Bet 1), no efluente do tanque de equalização (Bet 2) e no efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3), da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na época de seca S ₂ (30/11/95)	100

ÍNDICE DE TABELAS

2.1 - Padrões microbiológicos do Ministério da Saúde para o leite no comércio varejista	05
2.2 - Doenças gastrointestinais associadas com o leite bruto e seus derivados contaminados com bactérias patogênicas	07
2.3 - Composição média do leite e subprodutos (em 100g) ...	10
2.4 - Quantidades médias de material poluente nos despejos de diversas operações de indústrias de laticínios	14
2.5 - Valores citados em literatura para DBO de vários produtos de laticínios.....	15
2.6 - Valores de literatura para DBO, sólidos e pH de despejos de laticínios	17
2.7 - Características das principais variáveis do processo de lodos ativados para o tratamento de despejos de laticínios	20
2.8 - Dados de operação do reator UASB dos laticínios A e B	24
3.1. - Características físicas e operacionais do tanque de equalização e do sistema de filtros.....	37
4.1 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de vazões afluentes à ETE da ILCASA, no monitoramento de rotina, entre 1994 e 1996.....	53
4.2 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de temperaturas no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE	

	da ILCASA - Campina Grande-PB, em S ₁ (08 a 12/94), S ₂ (08 a 12/95) e C ₁ (02 a 06/96)	55
4.3	- Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de pH no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S ₁ (08 a 12/94), S ₂ (08 a 12/95) e C ₁ (02 a 06/96)	57
4.4	- Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de OD no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S ₁ (08 a 12/94), S ₂ (08 a 12/95) e C ₁ (02 a 06/96)	58
4.5	- Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de DBO ₅ no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S ₁ (08 a 12/94), S ₂ (08 a 12/95) e C ₁ (02 a 06/96)	60
4.6	- Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de DQO no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S ₁ (08 a 12/94), S ₂ (08 a 12/95) e C ₁ (02 a 06/96)	62
4.7	- Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de PT no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S ₂ (08 a 12/95) e C ₁ (02 a 06/96) .	64
4.8	- Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de Ortofosfato Solúvel no esgoto bruto (Bet	

	1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S ₂ (08 a 12/95) e C ₁ (02 a 06/96)	64
4.9	- Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de Amônia no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S ₂ (08 a 12/95) e C ₁ (02 a 06/96)	65
4.10	- Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de Sólidos Sedimentáveis no efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S ₂ (08 a 12/95) e C ₁ (02 a 06/96)	67
4.11	- Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de ST no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S ₁ (08 a 12/94), S ₂ (08 a 12/95) e C ₁ (02 a 06/96)	69
4.12	- Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de STF no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S ₁ (08 a 12/94), S ₂ (08 a 12/95) e C ₁ (02 a 06/96)	69
4.13	- Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de Sólidos Totais Voláteis no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S ₁ (08 a 12/94), S ₂ (08 a 12/95) e C ₁ (02 a 06/96)	70

- 4.14 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de Sólidos Suspensos Totais no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96) 71
- 4.15 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de Sólidos Suspensos Fixos no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96) 72
- 4.16 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de Sólidos Suspensos Voláteis no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96) 72
- 4.17 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral do número de Coliformes Fecais no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96) 74
- 4.18 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral do número de Estreptococos Fecais no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96) 75
- 4.19 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral do número de Bactérias Heterótrofas Mesófilas no esgoto bruto (Bet 1), efluente do

tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S ₂ (08 a 12/95) e C ₁ (02 a 06/96)	77
4.20 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral do número de Fungos Totais no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S ₂ (08 a 12/95)	77
4.21a - Matriz de correlação de Pearson entre parâmetros físico-químicos e microbiológicos do esgoto bruto (Bet 1) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na 2ª época de seca (S ₂)	104
4.21b - Matriz de correlação de Pearson entre parâmetros físico-químicos e microbiológicos do efluente do tanque de equalização da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na 2ª época de seca (S ₂)	105
4.21c - Matriz de correlação de Pearson entre parâmetros físico-químicos e microbiológicos do efluente final dos filtros anaeróbio (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na 2ª época de seca (S ₂)	106
4.22a - Matriz de correlação de Pearson entre parâmetros físico-químicos e microbiológicos do esgoto bruto (Bet 1) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na época de chuva (C ₁)	107
4.22b - Matriz de correlação de Pearson entre parâmetros físico-químicos e microbiológicos do efluente do tanque de equalização da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na época de chuva (C ₁)	108
4.22c - Matriz de correlação de Pearson entre parâmetros físico-químicos e microbiológicos do efluente final dos filtros anaeróbio (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na época de chuva (C ₁)	109

LISTA DE ABREVIACÕES

Bet 1 - esgoto bruto

Bet 2 - efluente do tanque de equalização

Bet 3 - efluente final dos filtros anaeróbios

ETE - estação de tratamento de esgoto

Q - vazão

pH - potencial hidrogeniônico

OD - oxigênio dissolvido

DBO₅ - demanda bioquímica de oxigênio

DQO - demanda química de oxigênio

PT - fósforo total

P-solúvel - ortofosfato solúvel

S. Sed. - sólidos sedimentáveis

ST - sólidos totais

STF - sólidos totais fixos

STV - sólidos totais voláteis

SST - sólidos suspensos totais

SSF - sólidos suspensos fixos

SSV - sólidos suspensos voláteis

SSTA - sólidos suspensos no tanque de aeração

SSVTA - sólidos suspensos voláteis no tanque de aeração

CF - coliformes fecais

EF - estreptococos fecais

BHM - bactérias heterótrofas mesófilas

ET - fungos totais

Tx - taxa

S₁ - 1ª época de seca

S₂ - 2ª época de seca

C₁ - época de chuva

méd - média

medn - mediana

min - mínimo

máx - máximo

n - tamanho amostral

ABSTRACT

This work aimed the evaluation of a dairy industry sewage treatment plant in Campina Grande City - PB (7°13'11" S, 35°52'31"W, 550 m above mean sea level) Paraíba State, Northeast Brazil. The experimental system comprised a pre treatment unit (screening, grit removal, weir, skimming) followed by secondary treatment (equalizing tank with a mechanical aerator) and a series of upflow anaerobic filters.

Samples of raw sewage (Bet₁), equalizing tank (Bet₂) and anaerobic filters (Bet₃) were taken weekly and further biweekly between 8 and 9 am from October to December 1994 (1st experiment) and from October 1995 to July 1996 (2nd experiment). Diurnal studies were also carried out. Samples were analysed for physico-chemical (temperature, pH, conductivity, BOD, COD, ammonia, total phosphorus, soluble orthophosphate, suspended and total solids and fractions) and microbiological parameters (fecal coliforms, streptococci, E. coli) following APHA recommendations.

Sewage treatment plant produced a final effluent with pH near to neutral, medium strength BOD₅ (139-306 mg/L) and suspended solids (326-443 mg/L) and high concentration of fecal coliforms (10⁵ - 10⁶ CFU/100 mL), similar to raw domestic sewage. Final effluent concentrations of phosphorus and nitrogen were also high with mean values ranging from 8,0 to 9,6 mgP/L (total phosphorus), from 5,4 to 6,1 mgP/L (soluble orthophosphate) and 15,5 to 20,2 mgN/L (ammonia).

The final effluent with nutrient content should not be introduced in superficial water bodies because of

eutrophication problems. In semi-arid regions this water source should be used in agriculture under controlled reuse schemes for protein production but mainly for preventing surface water pollution.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a avaliação do funcionamento da estação de tratamento dos efluentes produzidos pela ILCASA (Indústria de Laticínios de Campina Grande S/A), que está localizada na rodovia BR 230, km 116, Distrito de Santa Terezinha - Campina Grande (7°13'11"S, 35°52'31"O, 550 m acima do nível do mar), Estado da Paraíba, nordeste do Brasil.

O sistema experimental investigado denominado de ETE da ILCASA, é constituído por uma unidade de tratamento preliminar, composta de grade de barras, caixa de areia, vertedor e separador de óleos e graxas; seguida de uma unidade para o tratamento secundário, a qual contém um tanque de equalização com aerador de superfície e um sistema de filtros anaeróbios de fluxo ascendente em série.

As coletas das amostras do esgoto bruto (Bet 1), tanque de equalização (Bet 2) e filtros anaeróbios (Bet 3), foram realizadas inicialmente com freqüência semanal e posteriormente quinzenal, entre 8 e 9 horas da manhã, no período de outubro a dezembro de 1994 (1° experimento) e de outubro de 1995 a junho de 1996 (2° experimento). Foram também realizados estudos ao longo do ciclo diário com 12 horas de duração e coletas de amostras a cada 3 horas. Ao longo do período experimental foram investigados parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

O efluente final da ETE da ILCASA caracterizou-se pelo pH próximo ao neutro concentrações médias de DBO₅ (139-306 mg/L), de sólidos suspensos (326-443 mg/L) e altas de coliformes fecais (10⁵ -10⁶ UFC/100mL). As concentrações de fósforo e nitrogênio do efluente final também foram

elevadas, com valores médios entre 8,0 e 9,6 mgP/L para fósforo total, entre 5,4 e 6,1 mgP/L para ortofosfato solúvel e entre 15,5 e 20,2 mgN/L para amônia. Esses valores elevados de nutrientes eutrofizantes torna estas águas residuárias atrativas ao reuso agrícola controlado, em regiões semi-áridas, contribuindo para a solução do problema da escassez de água, além de garantir a produção de proteína vegetal e de reduzir a poluição das águas superficiais.

1 - INTRODUÇÃO

A produção de alimentos é um processo integrado e complexo, que envolve coleta, transporte, processamento, distribuição e manipulação. O uso da água nestas diversas atividades, gera grande quantidade de efluentes líquidos que necessitam ser tratados antes do seu lançamento em corpos receptores.

Dentre as indústrias alimentícias, a contribuição de indústrias de laticínios, em termos de poluição dos corpos receptores, é por demais, significativa, tendo em vista que o beneficiamento do leite gera uma carga poluidora extremamente rica em elementos orgânicos, resultantes das várias etapas do processo desde a lavagem dos galões receptores do leite até as instalações da indústria.

O volume de despejos de laticínios (excluídas as águas de resfriamento) está na faixa de 1,0 a 1,5 vezes o volume do leite trabalhado e depende do produto final (leite tipo C, manteiga, iogurte, queijo e doce de leite), da eficiência de uso e da extensão de qualquer reuso da água (Hemmings, 1980 citado por Lage Filho, 1986). Estes despejos consistem basicamente de resíduos de produção e são caracterizados pelo elevado teor de matéria orgânica, desinfetantes, detergentes, lubrificantes (Braille & Cavalcanti, 1993) e pela eventual presença de organismos patogênicos. Estes últimos, podem ter como origem: a mistura dos esgotos industriais com esgotos procedentes de despejos sanitários; o próprio leite cru de animais doentes ou contaminados durante a ordenha e que resistem à pasteurização.

Dentre os microrganismos resistentes ao tratamento térmico se destacam numerosos *Bacillus* spp, *Micobacterium*

bovis, *M. tuberculosis*, *Clostridium perfringens*, *Campylobacter* spp, *Staphylococcus* spp e *Streptococcus* spp, além de esporos de fungos, entre outros.

Devido às características essencialmente orgânicas destes despejos, o efluente final pode também conter elevadas concentrações de nutrientes. O lançamento de efluentes contendo níveis indesejáveis de nitrogênio e fósforo em corpos receptores pode causar eutrofização e degradação acelerada dos mesmos, restringindo os usos da água.

Por outro lado, a utilização destas águas de qualidade inferior, embora com elevado potencial fertilizante, em atividades menos exigentes, como reuso agrícola controlado, contribuiria para a solução do problema da escassez de água em regiões semi-áridas, garantindo a produção de proteína vegetal, além de reduzir a poluição das águas superficiais.

Com base nos dados levantados foram avaliadas a vazão afluente para determinar a carga orgânica aplicada à estação, bem como as características físico-químicas e microbiológicas do afluente e dos efluentes dos diferentes unidades constituintes da ETE.

Para os resultados finais foram avaliadas as eficiências das unidades da ETE da ILCASA na remoção de DBO_5 (20°C), DQO, Sólidos (Totais e Suspensos), Fósforo Total, Ortofosfato Solúvel, além de Coliformes Fecais, Estreptococos Fecais, Bactérias Heterótrofas Mesófilas e Fungos Totais.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Conceito, Composição Química e Classificação do Leite

2.1.1 - Conceito

O leite é uma emulsão de glóbulos graxos, estabilizada por substâncias albuminóides num soro que contém em solução açúcar (lactose), matérias protéicas, sais minerais e orgânicos e pequena quantidade de vários produtos como lecitina, uréia, aminoácidos, ácido cítrico, ácido láctico, ácido acético, álcool, lactocromo, vitaminas e enzimas (Behmer, 1987).

2.1.2 - Composição Química

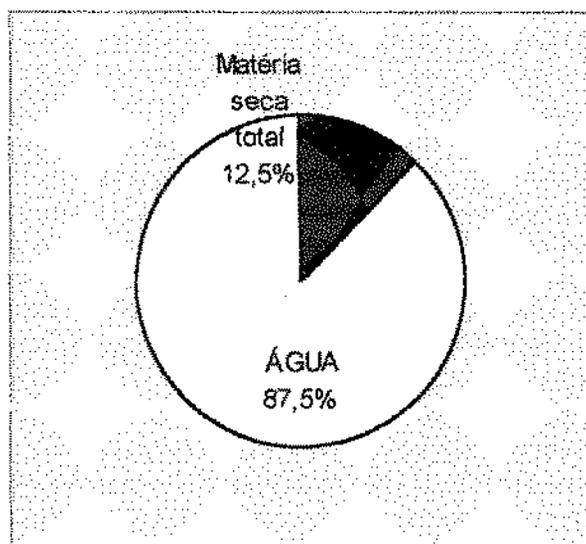
A composição química do leite é variável, dependendo de fatores como: raça do gado leiteiro, estágio da lactação, intervalo entre ordenhas, estação do ano e pastagens. Do ponto de vista econômico, a composição do leite pode afetar a produção, pois dela depende a viabilidade da transformação deste em produtos tradicionais como manteiga, queijo, leite em pó, etc. (Leite Junior, 1993).

A composição percentual dos principais componentes do leite é apresentada na Figura 2.1.

Os compostos protéicos, junto com a matéria gordurosa formam a base das propriedades nutritivas do leite. Atualmente, admite-se que esta contém pelo menos quatro compostos: caseína, lactoalbumina, lactoglobulina e aposolina (Lage Filho, 1986).

A matéria gordurosa do leite é formada de glóbulos de diversos tamanhos que se encontram em suspensão no líquido,

dando-lhe aspecto emulsivo e opaco (Behmer, 1980). Segundo Lage Filho (1986), é um composto de triglicerídeos, alguns derivados de ácidos orgânicos fixos (93%), outros de ácidos orgânicos voláteis e ésteres de baixo peso molecular (7%).



- Água 87,5% (875 por mil)
- Matéria gorda 3,6%
- Caseína 3,0%
- Albumina 0,6%
- Lactose (açúcar) 4,6%
- Sais minerais (cinzas) 0,7% 100%

Figura 2.1 - Média percentual dos principais componentes do leite (Fonte: Behmer, 1987)

Dentre os hidratos de carbono, a lactose é encontrada em maior percentagem. A sua transformação em ácido láctico, pela ação de microrganismos, causa a precipitação da caseína (Behmer, 1987).

Os sais entram em pequena percentagem (0,7%) na composição do leite. Os principais são os fosfatos de cálcio, de sódio e de magnésio, os cloretos de sódio e de potássio e fluoretos de cálcio (CETESB, 1977).

As principais vitaminas encontradas no leite são: A, B, C, D e B₂, que podem ser destruídas durante o tratamento térmico, diminuindo assim o seu valor nutritivo (Braile & Cavalcanti, 1979).

2.1.3 - Classificação do Leite

A classificação do leite é estabelecida de acordo com regulamentos pertinentes à produção, ao processamento e à distribuição (saneamento, pasteurização e condições de manutenção), assim como os padrões microbiológicos (Pelczar *et alii*, 1981). No Brasil, o leite pasteurizado é classificado em três qualidades denominadas A, B, e C.

Os padrões microbiológicos para o leite posto à venda no mercado consumidor são definidos pelo Ministério da Saúde (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Padrões microbiológicos do Ministério da Saúde para o leite no comércio varejista (Portaria nº 01 - DINAL/MS de 28/01/87).

PRODUTO	SALMONELAS (ausência em)	COLIFORMES TOTAIS (NMP)	COLIFORMES FECAIS (máx)	CONTAGEM PADRÃO (UFC/ml)
Leite A	25 ml	1/ml	ausente	2.000
Leite B	25 ml	4/ml	1/ml	80.000
Leite C	25 ml	10/ml	2/ml	300.000

Fonte: Brandão (1995).

2.2 - Microbiologia Típica do Leite

Tratando-se de um alimento natural e completo, rico em nutrientes e com um pH próximo do neutro, o leite constitui um excelente substrato para muitos microrganismos

patogênicos oportunistas (Vasavada, 1988). O leite já contém microrganismos no momento em que é tirado da vaca e pode ser ulteriormente contaminado durante o manuseio e processamento (Pelczar *et alii*, 1981). Segundo os mesmos autores, desde o momento em que o leite deixa o úbere do animal até aquele em que é colocado em recipientes, todo e qualquer contato com o mesmo representa uma fonte potencial de microrganismos. Contudo a fonte de contaminação mais importante é o interior do equipamento que entra em contato com o leite. As máquinas de ordenha, as latas de leite, as canalizações, os tanques e outros equipamentos se não são adequadamente limpos e sanitizados por meio de agentes físicos e/ou químicos, podem ser fontes de séria contaminação.

Os tipos de microrganismos encontrados no leite são cocos e bacilos produtores de ácidos, coliformes, termodúricos, e esporos, entre outros (Brandão, 1995).

As bactérias mais importantes e que compõem a microbiota típica do leite pertencem às ordens Eubacteriales e Pseudomonales, sendo as principais famílias: Lactobacteriaceae, Micrococaceae, Enterobacteriaceae, Achromobacteriaceae, Pseudomonaceae e Bacillaceae (Kailasaphathy & Wijayakanthan, 1987 citados por Leite Júnior, 1993).

2.2.1 - Bactérias Patogênicas no Leite

O abastecimento ao consumidor, do leite isento de riscos para a saúde pública, tem percorrido caminhos tortuosos. Epidemias e outras doenças envolvendo o leite e seus derivados são descritas há muitos séculos. Em 1599, na cidade de Viena, na Áustria, foi proibida a venda de leite,

manteiga e queijos para conter uma epidemia que, acreditava-se, ter-se originado a partir destes produtos (Brandão, 1995). Doenças como tuberculose, provocada pelo *Micobacterium tuberculosis*, febre tifóide, causada pela *Salmonella typhi*, a difteria, cujo agente é o *Corynebacterium diphytheriae*, são comumente espalhadas através do leite (Teuber, 1992 citado por Ajzental, 1994). Também o *Staphylococcus aureus* pode estar presente e multiplicar-se no leite, podendo produzir intoxicações alimentares (Vasavada, 1988).

Vários surtos epidêmicos de doenças gastrointestinais associadas com o leite e seus subprodutos contaminados com bactérias patogênicas são reportadas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Doenças gastrointestinais associadas com o leite bruto e seus derivados contaminados com bactérias patogênicas.

ANO	ESTADO	PATÓGENO
1980	Montana	<u>Salmonella typhimurium</u>
1980	Vermont	<u>S. derby</u>
1981	Washington	<u>S. dublin</u>
1981	Arizona	<u>Campylobacter jejuni</u>
	Michigan	<u>Campylobacter jejuni</u>
	Minnesota	<u>C. jejuni, Salmonella</u>
	Oregon	<u>C. jejuni, Salmonella</u>
	Kansas	<u>C. jejuni, Salmonella</u>
1982	Wisconsin	<u>C. jejuni</u>
1983	Pennsylvania	<u>C. jejuni</u>
1984	California	<u>C. jejuni</u>

Fonte: Vasavada (1988)

2.3 - Processamento do Leite Cru

A tecnologia moderna oferece vários recursos para eliminar ou reduzir microrganismos indesejáveis do leite cru (Ajzental, 1994). São empregados processos térmicos, frios ou quentes. Pelo frio, visa-se inibir a multiplicação bacteriana, enquanto que pelo calor, visa-se matar os microrganismos (Behmer, 1987).

Entre as diferentes opções para eliminar microrganismos ou reduzir seu número destacam-se esterilização, ultrafiltração, ultrapasteurização, aditivos (nisina, nitrato, primaricina) e estocagem a baixas temperaturas (Ajzental, 1994). Segundo o mesmo autor, tais tratamentos podem variar conforme os diferentes valores do binômio tempo-temperatura, para aumentar a vida-de-prateleira do produto, sua estabilidade e as condições de envazamento e estocagem. Estes processos só serão efetivos em condições sanitárias adequadas e com equipamentos próprios para esta finalidade.

2.3.1 - Pasteurização

"Pasteurização é o processo de tratamento térmico aplicado a um produto com o objetivo de minimizar possíveis perigos à saúde, oriundos de microrganismos patogênicos associados com o leite com o mínimo de mudanças químicas, físicas e organolépticas no produto" (IDF, 1994).

A função principal do processo da pasteurização é destruir os microrganismos patogênicos que podem estar associados com o alimento e poderiam ter significado em saúde pública (Behmer, 1987).

Teuber (1992) citado por Ajzental (1994), afirma que a pasteurização origina produtos lácteos livres de microrganismos patogênicos como: *Salmonella* spp, *Campylobacter*

spp, *Staphylococcus* spp, *Yersinia* spp, *Streptococcus* spp, *Shigella* spp, *Escherichia* spp e *Pseudomonas* spp, desde que as tecnologias envolvidas para o processamento sejam rigorosamente cumpridas.

A pasteurização pode se realizar em tempo longo e baixa temperatura (LTH) ou em tempo curto e alta temperatura (HTST) (Behmer, 1987; Pelczar et alii, 1981). O processo LTH a 62,8°C, durante 30 minutos e o HTST expõe o leite a 71,7°C, durante 15 segundos (Pelczar et alii, 1981). A pasteurização deve ser conduzida de modo que elimine a maioria dos microrganismos contidos no leite, com um mínimo de alteração em sua composição (Behmer, 1987). Segundo o mesmo autor, quando a pasteurização é eficiente (temperatura e tempo adequados), os microrganismos são destruídos em 99,98%.

No Brasil é mais frequente utilizar a temperatura de 75°C, durante 16 segundos, para a pasteurização do leite de consumo e de 72°C para a pasteurização de leite para a fabricação de queijos (Brandão, 1995).

2.3.2 - Produtos Derivados do Processamento do Leite

As operações unitárias empregadas na fabricação do leite pasteurizado e de seus subprodutos são essencialmente iguais em todo o mundo. As diferenças existentes se referem à composição de diversos produtos finais (teores de gordura) e à diversidade dos produtos fabricados (Lage Filho, 1986).

Na Tabela 2.3 é apresentada a composição média do leite e de vários de seus subprodutos.

A Figura 2.2 mostra as diferentes fases operacionais do processamento do leite para obtenção dos principais produtos.

Tabela 2.3 - Composição média do leite e subprodutos (em 100g).

Produto	Gord. (g)	Protéf. (g)	Lactose (g)	Ácido Láctico	Sólidos Orgân. Totais	Ca (mg)	P (mg)	Cl (mg)	Ingredientes Orgânicos Adicionados
Leite desnatado	0,08	3,5	5,0	-	8,56	121	95	100	-
Leite integral	3,0	3,5	4,9	-	13,1	118	93	102	-
Creme grosso	40,0	2,2	3,1	-	45,3	75	59	38	-
Leite c/ chocolate	3,5	3,4	5,0	-	18,5	111	94	100	sacarose 6% chocol. sólido 1%
Manteiga batida	0,3	3,0	4,6	0,1	8,0	121	95	103	-
iogurte	3,0	3,5	4,0	1,1	10,5	143	112	105	frutas, aromas
Leite condensado	8	7,0	9,7	-	27,0	757	205	210	-
Sorvete	10,0	4,5	6,8	-	41,3	146	115	104	açúcar, 15%
Soro (fresco)	0,3	0,9	4,9	0,2	6,3	51	53	95	-
Soro de requeijão (ácido)	0,08	0,9	4,4	0,7	6,1	96	76	95	-

Fonte: Braile & Cavalcanti (1993).

2.3.3 - Soro

O soro oriundo da fabricação de queijo e manteiga apresenta uma composição com elevada concentração de material orgânico e deficiência de nitrogênio. Isto constitui um dos maiores problemas para o sistema de tratamento dos resíduos líquidos das indústrias de laticínios (Braile & Cavalcanti, 1993). O soro separado pode ser utilizado para a fabricação de ração animal ou por indústrias que processem esse produto, para obtenção de proteína animal (Lage Filho, 1986). Os principais processos utilizados na disposição adequada e reaproveitamento do soro são: alimentação de animais (principalmente suínos), concentração e secagem, fermentação, osmose reversa, ultrafiltração, produção de lactose e proteínas (Braile & Cavalcanti, 1993).

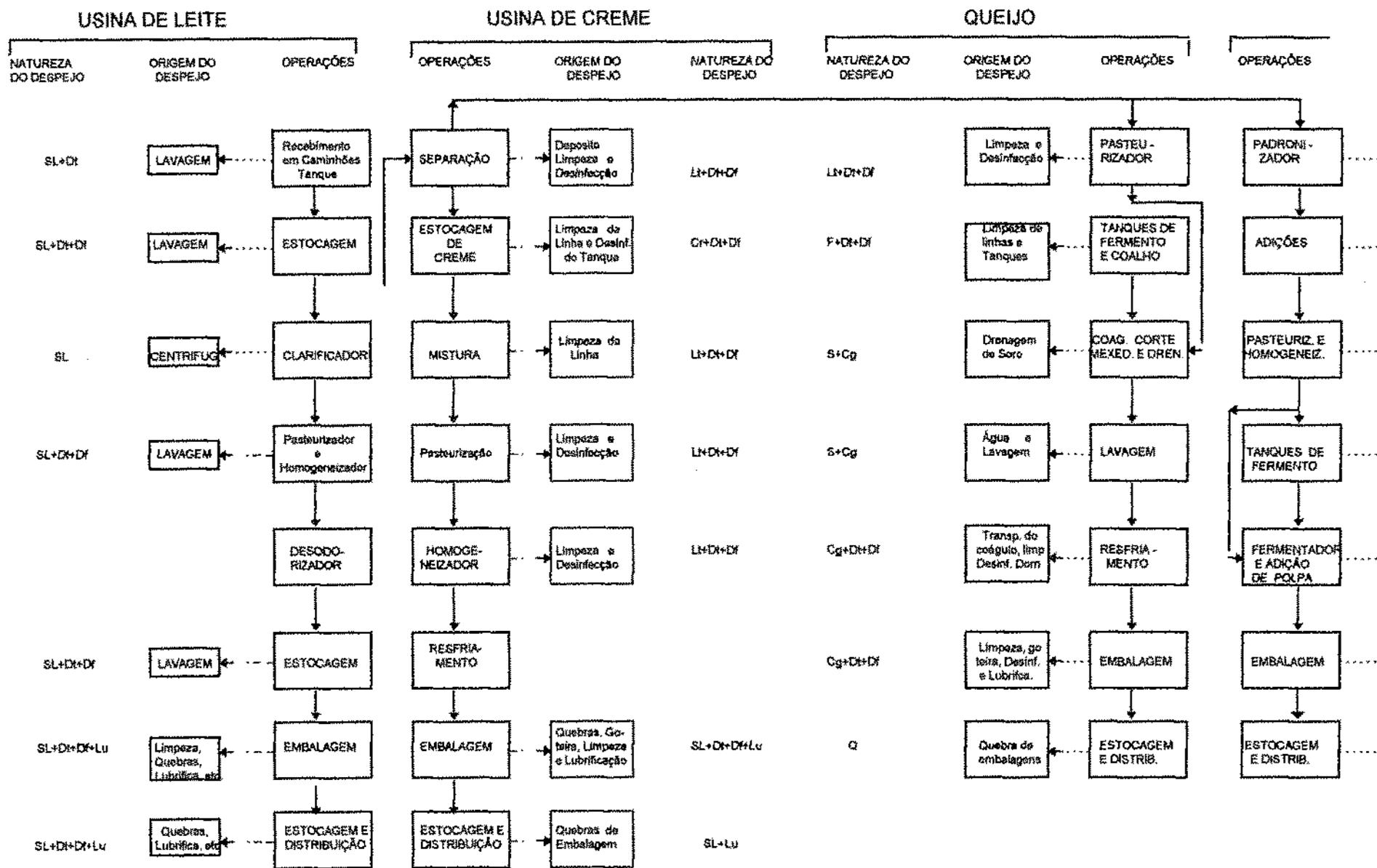


Figura 2.1 - Fluxograma do processamento, origem e natureza dos despejos de indústrias de laticínios. Fonte: Braille & Cavalcanti, 1993.

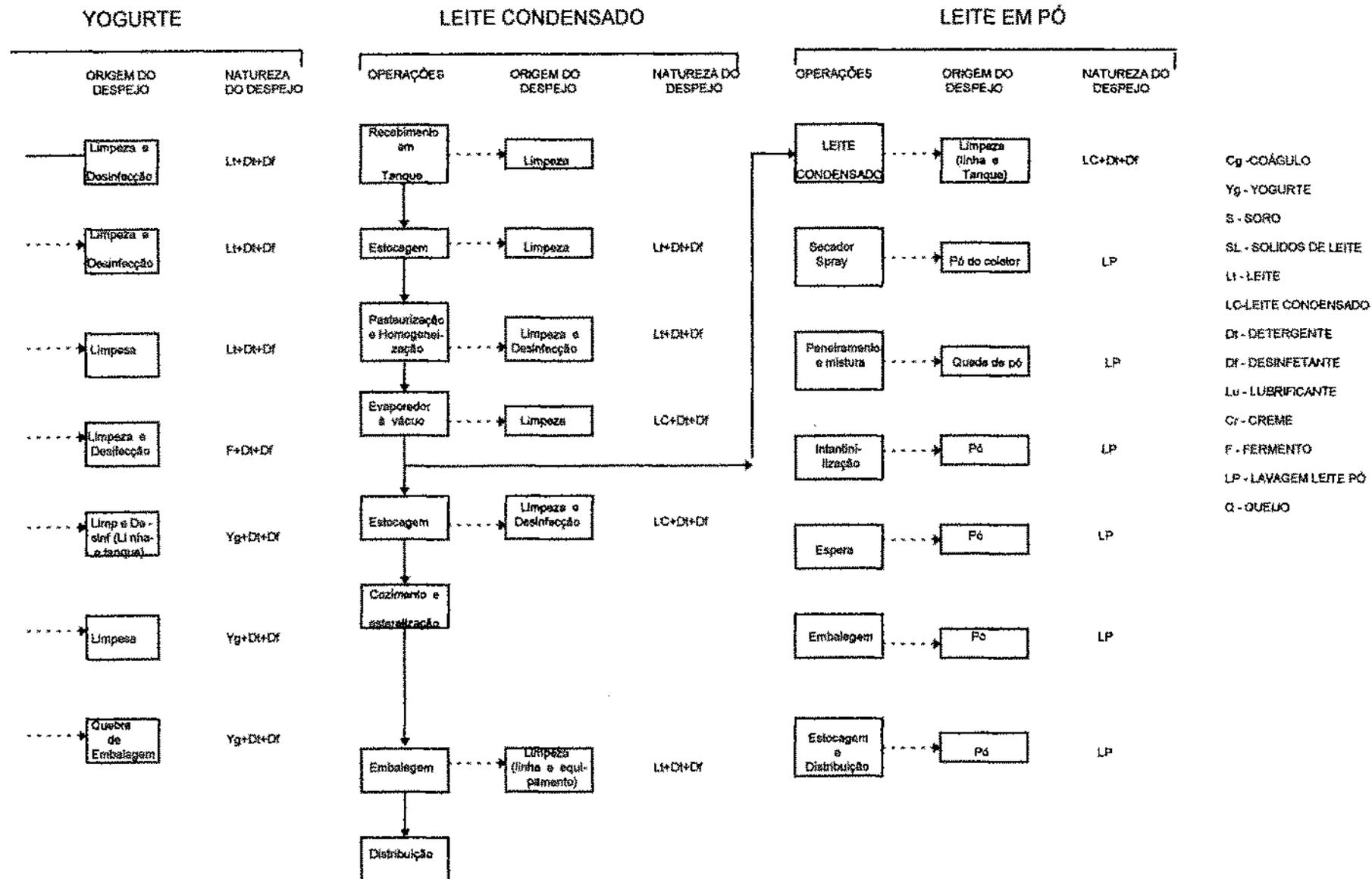


Figura 2.1 - Fluxograma do processamento, origem e natureza dos despejos de indústrias de laticínios. Fonte: Braille & Cavalcanti, 1993.

2.4 - Características dos Efluentes de Laticínios

As águas residuárias das indústrias de laticínios consistem de quantidades variáveis de leite diluído, materiais sólidos flutuantes (principalmente graxas), detergentes, desinfetantes, lubrificantes e esgoto doméstico (Braile & Cavalcanti, 1993). Estas águas são geralmente neutras ou um pouco alcalinas, com a tendência a tornarem-se ácidas rapidamente, devido à fermentação da lactose (Peirano, 1995).

O volume e a carga poluente destas águas residuárias variam bastante, dependendo do tipo de processo de operação, da água utilizada e do controle exercido sobre as várias descargas de resíduos (Lage Filho, 1986). Segundo Gurnham (1965), o volume de tais águas depende principalmente da disponibilidade de água pela indústria e da cautela exercida no seu gerenciamento e conservação.

As principais fontes de despejos de laticínios e produtos derivados, segundo Peirano (1995), são as seguintes:

- lavagem e limpeza de produtos remanescentes dos equipamentos da produção;
- derrames devidos a vazamentos, operação deficiente de equipamentos e transbordamentos de unidades;
- perdas do processo durante as operações de equipamentos;
- descarte de subprodutos como soro e produtos rejeitados;
- soluções utilizadas na desinfecção de equipamentos;
- arraste de lubrificantes durante as operações de limpeza de equipamentos;

Na Tabela 2.4, são apresentadas as quantidades médias desse material poluente.

Tabela 2.4 - Quantidades médias de material poluente nos despejos de diversas operações de indústrias de laticínios.

OPERAÇÕES	KgDBO ₅ /m ³ de leite processado
- Recepção do leite, lavagem dos tanques, limpeza geral	0,26
- Resfriamento do leite cru, armazenagem, lavagem dos tanques e tubulações	0,19
- Desnatamento, armazenagem do leite desnatado e de creme, e pasteurização do creme	0,66
- Batimento e lavagem da manteiga	0,46
- Evaporação do leite desnatado a um alto valor de sólidos totais e secagem por spray	0,74
- Secagem por secador rotativo (roleles aquecidos)	0,53
- Pasteurização do leite e estocagem, engarrafamento do leite e lavagem das garrafas	0,85
- Queijaria (forte prensagem)	0,89
- Condensação do soro não-fresco (para alto teor de sólidos totais)	
1 - Condensado	0,75
2 - Lavagem da fábrica	0,60
- Condensação: leite condensado separado adoçado	1,40
- Creme de leite evaporado	0,75

Fonte: Borne (1974) citado por Lage Filho (1986).

As cargas poluentes dos despejos de laticínios são avaliadas em função de vários parâmetros. Os mais importantes são DBO₅ e DQO. Outras características desses despejos que têm importância significativa para o tratamento são: sólidos suspensos, sólidos totais, sólidos voláteis, pH, temperatura, substâncias inorgânicas, detergentes, desinfetantes e produtos químicos usados como lubrificantes (Lage Filho, 1986).

Na Tabela 2.5, são apresentados os valores de DBO_5 de vários produtos de laticínios.

Tabela 2.5 - Valores citados em literatura para DBO_5 de vários produtos de laticínios.

PRODUTOS	Porcentagem de sólidos orgânicos	DBO_5 (ppm) Faixa de variação	DBO_{u^*} (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	339 000	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

Fonte: Braile & Cavalcanti (1993).

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

A DBO_5 e a DQO dos despejos de laticínios variam bastante em função do produto fabricado, tendo em vista que diferentes quantidades de oxigênio são necessárias para a oxidação de diferentes constituintes do leite, tais como gorduras, carboidratos e proteínas (Peirano, 1995). Segundo Ribeiro et alii (1993), os detergentes e desinfetantes usados na limpeza geral também contribuem para a DBO_5 , porém as concentrações finais no efluente são geralmente muito baixas. Dados experimentais apresentam concentrações médias diárias de DBO_5 variando de 1000 a 4000 mg/L (Lage Filho, 1986; Peirano, 1995). O pH pode variar de 4,4 a 9,2, sendo afetado principalmente pelos produtos de limpeza (Braile & Cavalcanti, 1993; Ribeiro et alii, 1993). A temperatura pode apresentar valores entre 19 e 43°C, sendo que o

controle do uso de água em lavagens pode reduzir em até 10°C a temperatura máxima (Braille & Cavalcanti, 1993). Segundo Peirano (1995), a temperatura elevada é oriunda das operações de condensação e também da água de lavagem das operações de limpeza, utilizando soluções químicas. A concentração de sólidos suspensos dos despejos de laticínios varia entre 500 e 2000 mg/L (Lage Filho, 1986). Os teores de fósforo encontrados variam de 11 a 160 mgP/L (valor médio de 50 mgP/L), e têm como fontes os derramamentos de leite e produtos de limpeza (Pico & Brown, 1979). A Tabela 2.6 apresenta valores de literatura para DBO₅, sólidos e pH de despejos de laticínios.

2.5 - Sistemas de Tratamento Para Águas Residuárias de Laticínios

Visto que as águas residuárias de laticínios são compostas principalmente por matéria orgânica solúvel, o tratamento dispensado a estas é, em sua grande maioria, do tipo biológico (Nemerow, 1977 citado por Lage Filho, 1986; Braille & Cavalcanti, 1993). Segundo os mesmos autores, os processos aeróbios são os mais utilizados, destacando-se os lodos ativados, os filtros biológicos e os valos de oxidação. A literatura refere-se também às lagoas de estabilização e à digestão anaeróbia. Os processos de tratamento podem ser precedidos de pré-tratamento e tratamento primário, tais como: gradeamento, equalização de vazões, remoção de óleos e gordura, tratamento químico e sedimentação primária. Qualquer que seja o tipo de tratamento, o soro deverá ter destinação à parte (Braille & Cavalcanti, 1993; Peirano, 1995).

A seguir, são feitas algumas considerações sobre os sistemas de tratamento citados.

Tabela 2.6 - Valores de literatura para DBO₅, sólidos e pH de despejos de laticínios.

Autor	Produto	Valores para (mg/l)					pH
		DBO	Sólidos suspensos	Sólidos susp. voláteis	Sólidos volat. Totais	Sólidos totais	
Mckee (1957)	queijo	1 890	396	560	2 698	4 516	5,7
Schwetser (s/d)	queijo	1 000-2 700	-	-	-	1 500-8 500	7,1-7,4
Sarka <i>et alii</i> (1970)	queijo	1 045	306	-	1 391	2 792	8,4
Morgan (1957)	manteiga	3 030	-	1 360	1 740	-	-
Schweiger (1968)	manteiga	250-1 700	-	-	-	700-4 000	7,6-8,3
Sarka <i>et alii</i> (1970)	manteiga	873	354	-	763	1 158	8,1
Hectch (1957)	leite condensado	1 291	-	-	-	2 793	7,8
Morgan (1957)	leite em pó	2 150	-	500	1 199	-	-
H. Further (1949)	leite	1 010	250	230	1 320	1 340	7,9
Anderson (1968)	manteiga/leite (pó)	3 060	1 322	-	-	3 182	4,4
Walgren (1966)	queijo/manteiga	780	-	-	1 130	2 300	5,3-9,2
Bloodgood (1947)	produtos em geral	548	-	-	-	863	8,0

Fonte: Relatório da EPA - 12 060 EGU, março de 1971 citado por Braile & Cavalcanti (1993).

2.5.1 - Pré-tratamento e Tratamento Primário

O processo de gradeamento é empregado para remoção de sólidos grosseiros, bem como para retenção de materiais flutuantes (Calley et alii, 1976; Lage Filho, 1982 citados por Lage Filho, 1986).

A equalização de vazões é normalmente utilizada para aumentar a eficiência dos processos de tratamento subseqüentes no local da indústria, ou previamente à descarga em uma instalação municipal relativamente pequena (Ord, 1974 citado por Lage Filho, 1986). Segundo Braille & Cavalcanti (1993), a mesma deve ser empregada especialmente em indústrias de laticínios onde o período de trabalho é curto, ou onde os despejos são intermitentes. Hemmings (1980), citado por Lage Filho (1986), recomenda a combinação de equalização das vazões e remoção de sólidos em um só tanque, desde que a operação de gradeamento seja conduzida efetivamente. A inclusão de aeração no tanque de equalização se faz necessária para impedir as condições sépticas e a subseqüente coagulação protéica (Gurham, 1965).

A remoção de óleos e gordura é geralmente feita pelas caixas de gordura. Tal remoção visa, sobretudo, a manutenção da qualidade do efluente nos padrões aceitáveis e a proteção do tratamento subseqüente (Peirano, 1995). De acordo com Braille & Cavalcanti (1993), este material deve ter destinação apropriada, sendo encaminhado para reaproveitamento ou para aterros sanitários.

A operação de sedimentação é, normalmente, empregada para remoção de sólidos suspensos. Esta é realizada por decantadores, os quais são dimensionados

para um tempo de detenção substancialmente maior do que o empregado nos decantadores convencionais (em decorrência da formação de flocos biológicos leves) (Braille & Cavalcanti, 1993).

Os tratamentos químicos que podem ser usados no pré-tratamento ou tratamento parcial dos efluentes de indústrias alimentícias são: neutralização, precipitação, coagulação e floculação (Ord, 1974 citado por Lage Filho, 1986). Segundo pesquisa realizada pela Cetesb (1977), os despejos de laticínios podem ser tratados por processo químico de floculação, utilizando-se sulfato de alumínio hidratado e o óxido de cálcio para a formação de flocos, seguindo-se uma decantação (Lage Filho, 1986).

2.5.2 - Lodos Ativados

No processo de lodos ativados o tanque de aeração opera uma mistura de água residuária e lodo ativado, o chamado licor misto. Nesta mistura, os flocos de lodo são mantidos em suspensão através da agitação provocada pelos aeradores, os microrganismos presentes usam as impurezas como alimento, e simultaneamente oxidam a matéria orgânica (van Haandel, 1995). Segundo este autor, a separação das fases sólida e líquida se dá através de decantação simples. No processo de lodos ativados o elemento ativo é o floco, formado por bactérias, fungos, protozoários, rotíferos, nematóides e, algumas vezes, larvas de insetos (Branco, 1986).

Segundo Braille & Cavalcanti (1993), o processo de lodos ativados é um dos mais utilizados para o tratamento de águas residuárias de laticínios,

apresentando uma remoção de DBO_5 de 73 a 99,3%. Uma revisão dos processos biológicos aplicados à tratabilidade de tais águas, feita por Mitchell (1972) e citada por Pico (1973), relata a utilização do processo de lodos ativados, com uma eficiência de remoção de DBO_5 entre 85 e 95%.

A Tabela 2.7 relaciona as características das principais variantes do processo de lodos ativados.

Tabela 2.7 - Características das principais variáveis do processo de lodos ativados para o tratamento de despejos de laticínios.

Variáveis do Processo	Fat. de carga ($KgDBO_5/KgSSTA.dia$)	SS VTA (mg/L)	Taxa de retorno de lodo (%)	Tempo de aeração (h)	Idade do lodo (dias)	Efic. de remoção DBO_5 (%)
Convencional	0,25-0,50	1 500-3 000	25-30	6-10	5-15	85-95
Aeração escalonada	0,25-0,70	2 000-3 500	25-75	4-6	5-15	85-95
Mistura completa	0,25-0,70	2 000-6 000	25-100	2-24	5-15	85-95
Aeração prolongada	0,05-0,20	3 000-6 000	75-100	24-72	>20	90-98
Estabilização por contato	0,25-0,75	1 000-3 000 (*)	100	0,5-1,0 (**)	5-15	80-90

Fonte: CETESB (1977).

(*) Concentração do lodo na câmara de contato, com concentração na câmara de estabilização entre 4 000 e 10 000 mg/l.

(**) No tanque de contato, com tempo de retenção de 2-6 horas na câmara de estabilização.

2.5.3 - Filtros Biológicos

O filtro biológico surgiu no final do século XIX e as primeiras instalações foram operadas nas cidades de Chesterfield e Birmingham, na Inglaterra, nos anos de 1901 e 1905 (Rocha, 1985). O processo consiste no lançamento contínuo e uniforme, do esgoto previamente decantado sobre a superfície de cascalhos, onde há formação de uma película gelatinosa ativa ou biofilme (Branco, 1986). Este biofilme é constituído por uma variedade de microrganismos. Na camada superficial há fungos, bactérias, protozoários e algas filamentosas; na camada intermediária, fungos filamentosos, protozoários, vermes nematóides; na camada inferior, protozoários e bactérias anaeróbias; nos espaços vazios, micélios de fungos, bactérias e protozoários e, circulando livremente em toda a massa, organismos móveis (Rocha, 1985). Os filtros biológicos podem ser de baixa capacidade, nos quais é pequeno o volume de esgoto aplicado por unidade de tempo, e filtros de alta capacidade, em que a vazão é maior (Branco, 1986). Os filtros de baixa capacidade operam com carga de $2,2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ ou pouco mais e DBO_5 menor que 200 mg/l ; os de alta capacidade com carga de $8,5$ a $28 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ e DBO_5 variável de 500 a 1800 mg/l havendo ou não, recirculação (Rocha, 1985). Segundo o mesmo autor, tais reatores quando bem projetados podem apresentar eficiências da ordem de 65 a 85% de remoção de DBO e 80 a 90% de sólidos suspensos.

O filtro biológico foi um dos primeiros métodos a ser aplicado no tratamento de efluentes de laticínios (Gurnham, 1965). Um estudo realizado por Mitchell (1972), com filtros biológicos tratando este tipo de efluente indicou redução de DBO_5 da ordem de 75 a 90% (Pico, 1973). Braile & Cavalcanti (1993), afirmam que um filtro biológico

bem projetado e operado poderá reduzir em 65% a DBO₅ desses efluentes.

2.5.4 - Filtro Biológico Anaeróbio de Fluxo Ascendente

Este tipo de filtro é um reator com leito de material de enchimento, onde o esgoto é introduzido pela extremidade inferior, sendo diferente do filtro convencional por sua capacidade de reter a maior parte do lodo biológico. O seu funcionamento se dá a partir de um decanto-digestor, estabilização da matéria orgânica e remoção de sólidos em suspensão (Rocha, 1985). De acordo com o mesmo autor, uma pesquisa da CETESB (1982), mostra que o sistema de filtração ascendente apresenta boa eficiência, com valores superiores a 85% de remoção de sólidos suspensos.

2.5.5 - Valos de Oxidação

Os chamados valos de oxidação, hoje de uso corrente para pequenas instalações em vários países, constituem uma variante simplificada do processo de lodos ativados. Difere deste ou, pelo menos, do modo clássico, pela ausência de lodo de retorno, e por ter aeração mecânica superficial (Branco, 1986).

De acordo com Braile & Cavalcanti (1993), o sistema de valos de oxidação tem mais aceitação na Europa. Porém têm sido empregados, com pleno êxito, para o tratamento de resíduos orgânicos industriais, no estado de São Paulo (Branco, 1986).

A aplicação dos valos de oxidação no tratamento de resíduos de laticínios foi discutida por Klempel (1972), citado por Pico (1973). De acordo com o autor, tais unidades mostraram eficiência de 23 a 96% de DBO₅ em estações gerando 4 l de águas residuárias/l de leite processado, com uma DBO₅ inicial de 1100 mg/l.

2.5.6 - Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia é comumente usada em estações de tratamento de águas residuárias para estabilizar o lodo produzido em tratamentos primários e secundários, bem como para reduzir o volume de sólidos para disposição final (Lawler et alii, 1986). Durante esse processo, os sólidos orgânicos são hidrolisados e biologicamente transformados em ácidos orgânicos voláteis, que são convertidos em CH₄, CO₂ e H₂S (Torre & Stephanopoulos, 1986). O processo anaeróbio de conversão do material celular em biogás desenvolve-se em quatro etapas metabólicas: hidrólise, acidificação, acetogênese e metanogênese (van Haandel, 1995). As três primeiras etapas, às vezes, são consideradas como uma só, denominada de fermentação ácida. Nessa fase não há remoção de material orgânico, ocorrendo apenas transformações que adequam a forma do material orgânico para servir como substrato no processo subsequente de metanogênese, onde há efetivamente remoção de material orgânico da fase líquida.

A utilização do tratamento anaeróbio para a depuração de efluentes de laticínios era considerada até pouco tempo impraticável, devido à intensa acidificação e às dificuldades de se estabelecer o início da fase metanogênica (Ribeiro et alii, 1993). Os avanços recentes nas duas últimas décadas possibilitaram o desenvolvimento

de uma biotecnologia anaeróbia aplicada ao tratamento de substratos diluídos (Bernardo *et alii*, 1995). Estudos da biodegradabilidade de despejos de laticínios foram efetuados por Bório *et alii* (1981) citados por Pereira (1984). Estes mostraram eficiências de remoção de DQO e DBO da ordem de 74 a 90% e 81 a 93% respectivamente. Experimentos de Bernardo *et alii* (1995), empregando um reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB), mostraram que este pode ser usado com sucesso para o tratamento de resíduos lácteos. A Tabela 2.8 mostra os resultados desta pesquisa.

Tabela 2.8 - Dados de operação do reator UASB dos laticínios A e B.

PARÂMETRO	unidade	Laticínio A		Laticínio B	
		16/08/88	21/09/88	29/10/87	16/09/88
pH do afluente ao reator UASB	-	6,3	8,4	6,9	6,4
pH do efluente ao reator UASB	-	6,4	7,0	7,6	7,2
DQO do afluente	mg/l	3 040	4 520	1 520	1 366
DQO do efluente a filtrado	mg/l	3 290	2 100	510	221
DQO do efluente filtrado	mg/l	1 860	1 760	-	-
DBO ₅ do afluente	mg/l	2 500	2 630	-	-
DBO ₅ do efluente filtrado	mg/l	1 360	1 430	-	-
Sólidos sedimentáveis do afluente	ml/l	8	0,2	6	8
Sólidos sedimentáveis do efluente	ml/l	50	0,1	0,4	0,2
Sólidos susp. totais do afluente	mg/l	673	927	-	290
Sólidos susp. totais do efluente	mg/l	1 900	271	-	57
Sólidos susp. voláteis do afluente	mg/l	617	793	-	-
Sólidos susp. voláteis do efluente	mg/l	1 570	226	-	55
Sólidos susp. fixos do afluente	mg/l	56	134	-	10
Sólidos susp. fixos do efluente	mg/l	330	45	-	2

Fonte: Bernardo *et alii* (1995).

2.5.7 - Lagoas de Estabilização

As lagoas de estabilização são grandes reservatórios de pequena profundidade, limitados por taludes de terra que recebem águas residuárias brutas ou pré-tratadas e que oxidam a matéria orgânica por processos naturais, envolvendo bactérias e algas (Silva & Mara, 1979). Podem ser classificadas em 4 tipos: anaeróbias, facultativas, de maturação (ou polimento) e de alta taxa.

As lagoas anaeróbias possuem normalmente uma profundidade de 2 a 5 m e são, freqüentemente, usadas como unidades de tratamento primário para águas residuárias com grande concentração de matéria orgânica ($DBO_5 > 300 \text{mg/l}$) e alto teor de sólidos suspensos ($SS > 300 \text{mg/l}$) (Mara et alii, 1983). A remoção de DBO_5 , esperada neste tipo de lagoa, é da ordem de 50 a 70% e de coliformes fecais em torno de 80 a 90% (Victorette, 1973 citado por Oestreich, 1989; Silva & Mara, 1979). A grande vantagem das lagoas anaeróbias é poder oxidar altas cargas orgânicas em áreas bastante reduzidas. A principal desvantagem é a produção de maus odores, principalmente quando a carga volumétrica ultrapassa $400 \text{g}DBO_5/\text{m}^3\text{-d}$ e há liberação de gás sulfídrico (H_2S) (Mara et alii, 1983; Mendonça et alii, 1990).

As lagoas facultativas têm profundidade entre 1 e 2 m. Quando recebem esgotos brutos, são chamadas de lagoas facultativas primárias e quando recebem despejos com tratamento primário são denominadas lagoas facultativas secundárias. Estas lagoas possuem uma zona inferior anaeróbia e uma zona superficial aeróbia, onde o oxigênio necessário para o metabolismo bacteriano é suprido pela atividade fotossintética das algas que crescem profusamente dando ao líquido da lagoa uma coloração verde intensa (Mara et alii, 1983). Nas lagoas facultativas as cargas

superficiais orgânicas aplicadas variam de 50 a 400 kgDBO₅/ha.dia, dependendo da temperatura ambiente média local. A remoção de DBO₅ varia de 60 a 90%, (Silva & Mara, 1979), ocorrendo também remoção de parasitos e redução de, no mínimo, uma ordem de grandeza de coliformes fecais (Florentino, 1993).

A grande vantagem das lagoas facultativas é a ausência de maus odores. Sua maior desvantagem é a ocupação de grandes áreas para sua instalação (Mendonça et alii, 1990).

As lagoas de maturação (ou polimento), possuem usualmente 1 a 2 m de profundidade e são dispostas após as lagoas facultativas. São destinadas à remoção de organismos patogênicos (Silva & Mara, 1979), incluindo parasitos intestinais. De acordo com os mesmos autores, a remoção de DBO₅ promovida por tais lagoas é pequena, pois são necessárias duas lagoas de maturação em série (cada uma com tempo de detenção de 7 dias) para reduzir uma DBO₅ de cerca de 50 a 70 mg/L para um valor menor do que 25 mg/L.

As lagoas de alta taxa possuem profundidade de 0,3 a 0,5 m e são projetadas para o tratamento de águas residuárias decantadas (Mendonça et alii, 1990). De acordo com Silva & Mara (1979), tais lagoas deverão apenas ser usadas como método de tratamento de esgotos, quando houver a viabilidade de reaproveitamento da biomassa de algas produzidas.

A simplicidade de operação e de manutenção associada ao baixo custo de construção fazem das lagoas de estabilização o sistema de tratamento ideal para aplicação na indústria (Ribeiro et alii, 1993). De acordo com Peirano (1995), são os sistemas mais comumente empregados no tratamento biológico de resíduos de laticínios em climas tropicais. Dentre os tipos de lagoas de estabilização utilizadas na indústria destacam-se as anaeróbias.

Arceivala (1981), relata a utilização de lagoas anaeróbias para o tratamento de despejos de laticínios, na Índia, com eficiência média de remoção de DBO₅ da ordem de 66% (Ribeiro *et alii*, 1993). Oestreich (1989) fez uma avaliação da eficiência de lagoas de estabilização implantadas no Rio Grande do Sul, para o tratamento de despejos industriais e observou para despejos de laticínios uma eficiência global média de 97 a 99% de DBO₅, de 97 a 99% de DQO, de 85 a 88% de sólidos suspensos e de 94 a 99,96% de coliformes fecais.

2.6 - Impactos Ambientais Provocados por Águas Residuárias de Indústrias de Laticínios

O novo paradigma ambiental, discute a mudança nos padrões e modelos de crescimento, visando o desenvolvimento sustentável que não agrida ao meio ambiente e o preserve para as gerações futuras. Em consequência, a sociedade passou a ter uma participação mais efetiva com os aspectos de manutenção do equilíbrio ambiental, visando a diminuição dos impactos (Cardoso, 1995).

Muito embora os impactos ambientais associados com a geração de resíduos sejam resultantes dos diversos seguimentos da economia e da sociedade, incluindo as atividades extrativas e também as de serviços, é na indústria que se concentram as maiores e mais graves fontes de poluição (Valle, 1995). De acordo com o mesmo autor, a poluição industrial é uma forma de desperdício e um indício da ineficiência dos processos produtivos. Resíduos industriais representam, na maioria dos casos, perdas de matérias primas e insumos.

Dentre as indústrias, as de laticínios se destacam por possuírem uma carga poluidora extremamente rica em elementos orgânicos, sendo, portanto, necessário e

obrigatório o tratamento dos despejos líquidos antes do lançamento na rede pública ou em mananciais (Peirano, 1995). Estes despejos quando descarregados de forma intermitente, originam vários fenômenos nos corpos receptores: rápido consumo do oxigênio dissolvido; formação de depósitos; crescimento de fungos dos esgotos e às vezes, um decréscimo no pH (Koziorowski *et alii*, 1972 citado por Lage Filho, 1986).

A água é essencial em tais indústrias, tendo utilização nos processos de lavagem, na transferência de calor (sistema de aquecimento e resfriamento) e como matéria prima, gerando efluentes líquidos que poluem os corpos aquáticos receptores (König *et alii*, 1996).

A contaminação das águas carreadas por esse tipo de efluente, afeta facilmente a cadeia alimentar, levando até o homem substâncias tóxicas. A Figura 2.3, mostra um esquema de propagação em seqüência dessas contaminações, atingindo sucessivamente os microrganismos, crustáceos, peixes e, finalmente, o homem.

A resolução 20, de 18 de junho de 1986, do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), publicada no Diário Oficial da União de 30 de julho de 1986, no artigo 22, não permite a diluição de efluentes industriais com águas não poluídas, tais como água de abastecimento, água do mar e água de refrigeração. Por sua vez, a Organização Mundial de Saúde (OMS) exige que efluentes industriais para serem descarregados no meio ambiente apresentem DBO ≤ 20 mgO₂/l e sólidos suspensos ≤ 30 mg/l (Ceballos, 1995).

De acordo com Strydom *et alii*, 1997, o controle e minimização das fontes de poluição e o encaminhamento correto dos resíduos gerados pelas indústrias de laticínios são as duas soluções mais efetivas e concretas utilizadas para assegurar a qualidade do meio ambiente.

Desde que a maioria de tais indústrias está localizada na periferia das cidades e, portanto, distantes das redes municipais coletoras de esgotos, cada indústria está obrigada a instalar, no seu próprio terreno, uma estação de tratamento de seus despejos.

No caso da ILCASA (Indústria de Laticínios de Campina Grande S. A.), a instalação de uma ETE se fez necessária para obter sua licença de operação junto à SUDEMA (Superintendência do Meio Ambiente da Paraíba) que, por sua vez, também solicitou o monitoramento do efluente produzido, para assegurar o cumprimento dos padrões para a proteção ambiental.

2.7. Objetivos

Os objetivos do presente trabalho foram:

1. Avaliar a eficiência da ETE;
2. Avaliar as flutuações da qualidade afluente e efluente na ETE para conhecer as variações dos diferentes parâmetros ao longo do ciclo de funcionamento;
3. Detectar falhas no sistema de tratamento;
4. Avaliar o impacto poluidor do efluente final no corpo receptor.

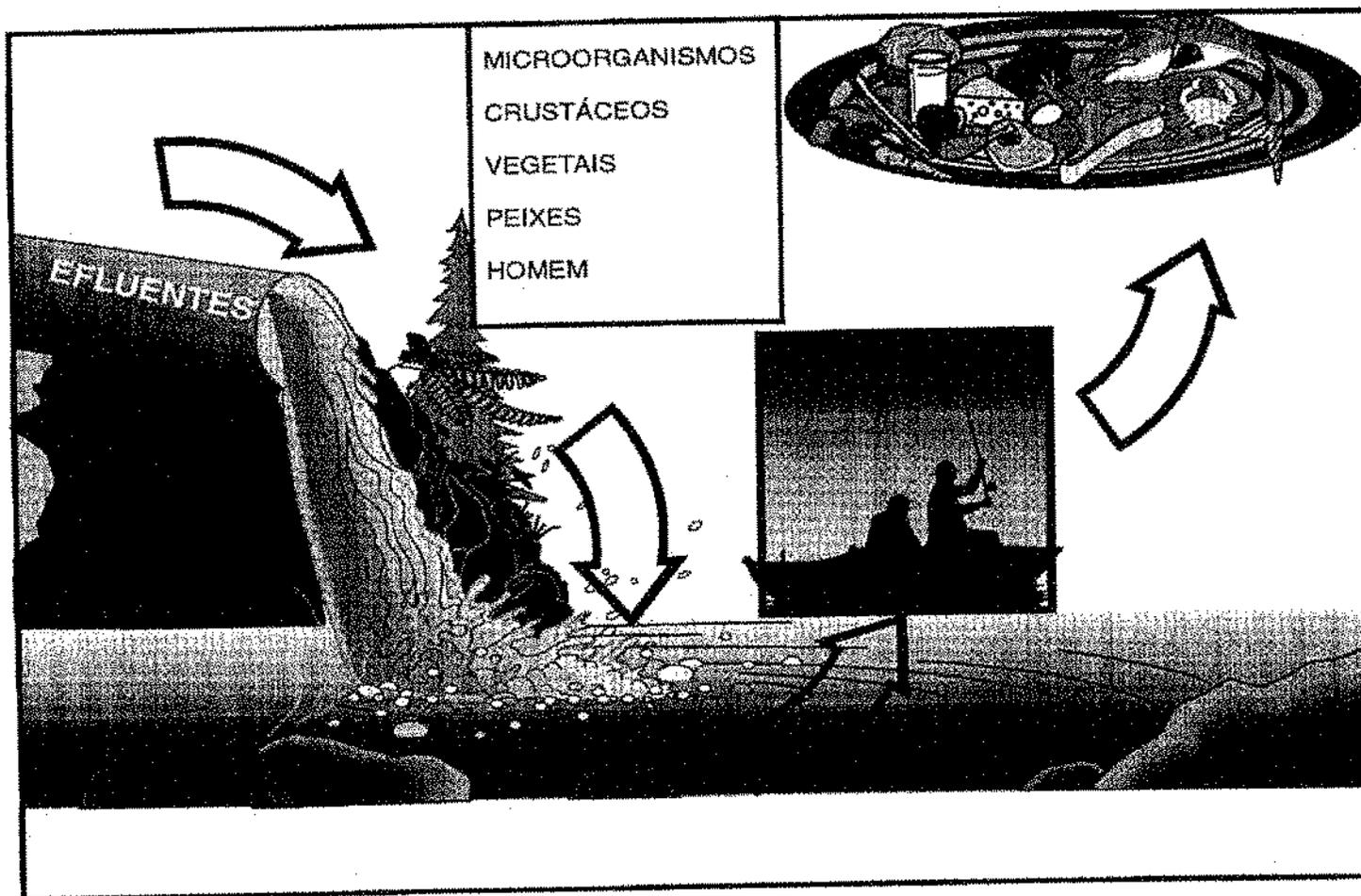


Figura 2.3 - Efluentes contaminados e a cadeia alimentar

FONTE: Valle, 1995.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Descrição do Sistema Experimental

O sistema experimental investigado denominado de ETE da ILCASA, foi construído para atender às normas estabelecidas pela SUDEMA (Superintendência de Administração do Meio Ambiente), órgão responsável pelas questões ambientais do estado da Paraíba. O mesmo ocupa uma área de 800 m² e é constituído por uma unidade de tratamento preliminar, composta de grade de barras, caixa de areia, vertedor e separador de óleos e graxas; seguida de uma unidade para o tratamento secundário, a qual contém um tanque de equalização com aerador de superfície e um sistema de filtros anaeróbios de fluxo ascendente em série, conforme ilustrado na Figura 3.1.

O sistema se encontra instalado nas dependências da ILCASA (Indústria de Laticínios de Campina Grande S/A), localizada na rodovia BR 230, km 116, Distrito de Santa Terezinha, na Cidade de Campina Grande (7°13'11"S, 35°52'31"O, 550 m acima do nível do mar) Estado da Paraíba, nordeste do Brasil.

3.2 - Descrição da Empresa

A ILCASA ocupa uma área total de 30.000 m², sendo 1.950 m² de área construída.

Utiliza como matéria prima leite cru resfriado em tanques isotérmicos, frutas, sal (NaCl) e açúcar.

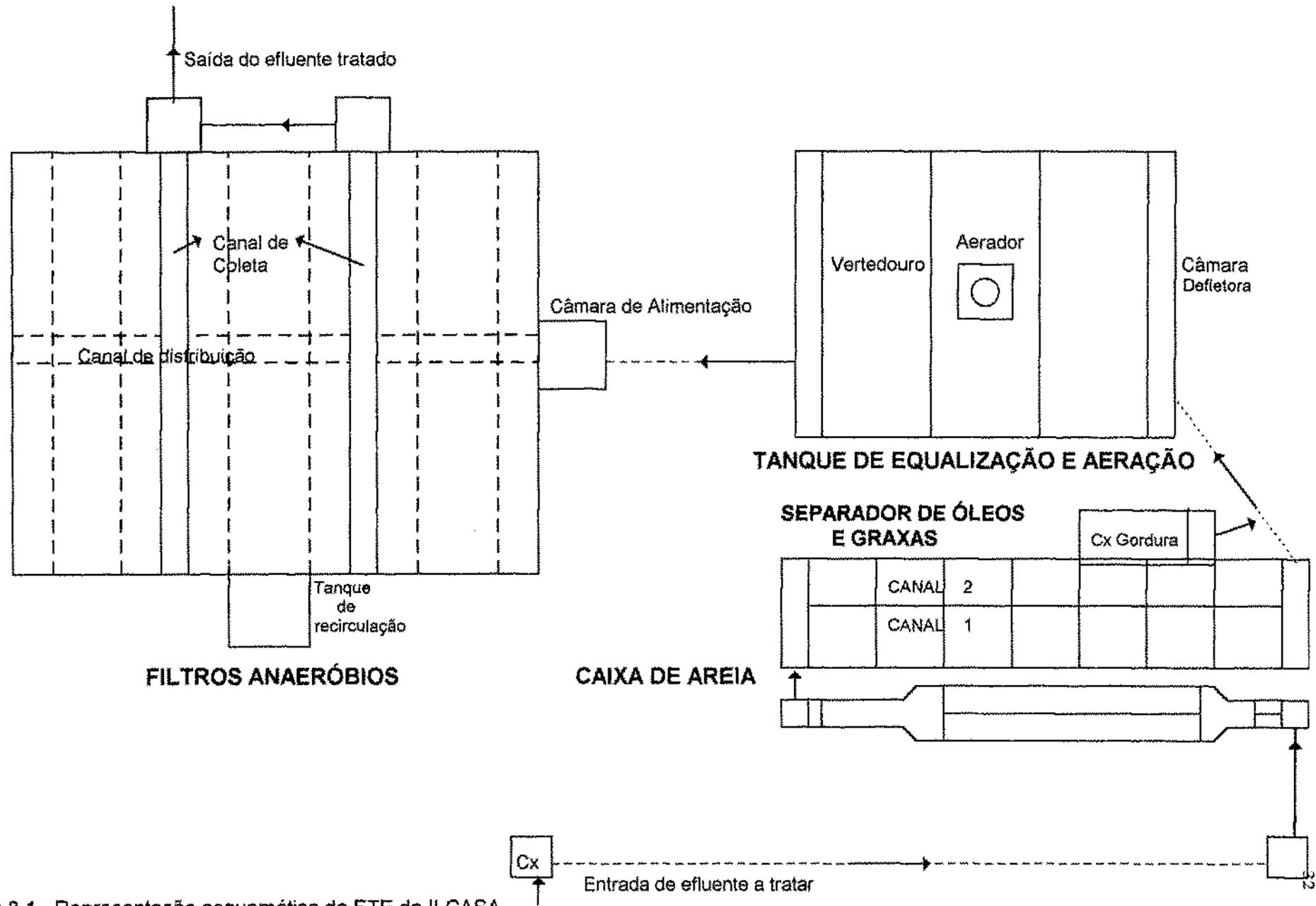


Figura 3.1 - Representação esquemática da ETE da ILCASA

Os produtos fabricados pela indústria são:

- leite pasteurizado tipo C;
- manteiga comum com sal;
- iogurtes com ou sem frutas;
- requeijão;
- queijos;
- doce de leite.

Os materiais de limpeza utilizados na higienização dos equipamentos e da empresa em geral, descarregados nos esgotos são:

- hipoclorito de sódio a 10% 5 L/dia;
- detergentes 10 kg/dia;
- ácido nítrico 5% 5 L/mês;
- soda cáustica 50% 2 kg/dia.

3.3 - Componentes do Sistema

a - Grade de Barras

Instalada na chegada do afluente, sua função é reter sólidos grosseiros, para que não passem às demais unidades e assim proteja os equipamentos. No dimensionamento das grades, levou-se em conta os seguintes aspectos:

- vazão média..... 240 m³/dia
- velocidade do fluido ao passar pelas barras.. 0,6 m/s;
- espaçamento entre as barras..... 12,70 mm
- espessura das barras..... 6,35 mm;

Desta forma, a grade é constituída por 16 barras de ferro de 6,35 mm de espessura cada uma, espaçadas entre si por 12,70 mm. Está localizada num canal de 300 mm de altura, que resulta numa secção de canal retangular de 0,09 m².

b - Caixa de Areia

Tem a função de reter partículas facilmente sedimentáveis, evitando desse modo seu arraste para as demais unidades da ETE (Peirano, 1995).

A caixa de areia é constituída por dois canais paralelos operados por meio de comportas de madeira que funcionam alternadamente para facilitar a limpeza. Para o dimensionamento da caixa mesma, foi determinada a velocidade média (0,3 m/s) para a vazão considerada (240 m³/dia) e compreendida entre valores estabelecidos segundo a norma P-NB-520 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

c - Vertedor

Localizado na calha Parshall, após a caixa de areia, é utilizado para medir a vazão afluente ao restante do sistema de tratamento. A secção do canal do vertedor no ponto de medição é de 0,6 m² e foi estabelecida em função das dimensões deste:

- largura mínima 0,30 m;
- altura do vertedor 0,10 m;
- altura do canal 0,30 m.

d - Separador de Óleos e Graxas

É formado por dois sistemas paralelos (dimensionados de acordo com a "Disposal of Refinery Wastes da American Petroleum Institute Api" - Sarmento Filho, 1991) os quais são fechados por duas comportas de madeira e possuem quatro caixas de tijolos e cimento. Cada uma dessas caixas possui um coletor superficial de gordura formado por um tubo de PVC de 9 cm de diâmetro, com rasgos de 3 cm de largura e 1,65 cm de comprimento.

Foi construído com a finalidade de reter material gorduroso sobrenadante. A remoção de gorduras visa sobretudo à manutenção da qualidade do efluente nos padrões aceitáveis e à proteção do tratamento. A graxa separada é armazenada numa caixa de gordura, construída ao lado do separador de óleos e graxas. Nesta caixa a gordura se acumula e flutua, formando uma camada grossa que é removida manualmente, ficando acumulada para ser descartada posteriormente.

e - Tanque de Equalização

A equalização se destina a homogeneizar os despejos e à regularização da vazão afluente para o tratamento biológico. Ela se faz necessária em virtude da variação da vazão dos despejos e das concentrações dos diferentes poluentes.

A equalização é promovida em um tanque com capacidade para 160 m³, que é suficiente para conter o volume total de efluente de meio dia de trabalho. O

tanque é provido de um aerador de superfície modelo AEL-5, dimensionado de modo a manter uma taxa de 2 mg/L de oxigênio, o que resulta numa potência de 4 CV. Este aerador agita a massa líquida, formando flocos biológicos ocorrendo, também, a oxidação da matéria orgânica pela ação das bactérias aeróbias. Estas utilizam oxigênio molecular e liberam gás carbônico. Desse modo forma-se uma cadeia alimentar entre heterótrofos (entre as bactérias que degradam a matéria orgânica e os protozoários que as usam como alimento).

f - Filtro Anaeróbio de Fluxo Ascendente

A última unidade da ETE da ILCASA é constituída por três filtros anaeróbios de fluxo ascendente em série. Estes, foram dimensionados em termos de equivalência populacional, considerando-se a DBO₅ média dos efluentes, a vazão média diária e 54 g/hab.dia como taxa de equivalência populacional (estabelecida pela P-NB-570 da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Os três filtros possuem no seu interior uma camada de brita nº 4, em cujas superfícies se desenvolve o biofilme bacteriano, onde ocorre o metabolismo microbiano que transforma os esgotos em biomassa de microrganismos e sais minerais. A Tabela 3.1 apresenta as características físicas do tanque de equalização e do sistema de filtros.

Tabela 3.1 - Características físicas e operacionais do tanque de equalização e do sistema de filtros.

PARÂMETROS	EQUALIZADOR	FILTROS ANAERÓBIOS
Comprimento (m)	7,9	11,95
Largura (m)	6,7	11,95
Profundidade (m)	3,0	1,8
Área (m ²)	53	143
Volume total (m ³)	160	260
Vazão média afluyente (m ³ /dia)	240	240
Tempo de detenção hidráulica (h)	12	24

Fonte: Sarmento Filho, 1993.

3.4 - Metodologia da Pesquisa

3.4.1 - Dados Climatológicos

Para definir épocas climáticas homogêneas (secas e chuvosas), foram analisados dados de precipitação pluviométrica da região. Os dados meteorológicos para o período de coleta foram fornecidos pelo Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba (LMRS/PB), com sede no Campus II da UFPB.

3.4.2 - Descrição dos Trabalhos de Campo

a - Monitoramento

A ETE da ILCASA entrou em funcionamento em janeiro de 1994, tendo sido iniciado o monitoramento em 12/08/94, o

qual se prolongou até dezembro do mesmo ano (primeiro experimento). A partir do dia 09 de agosto de 1995 foi iniciado o segundo experimento. Nesta fase foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas das amostras. O segundo experimento foi encerrado em 17 de junho de 1996.

As coletas foram feitas inicialmente com frequência semanal e posteriormente quinzenal, entre 8 e 9 horas da manhã. As amostras para análises físico-químicas eram coletadas em garrafas plásticas, devidamente identificadas, com capacidade para 2 litros. Para as coletas destinadas às análises microbiológicas eram usadas garrafas escuras de vidro neutro, de boca larga, esterilizadas a 170°C em estufa, por 2 horas. As amostras eram acondicionadas em caixa de isopor com gelo, para melhor conservação e transportadas para o laboratório de Saneamento da Área de Engenharia Sanitária e Ambiental (AES/A) - Departamento de Engenharia Civil (DEC) - UFPB - Campus II.

Foram definidos três pontos de coleta:

- Ponto 1 (Bet 1): afluente ao sistema de tratamento (esgoto bruto);
- Ponto 2 (Bet 2): efluente do tanque de equalização;
- Ponto 3 (Bet 3): efluente final dos filtros anaeróbios de fluxo ascendente (3 filtros em série).

b - Estudos no Ciclo Diário

Com a finalidade de avaliar a variação temporal da qualidade físico-química e microbiológica dos afluentes e efluentes da ETE durante as horas de produção da indústria,

foram realizados estudos ao longo do ciclo diário com 12 horas de duração e com coletas de amostras a cada 3 horas. De hora em hora eram feitas as leituras dos parâmetros: temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido e vazão (Q).

3.5 - Parâmetros Analisados e Métodos Analíticos

Vazão (Q)

A medição de vazão é fundamental em qualquer sistema de tratamento de esgotos. No caso de esgoto industrial esta é necessária para o conhecimento do volume e velocidade com que o afluente chega à estação.

A medida da vazão foi feita a partir da altura da lâmina d'água e foi calculada através da equação da calha Parshall (Azevedo Neto & Alvarez, 1982), dada abaixo:

$$Q = \frac{1}{4} H^{3/2} \times 1,4 \times 3.600 \quad \text{Eq. 2.1}$$

onde Q= vazão (m³/h);

H= altura da lâmina (cm)

3.5.1 - Parâmetros Físico-químicos

a - Temperatura

Exerce influência sobre a velocidade das reações químicas e bioquímicas dos organismos. A elevação de temperatura de uma massa d'água provoca perda de oxigênio

na água, especificamente a solubilidade deste, como de outros gases é menor em água aquecida do que em água fria. O empobrecimento da água em oxigênio interfere na atividade dos organismos presentes. A diminuição excessiva da temperatura, causa retardamento da atividade enzimática. O aumento ou diminuição de temperatura podem ser causados por mudanças climáticas ou pela temperatura dos despejos.

A temperatura das amostras foi medida mediante a imersão, na água, de um termômetro de filamento de mercúrio graduado em °C.

b - Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico é utilizado para avaliar a intensidade da condição ácida ou básica de uma solução. Para a maioria dos organismos a faixa ideal de pH se situa entre 6 e 9. Branco (1986), afirma que os organismos são sensíveis a grandes variações de pH, quer no seu meio interno quer no externo. Segundo o relatório da CETESB (1977), a faixa ótima para proliferação dos organismos aquáticos de interesse em Engenharia Sanitária é de 6,7 a 8,7.

Para determinação do pH foi utilizado o método potenciométrico (APHA, 1989).

c - Oxigênio Dissolvido (OD)

Os teores de oxigênio dissolvido quando elevados mantêm condições favoráveis para o crescimento e reprodução dos organismos aquáticos aeróbios, responsáveis principais pela mineralização da matéria orgânica (Sawyer & McCarty, 1978).

A quantidade de oxigênio dissolvido numa massa d'água depende do processo mecânico de aeração, que se dá através da superfície e por intermédio das atividades fotossintetizantes dos organismos clorofilados (Branco, 1986).

A redução de oxigênio dissolvido se dá através da oxidação aeróbia da matéria orgânica, por perdas para a atmosfera, por respiração dos organismos aquáticos e por oxidação de íons metálicos como o ferro e o manganês (Esteves, 1988).

A redução provocada pela atividade dos organismos aeróbios, é devida ao fato destes utilizarem-se dos materiais orgânicos como fonte de alimento oxidando-os, na respiração, a fim de liberar a energia neles contida.

Nas amostras analisadas o oxigênio dissolvido foi determinado pelo método eletrométrico da membrana seletiva (APHA, 1989) e expresso em mg/L.

d - Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

A DBO constitui um excelente indicador do comprometimento das condições dos corpos hídricos com matéria orgânica. A mesma é usualmente definida como a quantidade de oxigênio exigida por uma população de microrganismos aeróbios durante um espaço de tempo determinado, para estabilizar a matéria orgânica (Sawyer & McCarty, 1978).

O teste de DBO é feito sob condições controladas de tempo e temperatura, sendo geralmente expressa em função de um tempo de cinco dias e a uma temperatura de 20°C. A sua determinação é feita através de um bioensaio, em que a amostra, ou alíquota da

amostra, é colocada em frascos de 300 ml e completados com água de diluição com ou sem sementeira. Esta é feita quando não há quantidade suficiente de microrganismos para a oxidação da matéria orgânica.

A DBO₅ é o parâmetro mais utilizado na avaliação da poluição dos corpos hídricos por despejos industriais, principalmente por despejos de origem orgânica (CETESB, 1977), como os da indústria de laticínios.

A leitura de oxigênio dissolvido inicial e final foi feita pelo método da membrana seletiva (APHA, 1989).

e - Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A DQO é usada para medir a intensidade da poluição de despejos domésticos e industriais. Esse teste mede a quantidade de oxigênio requerida para oxidação da matéria orgânica existente em uma amostra. A mesma é determinada pela oxidação da matéria orgânica em uma solução ácida de dicromato de potássio em ebulição. A demanda de oxigênio da solução é determinada pela titulação do dicromato remanescente com uma solução de Fe²⁺ e a matéria orgânica oxidável é calculada em termos do oxigênio equivalente (APHA, 1989). Em tal processo, há oxidação de praticamente todos os compostos orgânicos existentes na amostra analisada, liberando o gás carbônico e a água, gerando uma eficiência de mais de 95% de oxidação de todos os compostos orgânicos existentes na água (Silva & Mara, 1979).

A determinação da DQO tem a vantagem da facilidade e rapidez com que se obtêm seus resultados (cerca de 3

horas), porém com a desvantagem de não especificar a proporção de matéria orgânica biologicamente oxidável e biologicamente inerte.

A determinação da DQO foi realizada pelo método de refluxação fechada do dicromato de potássio para pequenas amostras (APHA, 1989).

f - Fósforo Total (PT) e Ortofosfato Solúvel (P-Solúvel)

O fósforo é um nutriente essencial para o desenvolvimento dos seres vivos e é um dos mais importantes fatores limitantes à vida dos organismos aquáticos. Apresenta-se em águas naturais e esgotos mais freqüentemente na forma de fosfato. A utilização crescente que se faz hoje de certos tipos de detergentes de uso doméstico e industrial, contribui em muito para o enriquecimento dos despejos nesse elemento. Segundo van Haandel (1995), a concentração de fósforo em uma água residuária varia muito com os hábitos sócio-econômicos da população contribuinte. Na prática a razão fósforo: material orgânico em esgoto é de 0,01 a 0,02 mg P/ mg DQO. A mesma razão pode ser encontrada em águas residuárias de origem animal como curtume, indústria de laticínios, etc., sendo geralmente menor naquelas de origem vegetal (0,002 a 0,01 mg P/ mg DQO).

O fósforo total foi determinado pelo método do ácido ascórbico, com digestão ácida preliminar com persulfato de amônio (APHA, 1989).

O ortofosfato solúvel foi determinado pelo método do ácido ascórbico (APHA, 1989). As leituras do fósforo total e do ortofosfato solúvel, foram feitas à 880 nm em um espectrofotômetro Micronal B 352.

g - Amônia (N - NH₃)

A amônia é o produto inicial da biodegradação das proteínas, presentes tanto em águas naturais como nos esgotos. Nas águas naturais as concentrações de amônia variam de acordo com as condições em que estas se apresentem: as águas superficiais e subterrâneas apresentam cerca de 10 mg nitrogênio amônia/L; já as águas residuárias contêm concentrações mais elevadas, cerca de 30 mgN/L de amônia (APHA, 1989).

A amônia é considerada um sério poluente devido ao seu efeito tóxico. Haralambous et alii (1992), afirmam que esta é tóxica para peixes e outras formas de vida aquática, em baixas concentrações (aproximadamente 0,2 mgN/l).

Com relação aos despejos de laticínios, as concentrações de amônia são provenientes dos detergentes e desinfetantes utilizados na limpeza de equipamentos.

O método da nesslerização direta (APHA, 1989) foi utilizado para quantificar as concentrações de amônia, através de leituras em espectrofotômetro Micronal B 352 a 440 nm de comprimento de onda.

h - Sólidos Sedimentáveis (S. Sed)

Grandes quantidades de materiais sedimentáveis provocam o assoreamento e, conseqüentemente, modificações nos leitos dos corpos d'água. A utilização deste indicador está na necessidade ou não de se utilizarem unidades de sedimentação nos sistemas de tratamento e na estimativa do assoreamento dos corpos d'água. A medição dos sólidos sedimentáveis é realizada com o auxílio de um cone de

Imhoff graduado, no qual o líquido fica em repouso por uma hora e o resultado é expresso em mL/L.

i - Sólidos Totais, Fixos e Voláteis (ST, STF e STV)

As análises dos sólidos são importantes no controle dos processos biológicos e físicos de tratamento de águas residuárias.

Os sólidos totais se referem ao material residual após a evaporação de 100 mL da amostra e sua subsequente secagem em uma estufa à temperatura de 103-105°C. Incluem sólidos suspensos e dissolvidos que, respectivamente, ficam retidos ou não após filtração em papel especial (Hammer, 1979).

A parte dos sólidos totais suspensos ou dissolvidos, que resta após a ignição do material a 500°C se refere aos sólidos totais fixos e a diferença entre sólidos totais e os sólidos totais fixos fornece o valor dos sólidos totais voláteis. Segundo Braile & Cavalcanti (1993), a maioria dos sólidos totais voláteis é material orgânico, e os sólidos totais fixos é material mineral.

A análise dos sólidos totais e de suas respectivas frações, foi realizada através do método gravimético (APHA, 1989).

j - Sólidos Suspensos Totais, Fixos e Voláteis (SST, SSF, SSV)

Os sólidos suspensos incluem toda matéria orgânica e inorgânica suspensa na água, que fica retida em um filtro de fibra de vidro padrão WHATMAN GF/C, de 7 cm de diâmetro,

sendo também denominados de resíduos não filtráveis (Hammer, 1979).

O termo sólidos suspensos fixos se refere ao resíduo total, dos sólidos suspensos após sua ignição por um tempo e temperatura definidos. A diferença entre sólidos suspensos e sólidos suspensos fixos é igual aos sólidos suspensos voláteis.

Os sólidos suspensos dos despejos de laticínios são, na maioria, sólidos suspensos voláteis ou de natureza orgânica (Braile & Cavalcanti, 1993).

Os sólidos suspensos das amostras, foram quantificados pelo método gravimétrico (APHA, 1989).

3.5.2 - Parâmetros Microbiológicos

a - Coliformes Fecais (CF)

Desde o início do século as bactérias coliformes presentes no trato intestinal do homem e de animais de sangue quente vêm sendo utilizadas para avaliar a ocorrência da contaminação fecal em água, no ar, solos, efluentes de ETE's e no meio ambiente em geral (Ceballos, 1995). As bactérias do grupo coliforme são classificadas ou agrupadas em dois sub-grupos: o sub-grupo dos coliformes totais e o dos coliformes fecais. O sub-grupo dos coliformes totais é usado atualmente apenas como indicador de contaminação em águas tratadas, não apresentando grande valor como indicador em efluentes de ETE's (APHA, 1995). O sub-grupo dos coliformes fecais está constituído, nos países temperados principalmente pela bactéria *E. coli* (90%). Sua presença evidencia poluição fecal, em geral, por fezes humanas e de animais homeotérmicos. Portanto, indica

a provável presença de bactérias patogênicas que são excretadas junto com as fezes.

Os coliformes fecais são bastonetes Gram negativos, não formadores de esporos, com metabolismo anaeróbio facultativo, que fermentam a lactose com produção de ácido e gás a 44,5°C, em 24 horas (APHA, 1995). Dufour (1977), acrescenta que os coliformes fecais não produzem citocromo oxidase nem acetil metil carbinol, não têm capacidade de hidrolizar a uréia nem de utilizar citrato como única fonte de carbono, utilizando o triptofano com produção de indol a 44°C e são positivos no teste de vermelho de metila.

A quantificação de coliformes fecais foi realizada com a técnica de membrana filtrante, usando-se membranas Millipore tipo HAWG 047-SO de 47 mm de diâmetro com poros de 0,45 µm. As amostras foram diluídas em solução tampão fosfato ou tampão fosfato-cloreto de magnésio com pH 7,2. O meio de cultura utilizado foi agar mFC (Difco), com incubação a 44,5°C durante 24 horas. Foram contadas as colônias típicas e o resultado foi expresso em UFC/100 mL (unidades formadoras de colônias por 100 mL) (APHA, 1995).

b - Estreptococos Fecais (EF)

Os estreptococos fecais (ou estreptococos do grupo "D" de Lancelfield) são cocos Gram positivos, que fazem parte da biota normal do intestino do homem e de animais homeotérmicos. O grupo está formado pelas espécies *S. faecalis*, *S. faecium*, *S. avium*, *S. gallinarium*, *S. equinus* e *S. bovis*. O *S. avium* também pode reagir com antisoro do grupo "Q" (APHA, 1995).

O subgrupo dos "enterococos" inclui as quatro espécies citadas anteriormente, que se diferenciam das restantes por possuírem a propriedade de crescer na faixa de 10 a 45°C, tolerar temperaturas de 60°C durante 30 minutos e se desenvolver em concentrações de 6,5% de cloreto de sódio a pH 9,6 (Ceballos, 1995).

Nas análises laboratoriais, os estreptococos fecais são fáceis de isolar e quantificar e crescem bem a 37°C. Podem ser usados para confirmar a origem da contaminação fecal, quando os resultados de coliformes fecais são duvidosos (APHA, 1995).

A quantificação dos estreptococos fecais foi feita utilizando-se a técnica da membrana filtrante, de forma semelhante à descrita para coliformes. O meio utilizado foi o m-Enterococos agar (Difco), com incubação a 37°C, durante 48 horas. Foram contadas as colônias típicas e o resultado foi expresso em UFC/100 mL (APHA, 1995).

c - Bactérias Heterótrofas Mesófilas (BHM)

As bactérias heterótrofas mesófilas formam um grupo bastante diversificado de bactérias Gram positivas e Gram negativas, que apresentam em comum seu metabolismo heterotrófico, sob condições mesófilas de incubação (15 a 44°C) (APHA, 1995).

As bactérias heterótrofas são na sua maioria de vida saprofítica, descompondo a matéria orgânica morta e podem ter também uma relação parasitária ou simbiótica (Branco, 1986).

Por serem heterótrofas, conseguem a energia e o carbono para seu crescimento para sintetizar novas células, através da oxidação da matéria orgânica. Esta oxidação pode se dar através de um processo aeróbio, se ocorrer na

presença de oxigênio molecular (ou seja, as bactérias são aeróbias), ou na ausência (se são anaeróbias), ou ainda, pode ocorrer na ausência ou presença de oxigênio molecular se as bactérias possuem metabolismo facultativo. O produto final do catabolismo e anabolismo bacteriano resulta na produção de novas bactérias e na liberação de sais minerais e de compostos orgânicos simples, principalmente ácidos fracos (APHA, 1995).

A quantificação das bactérias heterótrofas mesófilas foi realizada com a técnica de Contagem Padrão em Placa (CPP), pelo método Pour Plate Count. O meio de cultura empregado foi o Standard Plate Count Agar (Difco) com incubação a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas. As colônias típicas foram contadas e o resultado expresso em UFC/100 mL (APHA, 1995).

d - Fungos Filamentosos e Leveduriformes (FF, FL)

Os fungos filamentosos (bolors) são organismos eucarióticos e de nutrição heterotrófica. Podem ter vida parasitária ou saprofítica. Suas células formam um micélio de estrutura multicelular, onde cada célula preserva sua independência. A maioria deles tem metabolismo aeróbio estrito. Contudo, alguns gêneros crescem lentamente sob anaerobiose. Seu crescimento no laboratório é mais lento que o das bactérias, e suas culturas exigem, em média, 5 a 15 dias de incubação (Ceballos, 1995).

As leveduras são fungos unicelulares não formadores de micélio, cujas células cumprem as funções vegetativas e reprodutivas. Suas colônias têm aspecto cremoso ou pastoso. São bons indicadores da presença de matéria orgânica e alguns gêneros e espécies (notadamente o gênero *Candida*, e a espécie *C. albicans*) se associam significativamente com contaminação fecal, seja por fezes

ou por esgotos (Ceballos *et alii*, 1995, Hagler e Mendonça-Hagler, 1981). Segundo os mesmos autores, as leveduras toleram também uma ampla variação de pH, ainda que o mais favorável seja entre 5 e 7, além de crescerem em meios com alta pressão osmótica e em meios isentos de vitaminas e atuarem na produção de ácidos, compostos extracelulares e ésteres.

As leveduras estão amplamente distribuídas na natureza, sendo disseminadas por vetores mecânicos como os insetos, pelo vento e pelas correntes de água. A maior parte das espécies é saprofítica (nutrição a partir da matéria orgânica morta), porém algumas são parasitárias (nutrição a partir da matéria orgânica viva), dependendo de um hospedeiro para sua sobrevivência (Branco, 1986).

A técnica utilizada para a quantificação dos fungos foi a Contagem Padrão em Placa, pelo método Pour Plate Count, semelhante ao descrito para BHM. O meio de cultura utilizado foi Ágar Sabouraud Dextrose (Difco) acrescido de cloranfenicol (100 µg/mL) (Purchio *et alii*, 1988). Aliquotas da amostra bruta e de suas diluições foram semeadas pela técnica de espalhamento em placas e incubadas a 25°C, no escuro, num período de 5 a 15 dias. Foram utilizados os métodos usuais de identificação (Tom & Raper, 1945; McGinnis *et alii*, 1982; Kreger Van Rij, 1984). Para fungos filamentosos a identificação se deu a partir de observação macroscópica após se realizarem microculturas (Agar Sabouraud, 1 a 5 dias, 25°C), prova de tubo germinativo (inoculação de duas ou três colônias em 0,5 ml de soro sanguíneo com incubação a 37°C e exame microscópico após 90 minutos), prova do clamidósporo (cultura em lâmina com ágar fubá acrescido de tween 80, 1 a 5 dias, 25°C e observação microscópica), zimograma e auxonograma (teste de fermentação e assimilação).

A identificação dos fungos foi realizada no Setor de Micologia do Laboratório Integrado de Análises Clínicas (LIAC, UFPB, Campus I).

3.5.3 - Análise de Dados

a - Análise Estatística Básica

Para cada ponto de coleta foram determinados valores médios, medianas, mínimos e máximos associados às variáveis físico-químicas e microbiológicas. Estes parâmetros foram avaliados para cada época climática. Para coliformes fecais, estreptococos fecais e bactérias heterótrofas mesófilas foram calculadas médias geométricas e para as variáveis restantes, médias aritméticas.

b - Análise de Correlação

O conjunto dos dados amostrais, relativos a cada ponto analisado, obtido durante a monitoração, foi submetido a uma análise de correlação de Pearson. Foram analisadas as matrizes de correlação de Pearson para a segunda época de seca (12/08 a 28/10/94 - S₂) e para a época de chuva (30/11/95 - C₁).

Essa análise permitiu evidenciar as relações entre as variáveis físico-químicas e microbiológicas.

4 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 - Definição das Épocas Climáticas Homogêneas

A Figura 4.1 mostra os ciclos anuais de precipitação pluviométrica, assim como a divisão em períodos secos e chuvosos, para o município de Campina Grande-PB.

Os dados experimentais foram organizados por épocas climáticas de acordo com a análise da pluviometria, a fim de verificar como estes teriam influenciado no funcionamento da ETE.

Foram definidas 3 épocas climáticas:

- 1ª época seca (S_1) - 12/08 a 15/12/94.
- 2ª época seca (S_2) - 09/08 a 15/12/95.
- 1ª época de chuva (C_1) - 05/02 a 10/06/96.

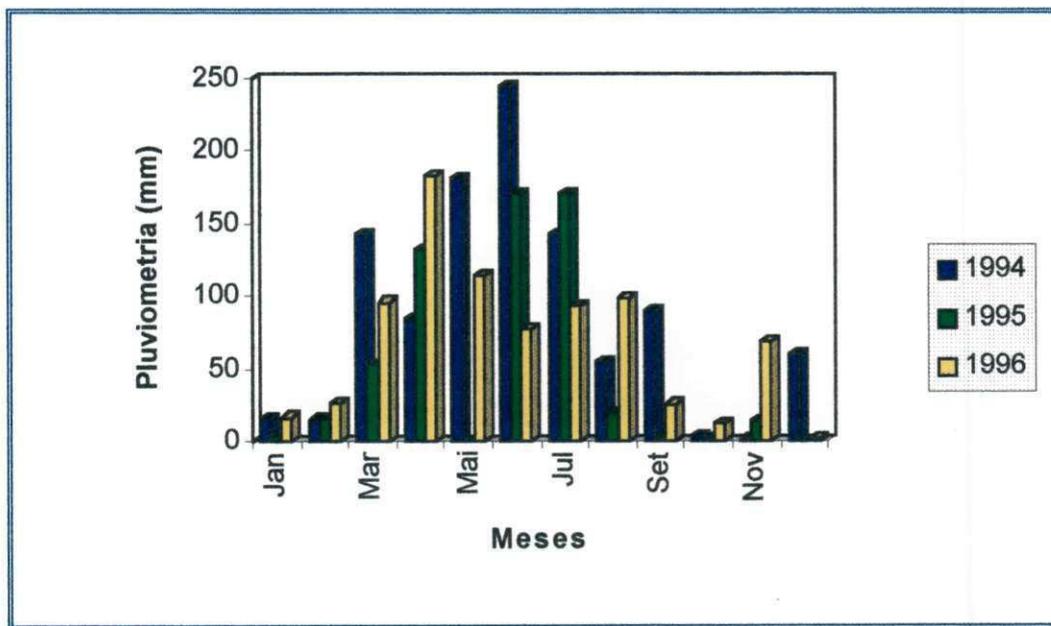


Figura 4.1 - Ciclos anuais de precipitação pluviométrica para o município de Campina Grande-PB - Fonte: LRMS/PB

4.2 - Monitoramento Sistemático

Vazão (Q)

Na ILCASA, no período monitorado, não houve grandes flutuações nos valores de vazão (Tabela 4.1). As médias e as medianas apresentaram uma certa uniformidade variando de 2,1 a 3,9 m³/h e de 1,4 a 3,9 m³/h, respectivamente.

Tabela 4.1 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de vazões afluentes à ETE da ILCASA, no monitoramento de rotina, entre 1994 e 1996.

	1994 (S ₁)	1995 (S ₂)	1996 (C ₁)
Média	3,9	2,1	2,7
Mediana	3,9	2,2	1,4
Mínimo	2,2	0,7	0,7
Máximo	5,4	3,1	6,5
n	8	7	9

As flutuações das vazões observadas nos três períodos estão relacionadas diretamente ao processo produtivo.

As plantas industriais que beneficiam o leite têm como característica a geração de efluentes líquidos sujeita a grandes variações de carga orgânica e vazão, decorrentes tanto do próprio processo adotado no beneficiamento do leite, bem como na produção de seus mais diversos derivados (Coraucci Filho *et alii*, 1997). De acordo com Borne (1974) citado por Lage Filho (1986), o volume de águas usadas nestas indústrias (excluindo-se as águas de resfriamento) é próximo ao volume de leite processado.

4.2.1 - Características Físico-químicas

a) Temperatura

Os valores de temperatura média nos pontos de coleta da ETE da ILCASA não sofreram variações significativas ao longo do período estudado (Tabela 4.2). As médias e as medianas se mostraram bastante homogêneas, apresentando valores aproximados em todos os pontos.

As temperaturas mais elevadas nas três épocas foram registradas no ponto 1 (entre 21 e 31°C), sendo a época de chuva, aquela onde foram registrados o maior valor máximo (31°C) e maior valor mínimo (25°C). Os valores mais elevados observados neste ponto correspondem às águas oriundas de determinados processos de produção que utilizam águas aquecidas. De acordo com Peirano (1995), a temperatura elevada nos efluentes de laticínios é oriunda das operações de condensação e da água de lavagem das operações de limpeza, utilizando soluções químicas.

O ponto 2 geralmente apresentou os menores valores de temperatura, não havendo flutuações nas três épocas dos valores máximos (26°C) e mínimos (21°C). Esta uniformização dos valores é característica do processo de equalização que promove o equilíbrio térmico no tanque.

O ponto 3, ao longo do período, apresentou valores de temperatura variando entre 21°C e 30°C. Os valores mais elevados detectados para esse ponto, estão relacionados a temperatura das águas residuárias observadas em regiões tropicais. Por exemplo: tanto em Campina Grande-PB como em Barueri-SP, a temperatura do esgoto, no verão, fica na faixa de 26°C (van Haandel, 1995).

Alguns estudos (Braille & Cavalcanti, 1993; Peirano, 1995) citam valores de temperatura de efluentes de laticínios variando de 19°C até 43°C. Os valores médios observados nos períodos estudados nos três pontos da ETE da ILCASA, podem ser considerados médios dentro desta faixa, e são ideais para que se verifique a atuação das bactérias mesófilas.

Tabela 4.2 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de temperaturas no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₁ (08 a 12/94), S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96).

		méd	medn	mín	máx	n
Bet 1	S ₁	23	22	21	27	8
	S ₂	26	26	23	29	9
	C	28	28	25	31	11
Bet 2	S ₁	23	22	21	26	7
	S ₂	23	23	21	26	9
	C	23	23	22	26	11
Bet 3	S ₁	23	23	21	27	7
	S ₂	25	25	21	27	9
	C	26	26	25	30	11

b) Potencial Hidrogeniônico (pH)

As variações de pH (Tabela 4.3) mostraram que os maiores valores médios ao longo do período monitorado foram observados no ponto 1 (8,4 e 9,2) e os menores no ponto 3 (6,9 e 7,1). Os valores das medianas se aproximaram dos valores médios e também decresceram do ponto 1 (7,9 - 9,4) para o ponto 2 (7,3 - 7,5) e ponto 3 (6,9 - 7,1).

Nas três épocas estudadas o ponto 1 apresentou características básicas, com valores entre 6,7 e 11,8. Esses valores são concordantes com os citados por Braille & Cavalcanti (1993) que detectaram que para despejos brutos

de laticínios o pH varia na faixa de 4,4 até 9,2. Os mesmos foram associados à presença de produtos de limpeza e de desinfecção como hipoclorito de sódio, ácido nítrico, soda cáustica e detergentes que são alguns dos constituintes do efluente do processamento do leite.

De acordo com Selmer-Olsen *et alii* (1996), os despejos de laticínios geralmente apresentam elevados valores de pH ($> 9,0$) e uma elevada capacidade de tamponação. Tais despejos são altamente variáveis, dependendo dos produtos fabricados e das operações envolvidas no processamento. Os despejos provenientes da fabricação do queijo são especialmente ácidos, em virtude da formação de ácido láctico pela ação dos microrganismos. Da mesma maneira, os despejos oriundos da fabricação de iogurte, possuem caráter ácido, pois também sofrem um processo fermentativo (Peirano, 1995).

Os valores de pH no ponto 2 apresentaram faixa de variação de 1,3 unidades, variando entre 6,7 e 8,0. Neste ponto a redução dos elevados valores provenientes do ponto 1 indicaram que o processo de equalização promoveu a homogeneização do efluente da indústria, tornando-o mais adequado para a próxima etapa do tratamento.

Nas amostras do ponto 3, as flutuações do pH mostraram valores próximos ao neutro (6,6 e 7,4), os quais foram resultantes da degradação da matéria orgânica na ausência de oxigênio com produção de ácidos fracos. De acordo com Kennedy & Droste (1985), citados por Santos (1995), este fato também pode ser atribuído à capacidade auto-reguladora dos filtros anaeróbios em adquirir o seu regime de equilíbrio dinâmico durante a operação.

Tabela 4.3 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de pH no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₁ (08 a 12/94), S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96).

		méd	medn	mín	máx	n
Bet 1	S ₁	8,4	7,9	6,7	11,8	8
	S ₂	9,2	9,4	6,8	11,2	9
	C	9,1	9,2	7,0	11,5	11
Bet 2	S ₁	7,2	7,3	6,7	7,7	8
	S ₂	7,5	7,3	7,3	8,0	9
	C	7,5	7,5	7,3	8,0	11
Bet 3	S ₁	6,9	7,0	6,7	7,1	8
	S ₂	7,1	6,9	6,9	7,3	9
	C	7,0	7,1	6,6	7,4	11

c) Oxigênio Dissolvido (OD)

As concentrações de OD na ETE da ILCASA (Tabela 4.4) apresentaram faixas de variação decrescentes desde o ponto 1 até o ponto 3. No ponto 1, predominaram concentrações elevadas de OD com medianas variando entre 3,4 e 6,1 mg/L. Este comportamento foi observado nas três épocas estudadas, sendo que na época de chuva foram registrados os maiores valores mínimos (3,8 mg/L) e máximos (8,4 mg/L). Esses valores foram associados com as condições climáticas, que antecederam às coletas, tendo em vista que toda a água de drenagem da indústria adentra à ETE, favorecendo a turbulência, aumentando o volume e acelerando o fluxo do efluente.

No ponto 2 as medianas variaram entre 0,1 e 0,2 mg/L nas três épocas estudadas. Essa redução esteve associada com o consumo de oxigênio dissolvido pelas bactérias heterótrofas na biodegradação da matéria orgânica. Os valores extremos foram determinados nos períodos de estiagem (máximo de 0,3 mg/L em S₁ e de 0,4 mg/L em S₂).

Concentrações medianas sistematicamente baixas entre 0,1 e 0,2 mg/L, também foram registradas no ponto 3. Essa escassa variação foi atribuída à elevação de degradação biológica promovida pelos filtros anaeróbios bem como pela ausência de atividade fotossintética nos mesmos.

Tabela 4.4 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de OD no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₁ (08 a 12/94), S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96).

		méd	medn	mín	máx	n
Bet 1	S ₁	3,4	3,4	0,1	6,7	8
	S ₂	5,5	6,6	0,2	7,1	9
	C	6,3	6,1	3,8	8,4	10
Bet 2	S ₁	0,1	0,1	0,1	0,3	8
	S ₂	0,2	0,2	0,1	0,4	7
	C	0,2	0,2	0,1	0,2	10
Bet 3	S ₁	0,1	0,1	0,1	0,2	8
	S ₂	0,2	0,2	0,2	0,3	4
	C	0,2	0,2	0,1	0,2	10

d) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

Na ETE da ILCASA, a DBO₅ apresentou flutuações muito acentuadas ao longo do período experimental (Tabela 4.5). Os valores médios apresentaram um mesmo padrão para todos os pontos nas épocas secas (S₁ e S₂), decrescendo na época de chuva (C₁), indicando o efeito diluidor da precipitação pluviométrica. Este comportamento se repetiu nas medianas, cujos valores variaram entre 130 e 609 mg/L em S₁, entre 110 e 628 mg/L em S₂ e entre 197 e 420 mg/L em C₁.

Os valores mais elevados observados no ponto 1, nas épocas secas, foram de 1030 mg/L em S₁ e de 1036 mg/L em S₂. Na época chuvosa estes valores foram reduzidos em

aproximadamente 50% (547 mg/L). De acordo com Lage Filho (1986), as grandes flutuações de DBO₅ nas águas residuárias das indústrias de laticínios dependem dos produtos fabricados e das operações envolvidas no processo. Para operações de envazamento e fabricação de manteiga, a DBO₅ situa-se entre 300 e 500 mg/l, e para produção de leite em pó, leite condensado, queijo (em cuja produção há eliminação de grande quantidade de soro, que possui alta DBO₅) e similares, a DBO₅ dos efluentes é muito elevada, entre 1000 e 2000 mg/l.

O ponto 2, apresentou as maiores amplitudes, com valores entre 85 e 797 mg/L. Na 1ª época seca (S₁), foi observado um aumento do valor médio de DBO₅ do ponto 1 (552 mg/L) para o ponto 2 (564 mg/L), evidenciando que a equalização apenas transformou a DBO₅ em biomassa.

Um aumento de DBO₅ foi registrado no ponto 3, na época de chuva, o qual foi associado à criação de zonas mortas nos níveis mais baixos do leito de pedra, com conseqüente arraste do biofilme, promovido por uma carga orgânica elevada.

No transcorrer da fase experimental houve uma grande variação de DBO₅ do afluente e efluente da ETE da ILCASA. A remoção total ao longo do sistema da matéria orgânica biodegradável foi maior nas épocas de estiagem (75% em S₁ e 67% em S₂). Na época de chuva, esta foi de 27%, sendo que a maior contribuição foi dada pelo ponto 2. O ponto 3 contribuiu com apenas 2%. No geral, a eficiência na remoção de DBO₅ apresentou resultados concordantes com observações de Rocha (1985) e de Braile & Cavalcanti (1993), que em experimentos com filtros anaeróbios tratando despejos de laticínios, detectaram eficiências da ordem de 65 a 85%.

Tabela 4.5 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de DBO₅ no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₁ (08 a 12/94), S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96).

		méd	medn	mín	máx	n
Bet 1	S ₁	552	460	332	1030	6
	S ₂	634	628	227	1036	7
	C	379	420	204	547	11
Bet 2	S ₁	564	609	243	797	6
	S ₂	487	476	325	713	7
	C	282	266	85	634	10
Bet 3	S ₁	138	130	77	208	6
	S ₂	206	110	89	679	7
	C	276	197	107	517	10

e) Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Na ETE da ILCASA as médias e as medianas de DQO ao longo do período monitorado apresentaram variações acentuadas, com valores entre 314 e 6674 mg/L e entre 292 e 6154 mg/L, respectivamente (ver tabela 4.6).

As concentrações mínimas de DQO foram observadas nas épocas de seca, e ficaram entre 208 e 521 mg/l em S₁ e entre 97 e 681 mg/L em S₂. Já os valores de DQO mais elevados (de até 13333 mg/L, foram registrados na época chuvosa, indicando a entrada de quantidades elevadas de matéria orgânica não facilmente biodegradável.

De acordo com Braile & Cavalcanti (1993), a DBO e a DQO dos despejos de laticínios variam em função do produto fabricado, já que diferentes quantidades de oxigênio são necessárias para a oxidação dos diferentes constituintes do leite, como gorduras, carboidratos e proteínas.

Strydom et alii (1997), analisando os efluentes de três fabricas de beneficiamento de leite (queijo, leite fresco e leite em pó e manteiga), verificaram diferenças significativas na composição dos efluentes de cada fábrica, bem como uma grande variabilidade na DQO (entre 1908 e 5340 mg/L) dos mesmos em curtos intervalos de tempo. Tais autores também verificaram que uma característica deste tipo de efluente é a correlação entre o consumo de água e os valores médios de DQO, e citam como exemplo fábricas de leite em pó e manteiga que produzem efluentes bastante diluídos devido ao elevado volume de água utilizado na produção.

A eficiência de remoção de DQO ao longo do sistema foi bastante expressiva sendo 85% em S_1 , 26% em S_2 e 59% em C_1 . Porém, apesar destes números deve-se ressaltar que o efluente a ser lançado no meio ambiente, ainda apresenta um elevado poder poluente, como mostram os valores médios, mínimos e máximos apresentados na Tabela 4.6. Esses valores são menores que os observados por Peirano (1995) que, operando um sistema de lodos ativados com aeração prolongada, para tratamento de despejos líquidos da Parmalat RS, obteve uma eficiência de remoção de DQO de 96,5%.

Os valores de DQO registrados ao longo dos períodos estudados foram geralmente superiores aos de DBO_5 , chegando a ser até dez vezes maiores que os obtidos por esse teste. Isso está associado ao fato de que na DQO a oxidação do material orgânico é praticamente completa, apresentando tal reação, geralmente, uma eficiência de 95 a 100% (APHA, 1989). Por outro lado, no caso de certas águas residuárias como esgoto doméstico, a DBO de 5 dias corresponde a apenas de 65 a 70% da demanda total exercida pela matéria orgânica biologicamente oxidável (Branco, 1986).

Figura 4.6 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de DQO no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₁ (08 a 12/94), S₂ (08 a 12/85) e C, (02 a 06/96).

		méd	medn	mín	máx	n
Bet 1	S ₁	2146	2001	519	4062	4
	S ₂	1577	1500	681	3171	7
	C	6674	6154	3000	13333	11
Bet 2	S ₁	1324	986	521	2805	4
	S ₂	1457	1585	596	2210	7
	C	2741	2703	2267	3500	11
Bet 3	S ₁	314	292	208	463	4
	S ₂	1171	1000	97	3658	7
	C	2757	2667	750	5867	11

f) Fósforo (PT) e Orto-fosfato Solúvel (P-Solúvel)

Na ETE da ILCASA, as concentrações de PT (Tabela 4.7), apresentaram faixas de variação crescentes desde o ponto 1 (7,1 a 8,6 mgP/L) até o ponto 3 (8,0 a 9,6 mgP/L). A variabilidade sazonal se caracterizou pelas medianas mais baixas (6,7 a 9,0 mgP/L) na época chuvosa, evidenciando o efeito diluidor da precipitação pluviométrica.

Nas duas épocas estudadas as concentrações de PT no ponto 1 foram elevadas, entre 2,7 e 22,2 mgP/L, sendo associadas às características essencialmente orgânicas do despejo. Um outro fator que contribuiu para a elevação das concentrações de fósforo no ponto 1, está relacionado aos compostos de limpeza comumente utilizados nas indústrias de laticínios, que contêm elevados teores de fosfatos (Pico & Brown, 1979). De acordo com Azevedo Neto (1988), os detergentes utilizados na limpeza, de um modo geral contribuem consideravelmente para a deterioração da qualidade das águas, sobretudo pela ação de polifosfatos.

O ponto 2 apresentou as maiores amplitudes, com valores entre 0,0 e 23,4 mg/L. Os altos valores de PT no

ponto 2, foram relacionados à incorporação do mesmo na biomassa microbiana.

O material orgânico particulado e dissolvido acumulado na fase final anaeróbia do tratamento propiciou concentrações elevadas de fósforo, no ponto 3, onde os valores variaram entre 4,9 e 14,3 mg/L na época seca e entre 5,1 e 11,0 mg/L na época de chuva. Este fato, já era esperado, sendo explicado pela inibição dos mecanismos de remoção (precipitação e assimilação biológica) desse elemento, assim como ao seu baixo consumo relativo em filtros aneróbios (Young & McCarty, 1969, citados por Santos, 1995).

Na Tabela 4.8, pode ser observado que, de modo semelhante ao PT, o orto-fosfato solúvel apresentou aumento ao longo da ETE da ILCASA ao longo do período estudado. Porém, houve divergências em relação à variabilidade sazonal, com concentrações mais elevadas na época de chuva. Esse aumento, está relacionado com a entrada na ETE de um maior volume de água exógena ao beneficiamento do leite (água de drenagem da indústria) que deslocou para o filtro biológico praticamente toda a biomassa do tanque de equalização (Tabela 4.5-dados de DBO₅) reduzindo desse modo a concentração dos microrganismos responsáveis pela absorção do ortofosfato.

Nas duas épocas estudadas, a ETE da ILCASA mostrou-se ineficiente na remoção das formas de fósforo (total e solúvel), apresentando um acréscimo nas suas concentrações. Tais resultados contrariam estudos realizados por Coraucci Filho et alii (1996), que operando um reator anaeróbio de fluxo ascendente como unidade de pré-tratamento de efluente líquido de laticínio, obtiveram resultados considerados satisfatórios quanto à remoção média de fósforo total (27,7%).

Tabela 4.7 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de PT no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96).

		méd	medn	mín	máx	n
Bet 1	S ₂	8,6	7,5	4,1	22,2	9
	C	7,1	7,0	2,7	11,7	11
Bet 2	S ₂	10,0	10,1	0,0	23,4	9
	C	6,2	6,7	0,0	9,5	11
Bet 3	S ₂	9,6	11,2	4,9	14,3	9
	C	8,0	9,0	5,1	11,0	11

Tabela 4.8 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de Ortofosfato Solúvel no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96).

		méd	medn	mín	máx	n
Bet 1	S ₂	3,0	2,5	0,3	5,9	8
	C	3,4	1,9	0,3	14,7	11
Bet 2	S ₂	1,6	1,5	0,3	3,4	8
	C	3,8	2,8	0,5	14,5	11
Bet 3	S ₂	5,4	5,8	3,6	7,1	8
	C	6,1	5,4	3,0	10,3	11

f) Amônia (N-NH₃)

Na ETE da ILCASA, as medianas de amônia (Tabela 4.9) se mostraram bastante heterogêneas, variando de 0,0 mgN/L (ponto 2) na segunda época seca até 17 mgN/L (ponto 3) na época de chuva. Estes resultados evidenciam a variação entre as diferentes épocas, associadas à seca e à chuva.

No ponto 1 os valores flutuaram entre 0,2 e 38,5 mgN/L na época seca e entre 0,0 e 7,7 mgN/L na época chuvosa. Os valores mais elevados observados neste ponto, estão relacionados com o uso de desinfetante na limpeza, os quais são em sua maioria constituídos por compostos de

cloro e podem ainda conter compostos de iodo, de amônia, ácidos e fenóis (Braile & Cavalcanti, 1993).

As concentrações baixas de amônia no ponto 2, inclusive com a existência de valores nulos estão relacionadas com a absorção desta pelos microrganismos no reator, como também com a volatilização da amônia no mesmo.

No ponto 3, foi observado um aumento da concentração de amônia, com valores médios de 15,5 mg/L na época de seca e de 20,2 mg/L na época chuvosa. O aumento dos valores de amônia observado no ponto 3 foi registrado por Middlebrooks (1992), citado por Santos (1995), ao analisar a utilização dos filtros anaeróbios como alternativa para melhoria da qualidade de efluentes de lagoas de estabilização, e está relacionado com a elevação dos níveis de degradação e mineralização, de material orgânico nitrogenado.

Tabela 4.9 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de Amônia no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96).

		méd	medn	mín	máx	n
Bet 1	S ₂	9,0	5,0	0,2	38,5	9
	C	2,4	1,8	0	7,7	9
Bet 2	S ₂	0,2	0,0	0	2,1	9
	C	4,7	3,8	0	16,4	11
Bet 3	S ₂	15,5	15,1	6,4	31,4	9
	C	20,2	17,0	10,3	37,0	11

g) Sólidos Sedimentáveis (S. Sed.)

A Tabela 4.10, mostra os valores médios, mínimos, máximos e tamanho amostral dos sólidos sedimentáveis dos pontos 2 e 3 da ETE da ILCASA, no monitoramento de rotina.

Devido à inexistência de sólidos sedimentáveis na composição das águas residuárias de indústrias de laticínios, não se fez necessária a sua determinação no ponto 1.

Neste estudo, foram observadas concentrações elevadas de sólidos sedimentáveis nos pontos 2 e 3. As variações sazonais se caracterizaram pelos valores mais elevados na época chuvosa, indicando que a sedimentabilidade dos sólidos é variada. De acordo com van Haandel (1995), nas suspensões mais diluídas a interação entre as partículas que sedimentam é fraca e a velocidade de cada uma depende das forças gravitacional e friccional que agem sobre elas.

No ponto 2 as medianas atingiram os valores de 160 mL/L na época seca (S_2) e de 350,0 mL/L na época de chuva (C_1). Os valores dos sólidos sedimentáveis mínimo e máximo para este ponto variaram entre 61 e 190 mL/L em S_2 e entre 72 e 950 mL/L em C_1 . O valor máximo de 950 mL/L observado em C_1 , foi associado à má formação dos flocos (pequenos e pouco densos), devido à entrada de água de chuva na ETE tornando a suspensão diluída e comprometendo a sedimentação.

No ponto 3, o valor médio dos sólidos sedimentáveis foi de 50,3 mL/L com uma variação entre 14 e 120 mL/L em S_2 . Houve uma elevação deste parâmetro em C_1 que apresentou valor médio de 202 mL/L com valores mínimo e máximo de 10 e 850 mL/L, respectivamente. O valor de 850 mL/L observado em C_1 pode estar relacionado à ressuspensão desses sólidos ocasionada pelo desprendimento do biofilme do suporte sólido do filtro anaeróbio de fluxo ascendente.

A ETE da ILCASA mostrou um certo equilíbrio na seca (63%) e na chuva (56%), revelando índices razoáveis de remoção de sólidos sedimentáveis. Porcentagens mais

elevadas de remoção de sólidos sedimentáveis foram determinados por Bernardo *et alii* (1995), operando um reator UASB para o tratamento de resíduos de laticínios. Em particular, tais autores obtiveram eficiências entre 71 e 99%, embora esse parâmetro fosse elevado no afluente.

Tabela 4.10 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de Sólidos Sedimentáveis no efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96).

		méd	medn	mín	máx	n
Bet 2	S ₂	137,	160	61	190	3
	C	463	350	72	950	11
Bet 3	S ₂	50	17	14	120	3
	C	202	150	10	850	11

h - Sólidos Totais, Fixos e Voláteis (ST, STF e STV)

Neste estudo, os ST apresentaram concentrações elevadas nos três pontos, nas três épocas (ver Tabela 4.11). No referente à distribuição espacial, as medianas mais elevadas ocorreram sistematicamente no ponto 1 com valores de 1436,0 mg/L em S₁, 2008 mg/L em S₂ e 1504,0 mg/L em C₁.

No ponto 2, embora ainda extremas, as variações sazonais foram menos acentuadas que nos outros pontos (entre 448 e 2902 mg/L), indicando a influência da equalização no equilíbrio do efluente.

Concentrações relativamente altas de ST (entre 764 e 6554 mg/L) foram verificadas na época de chuva, no ponto 3, provocando o desprendimento do biofilme do suporte sólido dos filtros anaeróbios, indicando a ineficiência da ETE.

De acordo com Hammer (1979), os despejos de indústrias de laticínios apresentam em média valores de 1600 mg/L de ST e, em conseqüência, os encontrados neste trabalho estariam dentro da faixa padrão.

A eficiência média de remoção de ST observada no sistema foi de 44% na época seca. Eficiência praticamente semelhante foi observada por Oestreich (1989), em uma indústria de laticínios do Rio Grande do Sul. Em particular, a autora observou eficiência de remoção de 47% na época seca.

As flutuações da fração fixa dos sólidos totais (Tabela 4.12) presentes no ponto 1 foram bastante acentuadas (entre 6 e 2464 mg/L), e podem ser atribuídas às diferenças qualitativas e quantitativas dos produtos inorgânicos descarregados no efluente industrial. O ponto 2 apresentou as menores flutuações com medianas de 868,0 mg/L em S₁; 801 mg/L em S₂ e 788 mg/L em C₁. Este comportamento foi devido ao equilíbrio gerado pelo processo de mistura promovido pela equalização. Com exceção da época chuvosa, as concentrações médias de STF tenderam a diminuir nas amostras dos pontos 1 e 3 (910 para 807 mg/L em S₁, de 1097 para 776 mg/L em S₂ de 816 para 677 mg/L em C₁). O acréscimo observado para este ponto na época chuvosa, foi atribuído ao desprendimento do biofilme do suporte sólido dos filtros anaeróbios.

A variação dos STV nos três reatores da ILCASA (Tabela 4.13), foi mais acentuada que a dos STF, sendo entre 84 e 1081 mg/L em S₁, entre 138 e 3860 mg/L em S₂ e entre 182 e 5662 mg/L em C₁. Esta variação pode ser associada ao fato da fração orgânica dos efluentes de indústria de laticínios ser maior que a fração inorgânica. Este comportamento também foi verificado por Strydom et alii (1997), que ao analisar o efluente de

uma indústria de queijo registrou valores de 3110 mg/L de sólidos totais voláteis para o esgoto bruto. De acordo com os autores, o efluente geral da fábrica consistia de produtos diluídos e águas da lavagem inicial dos equipamentos.

Tabela 4.11 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de Sólidos Totais no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₁ (08 a 12/94), S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96).

		méd	medn	min	máx	n
Bet 1	S ₁	1672	1436	1417	2162	3
	S ₂	2414	2008	1145	4766	8
	C	2116	1504	456	6462	7
Bet 2	S ₁	1255	1362	878	1526	3
	S ₂	1663	1561	1196	2902	8
	C	1419	1506	448	2300	7
Bet 3	S ₁	980	1096	676	1168	3
	S ₂	1279	1060	930	2400	8
	C	2146	1338	764	6554	7

Tabela 4.12 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de Sólidos Totais Fixos no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₁ (08 a 12/94), S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96).

		méd	medn	min	máx	n
Bet 1	S ₁	910	844	805	1081	3
	S ₂	1097	891	568	2464	8
	C	816	843	6	1482	7
Bet 2	S ₁	820	868	505	1088	3
	S ₂	835	800	736	1092	8
	C	621	788	10	824	7
Bet 3	S ₁	807	822	516	1084	3
	S ₂	776	772	702	886	8
	C	677	726	42	892	7

Tabela 4.13 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de Sólidos Totais Voláteis no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₁ (08 a 12/94), S₂ (08 a 12/95) e C, (02 a 06/96).

		méd	medn	mín	máx	n
Bet 1	S ₁	762	612	592	1081	3
	S ₂	1317	978	472	3860	8
	C	1300	678	373	4980	7
Bet 2	S ₁	435	373	274	658	3
	S ₂	828	751	450	1810	8
	C	798	754	438	1476	7
Bet 3	S ₁	173	160	84	274	3
	S ₂	503	285	138	1694	8
	C	1470	722	182	5662	7

i - Sólidos Suspensos Totais, Fixos e Voláteis

As médias e as medianas dos SS e suas frações na ETE da ILCASA se mostraram bastante heterogêneas em todos os pontos (ver Tabelas 4.14, 4.15 e 4.16).

Ao analisar os resultados obtidos, foi possível constatar que a fração volátil dos SS nos pontos 1 e 2, foi sempre superior à fração fixa, o que evidencia uma maior quantidade de matéria orgânica no despejo. Esse comportamento também foi constatado no ponto 3, onde esperava-se que ocorresse o inverso. Neste ponto a ETE praticamente não apresentou remoção satisfatória de SST na época de chuva (18%). A remoção obtida na época seca (48%) foi menor que a conseguida pela CETESB (s/d), que operando um filtro anaeróbio de fluxo ascendente obteve valores superiores a 85% de remoção de SS.

Segundo Peirano (1995), as concentrações de SS nos despejos brutos de laticínios variam em função da operação, indicando valores de 500 a 2300 mg/L.

A fração de SSF (Tabela 4.15), apresentou concentrações medianas mais baixas, com variações entre 24 e 76 mg/L na época de estiagem e entre 55 e 68 mg/L na época de chuva.

Os SSV (Tabela 4.16) foram elevados, observando-se valores máximos variando entre 720 e 994 mg/L na estiagem (verão) e de 646 e 962 mg/L na época de chuva (inverno).

De acordo com as Tabelas 4.14, 4.15 e 4.16, pode se observar que a qualidade do efluente do ponto 2 é inferior à do esgoto bruto. Este comportamento, deve-se à presença de lodo no efluente do tanque de equalização, que confere ao mesmo uma baixa qualidade em termos da concentração de DBO₅, DQO e SS (van Haandel, 1995).

Ao contrário do que ocorreu com os ST, as concentrações dos SS não apresentaram aumento no ponto 3, indicando que houve retenção de material nos filtros.

Tabela 4.14 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de Sólidos Suspensos Totais no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96).

		méd	medn	mín	máx	n
Bet 1	S ₂	466	273	158	1045	9
	C	606	425	114	1876	10
Bet 2	S ₂	611	662	296	864	9
	C	539	467	240	1536	10
Bet 3	S ₂	319	182	53	832	9
	C	442	336	70	940	10

Tabela 4.15 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de Sólidos Suspensos Fixos no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96).

		méd	medn	mín	máx	n
Bet 1	S ₂	54	51	10	109	9
	C	179	68	8	1166	10
Bet 2	S ₂	71	76	28	126	9
	C	181	58	4	890	10
Bet 3	S ₂	58	24	5	228	9
	C	96	55	6	462	10

Tabela 4.16 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral de Sólidos Suspensos Voláteis no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96).

		méd	medn	mín	máx	n
Bet 1	S ₂	412	222	140	994	9
	C	427	388	2	962	10
Bet 2	S ₂	540	562	268	738	9
	C	358	368	12	646	10
Bet 3	S ₂	262	160	35	720	9
	C	346	238	1	844	10

4.2.2 - Parâmetros Microbiológicos

a) Coliformes Fecais (CF)

A utilização de Coliformes Fecais (CF) como indicadores de contaminação fecal é tradicional na avaliação da qualidade sanitária de efluentes de ETE's. São também importantes os Estreptococos Fecais (ET), que confirmam a contaminação fecal na ausência de CF, as bactérias heterótrofas mesófilas (BHM) e os fungos totais (FT), cujas quantificações tendem a expressar as variações de matéria orgânica (Amorim et alii, 1996).

A distribuição temporal dos valores individuais de CF no ponto 1 mostrou flutuações acentuadas tanto no período seco como no chuvoso (ver Tabelas 4.17). Estas flutuações podem estar associadas com os diferentes tipos de descargas (lavagem dos tachos de leite cru, dos sanitários, da presença de produtos de limpeza e desinfecção) que não são idênticos para todos os dias no mesmo horário. Os valores mais baixos de CF no ponto 1, foram atribuídos à provável presença de substâncias tóxicas utilizadas na desinfecção dos equipamentos e aos valores elevados de pH, que ocorrem pelo uso de álcalis.

No ponto 2, as variações sazonais foram menos acentuadas (Mín= 10^5 - Máx= 10^7 UFC/100 mL) devido ao efeito homogeneizador desta fase do tratamento.

Valores muito próximos e até semelhantes aos do ponto 2 foram encontrados no ponto 3, que apresentou concentrações entre $3,7 \times 10^5$ e $1,1 \times 10^7$ UFC/100 mL. Estes valores elevados mostram um acréscimo no número de CF no ponto 3, e podem ser associados ao desprendimento do biofilme do suporte sólido dos filtros anaeróbios de fluxo ascendente.

Valores elevados de CF em efluentes de indústrias de laticínios foram encontrados por Oestreich (1989), que registrou para o esgoto bruto valores entre 10^4 e 10^7 UFC/100 mL na época seca e entre 10^3 e 10^5 UFC/100 mL na época de chuva. Concentrações de $3,4 \times 10^7$ UFC/100 mL para o esgoto bruto e de 6×10^6 UFC/100 mL para os efluentes dos tanques sépticos foram registrados por Oliveira (1983), operando um filtro anaeróbio de fluxo ascendente tratando esgoto doméstico.

Os níveis de CF no efluente final foram elevados e não atendem aos padrões recomendados pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 1989) para irrigação irrestrita (1000 CF/100 mL). Por outro lado, evidenciam

ineficiência da ETE apresentando um acréscimo na seca (22%), e baixa remoção na chuva (35%). Essa ineficiência propicia a eliminação ao meio ambiente de uma elevada carga bacteriana, que contamina o corpo receptor e muito provavelmente dissemina organismos patogênicos.

Tabela 4.17 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral do número de Coliformes Fecais no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96).

		méd	medn	min	máx	n
Bet 1	S ₂	4,1E+5	4,4E+3	1,0E+0	3,8E+7	3
	C	3,4E+6	3,7E+6	1,2E+6	8,8E+6	4
Bet 2	S ₂	1,8E+6	1,1E+6	5,1E+5	1,0E+7	3
	C	1,3E+6	2,6E+6	8,4E+5	5,0E+6	4
Bet 3	S ₂	2,2E+6	2,6E+6	3,7E+5	1,1E+7	3
	C	8,4E+5	7,6E+5	6,0E+5	3,0E+6	4

b) *Estreptococos Fecais (EF)*

As bactérias patogênicas contidas nos efluentes das indústrias de laticínios podem ser principalmente *Coxiella burneti*, *Brucella* spp, *Clostridium botulinum*, *Micobacterium tuberculosis*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp e *S. pyogenes*. Estas podem estar presentes no leite através da contaminação com solo, com água e até com as fezes dos animais. Estas bactérias podem resistir ao processo de pasteurização do leite como também podem ser eliminadas diretamente no efluente por derrame do leite cru, na plataforma de recepção.

Ao longo da ETE da ILCASA, nas duas épocas, a contaminação fecal evidenciada pelos estreptococos fecais foi muito elevada. Os valores médios e medianas de EF nas duas épocas foram aproximados, nos 3 pontos, e entre 10⁵ e 10⁶ UFC/100mL (Tabela 4.18).

A presença destas bactérias em número elevado no ponto 1 (Bet 1) indica que o esgoto afluente ao sistema de tratamento está mais contaminado que o sugerido pelos valores de CF. Esse fato poderia ser relacionado à maior tolerância de alguns enterococos às variações de temperatura e de pH.

Ao longo do sistema de tratamento as concentrações de EF foram reduzidas em aproximadamente 10 vezes, desde o esgoto bruto até o efluente final. Apesar dessa redução apresentada ao longo da ETE, os valores elevados no efluente final refletem falhas no seu funcionamento, com remoção na época de seca (S_2) de 82% e de 12% na época de chuva (C_1).

Não há quaisquer informações sobre a concentração permitida destas bactérias em efluentes a serem lançados na natureza, porém, de acordo com o APHA (1992) para águas de recreação, o seu número não deve exceder a 33 UFC/100 mL, pode-se concluir que os valores de EF no efluente final da ETE da ILCASA, indicam forte contaminação fecal do mesmo. Todavia, a contaminação aparenta ser superior à evidenciada pelos CF.

Tabela 4.18 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral do número de *Streptococcus Fecalis* no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S_2 (08 a 12/95) e C_1 (02 a 06/96).

		méd	medn	mín	máx	n
Bet 1	S_2	8,8E+5	1,2E+6	1,3E+5	5,3E+6	4
	C	5,7E+5	5,8E+5	1,0E+0	1,1E+6	5
Bet 2	S_2	5,5E+5	6,8E+5	2,2E+5	1,3E+6	4
	C	2,4E+6	2,0E+6	1,0E+0	3,7E+6	5
Bet 3	S_2	1,6E+5	3,5E+5	1,2E+4	1,8E+6	4
	C	5,0E+5	6,0E+5	4,2E+5	3,0E+6	5

c) Bactérias Heterótrofas Mesófilas (BHM) e Fungos Totais (FT)

A indústria de laticínios origina grandes volumes de águas residuárias, constituídas por leite, gordura, restos de frutas e açúcares que servem de cultura para bactérias e fungos, inclusive patogênicos.

De acordo com Branco (1986), fungos concorrem com as bactérias heterótrofas, como consumidores primários de alimento orgânico. O seu desenvolvimento está associado, principalmente, a temperaturas moderadas e à presença de resíduos industriais.

Na ETE da ILCASA as flutuações temporais das populações de BHM foram menos marcantes, quando comparadas com as populações de CF. No ponto 1, as BHM apresentaram concentrações mais baixas no período de chuva (entre 10^3 e 10^5 UFC/100mL). Nos pontos 2 e 3 as variações sazonais se caracterizaram pelos valores aproximados (entre 10^5 e 10^6 UFC/100mL) nos dois períodos (ver Tabela 4.19).

Os FT nos três pontos estudados apresentaram fortes flutuações, evidenciadas pelos valores máximos (10^4 a 10^5 FT/mL) e mínimos (10 a 10^2 FT/mL) (ver Tabela 4.20).

Na ETE da ILCASA não foi observada remoção nem de BHM nem de FT, mas sim, um acréscimo destes microrganismos entre os pontos 1 e 3, refletindo uma carga orgânica excessiva aplicada ao sistema.

O aumento de BHM e FT nos pontos 2 e 3 foi associado à liberação desses microrganismos dos flocos formados no tanque de equalização durante a agitação e no

leito filtrante do filtro anaeróbio, no qual deveriam ficar retidos.

Tabela 4.19 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral do número de Bactérias Heterótrofas Mesófilas no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₂ (08 a 12/95) e C₁ (02 a 06/96).

		méd	medn	mín	máx	n
Bet 1	S ₂	4,7E+5	1,3E+6	2,7E+4	3,2E+6	4
	C	6,7E+4	3,9E+4	4,0E+3	7,1E+5	5
Bet 2	S ₂	7,0E+5	3,9E+5	2,2E+5	8,5E+6	4
	C	6,2E+5	4,8E+5	4,3E+5	1,6E+6	5
Bet 3	S ₂	2,6E+6	2,5E+6	5,8E+5	1,2E+7	4
	C	1,2E+6	9,3E+5	3,9E+5	5,0E+6	5

Tabela 4.20 - Valores médios, medianas, mínimos, máximos e tamanho amostral do número de Fungos Totais no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, em S₂ (08 a 12/95).

		méd	medn	mín	máx	n
Bet 1	S ₂	3,6E+3	1,9E+4	1,8E+1	1,1E+5	4
Bet 2	S ₂	6,8E+3	8,4E+3	4,2E+2	7,2E+4	4
Bet 3	S ₂	6,1E+3	9,6E+3	8,0E+1	2,2E+5	4

4.3 - Estudos no Ciclo Diário

As Figuras 4.2 a 4.17 apresentam as variações de aspectos físico-químicos e microbiológicos dos despejos da ILCASA, ao longo do ciclo diário (entre 7 e 17 h). Foram realizados seis experimentos no 1º período de seca (S₁) e um no 2º período de seca (S₂). Os resultados mostraram variações diárias acentuadas nas concentrações dos diferentes parâmetros nos três pontos.

Vazão (Q)

As flutuações das vazões da ETE da ILCASA nos períodos de seca S_1 e S_2 são mostradas na Figura 4.2. Os valores médios de vazão mais elevados foram registrados na sua maioria às 11 e 15 horas, e estão relacionados diretamente ao processo produtivo (horário de maior atividade na planta de processamento).

Os volumes mais baixos desses efluentes foram sempre observados no início e término das atividades industriais.

O uso da água nas diversas atividades de uma indústria de laticínios gera grande quantidade de efluentes líquidos resultantes das várias etapas do processo. Geralmente entre 75 e 95% da água inicialmente utilizada para higienização nas indústrias de laticínios, é descarregada como efluente (Strydom et alii, 1997), desse modo o volume de águas usadas fornece uma indicação segura do potencial deste tipo de efluente. Segundo os mesmos autores, o gerenciamento do uso da água nestas indústrias pode reduzir o volume de despejos a serem tratados. Outras práticas também úteis, são redução na concentração de substâncias utilizadas nas operações de limpeza e desinfecção, segregação dos despejos conforme suas características, bem como o desenvolvimento de programas de manutenção de equipamentos e linhas de processo, objetivando o mínimo de perdas por vazamento (Peirano, 1995).

4.3.1 - Características Físico-químicas

a) Temperatura

Os valores da temperatura não apresentaram grandes flutuações nos 3 reatores (Figura 4.3a-c), porém foi observada uma tendência de aumento de S_1 para S_2 .

No ponto 1 (Figura 4.3a) essas flutuações (entre 22°C e 30°C), foram associadas às atividades da indústria.

As menores flutuações ocorreram no efluente do ponto 2 (Figura 4.3b), com valores mínimo de 21,4°C em S_1 , obtido às 17 horas e máximo de 24°C em S_2 , obtido às 13 e 16 horas, respectivamente. Estas flutuações podem ser atribuídas ao equilíbrio das características físico-químicas promovido pelo processo de equalização.

Os maiores valores da temperatura encontrados no ponto 3 (Figura 4.3c) foram de 25,5°C (S_1) e 30°C (S_2), no período compreendido entre 12 e 16 horas. Já os mínimos foram de 21,6°C (S_1) e 24°C (S_2), em amostras coletadas às 7 horas. A elevação da temperatura observada nas épocas quentes do ano está relacionada a uma melhor distribuição da temperatura na massa líquida, dos filtros. Este aumento provoca uma conseqüente elevação da eficiência destes com respeito à estabilização do esgoto. Segundo van Haandel (1995), quando a digestão anaeróbia acontece a temperatura inferior a 30°C, a taxa máxima de digestão anaeróbia decresce.

b) Potencial Hidrogeniônico (pH)

Os valores de pH apresentaram pouca variação no ciclo diário (Figura 4.4a-c), ocorrendo um mínimo de 6,7

(S₁) e um máximo de 10,9 (S₂) ambos às 15 horas no ponto 1 (Figura 4.4a). Esta maior variação é atribuída aos produtos utilizados na indústria, bem como às quantidades em que estes são descarregados no efluente ao longo do dia. De acordo com Peirano (1995), este parâmetro é afetado principalmente pelo tipo e quantidade de agentes químicos e desinfetantes utilizados na limpeza.

A alta biodegradabilidade dos efluentes de laticínios também afeta o pH, pois torna-os facilmente fermentáveis, podendo passar para ácidos orgânicos, provocando o decaimento do mesmo e interferindo na eficiência do processo (Strydom et alii, 1997).

Os menores valores de pH registrados ocorreram no ponto 2 (Figura 4.4b), onde o processo de equalização gerou o equilíbrio das características físico-químicas e conseqüentemente promoveu a redução nos níveis de pH.

No ponto 3 (Figura 4.4c), onde o processo de decomposição anaeróbica foi mais intenso, gerando a produção de ácidos voláteis, os valores de pH permaneceram na faixa neutra, variando de 6,8 a 6,9 em S₁ e de 7,0 a 7,5 em S₂.

O pH é um dos fatores mais importantes a ser mantido para se obter uma boa eficiência dos processos anaeróbios. De acordo com Pereira (1984), se o processo funciona nas condições de normalidade o pH se mantém próximo da neutralidade.

c) Oxigênio Dissolvido (OD)

Similarmente ao que ocorreu com pH, as concentrações de OD decresceram ao longo da ETE (Figura 4.5a-c). A maior concentração foi de 7,6 mg/L em S₂, no ponto 1 (Figura 4.5a). No ponto 2 (Figura 4.5b) ocorreu uma

diminuição desses valores, sendo registradas concentrações variando de 0 a 0,7 mg/L.

As concentrações no ponto 3 (Figura 4.5c) variaram de 0 a 0,2 mg/L. Essa pequena variação é atribuída as características do sistema (elevada degradação biológica e nulidade fotossintética).

d) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

A Figura 4.6a-c mostra a acentuada variação que a DBO₅ de uma indústria de laticínios pode sofrer ao longo de um dia de trabalho.

Na ETE da ILCASA as concentrações mais elevadas foram observadas geralmente no período da tarde. O desempenho verificado quanto à remoção de DBO₅, geralmente, entre 70% e 80%, foi melhor do que o apresentado no monitoramento de rotina.

Observando a Figura 4.6a-c, verifica-se que as menores concentrações desse parâmetro (16 mg/L) foram registradas no ponto 1 (Figura 4.6a) às 7 horas na 1^a época seca e às 13 horas na 2^a época seca. Todavia, apesar do admissão de um esgoto fraco na estação, para tais horários, os valores correspondentes de DBO₅ apresentados pelo ponto 2 (Figura 4.6b) foram elevados. Tal fato estaria associado a um reduzido tempo de detenção hidráulica nesses reatores, implicando numa baixa degradação biológica, principalmente no período da noite, em particular no ponto 2, quando o aerador do tanque de equalização não funciona.

No ponto 3 (Figura 4.6c) os resultados evidenciaram um efluente final com elevada carga orgânica com valores semelhantes aos do esgoto bruto doméstico (86 a

170 mg/L em S_1 , 93 a 156 mg/L em S_2). Tais resultados mostram claramente, que este efluente ainda necessita de um tratamento complementar antes de ser lançado num corpo receptor.

De acordo com Lage Filho (1986), a DBO_5 pode variar bastante dependendo dos processos de produção utilizados em uma determinada fábrica. A literatura (Braile & Cavalcanti, 1993, Strydom et alii, 1997) evidencia esse fato através de citações de amplas variações de DBO_5 e DQO para fábricas diferentes produzindo produtos similares e ainda para uma mesma fábrica durante diferentes períodos. Tais variações normalmente estão relacionadas com a eficiência com a qual as operações da fábrica são conduzidas, e ainda com as diferentes etapas de produção dos variados produtos, que podem gerar efluentes com quantidades diferentes de matéria orgânica.

e) Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Na ETE da ILCASA as concentrações de DQO (Figura 4.7a-c) apresentaram grande variação no ciclo diário, com valores máximos de 12222 mg/L no ponto 1 (Figura 4.7a), de 3750 mg/L no ponto 2 (Figura 4.7b) e de 6389 mg/L no ponto 3 (Figura 4.7c), todos às 16 horas em S_2 . A menor concentração de DQO foi de 658 mg/L, obtida no ponto 1, às 7 horas, em S_1 . Fato já esperado, tendo em vista que nesse horário as atividades da indústria ainda não haviam sido iniciadas, não havendo portanto descargas nos esgotos de materiais da planta de produção.

Semelhante ao observado para DBO_5 (Figura 4.6a-c), nota-se que houve uma tendência de elevação de concentração de matéria orgânica, principalmente no período da tarde.

Esta elevação pode ser atribuída ao fato de nesse horário a indústria estar processando outros produtos derivados do leite (como manteiga, iogurtes, queijos, etc.), que podem gerar efluentes com quantidades diferentes de matéria orgânica.

f) Fósforo Total (PT) e Orto-fosfato Solúvel (P-Solúvel)

As formas de fósforo (total e solúvel), de modo semelhante ao ocorrido no monitoramento de rotina cresceram ao longo da ETE da ILCASA (Figuras 4.8 e 4.9). A maior concentração de PT ao longo do ciclo diário ocorreu no ponto 3 (17,6 mgP/L) e, a mínima foi de 2,0 mgP/L ambas registradas às 16 horas.

O valor mínimo observado no ponto 1, pode estar relacionado com a paralização das atividades desenvolvidas pela indústria neste horário (intervalo para refeição); quando a carga orgânica presente advém predominantemente dos sanitários da indústria.

No ponto 2 as concentrações de PT variaram de 6,1 mg/L (às 7 horas) a 19 mg/L (às 10 horas). As concentrações mais elevadas (de 19,0 e 17,6 mg/L) foram observadas às 10 e 16 horas, respectivamente. Esse acréscimo foi devido provavelmente, à degradação de compostos orgânicos constituintes do lodo presente neste reator.

De modo semelhante, o P-solúvel (Figura 4.9) apresentou valor máximo de 5,3 mgP/L no ponto 3, às 7 horas e, mínimo ocorrido no ponto 1 (0,3 mgP/L), às 13 horas. Analisando as Figuras 4.8 e 4.9 para ambos os parâmetros, observa-se um crescimento de fósforo no ponto 3. Esse resultado é devido principalmente, à intensa mineralização de matéria orgânica experimentada pelos filtros, bem como ao baixo consumo relativo desse elemento nos mesmos.

g) Amônia (N-NH₃)

De acordo com a Figura 4.10 pode-se observar que a concentração de amônia, na ETE da ILCASA apresentou grande oscilação ao longo do dia, sendo a máxima observada de 34,2 mg/L no ponto 1 às 16 horas e, a mínima nula (0mg/L) no ponto 1 às 7 horas, bem como no ponto 2.

As concentrações elevadas de amônia, observadas no ponto 1, são relacionadas às águas de lavagem inicial da indústria, as quais são constituídas de produtos de limpeza, que geralmente possuem compostos de amônia.

A tendência à nulidade observada no ponto 2 é devida à absorção da amônia pelos microrganismos aí presentes, como também a volatilização da mesma.

Ao longo de todo o dia, as concentrações de amônia, apresentaram crescimento no efluente do ponto 3, fato já esperado pela atividade biológica a que estão sujeitos os filtros aneróbios. O valor de 20,4 mg/l, observada no ponto 3, às 7 horas, é atribuído à elevação dos níveis de degradação biológica nessa região, principalmente no período da noite, quando o OD no efluente do ponto 2 é bastante reduzido, devido à paralização do aerador e, também, o próprio consumo de oxigênio pelos microrganismos na sua respiração. Esses fatos tornam os filtros totalmente aneróbios.

h) Sólidos Sedimentáveis (S. Sed.)

A Figura 4.11 descreve o comportamento dos sólidos sedimentáveis ao longo do ciclo diário.

A ETE da ILCASA mostrou-se eficiente na remoção de sólidos sedimentáveis, apresentando índices variando

de 93% a 100%, ao longo do ciclo diário. Os maiores valores de sólidos sedimentáveis foram registrados no ponto 2, que apresentou valor máximo de 345 mL/L às 10 horas. Os elevados valores observados nesse ponto, são resultantes do processo de aeração do efluente que favorece à formação de flocos, e conseqüentemente a formação de sólidos sedimentáveis.

O ponto 3 registrou valor nulo às 7 e 16 horas, o que pode indicar a existência de um bom mecanismo de sedimentação dos sólidos na parte inferior do reator.

i) Sólidos Totais, Fixos e Voláteis (ST, STF e STV)

Os sólidos totais e suas frações apresentaram grandes oscilações nos três pontos ao longo dos ciclos diários estudados (Figuras 4.12a-c, 4.13a-c e 4.14a-c). As concentrações máximas foram observadas, geralmente, no ponto 1 no período da tarde, (entre 16 e 17 horas) na 1ª época seca, sendo de 2261 mg/L para os ST, de 1311 mg/L para os STF e de 1693 mg/L para os STV. Esta oscilação nas concentrações dos ST e suas frações é comprovada pelos elevados níveis de matéria orgânica no período da tarde, e pode ser atribuída às diferentes linhas de produção da indústria, que podem gerar quantidades diferentes de resíduos sólidos.

Nas amostras dos pontos 2 e 3, as concentrações de sólidos totais tenderam a diminuir com exceção da fração fixa que apresentou flutuações acentuadas (entre 206 e 1014 mg/L) na 2ª época seca. Tais flutuações podem ser atribuídas tanto à qualidade como à quantidade dos produtos inorgânicos presentes no efluente.

j) Sólidos Suspensos Totais, Fixos e Voláteis (SST, SSF e SSV)

Semelhante ao ocorrido no monitoramento de rotina, os SST e SSV apresentaram elevados valores, neste caso ao longo do dia (Figura 4.15a-c). O ponto 1 (Figura 4.15a) apresentou valores variando entre 190 e 366 mg/L para SST, os quais apresentam-se abaixo dos valores detectados para este tipo de efluente (500 a 2300 mg/L). O ponto 2 (Figura 4.15b) registrou os valores máximos para SST=486 mg/L e para SSV=440 mg/L no período da tarde (13 horas). Esses valores foram reduzidos substancialmente no ponto 3 (Figura 4.15c), que apresentou para estes parâmetros as menores concentrações (SST=40 mg/L e SSV=34 mg/L) às 7 horas.

A presença de lodo no efluente do ponto 2, foi responsável pelos maiores valores dos sólidos suspensos totais e suas frações para este reator.

O ponto 3, apresentou resultados considerados satisfatórios quanto a remoções médias diárias dos sólidos suspensos e frações (entre 39 e 90 %). Sendo este parâmetro responsável por alterações favoráveis ao desenvolvimento dos organismos aquáticos através da sedimentação nos leitos dos cursos d'água soterrando os organismos bentônicos essenciais para a alimentação da fauna aquática (CETESB, 1977).

4.3.2 - Parâmetros Microbiológicos

a) Coliformes Fecais (CF)

As concentrações de CF nos reatores variaram consideravelmente ao longo do ciclo diário (Figura 4.16). A maior concentração foi de 4×10^7 UFC/100 mL, obtida no ponto 1, às 7 horas, quando a fábrica não tinha ainda começado a produção e os CF presentes provinham

predominantemente dos sanitários da empresa. O decréscimo observado ao longo do dia (de 0,0 UFC/100mL às 16 horas) pode ser associado com as variações do pH (Figura 4.4a), que apresentou elevação nos seus níveis, inibindo o desenvolvimento dos CF, bem como a presença de substâncias tóxicas.

No ponto 3 as variações de CF foram menos extremas (10^5 - 10^6 UFC/100mL) e semelhantes ao esgoto bruto doméstico. O aumento observado neste ponto às 16 horas, quando as concentrações destas bactérias se faziam ausentes no ponto 1, foi associado ao desprendimento do biofilme do suporte sólido dos filtros anaeróbios de fluxo ascendente.

A reduzida eficiência de remoção constatada no ponto 3 (entre 87 e 97%), reforça a hipótese de que houve desprendimento do biofilme nos filtros anaeróbios implicando numa diminuição da taxa de decaimento do CF.

b) *Streptococos Fecais* (EF)

As concentrações de EF, ao longo do ciclo diário apresentaram a mesma ordem de grandeza dos valores encontrados no monitoramento de rotina (Figura 4.17).

No ponto 1, observaram-se variações pouco acentuadas (entre 10^5 e 10^6 UFC/100 mL), ao longo do ciclo diário. As concentrações mais elevadas foram observadas no ponto 2 (às 10 e às 16 horas), indicando liberação de EF do tanque de equalização durante a agitação.

No horário das 16 horas o ponto 3 apresentou valores de EF superiores ao do ponto 1. Este aumento provavelmente pode ser devido à liberação destas bactérias dos flocos biológicos, e indicam que houve pouca atuação dos mecanismos de sedimentação e retenção na redução deste parâmetro.

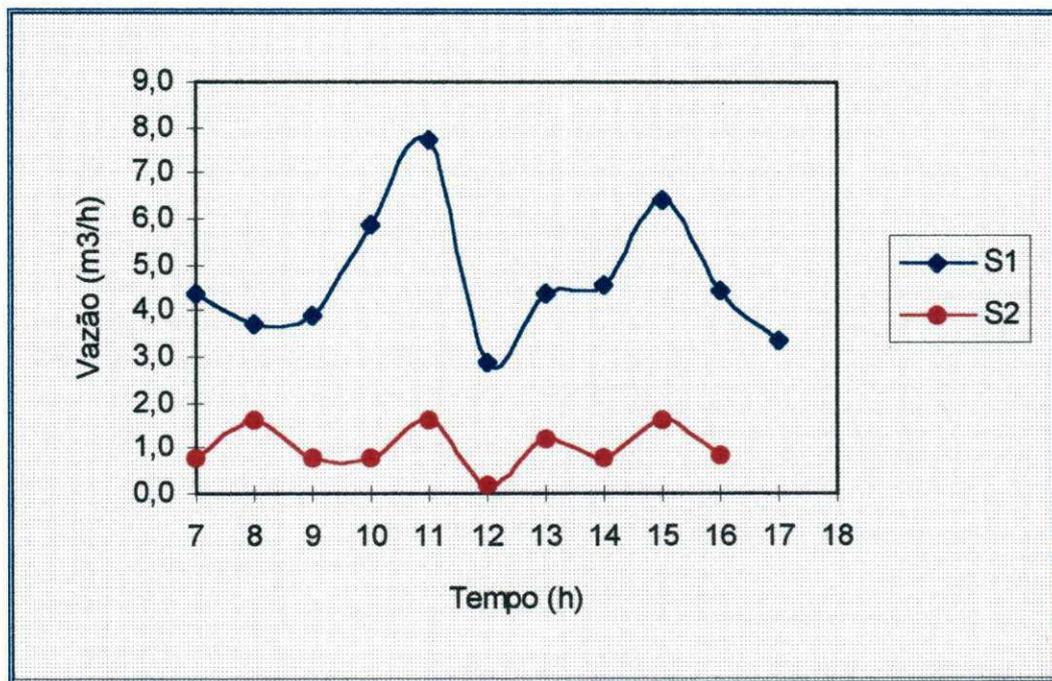
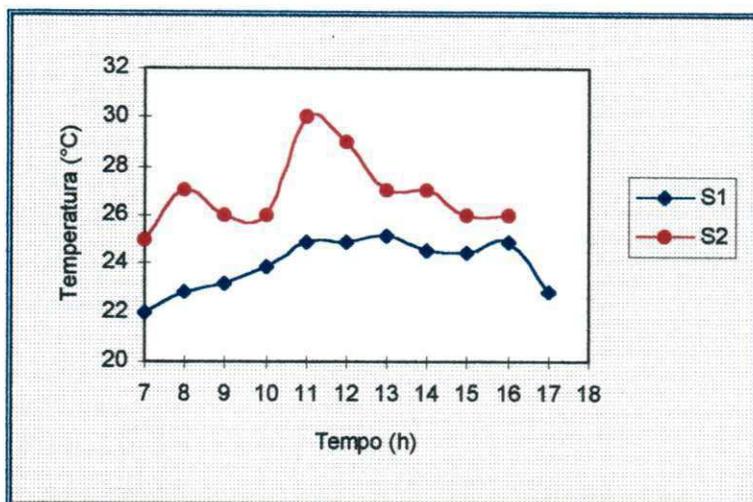
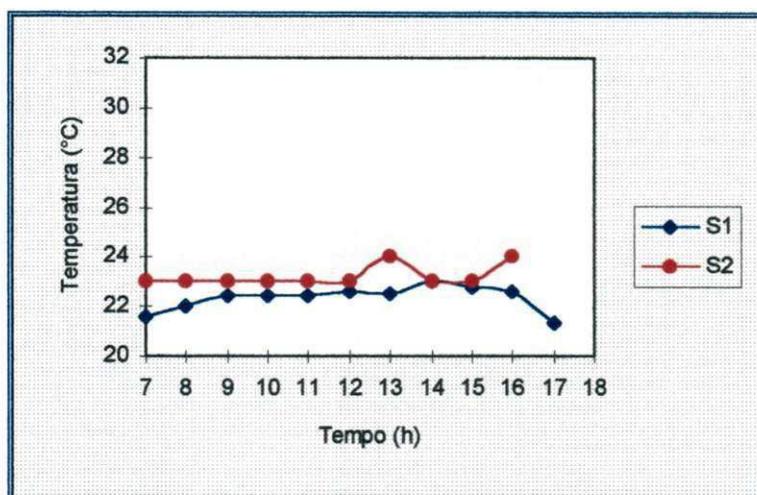


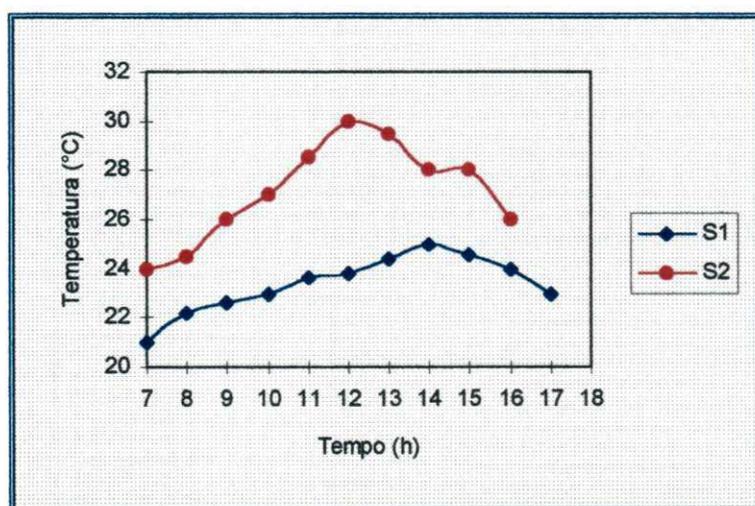
Figura 4.2 - Variações, no ciclo diário, da vazão no esgoto bruto afluente à ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, nas épocas de seca S₁(12/08 a 28/10/94) e S₂(30/11/95).



(a)

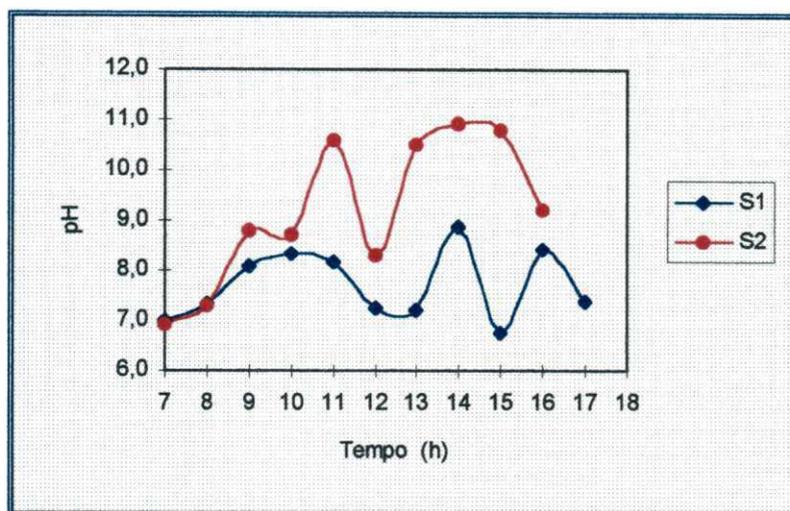


(b)

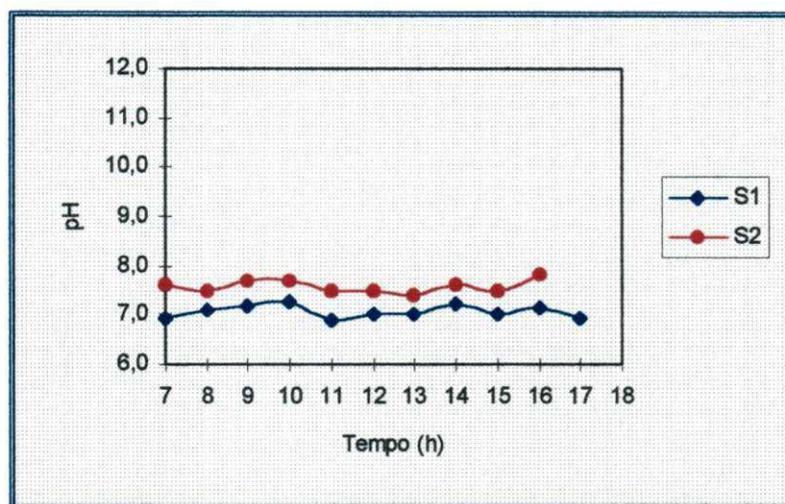


(c)

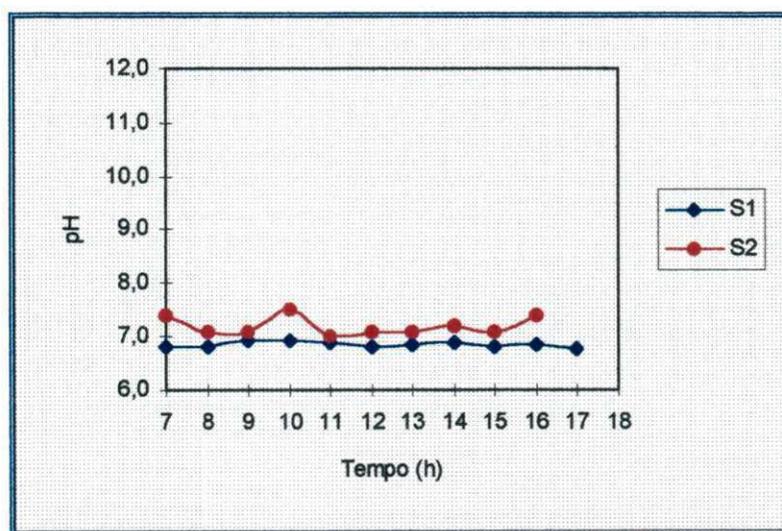
Figura 4.3 - Variações, no ciclo diário, da temperatura no esgoto bruto (a), efluente do tanque de equalização (b) e efluente final dos filtros anaeróbios (c) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, nas épocas de seca S₁(12/08 a 28/10/94) e S₂(30/11/95).



(a)

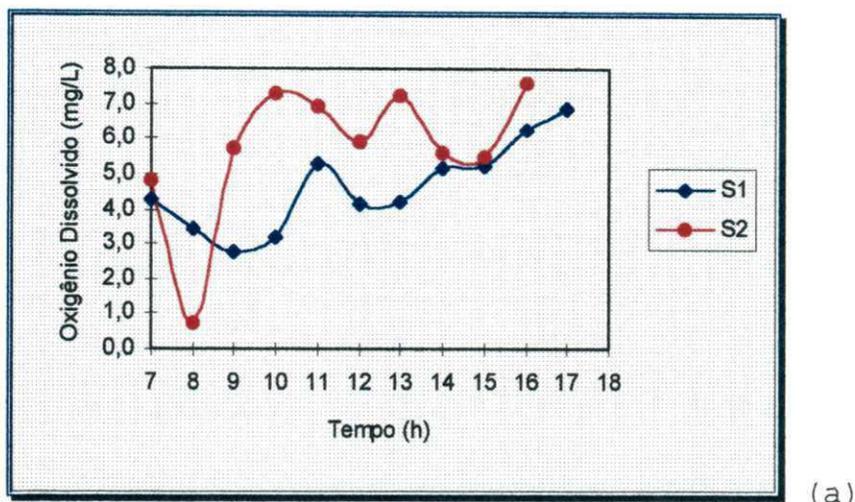


(b)

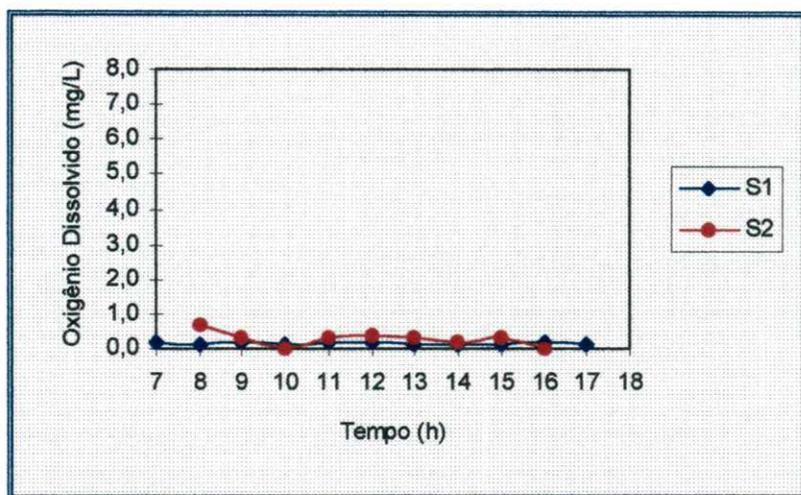


(c)

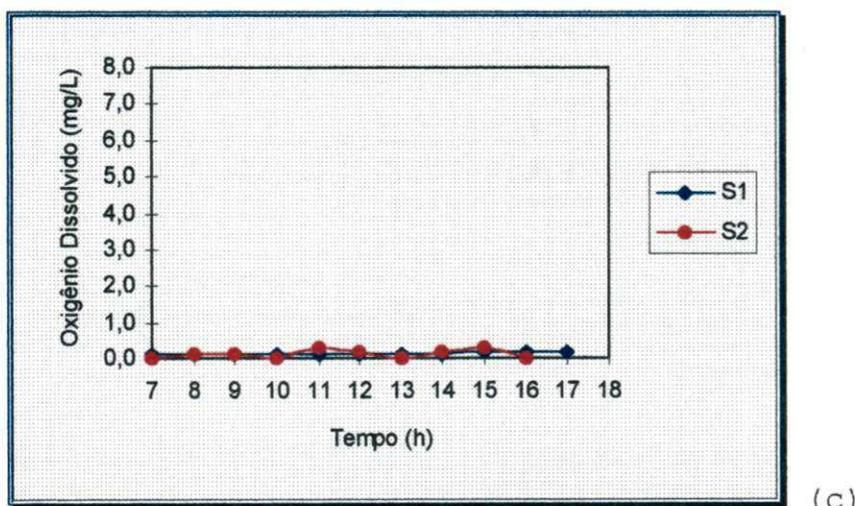
Figura 4.4 - Variações, no ciclo diário, do pH no esgoto bruto (a), efluente do tanque de equalização (b) e efluente final dos filtros anaeróbios (c) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, nas épocas de seca S₁(12/08 a 28/10/94) e S₂(30/11/95).



(a)

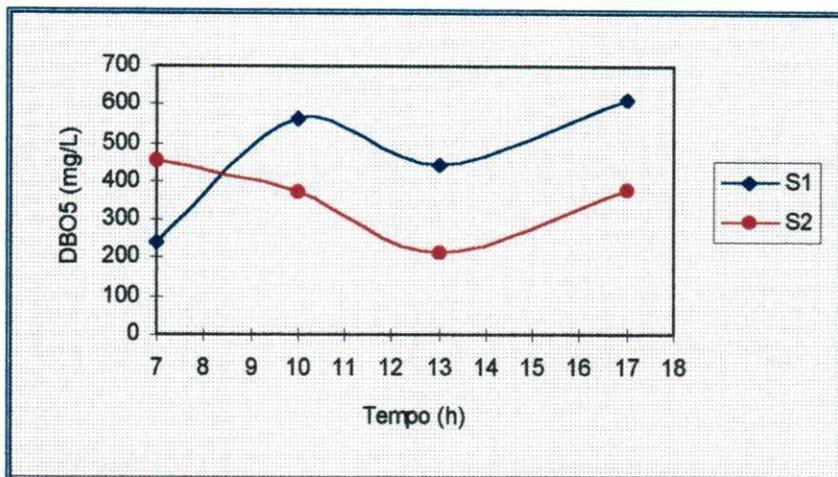


(b)

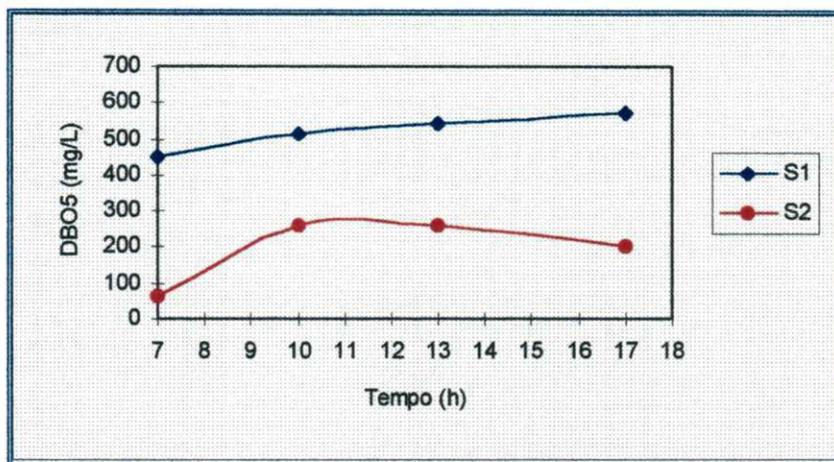


(c)

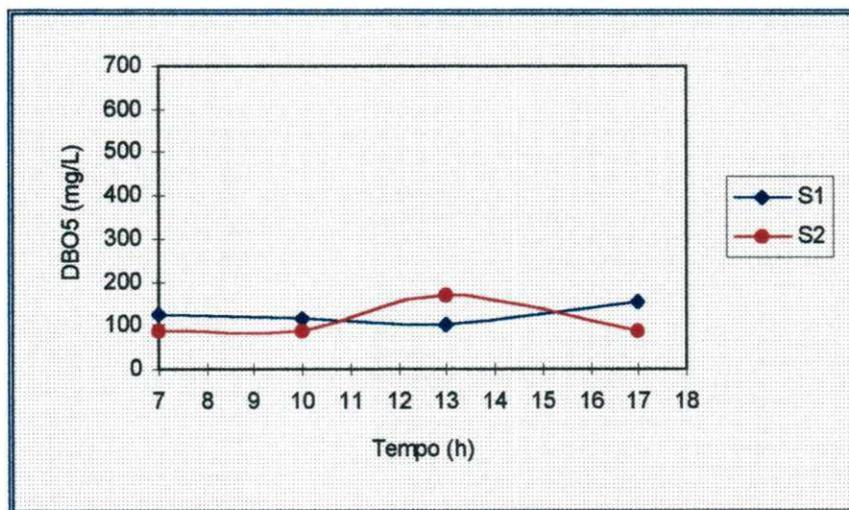
Figura 4.5 - Variações, no ciclo diário, do Oxigênio Dissolvido no esgoto bruto (a), efluente do tanque de equalização (b) e efluente final dos filtros anaeróbios (c) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, nas épocas de seca S₁(12/08 a 28/10/94) e S₂(30/11/95).



(a)

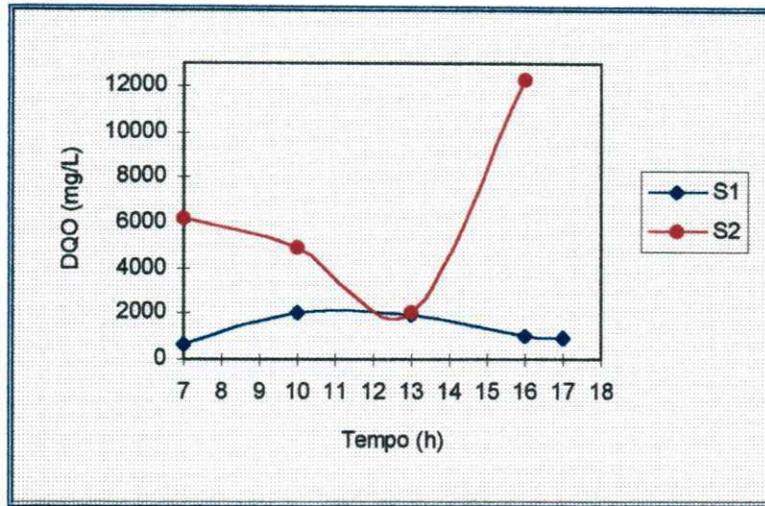


(b)

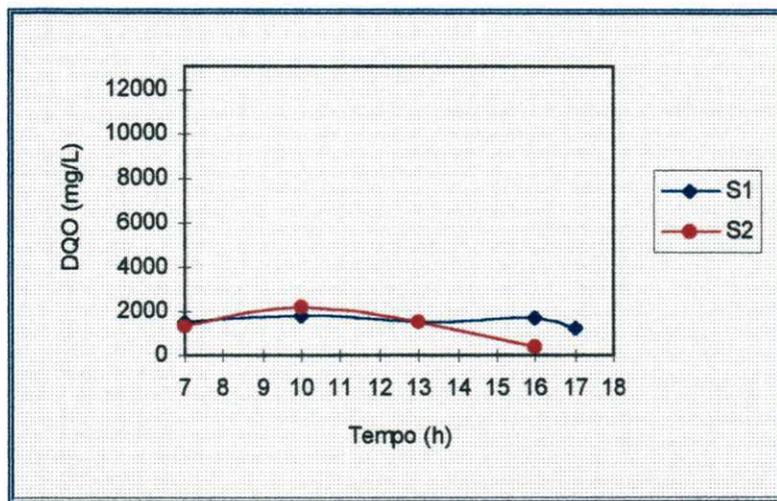


(c)

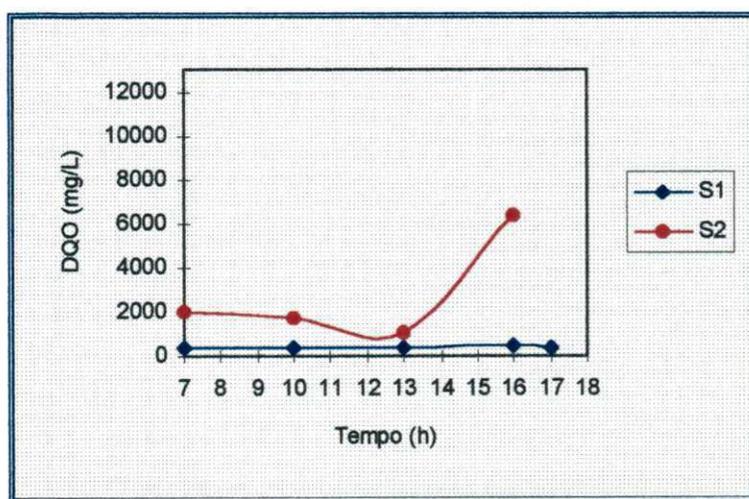
Figura 4.6 - Variações, no ciclo diário, da DBO₅ no esgoto bruto (a), efluente do tanque de equalização (b) e efluente final dos filtros anaeróbios (c) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, nas épocas de seca S₁(19/08 a 28/10/94) e S₂(30/11/95).



(a)



(b)



(c)

Figura 4.7 - Variações, no ciclo diário, da DQO no esgoto bruto (a), efluente do tanque de equalização (b) e efluente final dos filtros anaeróbios (c) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, nas épocas de seca S₁(14/08 a 28/10/94) e S₂(30/11/95).

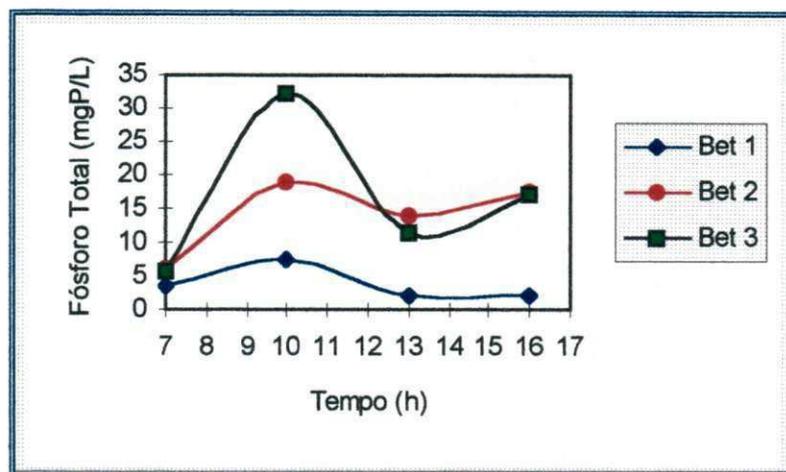


Figura 4.8 - Variações, no ciclo diário, de Fósforo Total no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na época de seca $S_2(30/11/95)$.

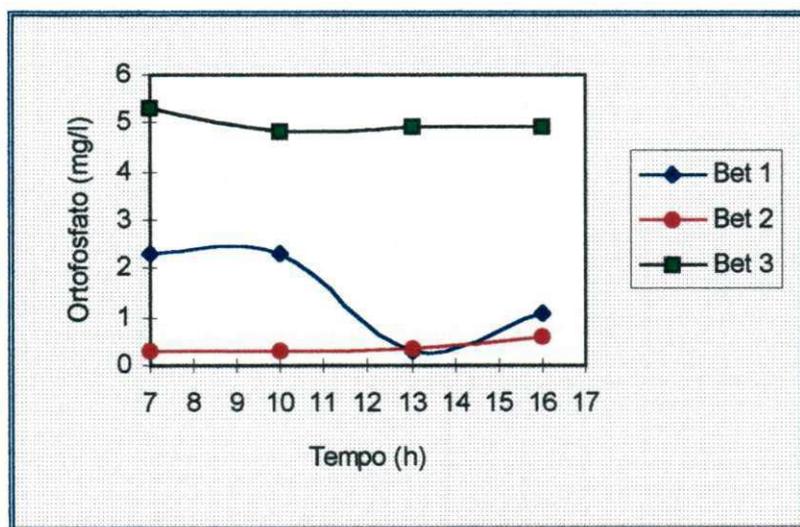


Figura 4.9 - Variações, no ciclo diário, de Ortofosfato Solúvel no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na época de seca $S_2(30/11/95)$.

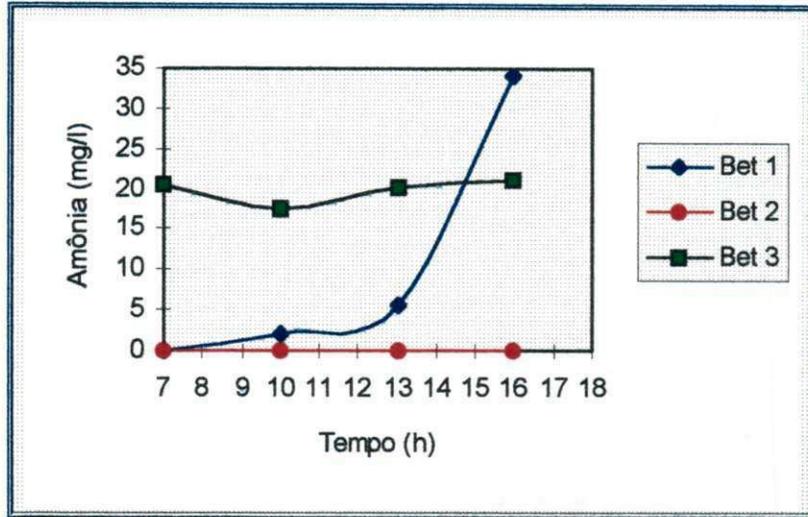


Figura 4.10 - Variações, no ciclo diário, de Amônia no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na época de seca S₂(30/11/95).

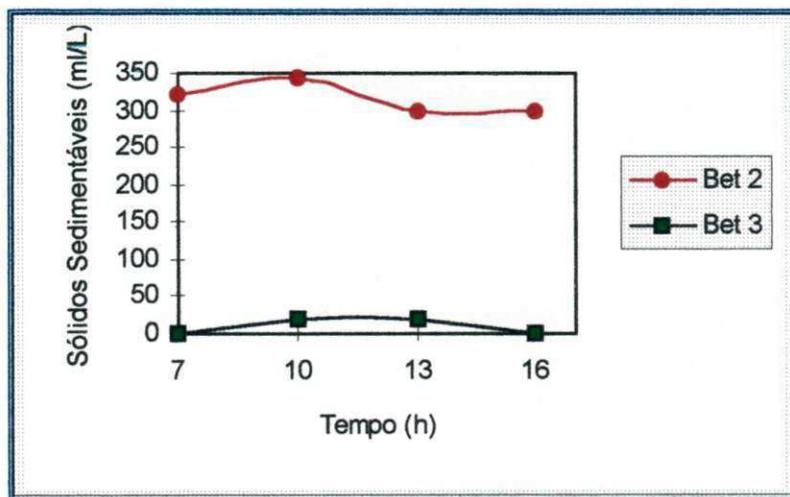
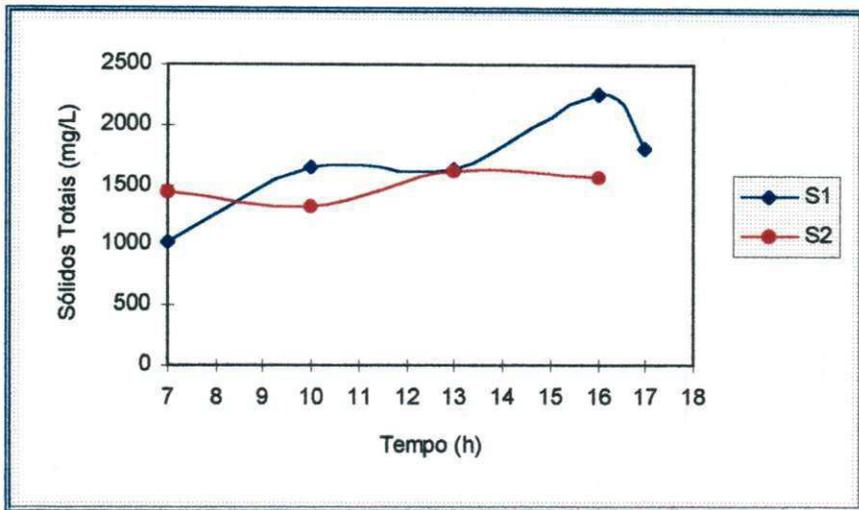
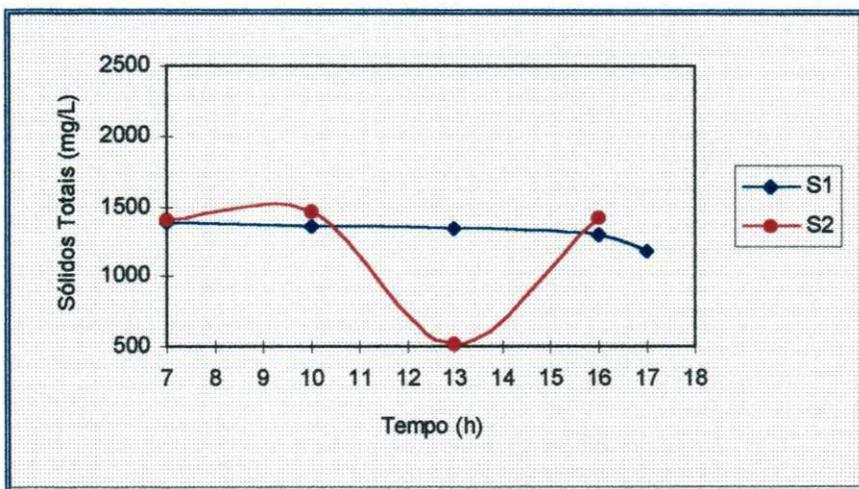


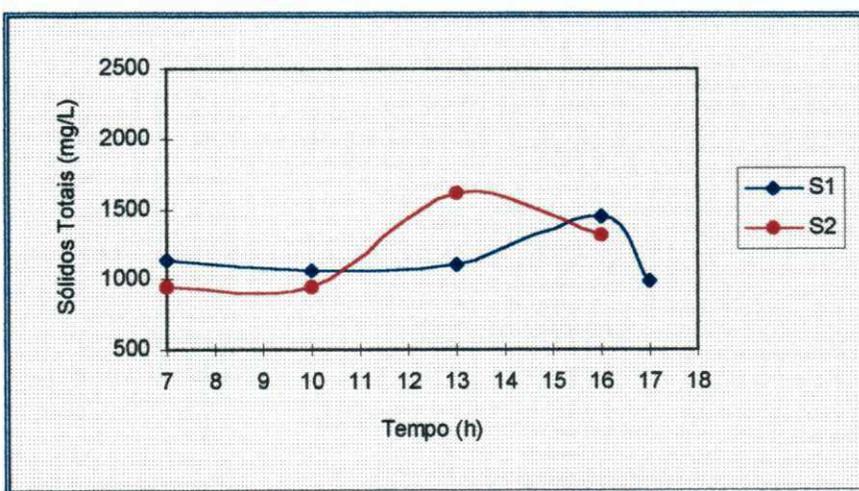
Figura 4.11 - Variações, no ciclo diário, de Sólidos Sedimentáveis no esgoto bruto (Bet 1), efluente do tanque de equalização (Bet 2) e efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na época de seca S₂(30/11/95).



(a)

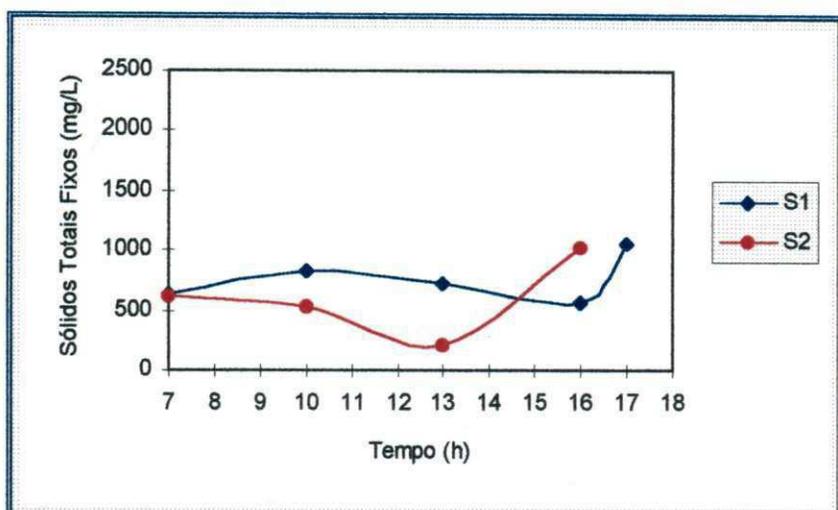


(b)

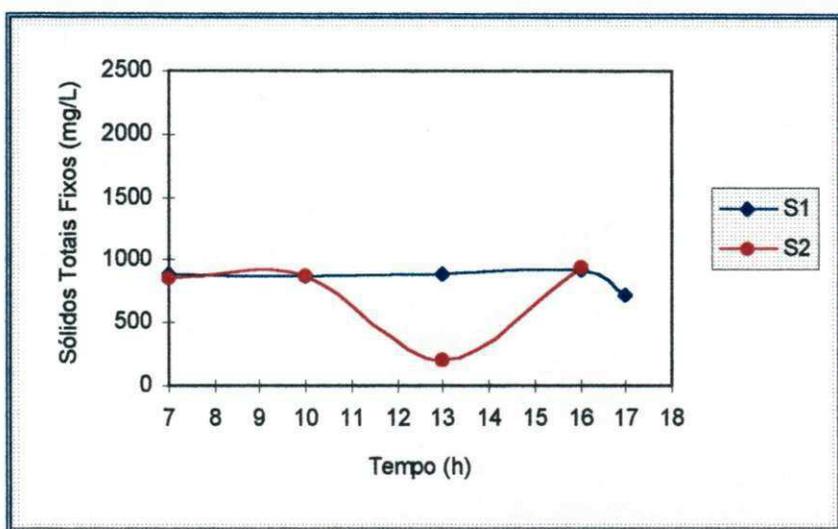


(c)

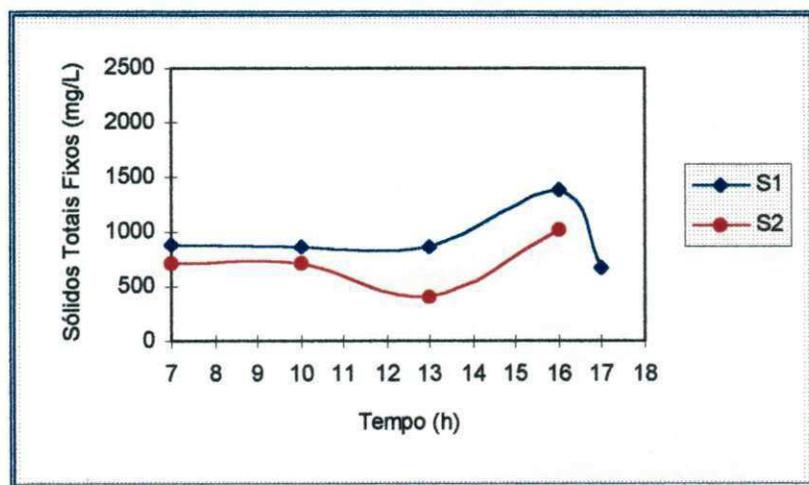
Figura 4.12 - Variações, no ciclo diário, dos Sólidos Totais no esgoto bruto (a), no efluente do tanque de equalização (b) e efluente final dos filtros anaeróbios (c) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, nas épocas secas S₁(19/08 a 23/09/94) e S₂(30/11/95).



(a)

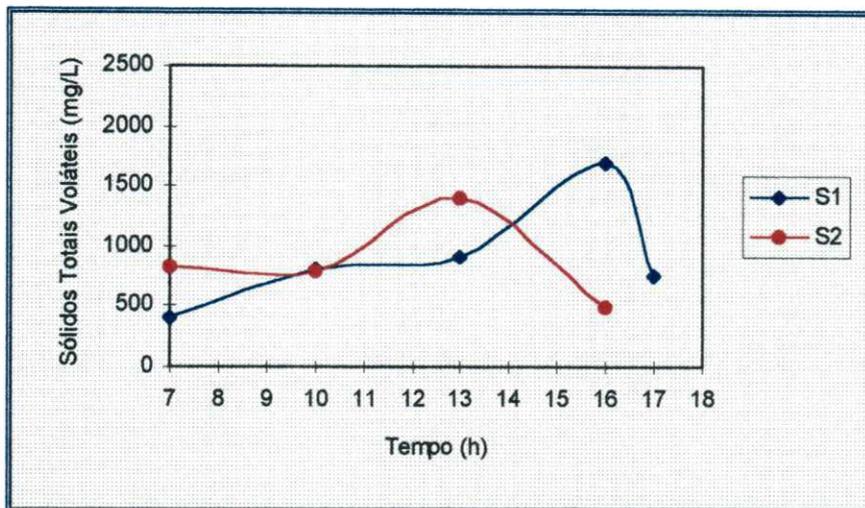


(b)

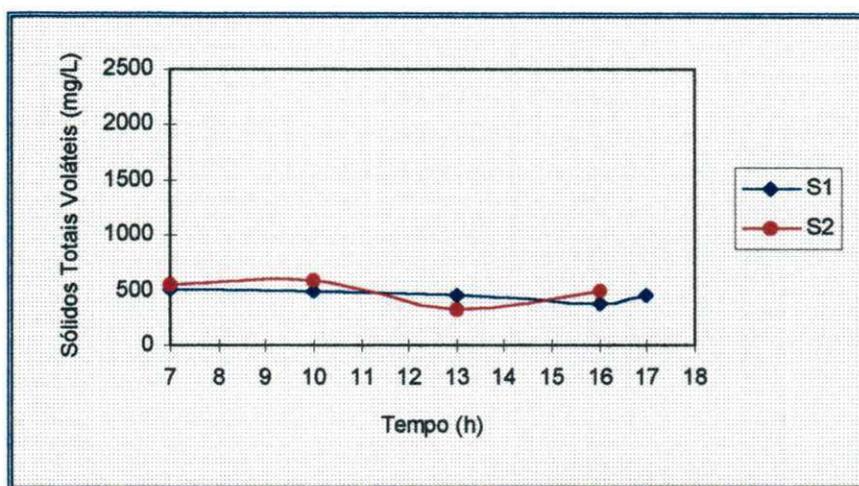


(c)

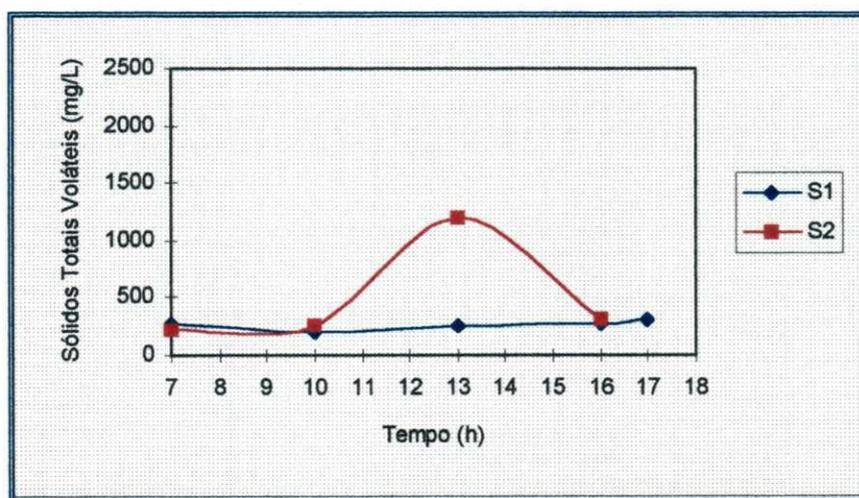
Figura 4.13 - Variações, no ciclo diário, dos Sólidos Totais Fixos no esgoto bruto (a), no efluente do tanque de equalização (b) e no efluente final dos filtros anaeróbios (c) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, nas épocas secas S_1 (19/08 a 23/09/94) e S_2 (30/11/95).



(a)

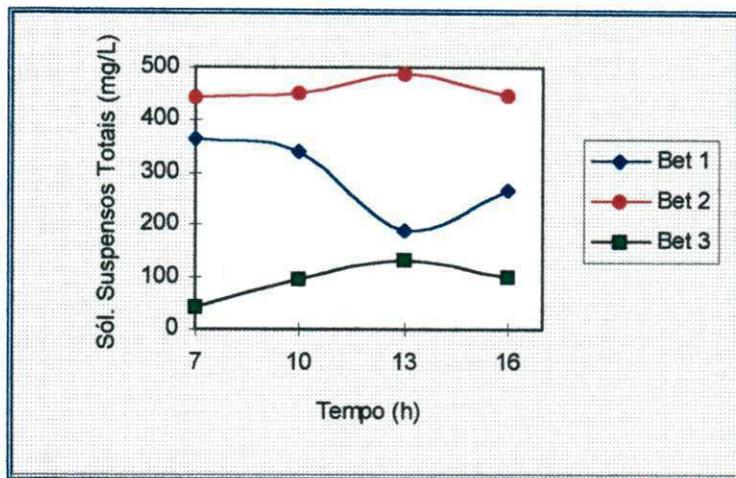


(b)

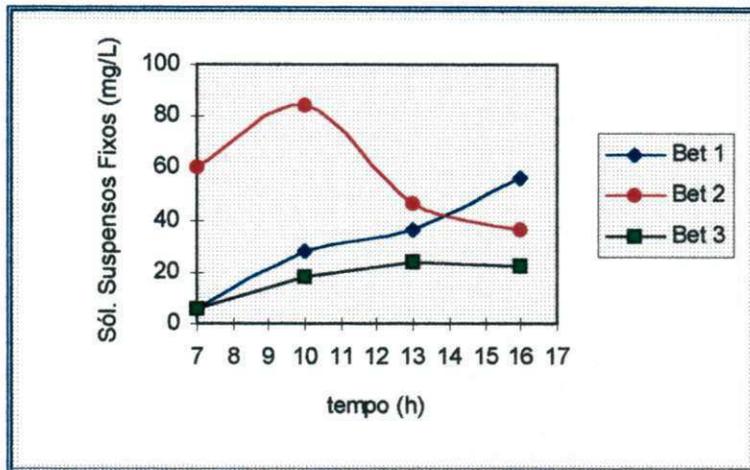


(c)

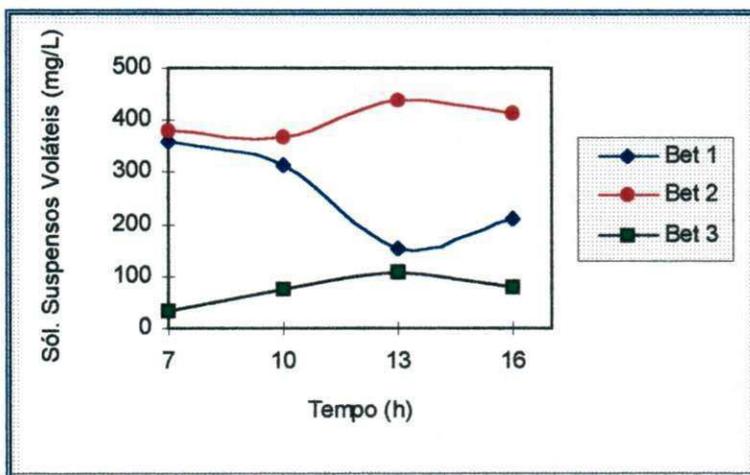
Figura 4.14 - Variações, no ciclo diário, dos Sólidos Totais Voláteis no esgoto bruto (a), no efluente do tanque de equalização (b) e no efluente final dos filtros anaeróbios (c) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, nas épocas secas S₁(19/08 a 23/09/94) e S₂(30/11/95).



(a)



(b)



(c)

Figura 4.15 - Variações, no ciclo diário, dos Sólidos Suspensos Totais (a), Fixos (b) e Voláteis (c) no esgoto bruto (Bet 1), no efluente do tanque de equalização (Bet 2) e no efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3), da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na época de seca S₂(30/11/95)

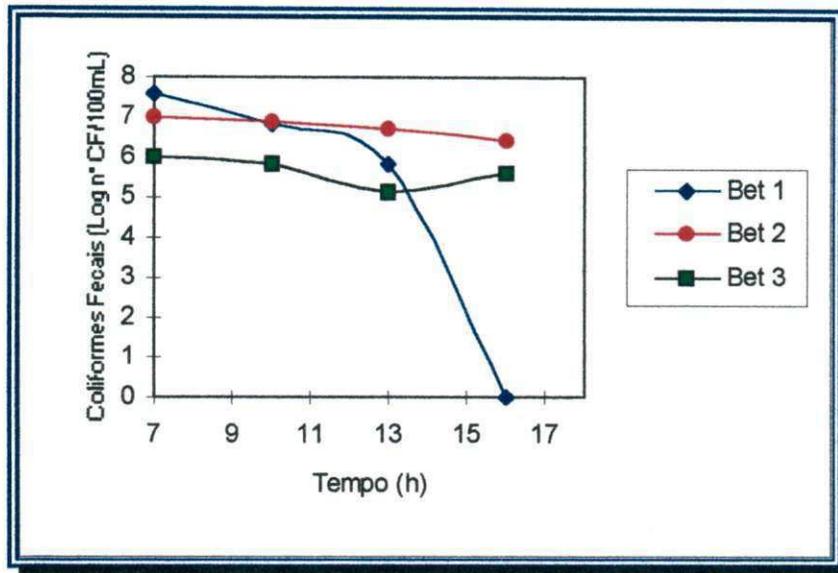


Figura 4.16 - Variações, no ciclo diário, do logaritmo do número de Coliformes Fecais no esgoto bruto (Bet 1), no efluente do tanque de equalização (Bet 2) e no efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3), da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na época de seca S₂(30/11/95)

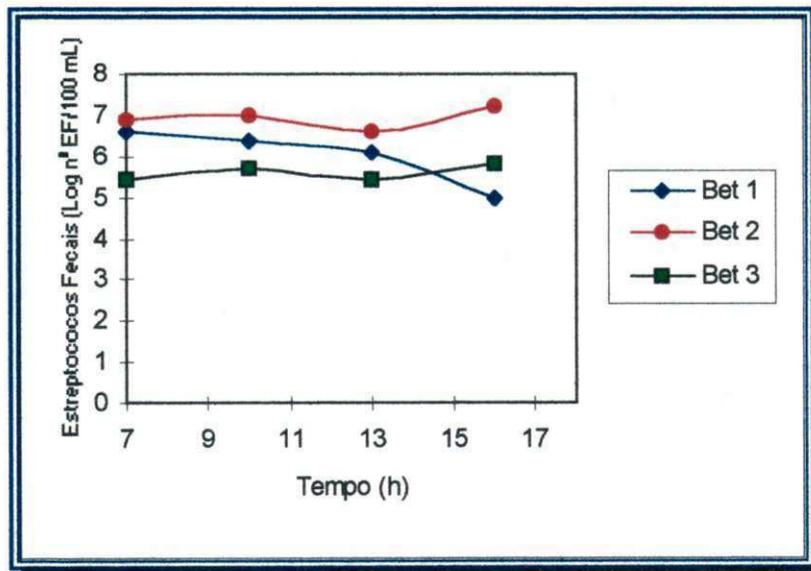


Figura 4.17 - Variações, no ciclo diário, do logaritmo do número de Estreptococos Fecais no esgoto bruto (Bet 1), no efluente do tanque de equalização (Bet 2) e no efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3), da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na época de seca S₂(30/11/95)

4.3.3 - Análise de Correlação

As Tabelas 4.21a-c e 4.22a-c apresentam as matrizes de coeficientes de correlação de Pearson relativas à segunda época de seca (S_2) e à época de chuva (C_1). Para fins de análise foram considerados os coeficientes a nível de significância $\alpha=0,01$ (**) e $\alpha=0,05$ (*).

As correlações significativas envolveram predominantemente as variáveis indicadoras de contaminação fecal (CF, EF), de matéria orgânica biodegradável (sólidos e suas frações). O coeficiente de correlação de Pearson mostrou na seca 83 correlações significativas (66 positivas e 17 negativas), das quais 44 (36 positivas e 8 negativas) altamente significativas ao nível de significância de 1% e, 39 (30 positivas e 9 negativas) significativas ao nível de significância de 5%. Na época de chuva a análise de correlação apresentou 45 correlações significativas (30 positivas e 15 negativas). Das correlações positivas 09 foram altamente significativas ao nível de significância de 1% e 21 ao nível de significância de 5%. Das correlações negativas, 04 foram significativas ao nível de significância de 1% e, 11 correlações significativas ao nível de significância de 5%.

As correlações negativas significativas entre os sólidos (totais e suspensos) e suas frações com coliformes, estreptococos fecais e bactérias heterótrofas mesófilas foram observadas no ponto 1 na segunda época de seca. Estas associações indicam a interferência do teor de sólidos na proliferação destas bactérias.

A existência de correlações positivas significativas entre coliformes fecais e estreptococos fecais na época de chuva, no ponto 1, se associou com a

presença de matéria orgânica de origem fecal exógena provinda da lavagem do pátio da indústria.

Foram observadas correlações significativas entre DQO e pH, na época de chuva. Resultados semelhantes foram observados por Strydom *et alii* (1997), estudando despejos de indústrias de laticínios. De acordo com os autores, os picos de DQO coincidiram com os elevados valores de pH, os quais foram obtidos após a lavagem inicial dos equipamentos com produtos alcalinos.

O posicionamento da DBO₅, em associação com os sólidos e frações observado na segunda época seca, no ponto 3, expressa a influência da matéria orgânica aportada pelo afluente sobre este parâmetro. Na época chuvosa, essas associações não se fizeram presentes, indicando o efeito diluidor da precipitação pluviométrica.

As altas taxas de nutrientes, afluentes à ETE foram evidenciadas nas duas épocas (S₂ e C₁) pelas correlações positivas entre as formas de fósforo (total e solúvel), e amônia com os grupos de bactérias indicadoras de contaminação fecal.

As correlações positivas significativas incluindo os sólidos (totais e suspensos) e suas frações, no ponto 3, já eram esperadas, e evidenciam o desprendimento dos flocos biológicos do leito dos filtros anaeróbios. Este desprendimento pode ser associado diretamente a uma carga orgânica elevada aliada a um tempo de detenção hidráulica reduzido e indiretamente pode ser associado ao surgimento de zonas mortas com a tomada de um caminho preferencial utilizado pelo despejo entre os interstícios, reduzindo a capacidade útil do reator. Tal fenômeno tem sido verificado em sistemas com sobrecarga de origem microbiológica (Lage Filho, 1986).

As correlações negativas significativas entre coliformes fecais e oxigênio dissolvido, observadas no ponto 3 em S_2 e C_1 , eram esperadas e indicam o aporte destas bactérias com águas poluídas contendo pouco ou nenhum oxigênio.

O mal funcionamento da ETE da ILCASA, é descrito pelas correlações positivas entre DBO_5 e SSV e entre DQO e SSV nos filtros anaeróbios. Estas associações indicam que os filtros experimentam problemas com a flutuação das cargas do despejo.

Dentre as correlações significativas apresentadas ao longo da ETE nas duas épocas (S_2 e C_1), várias podem ser consideradas como ilegítimas e indicam o mal funcionamento desta.

Tabela 4.21 a - Matriz de correlação de Pearson entre parâmetros físico-químicos e microbiológicos do esgoto bruto (Bet 1) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na 2ª época de seca (S₂).

	BHM	CF	DBO	DQO	EF	NH3	OD	OF	PH	PT	SSF	SST	SSV	ST	STF	STV
BHM	1,000															
CF	0,256	1,000														
DBO	0,871	1,00**	1,000													
DQO	0,864	-0,321	0,818	1,000												
EF	0,922*	-0,202	0,905	0,991**	1,000											
NH3	0,615	1,000**	0,403	0,834	0,555	1,000										
OD	-0,622	0,500	-0,164	-0,771	-0,841	-0,964*	1,000									
OF	0,030	0,803	-0,182	-0,101	-0,095	0,395	-0,159	1,000								
PH	-0,773	-0,317	0,024	-0,609	-0,720	0,178	0,232	-0,422	1,000							
PT	-0,374	1,000**	-0,404	-0,532	-0,526	0,165	0,236	0,893*	-0,124	1,000						
SSF	-0,988**	-0,181	-0,194	-0,653	-0,945*	0,614	0,061	0,086	0,859*	0,322	1,000					
SST	-0,320	0,062	0,672	-0,412	-0,448	0,323	0,213	-0,448	0,842*	-0,254	0,633	1,000				
SSV	-0,216	0,093	0,720	-0,352	-0,356	0,266	0,221	-0,499	0,789	-0,323	0,542	0,994**	1,000			
ST	-0,504	-1,000**	-0,040	-0,341	-0,439	-0,265	0,171	-0,999*	0,894	-0,890	0,402	0,667	0,645	1,000		
STF	-0,316	1,000**	-0,677	-0,213	-0,385	0,131	-0,259	0,844	-0,514	0,928*	0,097	-0,865	-0,908*	-0,659	1,000	
STV	-0,195	-1,000**	0,254	-0,157	-0,122	-0,263	0,256	-0,990**	0,798	-0,987**	0,198	0,798	0,805	0,945*	-0,867	1,000

Tabela 4.21 b - Matriz de correlação de Pearson entre parâmetros físico-químicos e microbiológicos do efluente do tanque de equalização (Bet 2) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na 2ª época de seca (S₂).

	BHM	CF	DBO	DQO	EF	NH3	OD	OF	PH	PT	SSF	SST	SSV	ST	STF	STV
BHM	1,000															
CF	1,000**	1,000														
DBO	0,861	1,000**	1,000													
DQO	0,047	0,165	-0,339	1,000												
EF	0,396	0,302	0,799	0,719	1,000											
NH3			-0,437	0,452		1,000										
OD	0,999**	1,000**	0,879	0,015	0,442	-0,333	1,000									
OF	0,206	0,732	-0,529	0,544	0,150	0,838	-0,132	1,000								
PH	0,796	-0,791	-0,382	-0,499	-0,869	-0,577	-0,538	-0,508	1,000							
PT	0,370	0,834	0,126	-0,205	-0,507	-0,723	0,392	-0,002	0,317	1,000						
SSF	0,642	0,994*	0,023	0,379	0,060	0,156	0,509	0,643	-0,415	0,659	1,000					
SST	0,367	0,977	-0,460	0,235	-0,314	0,547	0,109	0,829*	-0,253	0,542	0,878*	1,000				
SSV	0,335	0,859	-0,524	0,052	-0,492	0,594	0,082	0,758	-0,158	0,579	0,816*	0,982**	1,000			
ST	0,485	1,000**	-0,414	0,754	0,579	0,924*	-0,136	0,973*	-0,683	-0,415	0,518	0,813	0,837	1,000		
STF	0,880	1,000**	-0,065	0,766	0,928	0,794	0,238	0,877	-0,894	-0,299	0,666	0,773	0,768	0,929*	1,000	
STV	0,267	1,000**	-0,491	0,734	0,373	0,937*	-0,226	0,976*	-0,615	-0,435	0,469	0,805	0,836	0,996**	0,891	1,000

Tabela 4.21 c - Matriz de correlação de Pearson entre parâmetros físico-químicos e microbiológicos do efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na 2ª época de seca (S₂).

	BHM	CF	DBO	DQO	EF	NH ₃	OD	OF	PH	PT	SSF	SST	SSV	ST	STF	STV
BHM	1,000															
CF	1,000**	1,000														
DBO	0,928	1,000**	1,000													
DQO	0,038	-0,064	0,671	1,000												
EF	0,129	0,015	0,981	0,994**	1,000											
NH ₃	0,550	1,000**	0,970*	0,700	0,693	1,000										
OD	-0,666	-0,662*	0,222	-0,720	-0,823**	0,112	1,000									
OF	0,003	0,349	0,398	0,210	0,190	0,174	0,086	1,000								
PH	-0,289	0,199	0,222	-0,916*	-0,987**	0,112	0,919*	-0,009	1,000							
PT	0,462	0,999*	0,237	-0,314	-0,319	0,051	0,150	0,747	0,325	1,000						
SSF	-0,139	-0,257	0,989**	0,976**	0,964*	0,984**	-0,560	0,223	-0,817*	-0,377	1,000					
SST	-0,087	-0,250	0,995**	0,729	0,973*	0,989**	-0,235	0,317	-0,438	-0,165	0,812*	1,000				
SSV	-0,065	-0,246	0,996**	0,568*	0,973*	0,986**	-0,087	0,335	-0,253	-0,062	0,667	0,976**	1,000			
ST	0,949	1,000**	0,999**	0,636	0,990*	0,960*	0,270	0,419	0,270	0,240	0,980*	0,991**	0,993**	1,000		
STF	0,991*	1,000**	0,023	0,746	0,999*	0,127	-0,969*	-0,105	-0,969*	0,266	0,166	0,050	0,027	-0,026	1,000	
STV	0,059	-1,000**	0,993**	0,587	0,240	0,948*	0,331	0,424	0,331	0,222	0,965*	0,984**	0,987**	0,998**	-0,090	1,000

Tabela 4.22 a - Matriz de correlação de Pearson entre parâmetros físico-químicos e microbiológicos do esgoto bruto (Bet 1) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na 2ª época de chuva (C₁).

	BHM	CF	DBO	DQO	EF	NH3	OD	OF	PH	PT	SSF	SST	SSV	ST	STF	STV
BHM	1,000															
CF	-0,106	1,000														
DBO	0,494	0,310	1,000													
DQO	-0,593	0,839*	0,066	1,000												
EF	-0,124	0,963**	0,399	0,793	1,000											
NH3	-0,801	0,433	0,013	0,840*	0,411	1,000										
OD	-0,347	-0,714	-0,735	-0,344	-0,826*	0,022	1,000									
OF	-0,377	0,906*	0,380	0,932*	0,925*	0,717	-0,644	1,000								
PH	-0,949**	0,102	-0,295	0,545*	0,203	0,765	0,153	0,429	1,000							
PT	-0,386	-0,149	0,159	0,258	-0,224	0,672	0,390	0,143	0,318	1,000						
SSF	0,584	0,186	0,094	-0,306	0,269	-0,734	-0,545	-0,113	-0,480	-0,963**	1,000					
SST	0,579	0,190	0,796	-0,195	0,375	-0,373	-0,823*	0,172	-0,306	-0,404	0,597	1,000				
SSV	0,147	0,067	0,867	0,036	0,243	0,194	-0,546	0,322	0,114	0,304	-0,115	0,725	1,000			
ST	-0,091	-0,138	-0,044	0,117	-0,345	0,369	0,531	-0,078	-0,120	0,817*	-0,786	-0,610	-0,142	1,000		
STF	-0,330	0,157	0,320	0,476	0,066	0,753	0,135	0,402	0,265	0,949**	-0,877*	-0,293	0,357	0,791	1,000	
STV	-0,455	-0,798	-0,683	-0,444	-0,742	-0,060	0,794	-0,629	0,430	0,107	-0,287	-0,477	-0,286	-0,022	-0,195	1,000

Tabela 4.22 b - Matriz de correlação de Pearson entre parâmetros físico-químicos e microbiológicos do efluente do tanque de equalização (Bet 2) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na 2ª época de chuva (C₁).

	BHM	CF	DBO	DQO	EF	NH3	OD	OF	PH	PT	SSF	SST	SSV	ST	STF	STV
BHM	1,000															
CF	-0,430	1,000														
DBO	-0,260	0,680	1,000													
DQO	0,252	0,220	0,661	1,000												
EF	-0,844*	0,704	0,671	0,041	1,000											
NH3	-0,686	0,665	0,876*	0,376	0,899*	1,000										
OD	0,078	0,499	0,072	-0,438	0,217	-0,031	1,000									
OF	-0,501	0,083	-0,543	-0,902*	0,226	-0,188	0,398	1,000								
PH	0,206	0,082	-0,552	-0,721	-0,202	-0,563	0,775	0,681	1,000							
PT	-0,862*	0,703	0,721	0,132	0,979**	0,956**	0,058	0,104	-0,383	1,000						
SSF	-0,394	-0,106	-0,347	0,014	0,037	-0,076	-0,637	0,274	-0,208	0,048	1,000					
SST	-0,110	0,558	0,133	0,379	0,229	0,091	-0,068	0,013	0,032	0,136	0,579	1,000				
SSV	0,147	0,822*	0,520	0,402	0,329	0,251	0,545	-0,187	0,234	0,205	-0,245	0,645	1,000			
ST	-0,370	-0,360	0,206	0,336	0,124	0,400	-0,857*	-0,348	-0,886*	0,314	0,368	-0,250	-0,633	1,000		
STF	-0,499	-0,264	0,252	-0,065	0,313	0,502	-0,386	-0,076	-0,594	0,469	-0,088	-0,673	-0,674	0,791	1,000	
STV	-0,132	-0,397	0,119	0,540	0,091	0,204	-0,980**	-0,499	-0,885*	0,084	0,533	0,029	-0,486	0,916*	0,484	1,000

Tabela 4.22 c - Matriz de correlação de Pearson entre parâmetros físico-químicos e microbiológicos do efluente final dos filtros anaeróbios (Bet 3) da ETE da ILCASA - Campina Grande-PB, na 2ª época de chuva (C₁).

	BHM	CF	DBO	DQO	EF	NH3	OD	OF	PH	PT	SSF	SST	SSV	ST	STF	STV
BHM	1,000															
CF	-0,385	1,000														
DBO	-0,309	0,212	1,000													
DQO	0,717	-0,188	0,248	1,000												
EF	0,056	0,186	0,906*	0,621	1,000											
NH3	-0,544	0,970**	0,402	-0,238	0,305	1,000										
OD	0,477	-0,817*	0,220	0,647	0,371	-0,754	1,000									
OF	0,778	0,562	0,010	-0,424	-0,142	0,610	-0,547	1,000								
PH	0,590	-0,369	-0,177	0,807*	0,176	-0,450	0,633	-0,121	1,000							
PT	-0,111	0,951**	0,008	-0,074	0,079	0,850*	-0,804	0,378	-0,259	1,000						
SSF	-0,287	-0,044	0,963**	0,219	0,837*	0,168	0,403	-0,098	-0,150	-0,257	1,000					
SST	0,184	0,772	0,142	0,105	0,244	0,672	-0,589	-0,083	-0,303	0,880*	-0,088	1,000				
SSV	0,194	0,695	0,673*	0,770*	0,005	0,570	-0,675	-0,135	-0,418	0,837*	-0,270	0,962**	1,000			
ST	0,923*	-0,129	-0,470	0,482	-0,144	-0,334	0,112	-0,683	0,347	0,178	-0,509	0,437	0,505	1,000		
STF	0,407	0,045	-0,933*	-0,176	-0,789	-0,180	-0,398	-0,077	0,086	0,292	-0,976**	0,220	0,411	0,650	1,000	
STV	0,928*	-0,123	-0,478	0,504	-0,141	-0,332	0,118	-0,660	0,384	0,184	-0,521	0,428	0,490	0,999**	0,654	1,000

5 - CONCLUSÃO

A análise do conjunto de dados obtidos durante o período estudado, no sistema de tratamento da ILCASA, permitiu concluir que:

- a - O teor de matéria orgânica no efluente de indústria de laticínios é muito variável, e estas flutuações se refletem ao longo de todo sistema de tratamento. Os dados constataam ter havido considerável remoção na concentração dos parâmetros DBO₅ e DQO, com reduções percentuais nas faixas, 27% a 75% e de 26% a 85%. Estes valores são maiores que os conseguidos por Santos (1995). No efluente final a concentração de matéria orgânica em termos de DBO₅ (276 mg/L em C₁) foi semelhante ao esgoto bruto doméstico (Metcalf & Eddy, 1991) e associada ao desprendimento de flocos biológicos do leito do filtro anaeróbio, originados e não removidos da etapa anterior do sistema de tratamento.
- b - A matéria orgânica particulada e dissolvida acumulada na fase final anaeróbia do tratamento propiciou concentrações elevadas de fósforo e nitrogênio, cujos valores médios, mínimos e máximos para época de chuva foram 8,0, 5,1 e 11 mg/L para fósforo total, e de 6,1, 3,0 e 10,3 mg/L para ortofosfato solúvel e de 20,2, 10,3 e 37,0 mg/L para amônia. O conteúdo elevado de nutrientes eutrofizantes de tais águas residuárias torna-as inadequadas para o lançamento em corpos receptores.

- c - As concentrações mínima e máxima de CF no efluente final foram elevadas, entre 10^5 e 10^7 UFC/100mL, sugerindo que os filtros aneróbios se mostraram ineficientes na eliminação de bactérias indicadoras e conseqüentemente de agentes patogênicos, produzindo um efluente de qualidade bacteriológica inferior aos padrões recomendados por WHO (1989) (menos que 1.000 CF/100mL), para descarga no meio ambiente e uso na agricultura e irrigação irrestrita.
- d - A baixa eficiência de remoção de EF pode ser associada ao fato, de que estas bactérias são mais resistentes que os coliformes fecais às condições ambientais.
- e - O aumento de bactérias heterótrofas mesófilas no efluente final foi associada ao desprendimento do biofilme e retrata a alta carga orgânica lançada ao meio ambiente.
- f - Os fungos totais presentes na ETE da ILCASA mostraram-se bons indicadores da presença de matéria orgânica.
- g - Os teores de nitrogênio e fósforo, aliados ao elevado teor de matéria orgânica presente no efluente, evidenciam o potencial fertilizante deste tipo de despejo, permitindo provavelmente o seu aproveitamento na agricultura. Entretanto, a elevada contaminação com CF poderia colocar em risco a prática do reuso direto irrestrito, o que condiciona a sua utilização em culturas como forrageiras, que podem ser irrigadas com água de qualidade inferior (Metcalf & Eddy, 1991) como

a produzida por esta ETE. Deve-se ressaltar ainda que, esta estratégia somente deve ser adotada, quando acompanhada com controle técnico/sanitário da qualidade da água de irrigação, do solo e da cultura escolhida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AJZENTAL, A., 1994. Os caminhos do leite: da ordenha ao consumidor. *Rev. Leite & Derivados* n°18: pp. 29-39.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1989. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 17 ed., 1931 p.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19 ed., 953 p.
- AMORIN, F. M. B., LIMA, L. M. M., ARAÚJO, A. L., KÖNIG, A., CEBALLOS, B. S. O., 1996. Padrão temporal da variação microbiana de um sistema de tratamento de esgotos de uma indústria de laticínios (Campina Grande-PB). *Anais do 5º Encontro Nacional de Microbiologia Ambiental*, Fortaleza-Ce.
- AZEVEDO NETO, J. M. e ALVAREZ, G. A. 1982. *Manual de hidráulica - vol I e II*. 7 ed. Edgard Blücher, São Paulo.
- AZEVEDO NETO, J. M., 1988. Novos conceitos sobre a eutrofização. *Rev. DAE*, 48(151). pp. 22-28.
- BERNARDO, L. D., CAMACHO, R. D. P., FRAGIACOMO, P. e VIUDEZ, M. A. P., 1995. Emprego de reator anaeróbio de fluxo ascendente com manto de lodo para tratamento de despejos líquidos provenientes de laticínios. *15º Congresso ABES vol. 2 - tomo III*. Belém PA.
- BEHMER, M. A. L., 1987. *Tecnologia do leite*. Nobel, São Paulo. 320 p.
- BRAILE, P. M. & CAVALCANTE, J. E. W. A. , 1979. *Manual de tratamento águas residuárias*. CETESB. São Paulo, pp. 139-154.
- BRAILE, P. M. & CAVALCANTE, J. E. W. A., 1993. *Manual de tratamento águas residuárias industriais*. CETESB. São Paulo, pp. 139-154.

- BRANCO, S. M. , 1986. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**. CETESB/ACETESB, São Paulo.
- BRANDÃO, S. C. C., 1995. Produção de leite pasteurizado. **Catálogo Brasileiro de Produtos & Serviços**, pp. 96-105.
- CARDOSO, M. 1995. Uma nova opção para o tratamento dos efluentes das indústrias de leite e derivados. **Rev. Leite & Derivados n° 21**. pp. 58-61.
- CEBALLOS, B. O. S., de LIMA, E. O., KÖNIG, A., MARTINS, M. A., 1995. Spatial and temporal distribution of fecal coliforms, coliphages, moulds and yeasts in freshwater at the semi-arid tropic Northeast Region in Brazil (Paraíba State). **Rev. Microbiol.**, **26(2)**. pp. 90-100. São Paulo.
- CEBALLOS, B. O. S., 1995. **Utilização de indicadores microbiológicos na tipologia de ecossistemas aquáticos do trópico semi-árido**. Tese de doutorado em microbiologia-Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- CETESB, 1977. **Caracterização e origem dos despejos líquidos de indústrias de laticínios - Sistemas tradicionais de tratamento e disposição**. Relatório R.42, partes I e II, São Paulo.
- CORAUCCI FILHO, B., NOUR, E. A. A., FIGUEIREDO, R. F., 1997. Remoção de nitrogênio e fósforo na unidade de pré-tratamento anaeróbio de efluente líquido de laticínio. **Anais do 26° Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. Campina Grande-PB.
- DUFOUR, A. P., 1977. *Escherichia coli*: The fecal coliform. In: HOADLEY, A. W. & DUTRA B. J., eds. *Bacterial indicators/Health Hazards Associated with Water*. Philadelphia, ASTM, p. 48-58, (Special Technical Publication 635).

- De OLIVEIRA, R., 1983. **Contribuição ao estudo de tanques sépticos**. Dissertação de mestrado, UFPB, Campina Grande-PB. 237p.
- ESTEVES, F. A., 1988. **Fundamentos de limnologia**. Interciência/FINEP. Rio de Janeiro. 575 p.
- FLORENTINO, F. R., 1993. **Caracterização dos esgotos domésticos e efluentes das ETE'S de Campina Grande, Guarabira e Sapé-Pb**. Dissertação de mestrado, UFPB. Campina Grande-Pb. 132 p.
- GURNHAM, C. F., 1965. **Industrial Wastewater Control**. Academic Press, pp. 81-94.
- HAGLER, A. N. e MENDONÇA HAGLER, L. C., 1981. Yeast from marine and estuarine waters with different levels of pollution in the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Appl. Environ. Microbiol.**, 41. pp. 173-8.
- HAMMER, M. J., 1979. **Sistemas de abastecimento de água e esgoto**. Ed. Rio de Janeiro, São Paulo. 561 p.
- HARALAMBOUS, A., MALION, E., MALAMIS., 1992 The use of zeolite for ammonium uptake. **Water Science and Technology**. 21(1). pp. 139-145.
- IDF, 1994. Recommendations for the hygienic manufacture of milk na milk products. **Bulletin of the International Dairy Federation**, nº 292, Brussels.
- KÖNIG, A., AMORIN, F. M. B, ARAÚJO, A. L., LIMA, L. M. M., MISHIMA, V. S., CEBALLOS, B. S. O., 1996. Qualidade do efluente final de uma ETE de laticínios, ao longo do ciclo diário. **Anais do 3º Congresso de Ecologia do Brasil**. Brasília-DF.
- KREGER VAN RIJ, N. J. W., 1984. **The yeast: a taxonomic Study** N. J. W. Kreger Van Rij. Ed. Amsterdam, Elsevier Science Publishers, B. V.

- LAGE FILHO, F. A., 1986. **Caracterização, tratabilidade e impactos ambientais provocados por águas residuárias de indústrias de laticínios**. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- LAWLER, D. F., CHUN, Y. J. HWANG, S. J., HULL, B. A., 1986. Aerobic Digestion: Effects on particle size and dewaterability. *Journal WPCF (58)*, 12. pp. 1107-1117.
- LEITE JÚNIOR, A. F. S., 1993 **Bactérias psicotróficas termodúricas: Aspectos atuais, ocorrência e importância na qualidade microbiológica do leite C pasteurizado comercializado em João Pessoa, Paraíba em 1992**. Dissertação de mestrado, UFPB, Campus I. João Pessoa-PB.
- MARA, D. D., PEARSON, H. W. and SILVA, S. A., 1983. Brazilian Stabilization pond research suggests lowcost urban applicatons. *Word Water 6*. pp. 20-24.
- MCGINNIS, M. R., D'AMATO, R. F., LANO, G. A., 1982. **Pratical hand book of medically important fungi and aerobic actinomycetes**. New York, Praeger, 245p.
- MENDONÇA, S. R., 1990. **Lagoas de estabilização e aeradas mecanicamente: novos conceitos/ Sérgio Rolim Mendonça; [com a colaboração de] Annemarie König, Beatriz Susana de O. Ceballos, Rogaciano da Cunha Souto**. Ed. S. Rolim Mendonça, João Pessoa-Pb. 388 p.
- METCALF, L & EDDY, H, 1991. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. Third Edition. McGraw Hill Book Company, Singapore.
- OESTREICH, A. M. E., 1989. Uma avaliação da eficiência de lagoas de estabilização implantadas no Estado do Rio Grande do Sul. Dissertação de mestrado, UFRS, Porto Alegre-RS. 237 p.

- PEIRANO, M. M. F., 1995 Tratamento de efluentes em laticínios. *Rev. Leite e derivados*, 21. pp. 49-57.
- PELCZAR, M. I., REID, R. D. and CHAN, E. C. S., 1981. *Microbiologia*. McGraw Hill do Brasil. São Paulo. pp.945-968.
- PEREIRA, S. M. C., 1984. *Influência da temperatura e da superfície de contato nos processos de estabilização anaeróbia*. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Paulo, São Carlos. pp. 7-81.
- PICO, R. F., 1973. "Dairy Wastes" in Literature Review. *Journal WPCF (45)*, 6. pp. 1215-1218.
- PICO, R. F., 1976. "Dairy Wastes" in Literature Review. *Journal WPCF (48)*, 6. pp. 1311-1313.
- PICO, R. F. & BROWN, H. N., 1979. Characterization and treatment of Dairy Wastes in the municipal treatment systems. *In: proceedings of 34th industrial waste conferences*. Purdue University, Michigan. pp. 326-333.
- PURCHIO, A; GAMBALE, W.; PAULA, C. R., 1988. Molds from some beaches in the Southern area of São Paulo State (Baixada Santista). *Rev. Microbiol.*, São Paulo, 19. pp. 166-71.
- RIBEIRO, E. D. L., CARNEIRO, E. V. e LEÃO, M. M., 1993. Lagoas de estabilização: aplicações no tratamento de efluente de laticínios. *17° Congresso ABES, vol.2, tomo IV*. Natal-RN.
- ROCHA, A. A., 1985. Aspectos ecológicos do filtro biológico. *Rev. DAE (45)*, 140. pp. 40-43.
- SANTOS, J. A. A., 1995. *Avaliação do desempenho de filtros aneróbios, com leito de pedras, tratando efluentes de lagoas de maturação primária*. Dissertação de mestrado. UFPB- Campus II. 66p.

- SAWYER, C. N. & McCARTY, P. L., 1978. **Chemistry for environmental engineering**. New York, McGraw-Hill, 532 p.
- SELMER-OLSEN, E., RATNAWEERA, H. C., PEHRSON, R., 1996. A novel treatment process for dairy wastewater with chitosan produced from shrimp - shell waste. **Water Science Technology**, 34(11). pp. 33-40.
- SILVA, S. A. & MARA, D. D., 1979. **Tratamentos biológicos de águas residuárias: lagoas de estabilização**. ABES, Rio de Janeiro. 140p.
- STRYDOM, J. P., BRITZ, T. J., MOSTERT, J. F., 1997. Two-phase anaerobic digestion of three different dairy effluents using a hybrid bioreactor. **Water SA**, 23(2). pp. 151-156.
- TOM, C & RAPER, K. B., 1945. **A manual of the aspergilli**. Baltimore, Williams & Wilkins. 313p.
- TORRE, A. D. and STEPHANOPOULOS, G., 1986. Simulation study of anaerobic digestion control. **Biotechnology and Bioengineering**, vol. XXVIII. pp. 1138-1153.
- VALLE, C. E., 1995. Qualidade ambiental: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente: (como se preparar para as Normas ISO 14.000). Pioneira, São Paulo. 117p.
- VAN HAANDEL, A. C., 1995. **O comportamento do sistema de lodo ativado em regiões de clima quente**. UFPB. 246 p.
- VASAVADA, P. C., 1988. Pathogenic bacteria in Milk - A Review. **Journal Dairy Sci.**, n° 71. pp. 2809-2816.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1989. Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture. Geneva: World Health Organization (Technical Report Series n° 778).