



Universidade Federal do Rio Grande do Norte
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

JUCÉLIA MARIA EMERENCIANO RODRIGUES

PROJETO, CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM
PASTEURIZADOR DE LEITE ALTERNATIVO PARA
COMUNIDADES RURAIS

NATAL - RN
OUTUBRO - 1996

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**PROJETO, CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM
PASTEURIZADOR DE LEITE ALTERNATIVO PARA COMUNIDADES
RURAIS**

Dissertação de Mestrado Apresentada por:

Jucélia Maria Emerenciano Rodrigues

NATAL-1996

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**PROJETO, CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM
PASTEURIZADOR DE LEITE ALTERNATIVO PARA COMUNIDADES
RURAIS**

Dissertação de Mestrado Apresentada por:

Jucélia Maria Emerenciano Rodrigues

Orientador

M.Sc. João Telésforo Nóbrega de Medeiros

Co-Orientadora

Dra. Margarida Maria dos Anjos Magalhães

Dissertação apresentada ao Mestrado de Engenharia Mecânica da UFRN, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica, na área de Energia e Dispositivos Térmicos.

NATAL/RN

1996

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE "Zila Mamede"

631.3

170.718/02

Sistema 29572

Nº de Chamada
R696p

Registro

21/01/02

Fornecedor

DISSERT

Forma de Aquisição

Doação

2316,00

Empenho

Preço



L170718

GRANDES HOMENAGENS

*Prof. M.Sc. JOÃO TELÉSFORO NÓBREGA DE MEDEIROS,
orientador e incentivador deste trabalho, minha gratidão*

*Prfa. Dra. Margarida Maria dos Anjos Magalhães, minha
admiração*

HOMENAGEADOS

Prof. Dr. Rasiyah Ladhumananandasivam

M.Sc. Alberta M^ª Ramalho B. Ladhumananandasivam

Prof. Dr. Osvaldo Chiavone Filho

Profa. Msc. Zilda Maria Luiz

Prof. Lúcio de Oliveira Fontes

Prof. M.Sc. Otoniel Marcelino de Souza

Dr. Luiz Umberto de Sales (Médico Veterinário)

Eng^ª. Sara Macêdo dos Santos

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFRN, pela oportunidade que possibilitou-me realizar este curso

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPEs- pelo apoio financeiro

Aos funcionários do Núcleo de Tecnologia da UFRN, em especial aos que fazem parte da Oficina Mecânica onde se desenvolveu a construção do protótipo.

Ao Instituto Nacional de Patentes Industria (INPI) pelo o apoio bibliográfico e presteza sempre demonstrados nas pesquisas consultadas.

A USINA DE BENEFICIAMENTO DE LEITE BETANIA E YOPLAT PARMALAT, através do médico veterinário Dr. Roberto Gastão, Prof. Luís Cláudio e a Pollyanna juntamente toda equipe do laboratório de microbiologia pelo apoio, colaboração e doação da matéria-prima na primeira fase.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e do Departamento de Engenharia Química, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, que direta e indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

A BRASINOX S.A, pela doação de material

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

NOMENCLATURA

A_{Ai}	Área interna da base do protótipo do pasteurizador de Aço inoxidável (m ²)
$D_{e,Ac}$	Diâmetro externo do recipiente de Aço carbono (m)
$D_{i,Ac}$	Diâmetro interno do recipiente de Aço carbono (m)
$D_{e,Ai}$	Diâmetro externo do recipiente de Aço inoxidável (m)
$D_{i,Ai}$	Diâmetro interno do recipiente de Aço inoxidável (m)
\dot{Q}_{pL}	Calor perdido pelas laterais (w/m ² K)
\dot{Q}_{pb}	Calor perdido pela base (w/K)
\dot{Q}_{pT}	Calor perdido pelo topo (w/K)
$R_{K(Ac)}$	Resistência condutiva do Aço carbono
$R_{K(Ai)}$	Resistência condutiva do Aço inoxidável
$R_{c(água)}$	Resistência convectiva da água
$R_{c(Ar)}$	Resistência convectiva do ar
$R_{c(L Leite)}$	Resistência convectiva do leite
$R_{par,Ac}$	Resistência da parede Aço carbono
$R_{par,Ai}$	Resistência da parede interna de Aço inoxidável
$T_{ext,par}$	Temperatura externa da parede de Aço carbono
$T_{int,par}$	Temperatura interna da parede de Aço carbono
$T_{ext,par}$	Temperatura externa da parede de Aço inoxidável
$T_{int,par}$	Temperatura interna da parede de Aço inoxidável
$U_{coef. Global Perdas}$	Coefficiente Global de Perdas
$\epsilon_{A,i}$	Espessura do Aço inoxidável (m)
ϵ_{Ac}	Espessura do Aço carbono 1020 (m)

a	Condutividade térmica do fluido
A_B	Área da base do recipiente de Aço inoxidável (m^2)
A_i	Área útil do recipiente de Aço inoxidável (m^2)
A_T	Área do topo do pasteurizador (m^2)
C	constante
cp	Centipoise (unidade de viscosidade)
cp_L	Calor específico do leite (J/Kg K)
D	Densidade corrigida
D	Tempo de redução decimal (min), representa o tempo necessário para que a curva de sobreviventes ou a curva de inativação térmica atravesse um ciclo logarítmico.
D_a	Diâmetro do agitador (m)
D_T	Diâmetro total do recipiente (m)
e	Eficácia do pasteurizador
ESD	Extrato seco desengordurado (%)
EST	Extrato seco total (%)
g	Constante da aceleração gravitacional (m/s^2)
Gr	Número de Grashof (Adimensional)
H	Altura útil do pasteurizador (m)
$h_{c(Água)}$	Coefficiente de transmissão da Água ($w/m^2 K$)
$h_{c(Ar)}$	Coefficiente de transmissão do Ar ($w/m^2 K$)
$h_{c(leite)}$	Coefficiente de transmissão do Leite ($w/m^2 K$)
H_L	Altura do líquido no recipiente (m);
IU	Unidade Internacional
K_{ac}	Condutibilidade térmica do Aço carbono ($w/m K$)
$k_{ág}$	Condutibilidade térmica da Água (w/mK)
K_{ar}	Condutibilidade térmica do Ar (w/mK)
K_i	Condutibilidade térmica do Aço inoxidável ($w/m K$)
K_{Leite}	Condutibilidade térmico do leite ($w/m K$)
L_{ac}	Altura do recipiente de Aço carbono (m)
L_i	Altura útil do recipiente de Aço inoxidável (m)

L_{total}	Altura total do recipiente de Aço carbono (m)
m	$\frac{1}{4}$
N	Velocidade de rotação do agitador (rps)
n	Frequência de rotação do agitador (rpm);
P	Potência
PCC	Ponto Crítico de Controle
Pr	Nº de Prandtl (adimensional)
Q_{total}	Taxa de transferência de calor ($w/m^2 K$)
r	Coefficiente de correlação do método dos mínimos quadrados
R_H	Rotação no eixo da hélice de trabalho (rpm)
RNA_{SE}	Enzima ribonuclease
RPM	Rotação da hélice de trabalho (rps)
T_{Amb}	Temperatura ambiente (K)
$T_{ag,c}$	Temperatura da água corrente (K)
$T_{b,int}$	Temperatura da base interna do pasteurizador (K)
$T_{b,ext}$	Temperatura da base externa do pasteurizador (K)
T_{C1}	termopar 1 medindo a temperatura ambiente (K)
T_{C2}	termopar 2 medindo a temperatura da água do banho (K)
T_{C4}	termopar 4 medindo a Camada 1 (C_1) chamada inferior (K)
T_{C5}	termopar 5 medindo a Camada 3 (C_3) chamada superior (K)
T_{C7}	termopar 7 medindo a Camada 2 (C_2) chamada do meio (K)
TDF	Thermic Dead Time
t_{f1}	Temperatura inicial do leite (K)
t_{f2}	Temperatura final do leite (K)
$T_{L,int}$	Temperatura da superfície lateral interna do pasteurizador (K)
$T_{L,ext}$	Temperatura da superfície lateral externa do pasteurizador (K)
T_{max}	Temperatura máxima de pasteurização (K) no processo térmico em estudo
T_{min}	Temperatura mínima de pasteurização (K) processo térmico em estudo
t_{q1}	Temperatura inicial do fluido (água do banho)(K)
t_{q2}	Temperatura final do fluido (água do banho) (K)

$T_{T\ ext}$	Temperatura da superfície externa do topo (K)
$T_{T\ int}$	Temperatura da superfície interna do topo (K)
t_{total}	tempo total para realização total de processo (min)
U_{base}	Coefficiente de perdas térmicas pela base ($w/m^2\ K$)
UFC	Unidade Formadora de Colônia (ml)
$U_{lateral}$	Coefficiente de perdas térmicas pelas laterais ($w/m^2\ K$)
U_{topo}	Coefficiente de perdas térmicas pelo topo (tampa) ($w/m^2\ K$)
$V_{água}$	Volume de água (l)
V_{leite}	Volume de leite (l)
W	Largura das palhetas (m)
X	Altura do agitador sobre o fundo do recipiente (m)
z	Capacidade calorífica
Z	coeficiente térmico ($^{\circ}C$) é o número de $^{\circ}C$ necessários para que a curva da temperatura média de aquecimento logarítmica
$Z_1 \rightarrow 32$	(n $^{\circ}$ de dentes da engrenagem conduzida)
$Z_1 \rightarrow 64$	(n $^{\circ}$ de dentes da engrenagem condutiva)

α	alfa caseína
β	beta Caseína
β	Coefficiente de dilatação térmica ($^{\circ} C^{-1}$)
γ	Caseína total
μ	Viscosidade dinâmica ($N s/ m^2$)
Ω	fator de tempo de mistura
$\Delta\theta_m$	Temperatura média de aquecimento logarítmica
$\mu_{\text{Água}}$	Viscosidade dinâmica da Água ($N.s/m^2$)
$\rho_{\text{Água}}$	Densidade da Água (kg/m^3)
ρ_{Ar}	Densidade do ar (kg/m^3)
μ_{Ar}	Viscosidade dinâmica do Ar ($N.s/ m^2$)
ρ_l	Densidade do leite (kg/m^3)
μ_l	Viscosidade dinâmica do Leite ($N.s/m^2$)
μ_m	Nanômetro
α_s	Caseína s
ΔT	Diferença de temperatura entre fluido final e inicial (K)

SUMÁRIO

	PÁGINA
LISTA DE TABELAS.....	01
LISTA DE FIGURAS	04
RESUMO.....	07
ABSTRACT.....	08
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO.....	09
1.1- Contexto mundial	09
1.2- Objetivo geral e específicos.....	11
1.3- Justificativa do Estudo.....	12
1.4- Composição do trabalho	13
CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1- Processamento térmico do leite.....	14
2.2- Generalidades sobre o leite	21
2.3- Considerações gerais da bacia leiteira no Nordeste do Brasil ...	28
2.4- Considerações gerais sobre pasteurização	35
2.5- Uniformização de partículas.....	38
2.6- Comportamento geral do fluido Newtoniano em vaso de agitação sem chicana em um líquido de baixa viscosidade.....	40
2.7- Considerações gerais sobre agitadores	43
2.7.1- Conceituação de agitadores e/ou misturadores	43
2.7.2- Dispositivos do agitador.....	44
2.7.3- Geometria dos agitadores	44
2.7.4- Projeto dos agitadores	46
2.8- Considerações gerais dos modelos de dispositivos térmicos aplicados na pasteurização do leite.....	48

CAPÍTULO III- MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
3.1- Construção do agitador.....	53
3.2- Equipamentos e Instrumentação.....	56
3.2.1- Caracterização dos dispositivos.....	56
3.2.1.1- Tacômetro digital eletrônico.....	56
3.2.1.2- Conta-giros.....	56
3.2.1.3- Termômetro digital.....	57
3.2.1.4- Termopar tipo T.....	57
3.3- Construção das curvas de calibração da rotação do agitador.....	58
3.4- Construção das curvas de calibração dos termopares.....	59
3.5- Testes experimentais do agitador.....	60
3.6- Estudos Preliminares no Protótipo “I” do Pasteurizador.....	61
3.6.1- Testes operacionais no protótipo “I” em escala de laboratório.....	64
3.7- Construção e Avaliação do protótipo “II” do pasteurizador.....	67
3.7.1- Testes operacionais no protótipo “II” em escala de de laboratório.....	70
3.7.2- Metodologia.....	70
3.7.2.1- Matéria-prima.....	70
3.7.2.2- Método de pasteurização.....	71
3.7.2.3- Caracterização da amostra.....	71
3.8- Contagem da carga microbiana no leite cru e pasteurizado.....	74
3.8.1- Preparo das amostras.....	74
3.8.2- Contagem total de mesófilos.....	75
3.8.3- Contagem de coliforme total e fecal.....	75
3.9- Determinação da atividade da peroxidase.....	76
3.10- Determinação da atividade da fosfatase.....	76
3.11- Fluxograma do processo utilizado no protótipo “II”.....	77
3.12- Descrição do protótipo “III” do pasteurizador-escala piloto.....	78
3.12.1- Características construtivas e testes operacionais do protótipo “III”.....	78

3.12.2- Estrutura básica do protótipo “III”	78
3.12.3- Custo do protótipo “III”	85
3.12.4- Condições de processamento.....	86
CAPÍTULO IV-Transferência de calor no pasteurizador.....	87
4.1-Cálculo de perdas de calor no pasteurizador.....	97
4.1.1-Determinação do coeficiente global de perdas	97
4.1.2-Método das trocas térmicas	98
4.1.2.1-Determinação do coeficiente U de perdas pela base	98
4.1.2.2-Determinação do coeficiente U de perdas pelas paredes laterais.....	99
4.1.2.3-Determinação do coeficiente U de perdas no topo	99.b
4.2-Determinação do calor perdido pelo pasteurizador.....	99.c
CAPÍTULO V - RESULTADOS E DISCUSSÃO	100
5.1-Experimentos preliminares.....	100
5.1.1-Observações dos parâmetros estudados na construção das curvas de calibração do tacômetro digital eletrônico e conta-giros.....	100
5.1.2- Ensaio experimentais do agitador.....	102
5.2- Resultados observados na construção das curvas de calibração dos termopares.....	104
5.3- Experimentos para determinar o tempo-temperatura do leite no processo de aquecimento simultâneo	108
5.3.1-Medidas das temperaturas (T_{C4} T_{C7} e T_{C5}) à 65°C e 67°C, banho à 90°C como termopar (T_{C2}) nas posições 6 e 7 no dispositivo de medida de velocidade	108

5.4-Medidas do tempo no processo de aquecimento simultâneo na região de menor transferência de calor (T_{C7}), nas temperaturas de pasteurização do leite à 65°C e 67°C, e as velocidades de rotação	109
5.5-Medidas do tempo-temperaturas de pasteurização do leite, nas condições do item 4.4, à 63°C, 65°C, 67°C e 69°C, banho à 85°C(T_{C2}), método aquecimento prévio	110
5.6-Medidas do tempo-temperaturas de pasteurização do leite à 63°C, 65°C, 67°C e 69°C, banho à 80°C (T_{C2}), método de aquecimento prévio.....	110
5.7-Characterização do leite.....	124
5.7.1-Determinações das atividades enzimáticas, da peroxidase e da fosfatase.....	125
5.7.2-Ensaio microbiológicos em escala de laboratório	126
5.7.2.1-Determinação das cargas microbianas dos leites cru e pasteurizado nas temperaturas do item 5.6....	126
5.8-Testes operacionais no pasteurizador “III” na escala piloto	131
5.8.1-Characterização do leite	133
5.8.2-Determinação da atividade enzimática da peroxidase e da fosfatase	134
5.8.3-Ensaio microbiológico em escala-pioto.....	135
5.8.3.1-Determinações das cargas microbianas dos leites cru e pasteurizado que foram submetidos as temperaturas de 63°C e 69° C.....	135
5.9-Resultados das determinações dos coeficientes de transmissão de calor do Ar, Água e o Leite no pasteurizador	136
5.10-Determinação do coeficiente U perdas pela base	140
5.10.1-Resultado da determinação do calor perdido na base .	141
5.10.2-Resultado da determinação do calor perdido nas paredes laterais.....	142
5.10.3- Resultado da determinação do calor perdido no topo	143

5.11-Determinação da taxa de transf. de calor no pasteurizador.....	144
5.12- Eficácia do pasteurizador.....	145
5.12- Erros cometidos.....	147
CAPÍTULO VI - CONCLUSÕES	149
CAPÍTULO VII- SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	152
CAPÍTULO VIII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	153
ANEXO A- Tabelas das aferições dos pontos observados para construir as curvas de calibração das substâncias puras e água em ebulição.....	164
ANEXO B Tabelas com os valores das medidas de temperaturas do leite nas camadas (T_{C4} , T_{C7} e T_{C5}) no processo de aquecimento simultâneo com água do banho a 90°C	169
ANEXO C Tabelas com os valores das medidas de temperaturas do leite na região de menor transferência de calor (T_{C7}), no processo de aquecimento simultâneo	175
ANEXO D- Tabelas com valores das medidas da temperatura do leite na região de menor transferência de calor (T_{C7}) e a água do banho na temperatura de 80 °C, no processo de aquecimento prévio	180
ANEXO E-Tabela de correção da densidade do leite	192
ANEXO F Tabela de Mac Crady	193

LISTA DE TABELAS

TABELAS	PÁGINAS
1- Pesquisadores que trabalharam com pasteurização à temperatura de 63°C	16
2- Pesquisadores que trabalharam com pasteurização à temperatura de 65°C	17
3- Dados estatísticos da Região Nordeste.....	29
4- Dados estatísticos da Região Sudeste.....	30
5 -Dados estatísticos da Região Norte.....	31
6- Dados estatísticos da Região Sul.....	32
7- Dados estatísticos da Região Centro-Oeste.....	33
8- Cálculo de volume de água/leite.....	78
9- Componentes e Acessórios do Equipamento.....	85
10-Custo do pasteurizador em escala-piloto.....	87
11-Leitura do tacômetro digital elétrico e do conta-giros mecânico.....	101
12-Tempo de homogeneização observada e o fator de tempo.....	103
13-Dados experimentais nº 1	112
14-Dados experimentais nº 2.....	113
15-Dados experimentais nº 3	114
16-Dados experimentais nº 4.....	115
17-Dados experimentais nº 5.....	116
18-Dados experimentais nº 6.....	117
19-Dados experimentais nº 7.....	118

20-Dados experimentais nº 8.....	119
21-Dados experimentais nº 9.....	120
22-Dados experimentais nº 10.....	121
23-Dados experimentais nº 11.....	122
24-Dados experimentais nº 12.....	123
25-Characterização do leite cru e pasteurizado: pH, Acidez, Densidade corrigida, Extrato seco total, Extrato seco desengordurado e Gordura	124
26-Resultados das análises enzimáticas da Peroxidase e da Fosfatase dos leites cru e pasteurizado em escala de laboratório.....	126
27-Resultados da eficácia de pasteurização nos experimentos no protótipo II escala de laboratório	127
28- Padrões microbiológicos para o leite pasteurizado segundo (DINAL, 1987)....	130
29- Os resultados dos testes operacionais no pasteurizador “III” em escala-piloto utilizando a temperatura de pasteurização à 63°C (I)	132
30- Os resultados dos testes operacionais no pasteurizador “III” em escala-piloto utilizando a temperatura de pasteurização à 63°C (II).....	132
31- Os resultados dos testes operacionais no pasteurizador “III” em escala-piloto utilizando a temperatura de pasteurização à 63°C (III).....	132
32- Os resultados dos testes operacionais no pasteurizador “III” em escala-piloto utilizando a temperatura de pasteurização à 69°C (I)	133
33- Os resultados dos testes operacionais no pasteurizador “III” em escala-piloto utilizando a temperatura de pasteurização à 69°C (II).....	133
34- Caracterização do leite cru e do leite pasteurizado: pH, Acidez, Densidade corrigida, Extrato seco total, Extrato seco desengordurado e Gordura	134

35- Resultados das análises enzimáticas da Peroxidase e da Fosfatase do leite cru e do leite pasteurizado em escala-piloto	135
36- Resultados da eficácia de pasteurização nos experimentos no protótipo II escala-piloto	136
37- Resultados das perdas de calor total no pasteurizador	146
38- Resultados dos coeficientes calculados.....	146

3-Pasteurização a pilot	135
4-Dados estatísticos da produção de leite da Região Nordeste	14
5-Dados estatísticos da produção Região Sudeste	14
6-Dados estatísticos do consumo Região Norte	14
7-Dados estatísticos do consumo Região Sul	14
8-Dados estatísticos do consumo Região Centro-Oeste	14
9-Fluxograma de construção do aparelho	14
10-Metodo de operação proposto	14
11-Programa de trabalho para o aparelho em escala de laboratório	14
12-Protótipo "II" pasteurizador escala de laboratório	14
13-Fluxograma de processo no protótipo II-pasteurizador escala de laboratório	14
14-Vista de corte do pasteurizador	14
15-Vista frontal dos recipientes internos de aço inoxidável e o exterior	14
16-Vista frontal do recipiente interno externo e a tampa	14
17-Vista de cima dos recipientes internos e o anel de aço carbono (B24)	14
18-Detala do mancal (T10) e mancal de trabalho tempo	14
19-Dimensões máximas (L, D, H) do equipamento em metros (e a quantidade de mancal)	14
20-Vista lateral das engrenagens e o motor	14

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	PÁGINAS
1-Curva de pasteurização do leite	15
2-Pasteurizador do tipo tacho encamizado	18
3-Pasteurizador à placa	18
4-Dados estatísticos do consumo de leite da Região Nordeste.....	29
5-Dados estatísticos do consumo Região Sudeste	30
6-Dados estatísticos do consumo Região Norte.....	31
7-Dados estatísticos do consumo Região Sul	32
8-Dados estatísticos do consumo Região Centro-Oeste.....	33
9-Fluxograma da construção do agitador	54
10-Modelo do agitador proposto	55
11-Protótipo "I" pasteurizador escala de laboratório	62
12-Protótipo "II" pasteurizador escala de laboratório.....	67
13-Fluxograma de processo no protótipo II-pasteurizador escala de laboratório.....	77
14-Vista de corte do pasteurizador.....	80
15-Vista frontal dos recipientes interno de aço inoxidável e o externo	81
16-Vista frontal do recipiente interno/ externo e a tampa.....	81
17-Vista de cima dos recipiente interno e o anel de aço carbono 1020.....	82
18-Caixa do mancal (10) e mancal de trabalho/tampa.....	82
19-Engrenagem maior (à direita)/engrenagem menor (à esquerda) e o mancal	83
20-Vista frontal das engrenagens e o mancal	83

21-Vista frontal do protótipo “III” escala piloto	84
22-Vista frontal do protótipo “III” no corpo completo	84
23a-Esquema do fluxo térmico do pasteurizador	88
23b-Corte transversal do pasteurizador, representando as respectivas resistências.....	
térmicas envolvidas: ar ambiente, paredes laterais, água e o leite	91
23c-Esquema dos fluxos de calor envolvidos na Pasteurização	91
23d-Corte transversal simplificado do pasteurizador, indicando as respectivas	
resistências térmicas: ar ambiente (h_{ar}), paredes laterais ($k_{aço carb.}$ e $k_{aço inox.}$), água	
($h_{água}$) e o leite (h_{leite}).....	92
23e-Corte longitudinal simplificado do pasteurizador, indicando as respectivas	
resistências térmicas: base ($k_{aço carb.}$ e $k_{aço inox.}$) e o leite $h_{l(eite)}$	92
24-Curva de calibração do tacômetro digital elétrico/conta-giros.....	102
25-Calibração do tacômetro elétrico (obs)/conta-giro mecânico (real)	104
26-Curva de calibração do termopar 1	105
27-Curva de calibração do termopar 2	106
28-Curva de calibração do termopar 3	107
29-Perfil da pasteurização do leite à 63° C- (Experimento nº1)	112
30-Perfil da pasteurização do leite à 63° C- (Experimento nº2).....	113
31-Perfil da pasteurização do leite à 63° C- (Experimento nº3).....	114
32-Perfil da pasteurização do leite à 65° C-(Experimento nº1)	115
33-Perfil da pasteurização do leite à 65° C- (Experimento nº2).....	116
34-Perfil da pasteurização do leite à 65° C- (Experimento nº3).....	117
35-Perfil da pasteurização do leite à 67° C- (Experimento nº1)	118
36-Perfil da pasteurização do leite à 67° C- (Experimento nº2)	119

37-Perfil da pasteurização do leite à 67° C- (Experimento nº3)	120
38-Perfil da pasteurização do leite à 69° C- (Experimento nº1)	121
39-Perfil da pasteurização do leite à 69° C- (Experimento nº2)	122
40-Perfil da pasteurização do leite à 69° C- (Experimento nº3)	123

CAPÍTULO I

RESUMO

Foi desenvolvido e construído um pasteurizador de leite alternativo, pelo método de pasteurização lenta. O equipamento se destina a pequenos e médios produtores de leite ou de produtos análogos, de 32 litros de leite e 55 litros de água para o banho. A fim de avaliar seu desempenho foram levantados parâmetros de projeto e de operação, às temperaturas de pasteurização de 63°, 65°, 67° e 69°C com banho à 80°C e o fluido com agitação mecânica de 147 rpm e manual de 86 rpm, na região de menor transferência de calor. O leite cru apresentou os seguintes resultados: pH(6,0-7,5), acidez (14-16°D), densidade (1,029-1,035 g/l), EST (11,83-14,50%), ESD (8,23-10,00%) e teor de gordura (3,5-4,5%), e no leite pasteurizado, pH (6,1-6,6), acidez (16-18°D), densidade (1,030-1,035g/l), EST (11,82-14,52%), ESD (8,22-10,00%) e teor de gordura (3,7-4,5%). A contagem total de mesófilos variou entre 10^5 e 10^6 no leite cru e entre 10^2 e 10^3 no pasteurizado, a contagem de coliforme fecal no leite cru >110 NMP/ml e no pasteurizado em 3 experimentos variou entre 0,36-2,3 NMP/ml, sendo nos restantes negativo. A eficácia da pasteurização variou entre 75,0-99,9%. Nas análises bioquímicas do leite pasteurizado as atividades das enzimas fosfatase foi negativa e peroxidase positiva, indicando uma pasteurização eficaz.

Palavras-chave: Leite de vaca

Pasteurização lenta

Agitador do tipo usual

Pasteurizador

ABSTRACT

A pasteuriser was developed and constructed as an alternative for the use of the method of slow pasteurisation. This device is intended to the producers of milk and its by-products products at small scale. The pasteuriser has the capacity for using 32 litres of milk and 55 litres of water in the bath. The design and operational parameters such as, pasteurisation temperature at 63°C, 65°C, 67°C and 69°C, with the bath temperature of 80°C as well as the fluid agitation, mechanically at 147 rpm and manually at 86 rpm at the region where the least heat transfer occurred were evaluated. The following results were obtained using raw milk: pH (6.0-7.5), acidity (14 -16 °D), density (1.029-1.035 g/ml), EST (11.84-14.05 %), ESD (8.23-10.00 %) and the fat content (3.7-4.5 %). The mesophiles count varied between 10^5 and 10^6 in raw milk, and 10^2 and 10^3 in pasteurised milk. The count of faecal coliforms in raw milk was 110 NMP/ml and in pasteurised milk in three counts varied between (0.36-2.3) NMP/ml, while in the other two experiments they were negative. The efficiency of the pasteurisation process varied between 75.0 to 99.9 %. Biochemical analysis of the pasteurised milk showed the enzymatic activities of phosphatase being negative and that of peroxidase positive, indicating an efficient pasteurisation.

Key words:

Cow milk
Slow pasteurisation
Stirrer
Pasteuriser

1. INTRODUÇÃO

1.1- CONTEXTO MUNDIAL

O mundo contemporâneo adentra o terceiro milênio da era cristã numa irreversível onda de globalização. Apesar disso, enquanto sofisticadas soluções tecnológicas fundadas no avanço científico são colocadas a serviço da qualidade de vida de populações abastadas, grandes hordas de pessoas sucumbem, nas mais absolutas pobreza e miséria. A fome é reconhecida como problema crônico, assim como o analfabetismo, a saúde, a habitação e a capacitação para o trabalho.

Em outras camadas da população, apresentam-se problemas de natureza cultural, caracterizando-se por hábitos alimentares distorcidos, seja pela indução de insistentes apelos do *marketing* indiscriminado veiculado na mídia, seja pela falta de adoção de medidas profiláticas no trato correto de alimentos. Dentre estes, destaca-se o leite de vaca.

O leite é um alimento natural quase que perfeito, mais importante e largamente utilizado na dieta dos povos. Caracteriza-se por ser muito perecível devido à sua composição nutricional, constituindo-se em um alimento rico de primeira necessidade para a maioria dos povos.

No Brasil, a produção de leite, segundo a Associação Brasileira de Produtores de Leite B (Folha de São Paulo, 12/03/96:5-1) apresentou os seguintes quantitativos: em 1994, 16,7 bilhões de litros; em 1995, 17,3 bilhões de litros. Segundo GOMES (1996), relatando pesquisa efetuada em 1995 em Minas Gerais, envolvendo mil produtores de leite, 59% dos produtores consultados têm a sua produção diária de até 50 litros. No Nordeste, pode-se estimar certamente valores mais modestos, uma vez que as estatísticas disponíveis ainda são incipientes.

Além da baixa produção, ainda hoje o Nordeste padece, nos bolsões de subdesenvolvimento, de absoluta falta de tratamento para o produto e isto constitui um dos problemas culturais a ser enfrentado de imediato.

No Brasil, os maiores problemas enfrentados estão na falta de qualidade do leite e na capacidade de conservação, que estão estritamente ligadas ao tratamento recebido logo após a ordenha e também nos tratamentos higiênicos dos animais sadios e doentes. Os animais doentes são transmissores em potencial de microrganismos patógenos como a tuberculose, brucelose, enterotoxinas estafilocócicas, aftosa e outros.

É na fase de ordenha que a proliferação de microrganismos é significativa. Além disso, existem ainda a contaminação através dos ordenhadores, dos equipamentos e utensílios, nos quais os microrganismos se desenvolvem ativamente quando estes não são higienizados adequadamente. No caso do leite, esse problema se agrava por ser um excelente meio de cultura para os microrganismos.

Além das práticas de higienização mencionadas acima, é necessário se empregar um tratamento térmico no leite, como a pasteurização. Quando esse processo é realizado adequadamente, pode ajudar a resolver o problema causado pelos microrganismos presentes no leite, exceto, quando o mesmo está excessivamente contaminado ou possui um alto índice de acidez. Porém, a prática de pasteurização inadequada, ocorre em todo país, devido a falta de controle nas "micro-usinas", causada pela ausência de técnicos que realizem as análises físico-químicas e microbiológicas. Isto não desobriga as indústrias da necessária inclusão de tais práticas, assegurando-se as normas de saúde pública.

Segundo GOMES (1994) no que se refere a controle de alimentos, a atual legislação brasileira, (Decreto de número 30.691, de 1952) regula até os dias de hoje a Inspeção Industrial e Sanitária dos Produtos de Origem Animal (RIISPOA, 1980), sendo difusa e desatualizada.

Este fato, é ainda mais agravante no Nordeste brasileiro, que é caracterizado por uma cultura em que se apresenta o hábito de não consumir leite, ou a "saúdável prática de tomar leite no pé da vaca", sem qualquer tipo de processamento térmico. A motivação para a elaboração do presente trabalho encontra o seu principal alicerce no atendimento às camadas mais pobres e carentes da região.

1.2- OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS

O objetivo geral do trabalho é contribuir para a sistematização de informações sobre a pasteurização de baixo custo. Para isto, este estudo tem como objetivos específicos:

1- Investigar, junto ao Banco de Patentes do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), algumas patentes de Pasteurizadores que se apliquem a pequenas unidades produtoras de leite;

2- Estudar parâmetros importantes do processo de pasteurização lenta que sejam executáveis a nível de propriedade rural do interior nordestino;

3- Montar um sistema de baixo custo em escala de laboratório de pasteurização lenta de leite e investigar, experimentalmente, a eficácia do processo concernente aos dados microbiológicos do leite, em relação ao produto "*in-natura*";

4- Refinar o projeto, através da construção de um pasteurizador de leite, em batelada, com capacidade para 32 litros, produção idealizada para um criador médio que trabalhe com três matrizes consideradas de boa qualidade na região Nordeste.

1.3-JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

A idéia do desenvolvimento deste estudo, surgiu da necessidade do pequeno e médio produtor de leite terem em mãos um produto de melhor qualidade, tendo em vista o comprometimento da saúde do homem do campo. Este tem como origem, a falta de qualidade do leite consumido, juntamente com a dificuldade de conservação do leite *in natura*, que está ligado ao estado inicial de contaminação, com relação a temperatura de conservação. Por outro lado, se entra no paradoxo com o avanço no contexto tecnológico, no qual, o domínio, no âmbito da industrialização, é bem avançado.

Esse estudo visa ainda, a conscientização do elemento-humano dos perigos ao consumir leite *in natura*. A fiscalização da área sanitária em determinadas regiões ainda é precária, principalmente em controlar animais doentes, que são transmissores em potencial de microrganismos patogênicos, como a tuberculose, a brucelose, as enterotoxinas, as estafilocócicas, a aftosa e outros. Ainda existem ordenhadores que não têm a devida higiene ao ordenhar, trazendo com isso, a transmissão involuntária de doenças para os animais sadios e conseqüentemente, levando aos consumidores de baixa renda, um leite excessivamente contaminado. Por outro lado, as classes científicas e profissionais nas áreas de atuação citadas acima, tentam trazer soluções criativas, e, até certo ponto populares aos órgãos governamentais. Aplicando-se assim, soluções técnicas que sobrevivem desde os séculos passados até aos dias atuais, afinando-se ao avanço tecnológico e científico, procurando-se assim, criar ou até mesmo inovar tecnologia de pasteurizadores alternativos, que se enquadrem perfeitamente ao estilo da sociedade rural, com o objetivo de ter um produto de maior qualidade. Até porque, XAVIER (1993) menciona que o leite do futuro no Brasil, deverá ser com certeza, abundante, de melhor qualidade e de preço mais barato que o atual, apesar do cerne do decreto-lei de 1952, deverá ser modificado, contribuindo para uma maior vida-de-prateleira do leite e obviamente de um rebanho mais sadio.

CAPÍTULO II

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - PROCESSAMENTO TÉRMICO DO LEITE

O processamento térmico é um método amplamente difundido no campo da ciência. As civilizações antigas já o conheciam e o utilizavam, por exemplo, na destilação seca da madeira, para a obtenção de alcatrão e ácido pirolenhoso, em alguns processos de fermentação e de fabricação mecânica. Afinal, o fogo, a água, o ar e a terra constituíram-se, sempre, em desafios constantes ao domínio *pleno* pela habilidade humana. No setor de cocção de alimentos, também, os processos térmicos têm tido papel preponderante há muitos séculos. Com o avanço do conhecimento científico, a necessidade de melhoria da qualidade de vida da população tem exigido, de um lado, a massificação da produção industrial de alimentos e, do outro, a garantia de produtos isentos de agentes patogênicos ou deterioradores, e que se adequem a um consumo saudável.

O fornecimento de calor ao alimento tem por finalidade a destruição dos microrganismos ou a inibição do seu desenvolvimento, procurando preservar as suas propriedades organolépticas. A ação do calor pode ser mais ou menos acentuada com a combinação do binômio tempo/temperatura, dependendo das propriedades nutricionais do alimento. Visa-se, com isso, evitar ao máximo a destruição dos componentes da qualidade do alimento e as mudanças indesejáveis, tais como a degradação das vitaminas, o sabor e o odor do alimento.

WOLFSCHOOM-POMBO (1984:48) relata que o fornecimento de calor ao leite quebra as ligações sulfeto e as pontes de hidrogênio nas moléculas de proteína das bactérias, ocorrendo assim, a perda da firmeza celular e a mudança de

sua estrutura molecular original, tornando os microrganismos incapazes de realizar as funções vitais e também afetando os constituintes químicos do produto.

São observadas ainda modificações sensoriais, alterações no equilíbrio salino, valor de pH, proteínas, lactose e gordura do leite submetido à ação do calor, sob determinadas condições de experimento, SAN JOSÉ (1980:197).

A Figura 1 mostra os efeitos dos fatores de tempo/temperatura na pasteurização do leite.

Pode-se observar, a ZONA NEUTRA, correspondendo ao gradiente de tempo-temperatura adequados à pasteurização.

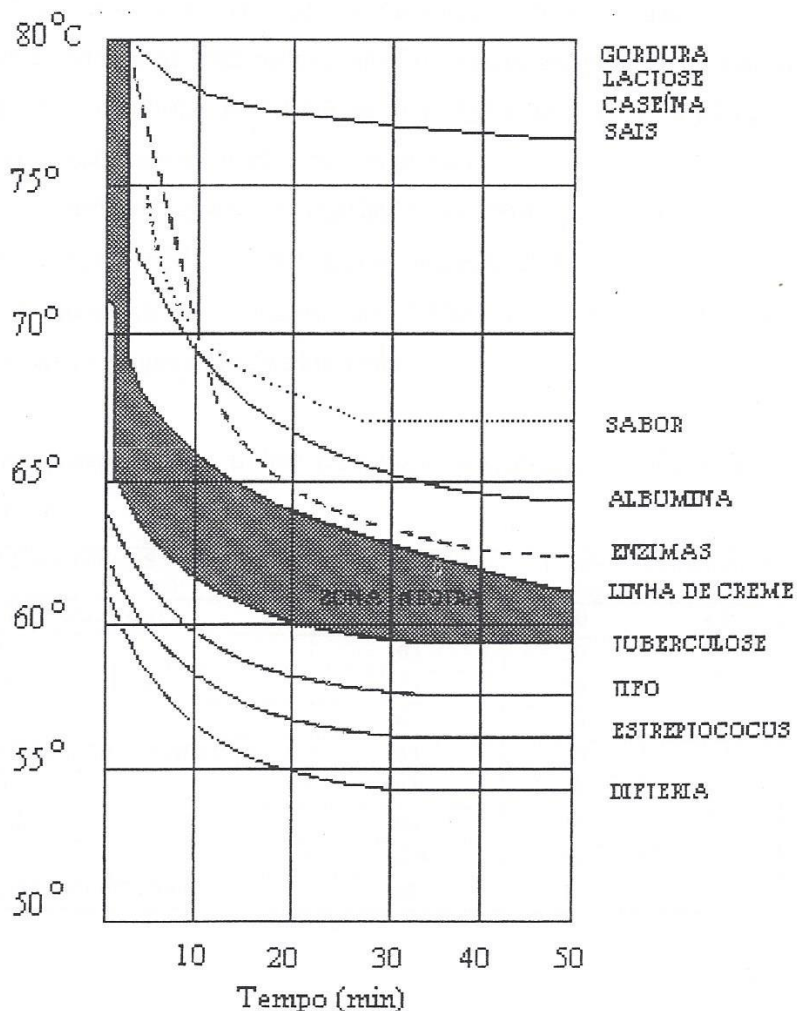


Figura 1 - Curva de pasteurização do leite (BEHMER, 1981)

Nas curvas, as condições de tempo/temperatura necessárias para a destruição dos microrganismos causadores da tuberculose, tifo, estreptococcus e difteria são apresentadas.

Algumas propriedades são inerentes ao tratamento térmico do leite, dentre as quais se destaca a desnaturação das proteínas, provocada pela ação do calor intenso. Acima dessa faixa, as propriedades organolépticas do leite são alteradas e, abaixo da mesma, não há destruição dos principais microrganismos patogênicos.

O processamento térmico deve ser otimizado para assegurar a qualidade do alimento, cuja qualificação para o consumo vai depender de sua carga microbiana inicial e das condições de conservação após o processamento.

O processo de pasteurização é o tratamento térmico mais importante na conservação do leite, e os tratamentos térmicos industriais comumente aplicados com essa finalidade, conforme BARROS *et alii* (1984:200) *apud* SPREER e a FAO/OMS,(1973) costumam-se dividir em dois grupos:

No primeiro grupo, a legislação só permite o uso do binômio tempo/temperatura de 63-66°C/30 minutos, com eficiência de 85%.

Os pesquisadores citados nas TABELAS 1 e 2, utilizavam as combinações de tempo/temperatura citados acima.

TABELA 1- Pesquisadores que trabalharam com pasteurização à temperatura de 63°C

PESQUISADORES	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (min)	EFICIENCIA (%)
IDF(1992) IN:AJZENTAL(1994)	63	30	85
OLIVEIRA (1992)	63	30	
CHEFTEL(1988)	63	30	
EARLE(1988)	63	30	
FROEDER; PINHEIRO; BRANDÃO(1985)	63	30	
BEHMER (1981)	63	06	
WEISSEYRE (1980)	63	30	
PORTIER (1975)	62,8	30	
VARGAS & FELICIO FILHO (1992)	63	30	

TABELA 2- Pesquisadores que trabalharam com pasteurização à temperatura de 65°C

PESQUISADORES	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (min)	EFICIÊNCIA (%)
OLIVEIRA (1994)	65	30	85
POVOA & MACHADO (1985)	65	30	
WOLSCHOOM POMBO (1984)	65	30	
BEHMER (1981)	65	30	
VALE (1981)	64	30	
LEGISL BRASILEIRA ART.157 RIISPOA (1980)	65,7	30	

Nestas Tabelas se enquadram o Brasil, a Finlândia, a Trinidad e o Reino Unido que utilizam esse binômio de tempo-temperatura, que foi denominado de pasteurização lenta, pelo método "americano" chamado de "*temperatura baixa-tempo longo*". Sob agitação constante, o leite é posteriormente resfriado a temperatura de 10°C ou mais baixa. É um processo descontínuo.

Esse tipo de pasteurização lenta apresenta, a vantagem de modificar menos as propriedades do leite. Ocorrendo uma menor desnaturação da albumina e globulina e uma menor precipitação dos sais de cálcio, o estado do glóbulo de gordura permanece inalterado, podendo acarretar também uma menor perda no teor de vitaminas do leite, bem como a oxidação dessas vitaminas [OLIVEIRA (1994); FELLOWS (1994:13)].

A partir de 60°C tem início a precipitação irreversível das proteínas solúveis lactoalbumina e lactoglobulina. Aproximadamente, 10% do total das albuminas e globulinas é precipitado durante a pasteurização. A caseína, no entanto, por ser mais estável, só é precipitada num processo térmico mais intenso [SANTOS *et alii* (1994:279)]. Para este tipo de pasteurização é adotado pasteurizador do tipo tacho encamisado conforme a Figura 2.

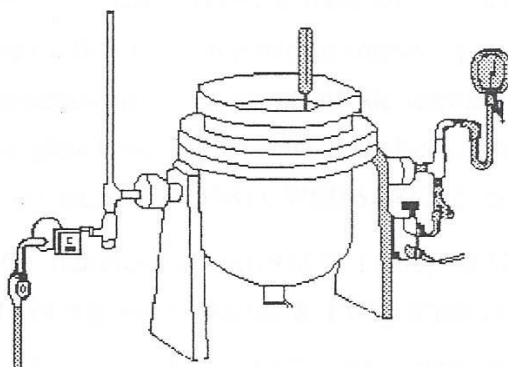


Figura 2 - Pasteurizador tipo Tacho Encamisado (MIC/STI, JORGE WILHEM CONSULTORES ASSOCIADOS (1988 *apud* CEMIG).

Um outro tipo de processo de pasteurização é o chamado tipo rápido, que é largamente empregado nas indústrias, é o pasteurizador do tipo placa, conforme é apresentado na Figura 3. O processo é denominado de HTST-*"High Temperature Short Time"*, consiste no aquecimento do leite entre as temperaturas de 72-75°C/15-40 s, com eficácia de 99,0 a 99,5% .

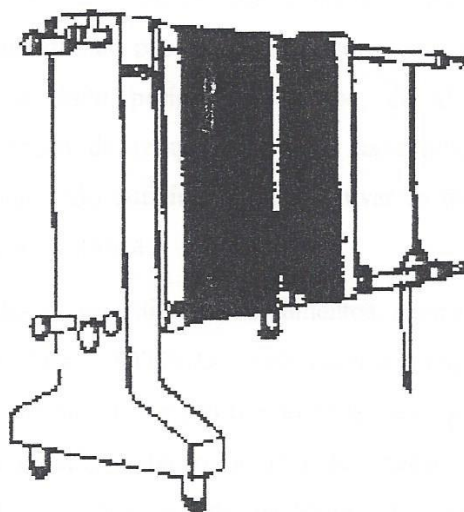


Figura 3 - Pasteurizador a placa (MIC/STI, JORGE WILHEM CONSULTORES ASSOCIADOS 1988 *apud* CEMIG)

Esse método de HTST é muito utilizado nos países como a Noruega, o Egito, a Hungria e o Brasil. É um processo contínuo que apresenta como vantagens a rapidez do processamento e a economia de energia, mas, em detrimento das albuminas e das globulinas, sofrem uma coagulação parcial [OLIVEIRA(1992:14); EARLE (1988:71); BEHMER (1981); WEISSEYRE (1980)].

Os trabalhos de ADRIAN (1975); BADINGS(1977); SAITO & NAKANISSHI (1976)] *apud* VALLE & CONTIERO (1981) mostraram durante o aquecimento acima de 74°C, formam-se compostos voláteis de enxofre, particularmente H₂S (ácido sulfídrico), que são responsáveis pelo aparecimento do sabor “cozido” no produto e da degradação da K-caseína. Assim, à medida que se aumenta a temperatura.

Existem outros processos como a esterilização nas temperaturas de (110-120°C/20-7 minutos) e a ultra-pasteurização à (126,7-150°C/9-2s) nos quais são utilizadas fórmulas equacionais para calcular a destruição de microrganismos patogênicos que são referenciais largamente utilizados nas grandes indústrias. Esses tipos de tratamento são bastante rápidos e levam a uma alta destruição dos microrganismos, sem grande perda nutricional do alimento FELLOWS (1994:219); WOLFSCHOON-POMBO (1984:50).

EARLE (1988:71) afirma que essas equações de esterilização se aplicam também, perfeitamente, ao processo de pasteurização, estabelecendo assim a termorresistência, em um dado período de tempo, de alguns microrganismos patogênicos como referencial de temperatura para as condições do binômio de tempo/temperatura, as quais são suficientes para inativar as bactérias submetidas a uma ordem de destruição logarítmica.

Nos cálculos de esterilização de alimentos, a temperatura de referência convencionalmente, é de 121°C. STUMBO (1975) define o tempo de morte térmica (TDT “*Thermic Dead Time*” ou F) como o tempo necessário para destruir todos os microrganismos de uma dada população, a uma determinada temperatura. Outro parâmetro muito utilizado é o tempo de redução decimal (D), definido como o tempo necessário para reduzir 90% da carga microbiana inicial, calculada através da curva de sobreviventes, para cada temperatura. O coeficiente térmico (z) representa a elevação

da temperatura (em °C ou °F) para que o tempo da morte térmica seja reduzido a 1/10.

Nas curvas de pasteurização de leite (de acordo com a Figura 1) o microrganismo patogênico de grande importância é o bacilo de Koch, o qual se destrói quase que nas mesmas condições de tempo/temperatura da enzima fosfatase, presente no leite. A presença dessa enzima indica que o tratamento térmico foi inadequado, e a mesma é detectada através do método químico.

A contagem total de bactérias no leite, antes da pasteurização, poderá ser mantida a um valor menor que $1,5 \times 10^5$ UFC/ml (Unidade Formadora de Colônia/ml, por até seis horas, se a contagem inicial, antes da chegada à instalação industrial, for abaixo de $1,0 \times 10^5$ UFC/ml segundo DOMEMETT *et alii* (1980) *apud* (COSTA *et alii* 1989:8). Além da carga microbiana e dos tipos de microrganismos presentes, define-se a qualidade do leite também pelos fatores interferentes.

Teoricamente, esses fatores interferentes na proteção do leite consistem na adoção de medidas simples que conduzem à sua melhoria de qualidade. Nem sempre tais medidas são compatíveis do ponto de vista social e econômico PANETTA (1984:163). Além disso, existem ainda outros fatores que interferem na qualidade do leite como sabor, aroma, níveis de sólidos, ponto de congelamento, presença de antibióticos e outros RYAN *et alii* (1984) *apud* (COSTA *et alii* 1989:8).

O valor nutricional, a cor, o sabor e o aroma são alterados, em maior ou menor grau, de acordo com a intensidade do tratamento térmico aplicado conforme LUND (1973:16)

A ausência do processamento térmico do leite, ou uma pseudopasteurização, como também uma contaminação pós-pasteurização, pode levar a população a diversos surtos de doenças. KOZAK (1985) *apud* COSTA *et alii* (1989:9)

2.2 - GENERALIDADES SOBRE O LEITE

O leite e alguns de seus derivados, segundo RESENDE (1993:2), são conhecidos desde a pré-história, como uma decorrência da domesticação de alguns animais e do conhecimento da possibilidade de obtenção de seus produtos para a alimentação e utensílios humanos. Um alto relevo, datado do ano de 3.500 a.C., aproximadamente, encontrado em Al Ubeid, perto de Ur, na Mesopotâmia, retrata vacas sendo ordenhadas, em que o leite é recolhido em recipiente de barro.

Denomina-se leite, sem outra especificação, o produto normal, fresco, integral obtido das glândulas mamárias de bovinos, o leite para consumo humano provém da ordenha completa e ininterrupta de vacas leiteiras bem constituídas, bem alimentadas e não fatigadas e deve ser reconhecido como limpo e sem a presença de colostro, conforme CHEFTEL (1988) RIISPOA (1980:81).

Alimento de grande valor nutritivo que apresenta em sua composição os principais nutrientes necessários à manutenção e desenvolvimento humanos, o leite caracteriza-se por cerca de 3,95; 9,11 e 5,86 cal/g, respectivamente, de participação em proteínas, gorduras e lactose. SILVEIRA *et alii* (1988:40); VESSONI-PENNA *et alii* (1987:58) *apud* RODRIGUES (1977); SPREER (1975) e WEBB & WHITTER, (1970) *apud* LIMA (1987:43) citam a associação entre as enzimas, os glóbulos de gordura e as micelas de caseína ao soro do leite. CHEFTEL (1988) destaca, também, a presença de anticorpos, hormônios e a partículas em suspensão (glóbulos graxos, micelas de caseína)

O leite ordenhado nunca está completamente isento de bactérias nem quando se extrai assepticamente, já que existem microrganismos no conduto excretor e no úbere BARBER (1966) *apud* (MOREIRA *et alii* 1971:105). Desta forma, por se apresentar rico em nutrientes, é significativa esta disponibilidade dos nutrientes presente no leite cru. São considerados relevantes para a carga microbiana, que no geral é bem elevada (LEITÃO *et alii* 1987:54). De acordo com BALLOD & BRAMORSKI (1990:89) esta carga microbiana é proveniente de diferentes fontes: o

úbere; a superfície externa do animal; o ordenhador; os equipamentos e utensílios lavados com água contaminada ou mal lavados, utilizados na ordenha.

BRANDÃO (1995) relata que foi registrado no século XVI, em Viena, na Áustria, um surto de doença que deixou dez mil pessoas com inflamação na garganta. Acredita-se que, na época, a causa desse surto tenha sido a ingestão desse produto e seus derivados contaminados por bactérias patogênicas, as quais causam doenças como tuberculose, brucelose, cólera, viroses e diarreias, entre muitas outras. Em 1599, foi proibida a venda de leite e seus derivados naquela cidade. KOSAK (1982) registrou dois surtos de doenças provenientes de leite contaminado nos Estados Unidos, neste século XX, apesar dos rigorosos cuidados de vigilância sanitária ali exercidos.

VEISSEYRE (1980) mostra que no início do século XIX, na Europa, surgiu a primeira técnica de conservação de produto alimentício pela ação do calor, o qual foi comprovada cientificamente por Pasteur. Anos depois, essa técnica foi disseminada para outros povos de cultura européia, como os alemães e logo depois pelos dinamarqueses, que utilizaram a técnica da manutenção da temperatura do leite aquecido por um período de 30 minutos.

SILVA & NEVES (1992) relataram que, no início do século XX, surgiu, nos Estados Unidos, o primeiro aparelho de pasteurização lenta, conhecido como método "americano". Anos depois, chega ao Brasil o aparelho de pasteurização do tipo lenta. Atualmente, é acentuado o progresso tecnológico e científico nos países desenvolvidos na técnica de conservação de produtos naturais, dentre eles, o leite. Esse hábito salutar do homem em países em desenvolvimento como o Brasil ainda tem muito que evoluir.

FREITAS & MAGALHÃES (1992) demonstraram em suas pesquisas que *Staphylococcus aureus* é um dos maiores causadores de mastite bovina com índice elevado no rebanho sendo encontrado com maior frequência nos animais doentes, podendo assim contaminar o produto logo na ordenha. WILSON (1977) comenta que o *Staphylococcus aureus* pode ser encontrado facilmente nas mãos e fossas nasais de humanos.

RADDI *et alii* (1988) em suas investigações registram elevadas taxas de ordenhadores no Brasil não estavam aptos para a ordenha, na ordem de 41,7%.

MATOS *et alii* (1991) diz em que outros fatores propiciam a contaminação do produto, ou seja, o baixo nível sócio econômico dos ordenhadores e seus hábitos higiênicos não salutareos.

PINHEIRO *et alii* (1992:9) *apud* (FROEDER; PINHEIRO & BRANDÃO, 1985:8) observaram que o uso destes equipamentos e utensílios não higienizados adequadamente, são os principais responsáveis pela baixa qualidade do leite. Comprovaram que um latão mal lavado contribui com um adicional de microrganismos de até 8.000.000 UFC/ml.

FROEDER *et alii* (1985:60) trabalhando com leite cru, tipo C, na região de Viçosa/MG, constataram que a qualidade do leite cru deveria ser melhorada, através de trabalhos educativos realizados conjuntamente com o produtor, e atingiram resultados bastantes satisfatórios, após serem adotados o uso da saponificação dos utensílios, a higienização do leite a nível de fazenda e o transporte apropriado até a usina, contribuindo, assim para um leite de boa qualidade.

BENEDETT (1990:126) define o leite como uma mistura complexa de substâncias orgânicas e inorgânicas que se encontram em dispersão em meio aquoso. Por se tratar de um alimento de primeira necessidade, gera um grande interesse no conhecimento da sua composição e, para se determinar o seu valor nutritivo, é necessária a caracterização tanto qualitativa como quantitativa, dos nutrientes.

PINHEIRO & MOSQUIM (1992:5) definem ainda o leite como um líquido branco e opaco, mais viscoso e denso que a água, de sabor ligeiramente doce e agradável e de odor pouco acentuado, apresentando calor específico, ponto de congelamento e tensão superficial ligeiramente inferiores aos da água.

VAN DENDER (1988) *apud* ROSENOW & MARTH (1976) indica o leite como um dos alimentos mais naturais e completos, sendo considerado um excelente meio de cultura para muitos microrganismos que constituem a flora natural do leite, assim como para os microrganismos contaminantes.

GOURSAUD (1985) descreve as propriedades gerais do leite como um alimento produzido pelas fêmeas de mamíferos no momento do nascimento de

seus filhotes. Quando se trata do leite de vaca, essas propriedades dependem da sua composição e são variáveis segundo a espécie, a seleção bovina, a lactação, a ordenha, a estocagem, o transporte e a evolução da qualidade.

CHEFTEL (1988) define o leite sob o ponto de vista físico, como uma suspensão coloidal de partículas, numa fase aquosa dispersante. Por outro lado, essas partículas são glóbulos de matéria graxa (3-5 μm de diâmetro), apresentam micelas protéicas (da ordem de 0,1 μm de diâmetro) formadas pelas interações de caseína e outras proteínas entre si e sais minerais presentes na fase aquosa.

BEHMER (1981:19) cita os principais componentes do leite: a água, com 87,5%; os hidratos de carbono, com teores médios de 4,6%; os lipídeos, com teor médio de 3,6%. HARPE & HALL (1976), citados pela CEMIG (1988:16), referem-se aos lipídeos como sendo todos os componentes gordurosos do leite, que são separáveis pela extração com éter e são classificados como triglicérides, que compreendem aproximadamente 98% dos lipídeos, sendo constituídos de gliceróis esterificados por ácidos graxos e os constituintes dos ácidos graxos (os ácidos butírico, capríco, caprílico, láurico, mirístico, palmítico, esteárico, oleico e diidroxiesteárico).

Os fosfolipídeos são representados por uma pequena concentração de 0,2 a 1%, cuja função é ser agente emulsificante, sendo facilmente oxidados. Ocorrendo essa oxidação, comprova-se facilmente o sabor rançoso no alimento, sendo a lecitina e a cefalina os principais fosfolipídeos do leite (HARPER & HALL, (1976) *apud* CEMIG, 1984:12).

Os esteróis incluem principalmente o colesterol, (0,27 a 0,41% dos lipídeos), sendo o precursor dos hormônios que participam do controle bioquímico das funções corporais.

O leite contém ainda vitamina D (0,23 a 0,83 IU/g de matéria graxa) e os pigmentos e as vitaminas lipossolúveis.

Com relação ao carboidrato, apresenta na sua estrutura um dissacarídeo (glicose e galactose), que se encontra presente no leite, chamada de lactose. E apresenta teor mínimo de 4,3% BEHMER (1981:19). A fiscalização no Brasil é mais rigorosa, que qualquer amostra de leite que não apresente esse teor

mínimo (4,3%), a amostra é considerada adulterada (D'ALESSANDRO *et alii* 1989:92).

Um outro fator importante no desempenho da lactose é a absorção gastrointestinal do cálcio, juntamente com outros metais alcalinos terrosos, que estão ligados ao cálcio cuja função está em atrasar ou até mesmo minimizar a precipitação durante o transporte HARPER & HALL (1976) *apud* CEMIG (1984:12)

As enzimas são catalisadores bioquímicos, distinguem-se dos catalisadores não biológicos, têm teor de 3,6% de proteínas (HARPER & HALL (1976) *apud* CEMIG (1984:14); BEHMER (1981:19); *apud* FLEISCHMANN). Essas enzimas presentes no leite se associam aos glóbulos de gorduras, às micelas de caseína e ao soro do leite. São utilizadas para testes de qualidade do leite e classificam-se em dois grupos de acordo com WEISSEYRE (1972) *apud* LIMA (1987:44) as hidrolases e os óxidos-redutases.

O primeiro grupo, as hidrolases, destacam-se a lipase, a fosfatase, a protease e a amilase. WEBB & WHITTER (1970) *apud* LIMA (1987:143) a rancidez hidrolítica, a transformação das gorduras ligados ao glicerol e aos ácidos graxos, durante a ocorrência da diástase.

A fosfatase é a hidrolase usada para se testar a pasteurização. Para uma melhor investigação, recomenda-se realizar a prova da amilase juntamente com o teste da catalase. A protease implica na desestabilização protéica de produtos armazenados HARPER & HALL (1976) *apud* CEMIG (1984:12).

O segundo grupo, os óxido-redutases, caracteriza-se pelo processo de oxido-redução e pertence a este grupo a catalase, usada para testar a mastite BEHMER (1981). A peroxidase, quando o resultado é positivo, indica que o leite está em condição para o consumo BEHMER (1981) e a xantinoxidase, é considerada no leite, sua melhor fonte WEISSEYRE (1972); WEBBE *et alii* (1974) *apud* LIMA (1987:44).

As enzimas naturais do leite e microbiana de maior importância, apresentam diferentes graus de estabilidade ao calor. Dentre elas estão:

(i) a fosfatase alcalina é inativada por aquecimento de 72°C/15-20 s ou 63°C/30 minutos WEISSYRE (1980) *apud* LIMA (1987:44);

(ii) a lipase endógena, cuja temperatura para inativar é de 70°C durante alguns segundos WEISSYRE (1980) *apud* LIMA (1987:43)

(iii) a aldolase, quebra a frutose 1-6 difosfato, em dihidroxi-acetona fosfato e aldeído fosfoglicérico, sendo inativada a 45°C/ 20 minutos LIMA (1987:46).

(iv) a catalase, procedente dos leucócitos. Assim, quando há inflamações das tetas, há um aumento dos leucócitos e, conseqüentemente, o aumento da catalase. É inativada, quando o leite é aquecido por 20 minutos (BEHMER (1981).

O teste de catalase informa se o leite é cru ou se sofreu algum aquecimento LIMA (1987:44). Esses pesquisadores concluíram que essas enzimas são inativadas pela pasteurização.

Enquanto a enzima xantinaoxidase inativa-se por aquecimento de 75°C /3 minutos ou à 80°C/10 segundos WEISSYRE (1986), localizados junto à gordura LIMA (1987:44); a peroxidase é inativada por aquecimento de 72°C/30 minutos ou 80°C em pouco segundos LIMA (1987).

Dessa forma, a pasteurização não a inativa a peroxidase, e a investigação da peroxidase indica o grau de aquecimento ao qual foi submetido o leite. Conseqüentemente, mostra a eficiência de pasteurização, já que a prova deverá ter resultado positivo, ou seja, a temperatura de pasteurização não deverá ultrapassar de 72° C BEHMER (1981).

A enzima ribonuclease (RNA_{se}) hidrolisa o ácido nucléico, o componente dos nucleotídeos. É inativada à temperatura de 90°C/20 minutos, com pH 7,0. Sua atividade ótima é a 60°C, com o pH 6,9 LIMA (1987:46); a fosfatase ácida, é inativada à temperatura de 95°C/5 minutos. É instável quando exposta à luz solar ou radiação LIMA (1987:46); as lipases resistem às temperaturas superiores a 80°C e a luz solar a destroi rapidamente WEISSYRE, (1986) *apud* LIMA (1987:46); a protease microbiana é inativada por aquecimento a 75-80°C, em solução ácida a 72°C, podendo ser desnaturada durante 10 minutos, com grande importância comercial. As proteases naturais do leite são relativamente estáveis, resistindo à pasteurização SAN JOSÉ (1980)

A fosfatase alcalina, presente no leite cru, tem o tempo de redução decimal (D) semelhante ao dos microrganismos patogênicos mais termorresistentes.

A estimativa do sistema direto dos números de microrganismos patogênicos no leite é dado pelo métodos microbiológicos, resultando em um processo oneroso e requerendo bastante tempo.

Para o sistema indireto, aplica-se a determinação da atividade dessa enzima, quando se encontra presente no leite, indicando que o tratamento térmico aplicado foi insuficiente para destruir as bactérias patogênicas. Existe uma outra prova semelhante para comprovar a eficácia de pasteurização, baseada em medir-se a atividade alfa-amilase residual.

BRAVERMAN'S (1976) *apud* LINDERTRON-LANG & KODAMA (1925) e vários pesquisadores HIPPE & WAUGH (1925) classificaram a proteína do leite em dois grupos: a caseína, que corresponde a cerca de 85% do conteúdo protéico do leite e as proteínas do soro, consistindo pelo menos em oito diferentes componentes, sendo normalmente estáveis ao ácido, mas sensíveis ao aquecimento HARPER & HALL (1976) *apud* LIMA (1987).

Os mesmos pesquisadores descobriram a sua heterogeneidade, fracionaram em vários componentes aplicando a análise centrifugada. Anos depois, surgiu uma nova técnica, a de eletroforese Millander, através da qual observou-se que a micela de caseína é composta principalmente de três frações chamadas de α , β e γ - caseína total. A composição da α -caseína apresenta dois componentes denominados de α_s -caseína e a k-caseína, nas quais diferem na solubilidade de sais de cálcio. Com essa investigação, descobriram as estruturas das micelas do leite nas quais fracionaram as micelas.

As caseína do leite são essenciais para a obtenção de uma boa coagulação enzimática. Com o seu fracionamento, determinou-se que as percentagens da proteína total das diferentes frações de caseína α_s , β , k e γ são respectivamente 45-55, 25-37, 8-15 e 3-7 % RAZNIKIEWICZ (1978); WHINTNEY *et alii* (1976); BARRY & DONNELLY (1980); GOURSAUD (1985) *apud* BRAVERMAN'S (1976). A caseína denominada de kapa-caseína difere da α_s e β por conter um carboidrato limite. Este acha-se ligado a um grupo dissulfídrico formado por resíduo

de cisteína (duas por moléculas) que apresenta uma união peptídica (Fenilamino-metionina). Tal união permite estabilizar as outras caseína, impedindo a precipitação pelo cálcio, que leva a formação de um complexo micelar estável no leite.

Ao ocorrer o rompimento dessa ligação, observa-se a precipitação, notadamente pelo cálcio, desestabilizando as micelas do leite e a formação da massa do queijo. (SOUZA, 1988) *apud* LARSON & SMITH (1974); SWAISGOOD (1975) *apud* JOULES *et alii* (1968)

Essas ligações são responsáveis pela estabilidade da estrutura protéica das ligações hidrofóbicas, eletrostáticas, de hidrogênio e dissulfídricas, sendo que as ligações hidrofóbicas são as que mais contribuem para a estabilização (CHEFTEL *et alii*, 1985).

ALAIS (1975) ao trabalhar com a solução de caseína com pH-7 à temperatura de 20°C, adicionada de CaCl₂ 0,4 Mol, constatou que as caseína α e β , passavam do estado micelar estável a uma forma que ocasionava a precipitação, ao passo que a caseína k permanecia solúvel, sendo que essa caseína era a única que continha glúcides, em torno de 5%, o que lhe assegurava uma hidrofília.

2.3-CONSIDERAÇÕES GERAIS DA BACIA LEITEIRA NO NORDESTE DO BRASIL

A colonização da região Nordeste por portugueses e invasores teve na pecuária uma atividade econômica relevante. Entretanto, as irregularidades pluviométricas associaram à atividade um risco econômico cuja presença tem inibido ou cerceado investimentos no setor. Assim, a pecuária de corte tem desempenhado papel mais importante, em função da sua liquidez, reservando-se ao segmento do leite uma atividade secundária da exploração do gado de corte.

TABELA 3- Dados estatísticos de consumo *per capita* na Região Nordeste (IBGE-1992)

ESTADOS	1990			1991			1992		
	Pop. (1000 hab)	Prod. absoluta (1000l)	Consumo Per Capita	Pop. (1000 hab)	Prod. absoluta (1000l)	Consumo Per Capita	Pop. (1000 hab)	Prod. absoluta (1000l)	Consumo Per Capita
NE	41.919,8	2.045,266	0,049	42.566,8	2.181,601	0,051	43.194,4	2.266,926	0,052
MA	4.860,0	126,934	0,026	4.938,7	134,399	0,027	5.014,9	131,075	0,026
PI	2.548,8	57,916	0,023	2.586,1	58,732	0,023	2.622,3	55,484	0,021
CE	6.285,6	293,562	0,047	6.376,4	299,232	0,047	6.464,4	304,458	0,047
R.N	2.376,7	106,967	0,045	2.420,2	108,939	0,045	2.462,5	121,520	0,049
PB	3.168,7	155,151	0,049	3.205,0	155,655	0,048	3.240,2	157,873	0,049
PE	7.053,8	312,522	0,044	7.136,7	316,554	0,044	7.217,1	314,633	0,043
AL	2.474,1	148,580	0,060	2.518,9	215,375	0,085	2.562,3	217,109	0,085
SE	1.465,4	99,860	0,068	1.495,0	97,588	0,065	1.523,8	98,923	0,065
BA	11.686,5	743,774	0,064	11.889,7	795,127	0,067	12.086,9	865,851	0,072
	1993			1994			1995		
MA	5.088,9	133,554	0,026	5.161,0	142,000	0,027	5.231,3	155,000	0,030
PI	2.657,4	46,469	0,017	2.691,6	55,000	0,020	2.725,0	61,000	0,022
CE	6.549,8	243,088	0,037	6.633,1	290,000	0,044	6.714,2	335,000	0,050
R.N	2.504,5	74,275	0,030	2.543,4	110,000	0,043	2.582,3	135,000	0,052
PB	3.274,3	97,790	0,030	3.307,6	135,000	0,041	3.340,0	175,000	0,052
PE	7.295,1	186,355	0,025	7.371,1	255,000	0,034	7.445,2	325,000	0,044
AL	2.604,4	182,782	0,070	2.645,4	230,000	0,087	2.685,4	255,000	0,095
SE	1.551,6	78,812	0,051	1.578,8	95,000	0,060	1.605,3	105,000	0,065
BA	12.278,0	639,696	0,052	12.464,3	810,000	0,065	12.464,0	890,000	0,071

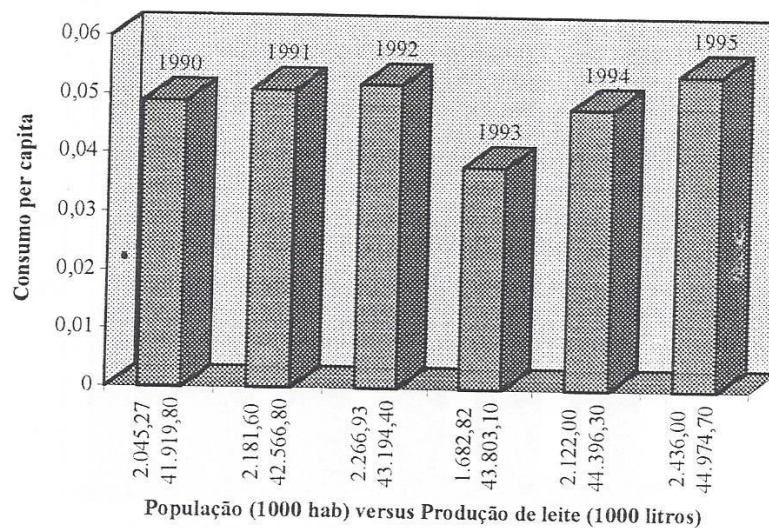


Figura 4- Dados estatísticos do consumo de leite pela população nordestina nos anos de 1990,1991,1992,1993,1994 e 1995.

A região Nordeste é tradicional na exploração bovina desde o período de colonização. Todavia, seu desenvolvimento técnico disponível ainda é insuficiente.

Para o crescimento da sua produção, será necessária a introdução de técnicas adequadas conforme já era preconizado por CASTRO (1946).

TABELA 4- Dados estatísticos da Região Sudeste (IBGE-1992)

ESTADOS	1990			1991			1992		
	Pop. (1000 hab)	Prod. absoluta (1000 l)	Consumo Per Capita	Pop. (1000 hab)	Prod. absoluta (1000 l)	Consumo Per Capita	Pop. (1000 hab)	Prod. absoluta (1000 l)	Consumo Per Capita
SUDESTE	61.913,0	6.932.301	0,112	62.839,6	6.990.638	0,111	63.738,5	7.216.493	0,113
MG	15.565,4	4.299.800	0,276	15.764,5	4.319.219	0,274	15.957,6	4.502.655	0,282
ES	2.567,2	281.416	0,110	2.605,8	300.345	0,115	2.653,0	310.381	0,117
RJ	12.693,7	390.304	0,031	12.825,4	391.307	0,030	2.945,2	380.534	0,029
SP	31.096,6	1.960.781	0,063	31.647,9	1.979.767	0,062	32.182,7	2.022.923	0,063
	1993			1994			1995		
SUDESTE	64.210,2	7.343.846	0,114	65.459,7	7.705.000	0,118	66.288,1	8.660.000	0,131
MG	16.144,9	4.526.961	0,280	16.327,4	4.750.000	0,291	16.505,3	5.325.000	0,323
ES	2.698,7	374.396	0,139	2.743,2	415.000	0,151	2.786,7	465.000	0,167
RJ	13.065,3	395.523	0,030	13.182,3	430.000	0,033	13.296,4	470.000	0,035
SP	32.701,4	2.047.236	0,063	33.206,8	2.110.000	0,063	33.699,6	2.400.000	0,071

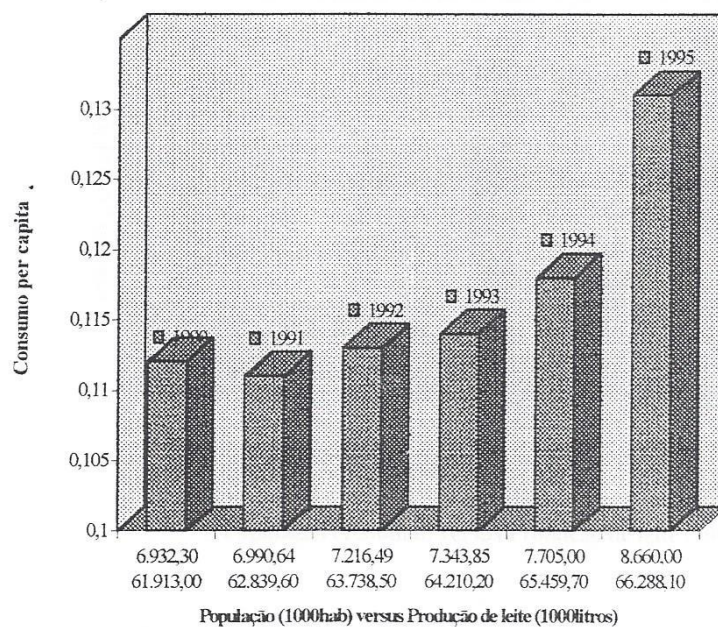


Figura 5- Dados estatísticos do consumo de leite pela população Sudeste nos anos de 1990,1991,1992,1993,1994 e 1995

TABELA 5- Dados estatísticos de consumo *per capita* na Região Norte (IBGE-1992)

ESTADOS	1990			1991			1992		
	Pop. (1000 hab)	Prod. absoluta (1000 l)	Consumo Per Capita	Pop. (1000 hab)	Prod. absoluta (1000 l)	Consumo Per Capita	Pop. (1000 hab)	Prod. absoluta (1000 l)	Consumo Per Capita
NORTE	9.764,2	568.341	0,058	10.059,1	684.384	0,068	10.349,0	725.498	0,070
RONDÔNIA	1.084,5	158.474	0,146	1.138,5	251.988	0,221	1.190,9	261.973	0,220
ACRE	409,0	21.431	0,052	418,8	22.295	0,053	428,3	20.660	0,048
AMAZONAS	2.052,6	36.617	0,018	2.109,3	38.683	0,018	2.164,3	38.205	0,018
RORAIMA	207,2	13.126	0,063	218,8	13.327	0,061	230,1	13.625	0,059
PARÁ	4.833,8	231.497	0,048	4.964,0	244.569	0,049	5.090,3	273.767	0,054
AMAPÁ	280,8	1.685	0,006	290,4	1.981	0,009	299,7	1.686	0,006
TOCANTINS	896,3	105.511	0,118	919,3	111.541	0,121	945,3	115.582	0,122
	1993			1994			1995		
RONDÔNIA	1.241,7	259.625	0,209	1.291,2	275.000	0,213	1.339,5	295.000	0,220
ACRE	437,5	30.125	0,069	446,5	38.000	0,085	455,2	45.000	0,099
AMAZONAS	2.217,6	41.337	0,019	2.269,6	45.000	0,020	2.320,2	49.000	0,021
RORAIMA	241,1	14.150	0,059	251,8	15.500	0,061	262,2	16.200	0,062
PARÁ	5.219,8	293.014	0,056	5.332,2	320.000	0,060	5.448,6	355.000	0,065
AMAPÁ	308,8	2.210	0,007	317,6	2.500	0,008	326,2	3.000	0,009
TOCANTINS	970,3	88.821	0,091	990,8	100.000	0,101	1.007,0	120.000	0,119

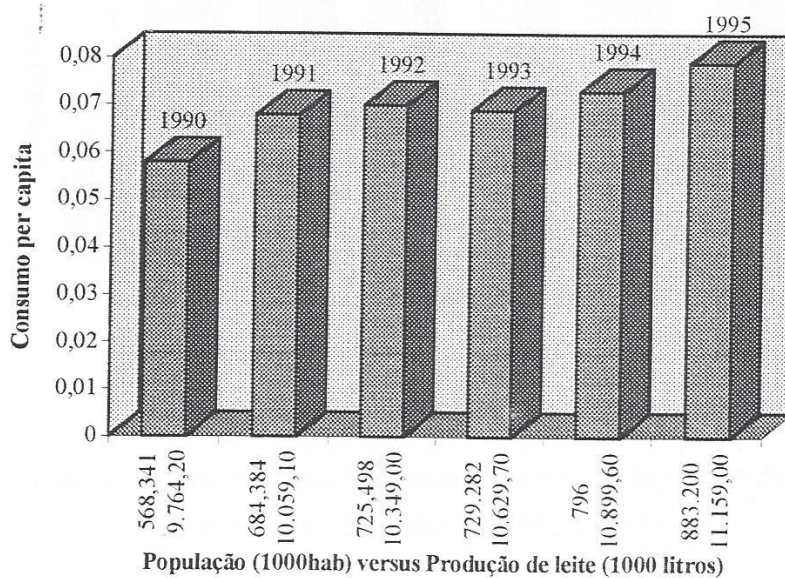


Figura 6-Dados estatísticos do consumo de leite pela população da Região Norte, anos 1990,1991,1992,1993,1994 e 1995.

TABELA 6-Dados estatísticos de consumo *per capita* na Região Sul (IBGE-1992)

ESTADOS	1990			1991			1992		
	Pop. (1000 hab)	Prod. absoluta (1000 l)	Consumo Per Capita	Pop. (1000 hab)	Prod. absoluta (1000 l)	Consumo Per Capita	Pop. (1000 hab)	Prod. absoluta (1000 l)	Consumo Per Capita
SUL	21.896,5	3.262.254	0,149	22.157,3	3.389.354	0,153	22.410,3	3.585.639	0,160
PR	8.387,1	1.160.048	0,138	8.456,1	1.240.178	0,147	8.523,0	1.277.282	0,150
SC	4.473,3	650.409	0,145	4.550,2	661.036	0,145	4.624,9	707.888	0,153
RS	9.036,1	1.451.797	0,161	9.151,0	1.488.140	0,163	9.262,4	1.600.469	0,173
1993									
SUL	22.655,7	3.685.566	0,163	22.894,8	3.895.000	0,170	23.628,0	4.430.000	0,187
PR	8.587,9	1.363.237	0,159	8.655,1	1.445.000	0,167	8.712,8	1.650.000	0,189
SC	4.697,3	735.867	0,157	4.767,8	810.000	0,170	4.836,6	940.000	0,194
RS	9.370,5	1.586.462	0,169	9.475,9	1.640.000	0,173	9.578,6	1.840.000	0,192

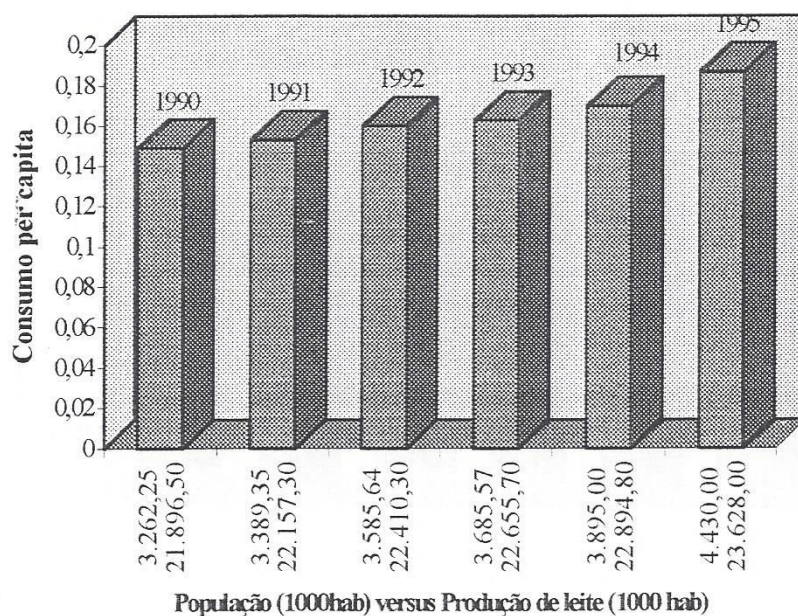


Figura 7-Dados estatísticos do consumo de leite da população da Região Sul, anos de 1990,1991,1992,1993,1994 e1995

TABELA 7-Dados estatísticos de consumo *per capita* na Região Centro-Oeste
(IBGE-1992)

ESTADOS	1990			1991			1992		
	Pop. (1000 hab)	Prod. absoluta (1000 l)	Consumo Per Capita	Pop. (1000 hab)	Prod. absoluta (1000 l)	Consumo Per Capita	Pop. (1000 hab)	Prod. absoluta (1000 l)	Consumo Per Capita
CENTRO-OESTE	9.230,5	1.696,374	0,184	9.451,2	1.826,201	0,193	9.665,3	1.738,756	0,180
MATO G. DO SUL	1.749,5	398,728	0,228	1.784,1	420,893	0,236	1.817,6	446,166	0,245
MATO GROSSO	1.960,4	213,644	0,109	2.035,2	239,127	0,117	2.167,8	250,704	0,119
GOIÁS	3.951,4	1.071,966	0,271	4.027,0	1.166,181	0,290	4.100,4	1.276,464	0,311
DIST. FEDERAL	1.569,2	14,036	0,009	1.604,9	14,339	0,009	1.639,6	16,126	0,010
	1993			1994			1995		
CENTRO-OESTE	9.873,0	2.166,156	0,219	10.075,3	2.340,000	0,232	10.272,7	2.640,000	0,257
MATO G. DO SUL	1.850,2	470,902	0,254	1.881,9	500,000	0,266	1.912,8	580,000	0,303
MATO GROSSO	2.178,2	268,850	0,123	2.246,8	295,000	0,131	2.313,6	345,000	0,149
GOIÁS	4.175,5	1.405,778	0,337	4.240,8	1.522,000	0,359	4.308,4	1.690,000	0,392
DIST. FEDERAL	1.673,2	20,626	0,012	1.705,9	23,000	0,013	1.737,8	25,000	0,014

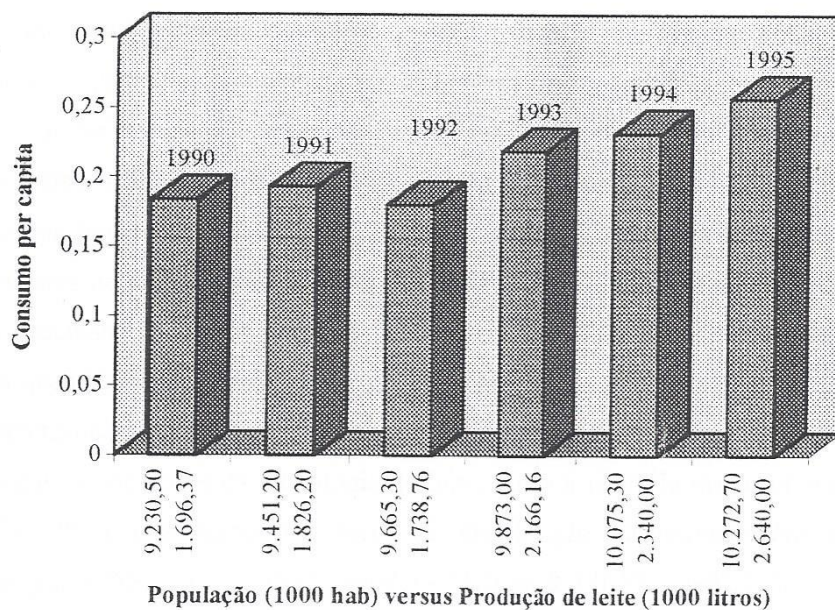


Figura 8-Dados estatísticos do consumo de leite pela população da Região Centro-Oeste, anos de 1990, 1991, 1992, 1993, 1994 e 1995

A análise das Figuras permite inferir-se que as secas como a de 1993, por exemplo, têm um reflexo econômico direto sobre a produção anual de leite e, mais importante, sobre o próprio rebanho da região Nordeste, então assolada pelo fenômeno climático. Nas regiões Sul e Sudeste, a série mostra uma evolução comparativa entre a produção leiteira e o crescimento populacional. De acordo com o IBGE (1990-1992 -3.56), estão descritos nas Tabelas 3 a 7 e as Figuras 4 a 8.

Isto implica na adoção de medidas fundadas cientificamente na manutenção do rebanho em anos de estiagem, que devem em consideração a especificidade da região, harmonizando, assim, a produção leiteira e o consumo desejável de leite pela população. Políticas públicas comprometidas efetivamente com o bem-estar populacional deveriam levar em consideração tais circunstâncias, minimizando-se dispêndios com “frentes de trabalho” que a nada têm levado.

Esse fato ocorre na exploração na pecuária nordestina tem sido inexpressiva por diversos fatores a serem considerados: a inexistência de criadores voltados para a pecuária; as condições climáticas em algumas regiões são desfavoráveis; as baixas precipitações pluviométricas, provocando um dos fatores limitantes da região, a água; a alimentação do rebanho é deficiente, devido à escassez acentuada de pastagens na época seca do ano; as usinas regionais dificilmente dispõem de postos de resfriamento para receber o leite produzido nas fazendas mais distantes; o processo de escoamento da produção é inadequado, prejudicando a produção e a qualidade do produto, pelos quais são motivados pela baixa capacidade de armazenamento de leite cru ou pasteurizado a nível de produtor rural. Portanto, devido às precárias condições da tecnologia do leite, tanto a nível de produtor rural HUHN *et alii* (1980) como também a nível de distribuição e armazenamento no comércio varejista ROSSI *et alii* (1982) *apud* (VARGAS & FILHO, 1992:33).

Nos dias atuais, o consumo médio *per capita* ainda continua baixo na faixa de 90 l/ano. A ONU (1990) considera razoável a média de 215 litros no país. Por outro lado, o Brasil continua a ser um dos países de menor consumo *per capita* de leite do mundo, com 55 litros ao ano por habitante em 1990.

2.4- CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE PASTEURIZAÇÃO

Louis Pasteur demonstrou que a acidez do vinho poderia ser evitada utilizando-se o tratamento pelo calor à temperaturas de 40/60°C. A destruição desses microrganismos pelo calor depende da temperatura e tempo de permanência nessa temperatura. Esse tratamento foi denominado de pasteurização em honra a Louis Pasteur. A prática desse método visa minimizar o aumento da acidez do produto, já que esta é causada pelo desenvolvimento desses microrganismos. (CARMONA; AIRES & NASCIMENTO, 1985:94)

Após a descoberta de Louis Pasteur, na França, em 1860, Monrad, em 1895, teve a idéia de manter a temperatura por pelo menos, 30 minutos para aumentar e regularizar o efeito da pasteurização.

Chicago, nos Estados Unidos, situada numa das principais bacias leiteiras do país, passou a exigir que o leite fornecido aos consumidores fosse pasteurizado; isso aconteceu em 1906, dois anos depois de surgir o primeiro pasteurizador de leite (SILVA & NEVES, 1992:11). Por outro lado, no Brasil, a pasteurização do leite em pasteurizador à placa chegou nos meados dos anos sessenta.

Entende-se por pasteurização o emprego conveniente do calor com fim de destruir totalmente a flora microbiana patogênica, sem alteração sensível da constituição física e do equilíbrio químico do leite, sem prejuízo de seus elementos bioquímicos assim como de suas propriedades organolépticas normais. OLIVEIRA (1994), RIISPOA (Art. 571, 1980:89)

AJZENTAL, (1994:34) define a pasteurização como processo térmico aplicado ao leite, com objetivo de evitar riscos à saúde pública decorrentes de microrganismos patogênicos associados ao produto. Dessa forma, o processo contribui para o aumento na qualidade do produto, assegurada pela redução dos microrganismos deteriorantes. Além disso, com a estabilidade térmica alcançada pelo produto final, previne-se a sinérese e o ponto crítico de controle (PCC) no tratamento térmico do leite.

Deve-se ter a garantia de eliminação de microrganismos patógenos como *Mycobacterium tuberculosis*, *Brucella abortus*, *Bacillus spp*, *Lactobacillus spp* as *Salmonelas*, especialmente a *Salmonella Thyphi* as *Brucellas*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Shigella*, *Escherichia*, *Pseudomonas*, *Listeria* e *Coxiella*, piógenos e outros tipos de microrganismos presentes no leite. Essa garantia só é considerada válida para as células vegetativas, e desde que a tecnologia empregada no processo esteja rigorosamente cumprida, como o intervalo de tempo entre o acondicionamento do leite e o seu consumo. AJZENTAL (1994) *apud* TEUBER (1992) declara ainda, que essa garantia não é verdadeira para as bactérias termorresistentes são formadores de esporos como nos casos das espécies *Bacillus* e *Clostridium*, que não são eliminados pela pasteurização, como é o caso do *Bacillus cereus*, que determina hoje a manutenção da qualidade do leite pós-pasteurizado.

Como a pasteurização é aplicada com a finalidade comercial de proteger o leite de alterações químicas, físicas e organolépticas e, conseqüentemente, prolongar a sua durabilidade, é assegurada a sua sanidade através desse processo, que destrói os microrganismos patógenos e reduz-se aproximadamente 98% da flora bacteriana do leite sem comprometer a sua qualidade nutritiva [CARMONA *et alii* (1985); BARROS *et alii* (1984); BEHMER (1981); HARPER & HALL (1976) *apud* CEMIG (1984)].

A pasteurização do leite no Brasil ainda não alcançou os níveis desejados em relação aos países avançados. Os maiores problemas considerados são: não saber identificar em quais etapas do tratamento térmico ocorrem falhas; uma matéria-prima excessivamente contaminada leva a uma sub-pasteurização; contaminação pós-processo ou, ainda, armazenamento inadequado do produto beneficiado. Desta forma, tem sido muito grande a polêmica em torno de apontar culpados pela baixa qualidade do leite pasteurizado no Brasil. (VARGAS, 1988:12)

É sabido, à luz da ciência que, para se projetar uma planta moderna de pasteurização, é necessário expor cada partícula de leite a uma dada combinação de tempo/temperatura, com o objetivo de destruir as bactérias patógenas. Entre todos esses microrganismos mencionados, nenhum atende tão bem às exigências como a bactéria *Escherichia Coli*, que é usada como indicador da pasteurização. As

propriedades intrínsecas desses microrganismos, foram muito bem descritas por VIEIRA (1976) *apud* BUTTIAUX & MOSSEL e GARCIA & MOSSELI (1982).

Outros microrganismos, usados como referências são: o bacilo de Koch e a *Coxiella burnetti*, bactérias termorresistentes, não esporuladas, alterantes da composição do leite, que trazem como conseqüências desastrosas, as infeções.

Esses microrganismos diferem muito em sua capacidade de suportar o calor. Por isso deve-se estabelecer as condições do binômio tempo/temperatura, utilizadas na pasteurização do leite. As bactérias são submetidas a uma ordem de destruição logarítmica, isto é, em cada unidade de tempo de igual duração, um percentual constante das bactérias sobreviventes que se inativa. O tempo de redução decimal D, indica o intervalo de tempo necessário a uma determinada temperatura para eliminação de 90% dos microrganismos. A influência da temperatura sobre o tempo de destruição é dado por um valor conhecido como z (representa a elevação de temperatura em (° C ou ° F) que é necessária para reduzir a décima parte do valor do tempo de redução decimal) (REUTER, 1980 *apud* WOLFSCHOON-POMBO) (1984) e EARLE (1986:65).

Para conservação do leite pasteurizado, aplica-se o resfriamento do mesmo imediatamente a uma temperatura suficientemente baixa, retardando o crescimento das bactérias sobreviventes que podem deteriorar o produto. O leite submete-se ao processo de refrigeração imediata a uma temperatura não inferior a 10°C. Em alguns países da Europa, a temperatura de refrigeração é de 7°C, de acordo com a revista THE SOCIETY OF DAIRY TECHNOLOGY, (1971).

Essa variação da temperatura do resfriamento imediato, em diversos países, é evidenciada de acordo com as condições climáticas, que pode ser de grande importância numa instalação de uma unidade de pasteurização. Observa-se ainda as temperaturas anuais médias, mínimas e máximas, e a umidade relativa, tanto para os climas úmidos e os quentes, como em regiões mais frias e mais quentes (ICMFS, 1994:73).

Na legislação brasileira a temperatura de resfriamento está entre 2°C a 5°C de acordo com o (ART.517 § 2º) do RIISPOA (1980:89).

2.5 - UNIFORMIZAÇÃO DE PARTÍCULAS

PERRY & CHILTON (1986:19-9) estudando a uniformização de partículas tanto em sólidos como em líquidos, concluíram que aplica-se os métodos estatísticos para quantificar a uniformidade de valores e o controle da operação. São freqüentemente estabelecidos os limites para os valores de composição ou das propriedades dos produtos obtidos, tanto por processos contínuos como por descontínuos. PERRY & CHILTON (1986) *apud* por VONCKON (1965) e UHL & GRAY (1966), observaram os tempos de operações de mistura descontínua, em equipamento descontínuo, em líquidos miscíveis com diversos tipos de vasos agitados por agitadores comuns.

PERRY (1986:19-9) *apud* MILLER & MANN (1944) operaram também com diversos líquidos orgânicos, medindo a uniformidade da mistura global dos vasos sem chicanas, descontínuos, com uma interface ar-líquido, mediante a amostragem do tanque em vários pontos e comparando a percentagem da fase dispersa em cada um deles e a percentagem no tanque todo. Com uma dissipação de potência de 450 W a 450 KW no líquido, conseguiram o desempenho máximo e praticamente uniforme em todos eles.

Os mesmos pesquisadores relatam que em casos de tanques sem chicanas, interface ar-líquido, operaram com tanques, $T = 0,15$ a $0,46$ m, turbinas com lâminas planas e com lâminas dobradas, com um agitador com duas pás e com uma turbina em espiral. Com cada agitador, sem vórtices ($Re < 10^4$), a potência para agitar um líquido único e misturas bifásicas (sendo a água contínua) foi correlacionada com uma equação da mesma forma. $NP_o = f(Re)$.

Já em tanque sem chicanas, sem interface ar-líquido, mostra os resultados da agitação descontínua de líquidos mono e bifásicos, em vasos com diâmetro de 0,30 e 0,45 m, com uma turbina de lâminas planas LAITY & TREYBAL. A correlação utiliza a densidade média, calculada pela equação (01) e a viscosidade pela equação (02).

$$\rho_{med} = \rho_c \varphi_c + \rho_o \varphi_D \quad (01)$$

onde:

ρ = densidade em fase contínua

ω_c = fração de volume de um líquido num vaso em fase contínua

ρ_D = densidade em fase dispersa

ω_D = fração de volume de um líquido num vaso em fase dispersa

$$\mu_{med} = \frac{\mu_{\omega}}{\varphi_{\omega}} \left(1 + \frac{6\varphi_O \mu_O}{\mu_{\omega} + \mu_O} \right) \quad (02)$$

onde:

μ_{ω} = viscosidade da frequência de vibração de gotas oscilantes 1/h

φ_{ω} = fração de volume da frequência de vibração de gotas oscilantes, 1/h

φ_O = fração de volume de um líquido orgânico num vaso

μ_O = viscosidade (frequência de vibração de gotas oscilantes) do líquido

Tais equações valem quando $\varphi_w > 0,40$, aplicando a equação (02) e quando $\varphi_w < 0,40$. aplica-se a equação (03)

$$\mu_{med} = \frac{\mu_O}{\varphi_O} \left(\frac{1 - 1,5\varphi_{\omega} - \mu_{\omega}}{\mu_{\omega} + \mu_O} \right) \quad (03)$$

Abaixo de $Re = 10^4$, os líquidos não estão uniformemente misturados. Não há efeito da altura do agitador, entre d_i e $2d_i$, medido a partir do fundo do vaso, sendo pequeno o efeito da vazão do líquido em taxas muito elevadas, quando se opera continuamente.

O leite quando homogeneizado reduz o tamanho médio dos glóbulos graxos de 4 μm para 1 μm e o aumento da viscosidade proporcionada pela homogeneização, consistindo no aumento de número de glóbulos graxos (até 13,5%) e a adsorção da caseína em sua superfície. Este fenômeno é postulado por FELLOWS (1994). A homogeneização reflete na cor branca do leite, proporcionando uma maior "brancura", fenômeno que ocorre devido um maior número de glóbulos graxos aumentado pela quantidade de luz refletida e dispersa.

2.6 - COMPORTAMENTO GERAL DO FLUIDO NEWTONIANO EM VASO DE AGITAÇÃO SEM CHICANA EM LÍQUIDO DE BAIXA VISCOSIDADE

PERRY & CHILTON (1986:19-9) estudando o comportamento de um fluido, não só pelo tipo de escoamento, que se relaciona com o Número de Reynolds do agitador, durante o seu movimento num vaso de agitação, como também nas características de seu desempenho no processo (como tempo de mistura, consumo de energia do agitador e os coeficientes de transferência de calor e de massa), constataram a ocorrência de vários fenômenos observados no processo de agitação.

Nos líquidos de baixa viscosidade, agitados num tanque sem chicanas, por um agitador montado axialmente, existe uma tendência de desenvolver um escoamento em vórtice, qualquer que seja o agitador. Produz-se um vórtice pela força centrífuga que age no líquido em rotação (PERRY & CHILTON, 1986: 19-8).

Pode-se obter resultados satisfatórios num recipiente sem chicanas. Contudo, existe um limite para a velocidade de rotação empregada nos experimentos de FELLOWS (1994:106), ROSE (1987), PERRY & CHILTON (1986:19-8) e MUR (1954) que produz vórtice e atinge o agitador podendo ocorrer forte arrastamento de ar. Além disso, a massa de líquido em rotação muitas vezes gera uma oscilação no tanque, no qual, em conjunção com o vórtice, pode dar origem a uma intensa força flutuante que atua no eixo do agitador e/ou misturador.

As velocidades verticais num líquido de baixa velocidade, quando existem vórtices, são pequenas em relação às velocidades circunferências no vaso. Este arranjo é conveniente para as hélices, como também para as turbinas.

O posicionamento é crítico, sendo muito perto ou muito longe do centro, pode provocar um maior turbilhonamento ou vórtices aleatórios e tensões perigosamente altas no eixo. Por outro lado, as variações de viscosidade e tamanho do tanque também influenciam a estrutura de escoamento nesses recipientes. O agitador de escoamento axial, em sua posição angular excêntrica, é montado aproximadamente a 15° com a linha de centro do tanque.

O uso do posicionamento angular excêntrico em unidades de agitador é geralmente limitado, à hélice de 3Hp, ou menos. As pás operam, em geral, coaxialmente aos tanques sem chicanas, onde a folga entre elas e as paredes do tanque pode ser pequena.

BORZANI; LIMA & AQUARONE (1975) fazem referência a um experimento desenvolvido NORWOOD & METZER (1960), em que eles utilizaram fluidos Newtoniano e obtiveram uma expressão para o fator de tempo de mistura (Ω) dado por:

$$\Omega = \frac{t(nD_i^2)^{2/3} g^{1/3} D_i^{1/2}}{H_L^{1/2} D_T^{3/2}} \quad (04)$$

onde:

Ω = fator de tempo de mistura

n = frequência de rotação do agitador (rpm);

D_i = diâmetro do agitador (m);

g = aceleração da gravidade (m/s^2)

H_L = altura do líquido no recipiente;

D_T = diâmetro do recipiente (m)

Na relação entre o movimento do fluido Newtoniano e o seu desempenho no processo, desenvolvem-se tensões de cisalhamento quando a camada de fluido se movimenta mais rapidamente ou mais lentamente que uma outra camada vizinha ao fluido.

No escoamento laminar, essa tensão de cisalhamento é igual ao produto da viscosidade do fluido pelo gradiente de velocidade. Observa-se que as forças de cisalhamento no fluido são bem maiores que as forças inerciais e ainda maior mais próxima do agitador do que nas paredes do tanque e essa diferença é maior em tanques grandes que nos tanques pequenos.

REZENDE & MOSQUIM (1993:2) descrevendo o leite, considera-o como um fluido Newtoniano, que se apresenta ligeiramente mais viscoso que a água, com valor considerado de 1,0 cP (padrão) enquanto que a sua viscosidade varia de 1.5 a 1.8 cP, constatando-se que não apresenta nenhum problema em relação ao

escoamento, e até mesmo ao bombeamento. Quando ocorre uma maior viscosidade ou resistência ao escoamento do leite, é devida à suspensão das micelas de caseína e dos glóbulos de gordura, à solução parcial das albuminas e globulinas, além dos sais e carboidratos.

Ao ocorrer agitação mecânica desse tipo de fluido, a sua viscosidade é reduzida. Conseqüentemente, ocorreu o rompimento das ligações intermoleculares relativamente fracas, causadas pela tensão superficial. Esse efeito ocorre por causa da elevação de temperatura. A energia cinética promove o distanciamento intermolecular, e ao mesmo tempo em que se aumenta a pressão de vapor sobre o fluido, aproximando as moléculas desde a superfície líquida, quando se realiza a polarização molecular. Essa polarização molecular constitui uma das forças responsáveis pela interação molecular, do mesmo modo que as forças de Van der Waals.

MARTINS e colaboradores (1981) identificaram no trabalho de JENESS *et alii* (1974) um método de caracterização da densidade final do produto como uma resultante das densidades de cada componente do leite, somada à influência exercida pelo estado físico da matéria graxa, pelo grau de hidratação das proteínas e pela influência exercida pela composição da gordura e pelo teor de proteína, a lactose.

PINHEIRO & MOSQUIM (1992:1) mencionam também alguns fatores que podem modificar, a sua densidade deste fluido, tanto na absoluta (quando relaciona a massa de uma determinada substância com o seu próprio volume) como na gravidade específica ou densidade relativa de um leite. As variações ocorrem através de processo normais tais como: a temperatura elevada; o tempo decorrido desde a ordenha (mínimo de uma hora é aplicado para facilitar o escape dos gases contidos no leite, correspondendo cerca de 10% do seu volume e o restante do CO₂ do leite cru é perdido por agitação); no aquecimento a vácuo; a porção da ordenha; temperatura baixa, quando o fluido é estocado; a composição e os efeitos do processo quando o pasteurizador funde a gordura, todos estes fatores diminuem a densidade do leite.

E ao agitar a mistura, os agitadores podem incorporar pequenas quantidades de ar e, juntamente com uma agitação excessiva, contribuem para um aumento da densidade. Os homogeneizadores diminuem a densidade, trazendo um produto mais espumante logo após a homogeneização.

O calor específico (δ) do leite é de grande relevância na avaliação do consumo de energia e no dimensionamento de equipamentos na indústria de laticínios (caldeiras, trocadores de calor etc.)

2.7- CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE AGITADORES

Agitadores e/ou misturadores são os elementos mais antigos e comuns na Engenharia de processo. Na operação básica de agitação e mistura é a mais difícil de sujeitar-se a uma análise científica. Todavia, não existe uma fórmula verdadeira ou equação generalizada para predeterminar a velocidade de um agitador sob determinadas condições. Quando utilizados apenas com uma substância, consiste numa agitação propriamente dita, e se tratando de duas ou mais substâncias miscíveis e imiscíveis entre si, então consiste de mistura REY (1970:117).

2.7.1- Conceituação de Agitadores e/ou Misturadores

Para um desempenho adequado dos agitadores e/ou misturados, são necessários ajustá-los cuidadosamente aos resultados finais a que se deseja em cada aplicação. Portanto, em quase todas as aplicações dos processos de agitação, é indispensável que os projetos dos agitadores e/ou misturadores sejam baseados em experimentos realizados a nível de laboratório, com sistemas particulares de operações, ainda assim, aplicam-se algumas aproximações empíricas REY (1970:124).

A teoria dos π de Buckingham pode-se aplicar para especificar os tipos de equipamentos tanto para as previsões teóricas como para o seu desempenho prático.

2.7.2- Dispositivos do Agitador

De classificação complexa, dois aspectos basilares auxiliam nessa função: a primeira trata dos diversos tipos de configuração de agitadores ou sistemas de agitação enquanto a segunda recorre aos grupos de materiais a serem agitados para possibilitar tal classificação, conforme PERRY & CHILTON (1986:19-8)

2.7.3- Geometria dos Agitadores

PERRY E CHILTON (1986:19-10) e REY (1970:124) estabeleceram como os processos de agitação podem influenciar nos resultados:

- 1º) Pelo estado de energia do material (as variáveis de energia-temperatura, pressão e outros);
- 2º) Pela velocidade de fluxo dos materiais (fluxo de fluido, nível do líquido, peso, espessura e velocidade);
- 3º) Pelas características físico-químicas (densidade e peso específico, viscosidade, polaridade e outros,
- 4º) Tipo e trabalho do agitador;
- 5º) Sistema a agitar;
- 6º) Efeitos pretendidos;
- 7º) Tempo necessário;
- 8º) Potência necessária; e outros que não se podem dar equações generalizadas. Por outro lado, as análises dimensionais correlacionam as variáveis que

podem produzir as correlações para a potência necessária de um agitador em um meio homogêneo.

PERRY & CHILTON (1986:19-9) *apud* OLNEY & CARLSON 43 (1947): 473 e REY (1970:110) realizaram experimentos e chegaram a concluir fórmulas generalizadas para se obter a potência requerida de acordo com as condições de contorno do Teorema dos π para tanques sem chicanas. É expressa da seguinte fórmula dada por REY (1970:110-111).

$$P = \alpha L^{4,7} n^{2,85} \mu^{0,15} \beta^{0,85} \quad (05)$$

Essa fórmula só é válida para a condição de semelhança geométrica descrita abaixo:

$$\frac{X}{D} = 1/5 \text{ a } 1/2 \quad (06)$$

$$\frac{D}{L} = 3 \quad (07)$$

$$\frac{W}{L} = 1/4 \quad (08)$$

onde:

H = Altura do nível do líquido

L = Diâmetro do agitador

D = Diâmetro do recipiente

X = Altura do agitador sobre o fundo do recipiente

W = Largura das palhetas

Limite de aplicação segundo o Número de Reynolds (Re) e valores de α para hélices de três folhas ou pás é expressa pela seguinte equação:

$$Re = 10^2 \text{ a } 5 \times 10^5; \alpha = 7 \times 10^{-5} \quad (09)$$

Para isso, valem-se dos grupos adimensionais, tais como os de fatores de formas (semelhanças geométricas) como:

- a) D/L (10)
- b) W/L (11)
- c) X/D (12)
- d) H/L (13)

2.7.4- Projeto dos Agitadores

A principal finalidade do projeto de agitadores é determinar os métodos mais adequados e comuns nos experimentos. São necessários identificar a intensidade, o grau de agitação e a potência dirigida a cada unidade de volume líquido. REY, 1970:Cap.4:117)

Quanto ao grau de agitação e à intensidade PERRY & CHILTON (1986:19-10) identificaram nos experimentos propostos, faixas de intensidade, que foram denominados de fraca, moderada ou forte. Contudo, esses critérios ainda são muito relativos.

Os mesmos pesquisadores relataram ainda para se verificar a eficiência desses agitadores, devem ser avaliados os resultados obtidos pela transferência de calor, massa e outros. Empregam-se, na prática, critérios para avaliar os experimentos, tais como realizá-los em duplicatas para se ter uma avaliação do equipamento com reprodutibilidade. Através desses critérios, chega-se à determinação de parâmetros dos agitadores, aplicando-se a teoria dos π de Buckingham.

PERRY & CHILTON (1986:19-10) também citam que para escolher-se o melhor tipo de agitador e determinar-se o seu tamanho, que deve-se considerar alguns fatores que são considerados importantes, tais como:

- a) velocidade do agitador;
- b) velocidade de transmissão de calor;
- c) dispositivos para controlar a temperatura isotérmica e/ou adiabaticamente;
- d) agitação e o grau de agitação.

Para os cálculos do grau de agitação é necessário encontrar o Número de Reynolds (Re), com presença ou ausência de turbulência, num vaso animado por um agitador. Esse grau de agitação correlaciona-se com o Número de Reynolds (Re) do agitador, estando também ainda implícitas as características de desempenho dos processos, como: o tempo de agitação, a vazão de bombeamento do agitador, o consumo de energia do agitador (através da teoria de semelhança do consumo de energia) e ainda calculando o Número de Froude (Fr) PERRY & CHILTON (1986:19-8).

Com relação aos tipos de fluxos estão em $f(\rho, \mu, \nu, \phi)$, o comportamento dos fluidos podem ser fixados, conhecendo-se os diâmetros dos recipientes de paredes lisas.

Quando se produz um fluxo de fluido, constata-se que existe uma película de separação, denominada de película superficial de fluido, que se encontra intimamente em contato com a superfície sobre a qual o fluido circula.

Essa película é, dependente de vários fatores, como: a velocidade, a viscosidade, a densidade e a temperatura. Os fluidos, que fluem a baixa velocidade, podem se considerar como constituídos de uma série de ondas, que se movem umas sobre as outras. Portanto, para se determinar a velocidade deve-se levar em consideração vários fatores determinantes [FELLOWS (1994:105); PERRY & CHILTON (1986:19-8)], tais como:

1) a temperatura média de aquecimento logarítmica: FELLOWS (1994:28)

$$\Delta\theta_m = \frac{(\theta_2 - \theta_1) - (\theta_2 - \theta_1)}{\ln(\theta_2 - \theta_1 / \theta_2 - \theta_1)} \quad (14)$$

2) a condutividade térmica do fluido :

$$\alpha = \frac{\rho k}{c} \quad (15)$$

3) o calor específico do fluido (cp)

2.8- CONSIDERAÇÕES GERAIS DE ALGUNS MODELOS DE DISPOSITIVOS TERMICOS APLICADOS NA PASTEURIZAÇÃO DO LEITE

ARIAS *et alii* (1986) projetaram no México, um pasteurizador de leite movido a energia solar e biogás (dejetos de vacas), destinado para o meio rural, e relataram que para essa planta de pasteurização é necessário que se tenha na propriedade um integrado leiteiro como: (i) a biomassa para o biodigestor; (ii) uma trincheira de silo, forragem e uma fornalha; (iii) um tanque para armazenar a água da chuva (que se destina para os animais e limpeza da propriedade); a água é reciclada. Por último, o componente integrado na granja que é a pasteurização isolada.

A planta, compõem-se de um tanque para o leite cru, que é colocado no pasteurizador manualmente, passando pelo filtro de aço inoxidável, que elimina as sujeiras e fragmentos. A capacidade é para 100 l/diários de leite pasteurizado, sendo o material de ferro galvanizado, que é um bom isolante térmico. O sistema de aquecimento é realizado através de uma fornalha, isolado com fibra de vidro e chapa de alumínio, movido a biogás, com formato cônico.

O sistema de resfriamento, depende das condições climáticas da região. Em áreas de baixa umidade, com tempo claro e límpido a noite, sugere-se o uso de um sistema de resfriamento radioativo; e nas áreas de alta umidade e com dias nublado, o resfriamento se realiza pelo uso de amônia-água, pela absorção forçada pelo biogás do biodigestor e nas áreas com energia elétrica, pelo sistema convencional de compressão a vapor.

ROMEIRO & BARIONE (1986) desenvolveram uma "Cuba para processamento e pasteurização de produtos alimentícios", sob a forma de um recipiente, de preferência de forma cilíndrica, confeccionado em chapa de aço inoxidável ou outro de tipo de liga, tendo a borda superior revirada para fora e apoiada em uma caixa metálica apropriada. O interior do recipiente foi equipado com um agitador mecânico do tipo usual, cujo formato e dimensões podem variar de acordo com cada projeto.

No fundo do recipiente tem uma saída tubular, que se desenvolve para um dos lados da caixa, como também possui um registro adequado. O recipiente é envolvido por várias resistências elétricas na forma de cintas bipartidas, e respectivos meios de fixação, ficando todo o conjunto completamente envolvido por uma camada de isolante térmico, de preferência de lã de vidro, para evitar as perdas de calor.

ROMEIRO & BARIONE (1987) desenvolveram também uma "Cuba para processamento e pasteurização de produtos alimentícios", ou mais particularmente a um tanque de cozimento chamado de "ultrapasteurizador linear", que se compõem de um dispositivo compacto, com três tubos horizontais, posicionados paralelamente um sobre o outro, configurando, com câmara de geração de vapor na parte inferior, munido de resistência elétrica convencional, o controle é dado pelo sensor e um controlador automático; a posição do trocador de calor no meio e a câmara de retenção, são isolados termicamente, nos quais é aquecido até à temperatura desejada; e no seu interior contém uma serpentina tubular.

BRAYMAND & VALLAGEAS (1988) nº 2.603 777, desenvolveram um Dispositivo de Unidades de Medidas de Pasteurização e Instalação do Pasteurizador Utilizando o Dispositivo. A operação de pasteurização é realizada pelo aquecimento do líquido, acondicionado no recipiente, no interior de um túnel no qual o recipiente é removido. Esse tipo de operação é chamado de pasteurização à túnel.

No interior do túnel de pasteurização, equipado de uma rampa borrifada os recipientes, são realizadas, sucessivas fases de requerimento procurando um momento de regular a temperatura no curso da pré-pasteurização, e uma fase acelerada da região de pasteurização, e enfim, uma fase de resfriamento na região de resfriamento. A pasteurização é determinada para cada rampa ou grupos de rampas sucessivas, a temperatura do líquido de borrifação define a região de pré-aquecimento, pré-pasteurização, pasteurização ou resfriamento.

A instalação de pasteurização, compreende de sondas de medida de borrifação dos recipientes ao longo do túnel de pasteurização. São ligados a um dispositivo eletrônico de cálculo de unidade de pasteurização, ao qual está conectado um dispositivo de medida ao recipiente teste, que precede o pasteurizador que é padrão ao

dispositivo de cálculo para determinação dos coeficientes úteis para os cálculos das unidades de pasteurização adquiridas pelo recipientes nesse tempo de travessia no túnel de pasteurização. O cálculo da temperatura no meio da garrafa é a partir dos únicos dados mensuráveis que são: As temperaturas das águas com as quais a garrafas foram borrifadas, e o tempo durante em que a garrafa foi borrifada.

SIMONNOT, RINOY, SANTARELLI CLOIX & THEVENOT (1980), desenvolveram um equipamento chamado de pasteurizador-cozedor. É composto de uma cuba de material de preferência de aço inoxidável, munido na sua parede externa uma serpentina de tubo de material de um bom condutor térmico, e é ligado a uma máquina frigorífica. Compõem ainda de uma serpentina de seção circular, junto da serpentina, é banhado às vezes com cimento de bom condutor de calor, com objetivo de aumentar o contato térmico entre a parede da cuba e do tubo. Para a operação de pasteurização, no pasteurizador-cozedor, é aquecido pelo banho-maria até a borda ou então pelo ganho de circulação de água quente da parte exterior e depois em seguida é resfriado pela serpentina ligada a máquina frigorífica.

Entretanto, o método operacional existe um inconveniente importante do ponto de vista na fase de aquecimento que é assegurada pela água, a temperatura da água não pode exceder de 100°C, a menos que faça uma instalação sob pressão que é complexa e onerosa. Os ensaios com outros líquidos de reaquecimento, com ponto de ebulição mais elevado, não é dado os resultados completos, dado ao fato da falta da estabilidade térmica ou podendo ser ainda os fenômenos de corrosão que ocasiona sobre o aparelho.

KETLEY & CO. KAZMI (1957) desenvolveram um dispositivo que tem como título "Avanços relativos a preservação de líquidos perecíveis" de N^o 776,688 que compreende de um tanque de parede dupla que pode ser fechado por meio de uma tampa pressurizada.

O desenvolvimento desse dispositivo foi baseado nos líquidos que expandem-se quando aquecidos e contraem-se quando resfriados, e que se um líquido é aquecido num recipiente até que se expanda suficientemente para atingir a borda, o recipiente então é fechado hermeticamente e resfriado até que se contraia ao seu volume

original, um vácuo foi criado dentro do recipiente. É um material esterilizado sem contato com o ar permanece estéril indefinidamente. Uma vez que o contém bactérias resistentes ao calor, e foi descoberto que os melhores resultados são obtidos quando se exclui o ar o máximo possível.

CASANOVA (1974) de nº-74 05355, desenvolveu um dispositivo para higienização dos líquidos, em especial o leite, os sucos de frutas ou similares. Compõem-se de uma centrífuga contendo pelo menos um disco giratório em torno do seu eixo e colocado no recipiente coletor. Esse disco apresenta-se no seu interior do dispositivo, com uma passagem de seção transversal aumentando e diminuindo alternadamente, que estende-se a partir de uma região amena situada na proximidade do eixo do disco até a extremidade deste último.

POVOA & MACHADO (1988) construíram no CETEC um módulo de pasteurizador, do tipo de pasteurização lenta, realizaram experimentos para avaliar o seu desempenho, e constataram que quando aquecia previamente a água da camisa do tanque até 90°C os resultados foram mais satisfatórios.

FREDRICK et *alii* (1991) esses inventores criaram um equipamento de controle melhorado para pasteurização de leite da Patente US 5.054.385, é do tipo que se caracteriza por uma válvula de desvio de fluxo em um recipiente com uma porta, tampa ou algum dispositivo de vedação externa (por um sistema autorizado pela FDA).

Um selo mecânico é aplicado no âmbito da legislação tanto para sua rotina de controle quanto para a sua operação, adequadamente. A melhoria deste equipamento inclui um controlador, com um microprocessador para executar a rotina de controle programada.

A técnica consiste na obstrução do tipo barreira, capa ou outra dentro dos "blocos selados" do recipiente, acessão o programa do processador e evitam a alterações da rotina. Se o selo exterior for quebrado (isto é, para realizar certos tipos de manutenção), a porta pode ser novamente selada pelo órgão regulador (FDA) sem ensaio repetitivo de toda a rotina de controle.

Este dispositivo criado, para o sistema de processamento de líquido, mas particularmente, para os sistema de pasteurização de leite de cru. A pasteurização

moderna, do tipo bem conhecido do HTST (temperatura alta-tempo curto) na qual o leite é mantido à uma temperatura relativamente alta e o tempo mínimo de 14-16 s.

TORTEROTOT (1987) desenvolveu um sistema para Processo de Preparação e Tratamento Térmico de Produtos Alimentícios. As operações de mistura e tratamento térmico, são executados simultaneamente, por injeção, sob pressão, superaquecido a uma temperatura acima de 100°C, numa câmara tubular, que é fechada para evitar qualquer vaporização do líquido constituinte. Esse processo de operação do tratamento térmico, tem como objetivo preservar o produto pelo método de pasteurização ou de esterilização.

CAPÍTULO III

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1- CONSTRUÇÃO DO AGITADOR

Procurando desenvolver um pasteurizador de leite alternativo, decidiu-se estudar modelos de pasteurizadores de tecnologia simples, em que os agitadores estudados, homogeneizassem todas as partículas de leite, sendo de fácil execução pelo homem do campo.

Dessa forma, idealizou-se um fluxograma para construção do modelo de agitador, no qual foram especificados o tipo de operação a ser utilizada, a velocidade de rotação por minuto (rpm) e o tempo necessário de agitação para pasteurização desenvolvido no sistema, juntamente com suas variações. Confeccionou-se o modelo proposto de acordo com a Figura 10, e levantou-se a construção da curva de calibração do agitador.

FLUXOGRAMA DA CONSTRUÇÃO DO AGITADOR



Figura 9- Fluxograma da construção do agitador

De acordo com a literatura pesquisada, o agitador escolhido foi do tipo hélice marítima, com três pás planas (Figura 10), tendo em vista os requisitos do pasteurizador

O objetivo do estudo foi o seguinte:

1. Determinar a rotação do processo, levando-se em consideração que:

a. o processo possa ser reproduzido com acionamento manual, visto que o teste está sendo realizado com acionamento mecânico;

b. garanta a homogeneização da mistura água-corante, para a condição de 86 rpm em 5 minutos.

c. ocorra uma pasteurização eficaz do leite durante o tempo total do processo, à uma temperatura de $65 \pm 2^\circ\text{C}$.

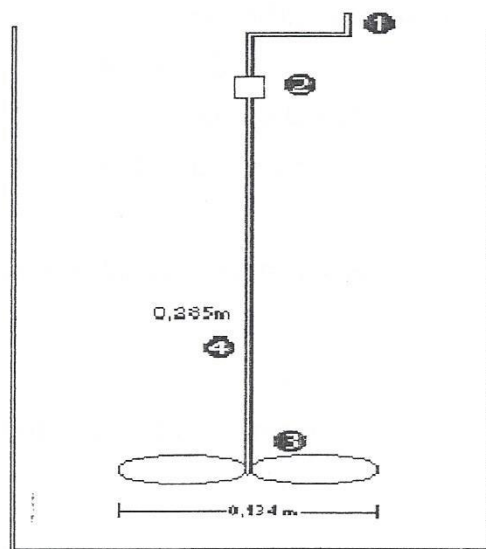


Figura 10 - Modelo do agitador do tipo hélice marítima, ① braço ② mancal; ③ hélice; ④ eixo;

O modelo do agitador, descrito na Figura 10, é do tipo hélice marítima com três pás, com diâmetro de 0,132 m, para fluidos Newtoniano de baixa viscosidade de acordo com a Figura 4. Na construção do agitador, as pás são planas com inclinação de 17° . Essa inclinação foi obtida utilizando-se um transferidor ótico de precisão de 1° com capacidade de 0 a 90° , e um torno de ferramenta. O eixo do agitador possui as dimensões de $0,285 \times 0,132$ m, juntamente com o mancal, ambos de material de aço inoxidável-306, são acoplados ao braço do agitador, quando o manuseio for manual.

3.2- EQUIPAMENTOS E INSTRUMENTAÇÃO

Equipamentos e instrumentação utilizados durante a realização da calibração do agitador por impulsão e dos termopares, encontram-se descritos a seguir:

- Tacômetro Digital Eletrônico
- Conta-Giros
- Termômetro Digital
- Termopares tipo T

3.2.1- Caracterização dos dispositivos

3.2.1.1 - Tacômetro Digital Eletrônico

Tacômetro Digital Eletrônico com cristal quartzo de marca TAKO TD-301, com capacidade de 1 a 20.000 rpm, tempo de medição de 60 segundos, tempo de base de 1 segundo controlado a cristal de quartzo.

3.2.1.2- Conta-Giros

Conta-giros mecânico de marca RECORD de fabricação alemã, com velocidade máxima de 6000 rpm. Permitindo-se trabalhar com dois referenciais de medidas: com medições até 1000 rpm, utiliza-se a ponta de metal e medições superiores a 1000 rpm usas-se a borracha.

3.2.1.3- Termômetro Digital

As temperaturas foram tomadas através do termômetro digital IOP- 40 de leitura instantânea, utilizando-se termopares de cobre-constantan (Cu-CuNi) de diâmetro 0,25 mm. Produzindo-se uma d.d.p proporcional aos valores medidos de temperatura.

3.2.1.4 - Termopar Tipo T

A metodologia aplicada nos termopares do tipo T foram:

a) confeccionado de material de cobre-constantan, chamado de Tipo T. A escolha desse material foi efetuada pela presença de propriedades termoelétricas altamente estáveis, mas levando-se em consideração o seu baixo limite superior de temperaturas para uso prolongado. A ocorrência desse fato advém do cobre, que juntamente com suas ligas, oxidam-se rapidamente no ar em temperaturas elevadas (não superior a 500° C). O fio negativo foi feito de constantan, uma liga de 60% de Cu e 40 % de Ni.

b) Na preparação dos fios, o cuidado com relação as soldas. Foram evitadas operações que envolvessem excessivos trabalhos a frio, evitando-se ainda as dobraduras que são freqüentes, inclusive durante o seu manuseio, como também procurou-se evitar o uso de ferramentas que pudessem causar danos superficiais, nos quais acarretam variações na força eletro-motriz da junção. Foram utilizados fios de mesma bitola e de mesmo comprimento, as pontas soldadas limpas e desengorduradas.

c) a geometria das pontas com forma esférica regular na junta, foi conseguida utilizando-se fios de diâmetro fino e torcidos, pela principal razão de dar resistência mecânica adicional à solda.

Procurou-se obter a maior precisão possível da temperatura nesse trabalho, calibrando-se os termopares através das junções de referências conservadas em banho de gelo cuidadosamente preparado, com erro de leitura de $0,2^{\circ}\text{C}$. Partiu-se então para a calibração dos termopares do tipo Cobre-Constantan, que fornecem cerca de 4.1 mV com junção de medida estando à 100°C e a junção de referência à temperatura de 0°C e cerca de 5.54 mV à -220°C e 0°C , respectivamente, conhecendo-se alguns pontos de ebulição das substâncias puras.

3.3 - CONSTRUÇÃO DAS CURVAS DE CALIBRAÇÃO DA ROTAÇÃO DO AGITADOR

A metodologia usada na construção das curvas de calibração do agitador do tipo hélice marítima (com diâmetro inferior a $\frac{1}{4}$ do diâmetro do recipiente), FELLOWS (1994:106), para os Fluidos Newtoniano e de baixa viscosidade foi aplicada de acordo com as velocidades de rotação do agitador, seguindo as recomendações da literatura:

FELLOWS (1994:108) indica para esse tipo de agitador uma faixa de velocidade de rotação de 400-1500 rpm;

PERRY & CHILTON (1986:19-5) recomendam a velocidade de rotação do agitador com escoamento axial na faixa de 300 ou 420 rpm para acionamento através de engrenagens. Investigaram ainda, que as pás operam em geral, coaxialmente aos tanques sem chicanas, pois a folga entre elas e as paredes do tanque pode ser pequena.

MUR (1954) trabalhou com uma faixa de velocidade de rotação de 120-130 rpm.

Foram construídas as curvas de calibração da rotação do agitador através da leitura dada pelo tacômetro digital elétrico, do conta-giros mecânico e leitura pelo método visual, conhecendo-se a velocidade do agitador através dos pontos das posições do dimmer, que foi dividido em 21 pontos. A discretização das divisões aplicada para as leituras das velocidades foram divididas em quatro. A primeira de (00-1,0); a segunda (1,2-2,0); a terceira (2,2-3,0) e a quarta (3,2-4,0), com suas respectivas rotações, conforme a Tabela 10.

A metodologia aplicada na calibração foi a de constatar as velocidades máxima e mínima de rotação do tacômetro digital eletrônico e do conta-giros. As velocidades trabalhadas na calibração foram de 1,0 m/s, 1,2m/s e 1,4m/s, respectivamente. A disposição dos instrumentos calibrados para comparação está mostrada a Figura 11.

3.4 - CONSTRUÇÃO DAS CURVAS DE CALIBRAÇÃO DOS TERMOPARES

A calibração dos termopares foi efetuada, conhecendo-se os pontos termodinâmicos das substâncias puras, segundo *Handbook of Fine Chemicals (1989)*. Os pontos de ebulição à pressão atmosférica normal trabalhados foram:

- Acetona, 56.5°C
- Álcool etílico 78-79°C, com média aritmética de 78.5°C
- Álcool metílico 64.5°C
- Água em ebulição 99.9°C

A calibração dos termopares foi determinada através das leituras dos pontos lidos no termômetro de bulbo com resolução de 0.2°C tendo uma faixa de erro não superior a 2% e no termômetro digital.

A construção dessas curvas, foi obtida através dos pontos ebulição das substâncias puras, como, acetona álcool metílico e álcool etílico, com 56,5, 64,6 e 78,5°C respectivamente. A leitura desses pontos foi monitorada por três termopares do tipo Cobre-Constantan, chamados nos experimentos de termopar 1 (T1), termopar 2 (T2) e termopar 3 (T3).

Para essas substâncias puras, foram tomados 21 pontos para a acetona, álcool metílico 42 pontos, e álcool etílico 54 pontos.

As temperaturas entre o termômetro de bulbo (o primeiro valor) e o digital (segundo resultado) ficaram na ordem de 58°C e 56,8°C para a acetona, de 66°C e 64,6°C para o álcool metílico e de 80° e 78,9°C para o álcool etílico.

Para a curva de calibração dos pontos de ebulição da água foram levantados 99 pontos.

3.5 - TESTES EXPERIMENTAIS DO AGITADOR

Após a calibração, foi para os testes experimentais no agitador, e para a avaliação do tempo de homogeneização da mistura água-corante, o método visual (SECOND INTERNATIONAL COURSE, 1980), empregando-se as seguintes soluções:

- (I) solução de hidróxido de sódio a 0,1 N, o pH (7,9-8,1);
- (II) solução saturada de fenolftaleína a 1%;
- (III) solução de ácido clorídrico na proporção de 1:3.

Para análise experimental dos testes foi planejado um controle e três repetições:

Processo:

A operacionalização dos testes realizou-se no recipiente interno com um volume de água de 12 litros, aquecida à temperatura de 65°C durante 8 minutos, colocando-se a solução de hidróxido de sódio a 0,1 N com pH(7,9-8,1), solução saturada de fenolftaleína a 2% e 2 ml de solução de ácido clorídrico na proporção de 1:3, com o agitador manual na velocidade de rotação de 86 rpm durante 60 segundos e no recipiente externo com um volume de água de 21 litros, aquecida à temperatura de 80°C durante 60 minutos.

3.6-ESTUDOS PRELIMINARES NO PROTÓTIPO "I" DO PASTEURIZADOR

O primeiro equipamento desenvolvido foi constituído de dois recipientes, um externo de aço inoxidável e outro interno de vidro. (Figura 11).

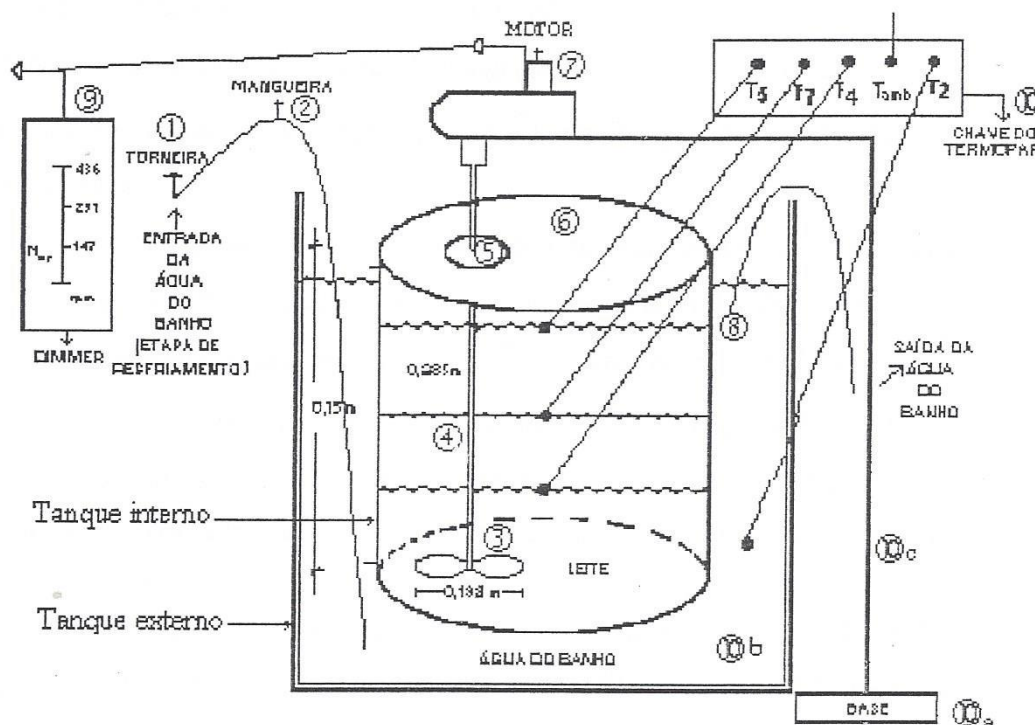


Figura 11 - Protótipo "T"

Legenda da Figura 11.

- | | | |
|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| ① Torneira | ② Mangueira (entrada) | ③ Agitador |
| ④ Haste do agitador Tampa | ⑤ Orifício p/inserir o agitador | ⑥ Tampa |
| ⑦ Motor | ⑧ Mangueira (saída) | ⑨ Dispositivo veloc. de rotação |
| ⑩ Chave dos termopares | ⑩a Base | |
| ⑩b Recip. externo (banho) | ⑩c Haste da base | |

O protótipo "T" era composto de um recipiente de forma cilíndrica, de aço inoxidável, com volume útil de 3,5 litros de água e o outro recipiente, também de forma cilíndrica, com volume de 1,5 litros, o acabamento interno de acordo com as "*Normas Higiênico Sanitária e Tecnológicas para o Leite e Produtos Lácteos*", possuindo uma

tampa fechada hermeticamente, de material tecnil, com diâmetro de 0,10 m, uma bucha ⑤ de aço inoxidável 306 para inserir o agitador que faz parte do sistema de agitação mecânica ⑦, de fácil manuseio. O agitador ③ têm três pás, de diâmetro de 0.132 m, com inclinação de 17°.

O dispositivo ⑨ de medida da velocidade de rotação experimental de (147, 291 e 436 rpm) foi usado para verificar qual a melhor velocidade de rotação a ser utilizada no agitador do tipo hélice marítima ③ acoplado ao motor de 1CV.

A chave dos termopares ⑩ composta de 5 termopares (T_5 , T_7 , T_4 , $T_{ambiente}$ e T_2) foram responsáveis pelas medições das temperaturas da água do banho e do leite, monitoradas pelos termopares no interior do recipiente do leite e da água do banho, nas seguintes regiões:

O termopar 5 (T_5) mediu a região da camada superior (C_1), chamado de T_{C5} ;

O termopar 7 (T_7) mediu a região da camada do meio (C_2), chamado de T_{C7} ;

O termopar 4 (T_4) mediu a região da camada inferior (C_3), chamado de T_{C4} ;

O termopar 2 (T_2) mediu a temperatura da água do banho, chamado de T_{C2} .

O aquecimento foi realizado através de uma fonte aquecedora (Q) de gás engarrafado;

A investigação desse gradiente de tempo e temperatura do leite a ser pasteurizado, foi baseado no trabalho desenvolvido por POVOA & MACHADO (1985:57) que trabalharam com aquecimento simultâneo e prévio, utilizando as temperaturas da água do banho à 90°C e do leite à 65°C durante 30 minutos.

No protótipo "I", desenvolvido de acordo com a Figura 11, foi realizado os experimentos em regime de fluxo descontínuo, levando as seguintes considerações para os testes operacionais:

3.6.1 - Testes Operacionais no Protótipo "I" em Escala de Laboratório

Para verificar as condições operacionais determinou-se nos tratamentos térmicos do leite, realizados em escala de laboratório, as variáveis do processo, classificadas do seguinte modo:

- a) otimização do gradiente tempo-temperatura da água do banho e de pasteurização;
- b) tempo e velocidade de agitação;
- c) relação volume de água/leite;
- d) localização da região de menor transferência de calor;
- e) tempo total de processo;
- f) temperatura de manutenção

a) Otimização do gradiente tempo-temperatura da água do banho e da pasteurização

Nesse processo aplicou-se o método de aquecimento simultâneo. A água do banho (parte externa) foi submetido às temperaturas de (90°C, 85°C e 80°C) e o recipiente do leite (parte interna) nas temperaturas de pasteurização (63°C, 65°C e 67°C).

b) Determinação do tempo e velocidade de agitação

Para se determinar o tempo e a velocidade de agitação, utilizou-se a metodologia proposta acima. Foram realizados seis experimentos com duas repetições

para cada temperatura e um controle. As velocidades utilizadas nos experimentos foram respectivamente:

- a) posição 6, - 1,0 m/s (147 rpm)
- b) posição 7, - 1,2 m/s (291 rpm)
- c) posição 8, - 1,4 m/s (441 rpm)

c) Relação volume de água/volume de leite

Inicialmente, ao recipiente de aço inoxidável, que foi dotado de camisa dupla, adicionou-se a massa de água previamente definida, de acordo com o calor específico do leite/água, massa do leite e diferença de temperatura do leite/água, para calcular as cargas fundamentais de acordo com o balanço de massa:

$$Q_{H_2O} = \text{volume}_{\text{água}} \cdot c_{p\text{água}} \cdot \Delta T_{H_2O} \geq \text{volume}_{\text{leite}} \cdot c_{p\text{leite}} \cdot \Delta T_{\text{leite}} \cdot \text{volume}_{\text{água}} \cdot c_{p\text{água}} \quad (16)$$

$$(T_{\text{past}} + T_{\text{evap}}) + \text{Perdas pelas paredes} = v_e \cdot c_{pe} (T_{\text{past}} - T_{\text{amb}})$$

de acordo com a fórmula (16) o cálculo da quantidade de água é expresso da seguinte forma:

$$\text{Volume}_{\text{água}} = \frac{V_{\text{leite}} \cdot c_{p\text{leite}} \cdot \Delta T_{\text{leite}}}{c_{p\text{água}} \cdot \Delta T_{\text{água}}} \quad (17)$$

onde:

$V_{\text{água}}$ 3,5 litros, calor específico (c_p) 1,0 cal/g

V_{leite} 1,5 litros, calor específico (c_p) 0,93 cal/g

$\Delta T_{\text{leite}} = (T_{\text{evaporação}} (100^\circ\text{C}) - T_{\text{pasteurização}} (66^\circ\text{C}))$

$\Delta T_{\text{água}} = (T_{\text{banho}} (80^\circ\text{C}) - T_{\text{ambiente}} (29^\circ\text{C}))$

d) Determinação da localização da região de menor transferência de calor

Para determinar a região de menor transferência de calor foram usados 5 termopares, sendo os mesmos posicionados em três camadas denominadas de (T_{C4}), posicionados a 80% da altura do líquido, (T_{C7}) a 50% da altura do líquido e (T_{C5}) a 25% da altura do líquido (as camadas inferior, do meio e superior) no recipiente contendo o leite. As temperaturas deste último foram 63°C, 65°C e 67°C e a temperatura da água do banho foi à 90°C. Utilizou-se aquecimento simultâneo e foram feitas 2 repetições para cada temperatura e um controle.

e) Determinação do tempo de processo e manutenção da temperatura de pasteurização

Para determinar o tempo de processo e a manutenção da temperatura de pasteurização foram observados as temperaturas das camadas que foram chamadas de T_{C5} , T_{C7} e T_{C4} , de acordo com a letra d.

1. As temperaturas da água do banho o (T_{C2}) (90°C e 85°C)
2. O aquecimento da água do banho foi simultâneo;

3.7- CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO "II" PASTEURIZADOR

O equipamento é constituído principalmente de 2 tanques de aço inoxidável, com acabamento interno do recipiente de acordo com as "*Normas Higiênico Sanitária e Tecnológicas para o Leite e Produtos lácteos*". Os tanques apresentam capacidade para 6,5 litros de leite e 12,5 litros de água do banho, respectivamente. A espessura das paredes é de 0,0004 m, conforme a Figura 12.

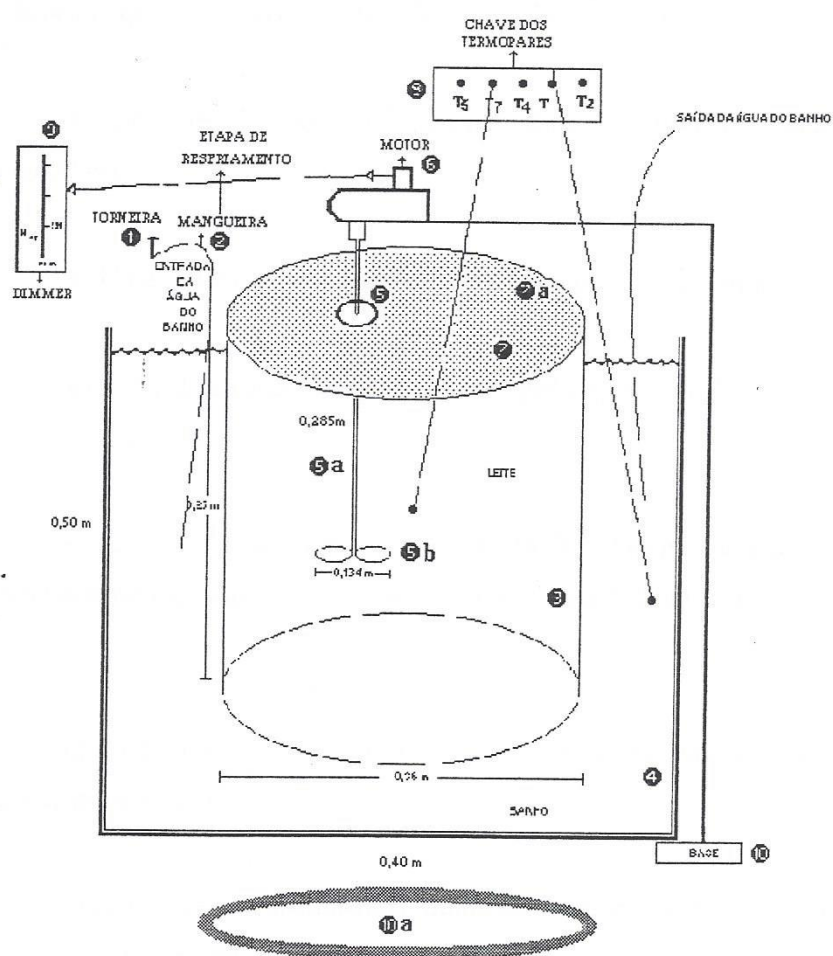


FIGURA 12 - Protótipo "II" do Pasteurizador escala de laboratório

O equipamento é constituído principalmente de um tanque interno (Figura 12) de forma cilíndrica (preferencial) e um externo, ambos de aço inoxidável. E contém um agitador de aço inoxidável, acoplado a tampa, acionado por um motor eletromecânico de 1 CV, ou movido por uma manivela de uso manual, com a finalidade de homogeneizar o leite, promovendo a transferência de calor por convecção livre e forçada.

O processo de operacionalização no protótipo "II", transcorreu na região de menor transferência de calor, localizada a 50% da altura do líquido no recipiente interno, utilizando a mesma metodologia proposta no protótipo "I", com exceção da carga fundamental que foi calculada de acordo a fórmula (17) a seguir:

No protótipo "II" construído, otimizando o protótipo "I", foram feitas as seguintes modificações:

- a) Uma vedação total para diminuir as perdas por evaporação;
- b) Uma diminuição do gradiente tempo/temperatura da água do banho para 80°C.
- c) O prévio aquecimento do banho (80°C). Quando a água do banho atingir a temperatura esperada, transfere-se o leite cru para o tanque interno, passando pelo filtro.
- d) Uma diminuição do tempo de aquecimento do leite até que atingir a temperatura de pasteurização;
- e) Em todos os experimentos, utilizou-se o termopar (T_7), na camada do meio (T_{C7}), a região de menor transferência de calor.

O procedimento do mecanismo no protótipo discorreu da seguinte forma:

a) O aquecimento foi realizado através de uma fonte aquecedora (Q) de gás engarrafado;

b) A entrada da água foi através da mangueira de ½" de diâmetro. A alimentação do tanque interno foi realizada manualmente, passando pelo filtro de aço inoxidável, no qual são retidas as impurezas e os fragmentos do leite.

c) O sistema de agitação é constituído por um eixo com três pás do tipo plana, (Figura 10), montado verticalmente na parte interna do tanque sem chicanas. Nas bordas, as pás desenvolvem uma força de cisalhamento. A agitação foi ininterrupta, quando utilizado o eletro-mecânico, com uma velocidade de 147 rpm e manual (de acordo com o item 3.3) com uma velocidade de 86 rpm.

Para verificar a reprodutibilidade do protótipo, o leite deverá ser processado em triplicata de acordo com as temperaturas estabelecidas, usando as seguintes condições:

(i) Alimentação manual, com a temperatura inicial do produto em média de 27°C e temperatura de pasteurização.

(ii) Manutenção da temperatura do leite com tempo de residência de 30 minutos.

(iii) Resfriamento em média de 20 minutos.

3.7.1- Testes operacionais no protótipo "II" em escala de Laboratório

3.7.2 - Metodologia

A metodologia usada no protótipo "II" (figura 12) foi:

1) O processamento térmico utilizado foi de temperatura baixa-tempo longo, conforme as temperaturas 63°C, 65°C, 67°C e 69°C, a temperatura de referência foi em graus Kelvis (K), justificando-se os valores dessas temperaturas, aonde se permite encontrar o limite máximo ($T_{\text{máx}}$) (69°C) e o mínimo T_{mim} (63°C)

2) Espera-se obter uma eficácia de pasteurização acima de 85%. Para esse cálculo utilizou-se a fórmula de eficácia de pasteurização (18) a seguir:

$$\text{Eficácia de pasteurização} = \frac{N \times 100}{N_o} \quad (18)$$

onde:

N = Contagem do nº de microrganismo final

N_o = Contagem do nº de microrganismo inicial

3) A velocidade do agitador do tipo hélice marítima foi de 147 rpm na posição 6 do dispositivo de velocidade.

3.7.2.1 - Matéria-prima

A matéria-prima utilizada neste estudo, tanto para os experimentos em escala de laboratório, como o da escala-piloto foi o leite do tipo especial (3,2% de

gordura), proveniente da grande Natal/RN. Esta foi coletado sempre no período matutino, compreendido entre 7-8 horas. Após a coleta, as amostras de leite foram pasteurizadas e acondicionadas num recipiente mantido sob refrigeração até o momento de se iniciar as análises.

3.7.2.2-Método de pasteurização

Foi utilizado o método de pasteurização lenta, usando as temperaturas de 63°C, 65°C, 67°C e 69°C durante 30 minutos. O leite foi mantido sob agitação mecânica, do início ao final do processo, sendo em seguida resfriado em banho de água corrente, até atingir a temperatura da mesma (aproximadamente 28°C, dependendo da estação do ano) VENTURA & RUSIG (1984).

3.7.2.3 - Caracterização da amostra

Foram utilizadas 15 amostras de leite cru e 15 amostras de leite pasteurizado a diferentes temperaturas (63°C, 65°C, 67°C e 69°C), nas quais foram determinados: pH, acidez, viscosidade, teor de gordura, densidade, extrato seco total, extrato seco desengordurado e as concentrações das enzimas peroxidase e fosfatase.

pH- As amostras foram medidas diretamente no potenciômetro da marca DIGIMED DMPH-2, segundo o método proposto por LANARA (1981) - Laboratório Nacional de Referência Animal.

Acidez Tituláveis- Nas amostras foram analisadas pelo método de titulação usando-se NAOH 0,11 N, 10 ml de leite para a amostra. segundo LANARA (1981), APHA (1988) e BEHMER (1981:107).

a) Método proposto por DORNIC:

Procedeu-se à análise, agitando-se bem o leite com uma pipeta, tomou-se 10 cm³ que introduziu em um Erlemeyer de 50 cm³ e com o indicador juntou-se de 3 a 5 gotas de fenolftaleína a 2%. Enchendo-se a bureta graduada do aparelho Dornic e, abriu-se a torneira, foi gotejado a soda Dornic é uma solução de N/9 (nono normal) no aparelho dentro do Erlemeyer sobre o leite até virada, isto é, até a coloração constante, que é ligeiramente rósea (agitou-se fortemente à proporção que foi colocando a soda Dornic. Para acertar com exatidão o tom da cor rósea, que correspondeu à solução completamente neutra (virada), com um testemunho padrão (é a cor igual à que produziu uma gota de solução alcoólica de rosa anilina a 0,01%, quando ajunta-se a 11 cm³ de leite) dessa cor, que serviu de comparador. Foi lido na bureta graduada do aparelho o número de divisões gastas de solução de soda para obter-se a cor igual à do padrão, esse número correspondeu ao grau de acidez do leite, chamado de grau de "acidez Dornic".

Viscosidade- A viscosidade das amostras foram determinadas à temperatura de 15°C com Viscosímetro de marca Viscometer Brookfield Engineering com spindle adequado. Os resultados estão convertidos para centipoise (cP) utilizando a tabela apropriada.

Densidade- Transferiu-se para uma proveta de 1000 ml todo o conteúdo (previamente homogeneizado as amostras de leite à temperatura de 15°C. Introduziu-se lentamente o termolactodensímetro evitando mergulhá-lo além do ponto de afloramento e também que encoste nas paredes da proveta. A leitura é feita na altura do líquido. Levantar um pouco o termolactodensímetro e enxugar a haste com papel de filtro de cima para baixo, girando o termolactodensímetro. Mergulhá-lo novamente até próximo ao traço anteriormente observado. Esperar que a coluna de mercúrio do termômetro se estabilizem. Procedeu a leitura da temperatura e da densidade. LANARA (1981:XIV-2)

Correção da densidade

Os resultados das leituras foram convertidas à densidade da temperatura de 15°C com o auxílio da Tabela (Anexo E) que faz a correlação da densidade em graus densímetros com a temperatura do produto. LANARA (1981:XIV-2)

Extrato Seco Total - O método proposto para determinação do percentual de extrato seco total do leite foi baseado na fórmula a seguir:

$$EST = 1,2 G + 0,25D \quad (19)$$

onde:

EST = Extrato Seco total,

G = Teor de gordura (%)

D = Densidade corrigida

ESTD = determina o percentual do teor de gordura com a densidade corrigida.

LANARA (1980:XIV-5)

Extrato Seco Desengordurado-O extrato seco desengordurado foi obtido pela subtração dos valores do extrato seco total do teor de gordura. (LANARA, 1980:XIV-6)

Teor de gordura - Para determinação do percentual do teor de gordura do leite, foi usado o método proposto por GERBER, que se baseia na propriedade que tem o ácido sulfúrico de dissolver a caseína sem atacar a gordura do leite (LANARA, 1980:XIV-4)

Colocou-se no butirômetro 10 ml de ácido sulfúrico, com densidade de 1,820. Adicionou-se 11 ml de leite, com cuidado para não misturar com o ácido, e em seguida 1 ml de álcool isoamílico. Enxugou-se com papel de filtro as bordas da boca do butirômetro e fechar com a rolha apropriada. Agitou-se invertendo-se várias vezes o butirômetro de modo que os 3 líquidos se misturem. Logo após o aquecimento, deve-se segurar com pano. Centrifugou-se durante 5 minutos a 1000-1200 rpm em centrífuga de Gerber. Levou-se ao banho-maria a 65°C durante 3 minutos com a rolha para baixo. Retirou-se o butirômetro do banho, mantendo-se a rolha para baixo e manejando a mesma, colocou-se a camada de gordura dentro do butirômetro. A leitura foi feita na parte inferior do menisco e deu diretamente a percentagem de gordura.

3.8 - CONTAGEM DA CARGA MICROBIANA NO LEITE CRU E NO LEITE PASTEURIZADO

3.8.1- Preparo das amostras

Para o preparo das amostras de leite com o objetivo de verificar a eficácia de pasteurização, utilizou-se 12 amostras de leite cru e 12 amostras de leite pasteurizado. Foi usado o método proposto pela American Public Health Association-APHA(1981), para contagem da carga microbiana. As amostras no laboratório foram codificadas e posteriormente homogeneizadas 25 vezes pela inversão dos tubos de ensaios estéreis. O material foi dividido em 2 porções. A primeira, para a análise microbiológica do leite cru e a segunda, foi primeiro pasteurizado e em seguida realizada a análise microbiológica.

Nos leites cru e pasteurizado, foram feitas as contagens total de mesófilos em placas e a contagem de coliformes total e fecal.

3.8.2- Contagem total de mesófilos

A contagem do número total de microrganismos mesófilos foi realizada segundo as recomendações da APHA(1988); ICMFS (1994) descritas a seguir:

As alíquotas de 1ml das diluições (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} e 10^{-5}) preparadas das amostras do leite cru e pasteurizado, foram transferidas para as placas de Petri em duplicatas, contendo meio de peptona-extrato de carne-glicose-agar, que foram em seguida incubadas, em posição invertida, à temperatura de 32°C durante 48 horas.

As colônias desenvolvidas foram contadas, em um intervalo máximo de 4 h após o término do período de incubação, utilizando-se contador Masseurät. Para as placas da mesma diluição, com colônias entre 30 e 300, calculou-se a média dos resultados, que são expressas em termos de números de Unidades Formadoras de Colônias por ml (UFC/ml) para diluição considerada.

3.8.3-Contagem de coliforme total e fecal - Número Mais Provável (NMP)/ml

A determinação quantitativa de coliforme total e fecal foi realizada pela técnica do Número Mais Provável (NMP), recomendada pela APHA (1988); ICMFS (1994) descrito a seguir:

A alíquota de 1 ml das diluições preparadas foram transferidas para tubos de fermentação contendo caldo verde brilhante-lactose-bile, que foram em seguida incubados à temperatura de 37°C durante 48 horas. Após o período de incubação, foram examinados os tubos positivos ou negativos na formação de gás no tubo de Durham.

Os resultados, das leituras expressas em (g/ml) é dado na Tabela de Mac Crady, (Anexo F).

3.9 - DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE DA PEROXIDASE

Para a determinação da atividade da enzima peroxidase nas amostras de leite cru e pasteurizado, foi usado o método proposto por BEHMER (1981), LANARA (1981:XIV-16). Esta determinação é para checar a eficácia de pasteurização.

O método proposto por BEHMER (1981) e LANARA (1981):

a) O princípio da ação da peroxidase sobre o H_2O_2 libera o O_2 que transforma o guaiacol de sua forma leuco para sua forma corada.

Em um tubo de ensaio de 25 ml colocou-se 10 ml de leite, aqueceu-se o leite na temperatura de $45^\circ C$ para ativar a enzima. Adicionou-se, pelas paredes do tubo de ensaio, 2ml de solução alcoólica de guaiacol a 1% e 2 a 3 gotas de H_2O_2 a 0,3%. O desenvolvimento da cor salmão indicava a presença de peroxidase.

3.10 - DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE DA FOSFATASE

Para a determinação da atividade da enzima fosfatase na amostra de leite cru e pasteurizado, foi usado o método proposto pelo LANARA (1981:XIV-17).

a) A hidrólise de ésteres fosfóricos libera fenol e este condensa com a 2.6 dibromo ou 2.6 dicloroquinona cloroimida dando um indofenol que em meio alcalino apresenta coloração azul.

Em um tubo de ensaio colocou-se Indo-phax, triturou-se em um béquer de 50 ml um comprimido amarelo de Indo-phax, que foi dissolvido em 5 ml de álcool metílico, auxiliando a dissolução com bastão de vidro. Foi colocado no tubo (1) de ensaio 0,5 ml de leite cru e no tubo (2) 0,5 ml de leite pasteurizado, adicionou em todos os tubos 5 ml de solução de Indo-phax. O desenvolvimento da cor cinza indicou que a prova foi negativa.

3.11-FLUXOGRAMA DO PROCESSO UTILIZADO NO PROTÓTIPO "II"

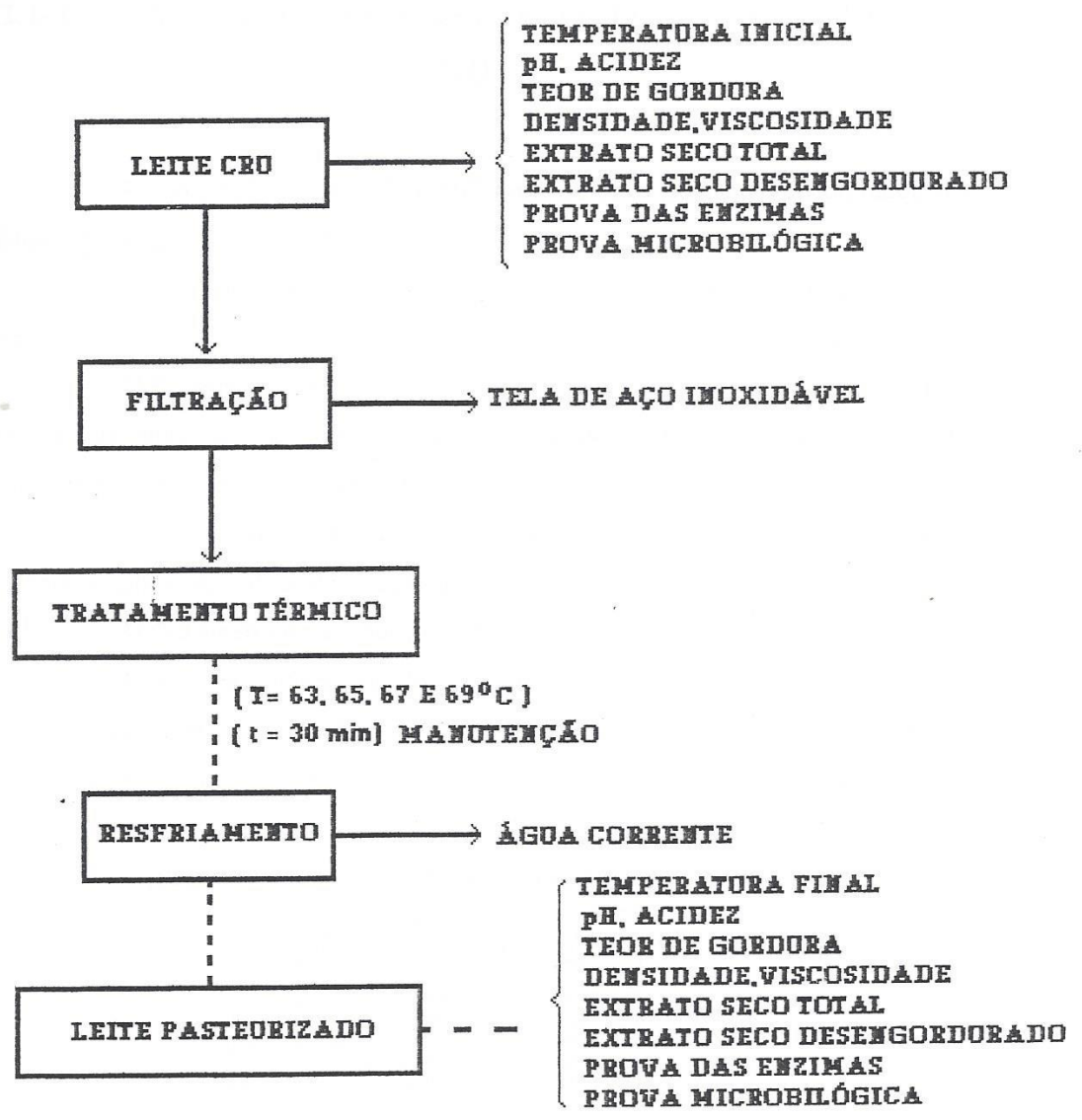


Figura 13- Fluxograma do processo no protótipo "II", pasteurizador em escala de laboratório

3.12- DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO “III” DO PASTEURIZADOR ESCALA-PILOTO

3.12.1- Características Construtivas e Testes Operacionais do Protótipo “III”

Foi construído o protótipo “III” evitando-se os problemas encontrados nos protótipos “I” e “II”, visando a otimização.

Desenvolveu-se um novo sistema, mostrado nas Figuras 14 (corte) e 22 (construído), no qual as principais características são:

1) O tanque externo foi construído de aço carbono 1020, com as chapas de aço de diferentes espessuras (nas laterais e no topo 0,00015 e na base 3/16”), com intuito de minimizar os custos operacionais.

2) O sistema de agitação no protótipo “III” é acionado por engrenagens manualmente com a velocidade de rotação de 86 rpm.

3) O diâmetro do agitador é de 0,250 m

4) A carga fundamental do protótipo “III” é o volume útil de água de 55 litros e o volume útil de leite de 32 litros, a qual foi calculada de acordo com a disponibilidade do produto. Seus valores encontram-se na Tabela 8, calculados de acordo com a fórmula (17).

TABELA 8- Cálculo de volume de água/leite

VOLUME DE LEITE (l)	VOLUME DE ÁGUA (l)	T _{LEITE} (°C)
4,0	7,0	66,0
8,0	14,0	66,0
12,0	21,0	66,0
16,0	28,0	66,0
20,0	35,0	66,0
24,0	42,0	66,0
28,0	48,0	66,0
32,0	55,0	66,0

3.12.2- Estrutura básica do Protótipo “III”

Assim como apresentado na Figura 14, o pasteurizador, protótipo "III" é composto por base inferior (aço carbono 1020 de #3/16"), tendo como função apoiar a estrutura sobre a bancada de trabalho e/ou base de fixação, como também dar suporte ao cilindro externo, através de união por solda. Na parte superior do cilindro externo (chapa de aço carbono 1020 de # 0,0001m) juntamente com a união dado por meio de solda, o anel de fechamento da câmara de aquecimento que em seu diâmetro interno encontra-se fixado através da união por solda ao arco da cuba de pasteurização (aço inoxidável de # 0,0002 m). Na parte inferior da cuba, encontra-se o tubo de escoamento do leite pasteurizado (aço inoxidável), fixado por meio de solda ao arco à cuba e ao cilindro externo. Na parte inferior e superior do cilindro externo encontra-se fixado através de solda de arco, A e B, respectivamente a entrada e a saída da água da câmara de aquecimento. Na parte oposta à fixação de A e B, encontra-se localizado o visor do nível de água da câmara de aquecimento C, localizado na parte superior da cuba de pasteurização, com a tampa de fechamento (aço inoxidável de # 0,0002 m), da cuba de pasteurização, servindo ainda de suporte ao sistema de acionamento do eixo de trabalho. No orifício localizado no centro da tampa, têm-se ainda a fixação da caixa de mancal de trabalho (também de aço inoxidável) através de rosca pela porca (tampa inferior do mancal). Na parte superior do mancal de trabalho, localizado na plataforma (13), fixada através de parafusos, servindo também como tampa de mancal, tanto para a caixa de mancal, quanto para a caixa de mancal (10). No mancal de trabalho, com o assentamento de rolamentos que dão suporte ao eixo de trabalho de aço inoxidável, na sua extremidade superior encontra-se fixada através de pino, a engrenagem conduzida, na extremidade inferior, através de encaixe e rosca, com o conjunto de agitação formada pela haste, que na sua parte inferior também por parafusos encontra-se fixada a tampa, permitindo assim o assentamento de rolamentos, que tem função de apoio ao eixo condutor, que na extremidade superior através de pino, com a fixação da engrenagem condutora, e, através de chaveta e parafuso a fixação da manivela de acionamento manual do sistema de agitação.

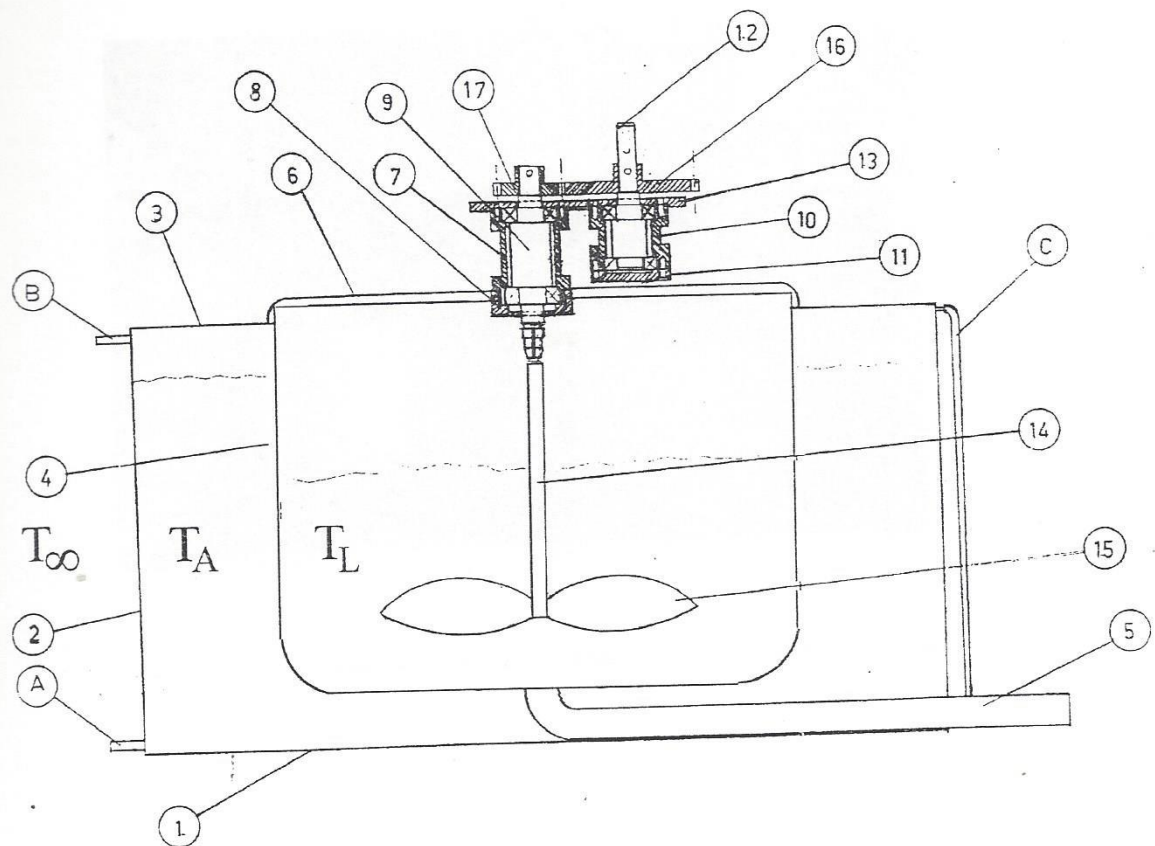


Figura 14- Vista de corte do pasteurizador

- | | |
|--|-----------------------------------|
| ① → Base externa | ② → Recipiente externo |
| ③ → Anel de fechamento | ④ → Cuba de pasteurização |
| ⑤ → Tubo de escoamento | ⑥ → Tampa da cuba |
| ⑦ → Mancal do eixo de trabalho | ⑧ → Porca de fixação do mancal |
| ⑨ → Eixo de trabalho | ⑩ → Mancal do eixo de acionamento |
| 11 → Tampa inferior do mancal de acionamento | 12 → Eixo de acionamento |
| 13 → Plataforma superior dos mancais | 14 → Haste de agitação |
| 15 → Pás de agitação | 16 → Engrenagem condutora |
| 17 → Engrenagem conduzida | |

$$T_{\infty} < T_A > T_L$$



Figura 15. Vista frontal dos recipientes interno de aço inoxidável e o externo.



Figura 16. Vista frontal do recipiente interno/externo e a tampa.



Figura 17. Vista de cima do recipiente interno e o anel de fechamento de aço carbono.

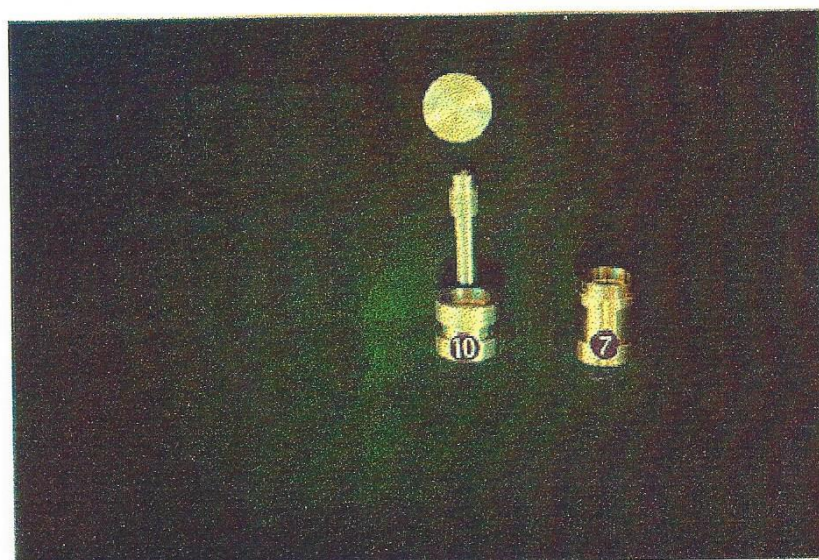


Figura 18. Caixa do mancal e mancal de trabalho / tampa.

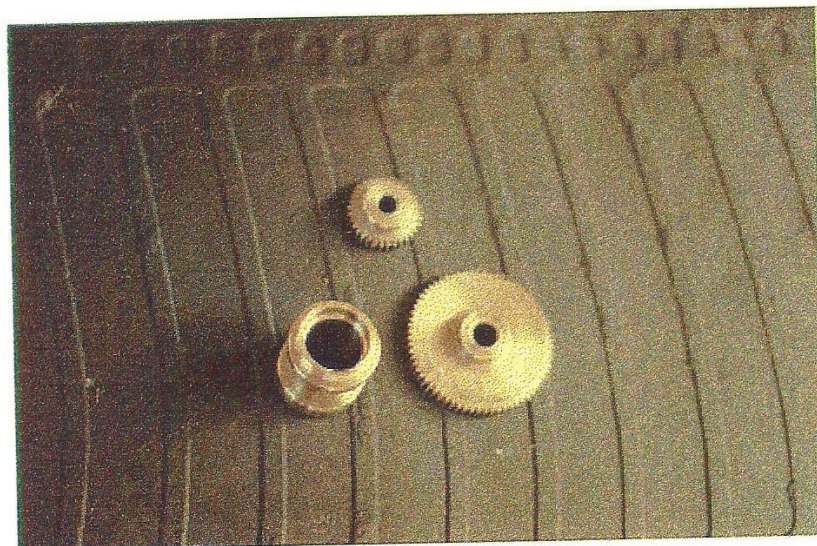


Figura 19. Engrenagem maior (à direita) / engrenagem menor (à esquerda) e o mancal.

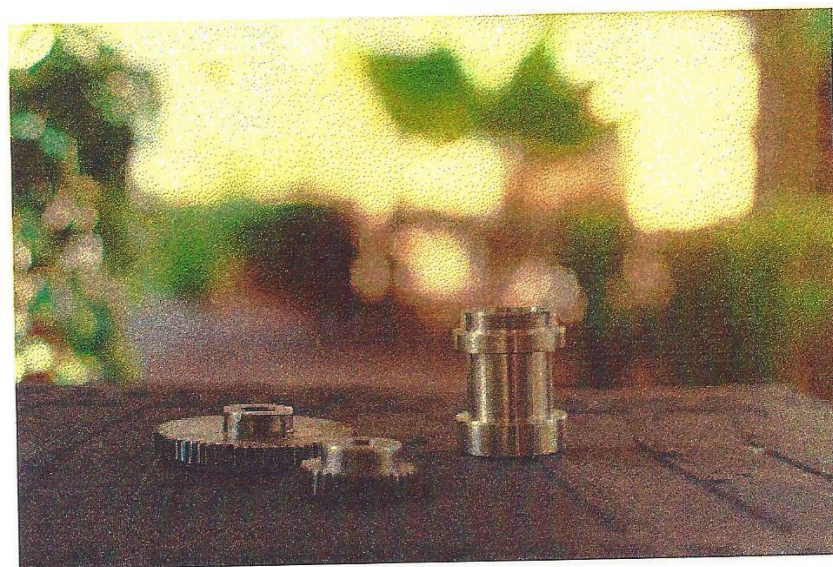


Figura 20. Vista frontal das engrenagens e o mancal.

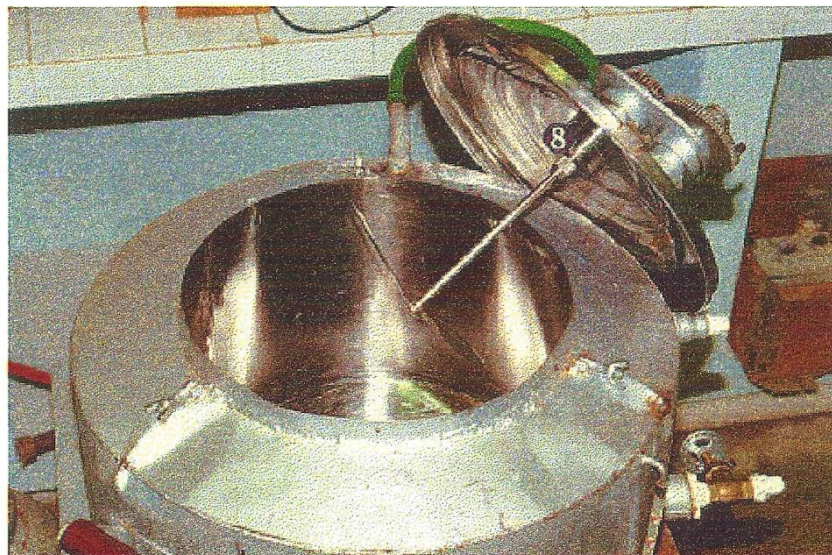


Figura 21. Vista frontal do protótipo "III", escala piloto.

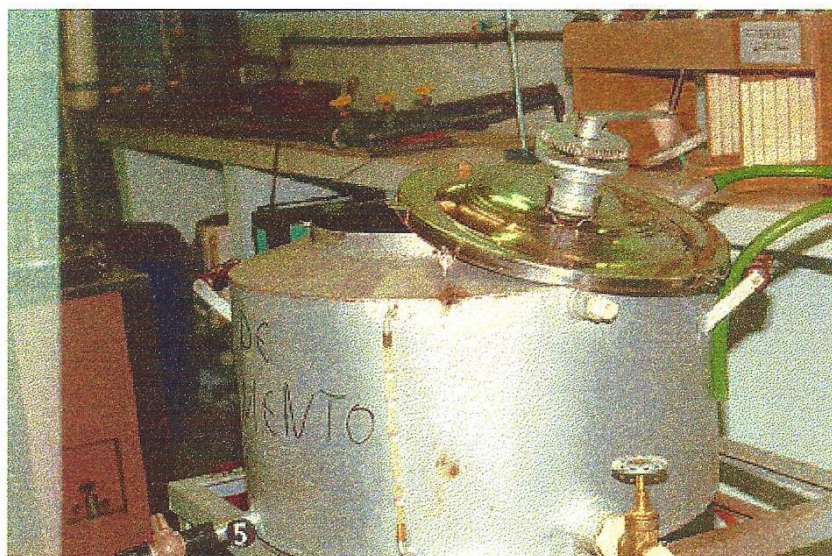


Figura 22. Vista frontal do protótipo "III", corpo completo.

TABELA 9 - Componentes e Acessórios do Equipamento

ÍTEMS	QUANT	DISCRIMINAÇÃO	MATERIAL
01	01	Base externa	Aço 1020
02	01	Recip. externo	Aço 1020
03	01	Anel de fechamento	Aço 1020
04	01	Cuba de pasteurização	Aço Inoxidável
05	01	Tubo de escoamento	Aço inoxidável
06	01	Tampa da cuba	Aço inoxidável
07	01	Mancal do eixo de trabalho	Aço Inoxidável
08	01	Porca de fixação do mancal	Aço inoxidável
09	01	Eixo de trabalho	Aço inoxidável
10	01	Mancal do eixo de acionamento	Aço 1020
11	01	Tampa inferior do mancal de acionamento	Aço 1020
12	01	Eixo de acionamento	Aço 1020
13	01	Plataforma superior dos mancais	Aço 1020
14	01	Haste de agitação	Aço Inoxidável
15	01	Pás de agitação	Aço Inoxidável
16	01	Engrenagem condutora	Aço 1020
17	01	Engrenagem conduzida	Aço 1020
18	01	Tela	Aço Inoxidável
19	01	Tubo de PVC	Plástico
20	02	Registro de passagem	PVC
21	01	Termômetro de mercúrio	Vidro
22	01	Luva ½ x 0,80 m	PVC
23	01	Luva ½	PVC
24	02	Torneira	Metal

3.12.3 - Custo do Protótipo "III"

O custo de fabricação do pasteurizador proposto corresponde a US\$1200 dólares

Conforme é mostrado na Tabela 10 com seus componentes e os custos.

TABELA 10 - Custo do pasteurizador

Cuba de Aço inoxidável	US\$ 400,00
Chapa preta # ½	US\$ 5,00
Chapa preta # 1,5 mm	US\$ 20,00
Chapa preta # 3/16 mm	US\$ 5,00
Tarugo de Aço inoxidável Ø 3"	US\$ 30,00
Tarugo de Aço inoxidável Ø 1"	US\$ 5,00
Acessórios	US\$ 50,00
Usinagem mecânica	US\$ 300,00
Mão-de-obra	US\$ 200,00
Total	US\$1.015,00

3.12.4 - Condições de Processamento

1) No processamento térmico, foram utilizadas só as temperaturas de 65°C e 69°C.

2) a velocidade do agitador foi de 86 rpm.

3) a temperatura da água do banho 80°C

CAPÍTULO IV

4-TRANSFERÊNCIA DE CALOR NO PASTEURIZADOR

Com o objetivo de verificar a transferência de calor e também as perdas durante a pasteurização foi realizada uma modelagem simplificada que está descrita a seguir, de acordo com a Figura 23a.

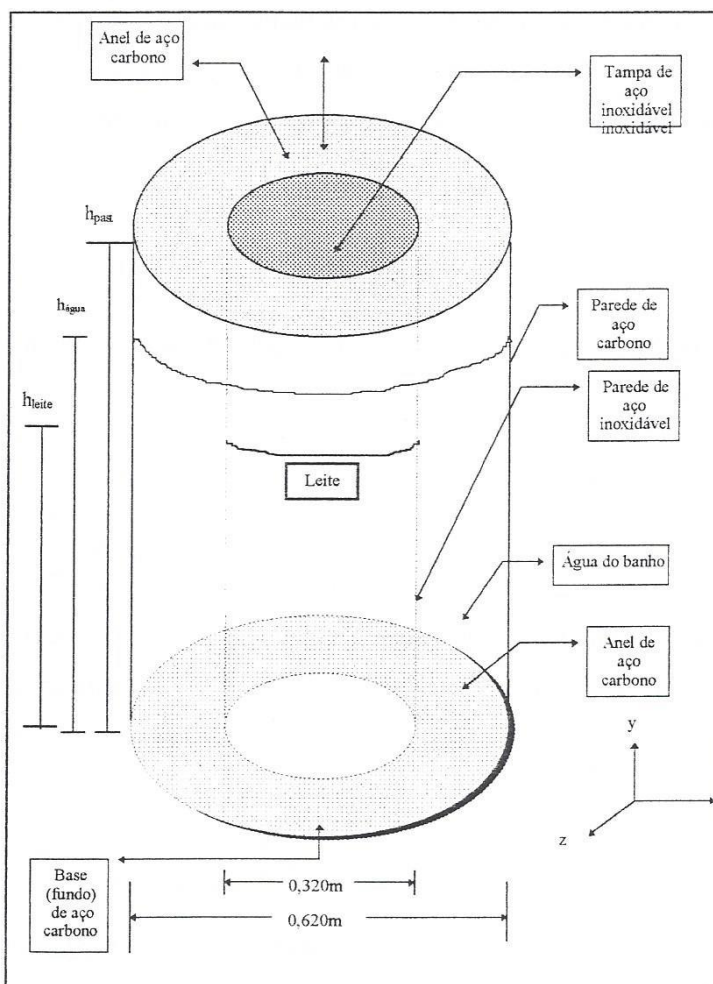


Figura 23a- O esquema do fluxo térmico do pasteurizador

De acordo com a Figura 23a, usando a jaqueta tem-se a seguinte área onde $h=0,26\text{m}$ e $r=0,1975$, (raio interno do pasteurizador) logo a área é $0,323\text{ m}^2$. Como deseja-se saber a mínima temperatura atingida no pasteurizador, assume-se a altura média e o centro do pasteurizador como referência para que se possa garantir durante o processo as condições operacionais satisfatórias.

A primeira suposição a ser feita é considerar o leite a ser pasteurizado como sendo convenientemente agitado. Isto significa que não se registra nenhum gradiente de temperatura dentro do cilindro de leite, de área superficial $A_p = \pi \cdot r_p^2 \cdot h_1$ massa m_p , calor específico c_{p1} .

O processo se dá como no interior de um reator de batelada, agitado mecanicamente e submetido a uma temperatura de processo, T . A camisa externa, contendo uma massa de água, m_{H2O} , é aquecida à temperatura T_{H2O} .

Em um intervalo de tempo infinitesimal, dt , a taxa de transferência de calor, $\frac{dQ}{dt}$, é dada por:

$$\frac{dQ}{dt} = U \cdot A_p \cdot (T_{H2O} - T) \quad (20)$$

Admitindo-se que $dQ = m_p \cdot c_p \cdot dT$ e substituindo dQ na equação (20), vem, assim,

$$m_p \cdot c_{p1} \cdot \frac{dT}{dt} = U \cdot A_p \cdot (T_{H2O} - T) \quad (20a)$$

$$\frac{dT}{T_{H2O} - T} = \frac{U \cdot A_p}{m_p \cdot c_{p1}} \cdot dt \quad (20b)$$

A integração de (20b) entre a temperatura ambiente, T_{amb} e a temperatura de pasteurização do leite, T_p , leva à determinação do tempo t_{aq} de aquecimento do leite de T_{amb} até T_p :

$$\int_{T_{amb}}^{T_p} \frac{dT}{(T_{H2O} - T)} = \frac{U \cdot A_p}{m_p \cdot c_{p1}} \int_0^{t_{aq}} dt \quad (20c)$$

Integrando (20c) e substituindo $m_p = \rho_1 \cdot V_1$, $V_1 = A_p \cdot h_1$ e $A_p = \pi r_p^2$ fica $(m_p/A_p) = (\rho_1 \cdot h_1)$

De acordo com a Figura 23a, usando a jaqueta tem-se a seguinte área onde $h=0,26\text{m}$ e $r=0,1975$,. (raio interno do pasteurizador) logo a área é $0,323\text{ m}^2$. Como deseja-se saber a mínima temperatura atingida no pasteurizador, assume-se a altura média e o centro do pasteurizador como referência para que se possa garantir durante o processo as condições operacionais satisfatórias.

A primeira suposição a ser feita é considerar o leite a ser pasteurizado como sendo convenientemente agitado. Isto significa que não se registra nenhum gradiente de temperatura dentro do cilindro de leite, de área superficial $A_p = \pi \cdot r_p^2 \cdot h_l$ massa m_p , calor específico c_{p_l} .

O processo se dá como no interior de um reator de batelada, agitado mecanicamente e submetido a uma temperatura de processo, T . A camisa externa, contendo uma massa de água, m_{H_2O} , é aquecida à temperatura T_{H_2O} .

Em um intervalo de tempo infinitesimal, dt , a taxa de transferência de calor, $\frac{dQ}{dt}$, é dada por:

$$\frac{dQ}{dt} = U \cdot A_p \cdot (T_{h20} - T) \quad (20)$$

Admitindo-se que $dQ = m_p \cdot c_p \cdot dT$ e substituindo dQ na equação (20), vem, assim,

$$m_p \cdot c_{p_l} \cdot \frac{dT}{dt} = U \cdot A_p \cdot (T_{h20} - T) \quad (20a)$$

$$\frac{dT}{T_{h20} - T} = \frac{U \cdot A_p}{m_p \cdot c_{p_l}} \cdot dt \quad (20b)$$

A integração de (20b) entre a temperatura ambiente, T_{amb} e a temperatura de pasteurização do leite, T_p , leva à determinação do tempo t_{aq} de aquecimento do leite de T_{amb} até T_p :

$$\int_{T_{amb}}^{T_p} \frac{dT}{(T_{H_20} - T)} = \frac{U \cdot A_p}{m_p \cdot c_{p_l}} \int_0^{t_{aq}} dt \quad (20c)$$

Integrando (20c) e substituindo $m_p = \rho_l \times V_l$, $V_l = A_p \times h_l$ e $A_p = \pi r_p^2$ fica $(m_p/A_p) = (\rho_l \times h_l)$

$$t_{aq} = \frac{m_p \cdot cp_l}{U \cdot Ap} \cdot \ln\left(\frac{T_{H2O} - T_{amb}}{T_{H2O} - T_p}\right) = \frac{\rho_l \cdot cp_l \cdot hl}{U} \cdot \ln\left(\frac{T_{H2O} - T_{amb}}{T_{H2O} - T_p}\right) \quad (20d)$$

A expressão (20d) é extremamente útil para se determinar o valor do coeficiente global de transferência de calor, U, admitidas as suposições iniciais consideradas. Isto porque pode-se obter da literatura, ou experimentalmente, os valores dos demais parâmetros listados em (20d)

Reportando-se ao pasteurizador experimental utilizado para a obtenção dos dados da Tabela 04, no Anexo D, tem-se que: $\bar{T}_{H2O} = 77^\circ\text{C}$; $T_{amb} = 27^\circ\text{C}$; $T_p = 65^\circ\text{C}$; $t_{aq} = 600$ segundos;

$$V_l = \pi \cdot r_p^2 \cdot h = \pi x \left(\frac{0,3985}{2}\right)^2 x h = 6,5 x 10^{-3} m^3 \Rightarrow h = 0,052 m.$$

[LEWIS, 1990] fornece $cp_l = 3,9 \text{KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{K} = 3900 \text{J/Kg} \cdot ^\circ\text{K}$; $\rho_l = 1030 \text{Kg/m}^3$

$$U = [W / m^2 \cdot ^\circ\text{C}] = \frac{\rho_l \cdot cp_l \cdot hl}{t_{aq}} \cdot \ln\left(\frac{T_{H2O} - T_{amb}}{T_{H2O} - T_p}\right)$$

$$U = \frac{1030 x 3900 x 0,052}{600} x \ln\left(\frac{77 - 27}{77 - 65}\right)$$

$$U = 498 \text{ w/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Uma outra possibilidade da expressão (20d) é o desdobramento para a obtenção das temperaturas de pasteurização, T_p , e da camisa d'água, T_{H2O} :

$$\ln\left(\frac{T_{H2O} - T_{amb}}{T_{H2O} - T_p}\right) = \frac{U \cdot A_p \cdot t_{aq}}{m_p \cdot cp} \quad (20e)$$

Logo,

$$\left(\frac{T_{H2O} - T_{amb}}{T_{H2O} - T_p}\right) = e^{\frac{U \cdot A_p \cdot t_{aq}}{m_p \cdot cp}} \quad (20f)$$

E, finalmente,

$$T_p = T_{H2O} - \left[(T_{H2O} - T_{amb}) \cdot e^{-\frac{U \cdot A_p \cdot t_{aq}}{m_p \cdot cp}} \right] \quad (20g)$$

$$\text{ou } T_p = T_{H2O} - \left[(T_{H2O} - T_{amb}) \cdot e^{\frac{U \cdot t_{aq}}{cp \cdot \rho_l \cdot hl}} \right] \quad (20h)$$

Assim, a expressão (20g) fornece a temperatura de pasteurização do leite, T_p , convenientemente agitado e aquecido por uma camisa d'água à temperatura T_{H_2O} , após um tempo, t_{aq} .

As expressões deduzidas dizem respeito, apenas, ao estabelecimento de condições de agitação ideais para que atinja a temperatura de pasteurização, T_p , uma massa de leite, m_l , à temperatura ambiente, T_{amb} .

No processo de pasteurização lenta adotado neste estudo, importa manter-se as condições operacionais que assegurem o processo a $65^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$. Admitindo-se um fluxo unidimensional e assumido que não existem fontes sorvedouras de calor no interior do cilindro de leite e que o processo de agitação esteja desativado, pode-se desprezar os efeitos convectivos e a Equação de Fourier pode ser expressa como:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T \quad (21)$$

onde T é a temperatura do leite, t o tempo de processo e α a difusividade térmica do leite.

De acordo com Figura 23a, com a hipótese de escoamento unidirecional, as coordenadas y e z não serão levadas em consideração.

O método de resolução para esse tipo de equação diferencial parcial é o da "separação das variáveis". As duas condições de contorno necessárias para resolver a equação são:

1 ^a) $t = 0$	$T_p = 80^\circ\text{C}$	$T_c = 29^\circ\text{C}$
2 ^a) $t = 864\text{s}$	$T_p = 80^\circ\text{C}$	$T_c = 65^\circ\text{C}$

A primeira condição de contorno afirma, que a temperatura do leite na parede interna do pasteurizador é igual a água do banho. Sendo assim, $t = 0$.

A segunda condição de contorno afirma que T_0 no instante zero, as duas faces laterais do pasteurizador estão sendo expostas a uma temperatura T_1 (80°C), e que se mantém constante neste valor, até o final do processo de manutenção da temperatura.

A resolução da equação, envolve a série de Fourier, no co-seno:

$$\frac{T_1 - T}{T_1 - T_o} = 2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{\pi(n + \frac{1}{2})} e^{-\frac{1}{2} \pi^2 \alpha \sigma^2 (n + \frac{1}{2})^2 x_1^2} \cos(n + \frac{1}{2}) \frac{\pi x}{x_1} \quad (22)$$

Embora esta solução envolva uma série, a grandeza de cada termo da série diminui rapidamente quando n aumenta.

A lei de Fourier para o transporte de calor por condução é:

$$\frac{q}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad (23)$$

onde k é a condutividade térmica.

Nas equações (22) e (23) têm-se que:

$\frac{q}{A}$ = é o fluxo de calor (densidade do fluxo)

$\frac{dT}{dx}$ = é o gradiente de temperatura

Assumindo que k não varia com a temperatura, simplifica-se a resolução da equação de Fourier, que está representada a seguir com os três termos.

Trata-se de uma solução analítica do problema.

Usou-se três termos da série infinita n= 0,1,2....

$$\frac{T_1 - T}{T_1 - T_o} = \frac{4}{\pi} \left[e^{-\frac{1}{2} \pi^2 \alpha \sigma^2 x_1^2} \cos \frac{\pi x}{2x_1} - \frac{1}{3} e^{-\frac{9}{2} \pi^2 \alpha \sigma^2 x_1^2} \dots + \frac{1}{5} e^{-\frac{25}{2} \pi^2 \alpha \sigma^2 x_1^2} \dots \right] \quad (24)$$

no plano central, x = 0, de modo que todos os termos em co-seno são iguais a 1.

Com os valores dados, então

$$\frac{T_1 - T}{T_1 - T_o} = \frac{4}{\pi} \left[e^{-0,0175} - \frac{1}{3} e^{-\dots} + \dots \right] \quad (25)$$

$$\frac{4}{\pi} [0,982 - 3,7 \times 10^{-3} + 2,03 \times 10^{-7} + \dots]$$

A temperatura a 0,065 do plano central é calculada pelo mesmo método.

$$\cos \frac{x\pi}{2x_1} = \cos \frac{\pi(0,065)}{2(0,130)} = 0,707$$

Usa-se somente o 1º termo da série

$$\frac{T_i - T_o}{T_i - T_o} = \frac{4}{\pi} [0,982(0,707)] = 0,154$$

$$T = 65 - 0,154(32 - 80)$$

$$T = 65,7 \pm 2^\circ\text{C}$$

Nestes cálculos não foram considerados os efeitos convectivos, o que poderia inclusive aumentar ainda mais a temperatura de pasteurização. Sendo assim, através da modelagem simplificada realizada, pode-se constatar que o pasteurizador está operando como boa faixa de segurança, isto é, não permitindo que a temperatura do leite, cai abaixo do especificado, para completar sua pasteurização.

Com o objetivo de ilustrar os fluxos de calor ocorridos no pasteurizador, foi elaborada a Figura 23b, que apresenta de forma esquemática os potenciais e as resistências térmicas.

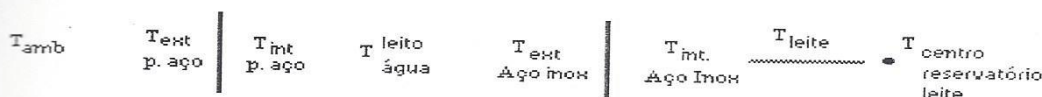


Figura 23.b - Corte transversal do pasteurizador, representando as respectivas resistências térmicas envolvidas: ar ambiente, paredes laterais, água e o leite

Considerando o próprio processo em estudo, cuja faixa aceitável de erro na temperatura de pasteurização, pode ser 63 e 69 °C. Portanto, uma tolerância da ordem de 10%, adotar-se-ão algumas simplificações no modelo, descritos a seguir:

- As temperaturas das paredes laterais externa e interna do aço carbono são consideradas iguais.
- As temperaturas das paredes laterais externa e interna do aço inoxidável são consideradas iguais.
- O regime de trabalho do recipiente de água é permanente ao longo do processo e não há fluxo de massa cruzando a fronteira do sistema.
- Os fluxos de calor envolvidos no sistema são unidimensionais, propagando-se sempre perpendicularmente às superfícies consideradas;
- As perdas radiantes, não são consideradas em função das baixas diferenças entre as temperaturas envolvidas.

Para efeito de ilustração, a Figura 23c apresenta os fluxos de calor envolvidos na pasteurização, assumindo as hipóteses simplificadoras descritas anteriormente.

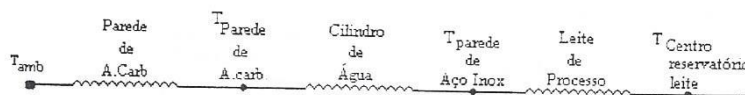


Figura 23c - Esquema dos fluxos de calor envolvidos na Pasteurização

Dessa forma, mostra-se uma maneira simplificada de se calcular o coeficiente global de transferência de calor, sendo considerado os processos de transferência por condução e convecção. As trocas se dão através do ar, do topo (tampa), das paredes laterais e da base do pasteurizador, conforme a figura 23d e as situações expostas nas equações (26), (27) e (28).

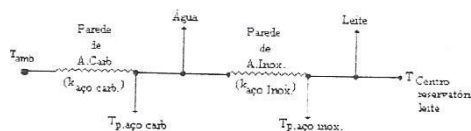


Figura 23d- Corte transversal simplificado do pasteurizador, indicando as respectivas resistências térmicas: ar ambiente (h_{ar}), paredes laterais ($k_{aço carb.}$ e $k_{aço inox.}$), água ($h_{água}$) e o leite (h_{leite}).

O equacionamento se dá pelo somatório das resistências extraídas da analogia do fluxo térmico com o circuito elétrico, mostrados nas figuras 23a, 23b, 23c, 23d e 23e sendo expressas nas equações (26) (27) e (28):

$$U_{Base} = \frac{I}{\sum R_{Base} \times A} \quad (26)$$

$$U_{Lateral} = \frac{I}{\sum R_{Lateral} \times A} \quad (27)$$

$$U_{Topo} = \frac{I}{\sum R_{Topo} \times A} \quad (28)$$

Finalmente, a Figura 23e representa o corte longitudinal

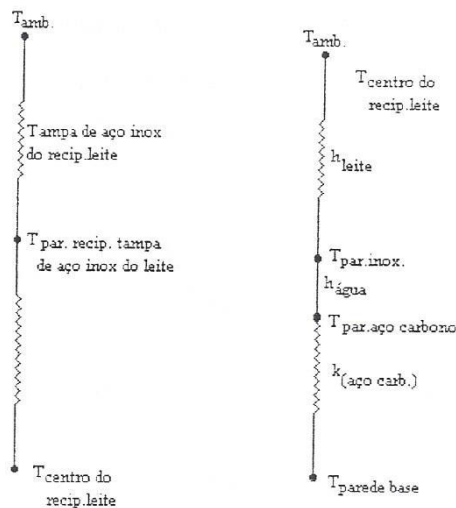


Figura 23e-Corte longitudinal simplificado do pasteurizador, indicando as respectivas resistências térmicas: base ($k_{\text{aço carb}}$ e $k_{\text{aço inox.}}$) e o leite (h_{leite})

No estudo deste pasteurizador, foi necessário calcular a transferência de calor provocada pela agitação desde o fluido quente até a homogeneização da partícula do fluido analisado. Partiu-se assim, para a determinação do coeficiente de transmissão de calor, tendo como embasamento teórico os seguintes conceitos:

a - Para encontrar os valores dos coeficientes de transmissão de calor por convecção entre o ar e a água, analisou-se o mecanismo da convecção livre em placas planas e cilindros verticais (KREITH, 1977).

b - Para encontrar o coeficiente de transmissão de calor por convecção do leite, analisou-se o mecanismo de convecção forçada em cilindros verticais, segundo INCROPERA (1992), ARAÚJO (1982) e KREITH (1977).

Os coeficientes estudados, podem ser calculados pelas equações (29) e (32) e o equacionamento do coeficiente de convecção da água é idêntico, diferindo apenas nos valores de β , ρ , μ , Pr , K e L .

$$h_{c(Ar)} = \frac{K(Ar)}{L_{Total}} 0,68(Gr \cdot Pr^2)^{\frac{1}{4}} \quad (29)$$

Onde:

K_{AR} = condutibilidade térmica do ar = 0,024 w/m K

L_{Total} = altura do recipiente com material de aço carbono = 0,320 m

$$Gr = \text{número de Grashof} \quad Gr = \frac{L^3 \rho^2 g \beta \Delta T}{\mu^2} \quad (30)$$

$$Pr = \text{número de Prandtl} \quad Pr = \frac{c_p \text{Leite} \mu L}{K_{Leite}} \quad (31)$$

$$\text{Coeficiente de transmissão da água} = h_{c(\text{Água})} = \frac{K_{\text{Água}}}{L_{\text{Água}}} 0,68 (Gr \cdot Pr^2)^{\frac{1}{4}} \quad (32)$$

A constante C e os expoentes $m = n$ (muitos aproximados), têm valores empíricos recomendados para a convecção livre em paredes planas ou cilíndricas verticais e horizontais. O valor de m nas experiências, mostraram ter comportamento em função de $aL^3\Delta T$, (ARAÚJO, 1982), dentro do domínio do número de Grashof e o número de Prandtl, para o ar, a água e o leite na temperatura média do sistema, assim foram aplicados de acordo com as equações (30), (31) e (32) sendo:

C = 0,68

m = 1/4

L = Altura da superfície de transferência de calor = 0,320 m

ρ_{AR} = Densidade do ar = 1,128 kg/m³

g = Constante da aceleração gravitacional = 9,81 m/s²

β = Coeficiente de expansão térmica = $\frac{1}{T_{\infty}} = 0,0333 / ^\circ\text{C}$

ΔT = Diferença de temperatura = 50 °C

μ = Viscosidade dinâmica = 18,676 N s/m²

Para o equacionamento do coeficiente de transmissão de calor por convecção entre o recipiente de Aço inoxidável e o leite, também calculou-se o Número de Grashof e o Número de Prandtl diferindo nos valores acima já calculados de β , c, ΔT e o Re e os valores encontram-se abaixo:

$$\beta = 0,0154/^\circ\text{C}; \quad c = 0,023; \quad \Delta T = 15^\circ\text{C}; \quad Re_R = \frac{D_R^2 N \rho}{\mu}$$

Para calcular o coeficiente de transmissão de calor por convecção forçada do leite, foram analisadas as seguintes equações de transmissão de calor: Para líquidos orgânicos, observou-se a equação (33), descrita por (ARAÚJO, 1987), o (INCROPERA, 1992) a equação (34) e o (MICHAEL, 1990 p 261) a (35) que estão expressas das seguintes formas:

$$\bar{h}_c = 0,027 \frac{K}{D} Re_D^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{0,4} \quad (33)$$

$$\bar{h}_c = \frac{K}{D} 0,023 Re_D^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (34)$$

$$\bar{h}_c = \frac{K}{D} 0,023 Re_D^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (35)$$

Onde:

K_{Leite} = Condutibilidade térmico do leite = 0,56 w/ m K

D_i = Diâmetro interno do recipiente de Aço Inoxidável = 0,3935 m

Re_R = Número de Reynolds no recipiente (de acordo com a equação (27)

$$Re_R = \frac{D_R^2 N \rho}{\mu} \quad (36)$$

onde:

D_R = Diâmetro do recipiente = 0,250 m

ρ = Densidade do leite = 1030 kg/m³

μ = Viscosidade dinâmica do leite à 20° C = 2,12 x 10⁻³ N.s/m²

N = Velocidade de rotação do agitador = 86 rpm ou 1,43 rps

Para calcular a velocidade de rotação do agitador N , partiu-se da equação (37)

$$N = R_H \frac{Z_1}{Z_2} \quad (37)$$

Onde:

$A_{R,i}$	Área útil do recipiente de Aço inoxidável = 0,37 m ²
D_a	Diâmetro do recipiente de Aço inoxidável = 0,3935 m
Gr	Nº de Grashof (esc. turbulento) (adimensional) = $19,4 \times 10^9$
hc	coeficiente de transmissão de calor do leite = 254 w/m ² K
N	Rotação no eixo condutor = 0,7 rps
Pr	Nº de Prandtl (adimensional) = 14,76
Re	Nº de Reynolds (adimensional) = 21.256
R_H	Rotação no eixo da hélice de trabalho = 86 rpm
$Z_1 \rightarrow 32$	(nº de dentes da engrenagem conduzida)
$Z_1 \rightarrow 64$	(nº de dentes da engrenagem condutiva)

Quando utilizadas as equações (33), (34) e (35) os resultados para o coeficiente de transmissão do leite foram de 254 w/m² K, foram comparadas com o resultado de (MICHAEL, 1990 p.268), o coeficiente foi de 200 w/m² K

4.3 - CÁLCULO DE PERDAS DE CALOR NO PASTEURIZADOR

4.3.1 - Determinação do coeficiente global de perdas

Na determinação do coeficiente global de perdas e o rendimento térmico, a análise são os parâmetros de método das trocas térmicas e a determinação da diferença média de temperatura ΔT , é o que melhor caracterizam a eficiência de um equipamento, mostrando a viabilidade ou não de sua aplicação. No estudo da determinação do coeficiente citado e a diferença média de temperatura do pasteurizador, tem-se o objetivo de mostrar a eficiência do mesmo.

4.1.2- Método das trocas térmicas

O método das trocas térmicas auxilia nos cálculos do coeficiente global de perdas que é o somatório dos coeficientes de perda pelas paredes laterais $U_{laterais}$, pela base U_{base} e pelo topo U_{topo} do pasteurizador. Pode-se explicitar o coeficiente global de perdas $U_{coef.global de perdas}$ através da equação (38):

$$U_{coef.global de perdas} = U_{base} + U_{laterais} + U_{topo} \quad (38)$$

A análise partiu-se da base externa do pasteurizador, aonde recebeu transmissão de calor por radiação (fonte geradora gás butano), ocorrendo assim o aquecimento nas paredes laterais externas criando uma diferença de temperatura entre as paredes (internas) e o topo (tampa) do pasteurizador e o ar ambiente. O esquema do fluxo térmico está de acordo com a Figura 23.a

4.1.2.1 - Determinação do Coeficiente U perdas pela base

As perdas pela base do pasteurizador compreendem: a condução, a convecção livre e forçada, entre a água do banho e o leite que envolvem o sistema de acordo com a Figura 23a.. A radiação emitida, foi pela fonte geradora de calor (fogão a gás butano), irradiada para o pasteurizador e para o ar ambiente.

$$U_{Base} = \frac{I}{R_{c(Ar)} + R_{c(Água)} + R_{c(Leite)}} \quad (39)$$

Sabendo-se que:

$R_{c(Ar)}$ = Resistência convectiva do ar

$R_{c(Água)}$ = Resistência convectiva da água

$R_{c(Leite)}$ = Resistência convectiva do leite

As equações (40), (41) e (42) foram substituídas pela equação (43) chamada de coeficiente de perdas pela base que pode ser expressa assim:

$$R = \frac{I}{h_{c(Ar)} \times A} \quad (40)$$

$$R = \frac{I}{h_{c(\text{Água})} \times A_i} \quad (41)$$

$$R = \frac{I}{h_{c(\text{Leite})} \times A} \quad (42)$$

Substitui-se na equação (37):

$$U_{Base} = \frac{I}{\frac{I}{h_{c(Ar)} \times A} + \frac{I}{h_{c(\text{Água})} \times A_i} + \frac{I}{h_{c(\text{Leite})} \times A}} \quad (43)$$

Onde:

A	Área da base do recipiente de aço inoxidável	= 0,1225 m ²
A _B	Área da base do pasteurizador	= 0,3019 m ²
A _i	Área da base da camisa (água)	= 0,2389 m ²
hc _{Ág}	Coef. de transmissão. de calor por convecção da água	= 520,39 w/m K
hc _{Ar}	Coef. de transmissão de calor por convecção do ar	= 0,01878w/m K
hc _l	Coeficiente de transmissão do leite	= 254 w/m ² / K

4.1.2.2 -Determinação do Coeficiente U de Perdas pelas paredes Laterais

Os cálculos dessa determinação, o Coeficiente U de perdas pelas paredes laterais do protótipo do pasteurizador de acordo com as Figuras 23a e 23b, foram expressas de acordo com a equação (44)

$$U_{Lateral} = \frac{1}{R_{c(Ar)} + R_{k(Ac)} + R_{c(\text{Água})} + R_{k(Ai)} + R_{c(Leite)}} \quad (44)$$

Sabendo-se:

$R_{c(Ar)}$ = Resistência convectiva do ar

$R_{k(Ac)}$ = Resistência condutiva do Aço carbono

$R_{c(\text{Água})}$ = Resistência convectiva da água

$R_{k(Ai)}$ = Resistência condutiva do Aço inoxidável

$R_{c(Leite)}$ = Resistência convectiva do leite

De acordo com as equações (45), (46), (47), (48) e (49)

$$R = \frac{1}{h_{c(Ar)} \times A} \quad (45)$$

$$R = \frac{\ln(D_e / D_i)}{2\pi K_{A.c} \cdot L_{A.c}} \quad (46)$$

$$R = \frac{1}{h_{c(\text{Água})} \cdot A_{Int. Past. A_i}} \quad (47)$$

$$R = \frac{\ln(D_e / D_i)}{2\pi K_i \times L_i} \quad (48)$$

$$R = \frac{1}{h_{c(Leite)} \times A} \quad (49)$$

Calculadas as resistências das equações (46), (47), (48), (49) e (50), foram substituídas na equação (50), sendo expressa o coeficiente global de perdas pelas laterais como:

$$U_{Lateral} = \frac{I}{\frac{I}{h_{c(Ar)} x A_{(Ac)}} + \frac{\ln(D_{eAc} / D_{iAc})}{2\pi K_{Ac} x L_{Ac}} + \frac{\ln(D_{eAi} / D_{iAi})}{2\pi K_{Ai} x L_{Ai}} + \frac{I}{h_{c(Leite)} x A_{Ai}}} \quad (50)$$

Onde:

- A_{ac} Área do recipiente de Aço carbono (pasteurizador)=0,623 m²
 D_{eAi} Diâmetro externo do recipiente de Aço inoxidável=0,395 m
 D_{eAc} Diâmetro externo do recipiente de Aço carbono=0,620 m
 D_{iAi} Diâmetro interno do recipiente de Aço inoxidável=0,3935 m
 D_{iAc} Diâmetro interno do recipiente de Aço carbono=0,6185 m
 hc_{Ag} Coef. de trans. de calor por convecção da água=520,39 w/m² K
 hc_{Ar} Coef. de transmissão de calor por convecção do ar=0,01878W/m K
 hc_l Coef. de trans. de calor por convecção do leite=254 w/m² K
 K_{ac} Condutibilidade térmica do Aço carbono=36 w/ m K
 K_{i-} Condutibilidade térmica do Aço inoxidável=0,56 w/m K
 L_{ac} Altura do recipiente de Aço carbono=0,320 m
 L_i Altura útil do recipiente de Aço inoxidável=0,260 m

4.3.2.3 - Determinação do Coeficiente de Perdas pelo Topo (Tampa)

Da mesma forma foram calculadas as perdas no topo (tampa) do protótipo do pasteurizador, sendo expressa de acordo com a equação (51)

$$U_{Topo} = \frac{I}{R_{c(Ar)} + R_{c(Leite)} + R_{c(Água)}} \quad (51)$$

Sabendo-se que:

- $R_{c(Ar)}$ = Resistência convectiva do ar
 $R_{c(Leite)}$ = Resistência convectiva do leite
 $R_{c(Água)}$ = Resistência convectiva da água

onde:

$$R = \frac{l}{h_c(Ar) \times A} \quad (52)$$

$$R = \frac{l}{h_c(Leite) \times A_i} \quad (53)$$

$$R = \frac{l}{h_c(\acute{a} \text{ gua}) \times A_i} \quad (54)$$

As equações (52), (53) e (54) foram substituídas pela equação (55)

$$U_{Topo} = \frac{l}{\frac{l}{h_c(Ar) \times A} + \frac{l}{h_c(Leite) \times A_i} + \frac{l}{h_c(\acute{A}gua) \times A}} \quad (55)$$

Onde:

- A_T Área do topo do pasteurizador=0,3019 m²
- A Área da base do recipiente de aço inoxidável=0,1225m²
- A_i Área do topo da camisa (água)=0,2389 m²
- hc_{Ar} Coeficiente de transmissão de calor por convecção do ar=0,01878 w/mK
- $hc_{\acute{a}gua}$ Coeficiente de transmissão de calor por convecção da água=520,39 w/m² K
- hc_l Coeficiente de transmissão de calor do leite=254 w/m² K

4.2- DETERMINAÇÃO DO CALOR PERDIDO PELO PASTEURIZADOR

Para determinar as perdas térmicas totais do pasteurizador foram calculadas a partir das seguintes equações (56), (57), (58) descritas abaixo:

$$\dot{Q}_{pB} = U_B (T_{b \text{ int}} - T_{b \text{ ext}}) \quad (56)$$

$$\dot{Q}_{pL} = U_L (T_{l \text{ int}} - T_{l \text{ ext}}) \quad (57)$$

$$\dot{Q}_{pT} = U_T (T_{T \text{ int}} - T_{T \text{ ext}}) \quad (58)$$

Onde:

\dot{Q}_{pb} = Calor perdido pela base (w/K)

\dot{Q}_{pL} = Calor perdido pelas laterais (w/m²K)

\dot{Q}_{pT} = Calor perdido pelo topo (w/K)

$T_{L_{ext}}$ = Temperatura da superfície lateral externa (K)

$T_{L_{int}}$ = Temperatura da superfície lateral interna (K)

$T_{B_{ext}}$ = Temperatura da superfície da base externa (K)

$T_{B_{int}}$ = Temperatura da superfície da base interna (K)

A taxa de transferência de calor foi calculada a partir da equação (59), pelo somatório das equações (56), (57) e (58) sendo expressa da seguinte forma:

$$\begin{aligned} Q_{P_{total}} &= \dot{Q}_{pb} + \dot{Q}_{pL} + \dot{Q}_{pT} & (59) \\ &= 0,085w/K + 0,233w/m^2K + 0,014w/K = 0,332w/m^2K \end{aligned}$$

CAPÍTULO V

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1- EXPERIMENTOS PRELIMINARES

5.1.1- Observações dos parâmetros estudados na construção das curvas de calibração do tacômetro digital eletrônico e do conta-giros

Observou-se os valores nas posições do dimmer e as velocidades em rpm (rotação por minuto) do tacômetro e do conta-giros, utilizando a leitura visual como referencial na construção da curva de aferição na calibração do conta-giros e do tacômetro digital eletrônico. Conclui-se que os mesmos não sofreram variações significativas. A tabela 11 mostra a variação máxima ocorrida em cada um desses parâmetros.

TABELA 11- Leitura do tacômetro digital elétrico e do conta-giros mecânico

TACOMETRO DIGITAL ELÉTRICO			CONTA-GIROS MECÂNICO			
POSIÇÃO DO DIMMER	VELOC. DA POSIÇÃO	RPM	POSIÇÃO DO DIMMER LEITURA MECÂNICA	RPM	POSIÇÃO DO DIMMER LEITURA VISUAL	RPM
01	0,0	2,00	01	3,00	01	3,0
02	0,2	7,00	02	5,00	02	5,0
03	0,4	26,0	03	34,0	03	34,0
04	0,6	76,0	04	86,0	04	86,5
05	0,8	108,0	05	127,0	05	127,5
06	1,0	226,0	06	232,0	06	232,0
07	1,2	294,0	07	401,5	*	*
08	1,4	441,0	08	595,5	*	*
09	1,6	767,0	09	912,0	*	*
10	1,8	1.020	10	1.210	*	*
11	2,0	1.170	11	1.383	*	*
12	2,2	1.386	12	1.517	*	*
13	2,4	1.482	13	1.694	*	*
14	2,6	1.576	14	1.789	*	*
15	2,8	1.805	15	1.839	*	*
16	3,0	1.939	16	2.039	*	*
17	3,2	2.000	17	2.098	*	*
18	3,4	2.052	18	2.179	*	*
19	3,6	2.134	19	2.295	*	*
20	3,8	2.201	20	2.373	*	*
21	4,0	2.331	21	2.421	*	*

* Não foi possível fazer a leitura visual devido a alta velocidade

Os resultados da calibração mostram as 21 posições dos valores do tacômetro digital eletrônico e do conta-giros com leituras mecânica e visual.

A curva de calibração está ilustrada, na Figura 24. Os valores apresentados obtiveram no tratamento estatístico o coeficiente de correlação de 0,994981 e um desvio padrão baixo.

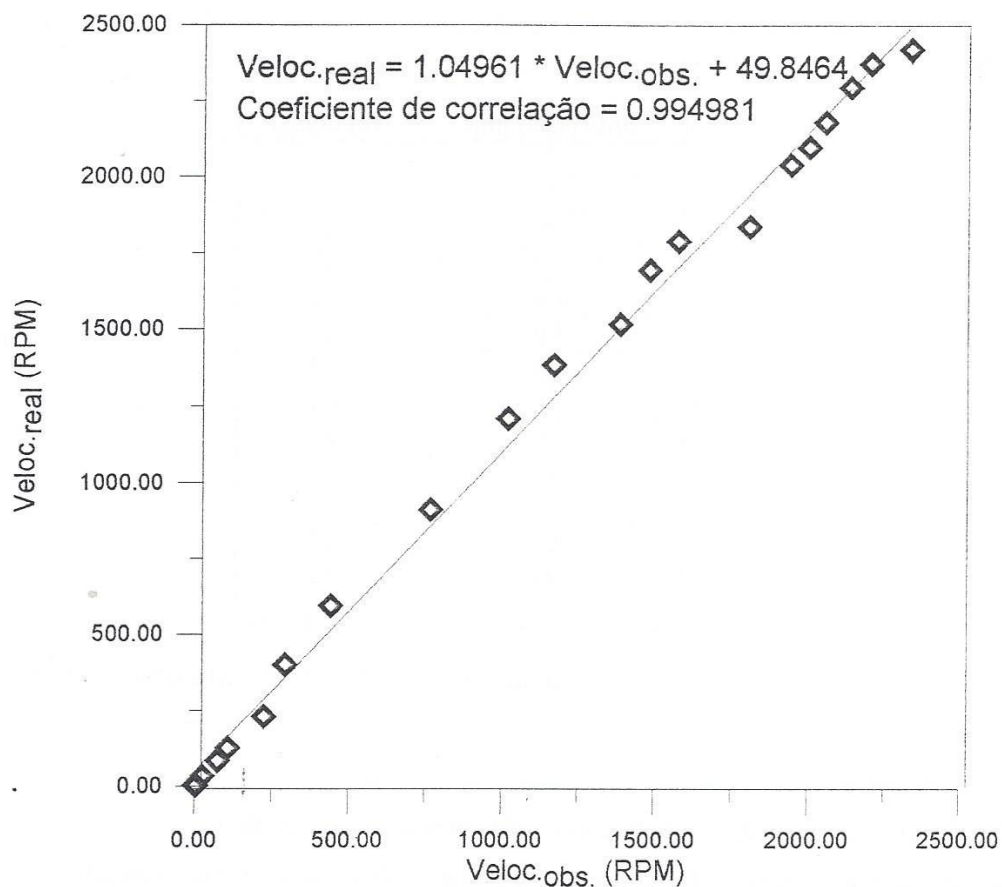


Figura 24- Calibração do tacômetro elétrico (obs), usando o contador mecânico (real), previamente calibrado.

5.1.2 - Ensaio Experimentais do Agitador

Os resultados obtidos estão na Figura 25. Os experimentos foram realizados com três repetições e um controle e, utilizando o método visual (SECOND INTERNATIONAL COURSE, 1980). Esse método foi utilizado para determinar o tempo de mistura experimentalmente, e calculado o fator de tempo (Ω) de acordo com a fórmula (04) os resultados estão na Tabela 12

TABELA 12- Tempo de homogeneização observada e o fator de tempo

tempo (s)	rpm observado
2	*
4	*
6	*
8	86
10	86
12	67
14	60
16	55
18	51
20	46
22	44
24	42
26	40
28	38

* observação a leitura foi partir de 8 segundos

Verificou-se o desempenho do agitador, baseado na viragem da fenolftaleína (cor rosa a incolor) que ocorre em pH 8,3, usando o acionamento manual. Obteve-se resultados satisfatórios na reprodutibilidade, garantindo a homogeneização na mistura água-corante, para condição de velocidade de agitação de 86 rpm com tempo de 60 segundos. Os resultados da velocidade de agitação observada é mostrado na Figura 25.

A importância desses testes diz respeito à garantia de uma pasteurização eficaz do leite, durante o tempo total de processo na execução dos experimentos que estão na Tabela 12, à uma temperatura de 63 e $69 \pm 2^\circ \text{C}$.

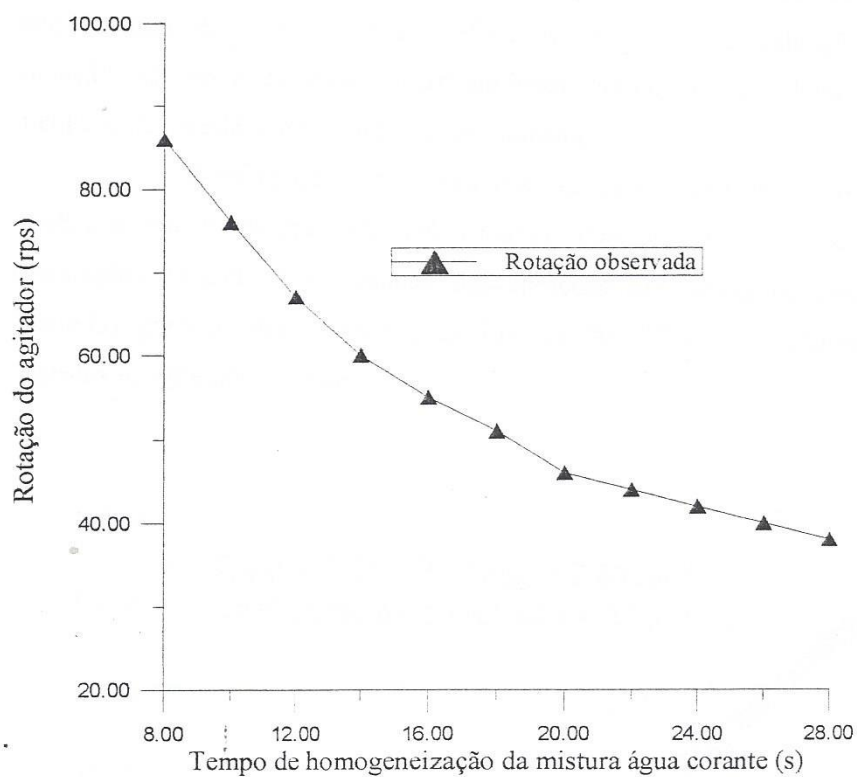


Figura 25- Tempo/rotação executados experimental (manualmente)

5.2- RESULTADOS OBSERVADOS NA CONSTRUÇÃO DAS CURVAS DE CALIBRAÇÃO DOS TERMOPARES

Observou-se os valores médios de ΔT , para os experimentos realizados, com os respectivos pontos de ebulição das substâncias puras (álcool etílico, álcool metílico e acetona) e água em ebulição. Obteve-se a curva de aferição de calibração dos termopares. Conclui-se que os mesmos não sofreram variações significativas. Os resultados estão nas tabelas do Anexo A, mostraram a variação máxima ocorrida em cada um desses parâmetros.

Os resultados da construção encontram-se nas Tabelas do Anexo A que mostram os 99 pontos para as aferições das curvas de calibração da água em ebulição, 42, 48 e 24 pontos para aferições das curvas de calibração do álcool metílico, álcool etílico e acetona, respectivamente.

Com relação aos perfis das curvas de temperatura real observada verifica-se que os mesmos não apresentaram alterações sensíveis, resultando boas correlações lineares. A construção das aferições das curvas de calibração estão ilustradas graficamente, conforme as Figuras 26, 27 e 28, juntamente com as respectivas regressões lineares.

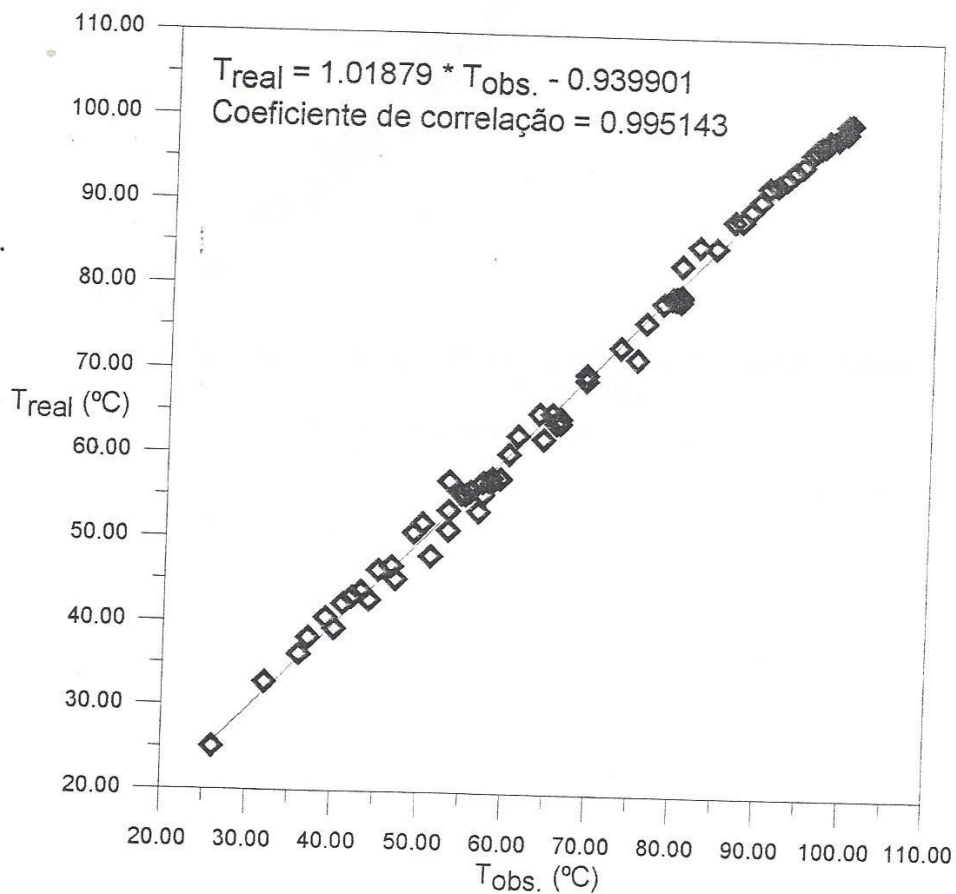


Figura 26- Calibração do termopar 1

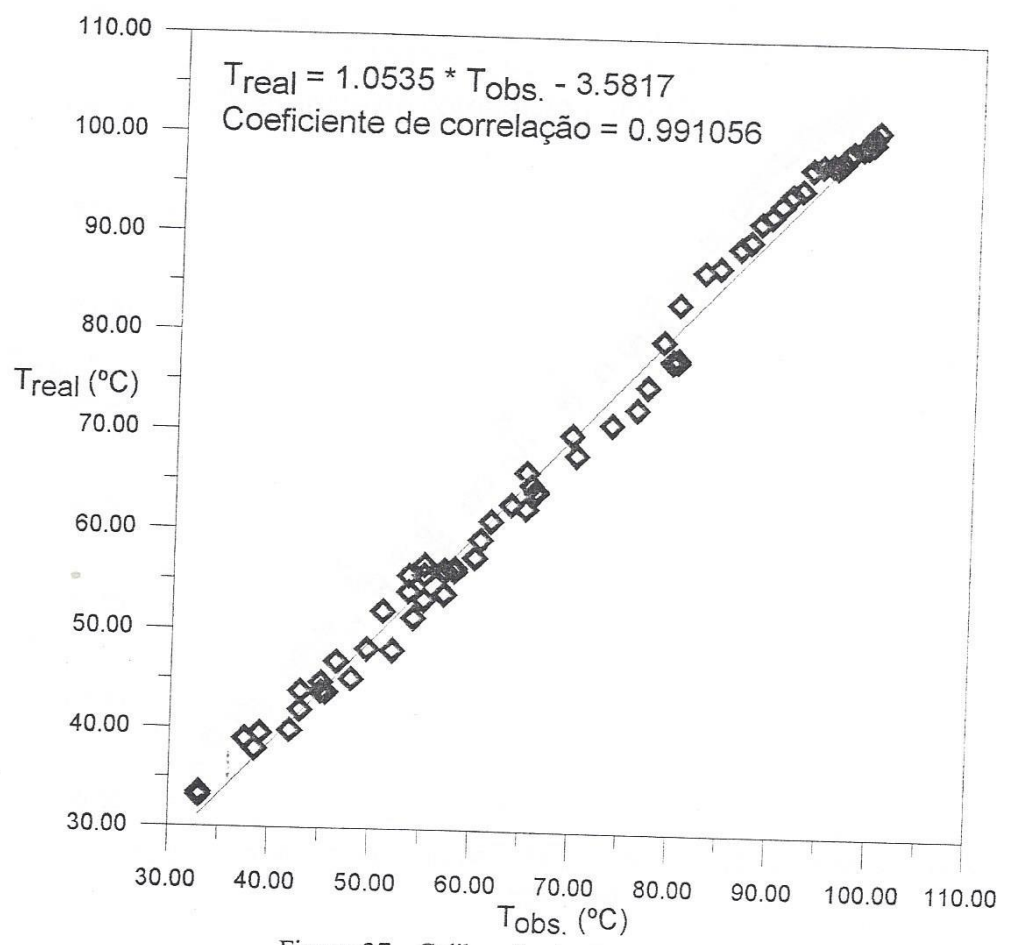


Figura 27 - Calibração do termopar 2

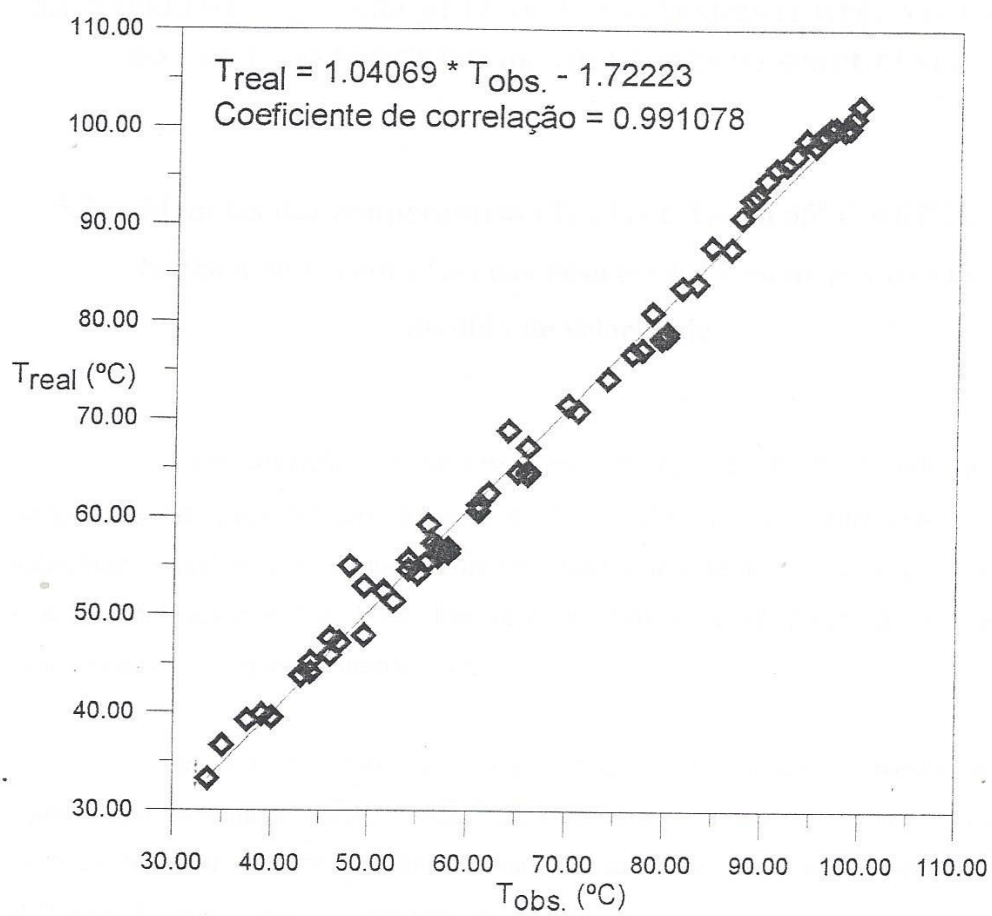


Figura 28- Calibração do termopar 3

Os valores apresentados nas Figuras 26 a 28 foram obtidos no tratamento estatístico com coeficiente de correlação 0,991056, 0,995143, 0,991078 e desvio padrão baixo, indicando a coerência e confiabilidade dos termopares utilizados.

5.3- EXPERIMENTOS PARA DETERMINAR O TEMPO-TEMPERATURA DO LEITE NO PROCESSO DE AQUECIMENTO SIMULTÂNEO

5.3.1- Medidas das temperaturas (T_{C4} , T_{C7} e T_{C5}) à 65° C e 67° C, banho à 90° C com (T_{C2}) nas posições 6 e 7 no dispositivo de medida de velocidade

Nas condições de processamento da água do banho à 90°C e a temperatura de pasteurização do leite à 65° e 67°C, ($\pm 2^\circ\text{C}$), com tempo de aquecimento inferior a 30 minutos e as velocidades de rotação de 147 e 291 rpm utilizadas nas posições 6 e 7, no dispositivo de medida de velocidade de rotação respectivamente, os quais demonstraram que:

a) O aquecimento da água do banho à 90°C, aplicando o método do aquecimento simultâneo (água e leite) nas 6 amostras, durante 30 minutos, com medidas em intervalos de 5 minutos, não foi suficiente para que as amostras atingissem a temperatura de pasteurização.

b) Nos resultados dos perfis de temperatura nas camadas T_{C4} , T_{C7} e T_{C5} às temperaturas de pasteurização de 63°C, 65°C e 67°C $\pm 2^\circ\text{C}$, os parâmetros analisados não apresentaram a eficiência esperada, constatando a necessidade de se trabalhar na camada (T_{C7}), a área de menor transferência de calor com as mesmas condições experimentais. Os resultados estão nas tabelas do anexo B

5.4-MEDIDAS DO TEMPO NO PROCESSO DE AQUECIMENTO SIMULTÂNEO, NA REGIÃO DE MENOR TRANSFERÊNCIA DE CALOR (T_{C7}), TEMPERATURAS DE PASTEURIZAÇÃO A 65°C, 67°C, VELOCIDADES DE ROTAÇÃO

1. Os resultados das medidas do tempo de aquecimento do banho à temperatura de 90°C, nos testes realizados na camada (T_{C7}), mostraram que o tempo não foi suficiente para que atingissem as temperaturas de pasteurização do leite à 65°C e 67°C. O tempo necessário para atingir essa temperatura de pasteurização, variou entre 32,5 e 53 minutos, as medidas foram feitas em intervalo de 5 minutos e o aumento de temperatura, em cada intervalo foi em média de 4°C, nos quatro experimentos realizados. Os resultados estão nas Tabelas do Anexo C.

2. Constatou-se a necessidade de trabalhar na camada de menor transferência de calor, (termopar (T_{C7})) em todos os experimentos subsequentes. Esse resultado é compatível com NETO (1994), que recomenda se trabalhar na região de menor transferência de calor para alimentos aquecidos por condução.

3. Na velocidade de rotação de 1.0 m/s com 147 rpm, obteve-se resultados satisfatórios na uniformização da temperatura de pasteurização. Segundo MUR (1954), que trabalhou com velocidades de rotação entre 120-130 rpm, encontra-se ao nível médio de 125 rpm, ocorrendo uma menor formação de "espumas", que pode ser observado visualmente.

Apresentam-se ainda nas literaturas experimentos realizados por PERRY & CHILTON (1986) e FELLOWS (1994) com rotações acima desses valores citados.

Os valores das velocidades de rotação observadas estão na Tabela 11, que foram obtidos através das leituras dos pontos usados para construir a curva de calibração do agitador, (Figura 24), apresentaram um ajuste considerável de pontos lidos visualmente.

Os resultados das medidas das velocidades de rotação do agitador, com escoamento axial, são dadas por PERRY & CHILTON (1986), (300, 420 rpm) e FELLOWS (1994) (400-1500 rpm). Esses valores foram encontrados

experimentalmente, de acordo com a tabela 11, (1,2 m/s com 291 rpm e 1,4 m/s com 436 rpm). Não foram usadas essas velocidades de rotação, por apresentarem uma grande formação de “espumas”, ou albuminas, nos experimentos, e as mesmas dão condições favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos.

O método de aquecimento simultâneo, resultou num tempo muito longo para se atingir a temperatura de 90°C (banho), com a temperatura média inicial da água corrente de 28°C, que não foram eficientes na otimização do tempo. Como os resultados encontrados nos experimentos não foram satisfatórios em relação a otimização do tempo, surgiu a necessidade de se trabalhar nos experimentos subsequentes com uma temperatura da água do banho mais baixa.

5.5 -MEDIDAS DO TEMPO-TEMPERATURA DE PASTEURIZAÇÃO DO LEITE, NAS CONDIÇÕES DO ITEM 4.4, À 63°C, 65°C, 67°C E 69°C, BANHO À 85°C(T_{C2}), MÉTODO DE AQUECIMENTO PRÉVIO

Os resultados da determinação do binômio tempo-temperatura de pasteurização, com processo de aquecimento prévio da água do banho, mostrou que o processo não foi eficiente na otimização do tempo. Os resultados estão nas tabelas do Anexo C.

5.6- MEDIDAS DO TEMPO-TEMPERATURAS DE PASTEURIZAÇÃO DO LEITE, À 63°C,65°C,67°C E 69°C, BANHO À 80°C (T_{C2}), MÉTODO DE AQUECIMENTO PRÉVIO

Os resultados dos 12 experimentos realizados à 63° 65°, 67° e 69°C encontram-se nas Tabelas do Anexo D, com três repetições para cada temperatura e um controle.e o método de pasteurizado em escala de laboratório estão abaixo:

O método de pasteurização empregado em escala de laboratório

Em todos os experimentos realizados com as temperaturas de (63°C, 65°C, 67°C e 69°C), todos com reprodutibilidade. O método de pasteurização empregado foi o de processo de aquecimento prévio da água do banho à temperatura de 80°C. O tempo de operação do aquecimento do banho foi em torno de 30 minutos, conforme estão demonstrados nos dados experimentais que encontram-se nas Tabelas (12 a 23). Para o método de aquecimento da água do banho para a pasteurização, foi usado um fogão que tem como fonte geradora de calor o gás butano, no sistema liga e desliga. (Anexo D).

As amostras do leite foram transferidas para o pasteurizador, filtrando-se, e apresentaram-se com uma temperatura inicial em média de 29° C (de acordo com os dados experimentais), e a água devidamente ajustada em 80°C. Iniciou-se, o tratamento térmico com as temperaturas de (63°C, 65°C, 67°C e 69°C), com a atuação do agitador na região de menor transferência de calor. de acordo com a **Figura 12, itens 5a e 5b**. O tempo de operação de pasteurização para que atingissem a temperatura de pasteurização, foi em torno de 10 minutos (de acordo com os dados experimentais expostos nas Tabelas 12 a 23) e o tempo de manutenção da temperatura de pasteurização foi de 30 minutos de acordo com a literatura preconizada, e estão ilustradas graficamente através das Figuras 29 a 40. Conforme essas Figuras, mostram-se que quando o fogo era desligado, a água do ~~banho~~ trocava calor com o ar ambiente, passou a ser uma resistência térmica à transferência de calor do leite para o ar. A quantidade de água para o banho (Tabela 7), foi calculada em função da quantidade de produto a ser pasteurizado. De tal forma que quando as temperaturas de pasteurização, ultrapassassem ou caíssem para os valores próximos das temperatura estabelecidas para o tratamento térmico e que daí por diante fossem mantidas constantes pela atuação da entrada de água ou mesmo pelo acender do fogo, quando assim fossem necessários. No resfriamento, o método foi efetuado através da água corrente (em média de 28°C) até as amostras atingirem à temperatura ambiente. E em seguida, as amostras foram acondicionadas em banho de gelo e codificadas, para realizar as análises físico-químicas, bioquímicas e microbiológicas.

A reprodutibilidade dos experimentos nas temperaturas de 63°C 65°C, 67°C e 69° C que foram analisadas, estão ilustradas nas Figuras 29 a 40.

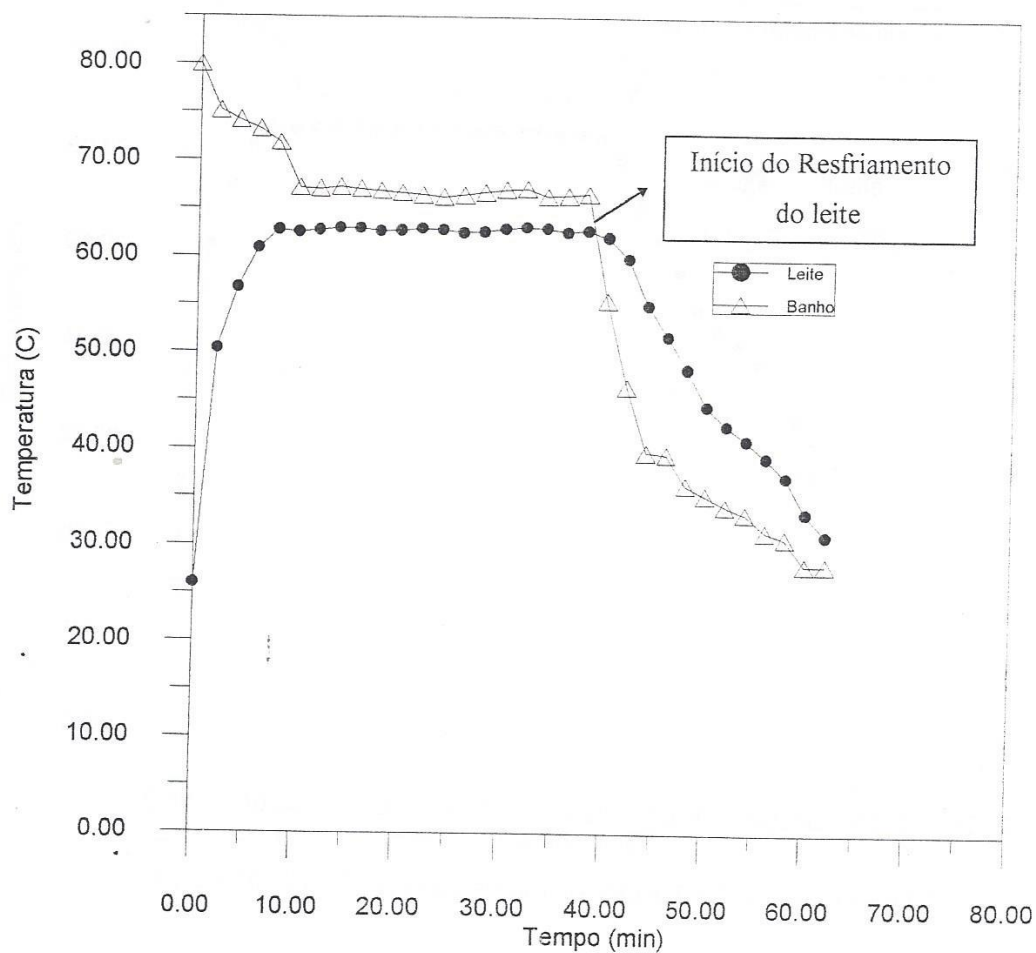


Figura 29 - Perfil da pasteurização do leite à 63°C - experimento (I)

TABELA 13-Dados experimentais nº 1

TEMPERATURA (C)	TEMPO (MIN)	VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm		
AMBIENTE	23,0	OP.AQ.BANHO	30,0	6,5	12,5	147
ÁGUA CORRENTE	26,0	AQ. PAST.	8,0			
INICIAL DO LEITE	28,0	MANUTENÇÃO	30,0			
PASTEURIZAÇÃO	63,0	RESF.DO LEITE	24,0			
BANHO	80,0	DURAÇÃO	92,0			
FINAL DO LEITE	31,2					

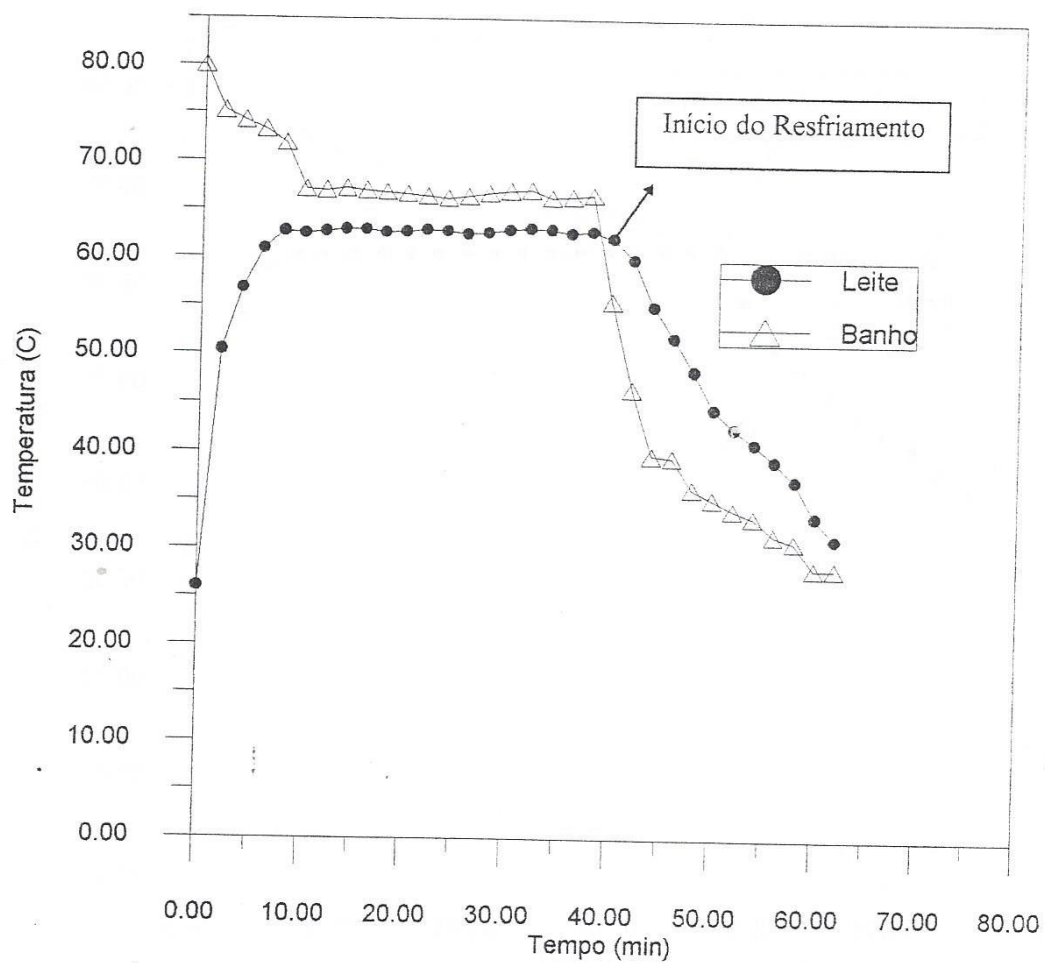


Figura 30 - Perfil da pasteurização do leite à 63°C - experimento (II)

TABELA 14- Dados experimentais nº 2

TEMPERATURA (C)	TEMPO (MIN)	VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm		
AMBIENTE	26	OP.AQ.BANHO	28	6,5	12,5	147
ÁGUA CORRENTE	24	AQ. PAST.	8			
INICIAL DO LEITE	63	MANUTENÇÃO	30			
PASTEURIZAÇÃO	63	RESF.DO LEITE	22			
BANHO	80	DURACÃO	88			
FINAL DO LEITE	36					

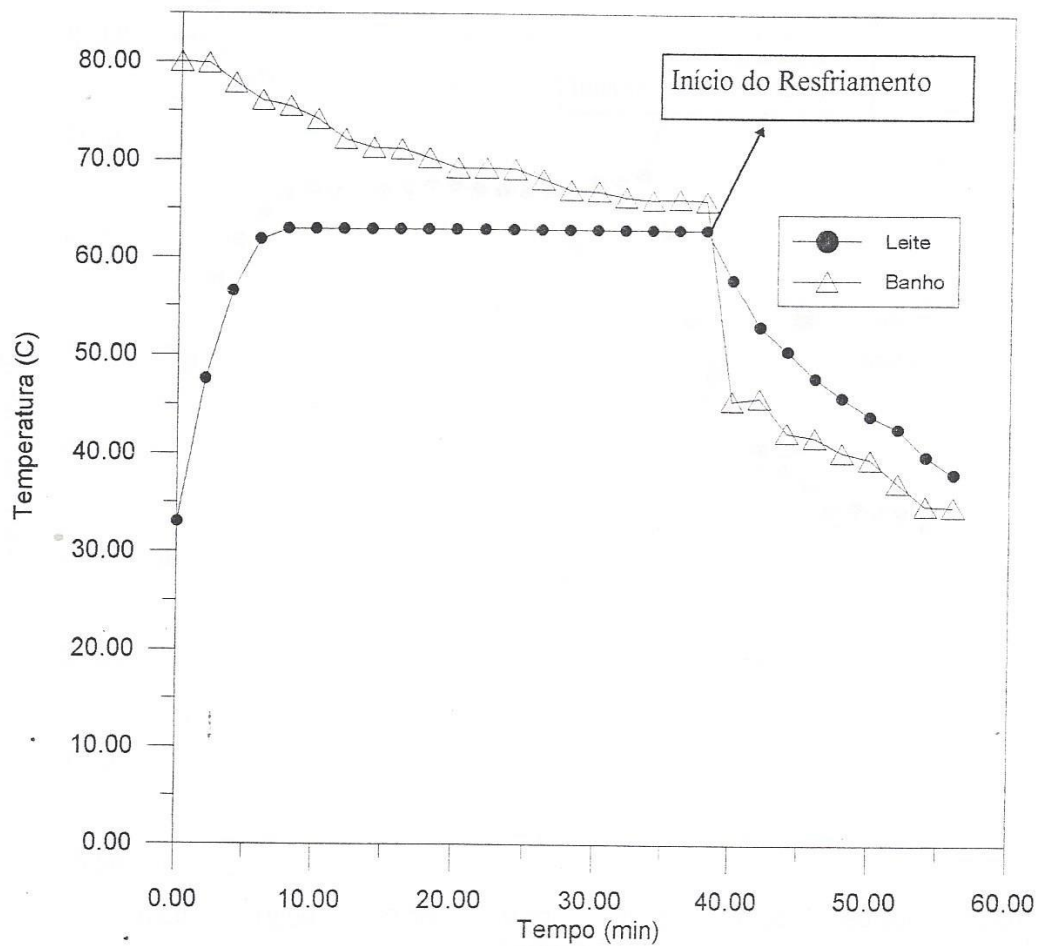


Figura 31 - Perfil da pasteurização do leite à 63°C - experimento (III)

TABELA 15- Dados experimentais nº 3

TEMPERATURA (C)	TEMPO (MIN)	VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm		
AMBIENTE	28	OP.AQ.BANHO	28	6.5	12.5	147
ÁGUA CORRENTE	29.5	AQ.PAST.	8			
INICIAL DO LEITE	33	MANUTENÇÃO	30			
PASTEURIZAÇÃO	63	RESF.DO LEITE	18			
BANHO	80	DURAÇÃO	84			
FINAL DO LEITE	38.1					

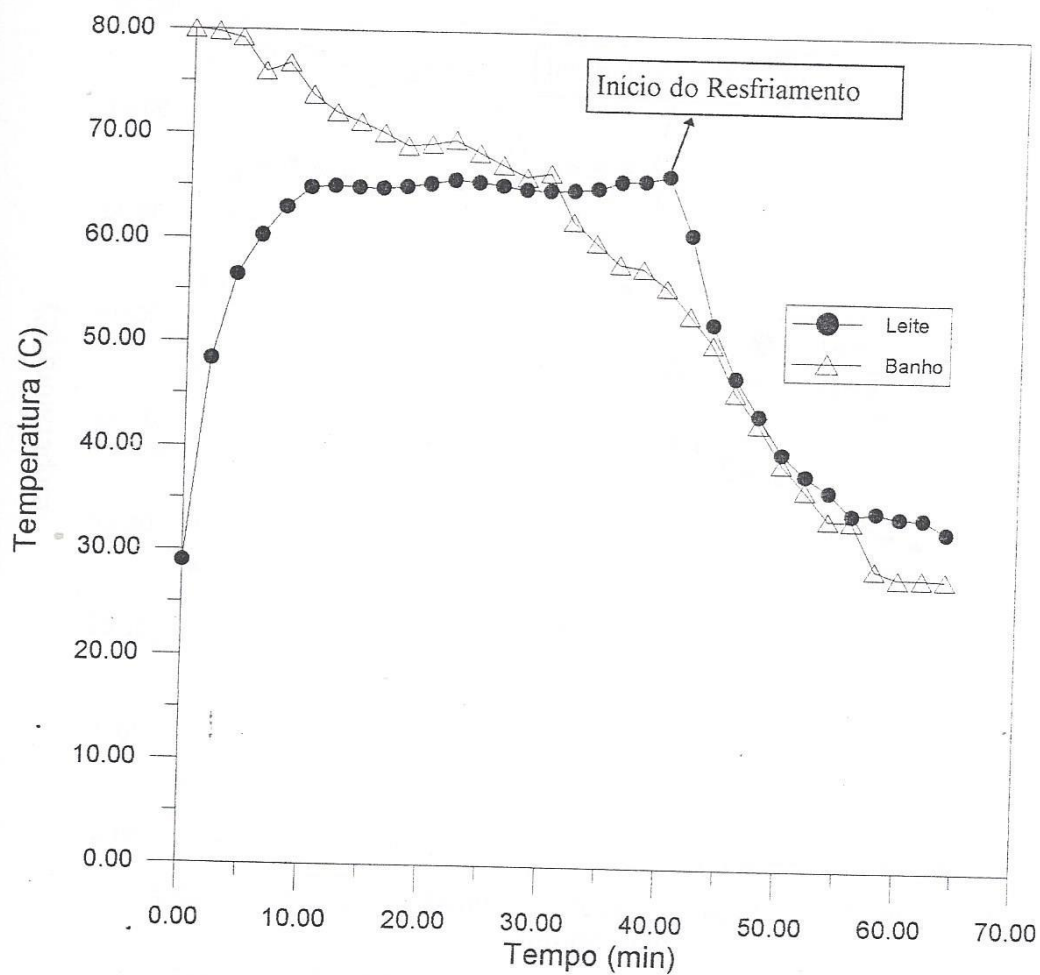


Figura 32 - Perfil da pasteurização do leite à 65°C - experimento (I)

TABELA 16-Dados experimentais nº 4

TEMPERATURA (C)	TEMPO (MIN)	VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm		
AMBIENTE	27	OP.AQ.BANHO	26	6,5	12,5	147
ÁGUA CORRENTE	25.6	AQ. PAST.	10			
INICIAL DO LEITE	29	MANUTENÇÃO	30			
PASTEURIZAÇÃO	65	RESF.DO LEITE	24			
BANHO	80	DURAÇÃO				
FINAL DO LEITE	32.6					

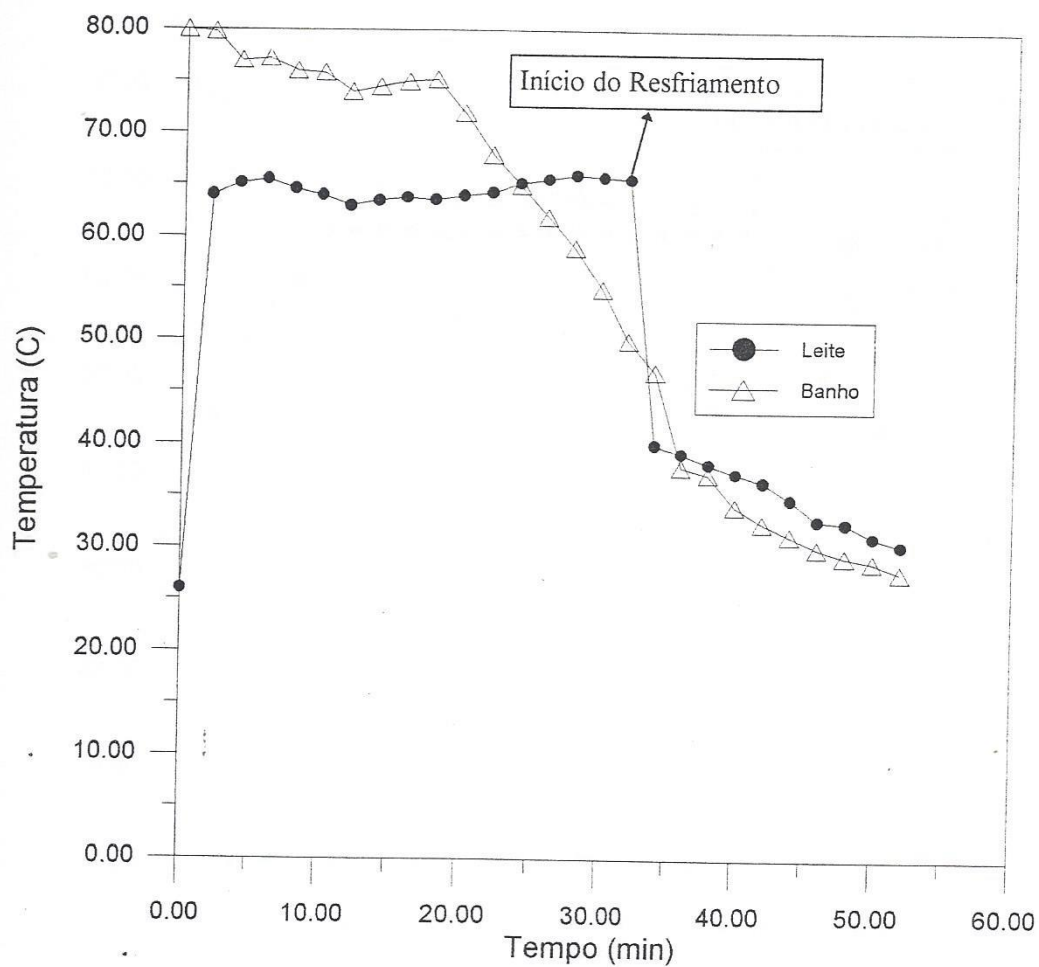


Figura 33 - Perfil de tempo-temperatura a 65°C - experimento II

TABELA 17-Dados experimentais nº 5

TEMPERATURA (C)		TEMPO (MIN)		VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm
AMBIENTE	26.5	OP.AQ.BANHO	20	6.5	12.5	147
ÁGUA CORRENTE	27.5	AQ. PAST.	5			
INICIAL DO LEITE	26	MANUTENÇÃO	30			
PASTEURIZAÇÃO	65	RESF.DO LEITE	20			
BANHO	80	DURAÇÃO	55			
FINAL DO LEITE	27.8					

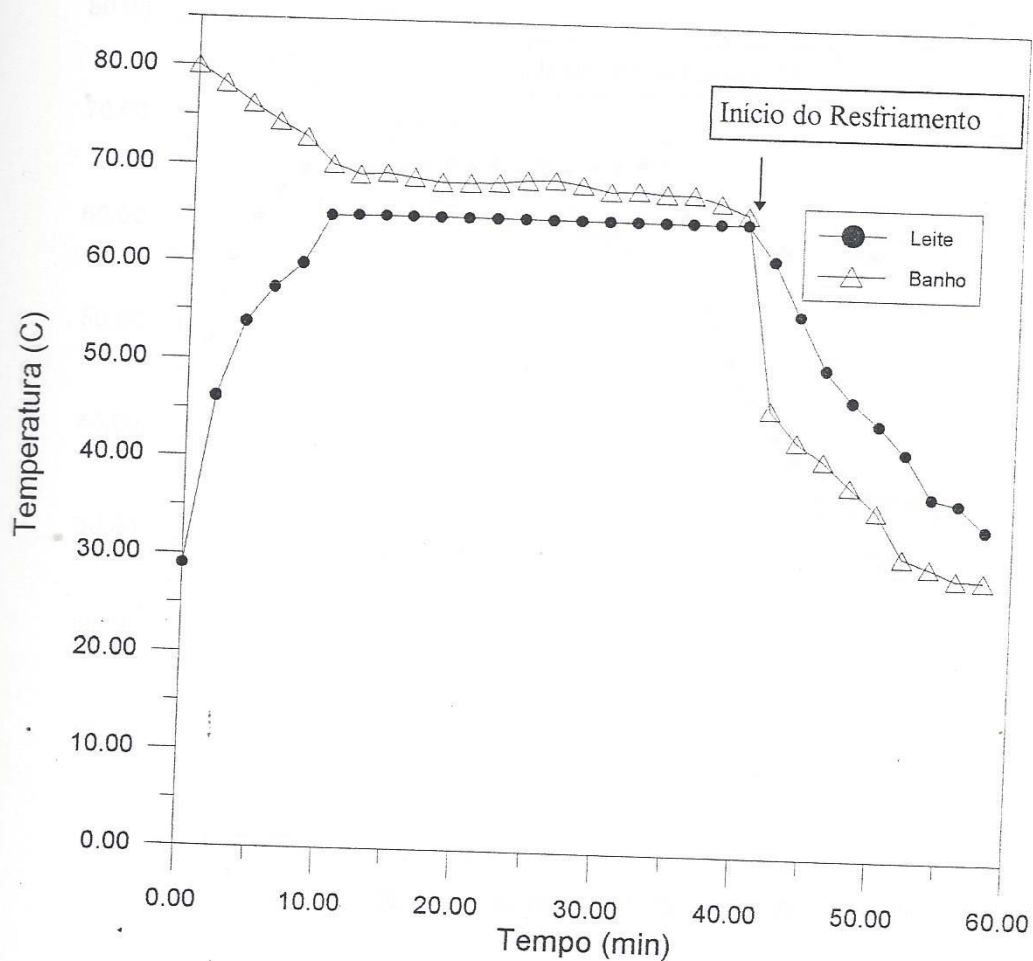


Figura 34 - Perfil de tempo-temperatura a 65°C - experimento III

TABELA 18-Dados experimentais nº 6

TEMPERATURA (C)	TEMPERATURA (C)	TEMPO (MIN)	VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE	
					rpm	
AMBIENTE	26.7	OP.AQ.BANHO	25	6,5	12,5	147
ÁGUA CORRENTE	27.7	AQ. PAST.	10			
INICIAL DO LEITE	29	MANUTENÇÃO	30			
PASTEURIZAÇÃO	65	RESF.DO LEITE	18			
BANHO	80	DURAÇÃO	83			
FINAL DO LEITE	34.2					

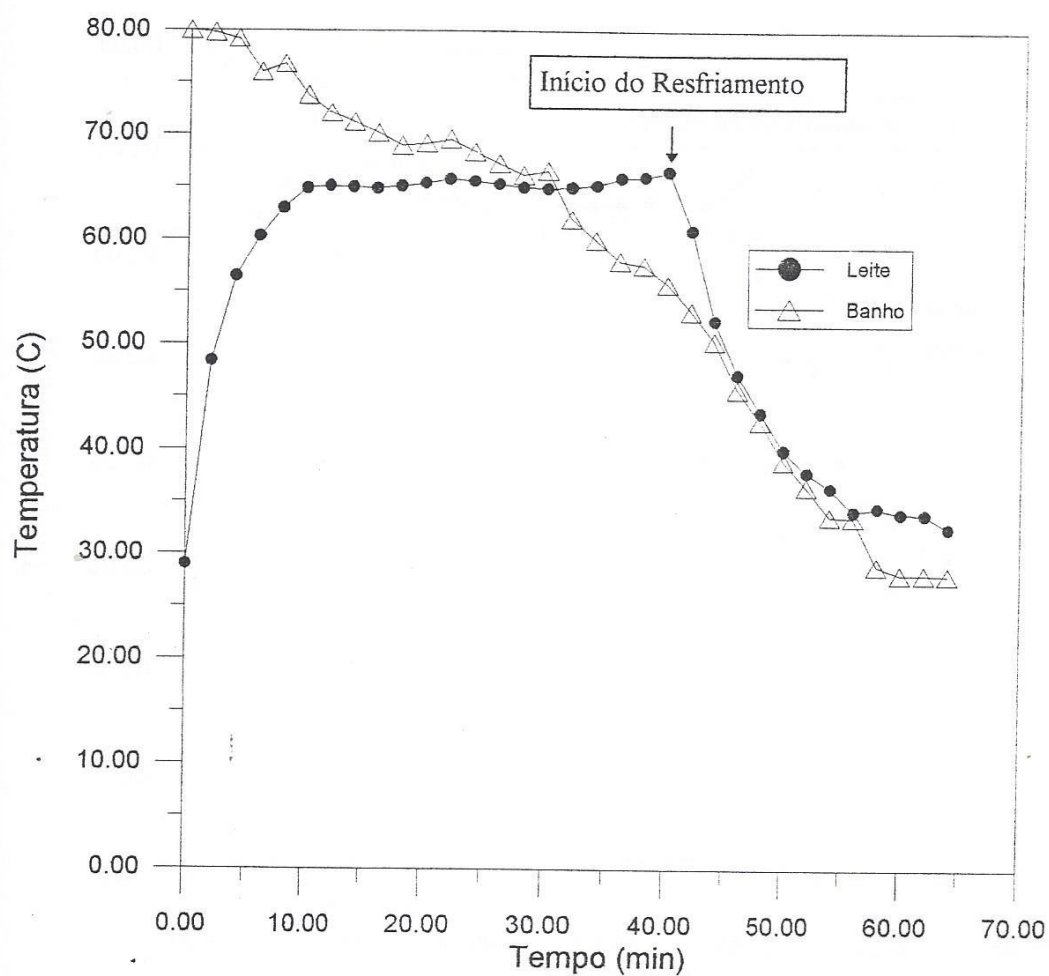


Figura 35- Perfil de tempo-temperatura a 67°C - experimento I

TABELA 19-Dados experimentais nº 7

	TEMPERATURA	TEMPO	VOLUME	VOLUME	VELOCIDADE	
	(C)			(MIN)		LEITE (l)
AMBIENTE	27.5	OP.AQ.BANHO	30	6,5	12,5	147
ÁGUA CORRENTE	28	AQ. PAST.	10			
INICIAL DO LEITE	30	MANUTENÇÃO	30			
PASTEURIZAÇÃO	67	RESF.DO LEITE	24			
BANHO	80	DURAÇÃO	94			
FINAL DO LEITE	32.6					

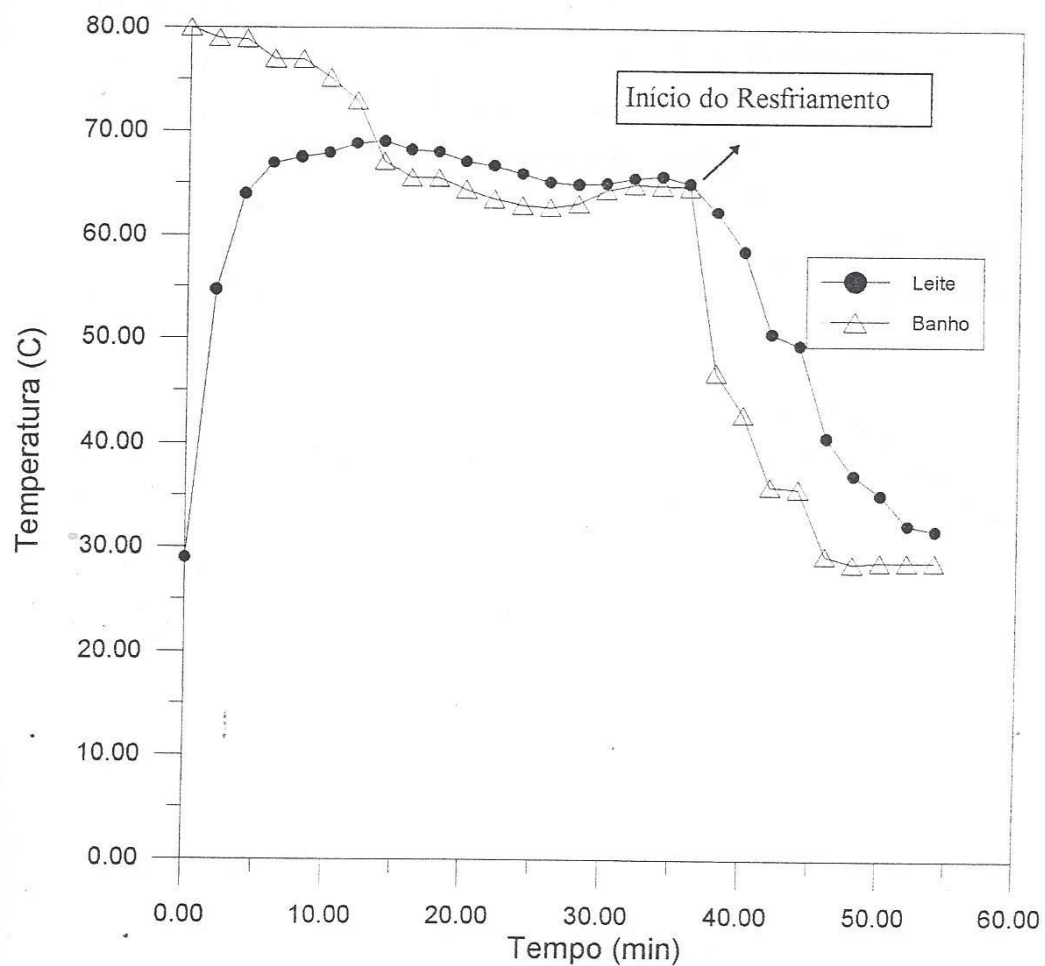


Figura 36- Perfil de tempo-temperatura a 67°C - experimento II

TABELA 20-Dados experimentais nº 8

TEMPERATURA (C)	TEMPO (MIN)	VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm		
AMBIENTE	25	OP.AQ.BANHO	30	6,5	12,5	147
ÁGUA CORRENTE	27.3	AQ. PAST.	6			
INICIAL DO LEITE	29	MANUTENÇÃO	30			
PASTEURIZAÇÃO	67	RESF.DO LEITE	18			
BANHO	80	DURAÇÃO	84			
FINAL DO LEITE	31.8					

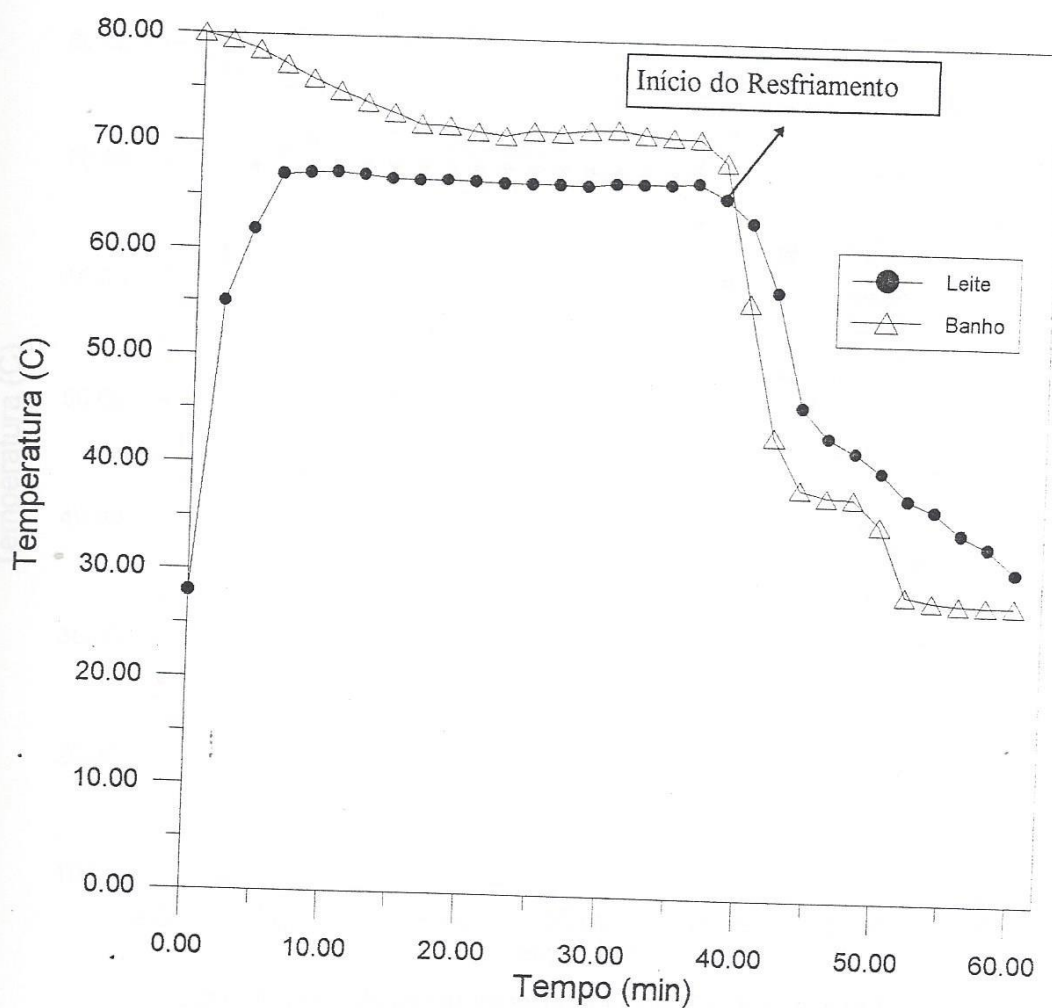


Figura 37 - Perfil de tempo-temperatura a 67°C - experimento III

TABELA 21-Dados experimentais nº 9

TEMPERATURA (C)	TEMPO (MIN)	VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE
				rpm
AMBIENTE	24.3	OP.AQ.BANHO	30	147
ÁGUA CORRENTE	28	AQ. PAST.	6	
INICIAL DO LEITE	28	MANUTENÇÃO	30	
PASTEURIZAÇÃO	67	RESF.DO LEITE	24	
BANHO	80	DURAÇÃO	90	
FINAL DO LEITE	31.2			

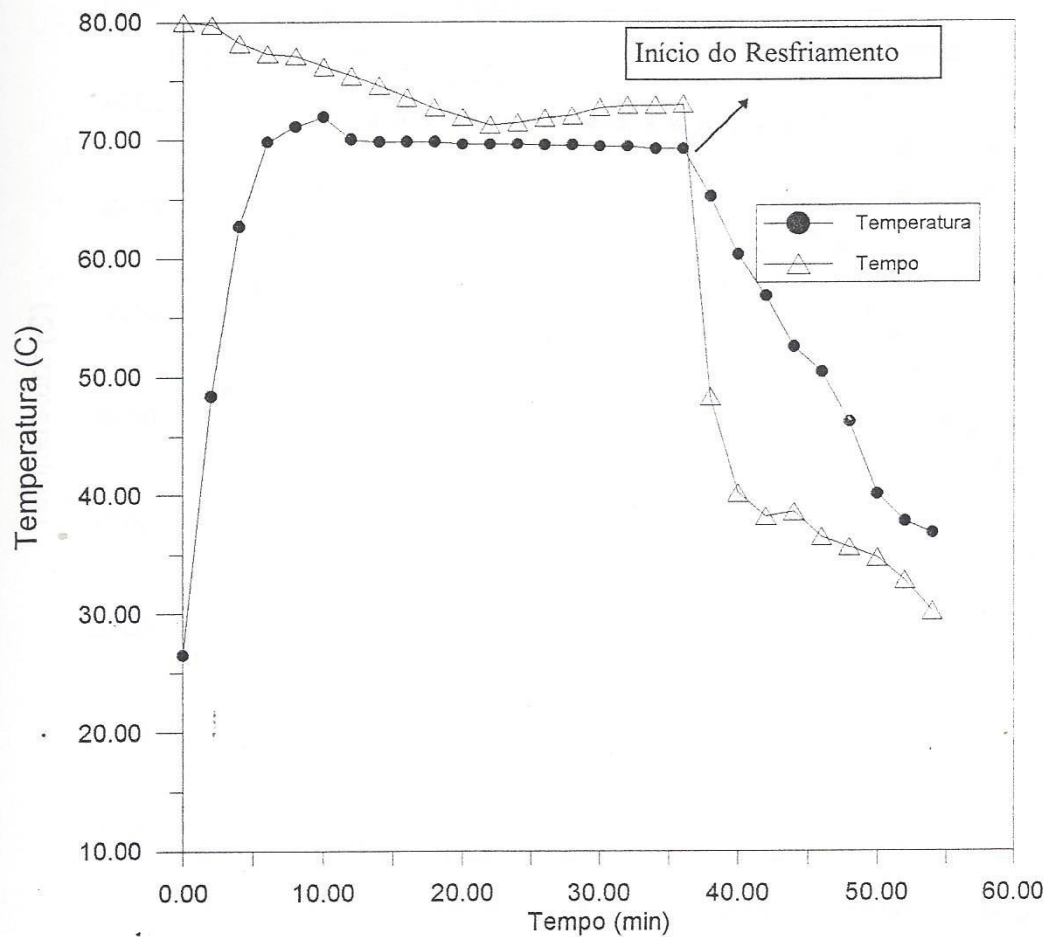


Figura 38- Perfil de tempo-temperatura a 69°C - experimento I

TABELA 22-Dados experimentais nº 10

TEMPERATURA (C)		TEMPO (MIN)		VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm
AMBIENTE	28	OP.AQ.BANHO	21	6,5	12,5	147
ÁGUA CORRENTE	26	AQ. PAST.	11			
INICIAL DO LEITE	14	MANUTENÇÃO	30			
PASTEURIZAÇÃO	69	RESF.DO LEITE	18			
BANHO	8	DURAÇÃO				
FINAL DO LEITE	36,8					

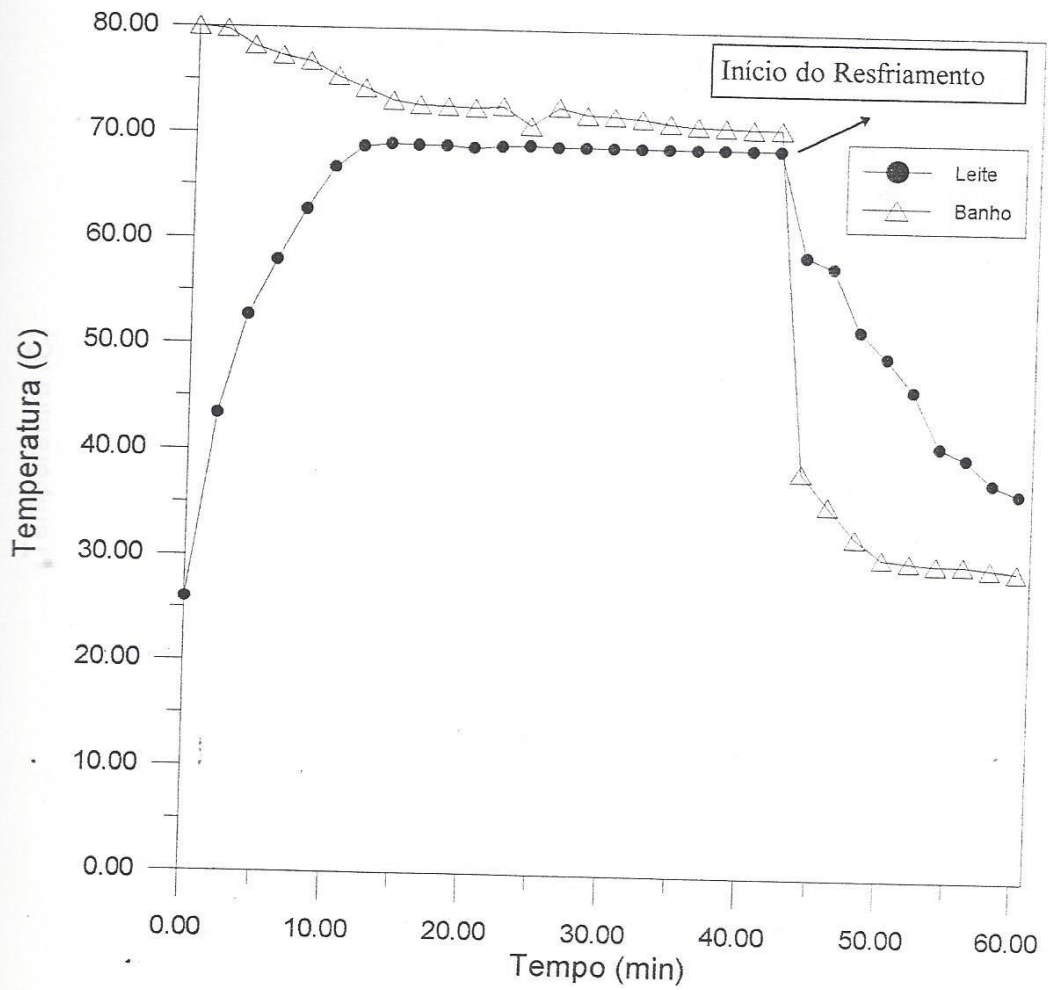


Figura 39 - Perfil de tempo-temperatura a 69°C - experimento II

TABELA 23-Dados experimentais nº 11

TEMPERATURA (C)		TEMPO (MIN)		VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm
AMBIENTE	27	OP.AQ.BANHO	21	6,5	12,5	147
ÁGUA CORRENTE	27.1	AQ. PAST.	12			
INICIAL DO LEITE	26	MANUTENÇÃO	30			
PASTEURIZAÇÃO	69	RESF.DO LEITE	18			
BANHO	80	DURAÇÃO	81			
FINAL DO LEITE	36.8					

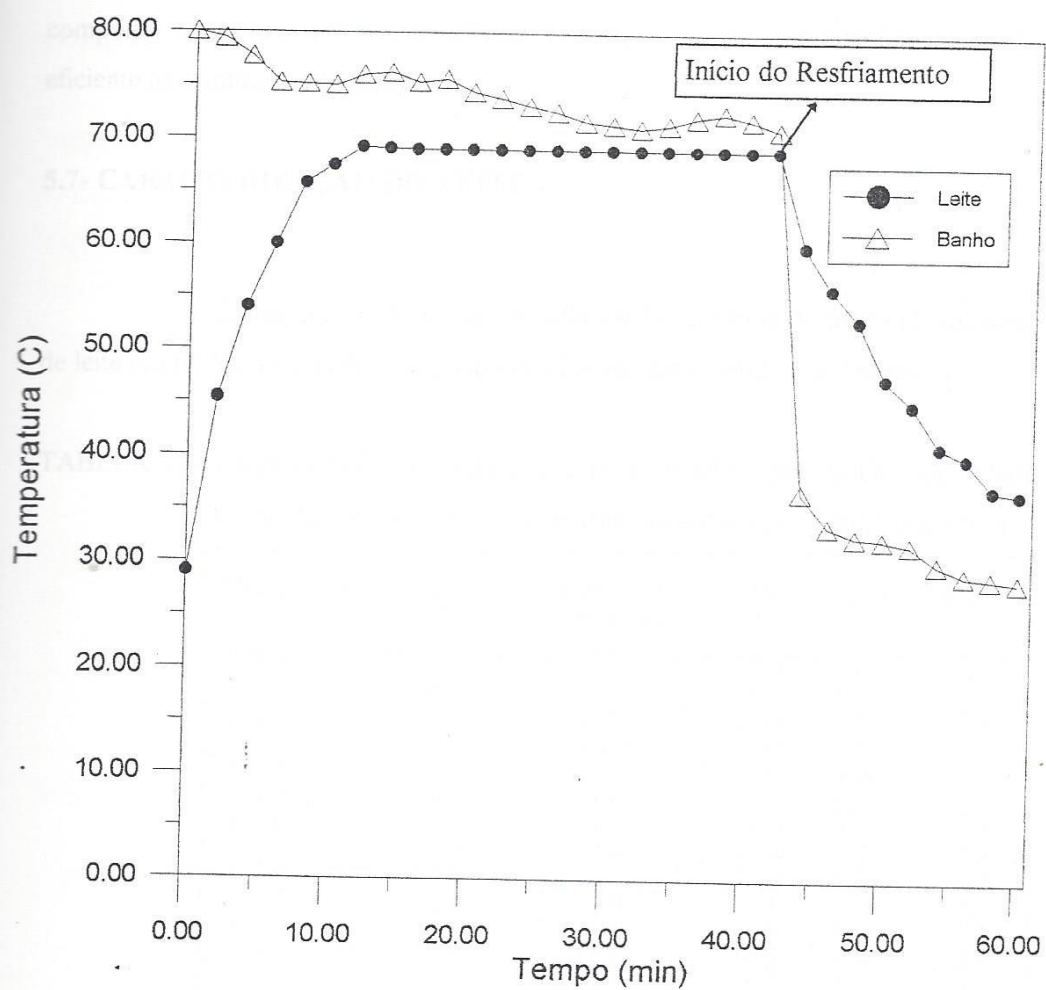


Figura 40 - Perfil de tempo-temperatura a 69°C - experimento III

TABELA 24-Dados experimentais nº 12

TEMPERATURA (C)		TEMPO (MIN)		VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm
AMBIENTE	26.6	OP.AQ.BANHO	28	6,5	12,5	147
ÁGUA CORRENTE	29	AQ. PAST.	12			
INICIAL DO LEITE	29	MANUTENÇÃO	30			
PASTEURIZAÇÃO	69	RESF.DO LEITE	18			
BANHO	80	DURAÇÃO	88			
FINAL DO LEITE	36.8					

Os perfis de temperaturas de pasteurização com o tempo apresentaram comportamentos semelhantes, conforme Figuras 29 a 40. Verificando-se que foi eficiente na otimização do tempo.

5.7- CARACTERIZAÇÃO DO LEITE

Os resultados da caracterização de 30 amostras de leite (15 amostras de leite cru e 15 amostras de leite pasteurizado) são apresentados na Tabela 25.

TABELA 25- Caracterização do leite cru e pasteurizado: pH, acidez, densidade corrigida, extrato seco total, extrato seco desengordurado e gordura.

ENSAIO	pH	ACIDEZ (°D)	DENSIDADE CORRIGIDA g/l	EST %	ESTD %	GORDURA %
1 L.C	6.5	16.0	1.031	12.93	8.83	4.1
LP	6.5	16.0	1.032	12.92	8.82	4.0
2 L.C	6.0	16.0	1.029	11.83	8.23	3.6
LP	6.1	15.0	1.030	11.82	8.22	3.2
3 L.C	7.5	14.0	1.032	12.58	8.48	3.6
LP	7.5	18.0	1.035	12.60	8.49	3.7
4 L.C	6.0	16.0	1.035	14.05	9.85	4.2
LP	6.5	16.0	1.034	14.52	9.72	4.8
5 L.C	6.5	16.0	1.031	12.69	8.79	3.9
LP	6.5	16.0	1.034	13.80	9.60	4.2
6 L.C	6.5	16.0	1.030	12.32	8.52	3.8
LP	6.5	16.0	1.030	12.32	8.52	3.8
7 L.C	6.5	16.0	1.033	13.67	9.37	4.3
LP	6.5	16.0	1.033	13.67	9.37	4.3
8 L.C	6.6	15.0	1.030	12.20	8.50	3.7
LP	6.6	16.0	1.034	12.20	8.50	3.7
9 L.C	6.5	16.0	1.032	12.94	9.04	3.9
LP	6.5	16.0	1.032	12.94	9.04	3.9
10 L.C	6.5	16.0	1.032	12.94	9.04	3.9
LP	6.5	16.0	1.032	12.94	9.04	3.9
11 L.C	6.6	16.0	1.032	12.94	9.04	3.9
LP	6.5	16.0	1.034	13.83	9.03	4.1
12 L.C	6.5	16.0	1.032	12.96	8.94	4.0
LP	6.6	16.0	1.033	13.16	8.86	4.3
13 L.C	6.5	16.0	1.034	13.90	9.40	4.5
LP	6.6	16.0	1.034	13.90	9.40	4.5
14 L.C	6.6	16.0	1.035	14.50	10.0	4.5
LP	6.6	16.0	1.035	14.50	10.0	4.5
15 L.C	6.5	16.0	1.035	13.55	9.25	4.3
LP	6.5	16.0	1.035	13.55	9.25	4.3

EST- Extrato Seco
 ESD- Extrato Seco Desengordurado Total
 L.C - Leite Cru
 L.P - Leite Pasteurizado

Os resultados do experimento nº1 (Tabela 25) são usados como referência para os resultados das análises posteriores.

A variação do pH na maioria dos experimentos foi entre 6,5 e 6,6, estando dentro dos padrões para o leite normal (6,5- 6,7), segundo LANARA (1981). Embora nos experimentos de nº2 e nº4 o pH apresentou-se entre (6,0 - 6,1) e no experimento nº7 o pH foi de 7,5. A acidez foi de 14° Dornic, em praticamente todos os experimentos, o valor está de acordo o RIISPOA (1980), isto é, Art. 476 §3º e as portarias de 24/04/1980 da SIPA/MA, que permitem variações de acidez entre 15-18°Dornic, para os três tipos de leite A, B e C. A exceção foi o experimento nº3 que a acidez foi de 14°Dornic e 18°Dornic para o leite cru e pasteurizado, respectivamente.

Os valores das densidades encontradas (1,029-1,035 g/l) estão dentro dos padrões estabelecidos para o leite com teor gordura mínimo de 3,2%, de acordo com a Portaria 005/80 de 24/04/80 da SIPA/MA e RIISPOA, 1980: Art. 476-3, p.81 que compreendem entre (1018 e 1033), (1031 e 1035 g/l) LANARA (1988). O EST (extrato seco total), o limite mínimo de 11,5%, de acordo com o RIISPOA, e o encontrado, compreende de (11,83-14,50%) e ESD (extrato seco desengordurado) no limite mínimo de 8,5%, o encontrado foi de (8,22-10,0%)

5.7.1 - Determinações das Atividades Enzimáticas da Peroxidase e da Fosfatase

As determinações das atividades enzimáticas da peroxidase e da fosfatase do leite cru e do pasteurizado dos 15 experimentos, encontram-se na Tabela 26.

TABELA 26 - Resultados das análises enzimáticas da peroxidase e da fosfatase dos leites cru e pasteurizado em escala de laboratório

EXPERIMENTO	LEITE CRU		LEITE PASTEURIZADO	
	PEROXIDASE	FOSFATASE	PEROXIDASE	FOSFATASE
1	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
2	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
3	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
4	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
5	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
6	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
7	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
8	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
9	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
10	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
11	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
12	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
13	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
14	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
15	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA

Os resultados da determinação da atividade enzimática da peroxidase dos leites cru e pasteurizado, foram em todas as amostras positivas. Esses resultados estão conforme o Art. 540 §1º do RIISPOA (1980:93), os resultados (Tabela 26).

Os resultados da determinação da atividade enzimática da fosfatase do leite cru, em todas as amostras foram positivas, e no leite pasteurizado todas as amostras foram negativas indicando uma pasteurização eficaz. Esses resultados estão conforme o Art. 540 §1º do RIISPOA (1980:93).

5.7.2- Ensaio Microbiológicos em Escala de Laboratório

5.7.2.1- Determinação das cargas microbianas dos leites cru e pasteurizado que foram submetidas a temperatura de 63°C, 65°C, 67°C e 69°C

Os resultados das contagens totais de mesófilos e de coliformes fecais e totais das 12 amostras de leite cru e 12 amostras de leite pasteurizado, estão de acordo Art. 540 §2º do RIISPOA (1980:93), e calculou-se a eficácia de pasteurização de cada temperatura de acordo com a fórmula (18) os resultados são apresentados na Tabela 27.

TABELA 27 - Resultados da análise microbiológicos e da eficácia de pasteurização à 63°, 65°, 67° e 69°C

EXPERIMENTO	AMOSTRA	CONTAGEM PADRÃO DE MESÓFILO EM PLACA (UFC/ml)	EFICÁCIA DE PASTEURIZAÇÃO (%)	CONTAGEM DE COLIFORME FECAL (NMP/ml)	EFICÁCIA DE PASTEURIZAÇÃO (%)
T (63 °C)	L.C	1.2. 10 ⁶	75.0	>110	99.9
t (30min) (I)	L.P	3.0. 10 ⁵		0.36	
T (63 °C)	L.C	3.0. 10 ⁶	90.0	>110	99.9
t (30min) (II)	L.P	3.0. 10 ⁵		0.36	
T (63 °C)	L.C	1.6. 10 ³	99.9	>110	99.9
t (30min) (III)	L.P	7.0. 10 ²		NEGATIVO	
T (65 °C)	L.C	3.4. 10 ⁵	99.9	>110	100
t (30min) (I)	L.P	2.7. 10 ³		2.3	
T (65 °C)	L.C	1.6. 10 ⁶	99.9	>110	100
t (30min) (II)	L.P	4.0. 10 ²		NEGATIVO	
T (65 °C)	L.C	1.8. 10 ⁵	99.9	>110	100
t (30min) (III)	L.P	3.2. 10 ²		NEGATIVO	
T (67 °C)	L.C	1.8. 10 ⁵	99.9	>110	100
t (30min) (I)	L.P	1.8. 10 ³		NEGATIVO	
T (67 °C)	L.C	1.6. 10 ⁵	99.9	>110	100
t (30min) (II)	L.P	1.2. 10 ²		NEGATIVO	
T (67 °C)	L.C	1.5. 10 ⁶	99.9	>110	100
t (30min) (III)	L.P	1.2. 10 ³		NEGATIVO	
T (69 °C)	L.C	1.5. 10 ⁶	99.9	>110	100
t (30min) (I)	L.P	1.2. 10 ³		NEGATIVO	
T (69 °C)	L.C	1.5. 10 ⁵	99.9	>110	100
t (30min) (II)	L.P	1.3. 10 ²		NEGATIVO	
T (69 °C)	L.C	1.2. 10 ⁵	99.9	>110	100
t (30min) (III)	L.P	1.2. 10 ²		NEGATIVO	

* fora dos padrões

L.C - leite cru

L.P - leite pasteurizado

NMP - Número Mais Provável

UFC - Unidade Formadora de Colônia

A contagem total de mesófilos nas 12 amostras analisadas de leite cru foram relativamente altas, variando de $1,2 \times 10^6$ a $3,4 \times 10^6$, com média aritmética de $2,3 \times 10^6$ UFC/ml. Esses valores encontram-se de acordo com o RIISPOA, Art. 540 § 2º que apresenta um valor ($>10^6$) antes da pasteurização, com os resultados dos trabalhos realizados por BARROS *et alii* (1984) *apud* ANTUNES & OLIVEIRA (1986:20), que encontraram um valor médio elevado de $2,0 \times 10^6$ e $6,9 \times 10^7$ UFC/ml em leite tipo C e com os encontrados por COSTA *et alii* (1989:8) ($1,4 \times 10^4$ a $3,0 \times 10^8$ UFC/ml de mesófilos) em leite cru na cidade de São Paulo em 1982. Já RYAN *et alii apud* (COSTA *et alii* 1989:9) na Lousiana, encontraram uma média mais baixa de $1,1 \times 10^5$ UFC/ml. Estas contagens de mesófilos totais relativamente altas indicam que as condições sanitárias de ordenha são precárias, tais como a contaminação do animal, do úbere, do pó, do ar ambiente, do feno e dos utensílios não higienizados adequadamente [LEITÃO *et alii* (1987:1), FROEDER (1989) *apud* COSTA *et alii* (1989:8); NASCIMENTO (1988) e ROGICK (1966:203)]. Comprova-se que altas contagens de microrganismos no leite cru influenciam na durabilidade do produto. Os alimentos com alta contagem de microrganismo, são considerados impróprios para o consumo pois há maior possibilidade da presença de bactérias patogênicas, isso sem contar que alterações da ordem de 10^6 a 10^8 , já apresentam sinais de deterioração. [COVARRUBIAS *et alii* (1975) *apud* BARROS *et alii* (1984:202) e VIEIRA (1976)].

As contagens de microrganismos no leite pasteurizado variaram entre $1,2 \times 10^2$ a $7,0 \times 10^2$, com média aritmética de $4,1 \times 10^2$. O RIISPOA, de acordo com o Art. 540 § 2º, define um limite máximo de microrganismos para o leite de aproximadamente $1,5 \times 10^5$. Verificou-se portanto, que o leite submetido as temperaturas de 63°C , 65°C , 67°C e 69°C , apresentou resultados satisfatórios.

Para os resultados obtidos à temperatura de $63^\circ\text{C}/30$ minutos, (tempo necessário para inativar os microrganismos banais) variaram entre $3,0 \times 10^5$ a $7,0 \times 10^2$, com média aritmética de $5,0 \times 10^3$, que está de acordo com a legislação brasileira o RIISPOA (1980:93). Pode-se concluir, segundo MUR (1954:91) que usando à temperatura de 60°C por cinco minutos, reduz somente a virulência do bacilo de

Koch, e à 63°C por 30 minutos, o mesmo é destruído desde que o pH do leite seja de 6,7. Se o pH do leite for de 6,0, a *Escherichia Coli* é destruída à 63°C, se não houver espuma em sua presença. O microrganismo *Brucella abortus*, quando é aquecido à temperatura entre 62-63°C, é destruído com 20 minutos, a não ser que também exista presença de "espuma". De acordo com o MUR (1954) o leite quando submetido as essas condições os microrganismos patogênicos são destruídos.

Os resultados obtidos nos experimentos à temperatura de 63°C por 30 minutos, com pH entre (6,5-6,6) variaram de $3,0 \times 10^5$ a $7,0 \times 10^2$, com média aritmética de $5,0 \times 10^4$, sendo satisfatório.

Os resultados da eficácia de pasteurização nos experimentos à temperatura de 63°C por 30 minutos, encontram-se na Tabela 27. Observou-se que as mesmas variaram dentre 75 e 99,9%, sendo que 25% das pasteurizações, estão abaixo de 85%, Esses valores encontrados está de acordo com os resultados de CARMONA (1975) e da Comissão do CODEX ALIMENTARES FAO/OMS (1982) *apud* por BARROS *et alii* (1984:200).

Para a temperatura de 65°C, realizada nos experimentos com três repetições e um controle, constatou-se que as contagens variaram de $4,0 \times 10^2$ a $2,7 \times 10^3$, com média aritmética de $3,5 \times 10^3$, com eficácia de pasteurização ao nível de 99.9%.

Para as temperaturas de 67° e 69°C, comprovou-se nos experimentos realizados com três repetições e um controle, que as contagens variaram de $1,8 \times 10^3$ a $1,2 \times 10^2$ e $1,3 \times 10^2$ a $1,2 \times 10^2$, respectivamente. Sendo que a temperatura de 69°C, é considerada no tratamento térmico do leite do tipo semi-longa vida, segundo o Art.517 §8º do RIISPOA (1980), que tolera-se o aquecimento entre 68-70°C, com algumas especificações, destinado à fabricação de queijo.

Os resultados das análises da eficácia de pasteurização também não variaram de 99.9%.

Os resultados da contagem de coliforme fecal em NMP (Número Mais Provável) variaram no leite cru de 7,7 a 1.1×10^6 /ml (Tabela 27). Segundo BARROS *et alii apud* COSTA *et alii* (1989:10), os valores médios de coliformes fecais foram

em média de 0,16 coliformes fecais por ml e a antiga legislação brasileira de acordo com RIISPOA (1980:81) do Art. 476 §3º não permite nesse tipo de produto a presença de tais microrganismos. Mas conforme a nova Portaria 001 da Divisão Nacional de Vigilância Sanitária de Alimentos DINAL, (1987), de 28 de janeiro de 1987, esses padrões foram modificados, permitindo assim a presença do mesmo, conforme Tabela 28.

TABELA 28-Padrões microbiológicos para o leite pasteurizado segundo (DINAL, 1987)

LEITE PASTEURIZADO	SALMONELLA (ausência em)	COLIFORMES (NMP)		CONTAGEM PADRÃO EM PLACAS (máximo)
		TOTAIS (máximo)	FCAIS (mínimo)	
Tipo "B"	25 ml	4/ml	1/ml	$8 \cdot 10^4$ / ml
Tipo "C"	25 ml	10/ml	2/ml	$3 \cdot 10^5$ / ml
Tipo "R"	25 ml	10/ml	2/ml	$2 \cdot 10^6$ / ml

Tipo "R"- leite reconstituído

Nos resultados encontrados no leite pasteurizado, comprovou que em duas amostras de leite que foram submetidas a temperatura de 63°C nas repetições (I) e (II), foi confirmado a presença de coliformes fecais na ordem de 0,36 g/ml, com média aritmética de 0,24 g/ml conforme (Tabela 28).

A eficácia de pasteurização à temperatura de 63°C, não apresentou nenhum valor percentual de redução abaixo de 99,9%. Esses valores encontrados foram semelhantes aos encontrados por NASCIMENTO (1982); BEHMER (1981) e SPREER (1975) *apud* SCHOCKEN-ITURRINO (1989:264), de 99,21%, 99,98% e 99,5%, respectivamente.

Segundo COSTA *et alii* (1989:10), os coliformes são destruídos durante a pasteurização na faixa de 99,9%. Na pasteurização com a temperatura de 65°C, constatou-se na repetição (I) a presença de coliformes na ordem 2,3 g/ml, com média aritmética de 0,76 g/ml, sendo necessário analisar esta amostra isoladamente, encontrando-se uma eficácia de pasteurização ao nível de 97,9%, este valor foi citado

por DIAS & ROGICK (1966) *apud* BARROS *et alii* (1984:200) Mas, assim mesmo foi necessário repetir esse experimento e a eficácia de pasteurização ficou ao nível de 99.9%, estando dentro dos resultados citados acima. Estes resultados encontrados vêm corroborar com as suposições de BYRAN *et alii* (1988) *apud* COSTA *et alii* (1989); NASCIMENTO (1991); BARROS *et alii* (1986) *apud* COSTA *et alii* (1989), que diz que provavelmente pode ter sido proveniente de contaminações pós-pasteurização.

As amostras das repetições (II) e (III) da temperatura 65°C obtiveram resultados negativos, tendo uma eficácia de pasteurização de 100%. Nas demais amostras, que foram submetidas às temperaturas de 67°C, nas repetições (I), (II) e (III) e 69°C, nas repetições (I), (II) e (III), obtiveram resultados negativos e a eficácia de pasteurização foi ao nível de 100%. De acordo com os resultados que foram satisfatórios nos experimentos preliminares (escala de laboratório), passou para a escala-piloto.

5.8- TESTES OPERACIONAIS NO PASTEURIZADOR "III" NA ESCALA PILOTO

Os testes operacionais no pasteurizador em escala piloto, consistiu no aquecimento a temperatura mínima de pasteurização de 63°C e a máxima de 69°C por 30 minutos, com aquecimento prévio da água da camisa até à temperatura de 80°C. O leite cru estava à 28°C antes de iniciar o aquecimento e a água corrente para o resfriamento à 27°C.

Os resultados da duração total do processo, desde o início do aquecimento da água do banho até o resfriamento do leite estão nas Tabelas 29 a 33.

TABELA 29- Os resultados dos testes operacionais no pasteurizador "III" em escala piloto utilizando a temperatura de pasteurização à 63°C (I)

TEMPERATURA (C)		TEMPO (MIN)		VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm
AMBIENTE	28	OP.AQ.BANHO	91'25"	32	55	86
ÁGUA CORRENTE	30	AQ. PAST.	10'20			
INICIAL DO LEITE	31.5	MANUTENÇÃO	30			
PASTEURIZAÇÃO	63	RESF.DO LEITE	40			
BANHO	80	DURACÃO				
FINAL DO LEITE	32					

TABELA 30-Os resultados dos testes operacionais no pasteurizador "III" em escala piloto, utilizando a temperatura de pasteurização à 63°C (II)

TEMPERATURA (C)		TEMPO (MIN)		VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm
AMBIENTE	27.5	OP.AQ.BANHO	88'50"	32	55	86
ÁGUA CORRENTE	29	AQ. PAST.	10'			
INICIAL DO LEITE	31.5	MANUTENÇÃO	30			
PASTEURIZAÇÃO	63	RESF.DO LEITE	40			
BANHO	80	DURACÃO				
FINAL DO LEITE	34					

TABELA 31-Os resultados dos testes operacionais no pasteurizador "III" em escala piloto, utilizando a temperatura de pasteurização à 63°C (III)

TEMPERATURA (C)		TEMPO (MIN)		VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm
AMBIENTE	26	OP.AQ.BANHO	72	32	55	86
ÁGUA CORRENTE	28	AQ. PAST.	8'17"			
INICIAL DO LEITE	30	MANUTENÇÃO	30			
PASTEURIZAÇÃO	63	RESF.DO LEITE				
BANHO	80	DURACÃO				
FINAL DO LEITE	29					

5.8.1- Caracterização do leite

TABELA 32-Os resultados dos testes operacionais no pasteurizador "III" em escala piloto, utilizando a temperatura de pasteurização à 69°C (I)

TEMPERATURA (C)		TEMPO (MIN)		VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm
AMBIENTE	29	OP. AQ. BANHO	85	32	55	86
ÁGUA CORRENTE	29.5	AQ. PAST.	17'46"			
INICIAL DO LEITE	31	MANUTENÇÃO	30			
PASTEURIZAÇÃO	69	RESF. DO LEITE	40			
BANHO	80	DURACÃO				
FINAL DO LEITE	30					

TABELA 33-Os resultados dos testes operacionais no pasteurizador "III" em escala piloto, utilizando a temperatura de pasteurização à 69°C (II)

TEMPERATURA (C)		TEMPO (MIN)		VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm
AMBIENTE	28	OP. AQ. BANHO	80	32	55	86
ÁGUA CORRENTE	28	AQ. PAST.	14'25"			
INICIAL DO LEITE	31	MANUTENÇÃO	30			
PASTEURIZAÇÃO	69	RESF. DO LEITE	14'25"			
BANHO	80	DURACÃO				
FINAL DO LEITE	29					

Nos testes operacionais no pasteurizador "III" em escala piloto, utilizou-se as temperaturas de pasteurização de 63°C (I), (II), (III) e 69°C (I) e (II), com 3 repetições para cada temperatura procedendo-se da seguinte forma:

Os tempos de aquecimento para atingir a temperatura da água do banho (80°C) foram de aproximadamente de 90 minutos, em todos os testes. Os tempos para atingir a temperatura de pasteurização à 63°C e 69°C foram 10 e 16 minutos, respectivamente, os tempos de resfriamento do leite foram de 40 minutos.

5.8.1- Caracterização do leite

Na Tabela 34 são apresentados os resultados da caracterização das 10 amostras de leite cru e pasteurizado.

TABELA 34- Caracterização dos leites cru leite/ pasteurizado: pH, acidez, densidade corrigida, extrato seco total, extrato seco desengordurado e gordura.

ENSAIO	pH	ACIDEZ (°D)	DENSIDADE CORRIGIDA g/l	EST %	ESTD %	GORDURA %
1 L.C	6,5	16,0	1,031	12,93	8,83	4,1
1 L.P	6,5	16,0	1,032	12,92	8,82	4,0
2 L.C	6,6	16,0	1,029	11,82	8,23	3,6
2 L.P	6,6	15,0	1,030	11,82	8,22	3,2
3 L.C	6,6	16,0	1,032	12,58	8,48	3,6
3 L.P	6,6	16,0	1,035	12,60	8,49	3,7
4 L.C	6,0	16,0	1,035	14,05	9,85	4,2
4 L.P	6,5	16,0	1,034	14,52	9,72	4,8
5 L.C	6,5	16,0	1,031	12,69	8,79	3,9
5 L.P	6,5	16,0	1,034	13,80	9,60	4,2
6 L.C	6,5	16,0	1,030	12,32	8,52	3,8
6 L.P	6,5	16,0	1,030	12,32	8,52	3,8
7 L.C	6,5	16,0	1,033	13,67	9,37	4,3
7 L.P	6,5	16,0	1,033	13,67	9,37	4,3
8 L.C	6,6	15,0	1,030	12,20	8,50	3,7
8 L.P	6,6	16,0	1,034	12,20	8,50	3,7
9 L.C	6,5	16,0	1,032	12,94	9,04	3,9
9 L.P	6,5	16,0	1,032	12,94	9,04	3,9
10 L.C	6,5	16,0	1,032	12,94	9,04	3,9
10 L.P	6,5	16,0	1,032	12,94	9,04	3,9

Os resultados apresentados em escala piloto variaram nos leites cru e pasteurizado foram de: pH (6,5-6,6); a acidez (15,0-16,0°D); densidade (1,019-1,035 g/l); EST (11,83-14,52%); ESTD (8,22-10,00%) e o teor de gordura (3,7-4,5%)

5.8.2.- Determinação da atividade enzimática da peroxidase e da fosfatase

Os resultados da determinação da atividade enzimática da peroxidase e da fosfatase são apresentados na Tabela 35.

TABELA 35 - Resultados das análises enzimáticas da peroxidase e da fosfatase do leite cru e do leite pasteurizado em escala piloto

EXPERIMENTO	LEITE CRU		LEITE PASTEURIZADO	
	PEROXIDASE	FOSFATASE	PEROXIDASE	FOSFATASE
1	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
2	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
3	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
4	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
5	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
6	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
7	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
8	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
9	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA
10	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	NEGATIVA

Os resultados das análises bioquímicas em escala-piloto, dos leites cru e pasteurizado foram: as atividades das enzimas fosfatase negativa e peroxidase positiva em todas as amostras, indicando uma pasteurização eficaz.

5.8.3- Ensaio Microbiológico em Escala Piloto

5.8.3.1- Determinações das cargas microbianas dos leites cru e pasteurizado que foram submetidos as temperaturas de 63°C e 69°C

Os resultados das contagens das 10 amostras (cru e pasteurizado) diferentes temperaturas, são apresentados na Tabela 36.

TABELA 36-Resultados da eficácia de pasteurização nos experimentos no protótipo III escala-piloto.

EXPERIMENTO	ENSAIO	CONTAGEM PADRÃO DE MESÓFILO EM PLACA (UFC/ml)	EFICÁCIA DE PASTEURIZAÇÃO (%)	CONTAGEM DE COLIFORME FECAL (NMP/ml)	EFICÁCIA DE PASTEURIZAÇÃO (%)
T (63 °C) t (30min) (I)	L.C L.P	1.2. 10 ⁶ 3.0. 10 ³	75.0	>110 0.36	99.9
T (63 °C) t (30min) (II)	L.C L.P	3.0. 10 ⁶ 3.0. 10 ²	90.0	>110 2.3	99.9
T (63 °C) t (30min) (III)	L.C L.P	1.6. 10 ⁵ 1.2. 10 ²	90.0	>110 NEGATIVO	99.9
T (69 °C) t (30min) (II)	L.C L.P	3.0. 10 ⁶ 3.0. 10 ²	90.0	>110 NEGATIVO	99.9
T (69 °C) t (30min) (II)	L.C L.P	3.0. 10 ⁶ 3.0. 10 ²	90.0	>110 NEGATIVO	99.9
Experimentos em duplicatas					

Os resultados da contagem total de mesófilos variou entre 10⁵ a 10⁶ no leite cru e entre 10² e 10³ no pasteurizado, a contagem de coliforme fecal no leite cru foi >110 NMP/ml e no pasteurizado em 3 experimentos variou de 0,36-2,3 NMP/ml, sendo nos restantes negativo. A eficácia da pasteurização variou de 75,0-99,9%.

5.9- RESULTADOS DAS DETERMINAÇÕES DOS COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO DE CALOR DO AR, ÁGUA E LEITE NO PASTEURIZADOR

Os valores encontrados para os coeficientes de transmissão de calor por convecção do ar e a água, foi analisado segundo KREITH (1977) descritos no (item a) do Capítulo IV. De acordo com os resultados obtidos para os coeficientes estudados (β , ρ , μ , Pr, K e L), foram calculados a partir das equações (29), (30), (31) e (32), obtendo-se os seguintes resultados para encontrar o coeficiente de transmissão de calor do ar, estão apresentados na Tabela 37.

TABELA 37- Resultados dos coeficientes para calcular Gr (Número de Grashof) para o ar

COEFICIENTE	RESULTADO
K_{Ar} (condutibilidade térmica do ar)	0,024 w/mK
L_{Total} (altura do recipiente de aço carbono)	0,320 m
Gr (Número de Grashof)	0,03232648
Pr (Número de Prandtl (40°C))	0,71
L (Altura da superfície de transferência de calor)	0,320 m
ρ_{AR} (Densidade do ar)	1,128 kg/m ³
g (Constante da aceleração gravitacional)	9,81 m/s ²
β (Coeficiente de expansão térmica)	$\frac{1}{T_{\infty}} = 0,0333 /^{\circ}C$
ΔT (Diferença de temperatura)	50 °C
C (constante)	0,68
m	1/4
μ (Viscosidade dinâmica)	18,676 N s/ m ²

Substituindo-se na equação (30) tem-se o resultado de Gr.:

Número de Grashof	Resultados
$Gr < 10^4$ (Laminar)	0,03232648

Aplicando a equação (29) obter-se o resultado do coeficiente de transmissão de calor no ar foi de:

$$h_{c_{Ar}} \text{ calculado} = 0,01239 \text{ w/m}^2\text{K}$$

TABELA 38- Os resultados dos coeficientes para calcular Gr (Número de Grashof) para a água.

COEFICIENTE	RESULTADO
K_{Ag} (condutibilidade térmica da água)	1,057 w/m K
L_{Total} (comprimento do recipiente de aço carbono)	0,290 m
Gr (Número de Grashof)	$3,8690 \times 10^9$
Pr (Número de Prandtl (a água à 80°C))	2,23
$\rho_{Água}$ (Densidade da água à 80°C)	971,8 kg/m ³
g (Constante da aceleração gravitacional)	9,81 m/s ²
β (Coeficiente de expansão térmica)	$\frac{1}{T_{\infty}} = 0,0125 / ^{\circ}C$
ΔT (Diferença de temperatura)	50 °C
C (constante)	0,68
m	¼
μ (Viscosidade dinâmica)	$0,365 \times 10^{-4}$ N s/ m ²

Substituindo-se na equação (30) tem-se o resultado de Gr.:

Número de Grashof	Resultados
$Gr > 10^4$ (Escoamento turbulento)	$3,8690 \times 10^9$

Aplicando a equação (32) obter-se o resultado para o coeficiente de transmissão de calor da água foi de:

$$h_c (Água) = 520,39 \text{ w/m}^2\text{K}$$

Para os valores encontrados no coeficiente de transmissão de calor por convecção forçada entre o recipiente e o leite, foi analisado segundo INCROPERA(1992), ARAÚJO (1982) e o KREITH (1977) está descrito no (item b) do Capítulo IV. O equacionamento para o coeficiente de transmissão de calor foram idêntico ao do h_{ar} e $h_{água}$, também calculados a partir das equações (29), (30), (31) e (32) obtendo-se os seguintes resultados para encontrar o coeficiente de transmissão de calor do ar, estão apresentados na Tabela 39.

Para os cálculos do coeficiente de transmissão de calor por convecção forçada entre o recipiente de Aço inoxidável e o leite foram aplicadas as equações para líquidos orgânicos (33), a (8.6) do INCROPERA, e (34) e (35) do MICHAEL sec. 9.11.1.

TABELA 39- Os resultados dos coeficientes para calcular Gr (Número de Grashof) e Pr (Número de Prandtl) para o leite.

COEFICIENTE	RESULTADO
K_L (Condutibilidade térmico do leite à 20°C)	0,56 w/ m K
μ (Viscosidade dinâmica do leite à 20° C)	$2,12 \times 10^{-3}$ N.s/m ²
ρ (Densidade do leite)	1030 kg/m ³
D_i (Diâmetro interno do recipiente de Aço inoxidável)	0,3935 m
D_r (Diâmetro do recipiente)	0,250 m
N (Velocidade de rotação do agitador)	86 rpm ou 1,43 rps
R_H (Rotação no eixo da hélice de trabalho)	43,2 rpm
$A_{R,I}$ (Área útil do recipiente de Aço inoxidável)	0,37 m ²
D_a (Diâmetro do recipiente de Aço inoxidável)	0,3935 m
Gr (Número de Grashof)	$9,4 \times 10^9$ (esc. turbulento)
Re_D (Número de Reynolds)	21.256 (adimensional)
Pr (Número de Prandtl)	14,76
$h_{C,L}$ (Coeficiente de transmissão de calor do leite)	254 w/m ² K
β (Coeficiente de expansão térmica)	$\frac{1}{T_\infty} = 0,0154$ /°C
ΔT (Diferença de temperatura)	15 °C
L_{Total} (altura da superfície de transferência do recipiente)	0,260 m

Substituindo nas equação (30) e (31) tem-se os resultados de Gr e Pr

Número de Grashof	Resultados
$Gr > 10^4$ (Escoamento turbulento)	$9,4 \times 10^9$
Número de Prandtl	14.76

Aplicando a equação (33), obter-se o resultado para o coeficiente de transmissão de calor do leite de $254 \text{ w/m}^2\text{K}$. A equação (34) o resultado foi de $254 \text{ w/m}^2\text{K}$ e a equação (35) o resultado foi também de $254 \text{ w/m}^2\text{K}$. Os comparativos dos resultados foram obtidos através das aplicados das equações que estão mencionadas acima e foram os mesmos. E quando esse coeficiente de transmissão de calor no leite é comparado com o de (MICHAEL, 1990 p. 268, esse valor do coeficiente de transmissão de calor do leite é de $200 \text{ w/m}^2\text{K}$. Esse valor poderia ser explicado pelo fato de não ter considerado o calor específico do leite para uma determinada temperatura.

5.10 - DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE U PERDAS PELA BASE

Os resultados das determinações das perdas da base do pasteurizador compreenderam em: condução, convecção livre e forçada entre a água do banho e o leite que envolvem o sistema.

Os resultados da equação (43) foram:

	RESULTADOS
A (Area da Base do recipiente de aço inoxidável)	$0,1225 \text{ m}^2$
A_i (Area da Base da camisa (água))	$0,2389 \text{ m}^2$
A_B (Area da Base do pasteurizador)	$0,3019 \text{ m}^2$
$h_{c_{ar}}$ (Coeficiente de transmissão de calor do Ar)	$0,01878 \text{ w/K}$
$h_{c(\text{Água})}$ (Coeficiente de transmissão de calor da Água)	$520,39 \text{ w/m}^2 \text{ K}$
$h_{c(\text{Leite})}$ (Coeficiente de transmissão de calor do Leite)	$254 \text{ w/m}^2 \text{ K}$

5.10.1- Resultado da determinação do calor perdido na base

Para os cálculos da perdas de calor pela base utilizou-se as seguintes equações, (40),(41) e (42), substituindo na equação (43).

$$U_{BASE} = \frac{1}{\frac{1}{h_{c(Ar)} x A} + \frac{1}{h_{c(\text{Água})} x A} + \frac{1}{h_{c(\text{Leite})} A}} \quad (43)$$

onde:

$$\frac{1}{h_{c(Ar)} x A} = \frac{1}{0,01878 W / K x 0,301907054} = \frac{1}{5,669814474 x 10^{-3}}$$

$$= 176,372614 w / K$$

$$\frac{1}{h_{c(\text{Água})} x A} = \frac{1}{520,39 W / m^2 K x \pi (0,2389)^2 m^2} = \frac{1}{20,69111336} = 0,010717386 w / K$$

$$\frac{1}{h_{c(\text{leite})} x A} = \frac{1}{254 w / m^2 K x \pi (0,1975)^2 m^2} = \frac{1}{31,1256041} = 0,03212789 w / K$$

Substituindo na equação (43) têm-se: $5,668437472 x 10^{-3} w/K$

5.10.2- Resultado da determinação do calor perdido nas laterais

Para os cálculos da perdas de calor pelas laterais utilizou-se as equações (45) a (49), substituindo na equação (44).

$$U_{Lateral} = \frac{1}{\frac{1}{h_{c(Ar)} \times A_{(A.c)}} + \frac{\ln(D_{e,A.c} / D_{i,A.c})}{2\pi K_{Ac} \times L_{Ac}} + \frac{\ln(D_{e,A.i} / D_{i,A.i})}{2\pi K_i \times L_i} + \frac{1}{h_{c(Leite)} \times A_{A.i}}} \quad (50)$$

onde:

$$\frac{1}{h_{c(Ar)} \times A_{R_{Ac}}} = \frac{1}{0,01878 \text{ w} / \text{m}^2 \text{K} \times 0,623 \text{m}^2} = \frac{1}{0,1169994} = 8,547052378 \text{ w} / \text{K}$$

- Área do Recipiente do aço carbono (R_{Ac}) = $2\pi \times 0,310 \times 0,320 = 0,623 \text{ m}^2$

$$\frac{\ln(D_e / D_i)}{2\pi \times K_{Ac} \times L_{Ac}} = \frac{\ln(0,620 / 0,6185)}{2\pi \times 36 \text{ w} / \text{mK} \times 0,320 \text{m}} = \frac{2,4222862 \times 10^{-3}}{72,38229474} = 3,34652 \times 10^{-5} \text{ w} / \text{K}$$

$$\frac{1}{h_{c(\text{gua})} \times A} = \frac{1}{(2\pi \times 0,2389 \text{m} \times 0,320 \text{m}) \times 520,39 \text{w} / \text{m}^2 \text{K} \times 0,480 \text{m}^2} = \frac{1}{249,7872} = 4,003407701 \times 10^{-3} \text{ w} / \text{K}$$

$$\frac{\ln(D_e / D_i)}{2\pi \times K_i \times L_{Ac}} = \frac{\ln(0,395 / 0,3935)}{2\pi \times K_i \times 0,320} = 9,10957459 \times 10^{-5} \text{ w} / \text{K}$$

$$\frac{1}{h_{c(Leite)} \times (2\pi \times 0,1975 \text{m} \times 0,260 \text{m})} = \frac{1}{254 / \text{w} \text{m}^2 \text{K} \times 0,323 \text{m}^2} = 0,01219 \text{w} / \text{m}^2 \text{K}$$

Substituindo na equação (50) têm-se: 0,116776451 w/K

5.10.3- Determinação do calor perdido no topo

Para os cálculos das perdas de calor pelo topo utilizou-se as equações (52) a (54), substituindo em (56)

$$\frac{I}{h_{c(Ar)} \times A} = \frac{I}{0,01878 \text{ w / mK} \pi (0,310)^2} = 176,372614 \text{ w / m}^2 \text{ K} \quad (52)$$

$$\frac{I}{h_{c(Leite)} \times A} = \frac{I}{254 \text{ w / m}^2 \text{ K} \pi \times (0,1975)^2 \text{ m}^2} = 0,03212789 \text{ w / K} \quad (53)$$

$$\frac{I}{h_{c(\text{Água})} \times A} = \frac{I}{520,39 \text{ w / m}^2 \text{ K} \pi (0,2389)^2 \text{ m}^2} = 0,010717386 \text{ w / K} \quad (54)$$

Substituindo na equação (56) o resultado foi de $7,229319567 \times 10^{-3} \text{ w/K}$

$$U_{(Topo)} = \frac{I}{\frac{I}{h_{c(Ar)} \times A} + \frac{I}{h_{c(Leite)} \times A} + \frac{I}{h_{c(\text{Água})} \times A}} \quad (55)$$

5.11- DETERMINAÇÃO DA TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR NO PASTEURIZADOR

Para determinar a taxa de transferência de calor do pasteurizador, que pode ser calculada utilizando-se as equações descritas abaixo:

$$\dot{Q}_{P_b} = U_b (T_{b_{int}} - T_{b_{ext}}) \quad (56)$$

$$\dot{Q}_{P_l} = U_l (T_{l_{int}} - T_{l_{ext}}) \quad (57)$$

$$\dot{Q}_{P_t} = U_T (T_{t_{int}} - T_{t_{ext}}) \quad (58)$$

Onde:

Q_{P_b} = Calor perdido pela base (0,085 w/k)

Q_{P_L} = Calor perdido pelas laterais (0,233 w/m²K)

Q_{P_T} = Calor perdido pelo topo (0,014 w/k)

$T_{L_{ext}}$ = Temperatura da superfície lateral externa (65°C)

$T_{L_{int}}$ = Temperatura da superfície lateral interna (67°C)

$T_{B_{ext}}$ = Temperatura da superfície da base externa (90°C)

$T_{B_{int}}$ = Temperatura da superfície da base interna (75°C)

A taxa de transferência de calor total perdido foi expresso do seguinte modo:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{P_{total}} &= \dot{Q}_{P_b} + \dot{Q}_{P_L} + \dot{Q}_{P_T} \\ &= 0,085 \text{w/K} + 0,233 \text{w/m}^2 \text{K} + 0,014 \text{w/K} = 0,332 \text{m}^2 \text{K} \end{aligned} \quad (59)$$

5.12- AVALIAÇÃO DO PASTEURIZADOR

A avaliação de um trocador observou-se 2 parâmetros indicados na literatura (REY, 1970:208) e (FELLOWS, 1994:30), foram:

- a) Calcular a temperatura média de aquecimento logarítmica
- b) Quando o fluido frio tem capacidade calorífica menor que o fluido quente, isto é quando $z < 1$, a fórmula de eficácia do pasteurizador é:

$$e = \frac{t_{f_2} - t_{f_1}}{t_{q_2} - t_{q_1}} \quad (60)$$

isto é, para $z < 1$, onde z é a relação de capacidades caloríficas

onde:

e = eficácia do pasteurizador

t_{q_2} = Temperatura do final de processo do fluido quente (água) (80°C);

t_{q_1} = Temperatura inicial de processo do fluido quente (água) (32°C);

t_{f_2} = Temperatura do final de processo do fluido frio (leite) (63°C);

t_{f_1} = Temperatura do inicial de processo do fluido frio (leite) (33°C)

5.13- RESULTADOS DOS PARAMETROS OBSERVADOS NA EFICÁCIA DO PASTEURIZADOR

• Diferença média de temperatura (ΔT_m)	38,4°C
• Eficácia do pasteurizador (e)	0,625

5.14- DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE GLOBAL DE PERDAS NO PASTEURIZADOR

Foi determinado o coeficiente global de perdas no pasteurizador, medido-se as temperaturas das superfícies externa e interna da base, das laterais e do topo para avaliar a eficácia do pasteurizador.

Com os dados contidos da tabela a seguir, utilizando-se os dois métodos citados acima, foram calculados os coeficientes e as perdas e os valores estão na Tabela 37.

TABELA 37- Resultados das perdas de calor no pasteurizador

RESULTADOS DAS PERDAS DE CALOR	
• Determinação do calor perdido pela base	$5,668437472 \times 10^{-3} \text{ w/K}$
• Determinação do calor perdido pelas laterais	$0,116776451^4 \text{ w/K}$
• Determinação do calor perdido pelo topo	$7,229319567 \times 10^{-3} \text{ w/m}^2\text{K}$

Os coeficientes térmicos calculados para o leite, ar e água estão na Tabela 38.

TABELA 38- Resultados dos coeficientes calculados

Resultados dos coeficientes calculados	
• Coeficiente térmico do leite	254 w/m K
• Coeficiente térmico da água	520,39 w/m K
• Coeficiente térmico do ar	0,01878 w/m K

5.15- ERROS COMETIDOS

Estão descritos alguns tipos de erros ocorrido durante as etapas de levantamento dos dados experimentais nos protótipos "I", "II" e "III" do pasteurizador.

- Erros Instrumentais: as incertezas na construção das escalas dos termômetros de bulbo e a incerteza na homogeneidade do mercúrio, como também possíveis erros construtivos. Estimados nos valores abaixo, em função das calibração executados:

- Tacômetro Erro
- Termopar tipo T
- Termômetro de bulbo em vidro Erro não superior a 2% (de acordo com a especificação do fabricante)
Termômetro digital, Erro máximo de 2% (de acordo com a especificação do fabricante)
- Relógio digital tipo cronômetro com resolução de centésimos de segundo.

Erros metodológicos como: incerteza na manipulação dos instrumentos nos termopares, o erro de leitura ocorre pelo uso de proteção nas pontas dos termopares. Procurou-se minimizar esses erros através de um contato mais íntimo entre os termopares inseridos no leite e na água do banho, possibilitando assim, a leitura das temperaturas com mais precisão.

- Erros subjetivos devidos a incerteza na leitura através das oscilações no termômetro digital e provável erro de julgamento na leitura tomada. Da ordem de 2%.

- Erros de efeito sistemático na observação experimental da temperatura versus tempo. Não estimado neste experimento.

- Erros de ajustamento como a incerteza de ajuste do zero. Não quantificados, dada a não importância nessa faixa de medida.

CAPÍTULO VI

CAPÍTULO VI

6 - CONCLUSÕES

- O sistema proposto mostra-se viável, para obtenção de leite pasteurizado, apresentando poder germicida em torno de 99,5%.
- Para aumentar a vida útil do equipamento, principalmente para o material de aço-carbono, é aconselhável adotar algumas práticas, para prevenção dos ataques químicos presentes na água:
 - 1º) A qualidade da água deve ser analisada do ponto de vista químico e biológico, pois a mesma pode causar problemas como incrustação, corrosão e depósito.
- Com relação à água utilizada no aquecimento e no resfriamento sugere-se a sua reutilização para tratamentos subseqüentes, desde que esteja limpa. A única exigência no caso da água de resfriamento é que esteja devidamente clorada.
- O sistema apresenta um baixo custo operacional de (US\$1000) quando comparados com pasteurizadores convencionais (de custo em torno de US\$ 3.000 com a unidade refrigeradora)
- Com relação à durabilidade do protótipo pode-se dizer que o recipiente de aço carbono 1020 não sofrerá alterações perceptíveis, principalmente no que diz respeito ao processo de desgaste.
- O processamento térmico da água do banho simultaneamente com o leite não é indicado. Esse processo causou um aumento nos tempos de aquecimento tanto da água do banho como o do leite.

- O aquecimento prévio da água do banho, usado nos experimentos com temperaturas de 63°, 65°, 67° e 69°C, é o recomendado por otimizar o tempo de aquecimento.
- A camada intermediária, que está situada a cerca de 50% da altura total do líquido, é que apresenta a menor transferência de calor.
- A velocidade de rotação recomendado é de 147 rpm, embora ainda ocorresse uma tendência à formação de espuma na superfície do pasteurizador propiciando assim, condições favoráveis para multiplicação das bactérias termofílicas.
- Têm-se ciência de que a pasteurização lenta está em declínio. No entanto, esta ainda tem sua razão de ser, em alguns casos específicos, tais como na fabricação de queijos, e em pequenas comunidades.
- O produto pasteurizado, nas análises bioquímicas, apresentaram o teste de fosfatase negativo e o de peroxidase positivo, atestando que o produto foi realmente pasteurizado.
- As análises microbiológicas do produto pasteurizado apresentaram dentro dos limites esperado entre 10^2 e 10^3 , com baixas contagens de microrganismos mesófilos, comprovando a qualidade do produto pasteurizado sob o ponto de vista microbiológico.
- As análises de caracterização da matéria-prima no estado cru e pasteurizado, tanto química como de outros contaminantes apresentaram resultados dentro do esperado.

- Em todos os experimentos o tempo de resfriamento do produto foi de aproximadamente de 20 minutos, até se atingir uma temperatura da água corrente.
- Nos testes experimentais realizados com as temperaturas de 63°C, 65°C, 67°C e 69°C, consideradas os limites mínimos e máximos no pasteurizador em escala de laboratório e a escala-piloto, baseado nos resultados das análises físico-químicas, bioquímicas e microbiológicas do leite pasteurizado, comprovou-se a viabilidade técnica de se efetuar a pasteurização do leite, com simplicidade e segurança, uma eficácia de quase 100% na pasteurização, propiciando um produto de melhor qualidade e de higiene.
- O sistema proposto utilizando o método de pasteurização lenta apresenta várias vantagens; tais como uma menor modificação na estrutura físico-química e organoléptica do produto, fácil limpeza do equipamento, boa eficiência germicida e destruição da flora patogênica não esporulada.

CAPÍTULO VII

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA & CATAPANI Marcas e Patentes S/C Ltda. ROMEIRO, S.A.:BARIONI, S. C. B. **Ultrapasteurizador linear**. Int. C.I. A 23L 3/00 MU 6600594 Abril. 1986.
- A.O.A.C - Association of Official Methods Analytical Chemist. **Official Methods of the Association of Official Analytical Chemist**. 14 ed. Washington, 1984 1411 p.
- AJZENTAL,A. **Os caminhos do leite: da ordenha ao consumidor**. Revista Leite & Derivados nº18 Set/Out de 1994. Pp.29-37
- ALCÂNTARA & CATAPANI Marcas e Patentes S/C Ltda. ROMEIRO, S.A et al. **Cuba para processamento e pasteurização de produtos alimentícios** Int. CI⁴ A 23 L 3/00. MU 6600596. Abril, 1986.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - **Standard methods for the examination of dairy products** 13th ed. Washington, D.C. 1972.
- ARAÚJO, C. **Transmissão de Calor**. 2^a Ed. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro. p.94. 1984
- ARAÚJO, C. **Transmissão de Calor**. 2^a Ed. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro. p.94. 1984

ARIAS, J. et al. **Solar and Biogas Milk Pasteurizer**. México. pp.1-7, 1986

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE LEITE B. **Bancos de Dados de Leite B**, por Estado, Brasil, 1960-1995.

BALLOD, L.D & BRAMORSKI, A. **Influência da fervura doméstica na qualidade microbiológica de leites pasteurizados tipo "C" comercializados em Blumenau**. Revista CEPPA. Curitiba. 8 (2): 89-98. Jul/Dez. 1990.

BARROS, V.R.M; PANETTA, J.C & PERCES, E.M.do C. **Eficiência do sistema de pasteurização utilizado em usinas de beneficiamento de leite da capital de São Paulo-Brasil**. Revista Higiene Alimentar. 3 (3/4) set.dez/1984

BEHMER, M.A.L. **Tecnologia do Leite** 19a. ed..Nobel, São Paulo, 1981. 645 p.

BEHMER, M.A.L. **Tecnologia do Leite** 19a. ed..Nobel, São Paulo, 1981. 645 p.

BENEDET, H. D. **Estudo das modificações que ocorrem no leite pasteurizado congelado, durante o armazenamento**. Revista CEPPA. Curitiba. 8(2):126-129. Jul/ Dez. 1990.

BOUTELL & TANIS. HERMANS *et alii*. **Method fo adjustably heating a liquid**. Int. Cl² A 23 L 3/00; A 23C 3/02. US 4,194,014. Mar. 18, 1980.

BRANDÃO, S.C.C.; **Saúde pública e trabalho profissional**. Folha de São Paulo. Agrofolha. 16 Mar 1993:5.

----- **Entre o atraso e a Modernidade** Revista Leite & Derivados
São Paulo 1995:95

- BRASIL, Ministério da Agricultura- Secretária Nacional de Defesa Agropecuária
Anuário Estatístico, Matérias Primas e Produtos de Origem Animal. Brasília,
1983 a 1990.
- BRASIL, Ministério da Agricultura- Secretária Nacional de Defesa Agropecuária-
LANARA- Laboratório Nacional de Referência Animal. **Métodos físico-químicos**
Parte II. Brasília, 1981.
- BRASIL, Ministério da Agricultura-RIISPOA-**Regulamento da Inspeção e**
Sanitária de Produtos de Origem Animal (Aprovado pelo Decreto nº 30.691 de
20/03/1952, alterado pelo Decreto nº.1255, de 25/06/1952) Brasília-DF, 1980 p.
81-94.
- BRASIL, Ministério da Agricultura-Secretária de Inspeção de Produto Animal.
Normas para produção e beneficiamento de leite pasteurizado-gordura 3,2%
para consumo direto.Brasília - DF. Ministério da Agricultura. 1980:11
- BRASIL, Ministério da Saúde-**Divisão Nacional de Vigilância Sanitária de**
Alimentos (DINAL) Portaria nº. 01, de 28 de Janeiro de 1987. Brasília-DF.
- BRAVERMANS, J.B.S. **Introduction to the biochemistry of foods.** New York.
Elsevier Publishing Company 1976: 66-69.
- CARMONA, A.; AIRES, H .H .B.& NASCIMENTO, R. L, **Avaliação do**
comportamento do leite pasteurizado conservado pelo frio (salmoura), com
vistas do controle laboratorial de rotina, a nível de consumo. Revista do
Instituto de Laticínio Cândido Tostes 40(241): 71-82. 1985.
- CASTRO, J .A. A fome do Brasil. In: **Geografia da fome.** Ed Empresa O Cruzeiro
S/A. Rio de Janeiro. pp 195-205. 1946.

- CEMIG- **Uso de energia na indústria de laticínios em Minas Gerais** Companhia Energética de Minas Gerais Março. pp. 11-29. 1986.
- CENTRO DI CONSULENZA IN PROPRIETA INDUSTRIALE, CIPELLETTI, A.:VIA, E. **Apparatus for the pasteurization of alimentary mixtures.** Int. Cl⁴ A 23L 3/00 US 0161678. Novembre, 1985.
- CHEFTEL, J. C; CUQ, J. L & LORIENT, D. **Amino Acids, Peptides, and Proteins** In: Food Chemistry 2a ed, O. Fennema (ed), Marcel Dekker, Inc. New York, pp.245-276, 1985.
- & CHEFTEL,H. **Leche y Products Lacteos** In: Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza, v.1. pp 45 1986.
- COSTA, A.F.M *et al.* **Variação do teor de gordura no leite bovino cru** Revista de Pesquisa Agropecuária Brasileira 27(5) p. 763-769. 1992.
- COSTA, L.C.G *et al.* **Estudo da qualidade do leite cru e pasteurizado entregue na usina de beneficiamento em Lavras. Minas Gerais: Aspectos Microbiológicos.** Revista do Instituto de Laticínio Cândido Tostes 44(261-266) 8-13. 1989
- D'ALESSANDRO, W.T *et al.* **Estudo da variação em lactose no leite bovino cru, da bacia leiteira de Goiânia.** Revista Ciência Tecnol. Alimentos. 9(1):88-106. 1989.
- DIAS, H.P. **O Direito de Alimentação e o Direito de Saúde** Boletim SBCTA 21 (1):43.1987.

- EARLE, R.L. Engenharia a de los alimentos- **Aplicaciones de la transmisión de calor**. 2a ed. Editorial Acribia. Zaragoza (España) Massey University. New Zealand. pp.70-71. 1988.
- FELÍCIO, F. A & VARGAS, O. L. Informativo do Laticinista. **Influência do manejo e da estocagem de leite "in- natura" no conteúdo global de bactérias e de Organismos Termodúricos**. 11(40): 32-39. Jul/1992.
- FELLOWS, P. Tecnologia del processado de los alimentos: Principios y practicas. **Pasteurización**. Trad. por TREPAT, F.J.S. Editorial Acribia S/A. Zaragoza España. pp.209-219. 1994.
- FOUST, S.A et al **Princípios das Operações Unitárias**. Trad MACEDO, H. Ed. Guanabara Dois. 2ª. ed. pp.501-507. 1982.
- FRÖEDER, E; PINHEIRO, A.J.R; BRANDÃO, S.C.C. **Variação da qualidade microbiológica do leite cru tipo "C" da região de Viçosa** Revista do Instituto de Laticínio Cândido Tostes. 40(241):55-68. 1985.
- GOMES, S. Associação Brasileira de Produtores de Leite B. Folha de São Paulo. **Agrofolha**. 12/03/1996:5-1
- HÜHN, S; HAJDENWURCEL, J.R; VARGAS, O. L. **Qualidade microbiológica do leite cru obtido por meio de ordenha manual e mecânica e ao chegar à plataforma** Revista do Instituto de Laticínio Cândido Tostes 35(209): 3-8, 1980.
- IBGE **Anuário Estatístico do Brasil/1992**. Natal, 1994
- IBGE **Conselho Nacional de Estatística Serviço Nacional de Recenseamento**. Série Nacional Vol(I). Brasil Censo Demográfico. Rio de Janeiro. 1956.

- ICMFS. El Sistema de Analises de Riesgos y Puntos Críticos **Su Aplicación a las Industrias de Alimentos** Capítulos 10 e 11 (184-216) Ed. Acribia Zaragoza. 1991
- INCROPERA, P. F & De WITT, D. P. **Fundamentos da Transferência de Calor e Massa**. Ed. Guanabara Kooglan p.227. 1992
- JANSSON & SHUPE, Ltda. SCHEEL et al. **Pasteurizing control apparatus** INT. CI⁵ A 23L 3/00; A 23C 3/00; A 23C 9/00 US 5,054,385. Oct, 1991.
- JEAN CASANOVA. INGÉNIEUR-CCONSEIL. GAZDA, H.O.E. **Dispositif pour l'Asseptisation des liquides**. Int. CI² A 23L 2/00; A 23L 3/00; A 6IL 1/00 NP. 2 260 958. Février, 1974.
- KETLEY & CO. KAZMI. A, **Improvements in or relating to preserving perishable liquids**. Int. CI A23L 3/00 GB 13 776,688, June, 1957.
- KIRK-OTMER, **Concise Encyclopedia of Chemical Technology**. Ed. A.Willey. Interscience publication. 3a. ed. v(26) pp.765-767. 1985.
- KREITH,F. **Princípios da Transmissão de Calor**. Ed. Edgar Blücher Ltda. 3^a Ed. São Paulo. Pp.110-111.
- LEITÃO, M.F.F; TEIXEIRA, L.T & MORI, E.E. Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos.**Bactérias termodúricas não esporogênicas e seu significado na qualidade do leite comercial pasteurizado**. Campinas. São Paulo. 17(1):11 Jan/Jun. 1987
- LIMA, V. L.G. **Enzimas do leite**. Revista do Instituto de Laticínio Cândido Tostes 42 (254): 43-46. 1987.

LUND, D. B. **Effects of Heat Processing. Symposium 1.** Rev. Food. Technology p.16-18. Jan / 1973.

MICHAEL J.L. **Physical Properties of Foods and Food processing systems** New York, Ellis Harwood Ltd p.246-269. 1990.

MOREIRA, W.S. *et al.* **Da necessidade de pasteurização do leite fornecido à população-Santa Maria-Rio Grande do Sul** Revista. Centro de Ciências Rurais.1(3):105. 1971.

MUR, A.G. **Indústrias derivadas de la leche-** Salvat Editores. S/A. Barcelona-Madri, 1954. Pp.78-147.

NADER FILHO, A; ROSSI JUNIOR, O.D; SCHOCKEN-ITURRINO, R. P. **Avaliação das características microbiológicas do leite tipo "C" e embalagens plásticas utilizadas no envase em uma usina de beneficiamento de São Paulo.** Brasil. Revista de. Microbiológica São Paulo.20(3):261-266. julh/set. 1989.

----- ; -----; -----
Avaliação das características microbiológicas do leite tipo "B" em diferentes pontos do fluxograma de beneficiamento. Revista do Instituto de Laticínio Cândido Tostes 43 (259): 13-17. 1988.

NASCIMENTO, G.G.F; FIGUEREDO, S. H.; UBISSES, D.M & ANTONELLE. E.M.; **Condições microbiológicas do leite pasteurizado comercializado em Piracicaba, SP.** Boletim da SBCTA, 25(1): 13-21. 1991.

OLIVEIRA, J.S. **Qualidade microbiológica do leite.** Revista do Instituto de Laticínio Cândido Tostes 31(186):15-20. Jul/agos.1976.

- & ANTUNES, L.A.F. **Qualidade microbiológica do leite** Revista do Instituto de Laticínio Cândido Tostes 41 (244): 20-24. 1986.
- OLIVEIRA, S.A. O que é permitido, e o que é proibido na pasteurização do leite.** Revista Leite & Derivados. Ano II n.07. p. 9-17. Nov. Dez/1992.
- PANETTA, J. C. **Qualidade do leite de consumo e fatores interferentes.** Revista Higiene Alimentar. 3 (3/4): 162-168. 1984.
- PELCZAR, M.; REID, R & CHAN, E.C.S - **Microbiologia de leite e seus derivados.** IN: Microbiologia. São Paulo, Mc Graw Hill, 1981. cap.38, p.943-968.
- PERRY, H. R & CHILTON, H. C, **Chemical Engineers' Handbook-Internacional Student Edition.** 6 th edition. 1986.
- PINHEIRO, A. J R & MOSQUIM, A.C.A.V. **Análise físico-química do leite** Apostila. Vicoso/MG. p.256. 1992.
- POVOA, M. E.B & MACHADO, E .S .V. **Avaliação de desempenho de um módulo para pasteurização de leite e fabricação de queijo desenvolvido no CETEC** Revista do Instituto de Laticínio Cândido Tostes. 40 (239): 57-72. 1985.
- ; SANTOS; MORAES, T. **Efeito do aquecimento sobre o leite bovino. I. composição química.** Revista do Instituto de Laticínio Cândido Tostes 37 (220):3-6. 1982.
- RATHBURN & WYSS. TORTEROTOT, R. **Process for the preparation and heat treatment of food products.** Int. Cl.⁴ A 23B 7/00; A 23L 3/00. US 4,684,531, Aug, 1987.

- REVISTA ALIMENTOS & TECNOLOGIA - **A seca do leite**. Rio de Janeiro. Ano IX. nº.52. Maio, 1994. P.62-67.
- REVISTA ALIMENTOS & TECNOLOGIA- **Leite de cabra poderá ser pasteurizado após ensacamento**. São Paulo. Ano IX nº.52 mai 1994. P.87-88
- REY, A.B. Física/Química Moderna **Agitação e mistura** (4) 117-149 1970
- ROSE, L. M. Chemical Reactor Design in Practice. **Chemical Engineering Monographs**. 13 ed. Elsevier Scientific Publishing Company. New York p.197-205. 1981.
- ROSSI Jr, O. D *et al.* **Análise das condições físico-químicas e bacteriológicas do leite oferecido ao comércio em Jaboticabal-SP**. Revista do Instituto de Laticínio Cândido Tostes 37 (220) 15-19. 1982.
- SAN JOSÉ, C. **Efectos de la temperatura sobre la leche y sus componentes**. **Revista Española de Lecheria** . Madrid. 114: 193-211. 1980.
- SANTOS, M.T. M et al. **Efeito do tratamento térmico do leite sobre as características Físico-químicas e sensoriais do queijo de Minas**. Revista do Instituto de Laticínio Cândido Tostes
- SCHOCKEN-ITURRINO *et alii.* **Avaliação das Características microbiológicas do leite tipo "C" e das embalagens plásticas utilizads no envase, em uma usina de beneficiamento do Estado de São Paulo, Brasil**. Revista Microbiologia. São Paulo. 20(3):261-266, Julho/Set. 1989.
- SECOND INTERNATIONAL COURSE. **Manual de laboratório**. February, 18 March 1, 1980.

- SILVA, L.O & NEVES, R.S, **Pasteurização lenta ou Baixa do leite**. Revista Leite & Derivados. Ano II (7) 1991:12-13.
- SILVEIRA, N. V. V *et al.* **Avaliação das condições físico-químicas e microbiológica do leite pasteurizado consumido na cidade de São Paulo**. Revista do Instituto de Laticínio Cândido Tostes.43(26):40 1988.
- SIMONNOT, RINOY, SANTARELLI. CLOIX, H.THEVENOT, J. C, **Pasteurisateur- cuiser et son procédé de fabrication**. Int. CI² A 23L 3/00 US 4,202,258, May. 1980.
- SOCIETY OF DAIRY TECHNOLOGY **Manual de plantas de pasteurización**. Ed. Acribia. Zaragoza. Espanã, 1971. p 120
- SOUZA, H. M. **Influência da mamite na qualidade bio sanitária e tecnológica do leite**. Revista Informe Agropecuário. Belo Horizonte. 13 (153):11. 1988.
- TAYLOR, J.R.: **An Introduction to Error Analysis the study of uncertainties in Physical Measurements**. Mill Valley, California University Science Books, 1982. pp. 03-80.
- VALLE J. L. E & CONTIERO, J **Efeitos do processamento térmico sobre as proteínas do leite**. Boletim do ITAL .Campinas 18 (4) pp.452-448. out/ dez. 1984
- VAN DENDER, A .G .F. **Listeria Monocytogenes: Um problema em leite e produtos lácteos**. Revista Informe Agropecuário. Belo Horizonte.13(155): 20. 1988.
- VARGAS, L.O. **Recomendações para a fiscalização e promoção da qualidade de leite ao nível do consumo varejista** Revista do Instituto de Laticínio Cândido Tostes.43(260):12-15. 1988.

- , FELÍCIO A. FILHO. **Influência do manejo e da estocagem de leite "in natura" no conteúdo global de bactérias e de organismos termodúricos.** Informativo do Laticinista Belo Horizonte 11(40):32-39. Julho/1992
- VEISSEYRE, R. **Lactologia Técnica. Tecnología de los leches de consumo.** Ed. Acribia. Zaragoza (España). 645 p. 1980.
- VESSONI PENNA, T.C.; BARUFFALDI, R. & COLOMBO, A. J. **Estudo das condições higiênico-sanitárias e das características físico-químicas do leite pasteurizado teor de gordura 3,2% m/v, vendido na cidade de São Paulo.** Revista. Ciência. Tecnol. Alimentar. 6(1):57-58. 1986.
- VIEIRA, S.D.A. **Os microrganismos como indicadores de qualidade** Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes 31(185): 19-21. 1976.
- WILSON, D. **Pesquisa de S. Aureus em leite a ser pasteurizado.** Revista Saúde Pública. São Paulo. (11)1977:1-11
- WOFSCHOOM-POMBO, A. F. **Considerações a respeito da fervura doméstica do Leite.** Revista Informe Agropecuário. 10 (115): 48-52. Jul/1984.

ANEXO A

ANEXO A

ANEXO A- Tabelas das aferições dos pontos observados para construir as curvas de calibração das substâncias puras e água em ebulição

Tabela 1 - Aferição dos pontos observados da água em ebulição

TERMOPAR OBSERVADO		TERMÔMETRO DIGITAL (CALBRADO) (°C)		TEMPERATURA AMBIENTE TERMOPAR (OBSERVADO)	TEMPERATURA AMBIENTE TERMÔMETRO DIGITAL OBSERVADO (°C)
T ₁	37,0	T ₁	38,2	26,0	25,6
T ₂	37,5	T ₂	39,0		
T ₃	37,5	T ₃	39,2		
T ₁	43,0	T ₁	43,8		
T ₂	43,0	T ₂	43,9		
T ₃	44,0	T ₃	44,1		
T ₁	46,5	T ₁	46,8		
T ₂	46,5	T ₂	46,9		
T ₃	47,0	T ₃	47,2		
T ₁	50,0	T ₁	51,9		
T ₂	51,0	T ₂	52,0		
T ₃	51,5	T ₃	52,4		
T ₁	53,0	T ₁	53,5		
T ₂	53,5	T ₂	54,0		
T ₃	54,0	T ₃	54,6		
T ₁	55,0	T ₁	55,4		
T ₂	55,0	T ₂	56,7		
T ₃	56,0	T ₃	59,2		
T ₁	61,0	T ₁	62,5		
T ₂	61,5	T ₂	61,2		
T ₃	62,0	T ₃	62,5		
T ₁	65,0	T ₁	65,2		
T ₂	65,0	T ₂	66,2		
T ₃	66,0	T ₃	67,2		
T ₁	69,0	T ₁	69,2		
T ₂	69,5	T ₂	70,0		
T ₃	70,0	T ₃	71,5		
T ₁	75,0	T ₁	71,8		
T ₂	76,0	T ₂	72,7		
T ₃	76,5	T ₃	76,8		
T ₁	78,0	T ₁	78,5		
T ₂	78,5	T ₂	79,6		
T ₃	78,5	T ₃	81,0		
T ₁	80,0	T ₁	83,0		
T ₂	80,0	T ₂	83,4		
T ₃	81,5	T ₃	83,6		
T ₁	82,0	T ₁	85,3		
T ₂	82,5	T ₂	86,7		
T ₃	83,0	T ₃	84,0		
T ₁	84,0	T ₁	85,2		
T ₂	84,0	T ₂	87,2		
T ₃	84,5	T ₃	87,8		
T ₁	86,0	T ₁	88,4		
T ₂	86,0	T ₂	89,2		
T ₃	86,5	T ₃	87,6		

Tabel

T ₁	87,0	T ₁	88,5		
T ₂	87,0	T ₂	89,9		
T ₃	87,5	T ₃	90,8		
T ₁	88,0	T ₁	89,8		
T ₂	88,0	T ₂	91,8		
T ₃	88,5	T ₃	92,6		
T ₁	89,0	T ₁	90,8		
T ₂	89,0	T ₂	92,5		
T ₃	89,0	T ₃	93,0		
T ₁	90,0	T ₁	92,5		
T ₂	90,0	T ₂	93,6		
T ₃	90,0	T ₃	94,6		
T ₁	91,0	T ₁	92,8		
T ₂	91,0	T ₂	94,7		
T ₃	91,0	T ₃	95,8		
T ₁	92,0	T ₁	93,5		
T ₂	92,0	T ₂	95,2		
T ₃	92,0	T ₃	96,2		
T ₁	93,0	T ₁	94,4		
T ₂	93,0	T ₂	97,3		
T ₃	93,0	T ₃	97,2		
T ₁	94,0	T ₁	95,2		
T ₂	94,0	T ₂	97,7		
T ₃	94,0	T ₃	98,8		
T ₁	95,0	T ₁	96,6		
T ₂	95,0	T ₂	97,8		
T ₃	95,0	T ₃	98,2		
T ₁	95,5	T ₁	97,1		
T ₂	95,5	T ₂	97,6		
T ₃	95,5	T ₃	99,0		
T ₁	96,0	T ₁	97,5		
T ₂	96,0	T ₂	98,0		
T ₃	96,0	T ₃	99,2		
T ₁	96,5	T ₁	97,6		
T ₂	96,5	T ₂	98,7		
T ₃	96,5	T ₃	99,9		
T ₁	97,0	T ₁	98,2		
T ₂	97,0	T ₂	99,1		
T ₃	97,0	T ₃	99,1		
T ₁	98,0	T ₁	98,5		
T ₂	98,0	T ₂	99,5		
T ₃	98,0	T ₃	99,8		
T ₁	98,5	T ₁	99,0		
T ₂	98,5	T ₂	99,7		
T ₃	98,5	T ₃	100,0		
T ₁	99,0	T ₁	100,0		
T ₂	99,0	T ₂	100,0		
T ₃	99,0	T ₃	100,0		
T ₁	99,0	T ₁	100,0		
T ₂	99,0	T ₂	100,0		
T ₃	99,0	T ₃	100,0		
T ₁	99,5	T ₁	100,2		
T ₂	99,5	T ₂	100,2		
T ₃	99,5	T ₃	100,2		

Tabela 2- Aferição dos pontos observados da substância pura (acetona-ponto de ebulição 56° C

TERMOPARES OBSERVADOS		TERMÔMETRO DIGITAL (CALIBRADO) (° C)		TEMPERATURA AMBIENTE TERMOPAR (OBSERVADO)	TEMPERATURA AMBIENTE TERMÔMETRO DIGITAL OBSERVADO (° C)
T ₁	32,0	T ₁	32,8	26,0	26,9
T ₂	33,0	T ₂	33,5		
T ₃	33,5	T ₃	33,2		
T ₁	41,0	T ₁	42,3		
T ₂	45,0	T ₂	44,8		
T ₃	48,0	T ₃	55,0		
T ₁	53,0	T ₁	57,0		
T ₂	53,5	T ₂	55,6		
T ₃	54,0	T ₃	55,6		
T ₁	55,5	T ₁	55,8		
T ₂	55,0	T ₂	55,7		
T ₃	56,0	T ₃	55,5		
T ₁	57,0	T ₁	55,5		
T ₂	57,0	T ₂	56,2		
T ₃	57,0	T ₃	56,0		
T ₁	57,0	T ₁	56,9		
T ₂	57,0	T ₂	56,0		
T ₃	57,0	T ₃	56,6		
T ₁	58,0	T ₁	57,5		
T ₂	58,0	T ₂	56,1		
T ₃	58,0	T ₃	56,3		
T ₁	58,0	T ₁	56,9		
T ₂	58,0	T ₂	56,4		
T ₃	58,0	T ₃	56,8		

Tabela 3 - Aferição dos pontos observados do metil álcool (Ponto de ebulição 64° C)

TERMOPARES OBSERVADOS		TERMÔMETRO DIGITAL (CALIBRADO) (° C)		TEMPERATURA AMBIENTE TERMOPAR (OBSERVADO)	TEMPERATURA AMBIENTE TERMÔMETRO DIGITAL OBSERVADO (° C)
T ₁	26,0	T ₁	25,1	26,0	26,5
T ₂	33,0	T ₂	33,2		
T ₃	35,0	T ₃	36,6		
T ₁	36,0	T ₁	36,2		
T ₂	38,5	T ₂	38,0		
T ₃	39,0	T ₃	39,8		
T ₁	40,0	T ₁	39,3		
T ₂	42,0	T ₂	39,9		
T ₃	43,0	T ₃	43,8		
T ₁	44,0	T ₁	42,8		
T ₂	45,0	T ₂	43,9		
T ₃	46,0	T ₃	45,9		
T ₁	47,0	T ₁	45,3		
T ₂	48,0	T ₂	45,2		
T ₃	49,5	T ₃	47,9		
T ₁	51,0	T ₁	48,1		
T ₂	52,0	T ₂	48,1		
T ₃	52,5	T ₃	51,4		
T ₁	53,0	T ₁	51,2		
T ₂	54,0	T ₂	51,4		
T ₃	55,0	T ₃	54,2		
T ₁	56,5	T ₁	53,4		
T ₂	57,0	T ₂	53,8		
T ₃	57,0	T ₃	56,9		
T ₁	59,0	T ₁	57,4		
T ₂	60,0	T ₂	57,5		
T ₃	61,0	T ₃	60,6		
T ₁	64,0	T ₁	62,2		
T ₂	65,0	T ₂	62,5		
T ₃	65,0	T ₃	64,6		
T ₁	65,5	T ₁	64,0		
T ₂	65,5	T ₂	64,9		
T ₃	66,0	T ₃	64,6		
T ₁	66,0	T ₁	64,1		
T ₂	66,0	T ₂	64,1		
T ₃	66,0	T ₃	64,4		
T ₁	66,0	T ₁	64,6		
T ₂	66,0	T ₂	64,3		
T ₃	66,0	T ₃	64,7		
T ₁	66,0	T ₁	64,6		
T ₂	66,0	T ₂	64,3		
T ₃	66,0	T ₃	64,6		

Tabela 4- Aferição dos pontos observados do etil álcool (Ponto de ebulição 78-79°C)

TERMOPARES OBSERVADOS		TERMÔMETRO DIGITAL (CALIBRADO) (°C)		TEMPERATURA AMBIENTE TERMOPAR (OBSERVADO)	TEMPERATURA AMBIENTE TERMÔMETRO DIGITAL OBSERVADO (°C)
T ₁	39,0	T ₁	40,6		
T ₂	39,0	T ₂	39,6		
T ₃	40,0	T ₃	39,5		
T ₁	42,0	T ₁	43,1		
T ₂	43,0	T ₂	42,0		
T ₃	44,0	T ₃	45,2		
T ₁	45,0	T ₁	46,3		
T ₂	45,5	T ₂	43,8		
T ₃	46,0	T ₃	47,6		
T ₁	49,0	T ₁	50,8		
T ₂	49,5	T ₂	48,2		
T ₃	49,5	T ₃	52,9		
T ₁	54,5	T ₁	55,5		
T ₂	55,0	T ₂	53,2		
T ₃	56,5	T ₃	57,3		
T ₁	60,0	T ₁	60,3		
T ₂	60,5	T ₂	59,3		
T ₃	61,0	T ₃	61,3		
T ₁	63,5	T ₁	65,2		
T ₂	63,5	T ₂	62,9		
T ₃	64,0	T ₃	68,9		
T ₁	69,0	T ₁	69,9		
T ₂	70,0	T ₂	68,0		
T ₃	71,0	T ₃	70,9		
T ₁	73,0	T ₁	73,2		
T ₂	73,5	T ₂	71,1		
T ₃	74,0	T ₃	74,2		
T ₁	76,0	T ₁	76,2		
T ₂	77,0	T ₂	75,0		
T ₃	77,5	T ₃	77,2		
T ₁	79,0	T ₁	79,1		
T ₂	79,5	T ₂	77,7		
T ₃	79,5	T ₃	78,3		
T ₁	79,5	T ₁	79,0		
T ₂	79,5	T ₂	77,5		
T ₃	79,5	T ₃	78,4		
T ₁	79,5	T ₁	79,2		
T ₂	79,5	T ₂	77,5		
T ₃	79,5	T ₃	78,4		
T ₁	80,0	T ₁	78,8		
T ₂	80,0	T ₂	77,6		
T ₃	80,0	T ₃	78,6		
T ₁	80,0	T ₁	79,3		
T ₂	80,0	T ₂	77,6		
T ₃	80,0	T ₃	78,6		
T ₁	80,0	T ₁	79,2		
T ₂	80,0	T ₂	77,6		
T ₃	80,0	T ₃	78,6		
T ₁	80,0	T ₁	79,4		
T ₂	80,0	T ₂	77,8		

ANEXO B

ANEXO B

ANEXO B

ANEXO B

ANEXO B

ANEXO B

ANEXO B

ANEXO B

ANEXO B -Tabelas com os valores das medidas da temperatura do leite em todas camadas (C_1 , C_2 e C_3) e a água do banho à 90°C , processo de aquecimento simultâneo.

TABELA 1-Determinação da velocidade de aquecimento da água contida no recipiente de aço inoxidável o mesmo é aquecido simultaneamente com o recipiente de vidro, homogeneizado com velocidade de rotação de 1.0 m/s (I)

CAMADA	TEMPERATURA ($^\circ\text{C}$)	TEMPO (min)	$T_{\text{H}_2\text{O DO BANHO}}$ ($^\circ\text{C}$)
T_{C4}	38.6	5.0	31.3
T_{C7}	37.5	5.0	
T_{C5}	37.7	5.0	
T_{C4}	44.2	10.0	40.6
T_{C7}	43.2	10.0	
T_{C5}	43.3	10.0	
T_{C4}	49.2	15.0	53.9
T_{C7}	48.3	15.0	
T_{C5}	48.3	15.0	
T_{C4}	54.1	20.0	58.0
T_{C7}	53.2	20.0	
T_{C5}	53.1	20.0	
T_{C4}	58.7	25.0	62.3
T_{C7}	57.8	25.0	
T_{C5}	57.8	25.0	
T_{C4}	62.8	30.0	67.9
T_{C7}	61.9	30.0	
T_{C5}	61.9	30.0	
T_{C4}	66.7	35.0	70.4
T_{C7}	65.8	35.0	
T_{C5}	65.8	35.0	

DADOS EXPERIMENTAIS	
Temp. ambiente	29.0°C
Temp. inicial prod.	29.5°C
Temp. ag. corrente	32.4°C
$N_{\text{OPERAÇÃO}}$	1,0m/s
volume de leite	1,0 litro
Volume de água	3,5 litros
tempo de processo	65 minutos

TABELA 2-Determinação da velocidade de resfriamento da água contida no recipiente de aço inoxidável a mesma é aquecida simultaneamente com o recipiente, em todas as camadas do leite (C_1, C_2 e C_3), homogeneizado a velocidade de rotação por minuto de 1.0m/s. (I)

CAMADA	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (min)	T _{H2O DO BANHO} (°C)
T _{C4}	58.4	5.0	32.8
T _{C7}	60.2	5.0	
T _{C5}	62.7	5.0	
T _{C4}	46.4	10.0	32.9
T _{C7}	49.1	10.0	
T _{C5}	52.8	10.0	
T _{C4}	39.9	15.0	32.2
T _{C7}	42.0	15.0	
T _{C5}	45.5	15.0	
T _{C4}	36.6	20.0	32.6
T _{C7}	37.5	20.0	
T _{C5}	40.4	20.0	
T _{C4}	34.7	25.0	32.4
T _{C7}	35.5	25.0	
T _{C5}	37.7	25.0	
T _{C4}	33.6	30.0	32.3
T _{C7}	34.0	30.0	
T _{C5}	35.0	30.0	

TABELA 3-Determinação da velocidade de aquecimento da água contida no recipiente de aço inoxidável o mesmo é aquecido simultaneamente com o recipiente, em todas as camadas do leite (C₁, C₂ e C₃), homogeneizado a velocidade de rotação por minuto de 1.2 m/s (I)

CAMADA	TEMPERATURA (° C)	TEMPO (min)	T _{H2O DO BANHO} (° C)
T _{C4}	37.2	5.0	33.8
T _{C7}	37.6	5.0	
T _{C5}	37.7	5.0	
T _{C4}	44.7	10.0	38.4
T _{C7}	44.7	10.0	
T _{C5}	44.6	10.0	
T _{C4}	51.0	15.0	42.9
T _{C7}	51.0	15.0	
T _{C5}	51.0	15.0	
T _{C4}	56.6	20.0	47.5
T _{C7}	56.6	20.0	
T _{C5}	56.6	20.0	
T _{C4}	61.7	25.0	52.3
T _{C7}	61.6	25.0	
T _{C5}	61.4	25.0	
T _{C4}	65.1	30.0	57.6
T _{C7}	65.1	30.0	
T _{C5}	64.7	30.0	
T _{C4}	67.0	32.5	59.5
T _{C7}	67.0	32.5	
T _{C5}	67.1	32.5	

DADOS EXPERIMENTAIS	
Temp.ambiente	29,3°C
Temp.inicial prod.	25,7°C
Temp. ag. corrente	32,3°C
N _{OPERACÃO}	1,2 m/s
volume de leite	1,0 litro
Volume de água	3,5 litros
tempo de processo	62.5 min

TABELA 4-Determinação da velocidade de resfriamento da água contida no recipiente de aço inoxidável, o mesmo é aquecido simultaneamente com o recipiente, em todas as camadas do leite (C_1, C_2 e C_3), homogeneizado a velocidade de rotação por minuto de 1.2 m/s. (I)

CAMADA	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (min)	T_{H_2O} DO BANHO (°C)
T_{C4}	48.1	5.0	35.4
T_{C7}	57.2	5.0	
T_{C5}	59.5	5.0	
T_{C4}	39.9	10.0	33.1
T_{C7}	47.2	10.0	
T_{C5}	49.8	10.0	
T_{C4}	36.6	15.0	32.0
T_{C7}	41.7	15.0	
T_{C5}	43.7	15.0	
T_{C4}	35.0	20.0	31.5
T_{C7}	38.3	20.0	
T_{C5}	39.8	20.0	
T_{C4}	34.2	25.0	31.4
T_{C7}	36.4	25.0	
T_{C5}	37.4	25.0	
T_{C4}	33.7	30.0	31.5
T_{C7}	35.2	30.0	
T_{C5}	35.9	30.0	
T_{C4}	33.6	35.0	31.4
T_{C7}	33.1	35.0	
T_{C5}	33.0	35.0	

TABELA 5-Determinação da velocidade de aquecimento da água contida no recipiente de aço inoxidável o mesmo é aquecido simultaneamente com o recipiente, em todas as camadas do leite (C_1, C_2 e C_3), homogeneizado a velocidade de rotação por minuto de 1.4 m/s. (I)

CAMADA	TEMPERATURA (° C)	TEMPO (min)	T _{H2O DO BANHO} (°C)
T _{C4}	37.4	5.0	36.9
T _{C7}	37.0	5.0	
T _{C5}	34.5	5.0	
T _{C4}	44.0	10.0	43.6
T _{C7}	43.6	10.0	
T _{C5}	40.5	10.0	
T _{C4}	50.5	15.0	50.9
T _{C7}	50.2	15.0	
T _{C5}	46.2	15.0	
T _{C4}	56.6	20.0	57.5
T _{C7}	56.3	20.0	
T _{C5}	52.7	20.0	
T _{C4}	62.7	25.0	63.3
T _{C7}	62.4	25.0	
T _{C5}	59.6	25.0	
T _{C4}	67.0	30.0	68.4
T _{C7}	67.3	30.0	
T _{C5}	63.0	30.0	

DADOS EXPERIMENTAIS	
Temp.ambiente	28,5°C
Temp.inicial prod.	29,2°C
Temp. ag. corrente	32,0°C
N ^{OPERACÃO}	1,4 m/s
volume de leite	1,0 litro
Volume de água	3,5 litros
tempo de processo	65 min

TABELA 6-Determinação da velocidade de resfriamento da água contida no recipiente de aço inoxidável, o mesmo é aquecido simultaneamente com o recipiente, em todas as camadas do leite (C_1, C_2 e C_3), homogeneizado a velocidade de rotação por minuto de 1.4 m/s. (I)

CAMADA	TEMPERATURA (° C)	TEMPO (min)	T _{H2O DO BANHO} (°C)
T _{C4}	63.0	5.0	35.2
T _{C7}	61.9	5.0	
T _{C5}	62.5	5.0	
T _{C4}	51.8	10.0	32.9
T _{C7}	50.8	10.0	
T _{C5}	53.0	10.0	
T _{C4}	44.3	15.0	32.3
T _{C7}	43.6	15.0	
T _{C5}	46.1	15.0	
T _{C4}	39.7	20.0	32.1
T _{C7}	38.8	20.0	
T _{C5}	41.1	20.0	
T _{C4}	36.7	25.0	32.0
T _{C7}	36.1	25.0	
T _{C5}	37.6	25.0	
T _{C4}	34.9	30.0	31.8
T _{C7}	34.1	30.0	
T _{C5}	35.2	30.0	
T _{C4}	34.0	35.0	31.7
T _{C7}	33.5	35.0	
T _{C5}	34.6	35.0	

ANEXO A: Descripción de los datos de entrada y salida de la simulación de Monte Carlo para el análisis de sensibilidad de los resultados de la simulación de Monte Carlo.

TABLA 1: Descripción de los datos de entrada y salida de la simulación de Monte Carlo para el análisis de sensibilidad de los resultados de la simulación de Monte Carlo.

TABLA 2: Descripción de los datos de entrada y salida de la simulación de Monte Carlo para el análisis de sensibilidad de los resultados de la simulación de Monte Carlo.

ANEXO C

Variable	Valor
Temperatura	25°C
Temperatura ambiente	20°C
Temperatura de agua	15°C
Número de ensayos	1000
Valor de salida	1.2
Valor de salida	1.5
Valor de salida	1.8

ANEXO C-Tabelas com os valores das medidas de temperaturas do leite, na região de menor transferência de calor (C_2), no processo de aquecimento simultâneo.

TABELA 1-Determinação da velocidade de aquecimento da água contida no recipiente de aço inoxidável, o mesmo é aquecido simultaneamente com o 2º recipiente, o agitador localizado na região de menor transferência de calor (C_2) homogeneizado na velocidade de rotação por minuto de 1.0 m/s, o banho à 90°C e o leite à 65°C.(I)

CAMADA	TEMPERATURA (°C)	TEMPO	T _{H2O DO BANHO} (°C)
T _{C7}	39.5	8.0	35.2
T _{C7}	40.9	10.0	37.6
T _{C7}	43.2	15.0	40.3
T _{C7}	47.6	20.0	45.0
T _{C7}	52.0	25.0	48.5
T _{C7}	56.1	30.0	52.4

TABELA 2-Determinação da velocidade de resfriamento da água contida no recipiente de aço inoxidável, o mesmo é aquecido simultaneamente com o 2º recipiente, o agitador localizado na região de menor transferência de calor (C_2), homogeneizado na velocidade de rotação por minuto de 1.0 m/s, o banho à 90°C e o leite à 65°C.(I)

CAMADA	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (min)	T _{H2O DO BANHO} (°C)
T _{C7}	52.6	5.0	35.1
T _{C7}	47.7	10.0	36.1
T _{C7}	43.4	15.0	36.7
T _{C7}	40.9	20.0	37.0
T _{C7}	39.4	25.0	36.7
T _{C7}	38.2	30.0	36.4

DADOS EXPERIMENTAIS	
Temp. ambiente	33,7°C
Temp. inicial prod.	31,4°C
Temp. ag. corrente	32,0°C
N ^{OPERAÇÃO}	1,4 m/s
volume de leite	1,5 litro
Volume de água	5,0 litros
tempo de processo	60 min

TABELA 3-Determinação da velocidade de aquecimento da água contida no recipiente de aço inoxidável, o mesmo é aquecido simultaneamente com o 2º recipiente, o agitador localizado na região de menor penetração de calor (C_2) homogeneizado a velocidade de rotação por minuto de 1.0 m/s, o banho à 90°C e o leite à 65° C (II).

CAMADA	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (min)	T _{H2O DO BANHO} (°C)
T _{C7}	35.9	5.0	36.5
T _{C7}	41.5	10.0	43.2
T _{C7}	46.6	15.0	47.0
T _{C7}	51.1	20.0	50.0
T _{C7}	55.5	25.0	53.6
T _{C7}	59.0	30.0	57.0

TABELA 4-Determinação da velocidade de resfriamento da água contida no recipiente de aço inoxidável, o mesmo é aquecido simultaneamente com o recipiente, o agitador localizado na região de menor penetração de calor (C_2) e homogeneizado na velocidade de rotação por minuto de 1.0 m/s, o banho à 90°C e o leite à 65° C (II).

CAMADA	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (min)	T _{H2O DO BANHO} (°C)
T _{C7}	48.3	5.0	33.4
T _{C7}	40.0	10.0	32.7
T _{C7}	37.2	15.0	32.6
T _{C7}	35.9	20.0	32.4
T _{C7}	34.9	25.0	32.2
T _{C7}	34.0	30.0	32.2

DADOS EXPERIMENTAIS	
Temp. ambiente	31,7°C
Temp. inicial prod.	29,8°C
Temp. ag. corrente	30,4°C
N ^o OPERAÇÃO	1,0 m/s
volume de leite	1,5 litro
Volume de água	5,0 litros
tempo de processo	67 min

TABELA 5-Determinação da velocidade de aquecimento da água contida no recipiente de aço inoxidável, o mesmo é aquecido simultaneamente com o 2º recipiente, o agitador localizado na região de menor transferência de calor (C_2), homogeneizado na velocidade de rotação por minuto de 1.0 m/s, o banho à 90°C e o leite à 67° C(I)

CAMADA	TEMPERATURA (° C)	TEMPO (min)	T _{H2O DO BANHO} (° C)
T _{C7}	37.8	5.0	39.6
T _{C7}	43.8	10.0	52.8
T _{C7}	52.5	15.0	62.0
T _{C7}	61.3	20.0	71.2
T _{C7}	67.0	23.39	77.8

TABELA 6 -Determinação da velocidade de resfriamento da água contida no recipiente de aço inoxidável, o mesmo é aquecido simultaneamente com o 2º recipiente, o agitador localizado na região de menor transferência de calor (C_2) homogeneizado na velocidade de rotação por minuto de 1.0 m/s, o banho à 90°C e o leite à 67°C (I)

CAMADA	TEMPERATURA (° C)	TEMPO (min)	T _{H2O DO BANHO} (° C)
T _{C7}	60.2	5.0	33.8
T _{C7}	51.7	10.0	33.6
T _{C7}	42.4	15.0	33.4
T _{C7}	37.4	20.0	32.9
T _{C7}	34.7	25.0	32.9
T _{C7}	33.4	30.0	32.8
T _{C7}	32.8	34.30	32.7

DADOS EXPERIMENTAIS	
Temp.ambiente	31,3°C
Temp.inicial prod.	32,1°C
Temp. ag. corrente	32,8°C
N _{OPERAÇÃO}	1,0 m/s
volume de leite	1,5 litro
Volume de água	5,0 litros
tempo de processo	58 min

TABELA 7- Determinação da velocidade de aquecimento da água contida no recipiente de aço inoxidável, o mesmo é aquecido simultaneamente com o 2º recipiente, o agitador localizado na região de menor penetração de calor (C_2) homogeneizado na velocidade de rotação por minuto de 1.0 m/s, o banho à 90°C e o leite à 67° C. (II)

CAMADA	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (min)	T _{H2O DO BANHO} (°C)
T _{C7}	64.8	5.0	81.5
T _{C7}	67.0	5.41	81.5

TABELA 8-Determinação da velocidade de resfriamento da água contida no recipiente de aço inoxidável, o mesmo é aquecido simultaneamente com o 2º recipiente, o agitador localizado na região de menor penetração de calor (C_2), homogeneizado na velocidade de rotação por minuto de 1.0 m/s, o banho à 90° C e o leite à 67° C. (II)

CAMADA	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (min)	T _{H2O DO BANHO} (°C)
T _{C7}	51.3	5.0	36.1
T _{C7}	41.2	10.0	33.9
T _{C7}	36.7	15.0	33.4
T _{C7}	34.5	20.0	33.3
T _{C7}	33.4	25.0	33.1

DADOS EXPERIMENTAIS	
Temp. ambiente	32,1°C
Temp. inicial prod.	28,0°C
Temp. ag. corrente	28,5°C
N _{OPERAÇÃO}	1,0 m/s
volume de leite	1,5 litro
Volume de água	5,0 litro
tempo de processo	30 min 41"
tempo 90°C	42 min

TABELA 9 -Determinação da velocidade de aquecimento da água contida no recipiente de aço inoxidável, o mesmo é aquecido simultâneamente com o 2º recipiente, o agitador localizado na região de menor penetração de calor (C_2) homogeneizado na velocidade de rotação por minuto de 1.0 m/s, o banho à 90°C e o leite à 67°C. (III)

CAMADA	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (min)	T _{H2O DO BANHO} (°C)
T _{C7}	52.0	2.0	90.0
T _{C7}	62.4	4.0	89.2

TABELA 10-Determinação da velocidade de resfriamento da água contida no recipiente de aço inoxidável, o mesmo é aquecido simultâneamente com o 2º recipiente, o agitador localizado na região de menor penetração de calor (C_2), homogeneizado na velocidade de rotação por minuto de 1.0 m/s, o banho à 90°C e o leite à 67° C (III)

CAMADA	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (min)	T _{H2O DO BANHO} (°C)
T _{C7}	61.8	2.0	31.6
T _{C7}	53.7	4.0	31.7
T _{C7}	48.8	6.0	31.7
T _{C7}	44.6	8.0	31.7
T _{C7}	41.9	10.0	31.6
T _{C7}	39.6	12.0	31.6
T _{C7}	37.7	14.0	31.6
T _{C7}	36.4	16.0	31.6
T _{C7}	35.5	18.0	31.6
T _{C7}	34.8	20.0	31.6
T _{C7}	34.1	22.0	31.6
T _{C7}	33.8	24.0	31.6
T _{C7}	33.6	25.0	31.6

DADOS EXPERIMENTAIS	
Temp. ambiente	30,2 °C
Temp. inic. prod.	32,2 °C
Temp. ag. corrente	33,3 °C
N _{OPERAÇÃO}	1,0 m/s
Volume de leite	1,5 litro
volume de água	5,0 litros
tempo de processo	29 min
T (90°C)	48 min

ANEXO D

ANEXO D- Tabelas com valores das medidas da temperatura do leite na região de menor penetração de calor (T_{C7}), e a água do banho na temperatura de 80°C , no processo de aquecimento prévio

TABELA 01 - Repetição da manutenção da temperatura à 63°C (I)

EXPERIMENTO	TEMPO (min)	TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{\text{H}_2\text{O DO BANHO}}$ ($^{\circ}\text{C}$)
AQUECIMENTO	0.0	26.0	80.0
	2.0	50.4	75.2
	4.0	56.8	74.2
	6.0	60.9	73.3
	8.0	62.8	71.9
MANUTENÇÃO	2.0	62.6	67.2
	4.0	62.8	67.1
	6.0	63.0	67.3
	8.0	63.0	67.1
	10.0	62.7	66.9
	12.0	62.8	66.7
	14.0	63.0	66.5
	16.0	62.9	66.3
	18.0	62.6	66.5
	20.0	62.7	66.8
	22.0	63.0	67.1
	24.0	63.2	67.2
	26.0	63.1	66.4
RESFRIAMENTO	2.0	62.2	55.6
	4.0	60.0	46.6
	6.0	55.1	39.8
	8.0	51.9	39.6
	10.0	48.5	36.4
	12.0	44.6	35.3
	14.0	42.6	34.2
	16.0	41.1	33.4
	18.0	39.3	31.6
20.0	37.3	30.9	
22.0	33.5	28.1	
24.0	31.2	28.1	

* ligou o sistema (fogão a gás) obs. para todos os experimentos ** desligou o sistema (fogão a gás)

	TEMPERATURA	TEMPO		VOLUME	VOLUME	VELOCIDADE
	($^{\circ}\text{C}$)	(MIN)		LEITE (l)	ÁGUA (l)	rpm
AMBIENTE	23,0	OP.AQ.BANHO	30,0	6,5	12,5	1,0
ÁGUA CORRENTE	26,0	AQ. PAST.	8,0			
INICIAL DO LEITE	28,0	MANUTENÇÃO	30,0			
PASTEURIZAÇÃO	63,0	RESF.DO LEITE	24,0			
BANHO	80,0	DURAÇÃO	92,0			
FINAL DO LEITE	31,2					

TABELA 02 - Repetição da manutenção da temperatura à 63° C(II)

EXPERIMENTO	TEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	T _{H2O DO BANHO} (°C)
AQUECIMENTO	0.0	24.0	80.0
	2.0	47.5	79.0
	4.0	55.0	78.2
	6.0	59.5	77.6
	8.0	62.8	75.2
MANUTENÇÃO	2.0	*62.9	74.3
	4.0	62.8	71.2
	6.0	62.9	71.3
	8.0	62.9	71.2
	10.0	63.2	70.3
	12.0	**63.5	70.8
	14.0	63.4	70.8
	16.0	63.0	69.3
	18.0	63.0	68.2
	20.0	62.8	67.1
	22.0	63.0	67.1
	24.0	63.2	67.7
	26.0	63.3	67.4
28.0	63.1	66.7	
30.0	62.9	66.1	
RESFRIAMENTO	2.0	61.9	59.8
	4.0	59.9	45.7
	6.0	53.7	41.4
	8.0	50.1	41.4
	10.0	47.7	41.3
	12.0	46.3	40.9
	14.0	45.2	39.8
	16.0	42.8	37.6
	18.0	40.4	36.7
	20.0	38.2	36.0
22.0	36.0	35.8	

* ligou o sistema

** desligou o sistema

	TEMPERATURA (C)		TEMPO (MIN)		VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm
	AMBIENTE	26,0	OP.AQ.BANHO	28,0	6,5	12,5	1,0
ÁGUA CORRENTE	26,0	AQ. PAST.	8,0				
INICIAL DO LEITE	24,0	MANUTENÇÃO	30,0				
PASTEURIZAÇÃO	63,0	RESF.DO LEITE	22,0				
BANHO	80,0	DURAÇÃO	88,0				
FINAL DO LEITE	36,0						

TABELA 03 - Repetição da manutenção da temperatura à 63° C (III)

EXPERIMENTO	TEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	T _{H2O DO BANHO} (°C)
AQUECIMENTO	0.0	33.0	80.0
	2.0	47.6	79.9
	4.0	56.6	77.9
	6.0	61.9	76.1
	8.0	63.0	75.5
MANUTENÇÃO	2.0	63.0	74.2
	4.0	63.0	72.2
	6.0	63.0	71.3
	8.0	63.0	71.2
	10.0	63.0	70.3
	12.0	63.0	69.3
	14.0	63.0	69.3
	16.0	63.0	69.2
	18.0	63.0	68.2
	20.0	63.0	67.1
	22.0	63.0	67.0
	24.0	63.0	66.4
	26.0	63.0	66.1
28.0	63.0	66.2	
30.0	63.0	66.0	
RESFRIAMENTO	2.0	57.9	45.5
	4.0	53.1	45.8
	6.0	50.6	42.3
	8.0	47.9	41.8
	10.0	45.9	40.3
	12.0	44.0	39.6
	14.0	42.7	37.2
	16.0	39.9	34.9
18.0	38.1	34.8	

* ligou o sistema

** desligou o sistema

TEMPERATURA (°C)	TEMPO (MIN)	VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm		
AMBIENTE	28,0	OP.AQ.BANHO	28,0	6,5	12,5	1,0
ÁGUA CORRENTE	29,5	AQ. PAST.	8,0			
INICIAL DO LEITE	33,0	MANUTENÇÃO	30,0			
PASTEURIZAÇÃO	63,0	RESF. DO LEITE	18,0			
BANHO	80,0	DURAÇÃO	84			
FINAL DO LEITE	38,1					

TABELA 04 - Repetição da manutenção da temperatura à 65°C (I)

EXPERIMENTO	TEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	T _{H2O} DO BANHO (°C)
AQUECIMENTO	0.0	29.0	80.0
	2.0	48.4	79.8
	4.0	56.5	79.2
	6.0	60.3	76.0
	8.0	*63.0	76.8
	10.0	64.9	73.8
MANUTENÇÃO	2.0	65.1	72.1
	4.0	65.0	71.2
	6.0	64.9	70.2
	8.0	65.1	69.0
	10.0	65.4	69.2
	12.0	**65.8	69.6
	14.0	65.6	68.4
	16.0	65.3	67.3
	18.0	65.0	66.2
	20.0	*64.9	66.6
	22.0	65.0	71.0
	24.0	65.2	72.1
	26.0	**65.9	71.9
	28.0	66.0	71.2
30.0	66.5	68.2	
RESFRIAMENTO	2.0	60.9	38.8
	4.0	52.3	35.9
	6.0	47.2	34.4
	8.0	43.6	33.6
	10.0	40.0	33.2
	12.0	37.9	33.3
	14.0	36.4	33.7
	16.0	34.2	33.6
	18.0	34.5	29.0
	20.0	34.0	28.2
22.0	33.9	28.2	
24.0	32.6	28.1	

* ligou o sistema

** desligou o sistema

TEMPERATURA (°C)	TEMPO (MIN)	VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm	
AMBIENTE	27,0	OP.AQ.BANHO	3,5	6,5	1,0
ÁGUA CORRENTE	25,6	AQ. PAST.	10,0		
INICIAL DO LEITE	29,0	MANUTENÇÃO	30,0		
PASTEURIZAÇÃO	65,0	RESF. DO LEITE	24,0		
BANHO	80,0	DURAÇÃO			
FINAL DO LEITE	32,6				

TABELA 05 - Repetição da manutenção da temperatura à 65° C (II)

EXPERIMENTO	TEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	T _{H2O} DO BANHO (°C)
AQUECIMENTO	0.0	26.0	80.0
	5.0	64.0	79.8
MANUTENÇÃO	2.0	65.1	77.0
	4.0	65.5	77.2
	6.0	64.6	76.0
	8.0	64.0	75.8
	10.0	63.0	74.0
	12.0	63.5	74.5
	14.0	63.8	75.0
	16.0	63.6	75.2
	18.0	64.0	75.2
	20.0	64.3	75.8
	22.0	65.2	76.0
	24.0	65.6	76.8
	26.0	66.0	77.9
	28.0	65.8	76.0
30.0	65.6	75.8	
RESFRIAMENTO	2.0	40.0	
	4.0	37.9	
	6.0	37.2	
	8.0	34.1	
	10.0	32.5	
	12.0	31.3	
	14.0	30.1	
	16.0	29.3	
	18.0	28.8	
20.0	27.8		

* ligou o sistema

** desligou o sistema

TEMPERATURA (°C)	TEMPO (MIN)	VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm		
AMBIENTE	26,5	OP.AQ.BANHO	20,0	3,5	6,5	1,0
ÁGUA CORRENTE	27,5	OP.AQ.PAST.	5,0			
INICIAL DO LEITE	26,0	MANUTENÇÃO	30,0			
PASTEURIZAÇÃO	65,0	RESF. DO LEITE	20,0			
BANHO	80,0	DURAÇÃO	55,0			
FINAL DO LEITE	27,8					

TABELA 06 - Repetição da manutenção da temperatura à 65°C (III)

EXPERIMENTO	TEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	T _{H₂O DO BANHO} (°C)
AQUECIMENTO	0.0	29.0	80.0
	2.0	46.2	78.2
	4.0	53.8	76.2
	6.0	57.4	74.4
	8.0	59.9	72.9
	10.0	64.9	70.2
MANUTENÇÃO	2.0	65.0	69.2
	4.0	65.0	69.4
	6.0	65.0	69.0
	8.0	65.0	68.6
	10.0	65.0	68.6
	12.0	65.0	68.7
	14.0	65.0	69.0
	16.0	65.0	69.1
	18.0	65.0	68.7
	20.0	65.0	68.1
	22.0	65.0	68.2
	24.0	65.0	68.0
	26.0	65.0	68.0
28.0	65.0	67.2	
30.0	65.0	66.0	
RESFRIAMENTO	2.0	61.3	46.1
	4.0	55.7	42.9
	6.0	50.3	41.0
	8.0	47.1	38.4
	10.0	44.8	35.9
	12.0	41.9	31.3
	14.0	37.4	30.3
	16.0	36.8	29.2
18.0	34.2	29.1	

* ligou o sistema

** desligou o sistema

TEMPERATURA (°C)	TEMPO (MIN)	VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm		
AMBIENTE	26,7	OP.AQ.BANHO	25,0	6,5	12,5	1,0
ÁGUA CORRENTE	27,7	AQ. PAST.	10,0			
INICIAL DO LEITE	29,0	MANUTENÇÃO	30,0			
PASTEURIZAÇÃO	65,0	RESF. DO LEITE	18,0			
BANHO	80,0	DURAÇÃO	83,0			
FINAL DO LEITE	34,2					

TABELA 07 - Repetição da manutenção da temperatura à 67° C (I)

EXPERIMENTO	TEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	T _{H2O DO BANHO} (°C)
AQUECIMENTO	0.0	28.0	80.0
	2.0	47.7	79.0
	4.0	53.5	78.5
	6.0	61.3	77.0
	8.0	64.2	76.2
	10.0	66.9	71.9
MANUTENÇÃO	2.0	*66.8	71.9
	4.0	67.5	70.5
	6.0	67.6	69.7
	8.0	67.6	68.5
	10.0	67.5	67.7
	12.0	67.3	66.8
	14.0	66.7	66.0
	16.0	**66.0	65.8
	18.0	65.9	65.4
	20.0	65.9	67.0
	22.0	65.9	67.9
	24.0	65.9	68.0
	26.0	65.8	68.2
	28.0	65.8	68.0
30.0	65.7	67.2	
RESFRIAMENTO	2.0	60.9	38.8
	4.0	52.8	35.9
	6.0	47.2	34.4
	8.0	43.6	33.6
	10.0	40.0	33.2
	12.0	37.9	33.3
	14.0	36.4	33.7
	16.0	34.2	33.6
	18.0	34.5	29.0
	20.0	34.0	28.2
	22.0	33.9	28.2
	24.0	32.6	28.1

* ligou o sistema

** desligou o sistema

TEMPERATURA (°C)	TEMPO (MIN)	VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm		
AMBIENTE	27,5	OP.AQ.BANHO	30,0	6,5	12,5	1,0
ÁGUA CORRENTE	28,0	AQ.PAST.	10,0			
INICIAL DO LEITE	30,0	MANUTENÇÃO	30,0			
PASTEURIZAÇÃO	67,0	RESF. DO LEITE	24,0			
BANHO	80,0	DURAÇÃO	94,0			
FINAL DO LEITE	32,6					

TABELA 08 - Repetição da manutenção da temperatura à 67° C(II)

EXPERIMENTO	TEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	T _{H2O DO BANHO} (°C)
AQUECIMENTO	0.0	29.0	80.0
	2.0	54.7	79.0
	4.0	64.0	78.9
	6.0	67.0	77.0
MANUTENÇÃO	2.0	*67.6	77.0
	4.0	**68.0	75.2
	6.0	68.9	73.0
	8.0	69.1	67.2
	10.0	68.3	65.6
	12.0	68.1	65.6
	14.0	67.2	64.5
	16.0	*66.8	63.6
	18.0	66.0	63.0
	20.0	65.2	62.8
	22.0	65.0	63.2
	24.0	65.1	64.5
	26.0	65.6	65.0
	28.0	65.8	64.9
30.0	65.1	64.8	
RESFRIAMENTO	2.0	62.4	46.9
	4.0	58.6	42.9
	6.0	50.6	36.0
	8.0	49.5	35.8
	10.0	40.7	29.4
	12.0	37.1	28.6
	14.0	35.2	28.8
	16.0	32.3	28.8
18.0	31.8	28.8	

* ligou o sistema

** desligou o sistema

TEMPERATURA (°C)	TEMPO (MIN)	VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm		
AMBIENTE	25,0	OP.AQ.BANHO	30,0	5,0	10,0	1,0
ÁGUA CORRENTE	27,3	AQ. PAST.	6,0			
INICIAL DO LEITE	29,0	MANUTENÇÃO	30,0			
PASTEURIZAÇÃO	67,0	RESF. DO LEITE	18,0			
BANHO	80,0	DURAÇÃO	84,0			
FINAL DO LEITE	31,8					

TABELA 09 - Repetição da manutenção da temperatura à 67° C (III)

EXPERIMENTO	TEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	T _{H2O DO BANHO} (°C)
AQUECIMENTO	0.0	28.0	80.0
	2.0	55.0	79.4
	4.0	61.8	78.5
	6.0	67.0	77.2
MANUTENÇÃO	2.0	**67.2	75.9
	4.0	67.3	74.8
	6.0	67.1	73.8
	8.0	*66.8	72.9
	10.0	66.7	71.9
	12.0	**66.8	71.8
	14.0	66.7	71.3
	16.0	66.6	71.0
	18.0	66.6	71.5
	20.0	66.6	71.4
	22.0	66.5	71.7
	24.0	66.8	71.8
	26.0	66.8	71.4
	28.0	66.8	71.2
30.0	67.0	71.1	
RESFRIAMENTO	2.0	65.6	69.0
	4.0	63.4	55.9
	6.0	56.9	43.4
	8.0	46.2	38.6
	10.0	43.4	37.9
	12.0	42.1	37.8
	14.0	40.3	35.4
	16.0	37.8	28.9
	18.0	36.8	28.4
	20.0	34.7	28.2
22.0	33.5	28.1	
24.0	31.2	28.1	

* ligou o sistema

** desligou o sistema

TEMPERATURA (°C)	TEMPO (MIN)	VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm		
AMBIENTE	24,3	OP.AQ.BANHO	30,0	6,5	12,5	1,0
ÁGUA CORRENTE	28,0	AQ. PAST.	6,0			
INICIAL DO LEITE	28,0	MANUTENÇÃO	30,0			
PASTEURIZAÇÃO	67,0	RESF. DO LEITE	24,0			
BANHO	80,0	DURAÇÃO	90			
FINAL DO LEITE	31,2					

TABELA 10 - Repetição da manutenção da temperatura à 69°C (I)

EXPERIMENTO	TEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	T _{H2O DO BANHO} (°C)
AQUECIMENTO	0.0	26.5	80.0
	2.0	48.4	79.8
	4.0	62.7	78.2
	6.0	69.8	77.3
MANUTENÇÃO	2.0	**71.1	77.1
	4.0	71.9	76.2
	6.0	70.0	75.4
	8.0	69.8	74.6
	10.0	69.8	73.6
	12.0	69.8	72.7
	14.0	69.6	71.9
	16.0	*69.6	71.2
	18.0	69.6	71.4
	20.0	*69.5	71.8
	22.0	69.5	72.0
	24.0	69.4	72.7
	26.0	69.4	72.9
28.0	69.2	72.9	
30.0	69.2	73.0	
RESFRIAMENTO	2.0	65.2	48.3
	4.0	60.3	40.2
	6.0	56.8	38.2
	8.0	52.5	38.6
	10.0	50.4	36.5
	12.0	46.2	35.6
	14.0	40.1	34.7
	16.0	37.8	32.8
18.0	36.8	30.2	

* ligou o sistema

** desligou o sistema

TEMPERATURA (°C)	TEMPO (MIN)	VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm	
AMBIENTE	28,0	OP.AQ.BANHO	6,5	12,5	1,0
ÁGUA CORRENTE	26,0	AQ. PAST.			
INICIAL DO LEITE	14,0	MANUTENÇÃO			
PASTEURIZAÇÃO	69,0	RESF. DO LEITE			
BANHO	8,0	DURAÇÃO			
FINAL DO LEITE	36,8				

TABELA 11 - Repetição da manutenção da temperatura à 69°C (II)

EXPERIMENTO	TEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	T _{H2O} DO BANHO (°C)
AQUECIMENTO	0.0	26.0	80.0
	2.0	43.4	79.8
	4.0	52.7	78.2
	6.0	58.0	77.3
	8.0	62.8	72.5
	10.0	66.8	75.4
	12.0	68.8	76.9
MANUTENÇÃO	2.0	69.1	75.3
	4.0	69.0	74.4
	6.0	69.0	73.5
	8.0	*68.8	72.6
	10.0	69.0	72.8
	12.0	69.1	73.0
	14.0	69.0	74.3
	16.0	69.0	73.2
	18.0	69.0	72.4
	20.0	69.0	71.8
	22.0	69.0	71.4
	24.0	69.0	72.1
	26.0	69.0	72.5
28.0	69.0	71.9	
30.0	69.0	71.0	
RESFRIAMENTO	2.0	59.0	38.6
	4.0	58.0	35.5
	6.0	52.0	32.5
	8.0	49.5	30.6
	10.0	46.4	30.3
	12.0	41.2	30.1
	14.0	40.1	30.1
	16.0	37.8	29.8
	18.0	36.8	29.5

* ligou o sistema

** desligou o sistema

TEMPERATURA (°C)	TEMPO (MIN)	VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm		
AMBIENTE	27,0	OP.AQ.BANHO	21,0	6,5	12,5	1,0
ÁGUA CORRENTE	27,1	AQ. PAST.	12,0			
INICIAL DO LEITE	26,0	MANUTENÇÃO	30,0			
PASTEURIZAÇÃO	69,0	RESF.DO LEITE	18,0			
BANHO	80,0	DURAÇÃO	81,0			
FINAL DO LEITE	36,8					

TABELA 12 - Repetição da manutenção da temperatura à 69°C (III)

EXPERIMENTO	TEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	T _{H2O} DO BANHO (°C)
AQUECIMENTO	0.0	29,0	80,0
	2.0	45,4	79,4
	4.0	54,0	77,7
	6.0	60,0	75,2
	8.0	65,8	72,5
	10.0	67,5	75,4
	12.0	**69,2	76,9
MANUTENÇÃO	2.0	69,1	76,2
	4.0	69,0	75,3
	6.0	69,0	75,6
	8.0	69,0	74,4
	10.0	69,0	73,8
	12.0	69,0	73,1
	14.0	69,0	72,6
	16.0	69,0	71,7
	18.0	69,0	71,4
	20.0	69,0	71,1
	22.0	69,0	71,4
	24.0	69,0	72,1
	26.0	69,0	72,5
28.0	69,0	71,9	
30.0	69,0	71,0	
RESFRIAMENTO	2.0	60,0	36,8
	4.0	56,0	33,6
	6.0	53,0	32,6
	8.0	47,5	32,4
	10.0	45,1	31,9
	12.0	41,2	30,1
	14.0	40,1	29,1
	16.0	37,2	28,8
18.0	36,8	28,5	

* ligou o sistema

** desligou o sistema

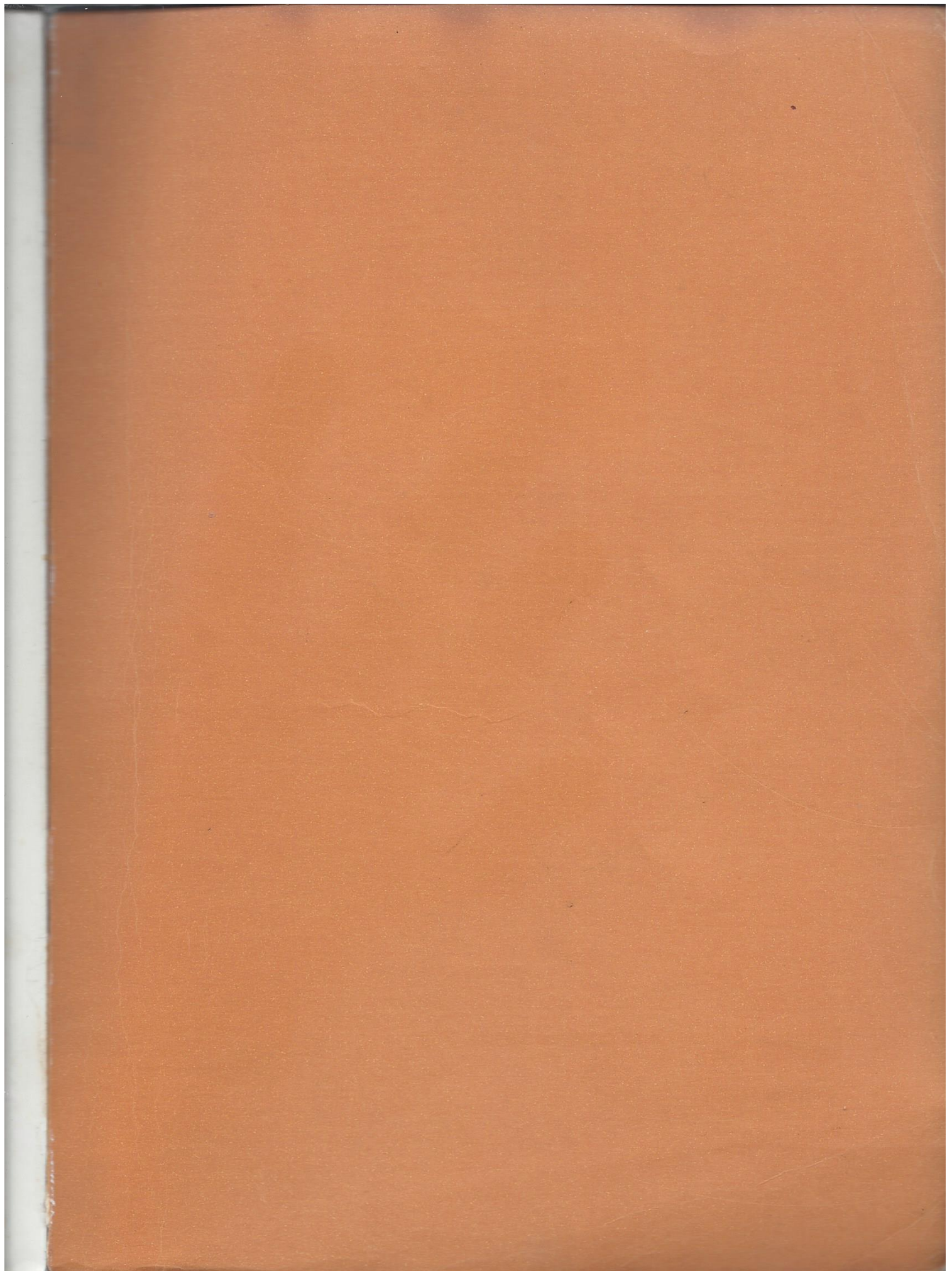
TEMPERATURA (°C)	TEMPO (MIN)	VOLUME LEITE (l)	VOLUME ÁGUA (l)	VELOCIDADE rpm		
AMBIENTE	26,6	OP.AQ.BANHO	28,0	6,5	12,5	1,0
ÁGUA CORRENTE	29,0	AQ. PAST.	12,0			
INICIAL DO LEITE	29,0	MANUTENÇÃO	30,0			
PASTEURIZAÇÃO	69,0	RESF.DO LEITE	18,0			
BANHO	80,0	DURAÇÃO	88,0			
FINAL DO LEITE	36,8					

TABELA 1 - Correção da densidade do leite (segundo o LANARA, 1981)

G° de Lac tode nsi met ro	TEMPERATURA DO LEITE																												
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29						
18	17,1	17,2	17,3	17,4	17,5	17,6	17,7	17,8	18	18,1	18,3	18,5	18,7	18,9	19,1	19,3	19,5	19,7	19,9	20,1	20,3	20,5	20,8						
19	18,1	18,2	18,3	18,4	18,5	18,6	18,7	18,8	19	19,1	19,3	19,5	19,7	19,9	20,1	20,3	20,5	20,7	20,9	21,1	21,3	21,5	21,8						
20	19,0	19,1	19,2	19,3	19,4	19,5	19,6	19,8	20	20,1	20,3	20,5	20,7	20,9	21,1	21,3	21,5	21,7	21,9	22,1	22,3	22,5	22,8						
21	20,0	20,1	20,2	20,3	20,4	20,5	20,6	20,8	21	21,2	21,4	21,6	21,8	22,0	22,2	22,4	22,6	22,8	23,0	23,2	23,4	23,6	23,9						
22	21,0	21,1	21,2	21,3	21,4	21,5	21,6	21,8	22	22,2	22,4	22,6	22,8	23,0	23,2	23,4	23,6	23,8	24,1	24,3	24,5	24,7	25,0						
23	22,0	22,1	22,2	22,3	22,4	22,5	22,6	22,8	23	23,2	23,4	23,6	23,8	24,0	24,2	24,4	24,6	24,8	25,1	25,3	25,5	25,7	26,0						
24	23,0	23,1	23,2	23,3	23,4	23,5	23,6	23,8	24	24,2	24,4	24,6	24,8	25,0	25,2	25,4	25,6	25,8	26,1	26,3	26,5	26,7	27,0						
25	23,9	24,0	24,1	24,2	24,3	24,5	24,6	24,8	25	25,2	25,4	25,6	25,8	26,0	26,2	26,4	26,6	26,8	27,1	27,3	27,5	27,7	28,0						
26	24,9	25,0	25,1	25,2	25,3	25,5	25,6	25,8	26	26,2	26,4	26,6	26,9	27,1	27,3	27,5	27,7	27,9	28,2	28,4	28,6	28,8	29,1						
27	25,9	26,0	26,1	26,2	26,3	26,5	26,6	26,8	27	27,2	27,4	27,6	27,9	28,2	28,4	28,6	28,8	29,0	29,3	29,5	29,7	29,9	30,2						
28	26,8	26,9	27,0	27,1	27,2	27,4	27,6	27,8	28	28,2	28,4	28,6	28,9	29,2	29,4	29,6	29,9	30,1	30,4	30,6	30,8	31,0	31,3						
29	27,7	27,8	27,9	28,1	28,2	28,4	28,6	28,8	29	29,2	29,4	29,6	29,9	30,2	30,4	30,6	30,9	31,2	31,5	31,7	31,9	32,1	32,4						
30	28,6	28,7	28,8	29,0	29,2	29,4	29,6	29,8	30	30,2	30,4	30,6	30,9	31,2	31,4	31,6	31,9	32,2	32,5	32,7	33,0	33,3	33,6						
31	29,6	29,7	29,8	30,0	30,2	30,4	30,6	30,8	31	31,2	31,4	31,7	32,0	32,3	32,5	32,7	33,0	33,3	33,6	33,8	34,1	34,4	34,8						
32	30,5	30,7	30,8	31,0	31,2	31,4	31,6	31,8	32	32,2	32,4	32,7	33,0	33,3	33,6	33,8	34,1	34,4	34,7	34,9	35,2	35,5	35,9						
33	31,4	31,6	31,8	32,0	32,2	32,4	32,6	32,8	33	33,2	33,4	33,7	34,0	34,3	34,6	34,9	35,2	35,5	35,8	36,0	36,3	36,6	37,0						
34	32,3	32,5	32,7	32,9	33,1	33,4	33,5	33,8	34	34,2	34,4	34,7	35,0	35,3	35,6	35,9	36,2	36,5	36,8	37,1	37,4	37,7	38,1						
35	33,1	33,4	33,6	33,8	34,0	34,2	34,4	34,7	35	35,2	35,4	35,7	36,0	36,3	36,6	36,9	37,2	37,5	37,8	38,1	38,4	38,7	39,1						
36	34,0	34,3	34,5	34,7	34,9	35,1	35,3	35,7	36	36,2	36,4	36,7	37,1	37,4	37,7	38,0	38,3	38,6	38,9	39,2	39,5	39,4	40,2						

TABELA 1- Número Mais Provável (NMP/gr ou ml de amostra)- tabela de Mac Crady

TABELA DE NMP (NÚMERO MAIS PROVÁVEL)							
NMP por grama ou mililitro de amostra							
semeando porções de 1,0-0,1 e 0,01 em cada tubo							
Número de NMP positivo g/ml			NMP por g/ml	Número de tubos positivo g/ml			NMP por g/ml
1,0 grama	0,1 grama	0,01 grama		1,0 grama	0,1 grama	0,01 grama	
0	0	0	0,0	2	0	0	0,91
0	0	1	0,3	2	0	1	1,4
0	0	2	0,6	2	0	2	2,0
0	0	3	0,9	2	0	3	2,6
0	1	0	0,3	2	1	0	1,5
0	1	1	0,61	2	1	1	2,0
0	1	2	0,92	2	1	2	2,7
0	1	3	1,2	2	1	3	3,4
0	2	0	0,62	2	2	0	2,1
0	2	1	0,93	2	2	1	2,8
0	2	2	1,2	2	2	2	3,5
0	2	3	1,6	2	2	3	4,2
0	3	0	0,94	2	3	0	2,9
0	3	1	1,3	2	3	1	3,6
0	3	2	1,6	2	3	2	4,4
0	3	3	1,9	2	3	3	5,3
1	0	0	0,36	3	0	0	2,3
1	0	1	0,72	3	0	1	3,9
1	0	2	1,1	3	0	2	6,4
1	0	3	1,5	3	0	3	9,5
1	1	0	0,73	3	1	0	4,3
1	1	1	1,1	3	1	1	7,5
1	1	2	1,5	3	1	2	12,0
1	1	3	1,9	3	1	3	16,0
1	2	0	1,1	3	2	0	9,3
1	2	1	1,5	3	2	1	15,0
1	2	2	2,0	3	2	2	21,0
1	2	3	2,4	3	2	3	29,0
1	3	0	1,6	3	3	0	24,0
1	3	1	2,0	3	3	1	46,0
1	3	2	2,4	3	3	2	110
1	3	3	2,9	3	3	3	>110





L170718

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica-UFRN
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Centre de Tecnologia
Campus Universitário (Lagoa Nova)
59.072-970 - Natal (RN) - Brasil
Tel.: (084) 231-9047
Fax: (084) 231 9048/231-4467