

Inpl. 26.10.92

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS E AGRÍCOLA

Caracterização do Sistema Ejetor de Vapor
na Pasteurização de Leite Destinado
à Fabricação de Queijos

Ronaldo Figueiredo Ventura
Engenheiro de Alimentos

Orientador:

Prof. Dr. Olavo Rusig

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos e
Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, para obten
ção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos.

- 1981 -

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

DEDICADO À PEQUENA E MÉDIA INDÚSTRIA NACIONAL

AGRADECIMENTOS

O autor agradece, sinceramente, ao Dr. Olavo Rusig pela orientação deste trabalho; à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG; ao Instituto de Laticínios "Cândido Tostes", local onde se realizou o trabalho; ao Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco - ITEP pela bolsa de estudos concedida durante o curso de pós-graduação; às firmas: Sarco Indústria e Comércio Sul Americana S.A., Indústria Annunciato de Biaso Irmãos S.A., e Anderson Clayton S.A., pela colaboração através de doação de equipamentos e acessórios para a montagem da instalação; aos Drs. José Sátiro de Oliveira, Antonio Carlos Ferreira, Everaldo de Almeida Leite - as Dr^{as}. Juliana M. A. de Oliveira, Abigail Tauber e Pautilha Guimarães pela amizade e incentivo; aos técnicos e funcionários do Instituto de Laticínios "Cândido Tostes" pelo estímulo e valiosa colaboração nas diversas fases do trabalho; à Margarida, Lúcia, Raquel, Conceição, especialmente à Sônia e Maria Helena pelo trabalho datilográfico; à He-loiza, Marina, Judith e Achson pela colaboração nos trabalhos de laboratórios; às bibliotecárias Sr^a. Angelina, Marilandy, Beth e Margarida pela paciência e amizade; e a meus pais e irmãos pelo carinho e confiança.

ÍNDICE

	Página
Índice de Quadros	i
Índice de Figuras	iii
Símbologia	v
Resumo	vii
Summary	viii
1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica	2
2.1. Indústria de Queijos no Brasil	2
2.2. Pasteurização do Leite	4
2.2.1. Inspeção Federal	4
2.2.2. Destinado a Queijos	6
2.2.3. Sistema Direto e Indireto Gerais.....	8
2.2.4. Sistema Direto Contínuo com Ejetor de Vapor	11
3. Material e Métodos	20
3.1. Matéria Prima	20
3.2. Vapor	20
3.3. Equipamentos e Processos	20
3.3.1. Componentes	21
3.3.2. Convenções	24
3.3.3. Instalações	29
3.3.4. Processo de Pasteurização do Leite.....	35
3.4. Caracterização do Equipamento	36
3.4.1. Determinações Físicas	36
3.4.1.1. Condições do Vapor	36
3.4.1.2. Determinação das Temperaturas.....	38
3.4.1.3. Coluna de Alimentação	38
3.4.1.4. Determinação das Vazões	39
3.4.1.5. Controle da Vazão de Alimentação...	40

3.4.2. Caracterização do Equipamento Utilizando	
Água	40
3.4.2.1. Ejetor Acima do Nível de Alimentação ..	40
3.4.2.2. Ejetor Abaixo do Nível de Alimentação .	41
3.4.2.2.1. Análise da 1ª Instalação.....	42
3.4.2.2.2. Ejetor com Coluna de Água Controlá- vel	43
3.4.2.2.3. Instalação Definida	44
3.4.2.3. Determinação do Tempo de Residência	45
3.4.2.4. Resfriamento	47
3.5. Efeito da Diluição do Leite Usando Água	48
3.5.1. Amostragem	49
3.5.2. Análises Físico-Químicas	49
3.5.2.1. Acidez e pH	49
3.5.2.2. Gordura	49
3.5.2.3. Densidade	50
3.5.2.4. Ponto Crioscópico	50
3.5.2.5. Sólidos Totais	50
3.6. Estudo da Eficiência de Pasteurização do Leite	50
3.6.1. Condições de Pasteurização	50
3.6.2. Determinações Físicas	51
3.6.3. Análises Físico Químicas	51
3.6.4. Análises	52
3.6.4.1. Fosfatase Alcalina	52
3.6.4.2. Peroxidase	52
3.6.4.3. Contagem Total	52
3.6.4.4. Contagem de Coliformes	53
4. Resultados e Discussões	53
4.1. Caracterização dos Parâmetros de Trabalho Usando	
Água	53
4.1.1. Consumo de Vapor - Calculado	53
4.1.2. Determinações das Vazões das Válvulas de Con- trole 1 e 2	55

4.1.3. Ejetor Acima do Nível de Alimentação	59
4.1.4. Ejetor Abaixo do Nível de Alimentação	64
4.1.4.1. Análise a 1ª Instalação.....	64
4.1.4.2. Coluna de Água Controlada	76
4.1.4.3. Instalação Definida	82
4.1.5. Tempo de Residência	91
4.1.6. Condições de Resfriamento	95
4.2. Diluição do Leite Usando Água	97
4.3. Pasteurização do Leite Usando a Instalação Defi- nida	108
4.3.1. Consumo de Vapor - Calculado	108
4.3.2. Determinações Físicas	110
4.3.3. Análises	115
4.3.3.1. Determinações Físico - Químicas	115
4.3.3.2. Efeito das Diluições	119
4.3.4. Avaliação da Pasteurização	123
5. Conclusões	130
6. Sugestões	132
7. Bibliografia	134
8. Apêndice	143

1. Consumo de Vapor (kg) em função da Temperatura de Água e da Pressão de Vapor para Aquecer 100 kg de Água a 72°C - Calculado Segundo Farral...	55
2. Influência da Pressão do Vapor no Fluxo e na Temperatura da Mistura (água+vapor).....	60
3. Influência da Pressão de Vapor na Temperatura da Mistura (água+vapor).....	62
4. Variação da Vazão de Alimentação de Água e Temperatura da Mistura (água+vapor)	67
5. Relação Entre Temperaturas Médias nas Posições T1 (20 cm), T2 (92 cm) e T3 (810 cm).....	79
6. Influência da Posição do Bico do Ejetor na Vazão e na Temperatura da Mistura (água+vapor).....	83
7. Relação Entre Vazões e Temperaturas em Função da Pressão de Vapor (Instalação 3)	89
8. Relação Entre a Vazão e o Tempo de Residência da Mistura (água+vapor).....	93
9. Relação Entre a Mistura (água+vapor) e a Água de Resfriamento	96
10. Determinação do pH e da acidez titulável do leite integral e Diluído	99
11. Determinação da % de gordura do leite integral e diluído usando os Processos Gerber e MK3.....	100

12. Determinação das Densidades do Índice Crioscópico do Leite Integral e Diluído	101
13. Determinação dos Sólidos Totais do Leite Integral e Diluído	102
14. Consumo de Vapor (kg) em Função da Temperatura do Leite e da Pressão de Vapor Utilizada para Aquecer 100 kg de Leite a 72°C - Calculado Segundo Farral	109
15. Condições Físicas dos Experimentos para Pasteurização do Leite	112
16. Condições Físicas dos Experimentos para Resfriamento da Mistura (leite+vapor),	114
17. Determinação Analítica de Leite Cru e do Leite Tratado pelo Ejetor em Relação a Diluição.....	118
18. Relação Entre as Variações Analíticas (Δ) com a Avaliação da Diluição	122
19. Eficiência de Pasteurização Usando Leite a 30°C , Tempo de Residência de 15 Segundos e Temperatura de Pasteurização de 65°C.....	124
20. Eficiência de Pasteurização Usando Leite a 18°C Tempo de Residência de 13 Segundos e Temperatura de Pasteurização de 73°C.....	126
21. Eficiência de Pasteurização Variando a Temperatura Final de Pasteurização	128

1. Sistema de Injeção Direta de Vapor em Latões.....	10
2. Modelos de Injetores e Ejetores	12
3. Variação da Pressão e Velocidade (A) e Variação Termodinâmica de um Ejetor na Produção de Vácuo (B).....	13
4. Ejetor de Vapor no Aparelho de Pasteurização Astra Montana	14
5. Esquema do Ejetor Montado	15
6. Conjunto de Pasteurização de Leite por Ejetor de Vapor para Fabricação de Queijos	17
7. Ejetor Utilizado no Trabalho	22
8. Dimensões do Ejetor Usado nos Trabalhos	23
9. Posição do Bico do Ejetor em Relação ao Seu Corpo Principal	25
10. Válvula de Controle (1) Utilizada no Trabalho	26
11. Sistema de Pasteurização com Ejetor	27
12. Válvula de Controle (2) Utilizada no Trabalho.....	28
13. Instalação de Pesquisa - 1ª	31
14. Instalação de Pesquisa - 2ª.....	33
15. Instalação de Pesquisa - 3ª.....	34
16. Vazão de Água em Função da Regulagem da Válvula de Controle de Alimentação Válvula 1	57
17. Vazão de Água em Função da Regulagem de Válvula de Controle de Alimentação Válvula 2.	58
18. Relação da Temperatura da Mistura (água+vapor) com Coluna de Alimentação Negativa	63
19. Relação Entre a Temperatura da Mistura (água+vapor) e Coluna de Alimentação	72
20. Temperatura da Mistura (água+vapor) em Função da Coluna de Alimentação com Leituras a 20 e 810 cm do Ejetor....	73
21. Relação Entre as Temperaturas Médias da Mistura (água + vapor) Após o Ejetor (20 cm) e na Posição Final da Tubulação (810 cm - 2ª Instalação).....	75

22. Vazão de Alimentação em Função da Pressão de Vapor e das Regulagens da Válvula de Controle de Alimentação (Válvula 2)	77
23. Temperatura da Mistura (água+vapor) em Função da Temperatura de Alimentação de Água.....	81
24. Vazão de Alimentação de Água em Função da Regulagem do Bico do Ejetor.....	86
25. Relação Entre a Pressão de Vapor no Ejetor e a Vazão de Alimentação de Água - 3ª Instalação).....	90
26. Relação Entre Vazão da Mistura (água+vapor) e Comprimento do Circuito de Residência de 15 segundos.....	94
27. Média da Variação da Acidez do Leite em Função das Diluições	103
28. Média da Variação da Percentagem de Gordura do Leite em Função das Diluições	104
29. Média da Variação da Densidade do Leite em Função das Diluições	105
30. Média da Variação da Crioscopia do Leite em Função das Diluições	106
31. Média da Variação do Sólidos Totais do Leite em Função das Diluições	107

SIMBOLOGIA

- a - Área da seção transversal da tubulação
- Ac - Acidez
- c - Calor específico do leite ou água
- cr - Comprimento do circuito de residência teórico
- cr_c - Comprimento do circuito de residência equivalente para residência de 15 segundos
- °D - Graus Dornic, índice de acidez titulável
- De - Densidade
- Δ - Variação
- Eft - Eficiência de transferência de calor
- Efv - Eficiência do vapor
- Fo - Fosfatase
- Ge - Gerber
- hc - Entalpia da água condensada a temperatura Tf
- hf - Entalpia sensível do vapor a pressão utilizada
- hfg - Entalpia de vaporização da água a pressão utilizada
- Ic - Índice crioscópico
- kg* - Quilogramas força
- lb* - Libras força
- LC - Leite cru
- LP - Leite pasteurizado
- ma - Massa de leite ou água
- Ma - Fluido propulsor
- Mb - Fluido succionado
- mv - Massa de vapor
- P - Pressão de vapor
- Pe - Peroxidase
- St - Sólidos totais
- T - Temperatura
- Ta - Temperatura de alimentação

Tf - Temperatura final
Ti - Temperatura inicial
tr - Tempo de residência
T1 - Temperatura a 20 cm do Ejetor
T2 - Temperatura a 92 cm do Ejetor
T3 - Temperatura a 810 cm do Ejetor
T4 - Temperatura a 1200 cm do Ejetor
T5 - Temperatura após o resfriamento
Va - Vazão de Alimentação
Vm - Vazão de Mistura
Vr - Vazão da Água de Resfriamento
VR - Vazão Relativa

RESUMO

Neste trabalho estudou-se a instalação do pasteurizador de leite com o Ejetor de vapor (aquecimento direto) para a avaliação da pasteurização do leite destinado à fabricação de queijos.

Numa instalação típica, usada tradicionalmente pelas indústrias de laticínios da região Sul de Minas, foram investigados os principais fatores físicos que dificultam a uniformidade e a eficiência da pasteurização.

A água foi utilizada como fluido experimental para os ensaios de pasteurização determinando-se a influência da variação da pressão de vapor, a altura da coluna de alimentação e a posição do bico do Ejetor. Verificou-se que estes fatores alteravam a temperatura, a vazão e o tempo de residência da água, servindo de controle para estabelecer uma constante pasteurização da água.

O equipamento modificado foi ajustado para a pasteurização do leite a 73°C por 13 segundos, com vazão de 1000 l/h, usando-se a pressão de vapor equivalente a 2,10 kg/cm². Nestas condições, houve comprovada eliminação de 96,76% da flora microbiana total e 100% de coliformes; também outros parâmetros testados indicaram a prova de fosfatase negativa e peroxidase positiva, de acordo com o previsto pela legislação em vigor, que preconiza uma pasteurização de 72 - 75°C por 15-20 segundos. O leite pasteurizado pelo sistema de Ejetor de vapor sofreu uma diluição até 12,7%.

Recomenda-se este equipamento, nas condições definidas, para a pasteurização do leite destinado à fabricação de queijos, pelos benéficos resultados obtidos caracterizado pelo baixo custo de investimento, manutenção fácil e garantida eficiência de pasteurização do leite.

SUMMARY

This paper studied a pasteurizer milk equipment by using direct steam ejection (direct heat treatment) to evaluate the pasteurization of milk for cheesemaking.

In a typical installation, used by dairy industries traditionally in the South of Minas Gerais State, the main physical factors were investigated, which impaired the uniform and efficient pasteurization.

The tapwater was utilized as experimental fluid for pasteurization essays to determine the influence of steam pressure variation, the level of feeding pipeline and the ejector system position. It was observed that these factors changed the tapwater temperature, the tapwater flow rate and its holding time. These variables were used as standard control to establish a constant tapwater pasteurization.

The modified equipment was calibrated for milk pasteurization at 73°C for 13 seconds, with a milk flow rate of 1,000 l/hr, by using a steam pressure of 2.10 kg^{*}/cm². Under these conditions, there were 96.76% of total microbial flora destruction and 100% of coliform group destruction; also, other parameters were checked showing negative test for phosphatase, and positive test for peroxidase, according to official regulations, which indicates a temperature and time combination of 72 - 75°C for 15 - 20 seconds. The milk pasteurized by steam ejection system was diluted over 12.7%.

The equipment suggested in this investigation is recommended for milk pasteurization used for cheesemaking, considering some advantages as low cost of this equipment, easy maintenance, and high efficiency in the milk pasteurization.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de Ejetor de Vapor é um equipamento empregado na pasteurização do leite destinado à industrialização de queijos. A literatura fornece poucas informações técnicas sobre o sistema, não havendo qualquer caracterização científica do mesmo. Sua implantação no Brasil data da época das imigrações européias, principalmente através dos colonizadores dinamarqueses.

É considerado como o primeiro sistema de pasteurização de leite destinado à industrialização de queijos no Brasil. Baseia-se no princípio de condensação do vapor diretamente no leite, permitindo um aquecimento rápido em fluxo contínuo, atuando ainda como bomba propulsora da mistura (leite+vapor). O equipamento é de custo relativamente baixo e de fácil funcionamento, o que permite a sua instalação em um grande número de pequenas e médias indústrias queijeiras com baixo poder aquisitivo e localizadas em regiões sem infra-estrutura, para instalar um sistema de pasteurização mais complexo.

Embora tenham sido feitos alguns estudos sobre a aplicação de tal equipamento, faltam dados técnicos de sua eficiência em relação a vários parâmetros do processamento, dificultando o estabelecimento das condições ótimas de operação. Considerando os aspectos mencionados, o presente trabalho visa estudar os principais parâmetros relacionados com o funcionamento do Ejetor, tais como: tempo-temperatura, efeito na flora microbiana do leite, vazão, condições de vapor utilizado, tipo de resfriamento usado para o leite e outros. Através deles pode-se estabelecer condições adequadas para o emprego do Ejetor, de modo a se conseguir uma pasteurização mais eficiente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. INDÚSTRIAS DE QUEIJOS NO BRASIL

O queijo foi, sem dúvida, um dos primeiros derivados do leite produzido no Brasil, tendo grande influência as tecnologias estrangeiras, sejam a nível artesanal ou industrial (25) (26)(67). Os descobridores da América não encontraram vestígios de criação de bovinos e nem do uso do leite como alimento (40). Os colonizadores portugueses e espanhóis foram responsáveis pela introdução de técnicas, que originaram o queijo tipo Minas curado e os escravos africanos influenciaram na implantação do queijo de Coalho e Requeijão do Sertão (3)(64).

A evolução na fabricação de queijos foi bem lenta durante a colonização, contudo, acelerou-se na metade do século XVIII, durante a corrida do ouro nas regiões mineiras do Brasil Central, onde para lá se dirigiram as correntes exploratórias de ouro e gado (67).

O marco inicial da industrialização efetiva no Brasil, em relação ao ano de implantação, apresenta duas correntes, é dado como 1885, (12)(64) e 1888 (24)(76). Contudo, há concordância como o evento, ou seja, implantação pelo Dr. Carlos Pereira de Sá Fortes, da fábrica de laticínios na Estação da Mantiqueira, hoje localizada no município de Barbacena, Estado de Minas Gerais. Com equipamentos e técnicos holandeses, Sá Fortes implantou produtos até então importados, como o queijo Edam, originário da Holanda e, quando importado através de Portugal, era aqui conhecido como o queijo do Reino. A adaptação do método de produção desse queijo no Brasil, originou o queijo tipo Reino (3)(24)(27)(33)(67).

No início do século, grupos imigrantes italianos e dina-

marqueses se fixaram no Sul de Minas Gerais, onde implantaram outros produtos de origem européia. A colônia dinamarquesa foi responsável pela adaptação do queijo Gouda, surgindo, daí, os queijos tipo Prato e variedades; influenciaram ainda na caracterização do queijo Minas Pasteurizado (Queijo Minas Frescal), onde preconizam um processo de pasteurização original, através da utilização do vapor direto e do Ejetor de Vapor, estes processos se disseminaram por toda a região do Sul de Minas(62)(63).

A indústria queijeira, no Brasil, desenvolveu-se apoiada exclusivamente na colonização estrangeira. Sua evolução técnica começou somente após a 2ª Grande Guerra Mundial. O caminho da modernização atingiu, principalmente, as Regiões do Brasil-Centro Oeste e Centro Sul, ou seja, Goiás, Mato Grosso do Sul, norte e nordeste de São Paulo, noroeste e nordeste de Minas Gerais, sul do Espírito Santo e Estado do Rio (7)(33)(66)(67). A produção de queijos no Brasil em 1978, (35) em empresas sob Inspeção Federal, atingiu 120 mil toneladas anuais, das quais o Estado de Minas Gerais participou em 66,5% da produção. Em 1951, o mesmo Estado era responsável por 93% da produção de queijos (apêndice 1)(6)(76). Em 1977, (35) 52% do leite produzido no Estado de Minas Gerais era industrializado nos estabelecimentos sob Inspeção Federal, com relação aos outros 48%, vários autores admitem (35) que parte dos mesmos é consumida sem sofrer nenhum tipo de beneficiamento.

O quadro predominante no setor de industrialização de queijos no Estado é o grande número de pequenas e médias indústrias queijeiras. Em 1951, existia aproximadamente cerca de 1500 pequenas unidades implantadas, segundo normas da Inspeção da época (57). Atualmente a indústria de laticínios no Estado de Minas é composta de 555 estabelecimentos dos quais 34,2%, 26,3% e 21,3% atuam, respectivamente, com capacidades de, até 5 mil, 5 a 10 mil e 10 a 20 mil l/dia. (apêndice 2) (34)(35).

Tais indústrias no setor de queijos, atuam segundo moldes antigos e considerados precários, condição esta mantida por diversos fatores, um dos quais se deve ao fato dos órgãos de financiamento, melhoramento ou implantação de laticínios exigirem escala mínima de 30 mil litros/dia, cifra essa considerada capaz de conferir economicidade na área de laticínios (6)(7) (65)(81).

2.2. PASTEURIZAÇÃO DO LEITE

2.2.1. INSPEÇÃO FEDERAL

O conceito sobre pasteurização de leite, segundo vários autores (1)(20), pode ser colocado como:

"A pasteurização é o tratamento térmico do leite durante determinado tempo, de maneira a assegurar a destruição dos microrganismos patógenos e da maioria dos não patógenos que possam prejudicar a saúde do homem ou alterar o estado biológico do leite, durante seu transporte e distribuição até o consumidor".

As normas adotadas no Brasil seguem o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal do Ministério da Agricultura, aprovado pelo Decreto nº 30.691 em 29/03/52 e alterado pelo Decreto nº 1.255 de 25/6/62, no qual são detalhados os diversos limites admissíveis para o leite de consumo e industrializado (47). Em seu Artigo 517, do Decreto acima, a pasteurização é definida como: "Emprego conveniente de calor, com o fim de destruir totalmente a flora microbiana patogênica, sem alteração sensível da constituição física e do equilíbrio químico do leite, sem prejuízo dos seus elementos bioquímicos, assim como de suas propriedades organolépticas normais".

O Artigo acima estipula os seguintes processos de pasteurização permitidos:

- pasteurização lenta: Consiste no aquecimento do leite a 62-65°C por 30 minutos, mantendo-se o leite em grande volume de agitação mecânica lenta, em aparelhagem própria.

- pasteurização de curta duração: HTST (High Temperature - Short Time). Consiste no aquecimento do leite em camada laminar a 72-75°C por 15 a 20 segundos, em aparelhagem própria, aquela convenientemente instalada e em perfeito funcionamento, provida de dispositivo de controle automático, como termo regulador, registradores de temperatura e outros que venham a ser considerados necessários para o controle técnico-sanitário da operação.

No atual documento foi suprimido o oitavo parágrafo o qual dizia textualmente "tolerar-se-a o aquecimento entre 68-70°C por 2 a 5 minutos a vapor direto, devidamente filtrado, no leite destinado à fabricação de queijos" (8)(69).

Com relação aos meios de verificação da eficiência de pasteurização, o regulamento, em seu Artigo 540 do Decreto citado, adota os testes de fosfatase, peroxidase, contagem microbiana e presença de coliformes. Segundo o regulamento, os seguintes resultados devem ser atingidos para obter-se uma eficiente pasteurização:

- a prova de fosfatase deve ser negativa (-) e a de peroxidase positiva (+);
- para o leite destinado à industrialização o número de colônias de microrganismo por ml, não deve ultrapassar a 150.000 (cento e cinquenta mil), após a pasteurização;
- imediatamente após a pasteurização, o leite deve apresentar-se isento de coliformes em 1 ml da amostra (47).

2.2.2. DESTINADO A QUEIJOS

A interpretação da pasteurização, em função do tempo e temperatura de aquecimento, varia consideravelmente de país para país, e particularmente a definição de pasteurização do leite para queijos não é totalmente aceita como é definida para leite de consumo (37)(44). O leite destinado à industrialização de queijos tem sensível influência da temperatura em seus aspectos tecnológicos e isso tem sido polêmico desde o advento da pasteurização (1)(15)(29)(49)(66). Essas influências tornam a maturação dos queijos ligeiramente mais vagarosa e os produtos menos aromáticos (37).

Segundo vários autores (57), cada tipo de queijo deveria ter caracterizado sua melhor técnica de pasteurização e aplicação de maneira tal que não altere as características do produto final. Outros (66) sugerem ainda que a legislação indique os limites de temperatura em tempos mínimos na pasteurização de leite para cada tipo de queijo.

Atualmente, há um consenso geral sobre a importância e emprego da pasteurização do leite na fabricação de queijos. As condições no Brasil, contudo demonstraram que a produção de queijos (66), na sua maioria, é feita a partir de leite não pasteurizado. Dados de 1959 indicaram que cerca de 65% da produção de queijos eram originados de leite não pasteurizado, condição essa facultada pela legislação na época (46). Vários autores (1)(15)(66)(73), recomendam faixas de temperatura e tempo no tratamento de leite para fabricação de queijos. É defendido (66), o que se chamou de "pseudo-pasteurização" ou "terminação", ou seja, tratamento térmico do leite entre 65-68°C por 5 minutos utilizando vapor direto, sendo aplicado em vários tipos de queijos e indicado como ideal para queijos tipo Prato e afins e todos os tipos de queijos macios, como os originados de queijos europeus (Itálico, Roquefort, Gouda, Port-Salut e outros).

A Literatura científica não apresenta razões de defesas desse tratamento, contudo afirmam-se (66) as excelentes qualidades desses queijos, as quais são consideradas no campo sensorial (28) e comprovadas (38) por conceituados juizes de concursos lácteos, que classificam de alta qualidade produtos originados de tal tratamento. A eficiência de redução microbiana utilizando pasteurização do leite com vapor direto (57), destinado a fabricação de queijos, nas condições de pasteurização branda, ou seja, não ultrapassando 65°C demonstraram que: para leite recebido em condições industriais e tratado a 62°C durante 15 minutos e em seguida mantido por 5 minutos a 62± 5°C, indicaram após o resfriamento eficiência de redução microbiana entre 95,7 a 99,9% na contagem total e 99,3 a 99,98% na contagem de coliformes. O autor concluiu ainda, que a pasteurização realizada não afetou, perceptivelmente, as características do leite. Outros autores (51)(63)(70), indicam intervalos de temperatura de aquecimento, tempo de tratamento e temperatura de resfriamento para processos usando vapor direto, contudo, não apresentam dados de eficiência de pasteurização. É grande a diversificação desses dados. Para a fabricação de queijos Minas, é indicado (63) 65-67°C rapidamente, ou por 10-15 minutos "quando duvidar da qualidade do leite", (60) 65-70°C por 2-5 minutos, (69) 68-70°C por 3-5 minutos, (68) 63-65°C "rapidamente". Para fabricação de queijo Prato vários autores (51)(70) recomendam a faixa de 60-70°C.

Muitos autores (37)(76)(80), são coincidentes na definição de que o leite para queijos não deve ser tratado, acima de 75°C. Com relação ao resfriamento de leite, após o tratamento é recomendado (60)(62)(63) resfriamento entre 30-33°C. Outros autores (80) indicam o resfriamento rápido à temperatura de 14-32°C. A legislação em vigor (47) não diferencia, contudo, a pasteurização de leite de consumo com o destinado à fabricação de queijos, seja em relação à temperatura de aquecimento, tempo de residência ou temperatura de resfriamento.

2.2.3. SISTEMAS DIRETO E INDIRETO GERAIS

Dentre os métodos de aquecimento, existem dois grupos principais, baseado na existência ou não de uma parede condutora de calor entre os meios interferentes. No primeiro, são denominados sistemas indiretos e no segundo sistemas diretos, ambos são ainda caracterizados segundo o fluxo, ou seja, contínuo ou descontínuo (4)(14)(32)(56). Praticamente a totalidade dos aquecedores em laticínios utiliza o sistema indireto. Tal princípio é empregado principalmente nos pasteurizadores de placas e tubulares em fluxo contínuo e tanques de pasteurização lenta em fluxo descontínuo. Tais equipamentos são empregados para leite de consumo e para leite a ser transformado (30)(45)(55)(70)(75).

O sistema direto emprega o contato direto dos fluidos em troca de calor. O uso de vapor direto no leite foi conhecido como procedimento de Heryng(22), o qual colocava o leite em forma de névoa, mediante um pulverizador de vapor, que aquecia o leite entre 75-80°C. Observava-se, após o resfriamento da mistura, um aumento de 10 a 15% no peso primitivo do leite, obtendo várias vantagens, entre elas a destruição completa dos microrganismos patógenos (22). O sistema direto contínuo tem grande aplicação nos desodorizadores de creme, processo de esterilização e secagem do leite, obtenção de proteínas do soro de queijo (21) e aquecimento (Thermisation) de queijos (10).

O vapor como meio de aquecimento direto é empregado principalmente no tratamento do creme para fabricação de manteiga, em aparelhos denominados Vacreator e no processo de esterilização do leite (Leite Longa Vida) (71)(79). Dentre os aparelhos utilizados para a esterilização do leite o Uperizador é o mais difundido, realiza o tratamento em duas etapas, a primeira por aquecimento indireto, eleva a temperatura do leite a 80°C, a seguir através de injeção de vapor atinge 140°C, sendo poste-

riormente retirada a água excedente, originada da condensação do vapor, usando processo a vácuo (1)(72)(80).

Vários autores (11)(48) têm demonstrado as vantagens do sistema direto de aquecimento, sendo considerado o mais econômico entre os processos de esterilização do leite. O uso do Vacreator na pasteurização do leite para queijo Cheddar (83) indicou, que tratando o leite a 78°C por 5 segundos como resfriamento posterior a 35°C, apresentou uma alta eficiência de redução bacteriana. Outros autores (79), indicam que a faixa usual de temperatura do sistema é entre 90 e 96°C, tendo obtido resultados de eficiência de destruição de microrganismos na faixa de 82,2 a 93,3%.

O processo de injeção de vapor descontínuo (42)(60), utiliza o aquecimento do leite em latões ou tanques, pelo uso de vapor conduzido por uma tubulação até o seu interior. O aquecimento em latões (Figura 1) apresenta algumas dificuldades que são descritas a seguir. O processo usando a instalação A (Figura 1A) apresenta o inconveniente de provocar grande trepidação e barulho, o que torna incômoda a operação. Como solução desses problemas, surgiu a transformação de trechos do tubo em contato com o leite, que passou a ter pequenos orifícios e formato espiral ou "T" semelhantes às instalações B e C (Figura 1B e 1C) condições que permitem melhor distribuição de vapor reduzindo os inconvenientes da instalação anterior.

O modelo utilizando o processo descontínuo (60) consta, basicamente, do tubo condutor de vapor da caldeira à sala de processamento. O circuito contém um filtro ou depurador de vapor. Quando do emprego em latões de leite (81), a tubulação apresenta uma articulação rosqueada que permite a colocação da extremidade do tubo no interior do mesmo. Após o tratamento térmico, retira-se o tubo condutor de vapor e transfere-se o leite a um tanque de aço inoxidável, que alimentará por gravidade o resfriador de cascata, onde o leite é resfriado à temperatura próxima de 32°C.

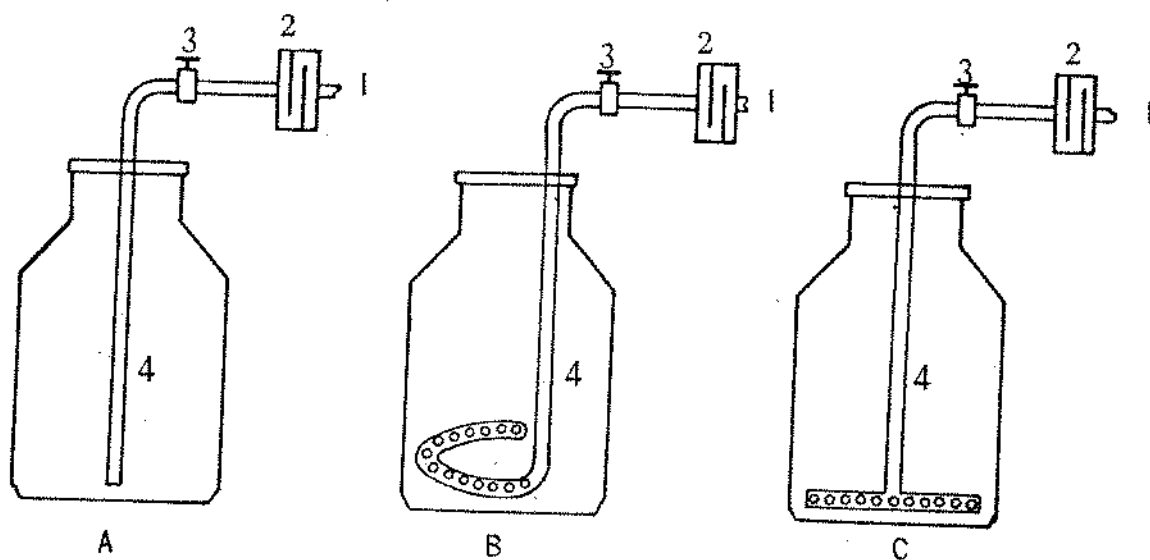


Figura 1 - Sistema de Injeção Direta de Vapor em Latões

- A. Sistema com tubulação simples
- B. Sistema com tubulação perfurada em espiral
- C. Sistema com tubulação perfurada no formato "T"

- 1. Tubulação de vapor
- 2. Filtro de vapor
- 3. Válvula de vapor
- 4. Latão com leite.

Fonte: (60)

2.2.4. SISTEMA DIRETO CONTÍNUO COM EJETOR DE VAPOR

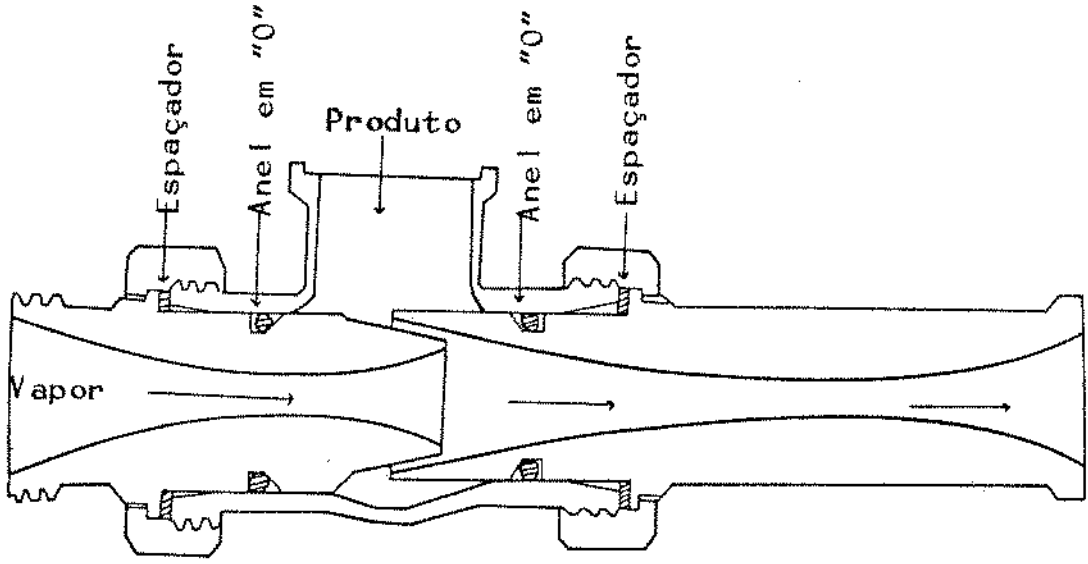
Ejetor é um dispositivo mecânico com finalidade de produzir a sucção e bombeamento de fluido. Para tal são empregados fluidos propulsores um dos quais, a água no estado de vapor, é largamente usada, caracterizando o Ejetor de Vapor. O seu emprego maior é como acessório em caldeiras e na produção de vácuo, havendo diversos modelos, sendo usados de acordo com a capacidade necessária e objetivos específicos (14).

Diversos autores (18)(48)(53)(72) descrevem aparelhos semelhantes ao Ejetor empregados na pasteurização de leite, sendo, contudo, denominados injetores de vapor, isto porque o efeito principal no sistema é injetar vapor na linha de leite, tem contudo, o efeito secundário de provocar a sucção.

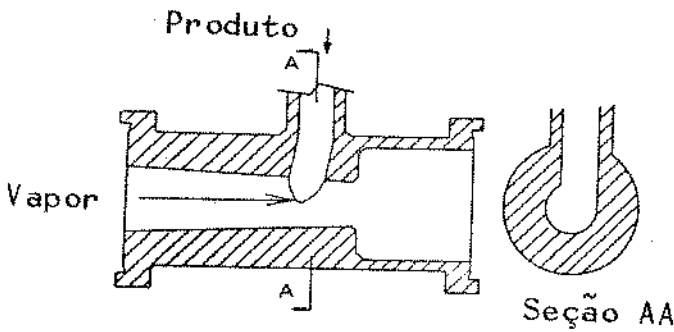
Dentre os modelos de injetor, o desenvolvido pela Cherry Burrell Corp.(72) (Figura 2A) é semelhante ao modelo de Ejetor desenvolvido pela Croll-Reynolds Co., Inc.(14) (Figura 3A), utilizado na produção de vácuo e ao Ejetor de vapor utilizado na pasteurização de leite(60) (Figura 5). Os injetores citados são utilizados em processamento de leite acima de 85°C, temperaturas essas acima das temperaturas recomendadas para pasteurização do leite destinado à fabricação de queijos (80).

O Ejetor da Croll-Reynolds Co.Inc.(14) (Figura 3) foi utilizado como ilustração de um típico Ejetor, onde são demonstradas variações físicas e termodinâmicas em função da característica do aparelho, a seguir descrita. O fluido propulsor (M_a), a alta pressão (Figura 3A) entra em "1", expande-se em "2" através do bico convergente-divergente. O fluido succionado (M_b) entra em "3", mistura-se com o fluido propulsor (M_a) na câmara de mistura "4". Após isso, a mistura M_a e M_b é recomprimida através do difusor de Venturi até "5". As variações de pressão e velocidade estão demonstradas diretamente abaixo no dia-

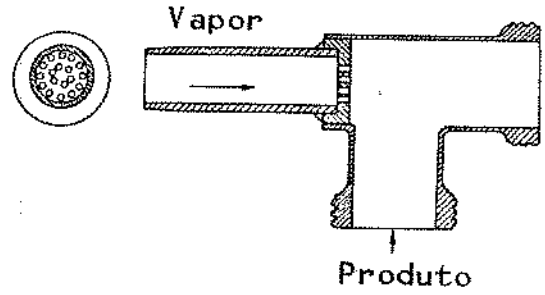
grama do Ejetor (Figura 3A). As variações termodinâmicas são demonstradas pelo diagrama de Mollier (Figura 3B) para um Ejetor, usando vapor de água a alta pressão, como fluido propulsor e vapor saturado como fluido succionado.



A. Ejetor (72)



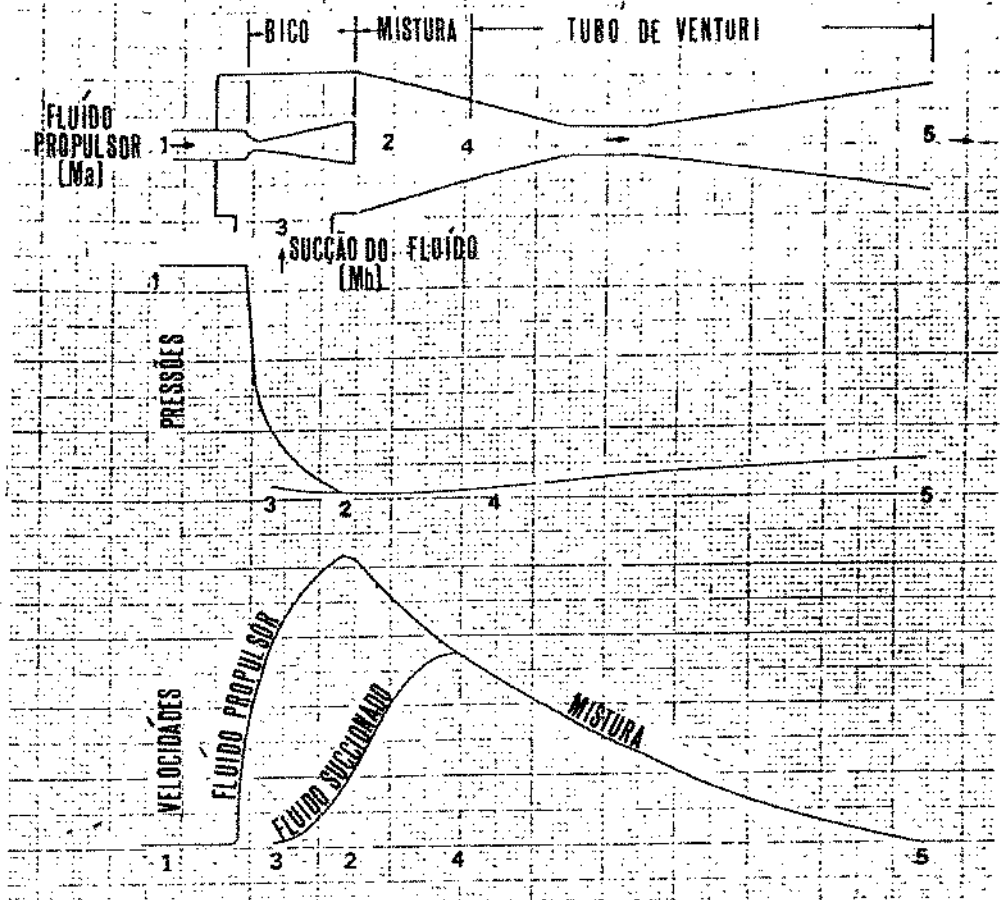
B. Injetor de Venturi (53)



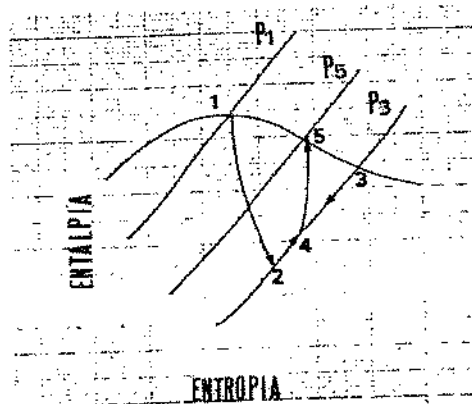
C. Injetor de Rogers (18)

Figura 2 - Modelos de Injetores e Ejetores

Fonte: (18) (53) (72)



A- ATUAÇÃO DOS FLUIDOS NO EJETOR DE CONSTRUÇÃO BÁSICA



B- DIAGRAMA DE MOLLIER

Figura 3 - Variação da Pressão e Velocidade (A) e Variação Termodinâmica (B) de um Ejetor na Produção de Vácuo.

Fonte (14)

O princípio de funcionamento do Ejetor de vapor é baseado no princípio de Venturi, o qual diz que um fluído percorrendo uma tubulação, quando obrigado a transpor um estrangulamento, tem aumentada sua velocidade e, conseqüentemente, há uma redução da pressão, (4) (14) (74) (77). O Ejetor de vapor para leite é semelhante ao Ejetor de vapor utilizado no aparelho de pasteurização de leite Astra-Montana, (16) (58) (59) com finalidade de aquecimento e circulação de água quente (Figura 4). O controle da temperatura da água consiste no fechamento ou abertura da válvula da Ejetor, componente "E" na Figura 4.

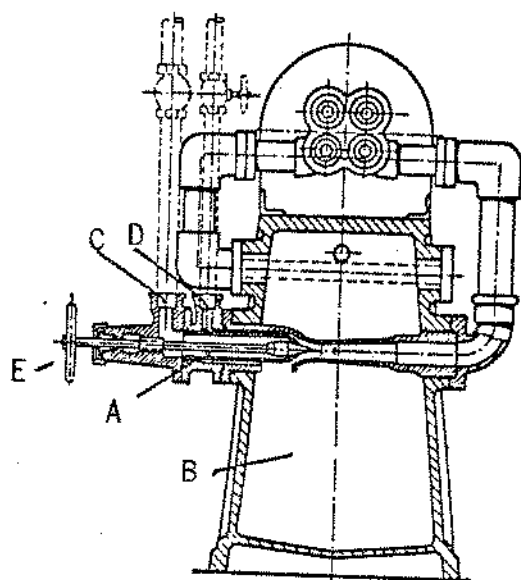


Figura 4 - Ejetor de Vapor no Aparelho de Pasteurização Astra Montana.

- A. Ejetor
- B. Recipiente para água
- C. Entrada de vapor
- D. Entrada de água
- E. Válvula do Ejetor

Fonte: (58) (59)

O Ejetor para pasteurização de leite detalhado na Figura 5 (60) consta de duas peças principais. O elemento maior em formato de "T" é denominado corpo do Ejetor e o outro em formato cônico é denominado bico ou agulha. O conjunto ainda é composto de acessórios complementares que permitem a conexão dos terminais do aparelho à linha de vapor, tubulação de leite e tubulação de mistura (leite+vapor).

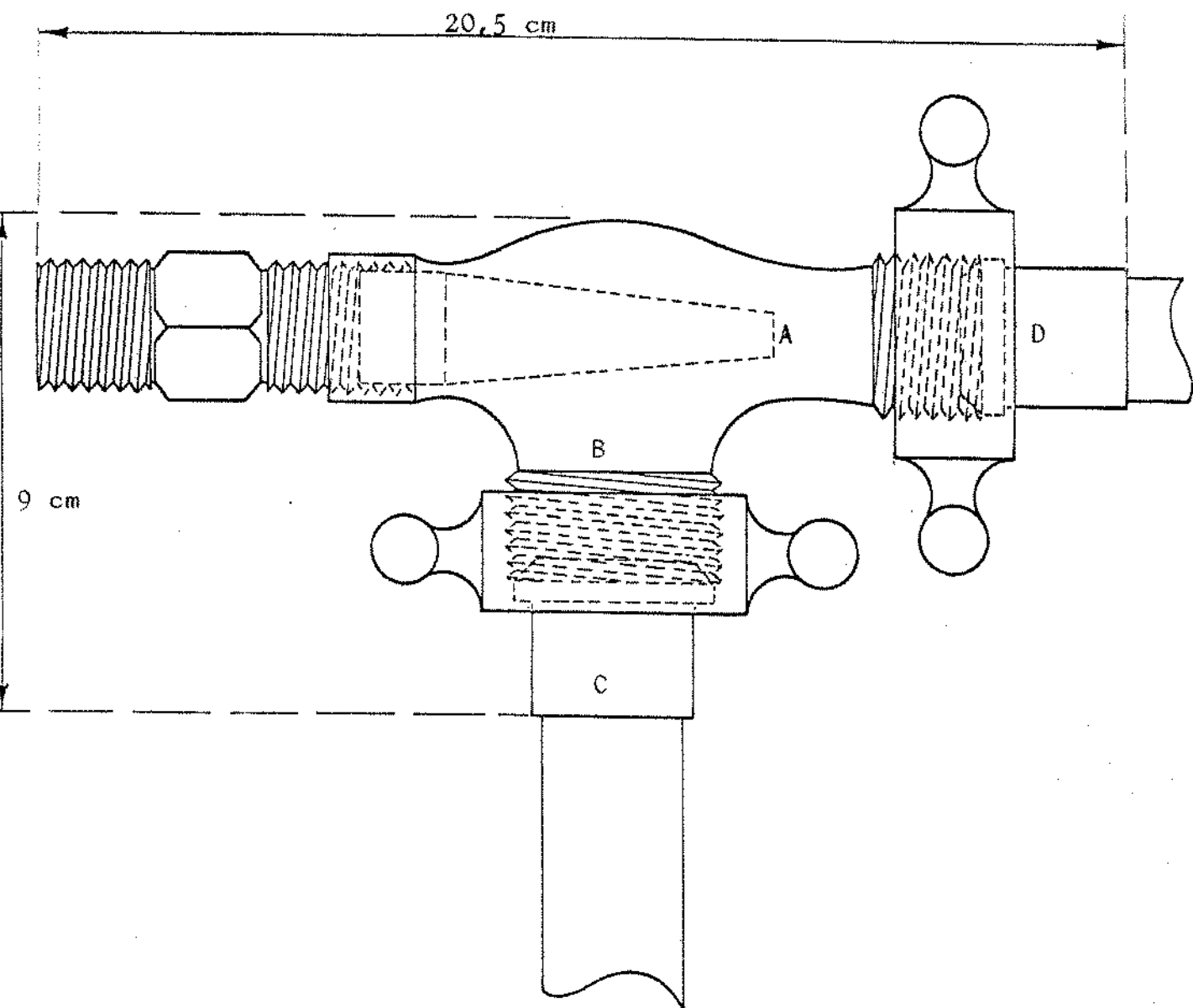


Figura 5 - Esquema do Ejetor Montado

- A. Saída de vapor
- B. Câmara de vácuo
- C. Tubulação em contato com o leite
- D. Tubulação de passagem da mistura (leite - vapor)

Fonte: (60)

Vários modelos de instalações do Ejetor de vapor são descritos na literatura (60)(63) e em uso na indústria (82). As instalações admitem algumas opções, como o uso de latões ou tanques de recepção, posição do termômetro em relação ao Ejetor, sistema de resfriamento, número de Ejetores acoplados e outros aspectos. No sistema descrito na Figura 6 o leite é sucçãoado através do tubo colocado livre dentro do mesmo. É bem característico o fato do Ejetor trabalhar acima do leite, assim como a instalação ser provida de um sistema de filtração do vapor e possuir uma válvula de controle de fluxo de leite antes do Ejetor.

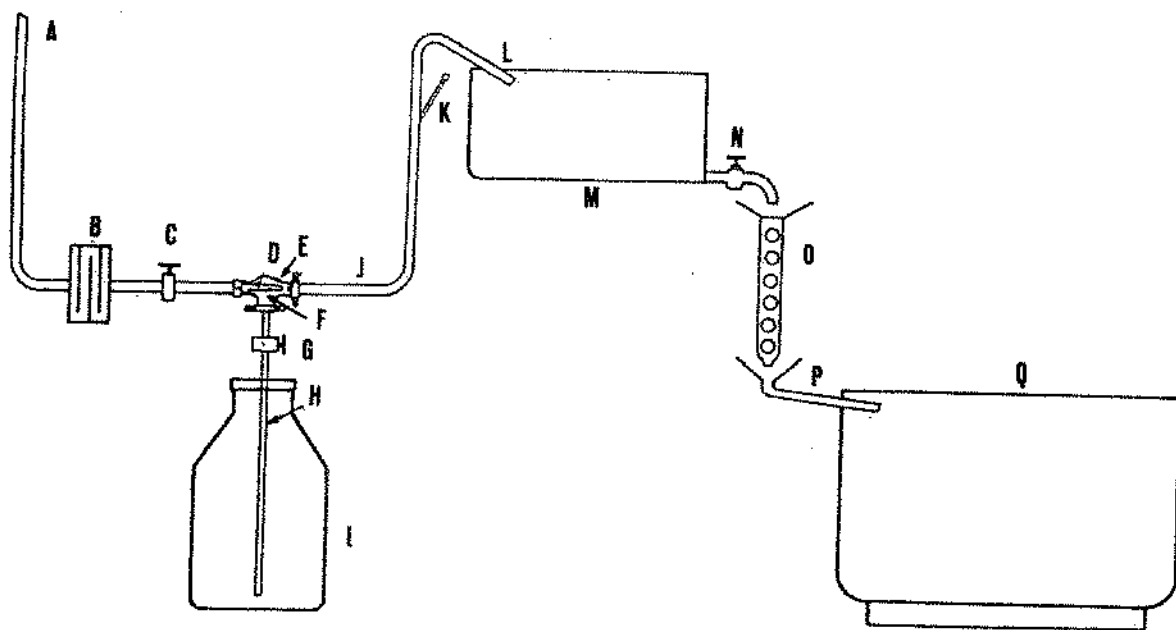


Figura 6 - Conjunto de Pasteurização de Leite por Ejetor de Vapor para Fabricação de Queijos.

- A. Linha de alimentação de vapor
- B. Filtro de vapor
- C. Válvula de regulação de vapor
- D. Ejetor
- E. Agulha ou bico do Ejetor
- F. Corpo do Ejetor - onde se forma o vácuo
- G. Válvula de regulação de leite
- H. Tubulação por onde o leite é aspirado
- I. Latão ou tanque de recepção de leite cru
- J. Tubulação para a mistura (leite+vapor)
- K. Termômetro
- L. Saída do leite pasteurizado
- M. Tanque de recepção de leite pasteurizado
- N. Válvula de recepção do resfriador de cascata
- O. Resfriador de cascata - aberto
- P. Calhas de transporte do leite aos tanques de fabricação
- Q. Tanque de fabricação.

Fonte: (60)

O processo traz como vantagem a eliminação de odores estranhos ao leite (71), arrastados pelo vapor de água, além de também reduzir o gás carbônico no leite. A condensação do vapor dilui ligeiramente o leite aumentando seu volume de 1,0 a 1,5%. Esses dois fatores, a diluição e a saída do gás carbônico, fazem com que o leite após o tratamento apresente acidez menor, chegando a perdas de 0,5 a 1,0º Dornic (60). A diluição do leite é considerada como uma das grandes desvantagens do sistema (17)(76). Entretanto, na técnica de fabricação do queijo Liunburger, divulgada pelo Instituto de Laticínios "Cândido Tostes" há indicação do uso de 2,0% de água fervida e resfriada no leite (37). A diluição do leite na fabricação de queijos apresenta sensível influência na formação do coágulo, dada a diminuição do conteúdo de ácido láctico no queijo, influenciando sensivelmente na textura, permitindo obtenção de textura mais macia (37).

O manuseio do sistema (51)(60) é de fácil execução, exigindo, contudo, atenção ao controle da temperatura, a qual deve ser uniforme. A sanitização torna-se facilitada pela simplicidade de desmontagem do aparelho.

Outro aspecto técnico positivo é atuar como bomba imprimindo ao leite força ascensional (60)(81), elevando portanto o leite ao nível do tanque de alimentação do resfriador. O Ejetor de vapor além do seu emprego na pasteurização do leite pode ser utilizado na retirada do soro do tanque de fabricação de queijos (63). O custo de investimento e gastos com o vapor, coloca o sistema como um dos mais econômico, considerando a simplicidade do mesmo e o aproveitamento total do calor do vapor (51)(60)(76).

O vapor utilizado nas instalações industriais (60) é da ordem de 80 a 85 lb/pol² (5,60 a 5,95 kg/cm²). As fábricas de laticínios em geral apresentam caldeiras com superfície

de aquecimento variando de 6 a 12 m² e capacidade de produção de 18 kg de vapor/m², sendo a eficiência do aparelho, função da caldeira utilizada. Essas condições permitem pasteurizar de 3.000 a 5.000 litros/hora permitindo temperaturas entre 60 a 70°C(51). O uso de vapor seco e limpo (60) constitui uma das principais condições para uma eficiente pasteurização. Algumas fábricas que utilizam o Ejetor adotam o pré-aquecimento, a vapor direto em latões, atingindo temperatura de 45 a 50°C, com objetivo de melhorar a eficiência de aspiração do líquido pelo Ejetor (63).

Vários autores (17)(39)(48)(71) analisaram a qualidade do vapor, química e fisicamente, considerando que quantidade de gases incondensáveis presentes no mesmo prejudicam a eficiência nos processos por injeção de vapor, em pasteurizadores ou esterilizadores com sistema de vácuo acoplado para extração da água condensada. Outros (39)(52) estudaram ainda os meios de determinar a diluição ou concentração dos produtos tratados nesses sistemas, analisando o produto antes e após o tratamento, determinando a densidade, índice crioscópico e % de sólidos totais. Com os testes realizados não chegaram a resultados satisfatórios. Trabalhos realizados (23) demonstraram ser melhor a eficiência de destruição microbiana em processos de esterilização UHT (Ultra-High-Temperature), usando sistema de aquecimento direto quando comparados aos processos usando sistema indireto. Com referência aos aspectos físicos do processo (78) demonstraram haver variação da temperatura da mistura (leite+vapor) após a injeção do vapor, e que essa variação é função do percurso de mistura até a completa condensação do vapor.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. MATÉRIA-PRIMA

Na fase de caracterização do aparelho, utilizou-se água potável à temperatura entre 18 e 26°C. Na fase de verificação e pasteurização do leite foi utilizado leite cru integral com acidez entre 17 a 22°D e o teor de gordura entre 3,0 a 4,5%, recebido para processamento no Setor Industrial do Instituto de Laticínios "Cândido Tostes".

3.2. VAPOR

Utilizou-se vapor gerado em caldeira a óleo diesel com 20 m² de superfície de aquecimento e capacidade de 650 kg vapor/hora, gerando entre 6,30 - 7,70 kg/cm², proveniente do Setor Industrial do Instituto de Laticínios "Cândido Tostes", em linhas secundárias de 3/4" até a sala de testes.

3.3. EQUIPAMENTOS E PROCESSOS

Para a realização do trabalho, montou-se três instalações.

A primeira de acordo com a divulgada pela literatura e com possibilidade de alteração, para assemelhar-se as instaladas em laticínios.

A segunda com condições que permitiram analisar as modificações introduzidas para maior controle do processo.

A terceira construída com condições sanitárias conjugando todas as melhorias obtidas.

Para a montagem utilizou-se uma instalação tradicional de sativada, originária do Sul de Minas, equipamentos e acessórios adaptados ou projetados especificamente para o trabalho, o que obrigou a determinação de convenções para melhor caracterizar o processo.

3.3.1. COMPONENTES

Os acessórios e complementos principais utilizados na montagem e acionamento da instalação são os seguintes;

- A. Conexão em aço inoxidável de 1" marca APV;
- B. Condensador de vapor;
- C. Curvas e "T" em aço inoxidável de 1" marca APV;
- D. Ejetor em aço inoxidável (Annunciato de Biaso e Irmãos)
- E. Manômetros;
- F. Resfriador de cascata estanhado, aberto, com superfície de 2 m^2 ;
- G. Seringas hipodérmicas;
- H. Sistema de controle de vapor (Sarco Ind. e Com);
 - Purgador modelo TD 52 Ø 1/2" ;
 - Filtro de vapor modelo AT Ø 3/4" ;
 - Separador líquido/vapor modelo SPV Ø 3/4" ;
 - Válvula de esfera - modelo UDF AI Ø 3/4" ;
 - Filtro de vapor modelo AT Ø 3/4" com malha de 200 mesh;
 - Válvula de redução de pressão - 25 p Ø 1/2" provido com mola amarela, vermelha e azul ;
- I. Tanque em aço inoxidável de parede simples;
 - Capacidade 20 litros, provido de boia de controle de vazão;
 - Capacidade 50 litros - alimentação do resfriador;
 - Capacidade 97 litros - alimentação
 - Capacidade 256 litros - alimentação ;
 - Capacidade 300 litros - recepção do leite tratado;
- J. Termômetro com bulbo a álcool - graduação 0 a 110°C ;
- K. Tubulação em aço inoxidável de 1" ;
- L. Válvula de controle de fluxo em aço inoxidável 1" marca APV ;
- M. Válvula de bloqueio em aço inoxidável de 1" ;
- N. Válvula de retenção em aço inoxidável 1" marca APV.

0. Característica do Ejetor utilizado

O Ejetor usado consta de duas peças principais, corpo e bico, ou seja, respectivamente os componentes A e B descritos na Figura 7. As dimensões do mesmo foram determinadas e estão descritas na Figura 8.

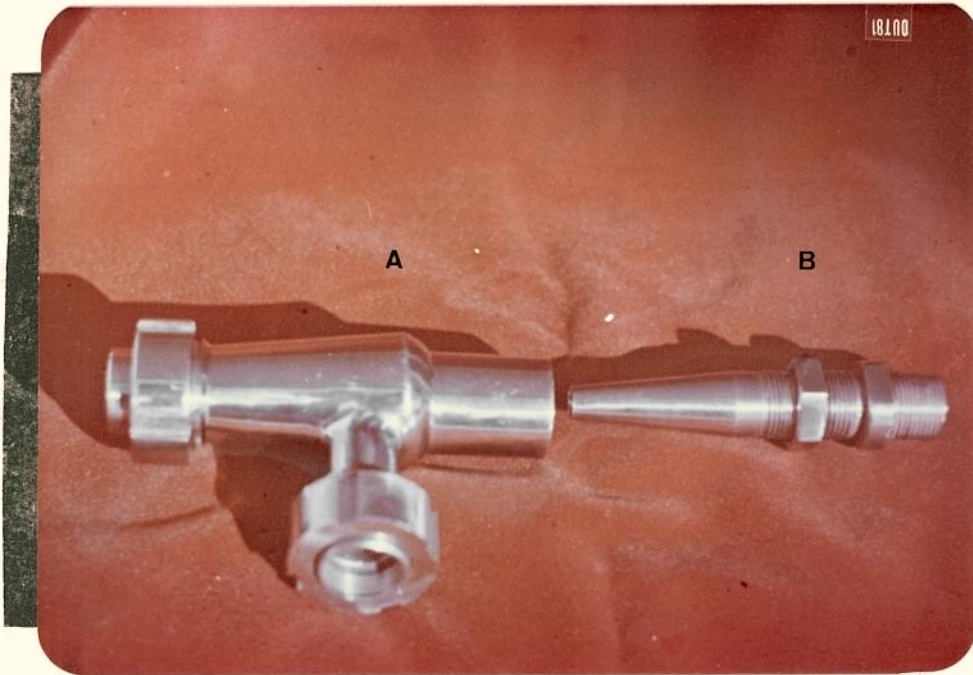


Figura 7 - Ejetor Utilizado no Trabalho

- A. Corpo do Ejetor
- B. Bico do Ejetor

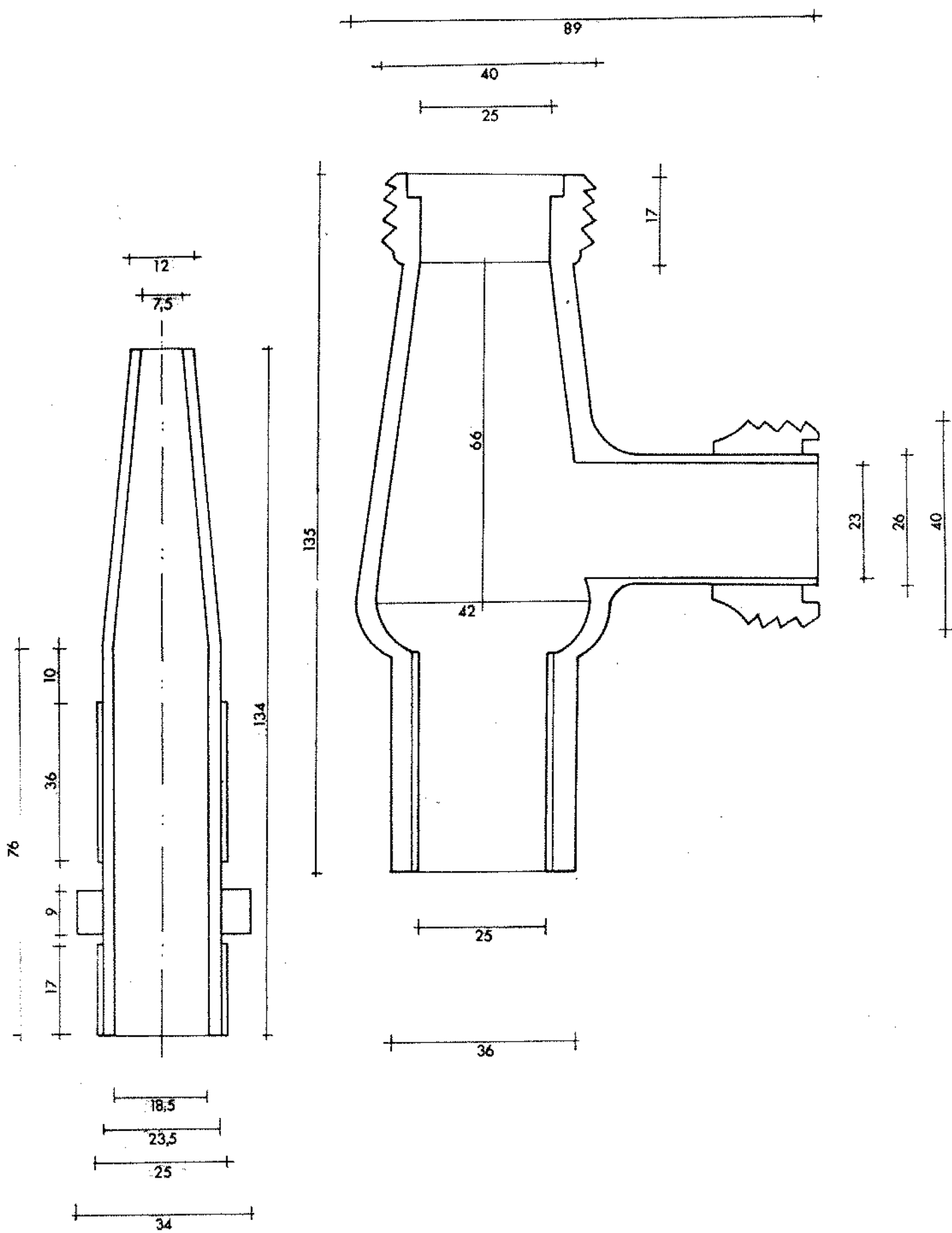


Figura 8 - Dimensões do Ejetor Usado nos Trabalhos

3.3.2. CONVENÇÕES

A seguir, estão descritas as convenções usadas para os testes: (a) Ejetor; (b) válvula de bloqueio e (c) válvula de controle de fluxo:

a) EJETOR

O bico do Ejetor apresenta uma conexão macho que é acoplada à conexão fêmea do corpo do Ejetor. A posição relativa do bico ao corpo é dada pelo maior ou menor rosqueamento (Figura 9). Essa condição é importante, pois a eficiência de vazão do aparelho é dependente das dimensões relativas em sua estrutura interna. Essas dimensões são variadas de acordo com o ponto de saída do vapor dentro da câmara de expansão. Como o comprimento da rosca do bico do Ejetor utilizado nos testes é de 36 mm convencionou-se cada sulco de rosca como um padrão de medida. Considerando a uniformidade e precisão da mesma, foi possível obter-se reprodutibilidade nos testes.

O Ejetor testado (Figura 7) apresenta 19 sulcos completos, portanto, admite 19 posições. Consideramos a posição 1, quando a colocação do bico é a mais recuada em relação à câmara de expansão, ou seja, com apenas um fio da rosca conectado, e, a posição 19 quando o bico atinge a colocação máxima na câmara de expansão, ou seja, com todos os fios de rosca conectados. Condições essas semelhantes ao Ejetor apresentado em corte na Figura 9.

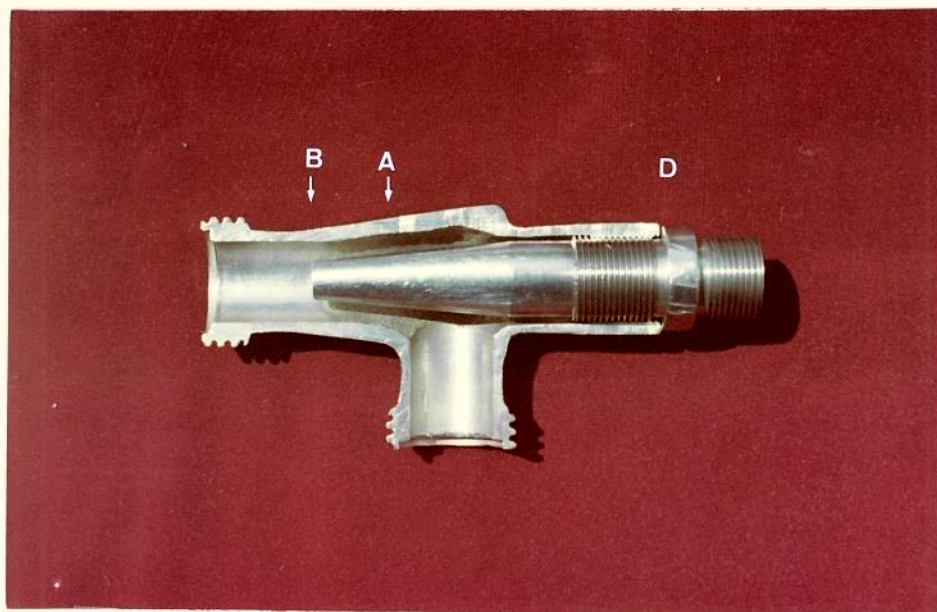
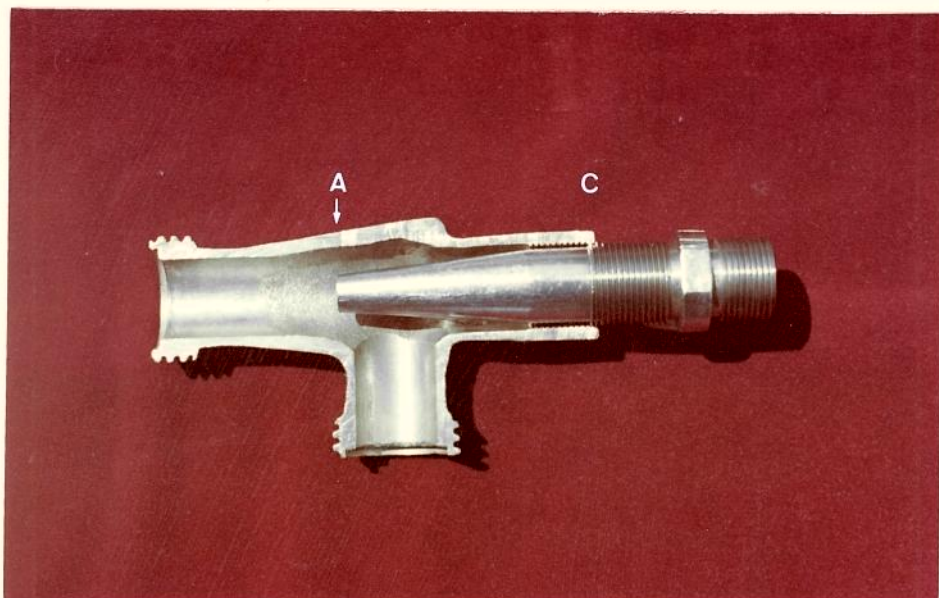


Figura 9 - Posição do Bico do Ejetor em Relação ao seu Corpo Principal

- A. Colocação mínima
- B. Colocação máxima
- C. Um fio de rosca conectado
- D. Todos os fios de rosca conectados

b) VÁLVULA DE BLOQUEIO

A válvula de bloqueio tipo macho (válvula de controle I) recebeu um indicador provido de escala, permitindo uma variação de 0 a 90°. Tal intervalo foi dividido em 10 unidades e subdividida em 10 partes. A graduação "0,0" corresponde a válvula totalmente fechada e, "10,0" a válvula totalmente aberta à semelhança do indicado na Figura 10. O uso dessa válvula em instalações industriais está demonstrado na Figura 11.

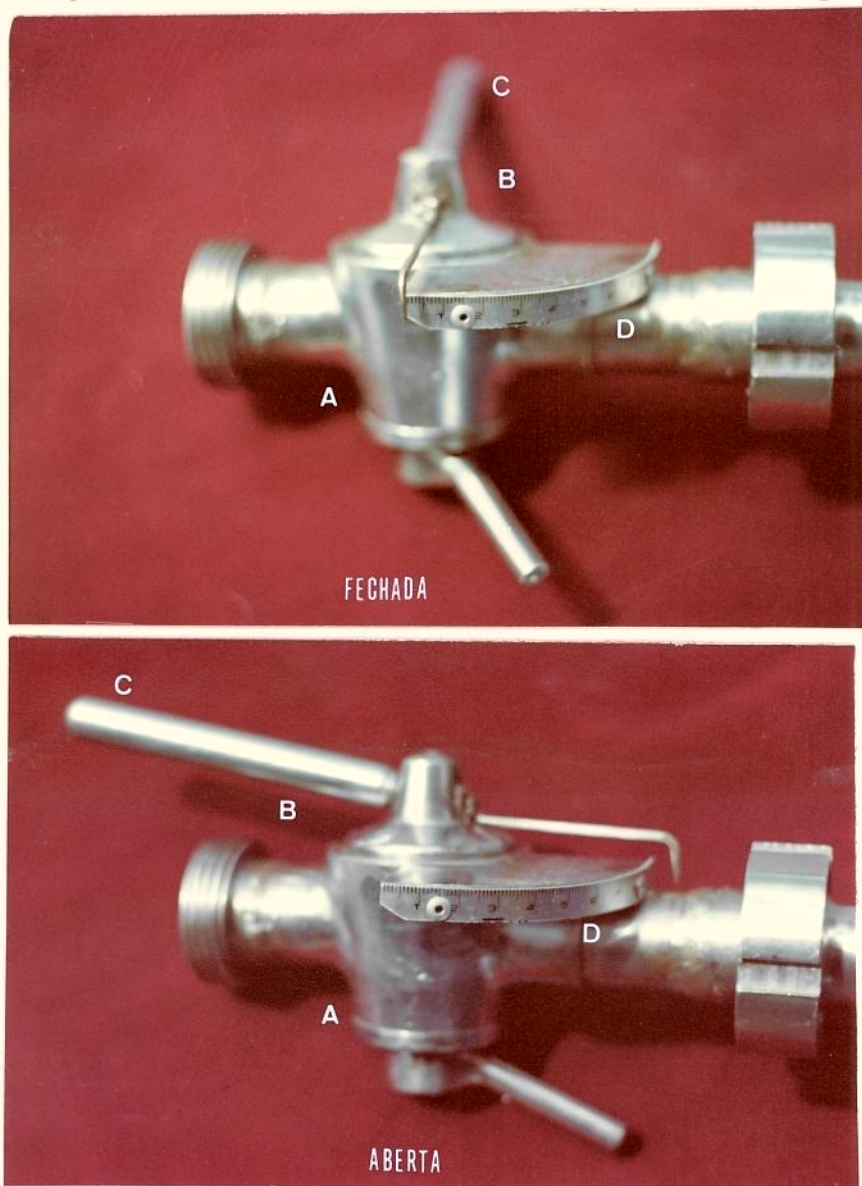


Figura 10 - Válvula de Controle (I) Utilizada no Trabalho.

A. Corpo principal

C. Haste e indicador

B. Tampão

D. Escala



Figura II - Sistema de Pasteurização com Ejetor

- A. Tubo de alimentação de vapor
- B. Válvula de vapor
- C. Ejetor de vapor
- D. Tanque de recepção
- E. Válvula de controle de vazão
- F. Termômetro
- G. Tanque de recepção de leite pasteurizado

c) VÁLVULA DE CONTROLE DE FLUXO

A válvula de controle de fluxo, tipo agulha, (Válvula de controle 2) utilizada, traz em seu corpo principal a graduação vertical de 0 a 10. A primeira graduação corresponde à válvula totalmente fechada e a última corresponde à válvula totalmente aberta. A cada rotação de 360° do corpo móvel é dividido em 10 partes. Convencionou-se utilizar as indicações do corpo fixo como inteiros e do corpo móvel com valores decimais (Figura 12).

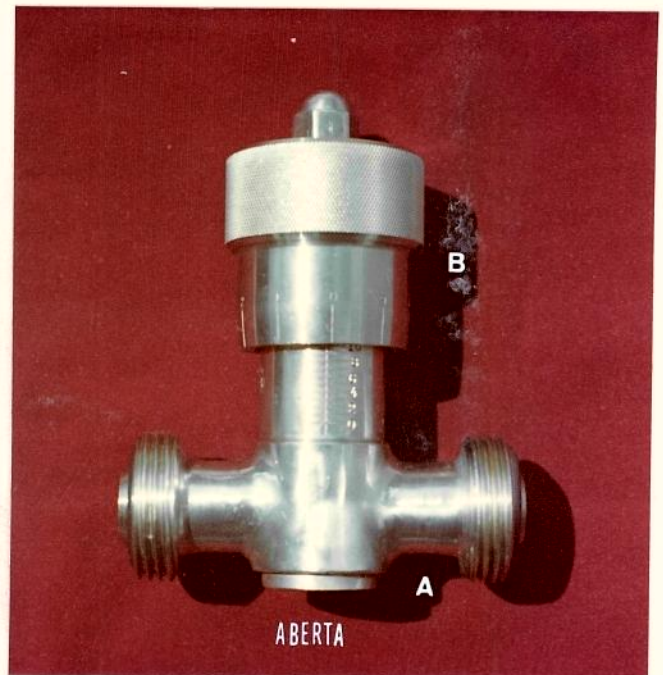
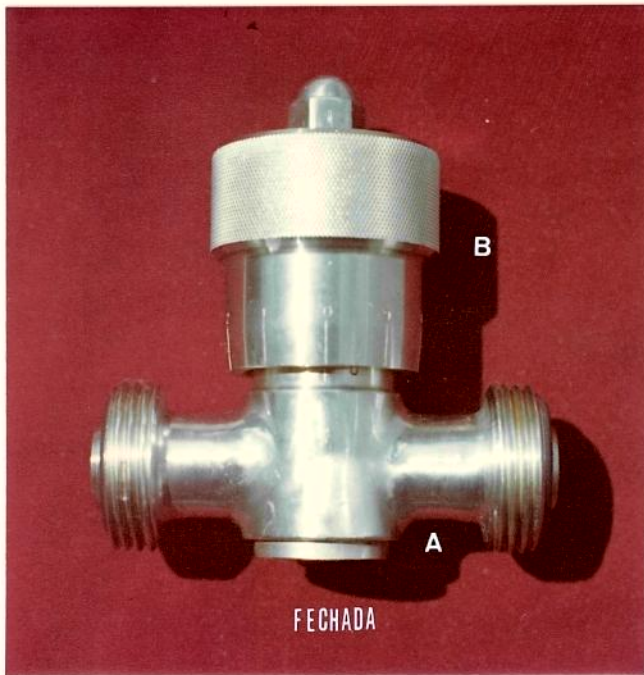


Figura 12 - Válvula de Controle (2) Utilizada no Trabalho

A. Corpo principal

B. Corpo móvel

3.3.3. INSTALAÇÕES

As três instalações foram montadas como descrito abaixo:

a) A primeira instalação (Figura 13), constou de quatro seções principais: circuito de vapor, circuito de alimentação de leite ou água, circuito de mistura (água ou leite+vapor) e sistema de resfriamento da mistura (água ou leite+vapor).

O circuito de vapor; consta de um conjunto regulador de pressão e limpeza de vapor, montado segundo orientação do fabricante. Foi colocado como complemento, um condensador, para amostragem do vapor, colocado 50 cm após a válvula reguladora de pressão. O comprimento total do circuito de vapor é de 300 cm, considerando como posição inicial o ponto de conexão com a tubulação de alimentação de vapor principal. O circuito de vapor, para atender as várias opções de alimentação de água ou leite, foi instalado a 90 cm do piso.

O circuito de alimentação de leite ou de água consta, basicamente, de um tanque de recepção com condições de alterar sua posição em relação ao Ejetor permitindo uma variação de 73 cm abaixo ou acima do mesmo. Para o primeiro caso convencionou-se como coluna de líquido negativa e no segundo, coluna de líquido positiva; para isso montou-se uma estrutura suporte para permitir tais variações. À saída do tanque conectou-se uma válvula de controle de fluxo, válvula de controle 1 ou válvula de controle 2.

O circuito de mistura (água+vapor ou leite+vapor) consta dos circuitos de vapor e leite conectados através do Ejetor de vapor. A união com a tubulação de vapor é através da rosca macho do Ejetor e às tubulações de alimentação de água ou leite e de mistura (água+vapor ou leite+vapor) através de conexões fêmeas de aço inoxidável. A tubulação de mistura

(água+vapor ou leite+vapor) manteve-se ao mesmo nível da tubulação de vapor. A tubulação destinada à verificação dos principais parâmetros após a pasteurização foi definida arbitrariamente em 105 cm de comprimento, limite esse estabelecido por uma válvula de retenção. Esse percurso ainda foi dividido em seções, as quais permitem posicionar os acessórios de 10 em 10 cm. Utilizou-se acessórios para: determinação de temperaturas, injeção de corante e colocação de válvula de controle de fluxo. A tubulação, após esse percurso, conduz a mistura (água+vapor ou leite+vapor), ao tanque de residência. A diferença de nível entre o tanque de residência e o Ejetor foi estabelecida arbitrariamente em 120 cm, tendo como referência o nível do Ejetor. A tubulação tem um comprimento em relação à válvula de retenção de 700 cm, e no final desta, foi conectado um termômetro. O tanque de residência da mistura (água+vapor ou leite+vapor) foi instalado de maneira a permitir a alimentação do resfriador por gravidade. Para isso instalou-se à saída do tanque uma válvula de controle de fluxo e uma conexão para termômetro.

O sistema de resfriamento da mistura consta basicamente do resfriador com água, sendo o percurso da mesma em contra corrente à do percurso da mistura (água+vapor ou leite+vapor). Instalou-se ainda um sistema para determinar a vazão da água de resfriamento à saída do resfriador. A coleta da mistura (água+vapor ou leite+vapor) resfriada foi através de calha de aço inoxidável ao tanque de recepção de leite resfriado.

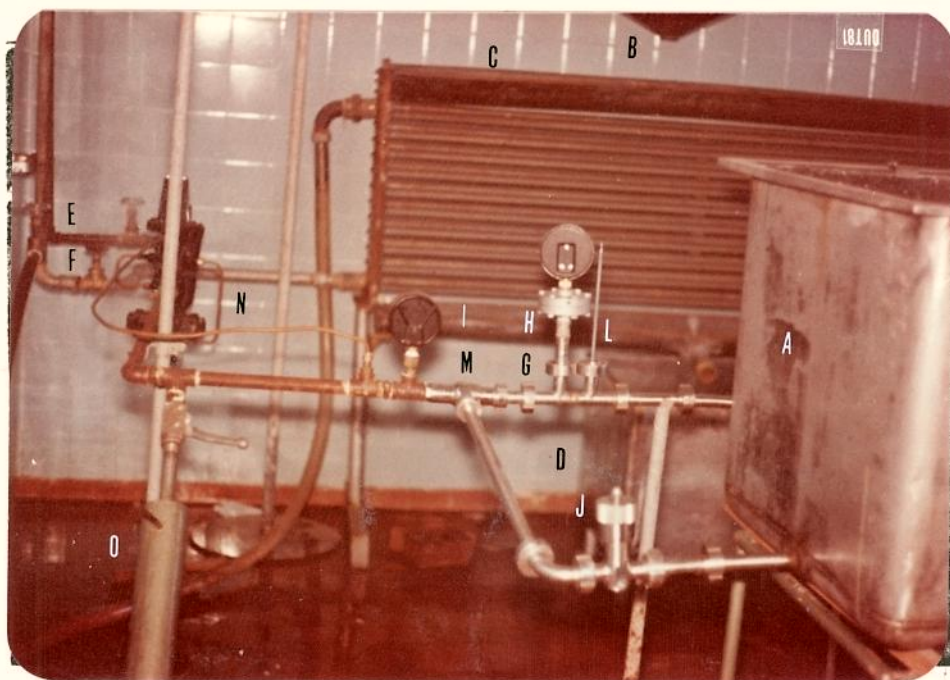


Figura 13 - Instalação de Pesquisa - 1ª

- A. Tanque de recepção de leite cru
- B. Tanque de recepção de leite aquecido
- C. Resfriador de cascata
- D. Tanque de recepção de leite resfriado
- E. Tubulação de vapor
- F. Tubulação de água industrial
- G. Tubulação de ascensão do leite
- H. Manômetro sanitário
- I. Manômetro para vapor
- J. Válvula de controle de leite
- L. Termômetro
- M. Ejetor
- N. Conjunto de controle de vapor
- O. Condensador de vapor

b) A segunda instalação (Figura 14) manteve basicamente a mesma estrutura anterior, tendo sido modificado o tanque de recepção para tanque de alimentação controlada, usando um conjunto de controle de nível por bóia e acrescido um tanque para recepção de leite cru. A instalação permitiu a variação da linha de alimentação acima do Ejetor em um intervalo de 0 a 36 cm, sendo considerado zero o centro do bico do Ejetor. Como tanque de recepção, utilizou-se um tanque cilíndrico instalado a 200 cm do piso (referência por sua base), o qual foi conectado ao tanque de alimentação controlada através de tubulação plástica ligada a tubulação com a válvula bóia.

c) A terceira instalação (Figura 15) sofreu modificações, permitindo o uso de leite. Usando os resultados da instalação anterior construiu-se um tanque fixo controlador de nível da alimentação, de pequena capacidade, fixando portanto a coluna de leite, alimentação, positiva, em 20 cm. O tanque de recepção utilizado foi o mesmo da primeira instalação, agora provido de conexão com tanque de equilíbrio através do uso de válvula de bloqueio. O sistema de residência da mistura (leite + vapor) foi modificado para um circuito em tubulação contínuo, montado nos suportes da primeira instalação. Com condições para modificar o comprimento da tubulação de residência, através de módulos padronizados de 200 cm, o circuito de residência testado atingiu 11 m, sendo considerado como ponto inicial a conexão com a válvula de retenção, ponto este anterior à conexão para injeção de corante.



Figura 14 - Instalação de Pesquisa - 2ª

- A. Tanque de recepção de leite cru
- B. Tanque de equilíbrio
- C. Tanque de recepção de leite aquecido
- D. Resfriador de Cascata
- E. Tanque de recepção de leite resfriado
- F. Tubulação de vapor
- G. Tubulação de água industrial
- H. Tubulação de ascensão do leite
- I. Válvula de retenção.

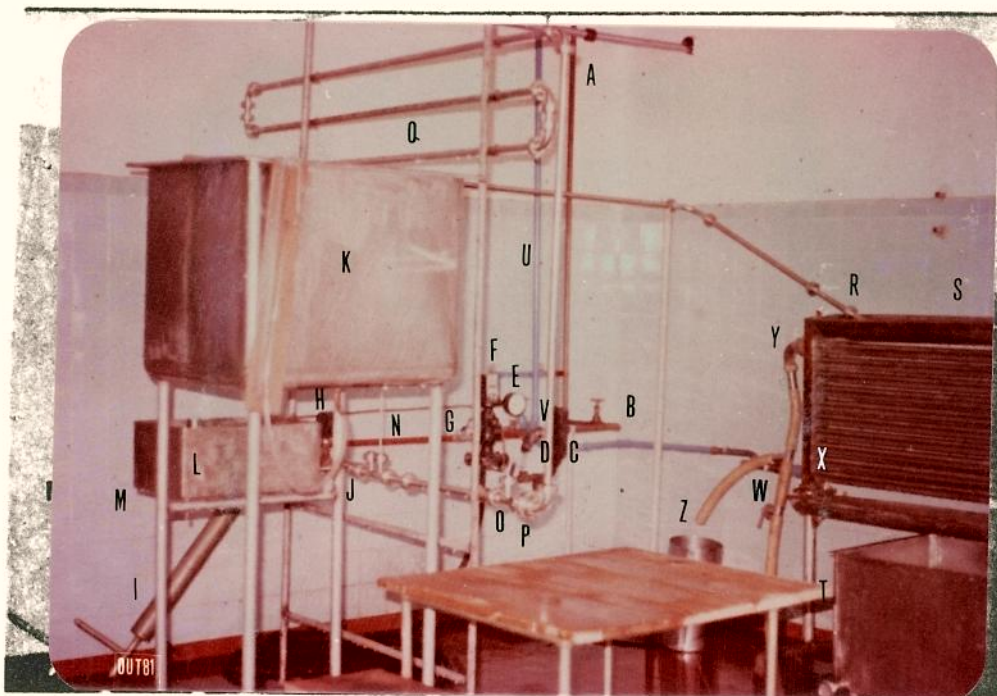


Figura 15 - Instalação de Pesquisa - 3ª

- A. Tubulação de vapor
- B. Válvula de bloqueio de vapor geral
- C. Separador de líquido
- D. Filtro de vapor
- E. Manômetro da linha de vapor
- F. Válvula de regulagem de pressão do vapor
- G. Válvula de bloqueio de vapor
- H. Manômetro de entrada do Ejetor
- I. Condensador de vapor
- J. Ejetor
- K. Tanque de recepção de leite cru
- L. Tanque de equilíbrio
- M. Válvula de controle de alimentação de leite
- N. Termômetro
- O. Conexão de injeção de corante
- P. Válvula de retenção
- Q. Circuito de residência da mistura (leite+vapor)
- R. Termômetro
- S. Resfriador de cascata
- T. Tanque de recepção de leite resfriado
- U. Tubulação de alimentação de água industrial
- V. Válvula de bloqueio de água
- X. Entrada de água no resfriador
- Y. Saída de água do resfriador
- Z. Recipiente padrão para determinação de vazão
- W. Válvula de três vias.

3.3.4. PROCESSO DE PASTEURIZAÇÃO DO LEITE

O procedimento utilizado na pasteurização de leite, usando a instalação final (Figura 15) foi o seguinte: o vapor gerado na caldeira industrial é conduzido através da tubulação principal, passa pela tubulação secundária (A) penetrando na instalação através da válvula de bloqueio (B), a sua umidade excedente é retirada pelo separador líquido-vapor (C), a seguir passa pelo filtro (D), acusando sua pressão de linha no manômetro (E), penetrando na válvula de regulação de pressão de vapor (F), sendo aí controlado em função da pressão desejada determinada pelo manômetro (H) na entrada do bico do Ejetor (J). O vapor mantém a mesma direção, e, devido à mudança física ocorrida, quando passa pelo aparelho, provoca vácuo, o que permite a aspiração do leite recebido inicialmente no tanque (K) que alimenta o tanque de equilíbrio (L), o qual alimenta com coluna constante o Ejetor (J). O leite aspirado é controlado pela válvula (M) antes do Ejetor (J). A mistura (leite+vapor) passa pelo bulbo do termômetro (N) acusando sua temperatura.

Para atingir a temperatura de pasteurização é alterado o fluxo de alimentação através da válvula (M). A mistura segue pela conexão de injeção de corante (O), transpondo a válvula de retenção (P) penetrando no circuito de residência (Q) que mantém o leite o tempo suficiente para sua pasteurização. No ponto final da tubulação, passa pelo bulbo do termômetro (R), alimenta a seguir o resfriador de cascata (S), sendo o leite resfriado e coletado no tanque (T). A água de resfriamento é conduzida através da tubulação (U), sendo controlada pela válvula (V), penetrando no resfriador em contra corrente ao leite pela conexão (X). A água utilizada deixa o aparelho pela conexão (Y) e, através da válvula (W), alimenta o recipiente (Z) de volume conhecido para determinação das vazões.

3.4. CARACTERIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO

As unidades de pesquisa montadas foram complementadas com acessórios para determinação das variações mecânicas características. Utilizou-se manômetros, indicadores de níveis, cronômetros, termômetros e conexões para injeção de corante no circuito.

3.4.1. DETERMINAÇÕES FÍSICAS

Os controles dos principais parâmetros físicos, que influem na caracterização do equipamento relacionado à pasteurização tais como: a) pressão e consumo do vapor; b) temperatura, vazão e coluna da alimentação; c) temperatura, vazão, tempo de residência da mistura (água+vapor); d) temperatura e vazão da água de resfriamento, estão descritos abaixo.

3.4.1.1. PRESSÃO E CONSUMO DO VAPOR

Foram estudadas as pressões de vapor e sua eficiência no processo, utilizando um sistema de limpeza e controle de vapor, descrito no item 3.3.3. Para a determinação das pressões de vapor no processo usou-se manômetros, marca Haenni, com graduação em kg^*/cm^2 e lB^*/pol^2 , intervalo de leitura de 0,0 a 10,5 ou 0 a 150 respectivamente. As graduações dos manômetros são de $0,1 \text{ kg}^*/\text{cm}^2$ ou $5 \text{ lB}^*/\text{pol}^2$.

O consumo de vapor está relacionado diretamente com a temperatura do fluido de alimentação e à pressão de vapor, devido a condensação do vapor quando em contato direto com o leite. Sendo a diluição provocada nesse processo originada pelo vapor condensado, indicativo portanto, do consumo de vapor.

Para o cálculo do consumo do vapor utilizou-se a Fórmula 1(19).

Fórmula 1

$$\frac{mv}{Eft} \times (hfg \times Efv + hf - hc) = ma \times c \times (Tf - Ti)$$

onde: mv = massa de vapor em kg

ma = massa de leite ou água em kg

c = calor específico do leite ou água em kcal/kg°C

Efv = eficiência do vapor

Eft = eficiência de transferência de calor

Ti = temperatura inicial do leite ou água em °C

Tf = temperatura final do leite ou água em °C

hfg = entalpia de vaporização da água a pressão utilizada dada em kcal/kg

hf = entalpia sensível do vapor a pressão utilizada dada em kcal/kg

hc = entalpia da água condensada a temperatura Tf dada em kcal/kg

Considerando a eficiência do vapor (Efv) igual a 0,95 (19) e a eficiência de transferência de calor (Eft) igual a 1,0, isto porque o vapor entra em contato direto com o leite ou com a água, calculou-se a massa de vapor necessária para aquecer 100 kg(ma) de leite ou água, com temperatura inicial (Ti) entre 10 e 30°C para atingir temperatura final (Tf) de 72°C. O calor específico (c) do leite foi considerado como 0,93 kcal/kg°C e da água 1,0 kcal/kg°C. A leitura da entalpia na vaporização da água (hfg), entalpia sensível do vapor (hf) e entalpia da água condensada (hc) à temperatura Tf foram obtidas em tabelas relacionando as características do vapor de água saturado (19)(36) para pressões de vapor entre 3,10 a 6,30 kg/cm².

3.4.1.2. DETERMINAÇÃO DAS TEMPERATURAS

Para a determinação da temperatura da mistura (água+vapor ou leite+vapor) na tubulação, utilizou-se termômetro a álcool o qual foi acoplado a um "T" de aço inoxidável com 2,54 cm de diâmetro, através de um tampão de borra-cha perfurado, fixado à rosca macho do acessório. O bulbo do termômetro ficou no centro da tubulação, a 3 mm da parede oposta e perpendicular ao fluxo da mistura (leite+vapor ou água+vapor).

As leituras de temperaturas foram realizadas em intervalos de 30 segundos em quatro pontos da instalação posicionados em relação ao Ejetor a 20, 92, 810 e 1200 cm correspondendo respectivamente a T1, T2, T3 e T4. Para a leitura das temperaturas de alimentação (T_a), mistura (leite+vapor ou água+vapor) resfriada (T_5) e água de resfriamento inicial (T_i), acoplou-se o termômetro, já descrito a um suporte de madeira para proteção e facilidade de leitura.

3.4.1.3. COLUNA DE ALIMENTAÇÃO

A coluna de alimentação de leite ou água ao Ejetor foi definida como a relação entre a superfície do fluido de alimentação (leite ou água) e o centro do bico do Ejetor. Essa coluna foi medida na vertical sendo expressa em cm utilizando indicadores de nível.

Os indicadores de nível utilizados compõem-se de um tubo de material plástico transparente, com 16 mm de diâmetro, fixo a uma régua de madeira com graduação milimétrica, tendo comprimento superior à altura do tanque, e fixado externamente na posição vertical nos tanques. O mesmo foi instalado de maneira à coincidir uma extremidade com a altura máxima do tanque e a outra, conectada a um tubo de aço inoxidável fixo na base do tanque, o qual permite a comunicação do fluido de alimentação.

A coluna de alimentação do Ejetor foi obtida através da relação entre o nível indicado e o centro do bico do Ejetor, ponto esse convencionado como Zero. A relação acusando valores acima do bico do Ejetor denominou-se como coluna positiva (+) e a valores abaixo do mesmo como coluna negativa (-).

A coluna de alimentação em relação às válvulas de controle foi estabelecida identicamente ao descrito acima, considerando como a posição Zero, no caso, o centro da válvula.

3.4.1.4. DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES

A determinação das vazões foram feitas por dois métodos, ou seja, por indicadores de nível (a) e por medida do tempo necessário para completar um recipiente com volume conhecido (b).

a) Vazões utilizando os indicadores de nível (descrito no item 3.4.1.3), foram realizadas relacionando as graduações do indicador de nível com volumes de água conhecidos. Estabeleceu-se para cada tanque uma correspondência que foi padrão para determinação dos volumes nos ensaios. Em cada ensaio anotou-se o nível inicial e final, e relacionando com o padrão anteriormente descrito determinou-se os volumes processados. Determinou-se ainda o intervalo de tempo entre o início e término de cada processo, utilizando cronômetro com graduação de 0,5 segundos. As vazões foram obtidas relacionando o volume (litros) com o intervalo de tempo (horas) do processo. Tal método foi empregado para determinar as vazões de alimentação (leite ou água) e da mistura (leite+vapor).

b) A determinação de vazão utilizou um recipiente de aço inoxidável com volume de 20,5 litros e medindo

o intervalo de tempo necessário para completá-lo. Tal método foi utilizado para determinação das vazões de mistura (água + vapor), água de resfriamento e demais vazões do processo.

3.4.1.5. CONTROLE DE VAZÃO DE ALIMENTAÇÃO

Para o controle de alimentação do leite usaram-se as válvulas de controle 1 e 2 descritas no item 3.3.2.

A curva de variação da vazão de cada válvula, foi determinada, utilizando água a 26°C, com coluna de alimentação de 20 cm acima das mesmas, coluna positiva (+), vazões médias de acordo com o método (b) descrito no item 3.4.1.4., para aberturas das válvulas de 0,0 a 10,0 como as convenções estabelecidas no item 3.3.2. Tal análise foi necessária para poder manter condições mais estáveis dos processos de pasteurização utilizando o Ejetor.

3.4.2. CARACTERIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO UTILIZANDO ÁGUA

A análise da instalação usando o Ejetor acima do nível de alimentação, foi com objetivo de verificar as razões do seu pouco emprego nas instalações industriais atuais.

A análise da instalação usando Ejetor abaixo do nível de alimentação foi com objetivo de avaliar as variações e característica de um sistema largamente empregado, contudo sem informação prática sobre sua eficiência.

A análise da instalação do Ejetor como coluna controlável, teve como objetivo avaliar as modificações sugeridas, o que permitiu modificar e definir a instalação para o uso de leite.

3.4.2.1. EJETOR ACIMA DO NÍVEL DE ALIMENTAÇÃO

O objetivo desse experimento foi analisar

os parâmetros que influenciam no processo de aquecimento, divulgado pela literatura (60), na qual o Ejetor está localizado acima da superfície da água de alimentação (Figura 6). A instalação utilizada para os testes (Figura 13), teve o tanque de alimentação deslocado para baixo, permitindo que a coluna de alimentação de água (negativa) estivesse a 25 cm do centro do bico do Ejetor e com o esgotamento total do tanque, a mesma coluna (negativa) estivesse a 73 cm do mesmo ponto. Optou-se pela verificação em fluxo livre (circuito sem o emprego da válvula de controle de alimentação), com objetivo de identificar os parâmetros que influenciam o processo, tais como: pressão de vapor e coluna de alimentação negativa e os parâmetros do processo, tais como, vazão de alimentação, temperatura da mistura (água + vapor) a 20 cm do Ejetor (T1). Para as experiências utilizou-se a posição intermediária do bico do Ejetor (posição 9) por ser atualmente a posição mais empregada nas indústrias (81). A pressão do vapor foi controlada variando de 0,70 a 4,20 kg*/cm², faixa essa obtida com estabilidade na alimentação de vapor pela caldeira trabalhando, entre 5,60 e 7,70 kg*/cm², usou-se água de alimentação a 26°C. Analisou-se o seguinte aspectos:

- a) Influência da pressão na temperatura média da mistura (água + vapor) T1 e na condição de fluxo de mistura (água + vapor) com variação da pressão de vapor de 0,70 a 4,20 kg*/cm².
- b) Influência da coluna de alimentação (negativa) na continuidade do processo e na variação da temperatura da mistura (água + vapor) (T1) mantendo-se a variação de pressão de vapor de 2,10 a 2,80 kg*/cm².

3.4.2.2. EJETOR ABAIXO DO NÍVEL DE ALIMENTAÇÃO

3.4.2.2.1. ANÁLISE DA 1ª INSTALAÇÃO

O experimento com o Ejetor inundado de água objetivou analisar o equipamento montado à semelhança das instalações atuais (Figura 11). A instalação permite uma coluna de água positiva (+) máxima de 36 cm acima do centro do bico do Ejetor (convenção descrita no item 3.4.1.3). Como o processo exige controle de alimentação, utilizou-se a válvula de controle 2. Os resultados anteriores indicaram uma grande influência da pressão de vapor nos processos. Nesses experimentos manteve-se a pressão do vapor constante em $2,10 \text{ kg/cm}^2$, dado a sua boa estabilidade. O bico do Ejetor foi mantido na posição 9 pelas razões já descritas no item 3.4.2.1. Foram analisadas:

- a) Vazão de alimentação de água, mantendo a pressão de vapor constante;
- b) Temperatura de mistura (água+vapor) para várias aberturas de válvula de controle 2;
- c) Temperatura da mistura (água+vapor) com as aberturas da válvula de controle 2. Esses ensaios foram realizados em duas etapas, considerando a temperatura da mistura (água+vapor) na faixa de 74 a 97°C e 64,8 a 74°C;
- d) Influência da coluna de alimentação positiva (+) no processo, considerando que teóricamente a coluna positiva de água na instalação é equivalente a uma pressão que atua no mesmo sentido da pressão de sucção, provocada pelo Ejetor, e são portanto, efeitos que se somam.
- e) Variação da temperatura da mistura (água+vapor) após o Ejetor e na entrada no tanque de residência considerando que nas indústrias onde se emprega o Ejetor de vapor (81) foi observada uma variação entre a temperatura da mistura (leite + vapor) após o Ejetor e a temperatura na entrada do tanque de residên-

cia. Tal variação é teóricamente explicada, pela perda de calor através da tubulação para o ambiente. Para investigar a magnitude dessa variação analisou-se as temperaturas a 20 cm (T1) e 810 cm (T3) do Ejetor. Na instalação estudada, T3 corresponde a temperatura no extremo da tubulação e entrada para o tanque de residência.

3.4.2.2.2. EJETOR COM COLUNA DE ÁGUA CONTROLÁVEL

A variação da coluna de alimentação de água é, um dos fatores que participam da variação da temperatura da mistura (água+vapor). Para investigar essa influência modificou-se a 1ª instalação (Figura 13) e realizou-se os experimentos com a 2ª instalação (Figura 14), já descritas no item 3.3.3..

Foram analisadas:

- a) Influência da posição do bico do Ejetor na vazão e temperatura da mistura (água+vapor), mantendo constante a abertura da válvula de controle 2, temperatura da água de alimentação em 26°C, pressão de vapor a 2,10 kg/cm² e coluna de alimentação de 26 ± 2 cm.
- b) Vazão de alimentação de água, com variação da pressão do vapor e da abertura da válvula de controle 2, mantendo-se constante a temperatura da água de alimentação em 26°C e o bico do Ejetor na posição 19, posição esta definida em testes anteriores, como a que permitia maiores vazões.
- c) Variação da temperatura da mistura (água+vapor) no percurso de contato água e vapor logo após o Ejetor. O percurso estabelecido na instalação para estudo desse parâmetro foi de 105 cm após o Ejetor, como descrito no item 3.3.3.. Para definição dessa posição colocou-se uma válvula de retenção, a qual obri-

ga a mistura (água+vapor) a uma grande turbulência, condição essa, que poderá provocar a condensação total do vapor. O percurso estabelecido em 105 cm, permitia medir as temperaturas em intervalos de 10 cm, entretanto, em testes preliminares não se obteve diferenças consideráveis de temperatura. Devido a isso, definiu-se dois pontos de estudo, a 20 cm (T1) e 92 cm (T2) após o Ejetor. E como referência utilizou-se a temperatura lida a 810 cm (T3), ponto final da tubulação na 2ª instalação.

Realizou-se 12 ensaios, mantendo para cada ensaio condições constantes da abertura da válvula de controle 2, temperatura da água de alimentação, bico do Ejetor na posição 19, coluna de alimentação (+) de 26 ± 2 cm e pressão de vapor. Usou-se aberturas da válvula de 4,5 a 4,9, água de alimentação as temperaturas de 18 a 26°C e pressões de vapor de 2,80 a 3,85 kg/cm².

d) Influência da temperatura de alimentação na temperatura da mistura (água+vapor)

Usou-se as mesmas condições anteriores, ou seja, válvula de controle 2 em abertura 4,5 e 4,9, mantendo o bico do Ejetor na posição 19, coluna de alimentação (+) de 26 ± 2 cm, pressões de vapor de 2,80 e 3,85 kg/cm² e água de alimentação às temperaturas de 18 a 26°C.

3.4.2.2.3. INSTALAÇÃO DEFINIDA

Com os parâmetros estudados definiu-se a 3ª instalação (Figura 15), descritas nos itens 3.3.3. e 3.3.4. e para caracterizar a instalação determinou-se as relações entre:

a) Posição do bico do Ejetor e vazão de alimentação de água. Determinados em 40 ensaios usando 10 posições do bico do Ejetor, quatro repetições por posição do bico do Ejetor. Usou-se as

condições: válvula de controle 2 na abertura 5,5, temperatura da água de alimentação em 25°C, pressão de vapor de 2,10 kg/cm² e coluna de alimentação (+) constante de 20 cm. Posição escolhida por coincidir com os tanques de controle de vazão já em uso na indústria de laticínios em geral.

b) Pressão de vapor e vazões de alimentação de água e mistura (água+vapor). Realizou-se 20 ensaios, mantendo a válvula de controle de alimentação 1 em posição que permitia obter a temperatura próxima de 72°C, no ponto final da instalação (T4), utilizou-se água de alimentação a 25°C, pressão de vapor no intervalo de 2,10 a 5,60 kg/cm², mantendo constante o Ejetor na posição 19 e coluna de alimentação de água (+) constante em 20 cm.

3.4.2.3. DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE RESIDÊNCIA

O tempo de residência da mistura (água+vapor) é o intervalo de tempo em que a mistura permanece à temperatura de pasteurização. Os dois parâmetros tempo de residência e temperatura definem a pasteurização, como descrito no item 2.2.1. Utilizou-se dois sistemas de residência da mistura: o primeiro, usando um tanque e o segundo, um circuito tubular, como descrito no item 3.3.3.

O primeiro sistema, residência em tanque, presentes nas 1ª e 2ª instalações (Figura 13 e 14) é o mais usado nas instalações industriais atuais (Figura 11). Para se comprovar o tempo de residência da mistura (água+vapor) por este sistema, reteve-se a mistura por 15 segundos, e determinou-se o nível atingido no tanque de residência, a seguir, liberou-se a mistura através de uma válvula de bloqueio, mantendo o nível de líquido constante no tanque de residência.

O segundo sistema, circuito tubular de residência utilizada na 3ª instalação (Figura 15), foi calculado, segundo o método descrito a seguir. Utilizou-se, as dimensões da tubulação obtendo a área média da seção transversal, a qual relacionada às diversas vazões em l/h e convertida em m³/h fornece o comprimento desejado usando a Fórmula 2:

Fórmula 2

$$cr = \frac{Vm \times tr}{a}$$

onde: cr = comprimento do circuito de residência teórico em metros

Vm = vazão da mistura (água+vapor) em m³/h

tr = tempo de residência em horas

a = área de seção transversal da tubulação em m².

Determinou-se várias medidas do diâmetro interno da tubulação utilizada, tendo a média indicado o valor de 2,50 cm. Considerou-se as vazões da mistura (Vm), prováveis do aparelho, entre 500 e 2700 l/h e o tempo de residência (tr) da mistura (água+vapor) em 15 segundos, condição mínima para tratamento a 72 - 74°C. Os cálculos realizados permitiram escolher o circuito de residência de 11 m, que correspondia a uma vazão de mistura (água+vapor) de 1.300 l/h, condição que atendia as vazões até então analisadas. Esse circuito foi montado na 3ª Instalação (Figura 15). Para a determinação do tempo de residência da mistura (água+vapor) real no circuito de residência estabelecido, utilizou-se o processo de medir o intervalo de tempo necessário para um pequeno volume de mistura (água+vapor) corada, fluir da válvula de retenção até o final da tubulação. Para tal utilizou-se 0,1 ml de uma solução alcoólica a 2% de cristal violeta, injetada no circuito usando

uma seringa hipodérmica, introduzindo a agulha através de uma película de borracha, acoplada a um "T" de aço inoxidável, inserido na instalação, a 92 cm do Ejetor.

Para comparação entre os valores determinados experimentalmente e os calculados, relacionou-se para cada ensaio o comprimento que o circuito de residência deveria ter para atingir um tempo de residência de 15 segundos. Para tanto utilizou-se a Fórmula 3:

Fórmula 3

$$cr_c = \frac{15 \times 11}{tr}$$

onde:

cr_c = comprimento do circuito de residência equivalente para residência de 15 segundos.

tr = tempo de residência experimental em segundos.

3.4.2.4. RESFRIAMENTO

O resfriamento da mistura (água+vapor) foi realizado utilizando um resfriador de cascata aberto (Figura 15).

A água de resfriamento percorre o circuito interno do resfriador nas direções horizontal e vertical, de baixo para cima. A mistura (água+vapor) percorre a instalação, externamente, na direção vertical, de cima para baixo. Portanto, a troca de calor é em contra corrente.

Nos ensaios objetivou-se analisar o consumo da água de resfriamento e, a influência de sua temperatura, na capacidade de resfriamento da mistura (água+vapor). Para mistura (água+vapor) a temperatura inicial de $72 \pm 1^\circ\text{C}$ a 1200 cm do Ejetor (T4) obtendo resfriamento a temperatura de $32 \pm 2^\circ\text{C}$

(T5) utilizou-se água de resfriamento com temperatura inicial de 25°C (Ti). Realizou-se 20 ensaios, com variação da pressão de vapor de 2,10 a 4,90 kg/cm² com objetivo de obter diversas vazões da mistura, aberturas da válvula na entrada de água de resfriamento da instalação, em posições, que permitem obter resfriamento da mistura (água+vapor) de 32 ± 2°C. As temperaturas da mistura (água+vapor) (T4 e T5) e da água de resfriamento inicial e final (Ti e Tf) foram obtidas segundo descrito no item 3.4.1.2. As vazões de água de alimentação, mistura (água+vapor) e água de resfriamento foram determinadas segundo o método descrito no item 3.4.1.4.

Para a determinação da vazão relativa da água de resfriamento com a alimentação utilizou-se a Fórmula 4:

Fórmula 4

$$VR = \frac{Vr}{Va}$$

onde: VR = Vazão relativa da água de resfriamento com a alimentação

Va = Vazão de alimentação

Vr = Vazão de água de resfriamento

3.5. DILUIÇÃO DO LEITE USANDO ÁGUA

No tratamento do leite usando o Ejetor de vapor, o vapor entrando em contato direto com o leite, condensa-se, ocasionando a sua diluição. O objetivo dos experimentos realizados foi analisar os efeitos dessa diluição nos parâmetros físicos e químicos utilizados com maior frequência na indústria de laticínios e também sua precisão. Considerando que a literatura científica não apresenta padrões nem sugere os melhores métodos para determinação da diluição do leite procurou-se estabelecer:

3.5.1. AMOSTRAGEM

Utilizou-se leite cru, obtido aleatoriamente durante o período de recepção de leite no Setor Industrial do Instituto de Laticínios "Cândido Tostes", em porções de 1000 ml. Essa amostra foi dividida em porções de 200 ml; a primeira foi mantida sem alteração e considerada como referência, as outras 4 (quatro) foram diluídas nas proporções 5, 10, 15 e 20%, respectivamente, usando água destilada. O intervalo de diluição definido, foi escolhido, para atender a faixa de diluição obtida quando do uso do Ejetor de vapor na pasteurização do leite, obtido nos testes preliminares realizados.

3.5.2. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Os parâmetros definidos para o experimento foram: pH, acidez, gordura, densidade, ponto crioscópico e sólidos totais.

3.5.2.1. ACIDEZ E pH

As determinações de acidez do leite foram efetuadas através da titulação com solução de hidróxido de sódio N/9, usando fenolftaleína como indicador, segundo método Dornic e o pH foi determinado através de potenciômetro (5)(31)(41)(50).

3.5.2.2. GORDURA

As determinações da percentagem de gordura no leite foram efetuadas, utilizando o método volumétrico de Gerber e o método utilizando o aparelho "Milko Tester - MK3 da Foss Elétric do Brasil Ltda (MK-3)". Utilizou-se dois processos com finalidade de verificar-se a precisão analítica dos mesmos.

3.5.2.3. DENSIDADE

As determinações de densidade foram efetuadas utilizando termolactodensímetro, segundo Quevenne (5), com graduação de 15 a 40 divisões. O número de graduação obtido nas temperaturas da amostra de leite foi a seguir corrigido para temperatura de 15°C utilizando a escala do próprio aparelho ou tabelas de correção .

3.5.2.4. PONTO CRIOSCÓPICO

As determinações do ponto crioscópico foram efetuadas segundo o método AOAC (5) e apresentado em Graus Celcius negativo.

3.5.2.5. SÓLIDOS TOTAIS

As determinações de sólidos totais foram efetuadas utilizando secagem da amostra em banho-maria a 100°C por 1 hora e em estufa a vácuo a 100 - 110°C por 2 (duas) horas, até atingir peso constante (5).

3.6. ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE PASTEURIZAÇÃO DO LEITE

Com a instalação definida, tratou-se o leite dentro das normas estabelecidas pelo Órgão de Inspeção Federal, descritas no item 2.2.1.. A eficiência do processo foi analisada usando os métodos descritos a seguir:

3.6.1. CONDIÇÕES DE PASTEURIZAÇÃO

Usando-se a instalação definida (Figura 15) realizou-se 16 ensaios, utilizando por ensaio 100 litros de leite cru (descrito no item 3.1.), bico do Ejetor na posição 9 e alimentação do leite com coluna constante de 20 cm. Esses dados

foram escolhidos baseados nos resultados dos testes feitos com água onde comparou-se as posições do bico do Ejetor e a coluna de alimentação, tendo os resultados indicado melhor eficácia e controle quando se usa essas condições. Para os testes feitos, variou-se a pressão de vapor de 2,10 a 2,80 kg^{*}/cm² para se obter temperaturas de 65 a 73°C.

Para se verificar a reprodutibilidade do aparelho em relação à pasteurização, o leite foi processado em quadruplicata usando as condições: a) alimentação de leite a 30°C, tempo de residência de 15 segundos, temperatura de pasteurização de 65°C e pressão de vapor de 2,10 kg^{*}/cm²; b) leite a 18°C, tempo de residência de 13 segundos, temperatura de pasteurização de 73°C e pressão de vapor de 2,80 kg^{*}/cm².

3.6.2. DETERMINAÇÕES FÍSICAS DO PROCESSO DE PASTEURIZAÇÃO

O consumo de vapor, determinação de temperatura, controle de vazão de alimentação do leite e determinação de vazão, foram realizados, respectivamente, segundo os métodos descritos nos itens (3.4.1.1.; 3.4.1.2.; 3.4.1.3. e 3.4.1.4.). As condições de tempo de residência e do resfriamento da mistura (leite+vapor) foram realizadas, respectivamente, segundo os métodos descritos nos itens (3.4.2.4. e 3.4.2.5.).

3.6.3. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

As análises físico-químicas do leite cru e do pasteurizado foram efetuadas segundo os métodos descritos no item 3.5.2..

As amostras do leite cru e do pasteurizado foram retiradas respectivamente do tanque de equilíbrio e após o resfriamento.

3.6.4. ANÁLISES

Utilizou-se os métodos estabelecidos pelo Órgão de Inspeção Federal (47).

3.6.4.1. FOSFATASE ALCALINA

As determinações de fosfatase alcalina, foram efetuadas, através de identificação de fenol livre com o uso de 2,6 Dibromoquinona clorimida (5). O teste é considerado positivo (+), quando apresenta coloração azul e negativo (-), quando apresenta coloração semelhante ao teste com amostra aquecida a 100°C. O teste positivo indica que a enzima fosfatase não foi inativada (essa inativação ocorre em temperatura de 72°C). O teste negativo indica que a enzima em questão foi inativada, podendo-se concluir que o leite foi tratado acima de 72°C.

3.6.4.2. PEROXIDASE

As determinações de peroxidase ou lactoperoxidase foram efetuadas através de reação com Guayacol a 1% em reação de Dupouy (1). O teste é considerado positivo (+) quando apresenta coloração rosa-salmão, e negativo (-) quando apresenta coloração branca. A prova negativa indica que o leite foi tratado abaixo de 80°C e que não ocorreu desnaturação da enzima. A prova positiva indica que o leite sofreu aquecimento acima de 80°C.

3.6.4.3. CONTAGEM TOTAL

As amostras de leite cru e pasteurizado foram analisadas utilizando-se os métodos da American Public Health Association (APHA) (2).

A contagem total de colônias, nas amostras de leite, foi feita utilizando placas preparadas com Agar Padrão (Standard Plat Counter Agar) e incubadas a 32°C por 48 horas (2). A contagem foi realizada em contador tipo "Quebec Colony Counter".

3.6.4.4. CONTAGEM DE COLIFORMES

A contagem de colônias de coliformes foi realizada utilizando placas preparadas com V.R.B. (Violet Red Bile Agar) e incubadas a 32°C por 24 horas (2). A contagem de colônias foi realizada segundo o item 3.6.4.3.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE TRABALHO USANDO ÁGUA

4.1.1. CONSUMO DE VAPOR - CALCULADO

Os resultados teóricos de consumo de vapor para aquecer 100 kg de água a 72°C, segundo as condições estabelecidas no Quadro 1, indicam que:

Para uma mesma temperatura da água de alimentação variando a pressão de vapor entre 2,10 e 6,30 kg^{*}/cm², ocorre redução no consumo de vapor. Considerando os extremos, ou seja, para a temperatura da água de 10°C, essa redução é de 0,20 kg e para a temperatura da água de 30°C, essa redução é de 0,15 kg de vapor, o que em percentagem corresponde respectivamente a uma redução de 1,76 e 1,69%, indicando que a variação da pressão de vapor para a mesma temperatura tem pequena influência no consumo de vapor.

Para uma mesma pressão de vapor e variando a tempe

ratura da água de alimentação de 10 a 30°C, ocorre redução no consumo do vapor. Considerando os extremos, ou seja, para pressão de vapor de 2,10 kg*/cm² a redução é de 3,65 kg de vapor e para pressão de vapor de 6,30 kg*/cm² a redução é de 3,58 kg de vapor. Esses valores em percentagem correspondem a 32,27% e 32,22% indicando que a variação da temperatura da água de alimentação para a mesma pressão de vapor tem grande influência no consumo de vapor, ou seja, quanto maior a temperatura da água menor o consumo de vapor.

Os resultados indicam que o acréscimo de condensado de vapor na água está no intervalo de 7,53 a 11,31 kg por 100 kg de água, considerando-se os extremos, água a 30°, aquecida com vapor à pressão de 6,30 kg*/cm² e água a 10°C aquecida com vapor à pressão de 2,10 kg*/cm².

Quadro 1 - Consumo de Vapor (kg) em Função da Temperatura da Água e da Pressão de Vapor para Aquecer 100 kg de Água a 72°C - Calculado Segundo Farral.

Condições: Eficiência do Vapor (Efv) 0,95; eficiência de transferência de calor (Eft) 1,0; calor específico da água(c) 1,0kcal/kg°C e temperatura final da água e do condensado de 72°C.

Pressão kg/cm ² \ Temperatura °C	2,10	2,80	3,50	4,20	4,90	5,60	6,30
10	11,31	11,26	11,22	11,19	11,16	11,14	11,11
12	10,95	10,90	10,86	10,83	10,80	10,78	10,76
15	10,40	10,36	10,32	10,29	10,26	10,24	10,22
17	10,03	9,99	9,96	9,93	9,90	9,88	9,86
18	9,85	9,81	9,78	9,75	9,72	9,70	9,68
20	9,49	9,45	9,41	9,39	9,36	9,34	9,32
22	9,12	9,08	9,05	9,02	9,00	8,98	8,96
24	8,76	8,72	8,69	8,66	8,64	8,62	8,60
26	8,39	8,36	8,33	8,30	8,28	8,26	8,24
28	8,03	7,99	7,96	7,94	7,92	7,90	7,89
30	7,66	7,63	7,60	7,58	7,56	7,54	7,53

4.1.2. DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DAS VÁLVULAS DE CONTROLE 1 E 2

Para os estudos de controle da vazão de alimentação utilizou-se as válvulas de controle 1 e 2, descritas no item 3.2.2., colocada à saída do tanque de alimentação. As Figuras 16 e 17 apresentam os valores das vazões de escoamento para água, em função da graduação das válvulas.

Os resultados indicam que para a válvula de controle 1 (Figura 16) há uma variação contínua em todo seu campo de abertura. Para o intervalo de abertura de 3,0 a 10,0 os resultados indicam uma variação na vazão de 2 100 l/h, o que é grande quando comparamos com o deslocamento da haste da válvula para obter tal resultado. Essa variação de vazão corresponde a um deslocamento angular de 63° , o que caracteriza a dificuldade para obter controle de pequenas vazões. Isso em um processo de pasteurização poderá dificultar a correção da temperatura da mistura (leite+vapor), condição imprescindível para uma pasteurização eficiente. Entretanto, é importante o fato da válvula permitir elevada vazão de alimentação.

Os resultados indicam ainda que a válvula de controle 2 (Figura 17), apresenta uma variação contínua da vazão com sua abertura até a posição 6,0, mantendo a seguir constante a vazão até a abertura completa, posição 10,0. A vazão máxima determinada foi de 425 l/h ocorrida com abertura 6,0, a qual é mantida até a posição 10,0. O seu indicador de abertura corresponde a 6 rotações completas de 360° (Figura 12), o que demonstra que é possível grande precisão no controle de pequenas vazões. Tal condição em processo de pasteurização, apresenta a vantagem de permitir pequenas correções na temperatura da mistura (leite+vapor), através de pequenas alterações na vazão de alimentação, entretanto, há o inconveniente de não aumentar a vazão no intervalo de abertura de 6 a 10.

Comparando-se as válvulas de controle analisadas, verifica-se que as vazões são função da estrutura mecânica interna, o que ocasiona maior ou menor perda de carga para condições semelhantes de temperatura e pressão da água de alimentação. Como a válvula de controle 1 permite maiores vazões estas são utilizadas nas instalações industriais (81)(82) semelhantes a da Figura 11, mesmo não permitindo pequenas variações da vazão, como a válvula de controle 2.

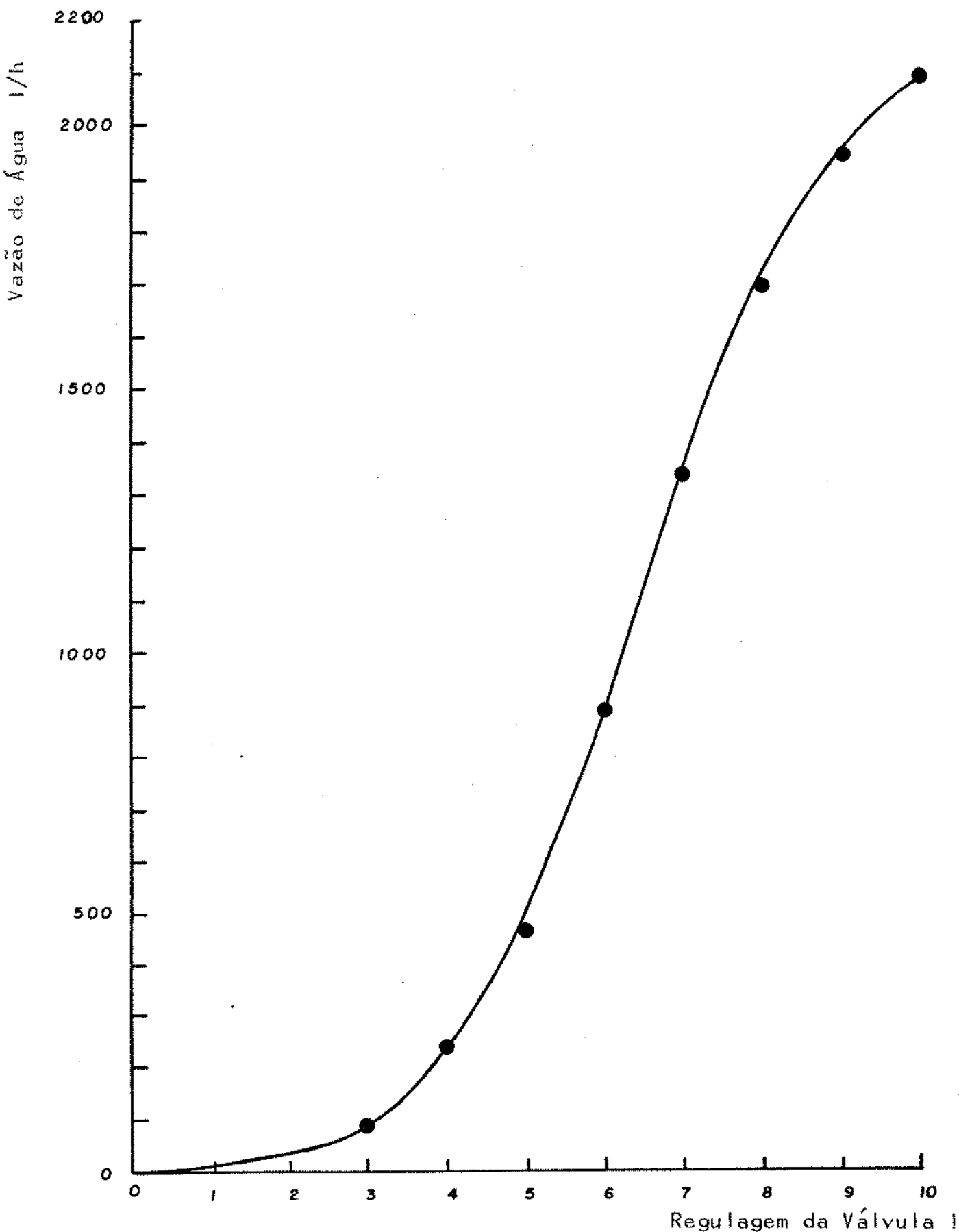


Figura 16 - Vazão de Água em Função da Regulagem da Válvula de Controle de Alimentação - Válvula 1.

Condições: Temperatura da água 26°C, Coluna de líquido a 20 cm acima da válvula (coluna positiva) com saída para o ambiente (pressão de 1 atm)

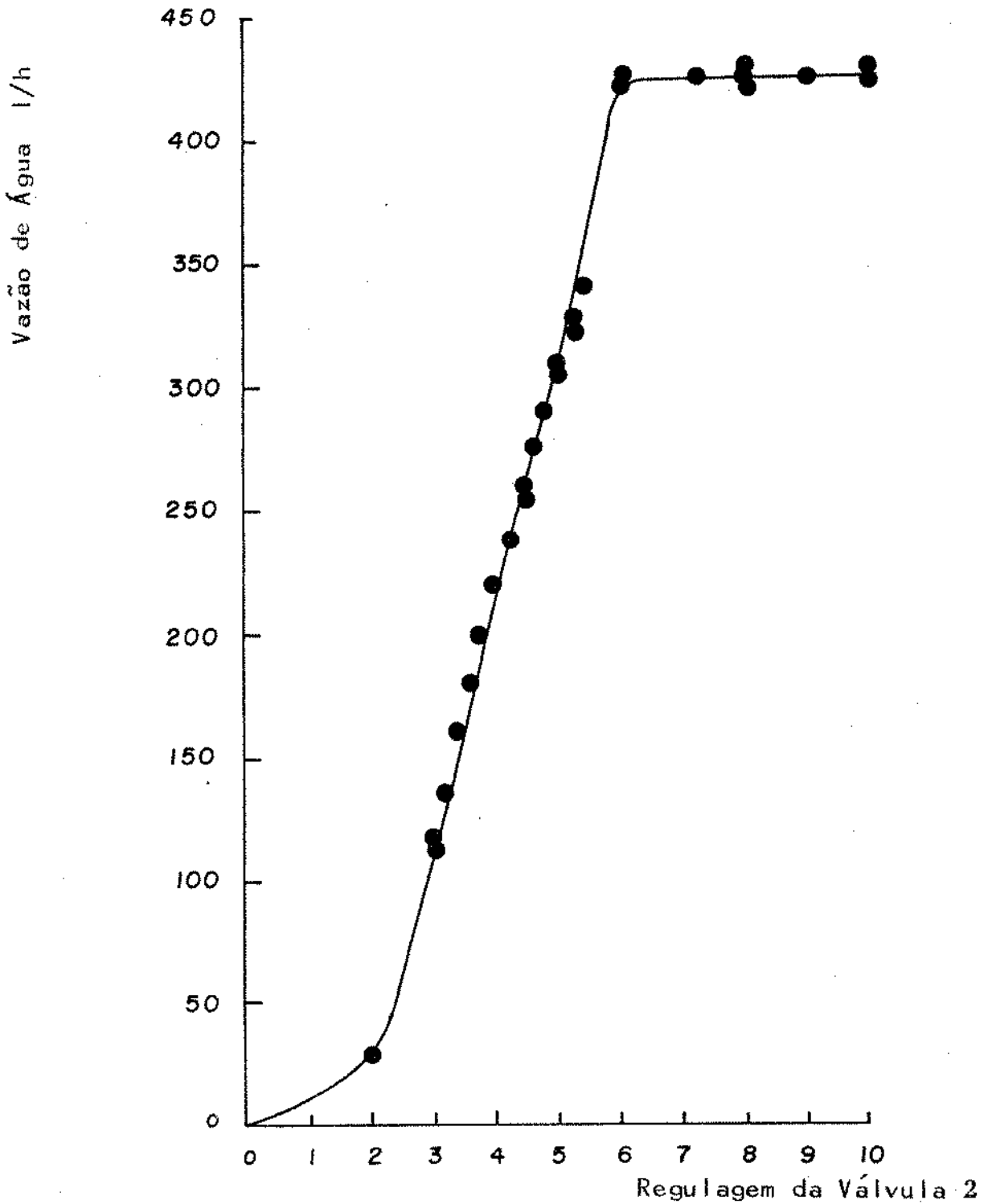


Figura 17 - Vazão de Água em Função da Regulagem da Válvula de Controle de Alimentação (Válvula 2)
 Condições: Temperatura da água 26°C, coluna de líquidos a 20 cm acima da válvula (coluna positiva) com saída para o ambiente (pressão de 1 atm).

4.1.3. EJETOR ACIMA DO NÍVEL DE ALIMENTAÇÃO

Este modelo de instalação, à semelhança da Figura 6, apresenta o Ejetor colocado acima da linha de alimentação de leite, o que tem como vantagem o não contato do leite com a tubulação de vapor. Esse modelo é pouco empregado nas instalações industriais atuais (81). A razão disso é a descontinuidade dos processos, o que ocorre devido a diversos fatores como variação da pressão de vapor, coluna de alimentação e controle de alimentação.

Usando a 1ª Instalação (Figura 13) analisou-se: a) posição do controle de vazão; b) níveis de pressão de trabalho; c) influência da pressão de vapor na vazão de alimentação; d) influência da pressão de vapor na temperatura da mistura (água+vapor); e) influência da pressão de vapor na interrupção do processo e f) influência da variação da coluna de alimentação na temperatura da mistura (água+vapor).

a) O controle de vazão realizou-se utilizando as válvulas de controle 1 e 2 em duas posições, uma na linha de alimentação de água a 20 cm do Ejetor à semelhança da Figura 6, e a outra na linha de mistura (água+vapor) a 92 cm do Ejetor, à semelhança da Figura 11. Os resultados indicaram para a primeira posição, processo contínuo quando usou-se a válvula de controle 1 totalmente aberta, quando, no entanto, procurava-se reduzir a vazão de alimentação o processo se tornava descontínuo. Usando a válvula de controle 2 não se obteve sucção em nenhuma tentativa. Na segunda posição, usando inicialmente a válvula de controle 1 totalmente aberta, o processo apresentava-se contínuo, sendo, no entanto, intermitente, quando procurava-se controlar a vazão da mistura (água+vapor) para atingir temperaturas próximas de 72°C. Devido a variação analisou-se a instalação sem controle de vazão, ou seja, em fluxo livre.

b) Os resultados indicam que pressões inferiores a $2,10 \text{ kg}^*/\text{cm}^2$ não permitem sucção contínua da água. Com pressões iguais ou superiores a $2,10 \text{ kg}^*/\text{cm}^2$ o sistema permite sucção contínua da água, entretanto, a temperatura da mistura (água+vapor) tende a diminuir com o aumento da pressão de vapor (Quadro 2). Quando o processo é contínuo, a temperatura média da mistura (água+vapor) é da ordem de 68°C . Com o aumento da pressão de vapor até $2,80 \text{ kg}^*/\text{cm}^2$ há diminuição da temperatura média da mistura, a qual é mínima quando a pressão é aumentada para $4,20 \text{ kg}^*/\text{cm}^2$. Esse fator poderia ter grande influência na eficiência de pasteurização do leite, se a mesma fosse usada, pois a temperatura média da mistura era de 54°C .

Quadro 2 - Influência da Pressão do Vapor no Fluxo e na Temperatura da Mistura (água+vapor).

Condições: Fluxo livre, temperatura de alimentação a 26°C , Ejetor na posição 9, coluna de alimentação negativa

Parâmetros Ensaio	Pressão kg^*/cm^2	Fluxo Mistura (água+vapor)	Temperatura (T1) $^\circ\text{C}$
1	0,70	Intermitente	-
2	1,40	Intermitente	-
3	2,10	Contínuo	68
4	2,45	Contínuo	64
5	2,80	Contínuo	64
6	3,15	Contínuo	62
7	4,20	Contínuo	54

(-) Não houve determinação, o processo foi descontínuo e não houve sucção da água de alimentação.

c) Os resultados obtidos (Quadro 3) indicam que a vazão de alimentação (V_a) aumenta com o aumento da pressão de vapor, ou seja, para pressão de $2,10 \text{ kg}^*/\text{cm}^2$ a vazão é da ordem de 1030 l/h , e para a pressão limite de $2,80 \text{ kg}^*/\text{cm}^2$, a vazão é da ordem de 1643 l/h , o que corresponde a um aumento de $59,5\%$.

d) O aumento da pressão de vapor, tende a reduzir a temperatura da mistura (água+vapor) (Quadro 3), ou seja: à pressão de $2,10 \text{ kg}^*/\text{cm}^2$ a mesma está no intervalo de 64 a 68°C e à pressão limite de $2,80 \text{ kg}^*/\text{cm}^2$ a mesma está no intervalo de 50 a 63°C , o que indica que em um processo de pasteurização de leite, ocorrendo a alteração da pressão de vapor, provoca um aumento da vazão de alimentação, contudo, a eficiência de pasteurização seria reduzida dada ao decréscimo na temperatura da mistura (leite+vapor). Entretanto, deve-se notar que as temperaturas obtidas estão próximas dos valores do processo conhecido como "pseudo-pasteurização ou terminação" (60)(63)(66)(69).

e) Os resultados indicam que a pressão de vapor influencia na interrupção do processo (Quadro 3), ou seja, com o aumento da pressão a interrupção ocorre em posição mais distante do Ejetor. Quando a pressão de vapor é de $2,10 \text{ kg}^*/\text{cm}^2$ a interrupção do processo ocorre a 48 cm abaixo do Ejetor (-48cm) e para a pressão limite de $2,80 \text{ kg}^*/\text{cm}^2$ a interrupção ocorre a 70 cm abaixo do Ejetor (-70cm), o que significa que o uso de pressões de vapor elevada, permite a sucção do produto em posições bem inferiores ao Ejetor. Tal situação é justificada devido à coluna de líquido entre o nível de alimentação e o bico do Ejetor atuar como contra pressão, a qual é contrária à pressão de sucção. A descontinuidade do processo ocorre quando a pressão da coluna de alimentação for superior à pressão de sucção.

Quadro 3 - Influência da Pressão de Vapor na Temperatura da Mistura (água+vapor).

Condições: Fluxo livre, temperatura de alimentação a 26°C, Ejetor na posição 9, coluna de alimentação negativa (-), início do processo a 25 cm do Ejetor (-25cm).

*= Posição da coluna de alimentação negativa.

Parâmetros Ensaio	Pressão kg*/cm ²	Temperatura T _i °C	Vazão V _a l/h	Posição de Interrupção de Sucção * cm
1	2,10	64- 68	1030	- 48
2	2,45	64- 65	1179	- 58
3	2,45	64- 65	1260	- 58
4	2,45	60- 65	1255	- 57
5	2,80	55- 65	1643	- 70
6	2,80	50- 63	1643	- 70

f) Os resultados da variação da temperatura da mistura (água+vapor) em função da variação da coluna de alimentação negativa (-)(Figura 18) indicam que o processo com pressão de vapor constante de 2,10 kg*/cm² iniciou a -25cm do Ejetor indicando uma temperatura inicial da mistura (água+vapor) de 53°C. Com o aumento da coluna, a temperatura da mistura (água+vapor) foi se elevando gradativamente até atingir 65°C a -42cm do Ejetor mantendo constante até a posição -55cm do Ejetor, posição esta onde houve interrupção de sucção.

Relacionando os pontos extremos da temperatura da mistura (água+vapor) -25 e -42cm do Ejetor verifica-se que nesse intervalo houve uma variação de 12°C na temperatura da mistura (água+vapor). Como a pressão de vapor foi mantida constante, a massa de vapor é constante, portanto a diminuição da vazão de alimentação do processo provocou o aumento da temperatura da mistura.

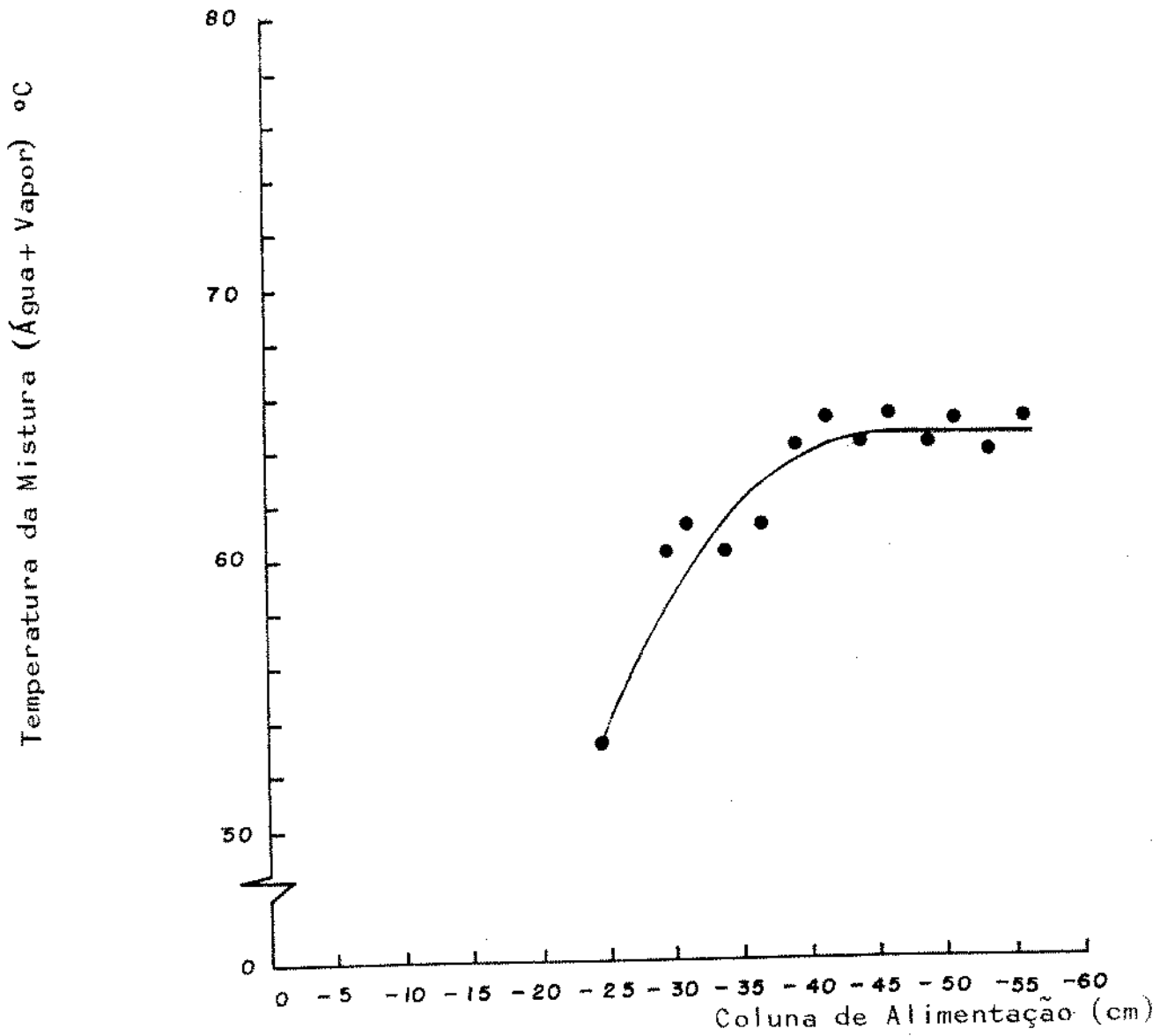


Figura 18 - Relação da Temperatura da Mistura (água+vapor) com Coluna de Alimentação Negativa.

Condições: Fluxo livre, temperatura de alimentação 26°C, Regulagem do Ejetor-posição 9, Pressão de vapor de 2,10 kg^{*}/cm².

4.1.4. EJETOR ABAIXO DA LINHA DE ALIMENTAÇÃO

Este modelo de instalação, é largamente empregado nos laticínios atualmente (81)(82).

4.1.4.1. ANÁLISE DA 1ª INSTALAÇÃO

Usando a 1ª instalação (Figura 13), analisou-se: a) posição do controle de vazão; b) influência da vazão de alimentação; c) influência da coluna de alimentação positiva (+); d) variação da temperatura da mistura (água+vapor).

a) Analisou-se o controle de vazão usando as válvulas de controle 1 e 2 em duas posições: (1ª) na linha de alimentação de água a 100 cm do Ejetor; (2ª) na linha de mistura (água+vapor) a 92 cm do Ejetor, situação esta próxima dos controles usados atualmente (81)(82), semelhantes à da Figura 11. Com ambas foi possível controlar a vazão, entretanto, na 2ª posição quando se empregou a válvula de controle 2, mesmo totalmente aberta ocorreu redução na vazão da mistura (água+vapor). Observou-se situações em que o vapor mudava o seu percurso normal e retornava através do tanque de alimentação, quando se reduzia a vazão para atingir temperaturas próximas a 72°C. Esses fatos, juntamente com a dificuldade de controlar a vazão de alimentação, levaram a conclusão de que a melhor opção seria o controle da vazão na linha de alimentação, ou seja, o uso na 1ª posição.

Os inícios dos processos usando o controle da vazão na linha de alimentação foram realizados abrindo-se, inicialmente, totalmente a válvula de controle e, a seguir, a válvula de bloqueio do vapor, sendo que o vapor já estava controlado na pressão desejada, a seguir atingia-se as temperaturas desejadas na pasteurização através da regulagem da alimentação. Com esse procedimento, pode-se controlar com

facilidade a continuidade do processo, vazão de alimentação e temperaturas de pasteurização da mistura (água+vapor). Usando o método inverso, ou seja, abrindo-se inicialmente a válvula de bloqueio do vapor e após a válvula de controle de alimentação de água, não se obteve processos contínuos, isto porque o vapor passa livre pela tubulação sem se condensar, o que só é possível quando em contato com água suficiente para tal.

O inconveniente do primeiro método é permitir o contato do produto com a tubulação de vapor, entretanto, esse inconveniente é minimizado considerando o pequeno trecho da tubulação de vapor e também o estreitamento ocasionado pelo bico do Ejetor, que impede o produto penetrar na tubulação de vapor.

b) Os resultados da influência da vazão de alimentação no processo, através da abertura da válvula de controle 2 nas condições de água de alimentação a 26°C, Ejetor na posição 9, pressão de vapor de 2,10 kg^{*}/cm², estão demonstradas no Quadro 4. Esses resultados mostram, que para pequenas aberturas da válvula de controle 2, ou seja, entre 1,0 e 3,0 não há sucção da água ocasionando portanto, um processo intermitente e descontínuo, sem possibilidade de aferição dos resultados. Isto é justificado, dado à massa de água de alimentação não ser suficiente para a condensação total do vapor, o qual passa livre pela tubulação.

Para aberturas superiores a 4,0 o processo torna-se contínuo, ou seja, com vazões de alimentação superiores a 511 l/h para as condições do experimento.

Para o intervalo de abertura de 4,0 a 4,7 obteve-se as maiores temperaturas da mistura (água+vapor) 79 a 100°C, contudo obteve-se as menores vazões de alimentação de água, 511 a 692 l/h. O aumento da vazão entre as aberturas 4,0 e 4,7, justifica a redução da temperatura da mistura (água+

vapor), considerando que pressão de vapor constante, implica massa de vapor constante. A redução da temperatura da mistura (água+vapor) é devida ao aumento da vazão de alimentação.

Para o intervalo de 5,0 a 5,4, obteve-se temperaturas entre 71,5 e 74,5°C e vazões de 762 a 848 l/h. Tal condição em um processo de pasteurização de leite seria possivelmente empregada, pois o intervalo de temperatura obtido coincide com o intervalo previsto para a pasteurização do leite, ou seja, 72 a 74°C.

Para aberturas da válvula de controle 2 de 5,5 a 10,0 houve pequena variação da temperatura ou da vazão. A temperatura esteve no intervalo de 68 a 71°C e a vazão entre 825 a 894 l/h, isto devido a característica mecânica da válvula de controle 2, a qual impede que haja grande aumento da vazão de alimentação. Nesse intervalo, em um processo de pasteurização não atenderíamos as condições de temperatura de 72 a 74°C necessárias para a pasteurização.

Quadro 4 - Variação da Vazão de Alimentação de Água e Temperatura da Mistura (água+vapor)

Condições: Válvula de controle 2, temperatura da água de alimentação a 26°C, Ejetor na posição 9, pressão de vapor de 2,10 kg/cm² e coluna de alimentação (+)

C - Processo contínuo

D - Processo descontínuo

(-) - Não houve determinação, o processo foi descontínuo e não produziu a sucção da água.

Parâmetros Ensaios	Abertura da Válvula RV2	Temperatura Tl °C	Vazão Va l/h	Fluxo
1	1,0	-	-	D
2	2,0	-	-	D
3	3,0	-	-	D
4	4,0	98,0 - 100,0	511	C
5	4,5	90,0 - 96,0	591	C
6	4,5	88,0 - 94,0	611	C
7	4,7	79,0 - 91,0	623	C
8	4,7	82,0 - 84,0	692	C
9	4,7	83,0 - 91,0	651	C
10	5,0	72,0 - 74,0	766	C
11	5,2	72,5 - 74,5	800	C
12	5,2	73,5 - 74,5	762	C
13	5,3	73,5 - 74,0	806	C
14	5,3	71,5 - 74,0	836	C
15	5,3	72,5 - 73,5	798	C
16	5,4	71,5 - 72,5	848	C
17	5,4	71,5 - 72,5	830	C
18	5,5	69,0 - 70,0	894	C
19	5,6	68,0 - 70,0	861	C
20	5,8	67,0 - 71,0	861	C
21	5,8	69,0 - 71,0	852	C
22	6,0	68,0 - 71,0	861	C
23	6,0	69,0 - 70,0	894	C
24	6,2	69,0 - 71,0	894	C
25	6,2	69,0 - 71,0	861	C
26	6,4	68,0 - 70,5	894	C
27	6,4	68,5 - 71,0	894	C
28	6,6	68,5 - 70,5	894	C
29	6,6	68,5 - 70,0	888	C
30	6,8	68,5 - 70,5	855	C
31	6,8	68,0 - 70,0	855	C
32	7,5	68,0 - 70,5	855	C
33	7,5	68,0 - 70,5	855	C
34	7,5	68,0 - 70,5	855	C
35	8,0	70,0 - 71,0	855	C
36	8,0	68,5 - 70,0	888	C
37	8,5	69,0 - 70,0	888	C
38	8,5	69,0 - 70,0	855	C
39	9,0	70,0 - 71,0	825	C
40	9,0	70,0 - 71,0	852	C
41	10,0	70,0 - 70,5	884	C
42	10,0	68,0 - 70,5	855	C

c) A influência da coluna positiva (+) nos processos foi analisada para duas situações: a primeira para temperatura da mistura (água+vapor) acima de 74°C e a segunda para valores inferiores a este.

A primeira situação realizou-se nas condições de água de alimentação a 26°C, Ejetor na posição 9 e pressão de vapor de 2,10 kg^{*}/cm². Dos 15 ensaios realizados escolheu-se três que caracterizavam melhor as variações (Figura 19) os quais foram realizados com válvula de controle 2 nas aberturas 4,0; 4,5 e 5,0, condições que propiciaram altas temperaturas da mistura (água+vapor), de 79 a 97°C. Os resultados para abertura 4,0 (Figura 19 - Curva A) indicam que a sucção da água iniciou com uma coluna positiva de 36,5 cm e interrompeu com uma coluna de 15 cm, não ocorrendo mais a sucção da água de alimentação. Houve portanto, uma variação de 21,5 cm da coluna de alimentação. A temperatura inicial da mistura (água+vapor) foi de 90°C e atingiu no final do processo 96,5°C, com uma variação de 6,5°C. Relacionando essas variações verificou-se que ocorreu entre os extremos um acréscimo de aproximadamente 0,30°C por centímetro de variação da coluna. Considerando, entretanto, o trecho próximo da linearidade da curva, ou seja, início com coluna de 34 cm e término a 15 cm, houve uma variação de 19 cm. A temperatura inicial foi de 93°C e a final de 96,5°C, ocorrendo uma variação de 3,5°C. Relacionando os valores, há indicação que houve um aumento de 0,18°C por cm da coluna.

Os resultados para abertura 4,5 (Figura 19 - Curva B) indicam que o processo de sucção iniciou com uma coluna de 35 cm e interrompeu com uma coluna de 10 cm, não ocorrendo mais sucção da água de alimentação. Houve portanto uma variação de 25 cm da coluna. A temperatura no início do processo foi de 88°C e a final atingiu 94°C, havendo uma varia

ção de 6°C . Relacionando esses valores verifica-se que há um acréscimo de $0,24^{\circ}\text{C}$ por cm de variação da coluna de alimentação. Considerando, entretanto o trecho próximo da linearidade da curva, ou seja, início com a coluna de 31 cm e final com coluna de 10 cm, houve, portanto, uma variação de 21 cm. - A temperatura inicial foi de 89°C e final de 94°C ; portanto, houve uma variação de 5°C . Relacionando os valores, há indicação que houve um aumento de $0,19^{\circ}\text{C}$ por cm de variação da coluna.

Os resultados para abertura 5,0 (Figura 19 - Curva C) indicam que o processo iniciou com coluna de 37,5 cm e interrompeu a -1,0 cm (este ponto é negativo devido estar abaixo do Ejetor), houve portanto uma variação de 38,5 cm. A temperatura inicial era de 79°C e a final de 91°C , houve, assim, uma variação de 12°C . Relacionando esses valores, os mesmos indicam que houve um acréscimo de $0,31^{\circ}\text{C}$ por cm de variação da coluna. Considerando entretanto o trecho próximo da linearidade da curva, ou seja, início com coluna de 28 cm e término com coluna de -1,0 cm, houve uma variação de 29 cm. A temperatura inicial foi de 85°C e a final de 91°C , ocorrendo, portanto, uma variação de 6°C . Relacionando os valores verificou-se um aumento de $0,20^{\circ}\text{C}$ por cm da coluna.

Comparando os resultados, verifica-se que há no início do processo uma grande variação do aumento de temperatura por centímetro da coluna de alimentação, contudo, essas variações são menores nos trechos próximos da linearidade das curvas quando comparamos as três aberturas 4,0, 4,5 e 5,0 respectivamente: $0,18$, $0,19$ e $0,20^{\circ}\text{C}$ por cm de variação da coluna de alimentação.

A segunda situação, temperatura da mistura (água + vapor) inferior a 74°C , realizou-se nas condições de água de alimentação a 25°C , Ejetor na posição 9 e pressão de vapor de $2,10 \text{ kg}^*/\text{cm}^2$. Utilizou-se as válvulas de controle

de alimentação 1 e 2, a primeira devido a permitir maiores vazões; com isso nas condições determinadas pode-se conseguir temperaturas da mistura (água+vapor) inferior a 68°C o que não foi possível com a válvula de controle de alimentação 2. Dentre os 30 ensaios realizados escolheu-se dois, que caracterizavam melhor as variações para a representação gráfica e melhor ilustração, sendo um utilizando a válvula 2 na abertura 5,4 e outro a válvula 1 na abertura 6,0.

Os resultados para a válvula de controle 2 na abertura 5,4 (Figura 20) indicam que o processo de sucção da água iniciou com uma coluna positiva de 34 cm e interrompeu-se quando houve esgotamento do tanque de alimentação na posição -10,0 (ponto este negativo devido estar abaixo do centro do bico do Ejetor), havendo uma variação de 44 cm na coluna de alimentação. A temperatura da mistura (água+vapor) T1, iniciou com $68,2^{\circ}\text{C}$ e atingiu no final do processo $70,8^{\circ}\text{C}$, havendo, portanto, uma variação de $2,6^{\circ}\text{C}$. Relacionando as duas variações, verificou-se um acréscimo de $0,059^{\circ}\text{C}$ por cm de variação da coluna. A temperatura da mistura (água+vapor) no ponto final da instalação (810 cm do Ejetor) T3 iniciou a 68°C e atingiu no final $70,5^{\circ}\text{C}$ havendo, portanto, uma variação de $2,5^{\circ}\text{C}$. Relacionando esta variação com a da coluna de alimentação, verifica-se que houve um acréscimo de $0,056^{\circ}\text{C}$ por cm de variação da coluna.

Os resultados para a válvula de controle 1 na abertura 6,0 (Figura 20) indicaram que o processo iniciou com uma coluna positiva de 35 cm e interrompeu quando houve esgotamento do tanque de alimentação, ou seja, com a coluna de -10,0cm; havendo, então uma variação de 45 cm na coluna de alimentação. As temperaturas da mistura (água+vapor) T1 e T3, praticamente coincidiram-se, ou seja, iniciaram com

64,8°C e atingiram no final 65,2°C, ocorrendo uma variação de 0,4°C. Relacionando as variação da coluna com a variação da temperatura verifica-se que houve um acréscimo de 0,008°C por cm de variação da coluna de alimentação.

Comparando-se os resultados obtidos nas Figuras 19, e 20, vê-se que a variação da coluna de alimentação tem influência na variação da temperatura da mistura (água+vapor), sempre com uma tendência de aumentá-la, a medida que a coluna diminui. Essa redução de vazão de alimentação, para uma mesma pressão de vapor, tem como efeito o aumento da temperatura da mistura (água+vapor) devido a massa de vapor se manter constante.

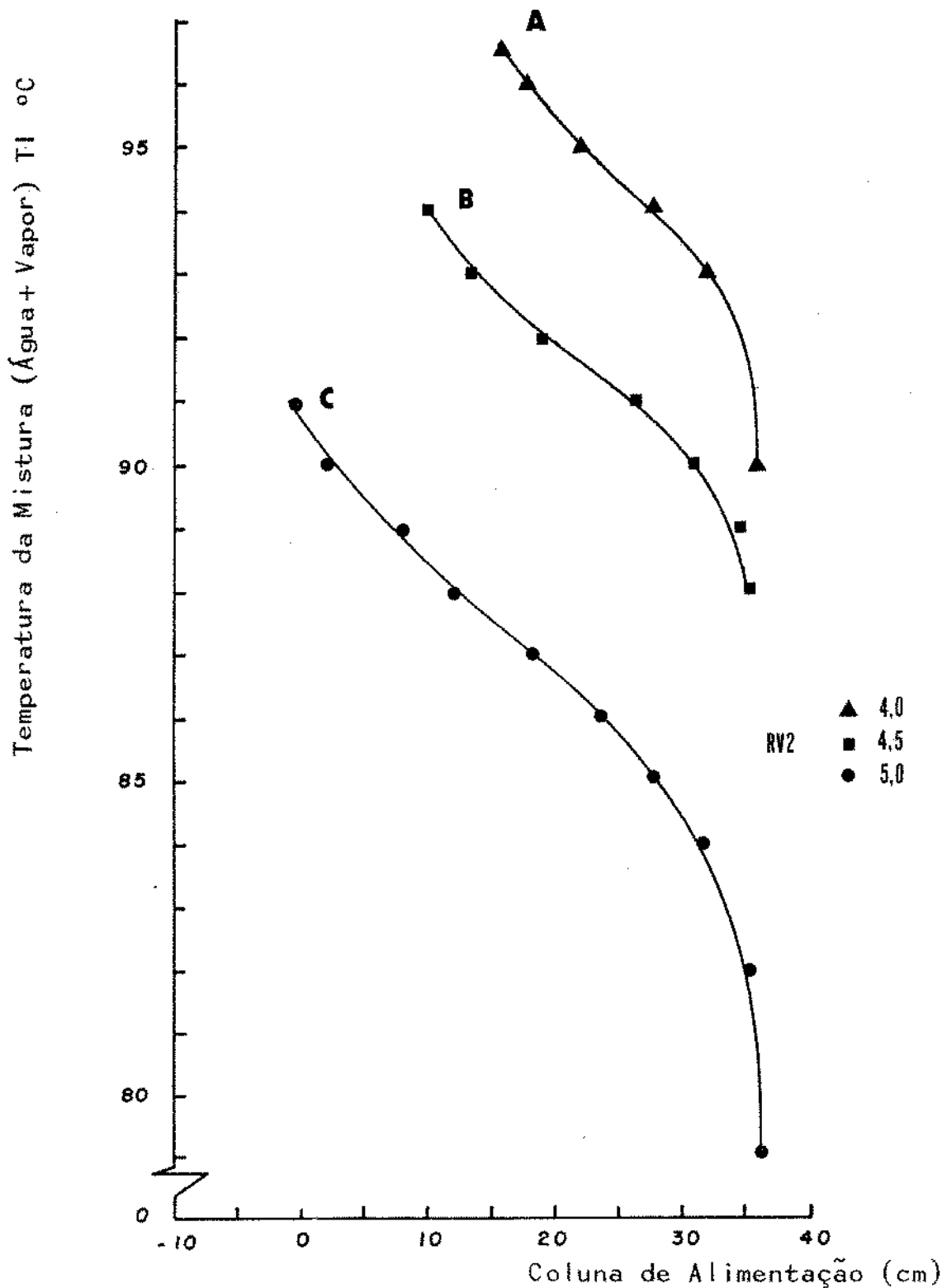


Figura 19 - Relação Entre Temperatura da Mistura (água+vapor) e a Coluna de Alimentação

Condições: Válvula de controle 2, temperatura de alimentação 26°C, Ejetor-posição 9, pressão do vapor - 2,10 kg/cm².

RV2 - Regulagem da válvula de controle 2

(-10) Significa coluna negativa, ou seja, abaixo do centro do bico do Ejetor.

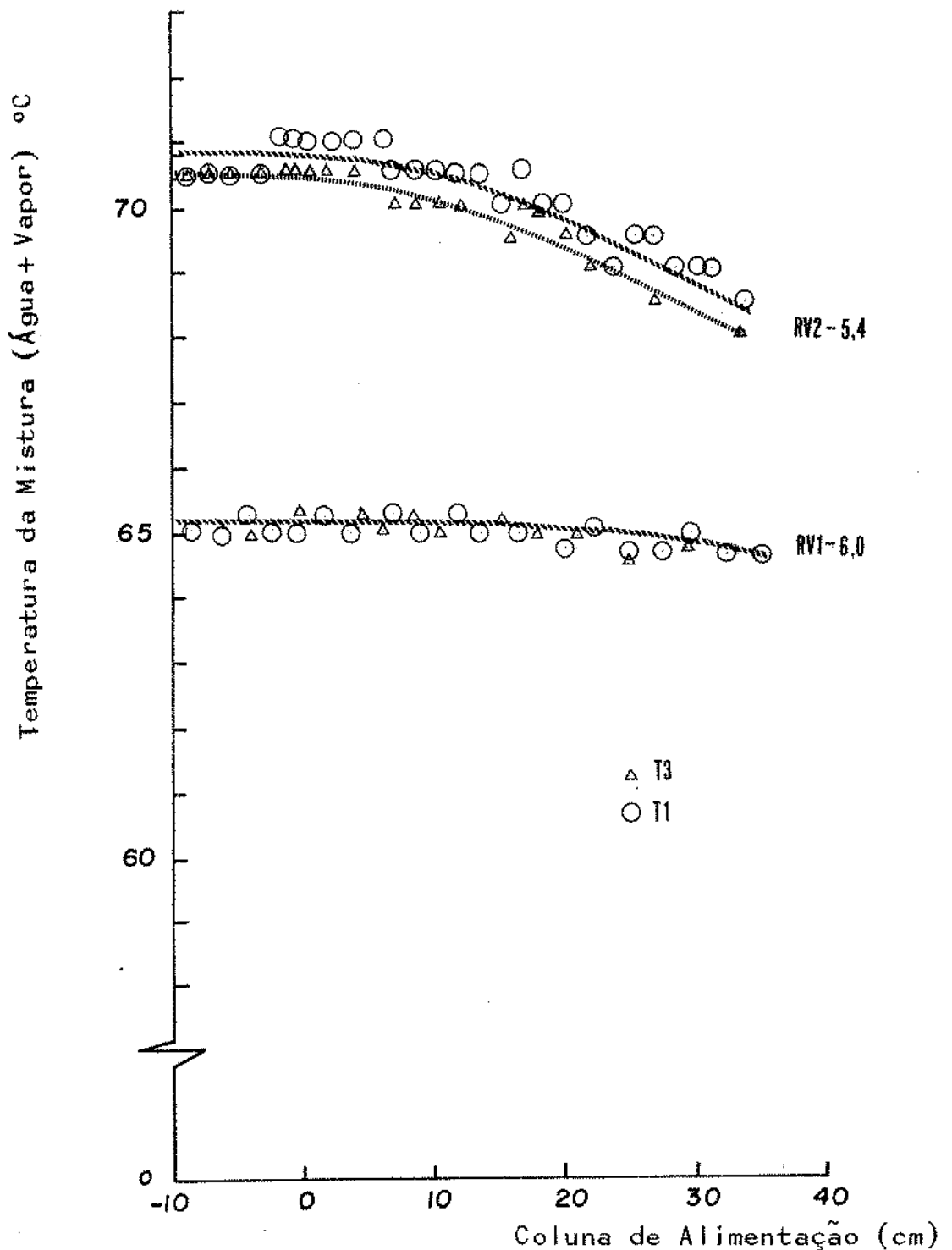


Figura 20 - Temperatura da Mistura (água+vapor) em Função da Coluna de Alimentação com Leitura a 20 e 810 cm do Ejetor.

Condições: Válvula de controle 1 e 2, temperatura de alimentação 25°C, Ejetor-posição 9, pressão de vapor 2,10 kg/cm².

RV1 - Regulagem da válvula de controle 1

RV2 - Regulagem da válvula de controle 2

(-10) Significa coluna negativa, ou seja, abaixo do centro do bico do Ejetor.

T1 - Temperatura lida a 20 cm do Ejetor

T3 - Temperatura lida a 810 cm do Ejetor

d) A análise da variação das temperaturas da mistura (água+vapor) entre os pontos próximos do Ejetor e na entrada do tanque de residência, indicaram que houve redução da temperatura como mostra os resultados descritos na Figura 21. Condição esta mais clara quando analisamos os resultados em comparação com a curva hipotética, a curva esta onde T1 igualaria a T3. Verifica-se que para a abertura 4,0 obteve-se as maiores temperaturas. A variação média entre os extremos indicam uma diferença de temperatura no intervalo de 5,6 a 5,8°C.

Para a abertura 5,5, obteve-se as menores temperaturas, e as variações médias entre os extremos indicam uma diferença de temperatura no intervalo de 0,6 a 1,0°C.

Comparando as aberturas 4,0 e 5,5, observa-se uma variação de 5,8 a 1,0°C respectivamente, o que indica que em temperaturas inferiores a 68°C haverá uma tendência de coincidência entre T1 e T3. Os resultados indicam ainda que a diferença entre os pontos T1 e T3 é maior a medida que a temperatura da mistura (água+vapor) atinge valores elevados. Em um processo de pasteurização de leite, onde as temperaturas estariam no intervalo de 72 a 74°C essa variação poderia ocorrer no intervalo de 1,4 a 1,8°C, o que colocaria em risco a eficiência da pasteurização.

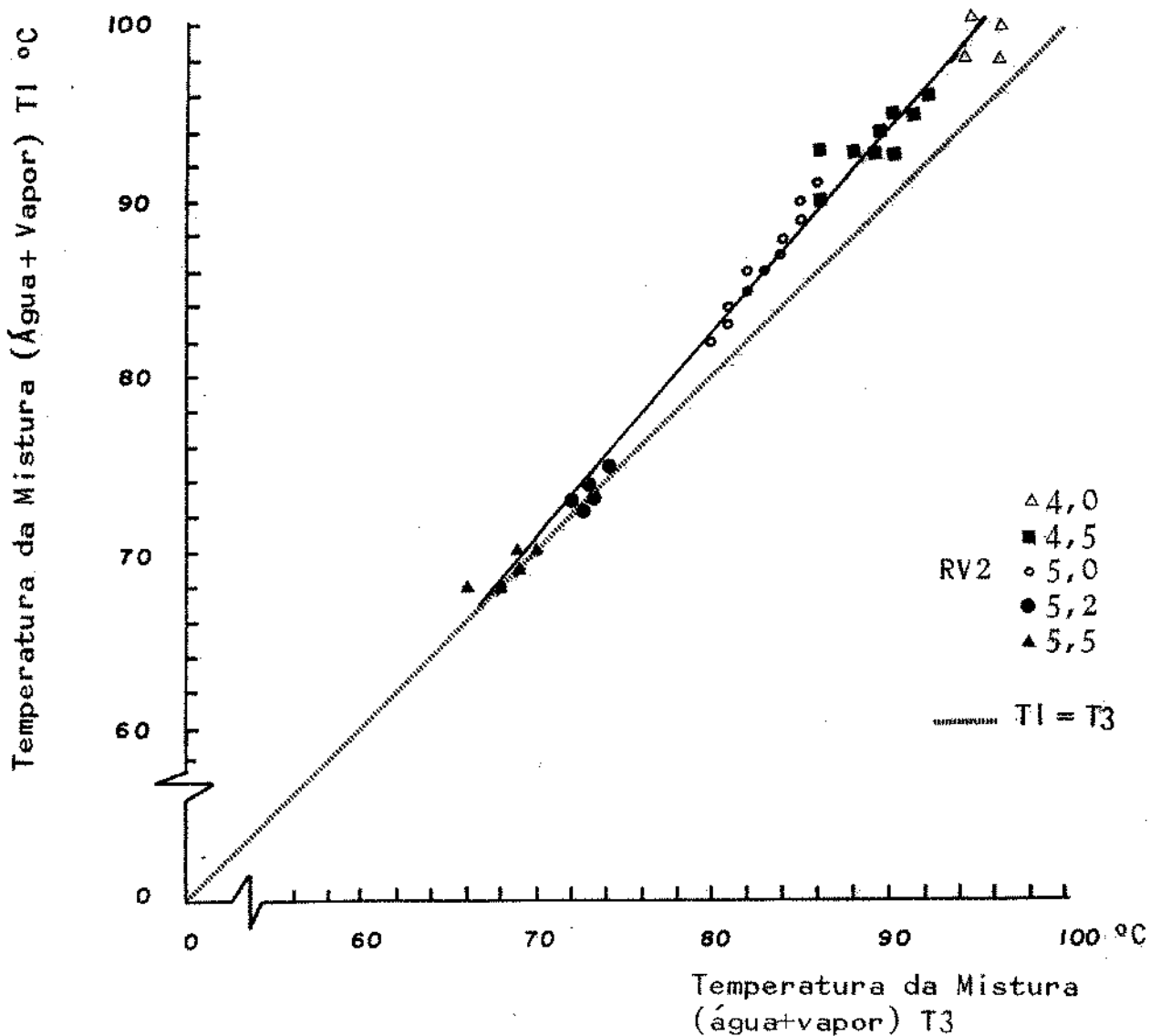


Figura 21 - Relação Entre as Temperaturas Médias da Mistura (água+vapor) após o Ejetor (20 cm) e na Posição Final da Tubulação (810 cm - 2ª Instalação)

Condições: Válvula de controle 2, temperatura de alimentação 26°C, Ejetor-Posição 9, pressão de vapor 2,10 kg/cm².

RV2 - Regulagem da válvula de controle 2.

T1 - Temperatura lida a 20 cm do Ejetor

T3 - Temperatura lida a 810 cm do Ejetor

4.1.4.2. COLUNA DE ÁGUA CONTROLADA

Os resultados foram obtidos utilizando-se a 2ª instalação (Figura 14), analisando-se as seguintes variáveis: a) Influência da posição do bico do Ejetor na vazão de alimentação; b) Vazão de alimentação em função da pressão de vapor; c) Temperatura da mistura (água+vapor), em pontos diferentes da instalação; d) Influência da variação da temperatura de alimentação na temperatura da mistura (água+vapor).

a) Os resultados obtidos referentes à influência da posição do bico do Ejetor na vazão de alimentação, mantendo constante a válvula de controle 2 com abertura 5,5, temperatura da água de alimentação a 26°C e pressão de vapor a 2,10 kg/cm², coluna de alimentação de 26 ± 2 cm, indicaram como maior vazão, a posição 19 (os dados numéricos não estão descritos no item devido à repetição em condições mais estáveis na instalação definida).

b) Os ensaios para relacionar vazão de alimentação de água para pressões de vapor no intervalo de 2,70 a 4,58 kg/cm² (Figura 22) mantendo constante, a temperatura da água de alimentação a 26°C e posição do bico do Ejetor em 19, além de coluna de alimentação de 26 ± 2 cm e abertura da válvula de controle 2 em 4,5 ; 4,9 ; 5,0 e 6,0, indicaram que independente da abertura da válvula de controle com o aumento da pressão há aumento da vazão de alimentação. Em um processo de pasteurização, utilizando tais condições permitirá atingir vazões de alimentação próximas a 2.000 l/h, conjugando maior pressão de vapor com maior abertura da válvula de controle, entretanto não houve relacionamento da temperatura da mistura (água+vapor) a qual anteriormente indicou que o aumento da vazão de alimentação provoca a tendência de diminuir a temperatura da mistura.

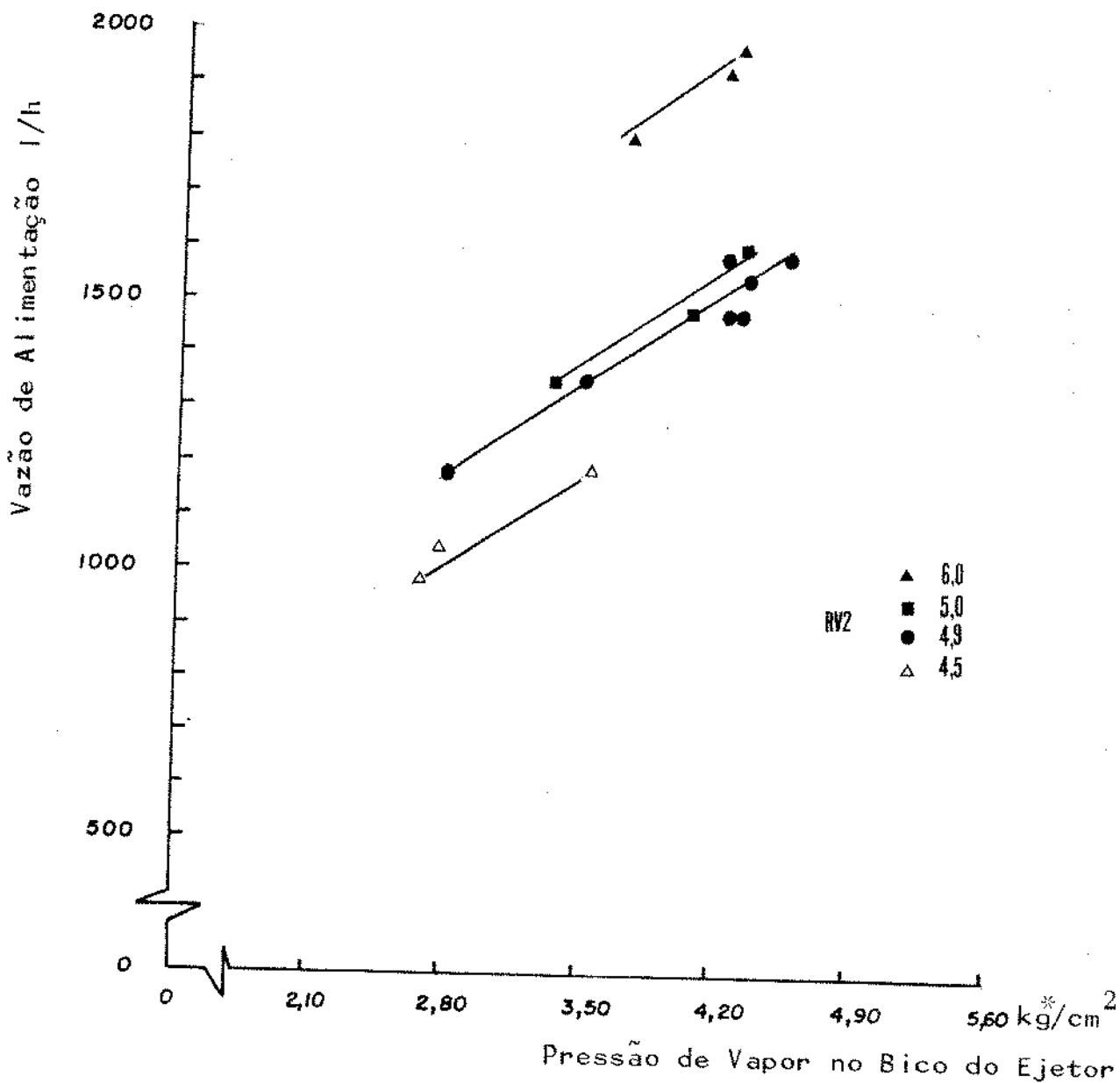


Figura 22 - Vazão de Alimentação em Função da Pressão de Vapor e das Regulagens da Válvula de Controle de Alimentação (Válvula 2).

Condições: Válvula de controle 2, temperatura de alimentação de água a 26°C, Ejetor na posição 19, coluna de alimentação 26 - 2 cm, variação da temperatura da mistura de 60 a 72°C.

RV2 - Válvula de controle 2.

c) Em processos de esterilização (18)(53) (78) o trecho da tubulação onde ocorre a mistura do leite com o vapor apresenta variação da temperatura da mistura. Situação semelhante ocorre no intervalo da instalação do Ejetor onde o vapor se mistura com a água. Os resultados obtidos na análise da temperatura da mistura (água+vapor), em três pontos da instalação, 20 cm (T1), 92 cm (T2) e 810 cm (T3) do Ejetor, tendo sido mantida constante para cada ensaio a temperatura da água de alimentação, posição do bico do Ejetor 19, abertura da válvula de controle 2, pressão de vapor e coluna de alimentação de 26 ± 2 cm indicam que houve variação da temperatura nos pontos definidos (Quadro 5). A variação de T1 a T2, foi de 0,00 a 0,51°C; T1 a T3, foi de -0,04 a -0,92°C e T2 a T3 foi de -0,11 a -1,30°C. Os valores negativos indicam que a temperatura T3 é menor que as temperaturas T1 e T2. A variação máxima ocorrida foi de 1,30°C, ocorrendo a pressão de vapor de 2,80 kg/cm² e temperatura média da mistura (água+vapor) T1 de 74°C e T3 de 72,95°C. A diferença entre T1 e T2 é devido ao intervalo de mistura da água com o vapor. A diferença de T2 com T3 é justificada pela perda de calor da mistura (água+vapor) para o ambiente, isto porque a tubulação não apresenta isolante térmico. Essa situação em um processo de pasteurização de leite influirá na eficiência da mesma devido a necessidade da temperatura de mistura (leite+vapor) permanecer uniforme por um determinado tempo. Analisando a variação da temperatura entre as posições 20 (T1) e 92 cm (T2) após o Ejetor, obteve-se um acréscimo médio da temperatura da mistura de 0,16°C. Comparando as temperaturas nas posições anteriores com a lida a 810 cm do Ejetor, verifica-se que a média de redução da temperatura entre as posições 20 (T1) e 810 (T3) cm foi de 0,52°C e entre as posições 92 (T2) e 810 (T3) foi de 0,68°C. Com esses resultados, o ponto de leitura considerado para a pasteurização não

pode ser o que apresente maior temperatura isso devido ao produto não manter essa temperatura no circuito de residência, condição essencial para uma correta pasteurização. Portanto, escolheu-se como temperatura padrão a menor do circuito, ou seja, a lida a 810 cm do Ejetor (T3). No entanto, a leitura da temperatura próxima do Ejetor T1 permite facilitar os controles da operação, considerando que esta deve ser superior à lida a 810 cm do Ejetor para que as condições de pasteurização sejam satisfeitas.

Quadro 5 - Relação entre Temperaturas Médias nas Posições T1 (20cm), T2 (92cm) e T3 (810cm).

Condições: Válvula de controle 2, bico do Ejetor posição 19, coluna de alimentação de água 26 ± 2 cm.

(-) Significa que os valores de T3 são menores que T1 e T2.

Parâmetros Escalas	Pressão kg/cm ²	Temperatura °C							Abertura da Válvula de Controle 2
		T1	T2	T3	T2 - T1	T3 - T1	T3 - T2	Ta	
1	2,80	64,91	65,16	64,00	0,25	-0,91	-1,16	18	4,7
2	2,80	70,65	70,65	69,73	0,00	-0,92	-0,92	19	4,5
3	2,80	72,00	72,00	71,29	0,00	-0,71	-0,71	20	4,5
4	2,80	67,12	67,37	66,95	0,25	-0,17	-0,42	20	4,7
5	2,80	74,00	74,25	72,95	0,25	-1,05	-1,30	25	4,6
6	2,80	71,36	71,36	70,72	0,00	-0,64	-0,64	25	4,7
7	2,80	69,53	70,04	69,23	0,51	-0,30	-0,81	25	4,8
8	2,80	73,16	73,18	72,86	0,02	-0,30	-0,32	26	4,6
9	2,80	69,14	69,21	69,10	0,07	-0,04	-0,11	26	4,8
10	3,85	69,56	69,95	69,08	0,39	-0,48	-0,87	25	4,9
11	3,85	71,94	72,05	71,67	0,11	-0,27	-0,38	26	4,8
12	3,85	72,20	72,28	71,75	0,08	-0,45	-0,53	26	4,8
Média					0,16	-0,52	-0,68		

d) A temperatura da água de alimentação tem grande influência no consumo de vapor. Os resultados obtidos, relativos à influência da temperatura da água de alimentação, mantendo constante para cada ensaio, bico do Ejetor na posição 19, pressão de vapor de $2,80 \text{ kg}^*/\text{cm}^2$, coluna de alimentação positiva de $26 \pm 2 \text{ cm}$ e a válvula de controle 2 nas aberturas 4,5 e 4,7 (Figura 23) indicam que:

A média da temperatura da mistura (água+vapor) T3 nos ensaios com abertura 4,7 quando mantida a alimentação de água a 18°C , foi de $64,3^\circ\text{C}$ e para 25°C foi de $70,9^\circ\text{C}$, tendo portanto uma variação de $6,6^\circ\text{C}$. Relacionando-se as duas variações, determinou-se uma alteração de $0,94^\circ\text{C}$ da mistura (água+vapor) por $^\circ\text{C}$ de variação da temperatura da água de alimentação. Tal relação é mantida semelhante quando analisa-se as médias de T1 e T2.

A média da temperatura da mistura (água+vapor) T3 nos ensaios com abertura 4,5 quando mantida a alimentação de água a 19°C , foi de $69,7^\circ\text{C}$ e para 20°C , foi de $71,2^\circ\text{C}$, tendo portanto uma variação de $1,5^\circ\text{C}$. Relacionando-se as duas variações, determinou-se uma alteração de $1,5^\circ\text{C}$ da mistura (água+vapor) por $^\circ\text{C}$ de variação da temperatura da água de alimentação. Tal relação é mantida semelhante quando se analisa as médias de T1 e T2.

É interessante notar que, com a variação da abertura da válvula de controle 2 é possível obter semelhantes temperaturas da mistura (água+vapor) para diferentes temperaturas de alimentação, como indica a situação onde a alimentação de água a 20°C e abertura 4,5 atinge temperatura da mistura (água+vapor) de $70,9^\circ\text{C}$. Esse valor também é obtido quando a alimentação de água a 25°C sofreu alteração de 0,2 unidades na abertura da válvula, ou seja, 4,7.

Em um processo de pasteurização do leite, onde a temperatura do leite cru é variável, poderá haver sensível influência na temperatura da mistura (leite+vapor).

Contudo, através da alteração da abertura da válvula de controle de alimentação, a situação poderá ser controlada e atingir a temperatura desejada de pasteurização.

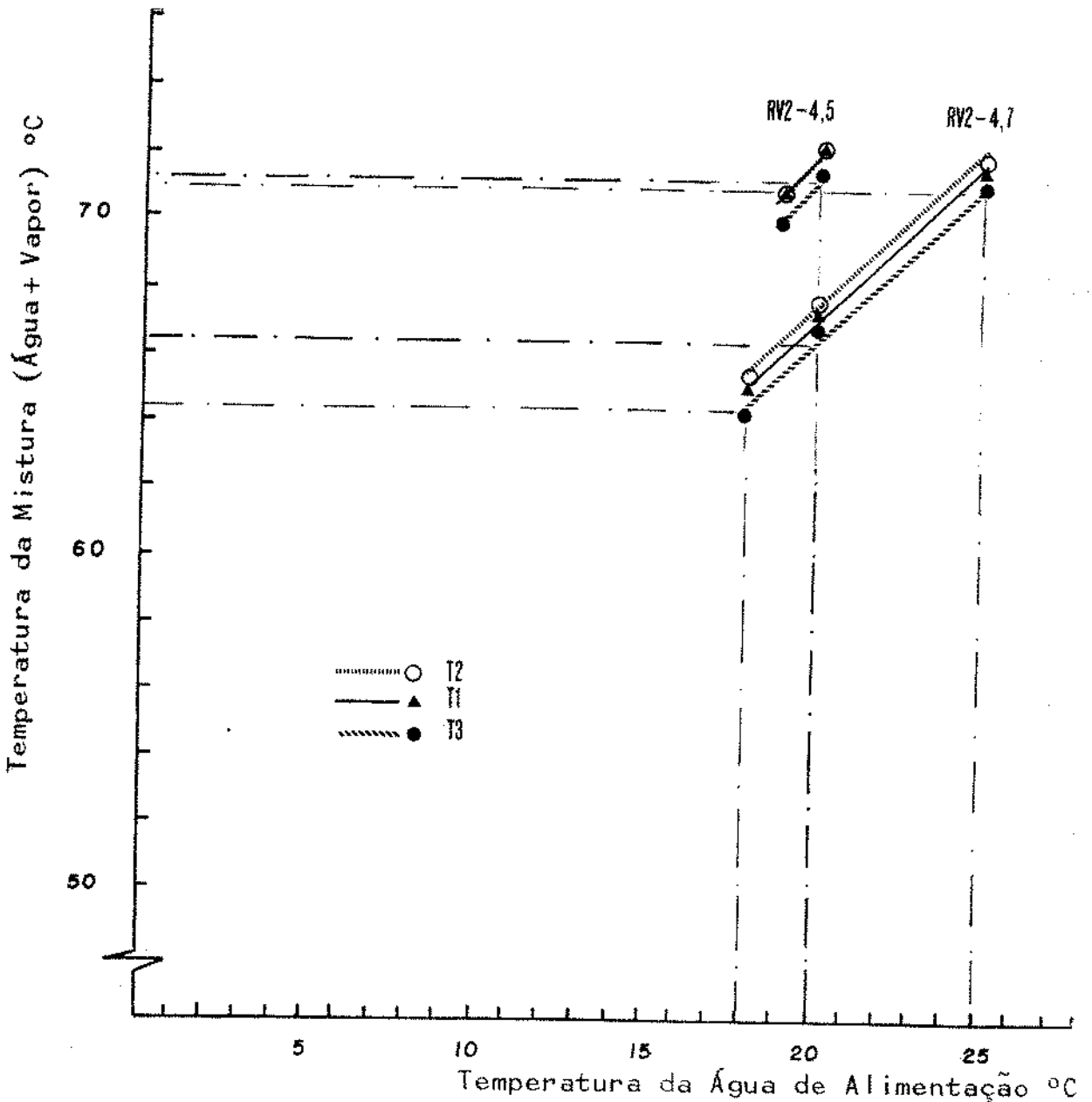


Figura 23 - Temperatura da Mistura (água+vapor) em Função da Temperatura de Alimentação da Água.
 Condições: Válvula de controle 2, temperatura de alimentação 26°C, Ejetor-posição 19, pressão de vapor, 2,80 kg/cm², coluna de líquido (+) 26cm do Ejetor.

- RV2 - Regulagem da válvula de controle 2
- T1 - Temperatura lida a 20 cm do Ejetor
- T2 - Temperatura lida a 92 cm do Ejetor
- T3 - Temperatura lida a 810 cm do Ejetor

4.1.4.3. INSTALAÇÃO DEFINIDA

Nesses experimentos utilizou-se a 3ª instalação (Figura 15), analisou-se: a) Variação da temperatura de mistura (água + vapor) entre T1 e T4; b) Influência da posição do bico do Ejetor na vazão da água de alimentação e na temperatura da mistura (água + vapor); c) Variação da vazão de alimentação com variação da pressão de vapor para uma mesma temperatura da mistura (água + vapor); d) Acréscimo de condensado do vapor na vazão de alimentação.

a) A variação da temperatura da mistura (água + vapor) entre as posições 20cm (T1) e 1200cm (T4) mantendo constante a pressão de vapor a $2,10 \text{ kg}^*/\text{cm}^2$, alimentação de água com coluna positiva constante a 20 cm e temperatura de 26°C , válvula de controle 2 na abertura 5,5 e bico do Ejetor constante, utilizou-se posições do bico do Ejetor de 1 a 19 para obter maiores vazões, é até $2,0^\circ\text{C}$ (Quadro 6) para a posição do bico do Ejetor em 1 a temperatura T1 esteve entre os valores $79,0$ e $76,0^\circ\text{C}$ e T4 entre $57,0$ e $58,0^\circ\text{C}$ não ocorrendo variação entre T1 e T4. É interessante notar que à temperaturas inferiores a $71,5^\circ\text{C}$ não observou-se variação entre T1 e T4, entretanto como a pasteurização é realizada ao nível de 72°C , no caso houve uma redução de $0,5$ a 1°C .

Os resultados indicam que as maiores temperaturas obtidas foram com as menores vazões de alimentação (V_a), como indica o ensaio nº 3 onde o bico do Ejetor na posição 1 e com uma vazão de 666 l/h resultou em uma temperatura de mistura (água + vapor) (T4) de $78,0^\circ\text{C}$, por outro lado menores temperaturas foram obtidas com as maiores vazões de alimentação como indica o ensaio nº 38 onde o bico do Ejetor na posição 19 e com uma vazão (V_a) de 1160 l/h , resultou uma temperatura de mistura (água + vapor) (T4) de $57,0^\circ\text{C}$. A redução da temperatura da mistura (água + vapor) é justificada pelo aumento da vazão de alimentação.

Quadro 6 - Influência da Posição do Bico do Ejetor na Vazão e Temperatura da Mistura (água+vapor)

Condições: Válvula de controle 2, abertura 5,5, temperatura da água de alimentação 25°C, pressão de vapor de 2,10 kg*/cm², coluna de alimentação de 20 cm (+).

Parâmetros Ensaio	Posição do Bico do Ejetor	Mistura (água + vapor)			Vazão V _m l/h	Vazão Va l/h
		Temperatura °C				
		T1	T4	T4-T1		
1	1	76,0	74,0	-2,0	776	688
2	1	76,0	74,0	-2,0	878	780
3	1	79,0	78,0	-1,0	776	666
4	1	78,0	77,0	-1,0	853	677
5	3	70,0	70,0	0,0	934	862
6	3	70,5	70,5	0,0	911	832
7	3	71,5	71,5	0,0	911	784
8	3	70,5	70,5	0,0	946	824
9	5	67,0	67,0	0,0	984	849
10	5	66,0	66,0	0,0	1039	938
11	5	67,0	67,0	0,0	971	843
12	5	67,0	67,0	0,0	958	873
13	7	69,0	69,0	0,0	922	832
14	7	69,0	69,0	0,0	900	832
15	7	69,0	69,0	0,0	920	840
16	7	70,0	70,0	0,0	946	819
17	9	71,5	71,5	0,0	934	811
18	9	72,5	72,0	-0,5	911	748
19	9	72,0	72,0	0,0	900	794
20	9	73,0	72,5	-1,0	878	702
21	11	64,0	64,0	0,0	1054	939
22	11	69,0	69,0	0,0	971	823
23	11	67,0	67,0	0,0	1010	882
24	11	64,0	64,0	0,0	1039	965
25	13	63,0	63,0	0,0	1135	1030
26	13	63,0	63,0	0,0	1171	1068
27	13	63,5	63,5	0,0	1135	1029
28	13	63,0	63,0	0,0	1130	985
29	15	66,0	66,0	0,0	1004	889
30	15	68,0	68,0	0,0	971	840
31	15	67,0	67,0	0,0	997	897
32	15	67,0	67,0	0,0	999	892
33	17	60,0	60,0	0,0	1171	1127
34	17	60,0	60,0	0,0	1209	1082
35	17	60,0	60,0	0,0	1209	1042
36	17	60,0	60,0	0,0	1190	1054
37	19	58,0	58,0	0,0	1276	1150
38	19	57,0	57,0	0,0	1293	1160
39	19	57,0	57,0	0,0	1253	1120
40	19	58,0	58,0	0,0	1254	1130

b) A posição do bico do Ejetor influi na vazão de alimentação como mostra a Figura 24 indicando que entre a posição 1 e 5 há um aumento da vazão de alimentação ocorrendo a seguir, entre as posições 5 e 9 um redução. Situações semelhantes ocorreram entre as posições 9 e 13; 15 e 19, com aumento da vazão e redução entre as posições 13 e 15. Entretanto, as temperaturas médias da mistura (água+vapor) reduziram em função apenas do aumento da vazão. As variações da vazão de alimentação em função das posições do bico do Ejetor, é justificada através da maior ou menor perda de carga do vapor no aparelho.

Na posição 1 (Figura 9), o extremo do bico do Ejetor, está na posição mais recuada, em relação à tubulação. O corpo do Ejetor para atingir a conexão com a tubulação apresenta uma redução em formato cônico, e como o vapor é direcionado pelo bico e tende a se expandir também segundo uma região cônica, oposta ao do corpo do Ejetor, parte do mesmo atinge diretamente a sua parede, reduzindo sua energia cinética e reduzindo, portanto, o efeito total de sucção. Isso justifica também as variações da vazão obtidas nas posições 7, 9, 11 e 15 e é consequência do desalinhamento do centro do bico do Ejetor com o corpo do Ejetor, condições que permitem maior perda de carga do vapor. Situação semelhante foi identificada no Ejetor desmontado (Figura 9). Por outro lado, isto permite um contato mais eficiente do vapor com a água de alimentação sucionada na câmara de mistura do Ejetor.

Na posição 19 (Figura 9), o extremo do bico do Ejetor aproxima-se da conexão com a tubulação e o referido direcionamento do vapor é segundo uma conformação cônica fechada se aproximando do formato cilíndrico não ocorrendo portanto grande alteração da energia cinética do vapor devido o que traz como consequência maior sucção de água.

Por outro lado, dada à proximidade da tubulação, o contato da água de alimentação com o vapor e sua conseqüente condensação é dificultada exigindo um trecho tubular maior para atingir o mesmo efeito anterior.

Com relação ao início e continuidade do processo, entre as posições I e II obteve-se melhores resultados quando comparadas com as posições entre 13 e 19. Essas últimas exigiam uma vazão de água de alimentação inicial maior que as anteriores, tendo ocorrido em alguns ensaios interrupção do processo, principalmente com as posições 17 e 19.

Em um processo de pasteurização do leite usando regulagens de I a 19, permitirá atingir elevadas vazões. Entretanto, o uso de abertura do Ejetor na posição 19, devido ao grande aumento da vazão e conseqüente redução na temperatura comprometeria a eficiência de pasteurização.

Considerando as instabilidades observadas nas posições extremas do bico do Ejetor, escolheu-se a posição intermediária, ou seja, posição 9 como a mais estável. Considerando ainda que a temperatura da mistura (água + vapor) depende das massas de vapor e da água, para uma mesma pressão de vapor, a alteração da posição do bico do Ejetor permitirá maiores vazões. Entretanto, para manter estável a temperatura da mistura, a válvula de controle de vazão terá que ser alterada para se obter o equilíbrio desejado. Essa alteração trará como conseqüência uma redução da vazão de alimentação, neutralizando portanto o aumento de vazão obtido com a posição do bico do Ejetor.

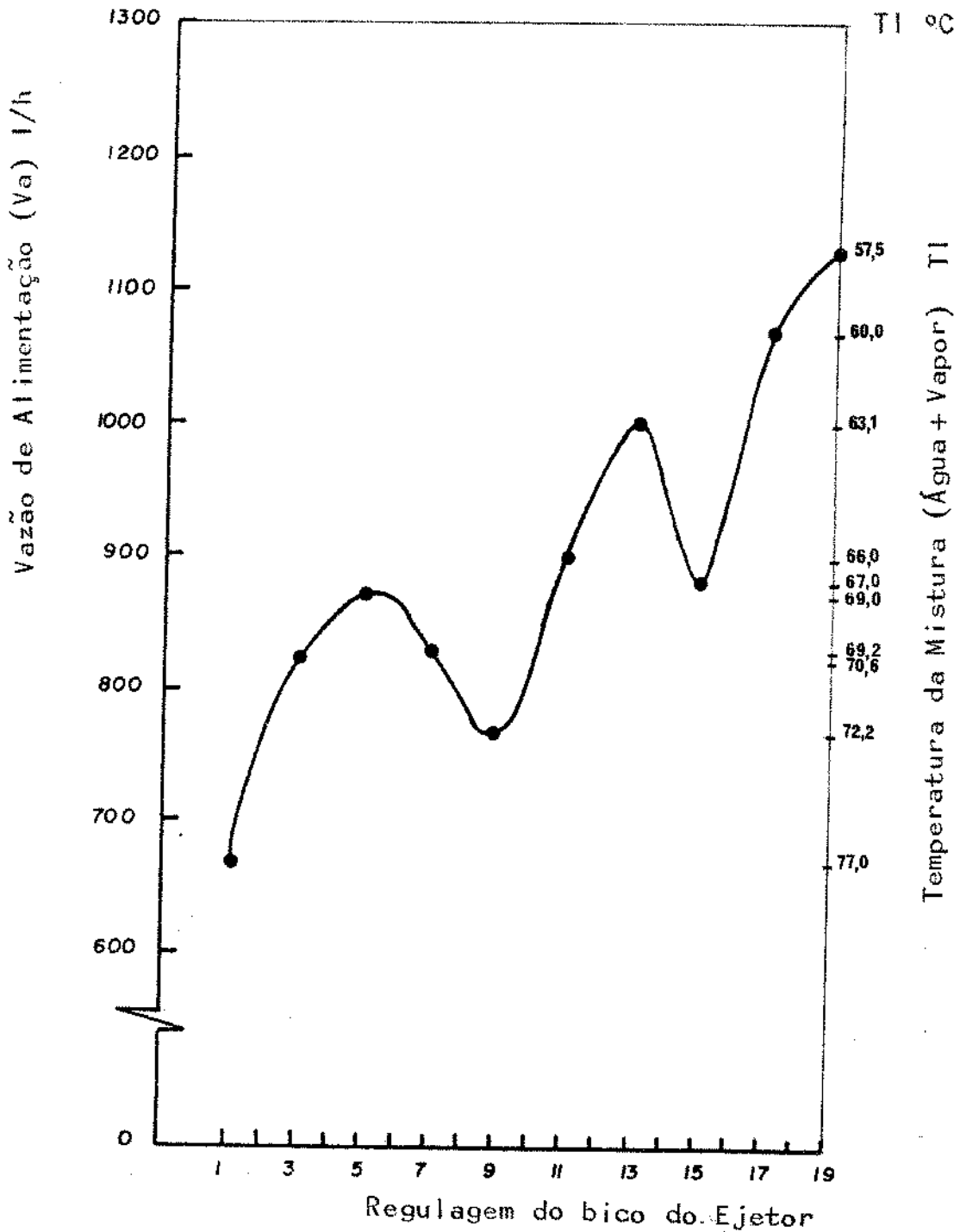


Figura 24 - Vazão de Alimentação de Água em Função da Regulagem do Bico do Ejetor.

Condições: Válvula de Controle 2 abertura 5,5; temperatura de alimentação 25°C, coluna de líquido (+) 20 cm do Ejetor, Pressão de vapor 2,10 kg/cm²

c) A pressão de vapor tem sensível influência na vazão de alimentação como indicam os resultados usando água à temperatura de 25°C, controle da válvula I em aberturas que permitam temperaturas de 72°C (T4 - a 1200 cm do Ejetor) e coluna de alimentação positiva constante de 20 cm (Quadro 7). Neste quadro pode-se observar que as menores vazões de alimentação (Va) e vazão da mistura (água+vapor) (Vm) para as pressões de vapor de 2,10 kg^{*}/cm², foram 740 a 747 l/h e 868 e 878 l/h respectivamente. As maiores vazões de alimentação obtidas no experimento foram entre 1687 a 1700 l/h, quando a pressão de vapor foi de 4,90 kg^{*}/cm². Os valores médios da vazão para cada quatro determinações a uma mesma pressão de vapor (Figura 25), indicam que há um acréscimo na vazão de alimentação com o aumento da pressão de vapor utilizada da ordem de 317 l/h por kg^{*}/cm² de pressão de vapor. Os resultados mostram ainda que o aumento da pressão provoca o aumento da diferença da temperatura da mistura (água+vapor) (T4-T1). Para as pressões menores (2,10 kg^{*}/cm²) essa variação foi de -0,5°C e para as maiores foi de -2 a -2,5°C. Portanto em processo de pasteurização do leite, utilizando as condições estabelecidas poder-se-ia obter vazões de alimentação próximas a 1700 l/h, mantendo a temperatura a 72°C em T4.

d) O acréscimo de condensado demonstrou ser função da pressão do vapor, como previstos pelos cálculos descritos no Quadro 1. Os resultados (Quadro 7) indicam que o maior acréscimo de condensado (18,0%) foi com pressão de vapor de 2,10 kg^{*}/cm² e o menor (9,0%) com pressão de vapor de 4,90 kg^{*}/cm². O condensado formado foi determinado pela diferença entre as vazões da mistura (água+vapor) e alimentação.

Comparando-se resultados teóricos (Quadro 1) com os experimentais (Quadro 7), verifica-se que houve

grande diferença entre os resultados obtidos. Para uma pressão de vapor de $2,10 \text{ kg}^*/\text{cm}^2$ e temperatura da água de 25°C o acréscimo de condensado é próximo de $8,39\%$, de acordo com as determinações teóricas (Quadro 1) e entre $16,7$ a $18,0\%$ para as determinações experimentais (Quadro 7).

As disparidades determinadas são devidas a diversos fatores: um deles é referente ao tratamento realizado com pressão de vapor de $2,10 \text{ kg}^*/\text{cm}^2$, no qual as vazões de mistura (água+vapor) e alimentação são relativamente pequenas o que induz a dados com maior probabilidades de falhas. Estas, podem ocorrer nos outros ensaios também, mas devido ao aumento das vazões, elas tornam-se menores. Outro fator é devido à redução da eficiência do vapor resultante da presença de gases incondensáveis, consequência do tratamento da água de alimentação da caldeira geradora de vapor, entrada de ar pelas conexões e trocas de calor com o ambiente, como é discutido por diversos autores nos sistemas de injeção de vapor, em processo de esterilização (17)(18)(48)(53)(71).

Quadro 7 - Relação entre Vazões e Temperaturas em Função da Pressão de Vapor (Instalação 3)
 Condições. Válvula de controle I; em abertura que permite T4 próxima de 72°C, temperatura da água de alimentação 25°C, Ejetor na Posição 19, coluna de alimentação constante de 20 cm(+)

Parâmetros Ensaio	Pressão kg/cm ²	Mistura (água + vapor)			Vazão Vm l/h	Vazão l/h		Condensado $\frac{Vm-Va}{Va} \times 100$ %
		Temperatura °C				Alimentação Va	Vm-Va	
		T1	T4	T4-T1				
1	2,10	72,5	72,0	-0,5	878	747	131	17,5
2	2,10	73,0	72,5	-0,5	868	742	126	16,9
3	2,10	72,5	72,0	-0,5	874	740	135	18,0
4	2,10	72,5	72,0	-0,5	870	745	125	16,7
5	2,80	73,0	72,0	-1,0	1153	1040	113	10,8
6	2,80	72,5	72,0	-0,5	1155	1042	113	10,8
7	2,80	72,5	72,0	-0,5	1160	1040	120	11,5
8	2,80	72,5	72,0	-0,5	1155	1040	115	11,0
9	3,50	72,5	71,5	-1,0	1419	1237	182	14,7
10	3,50	73,5	72,5	-1,0	1317	1175	142	12,0
11	3,50	74,0	72,5	-1,5	1392	1213	179	14,7
12	3,50	74,0	72,5	-1,5	1392	1234	158	12,8
13	4,20	73,0	72,5	-0,5	1640	1445	195	13,4
14	4,20	72,5	72,0	-0,5	1640	1447	193	13,3
15	4,20	73,5	72,5	-1,0	1604	1434	170	11,8
16	4,20	73,0	72,0	-1,0	1610	1440	170	11,8
17	4,90	74,5	72,5	-2,0	1845	1687	158	9,3
18	4,90	75,0	72,5	-2,5	1853	1700	153	9,0
19	4,90	74,0	72,0	-2,0	1850	1670	180	10,7
20	4,90	74,5	72,5	-2,5	1850	1690	160	9,4

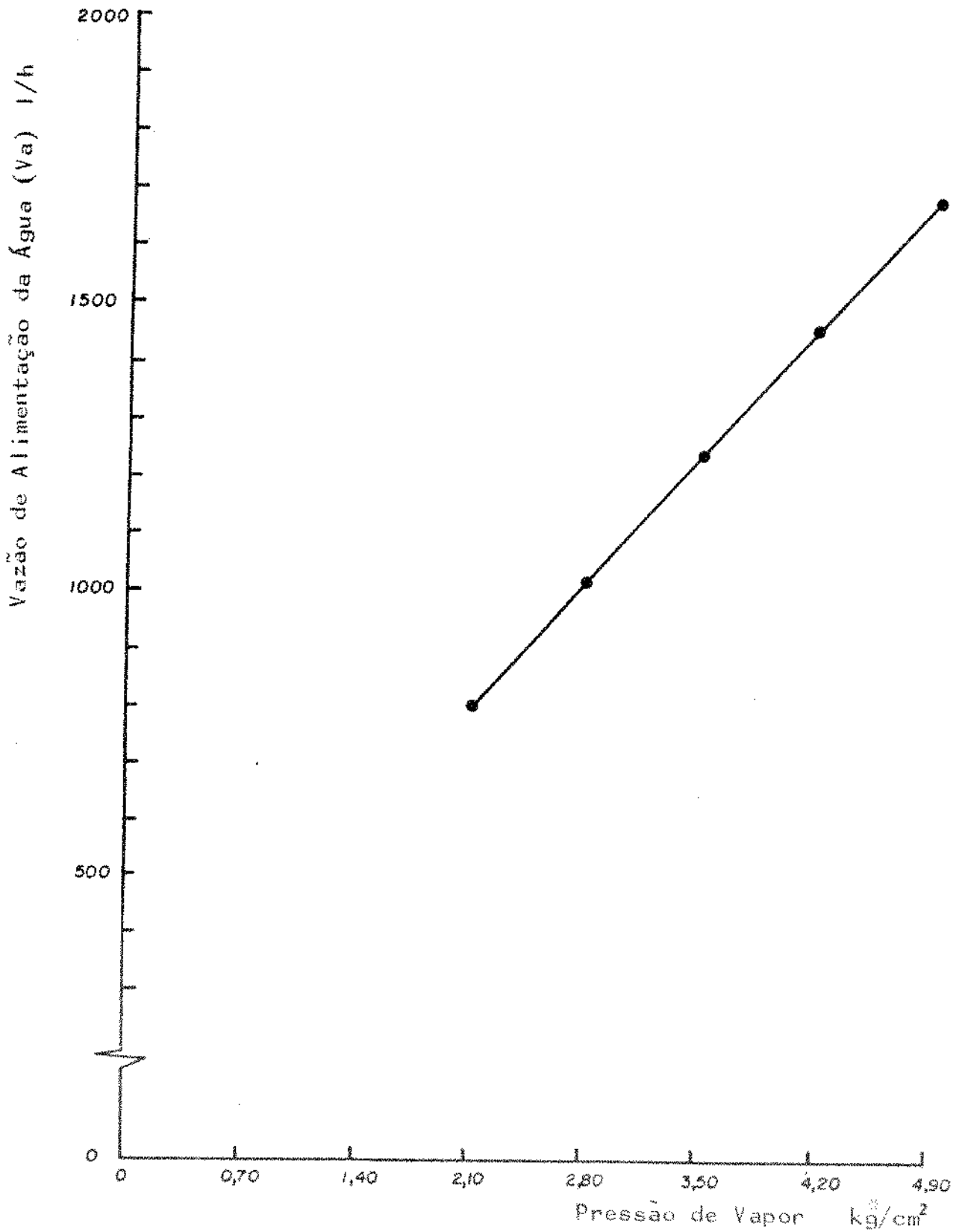


Figura 25 - Relação Entre a Pressão do Vapor no Ejetor e a Vazão de Alimentação de Água - 3ª Instalação

Condições: Válvula de controle 1, temperatura de alimentação 25°C, Ejetor-posição 19, coluna de líquido (+)20 cm do Ejetor, temperatura de saída da mistura (água+vapor) a 72°C.

4.1.5. TEMPO DE RESIDÊNCIA

O tempo de residência da mistura (água+vapor) utilizando o sistema de tanque de residência, segundo o descrito na literatura e empregado atualmente na indústria de laticínios (60)(63)(81) (Figura 6, 12 e 14) indicam que para processos de pasteurização lenta é possível a obtenção de valores constantes do tempo de residência e temperatura do leite. Entretanto, para isso é necessário a intervenção do operador no controle da vazão do tempo de residência.

Os resultados obtidos no processo usando circuito de residência tubular com 11 m de comprimento e condições de válvula de controle de alimentação 1, temperatura da água de alimentação a 25°C, Ejetor na posição 19, coluna de alimentação positiva constante de 20 cm e temperatura da mistura (água+vapor) (T4) próximo de 72°C (Quadro 8), indicam que com a variação da pressão de vapor de 2,10 a 4,90 kg³/cm², obteve-se tempo de residência de 18 a 9 segundos para as vazões de alimentação (Va) de 740 a 1700 l/h e vazão da mistura (água+vapor) (Vm) de 868 a 1853 l/h respectivamente. O comprimento do circuito de residência corrigido teoricamente (Formula 3) para se atingir 15 segundos indicou que o comprimento do circuito necessário seria de 9,6 a 18,3 m.

O circuito de residência 11 m indicou boa precisão no tempo de residência, considerando as repetições realizadas e demonstrou que para tempo de residência de 15 segundos e temperatura de 72°C, condições necessárias para a pasteurização (47), obteve-se vazão de alimentação de 1040 a 1042 l/h e vazão de mistura (água+vapor) de 1153 a 1160 l/h. Entretanto, para vazões de alimentação superior a 1175 l/h com vazão de mistura (água+vapor) superior a 1317 l/h o tempo de residência foi menor que 15 segundos, portanto as condições de pasteurização não serão satisfeitas (47). Para ser atendida essa exigên-

cia o circuito de residência deverá ser aumentado para atingir no mínimo valores do comprimento do circuito de residência corrigido. Para a instalação estudada essa modificação poderá ser determinada utilizando a relação vazão da mistura (água+vapor) com o comprimento do circuito de residência (Figura 26). Usando o comprimento do circuito de residência corrigido observa-se que para uma vazão de mistura (água+vapor) (V_m) de 840 l/h é necessário um comprimento de 10 m e para 1620 l/h é necessário 18 m, ou seja, para um aumento de 97,5 l/h é necessário um acréscimo de 1 m no comprimento do circuito. Comparando os comprimentos dos circuitos de residência calculado e o experimental corrigido para uma mesma vazão observa-se uma grande variação. Essas variações são conseqüências das alterações entre o volume do circuito de residência e o volume da mistura (água + vapor) resfriada a qual quando no circuito contem gases incondensáveis, provenientes do vapor utilizado e que no processo de resfriamento deixam a mistura (água+vapor).

Quadro 8 - Relação entre Vazão e Tempo de Residência da Mistura (água+vapor).

Condições: Válvula de controle 1, temperatura da água de alimentação 25°C, Ejetor na posição 19, coluna de alimentação de 20cm(+).

- Va - Vazão de alimentação
 Vm - Vazão de mistura (água+vapor)
 tr - Tempo de residência no circuito de 11 m
 cr_c - Comprimento equivalente para se atingir 15 segundos de residência.

Parâmetros Ensaio	Pressão kg/cm ²	Va l/h	Vm l/h	tr seg.	cr _c m
1	2,10	747	878	18	9,6
2	2,10	742	868	18	9,6
3	2,10	740	874	18	9,6
4	2,10	745	870	18	9,6
5	2,80	1040	1153	15	11,0
6	2,80	1042	1155	15	11,0
7	2,80	1040	1160	15	11,0
8	2,80	1040	1155	15	11,0
9	3,50	1237	1419	12	13,7
10	3,50	1175	1317	12	13,7
11	3,50	1213	1392	12	13,7
12	3,50	1234	1392	12	13,7
13	4,20	1445	1640	10	16,5
14	4,20	1447	1640	10	16,5
15	4,20	1436	1604	10	16,5
16	4,20	1440	1610	10	16,5
17	4,90	1687	1845	9	18,3
18	4,90	1700	1853	9	18,3
19	4,90	1690	1850	9	18,3
20	4,90	1690	1850	9	18,3

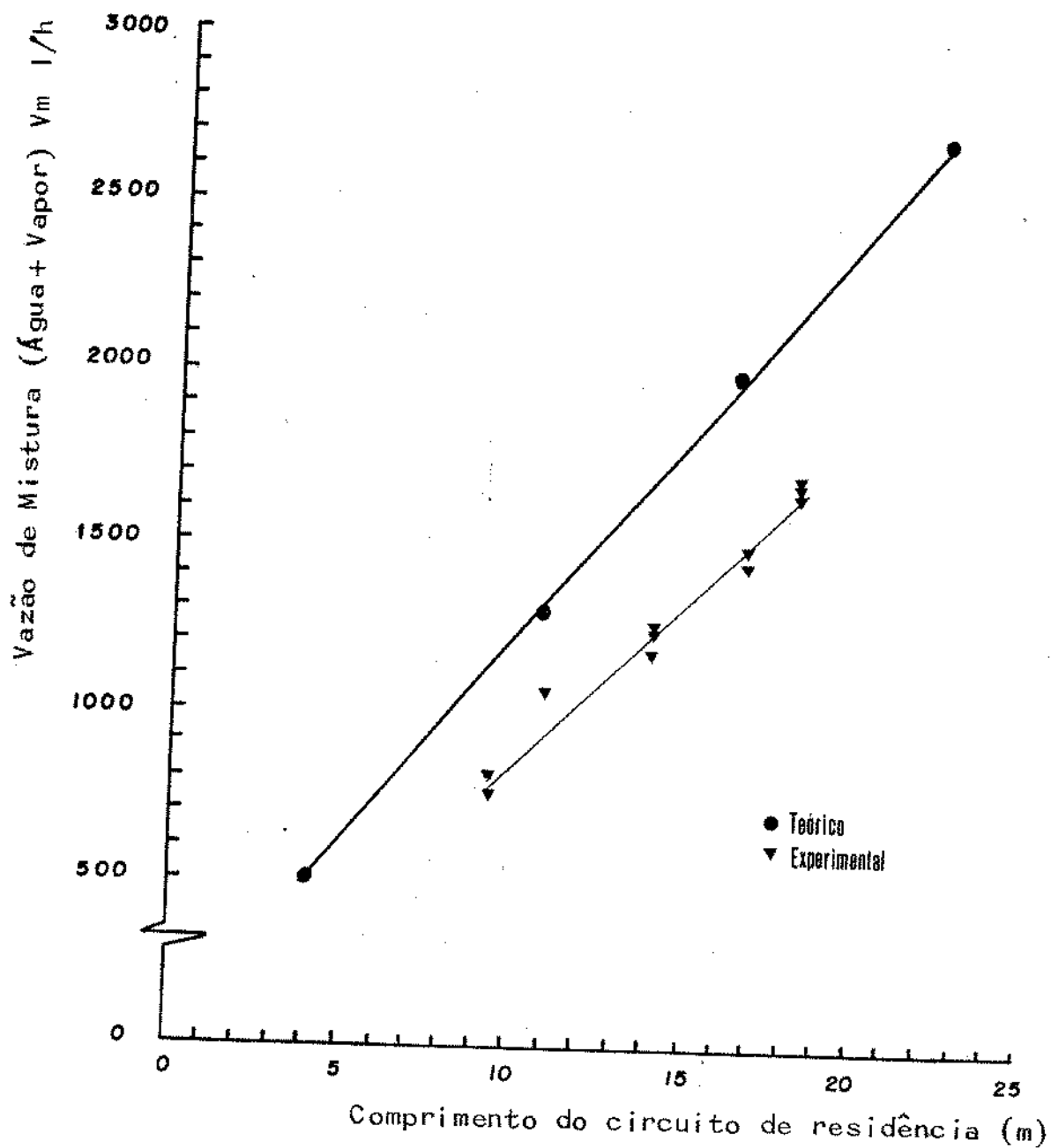


Figura 26 - Relação entre a Vazão da Mistura (água+vapor) e o Comprimento do Circuito de Residência de 15 Segundos.

Condições: Válvula de controle 1, temperatura da água de alimentação 25°C, Ejetor na posição 19, coluna de alimentação 20 cm (+).

4.1.6. CONDIÇÕES DE RESFRIAMENTO

O resfriamento da mistura (água+vapor) foi realizado para o intervalo de temperatura de 30 a 33°C, segundo usualmente utilizado para leite na indústria de queijos e recomendado por diversos autores (60)(62)(81).

Os resultados obtidos relacionaram as temperaturas da mistura (água+vapor) a 1200 cm do Ejetor (T4) e após o resfriamento (T5) com as temperaturas da água de resfriamento, no início (Ti) e no final do processo (Tf). Relacionou-se também a vazão de água de alimentação (Va), com a vazão da mistura (água+vapor) (Vm) e da vazão da água de resfriamento (Vr). Nas condições usando o bico do Ejetor na posição 19, coluna de alimentação positiva constante de 20 cm, água de alimentação e de resfriamento inicial à temperatura de 25°C, sendo controlado o fluxo de alimentação com a válvula I em abertura que permitam temperaturas entre 71,5 e 72,5°C da mistura (água+vapor) a 1200 cm do Ejetor e variando a pressão de vapor entre 2,10 a 4,90 kg/cm² para obter vazões de alimentação entre 740 e 1700 l/h, obteve-se temperaturas de resfriamento da mistura (água+vapor)(T5) no intervalo de 30 a 33°C e temperaturas da água de resfriamento final (Tf) no intervalo de 45 a 53°C. Desse resultados obteve-se uma vazão relativa (VR) relação entre vazão da água de resfriamento (Vr) vazão de alimentação da água (Va) ($VR = Vr/Va$) a qual indica quantas vezes foi o consumo da água de resfriamento em relação a de alimentação. Segundo os dados do Quadro 9 das relações obtidas, a menor 1,30 significa que a vazão da água de resfriamento é 1,3 vezes maior que a vazão de alimentação o que permite resfriar a mistura (água+vapor) de 72,5 a 32°C (ensaio número 10). Contudo, a maioria dos ensaios indicou a relação no intervalo de 1,65 a 1,82. Portanto, nas condições do experimento o consumo de água de resfriamento esteve entre 1,65 a 1,82 vezes a vazão de alimentação.

O controle da vazão de água de resfriamento é imprescindível para se obter melhor eficiência. O resfriador utilizado (com superfície externa de troca de calor equivalente a 2 m^2), foi capaz de resfriar as vazões máximas obtidas no processo, ou seja, 1863 l/h.

Quadro 9 - Relação entre a Mistura (água+vapor) e a Água de Resfriamento.

Condições: Válvula de controle 1, temperatura de alimentação 25°C , Ejetor posição 19, coluna de alimentação de 20 cm (+)

Parâmetros Ensaio	Pressão kg/cm^2	Mistura (água+vapor)			Água de Resfriamento			Vazão Alimentação V_a l/h	Vazão Relativa $V_R = \frac{V_r}{V_a}$
		Temperatura $^\circ\text{C}$		Vazão V_m l/h	Temperatura $^\circ\text{C}$		Vazão V_r l/h		
		T4	T5		Ti	Tf			
1	2,10	72,0	30	878	25	46	1892	747	2,53
2	2,10	72,5	32	868	25	46	1366	742	1,84
3	2,10	72,0	30	874	25	46	1893	740	2,55
4	2,10	72,0	30	870	25	46	1890	745	2,53
5	2,80	72,0	33	1153	25	49	1716	1040	1,65
6	2,80	72,0	32	1155	25	49	1730	1042	1,66
7	2,80	72,0	33	1160	25	49	1720	1040	1,65
8	2,80	72,0	33	1155	25	49	1720	1040	1,65
9	3,50	71,5	32	1419	25	50	1757	1237	1,42
10	3,50	72,5	32	1317	25	53	1537	1175	1,30
11	3,50	72,5	33	1392	25	51	2108	1213	1,73
12	3,50	72,5	32	1392	25	51	2050	1234	1,66
13	4,20	72,5	33	1640	25	52	1916	1445	1,32
14	4,20	72,0	33	1640	25	51	2108	1447	1,45
15	4,20	72,5	32	1604	25	49	2050	1434	1,42
16	4,20	72,0	32	1610	25	52	1920	1440	1,33
17	4,90	72,5	33	1845	25	46	3280	1687	1,94
18	4,90	72,5	33	1863	25	45	3075	1700	1,80
19	4,90	72,0	32	1850	25	46	3080	1690	1,82
20	4,90	72,5	32	1850	25	46	3080	1690	1,82

4.2. DILUIÇÃO DO LEITE COM ÁGUA

O processo de pasteurização de leite com Ejetor de vapor, por ser um sistema de aquecimento direto, incorpora ao leite o condensado do vapor causando com isso a sua diluição. Para a determinação dessa diluição não são definidos os melhores métodos analíticos. Nos processos de esterilização do leite por injeção de vapor direta, para determinar o nível de diluição usa-se analisar a % de sólidos totais, densidade e índice crioscópico (39)(52). Rotineiramente, nos laticínios, além das análises acima referidas determina-se o pH, acidez titulável e % de gordura. Atualmente na maioria dos laticínios a análise da % de gordura tem sido realizada com o aparelho MK-3 o qual permite maior rapidez, quando comparado com o método Gerber. Por esses fatos investigou-se a influência da diluição do leite (conhecida) na variação dos parâmetros pH, acidez titulável, % sólidos totais, densidade, índice crioscópico e % de gordura, esta analisada pelos dois métodos o Gerber e o MK3. Havendo relação entre a % de diluição com a variação dos parâmetros, procurou-se estabelecer curvas que pudessem indicar a % de diluição, conhecendo-se a variação dos parâmetros entre o leite cru e o leite pasteurizado (diluído) pelo processo Ejetor de vapor.

Realizou-se 10 ensaios com leite integral e suas diluições em níveis de 5, 10, 15 e 20% usando os métodos e processos descritos no item 3.5.. Os resultados analíticos (Quadro 10, 11, 12 e 13) indicaram que em todos parâmetros analisados, houve variação, consequência da diluição do leite. Sendo que os valores da acidez titulável, % de gordura, densidade e % sólidos totais reduziu com aumento da diluição. Por outro lado os valores do índice crioscópico aumentou com o aumento da diluição.

O pH, por sua vez, aumentou ou diminuiu independente da diluição, como pode ser visto na maioria dos ensaios (Quadro 10). Entretanto a média das variações indica que o pH aumenta com a diluição, contudo o aumento não é proporcional ao aumento da diluição.

A variação da acidez titulável (Quadro 10) foi a mais uniforme para os parâmetros analisados, podendo-se definir que para um aumento de diluição de 5% há uma correspondente redução na acidez titulável em 1°D. A curva relacionando a média da variação com a diluição, curva padrão (Figura 27) indica portanto boa correspondência entre a variação da acidez titulável com diluições com água.

Por outro lado, as variações dos outros parâmetros, % sólidos totais, % gordura, densidade e crioscopia, não foram uniformes (Quadro 11, 12 e 13). Por isso na construção da curva padrão (Figura 28, 29, 30 e 31) definiu-se também duas curvas, paralelas à padrão, que limitam a precisão da determinação. Essas curvas foram estabelecidas através das variações extremas em relação à curva padrão.

Considerando esses fatos de precisão, as variações em relação às diluições indicaram um limite em precisão de:

% gordura (Gerber) (Figura 28) $\pm 0,13\%$

% gordura (MK3) (Figura 28) $+ 0,09\%$ (acima) e $-0,13\%$ (abaixo)

densidade (Figura 29) $+ 1,4$ g/l (acima) e $-1,2$ g/l (abaixo)

Índice crioscópico (Figura 30) $\pm 0,025^{\circ}\text{C}$.

% sólidos totais (Figura 31) $+ 0,30\%$ (acima) e $-0,19\%$ (abaixo)

Segundo esses resultados as análises da variação da % de sólidos totais e % de gordura seriam métodos de melhor precisão.

Quadro 10 - Determinação de pH, Acidez Titulável do Leite Integral e Diluído

△ - Variação entre os valores do leite diluído e os valores do leite integral.

Análise	Ensaio	Leite								
		Integral	Diluído							
			5%	△	10%	△	15%	△	20%	△
pH	1	6,55	6,55	0,00	6,56	0,01	6,55	0,00	6,54	-0,01
	2	6,52	6,51	-0,01	6,57	0,05	6,56	0,04	6,58	0,06
	3	6,50	6,53	0,03	6,54	0,04	6,57	0,07	6,57	0,07
	4	6,76	6,77	0,01	6,74	0,00	6,76	0,00	6,79	0,03
	5	6,61	6,62	0,01	6,66	0,05	6,68	0,07	6,69	-0,08
	6	6,60	6,62	0,02	6,62	0,02	6,63	0,03	6,64	0,04
	7	6,65	6,66	0,01	6,65	0,00	6,65	0,00	6,63	-0,02
	8	6,60	6,59	-0,01	6,59	-0,01	6,59	-0,01	6,56	-0,04
	9	6,63	6,51	-0,12	6,67	0,04	6,63	0,00	6,50	-0,13
	10	6,58	6,61	0,03	6,64	0,06	6,66	0,08	6,66	0,08
	11	6,50	6,75	0,25	6,70	0,20	6,69	0,19	6,69	0,19
		Média	6,59	6,61	0,02	6,63	0,04	6,63	0,04	6,62
Acidez °D	1	18	17	-1	16	-2	15	-3	14	-4
	2	18	17	-1	16	-2	15	-3	14	-4
	3	18	17	-1	16	-2	15	-3	14	-4
	4	19	18	-1	17	-2	16	-3	15	-4
	5	19	18	-1	16	-3	15	-4	14	-5
	6	18	17	-1	16	-2	15	-3	14	-4
	7	18	17	-1	16	-2	15	-3	14	-4
	8	18	17	-1	16	-2	15	-3	14	-4
	9	18	17	-1	16	-2	15	-3	14	-4
	10	18	17	-1	16	-2	15	-3	14	-4
	11	18	17	-1	16	-2	15	-3	14	-4
		Média	18,1	17,1	-1	16,0	-2,0	15,0	-3,0	14,0

Quadro 11 - Determinação da % de Gordura do Leite Integral e Diluído Usando os Processos Gerber e MK3

△ - Variação entre os valores do leite diluído e os valores do leite integral.

Análise	Ensaio	Leite								
		Integral	Diluído							
			5%	△	10%	△	15%	△	20%	△
Gordura Gerber %	1	3,0	2,9	-0,1	2,8	-0,2	2,6	-0,4	2,5	-0,5
	2	3,8	3,6	-0,2	3,5	-0,3	3,4	-0,4	3,6	-0,2
	3	3,7	3,6	-0,1	3,5	-0,2	3,3	-0,4	3,1	-0,6
	4	3,1	2,9	-0,2	2,8	-0,3	2,6	-0,5	2,6	-0,5
	5	3,1	2,9	-0,2	2,8	-0,3	2,7	-0,4	2,6	-0,5
	6	3,8	3,5	-0,3	3,4	-0,4	3,3	-0,5	3,2	-0,6
	7	3,9	3,7	-0,2	3,6	-0,3	3,4	-0,5	3,3	-0,6
	8	3,6	3,4	-0,2	3,3	-0,3	3,1	-0,5	3,0	-0,6
	9	3,8	3,6	-0,2	3,5	-0,3	3,3	-0,5	3,2	-0,6
	10	3,7	3,5	-0,2	3,4	-0,3	3,2	-0,5	3,1	-0,6
	11	4,2	4,0	-0,2	3,8	-0,4	3,6	-0,6	3,4	-0,8
	Média	3,6	3,4	-0,2	3,3	-0,3	3,1	-0,5	3,0	-0,6
Gordura - MK3 %	1	3,03	2,89	-0,14	2,75	-0,28	2,63	-0,40	2,57	-0,46
	2	3,77	3,60	-0,17	3,44	-0,33	3,55	-0,22	3,53	-0,24
	3	3,83	3,65	-0,18	3,50	-0,33	3,60	-0,23	3,10	-0,73
	4	3,16	3,05	-0,11	2,90	-0,26	2,76	-0,40	2,65	-0,51
	5	3,23	3,10	-0,13	2,93	-0,30	2,82	-0,41	2,70	-0,53
	6	3,82	3,63	-0,19	3,50	-0,32	3,33	-0,49	3,23	-0,59
	7	3,96	3,74	-0,22	3,59	-0,37	3,45	-0,51	3,30	-0,66
	8	3,17	3,03	-0,14	2,87	-0,30	2,75	-0,42	2,61	-0,56
	9	3,88	3,70	-0,18	3,53	-0,35	3,39	-0,49	3,26	-0,62
	10	3,67	3,51	-0,16	3,32	-0,35	3,20	-0,47	3,05	-0,62
	11	4,06	3,88	-0,18	3,70	-0,36	3,54	-0,52	3,40	-0,66
	Média	3,59	3,43	-0,16	3,27	-0,32	3,18	-0,41	3,03	-0,56

Quadro 12 - Determinação das Densidades, do Índice Crioscópico do Leite Integral e Diluído

△ - Variação entre os valores do leite diluído e os valores do leite integral.

Análise	Ensaio	Leite								
		Integral	Diluído							
			5%	△	10%	△	15%	△	20%	△
Densidade g/l	1	1030,4	1028,8	-1,6	1027,7	-2,7	1026,1	-4,3	1024,6	-5,8
	2	1030,6	1028,6	-2,0	1026,9	-3,7	1025,4	-5,2	1024,4	-6,2
	3	1028,9	1027,4	-1,5	1026,3	-2,6	1025,3	-3,6	1024,4	-4,5
	4	1031,0	1029,0	-2,0	1028,0	-3,0	1027,2	-3,8	1026,2	-4,8
	5	1031,0	1030,0	-1,0	1028,0	-3,0	1027,0	-4,0	1025,0	-6,0
	6	1029,6	1028,6	-1,0	1027,5	-2,1	1026,4	-3,2	1025,4	-4,2
	7	1032,3	1030,2	-2,1	1029,2	-3,1	1028,2	-4,1	1026,0	-6,3
	8	1034,7	1033,6	-1,1	1032,5	-2,2	1031,4	-3,3	1029,2	-5,5
	9	1028,8	1027,7	-1,1	1026,6	-2,2	1025,6	-3,2	1024,6	-4,2
	10	1030,0	1029,4	-0,6	1028,4	-1,6	1027,3	-2,7	1025,3	-4,7
	11	1030,4	1028,7	-1,7	1028,2	-2,2	1026,1	-4,3	1025,1	-5,3
	Média	1030,7	1029,3	-1,4	1028,1	-2,6	1026,9	-3,8	1025,5	-5,2
Índice Crioscópico °C	1	-0,502	-0,472	0,030	-0,465	0,037	-0,430	0,072	-0,410	0,092
	2	-0,538	-0,515	0,023	-0,482	0,056	-0,460	0,078	-0,440	0,098
	3	-0,540	-0,498	0,042	-0,473	0,067	-0,455	0,085	-0,440	0,100
	4	-0,530	-0,490	0,040	-0,470	0,060	-0,455	0,075	-0,440	0,090
	5	-0,515	-0,495	0,020	-0,460	0,055	-0,440	0,075	-0,420	0,095
	6	-0,535	-0,490	0,045	-0,478	0,057	-0,460	0,075	-0,437	0,097
	7	-0,540	-0,500	0,040	-0,478	0,062	-0,450	0,090	-0,435	0,105
	8	-0,535	-0,490	0,045	-0,460	0,075	-0,455	0,080	-0,430	0,105
	9	-0,530	-0,480	0,050	-0,460	0,070	-0,450	0,080	-0,430	0,100
	10	-0,505	-0,485	0,020	-0,460	0,045	-0,450	0,055	-0,420	0,085
	11	-0,530	-0,495	0,035	-0,460	0,070	-0,450	0,080	-0,437	0,093
	Média	-0,527	-0,491	0,491	-0,035	0,467	-0,060	0,450	-0,431	0,096

Quadro 13 - Determinação dos Sólidos Totais do Leite Integral e Diluído

△ - Variação entre os valores do leite diluído e os valores do leite integral.

Análise	Ensaio	Leite									
		Integral	Diluído					Integral	20%	Integral	20%
			5%	△	10%	△	15%				
Sólidos Totais %	1	11,80	11,29	-0,51	10,72	-1,08	10,05	-1,75	9,83	-1,97	
	2	12,36	11,78	-0,58	11,20	-1,16	10,95	-1,42	10,40	-1,96	
	3	12,21	11,57	-0,64	11,04	-1,17	10,61	-1,60	10,10	-2,11	
	4	11,52	11,19	-0,33	10,48	-1,04	9,99	-1,53	9,54	-1,98	
	5	11,77	11,28	-0,49	10,62	-1,15	10,30	-1,47	9,92	-1,85	
	6	12,24	11,73	-0,51	11,28	-0,96	10,74	-1,50	10,36	-1,88	
	7	12,74	12,16	-0,58	11,43	-1,31	11,19	-1,55	10,63	-2,11	
	8	11,82	11,39	-0,43	10,79	-1,03	10,48	-1,34	9,85	-1,97	
	9	12,40	11,84	-0,56	11,37	-1,03	10,83	-1,57	10,45	-1,95	
	10	12,28	11,58	-0,70	11,00	-1,28	10,63	-1,65	10,22	-2,06	
	11	12,20	11,74	-0,46	11,06	-1,14	10,71	-1,49	10,18	-2,02	
Média	12,12	11,60	-0,52	11,00	-1,12	10,59	-1,53	10,13	-1,99		

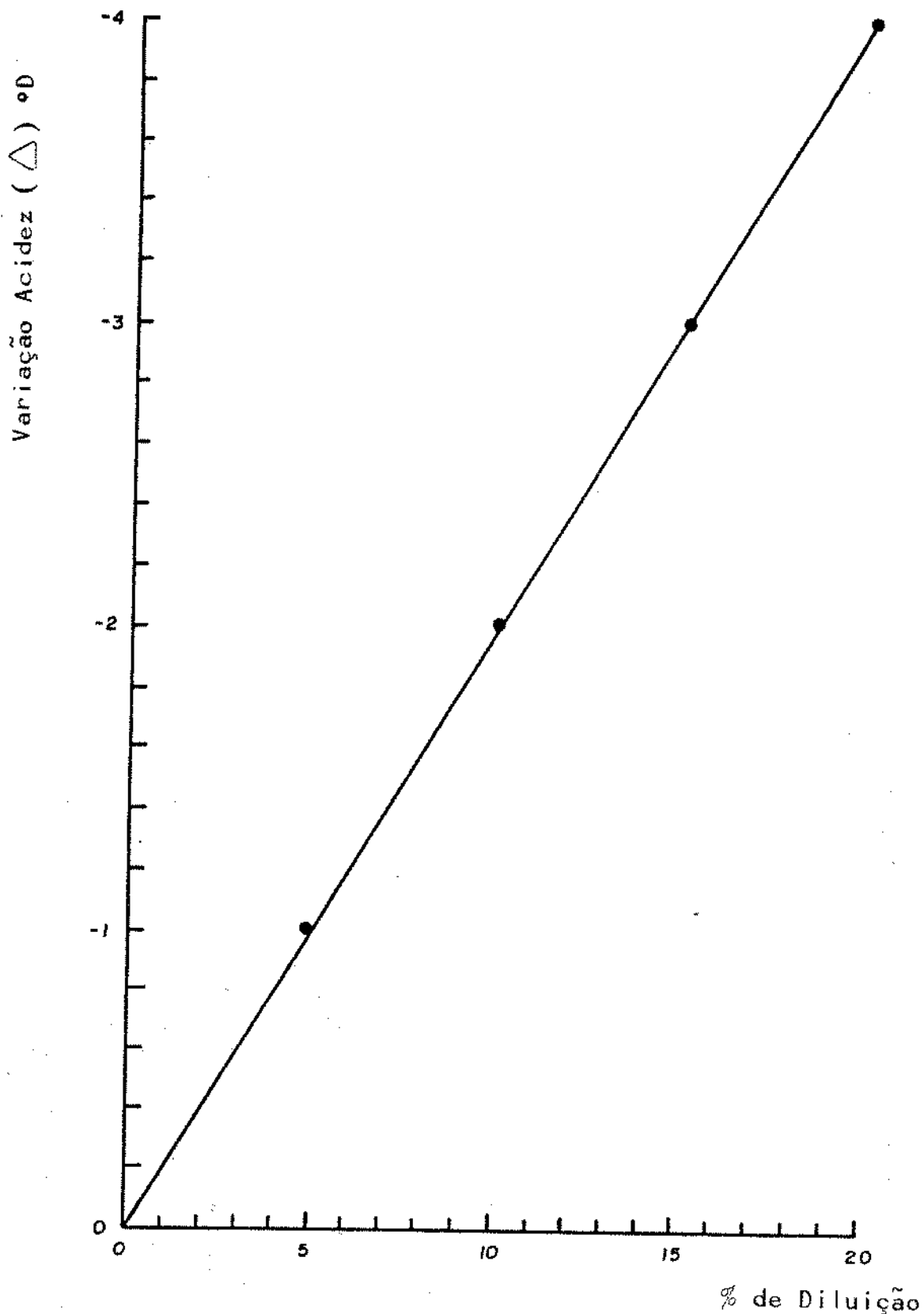


Figura 27 - Média da Variação da Acidez do Leite em Função das Diluições.

Condições: Leite cru à temperatura de 25°C, como referência e diluição com água destilada.

Δ Variação entre os valores do leite diluído e os valores do leite integral.

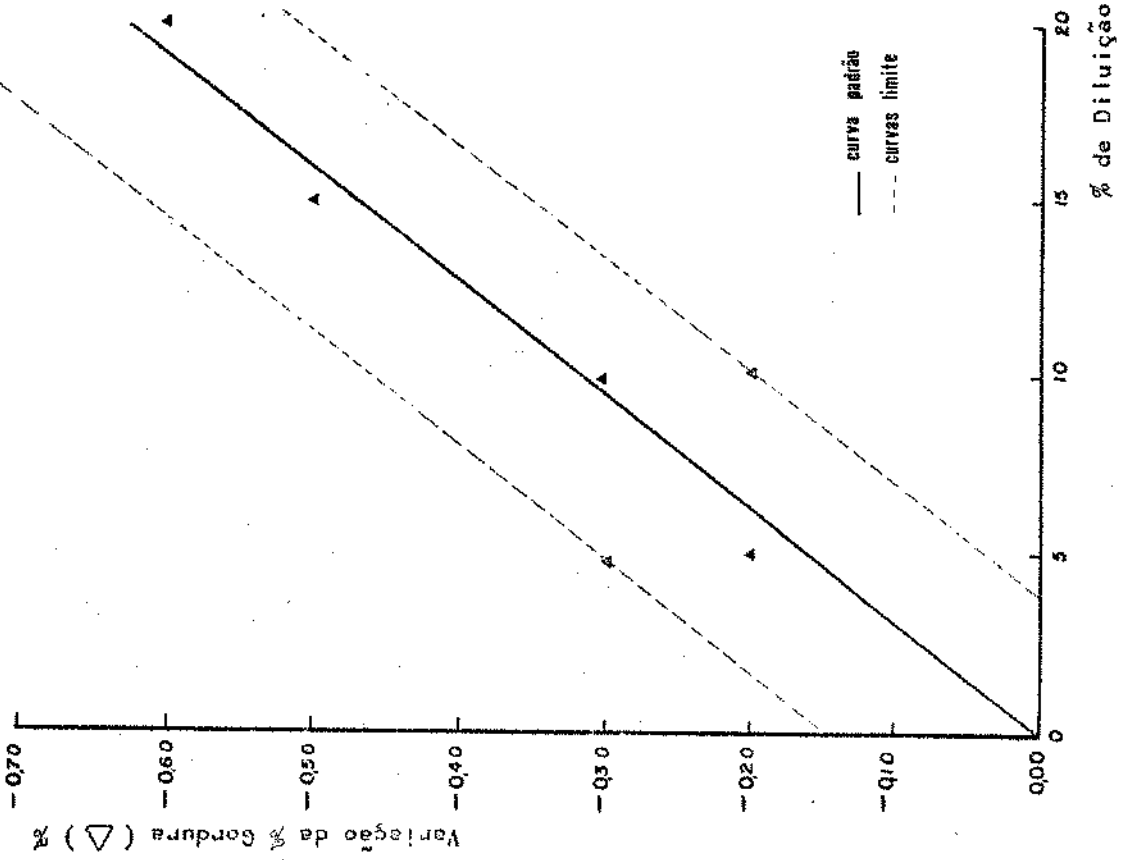
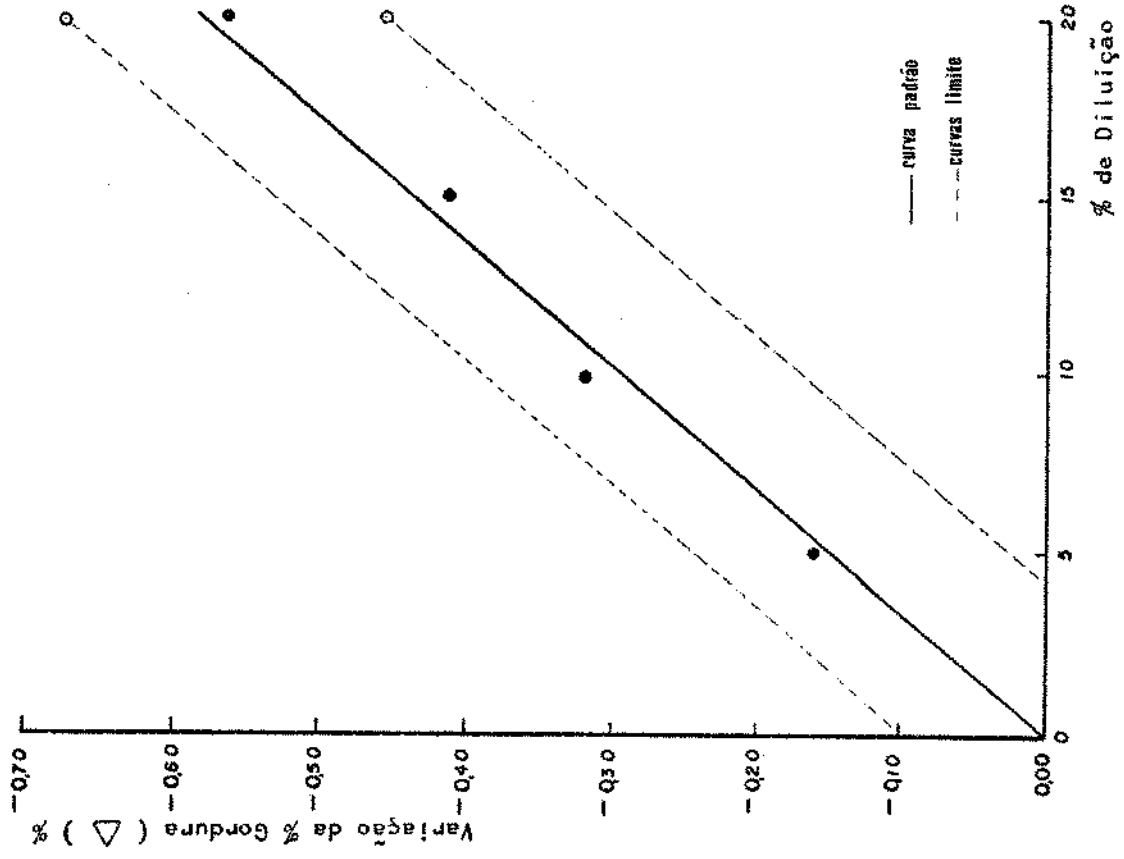


Figura 28 - Média da Variação da Percentagem de Gordura do Leite em Função das Diluições

Condições: Leite cru à temperatura de 25°C como referência e diluição com água destilada.

Variação entre os valores do leite diluído e os valores do leite integral

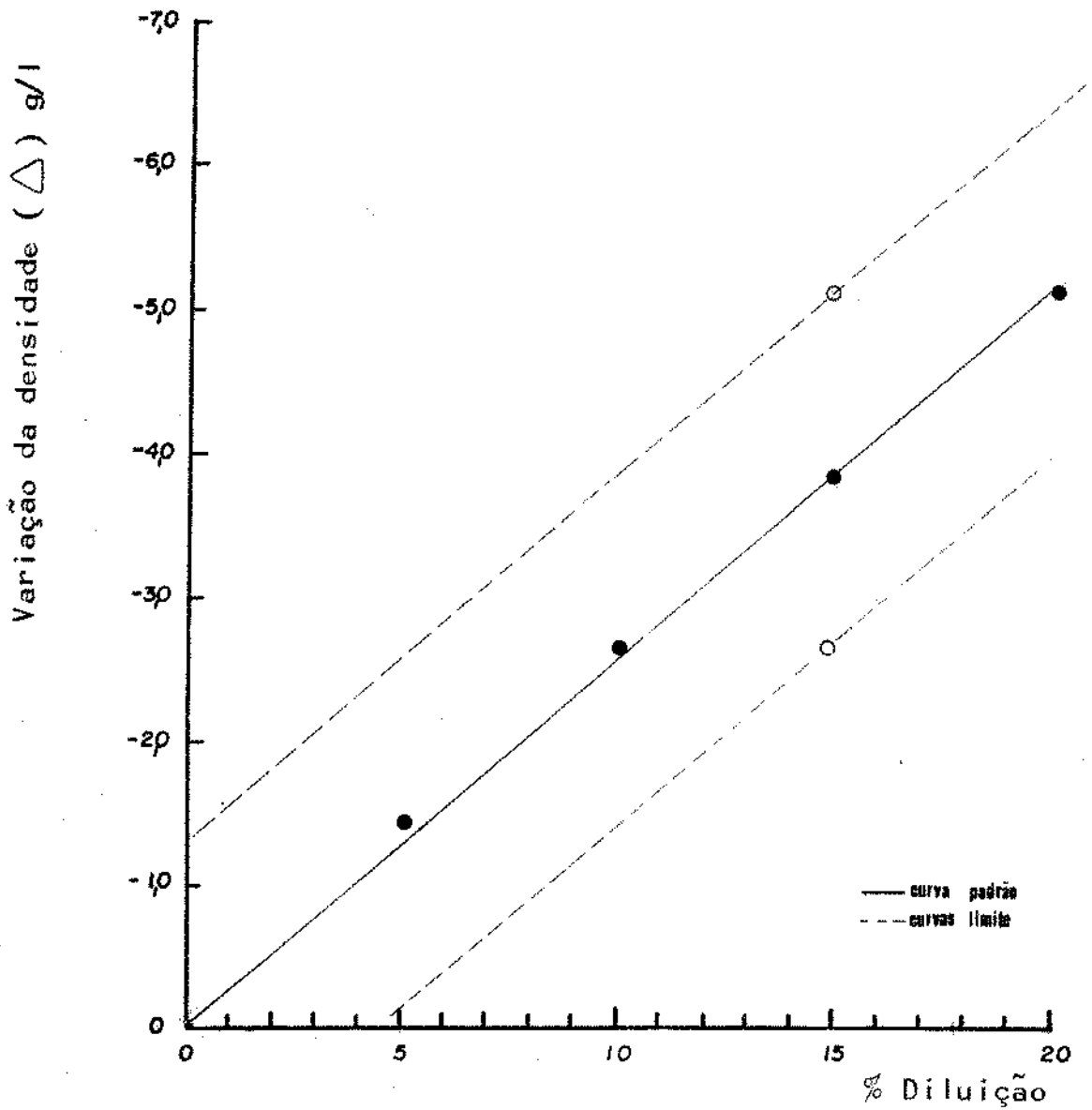


Figura 29 - Média da Variação da Densidade do Leite em Função das Diluições.

Condições: Leite cru a temperatura de 25°C como referência e diluição com água destilada.

Δ Variação entre os valores do leite diluído e os valores do leite integral.

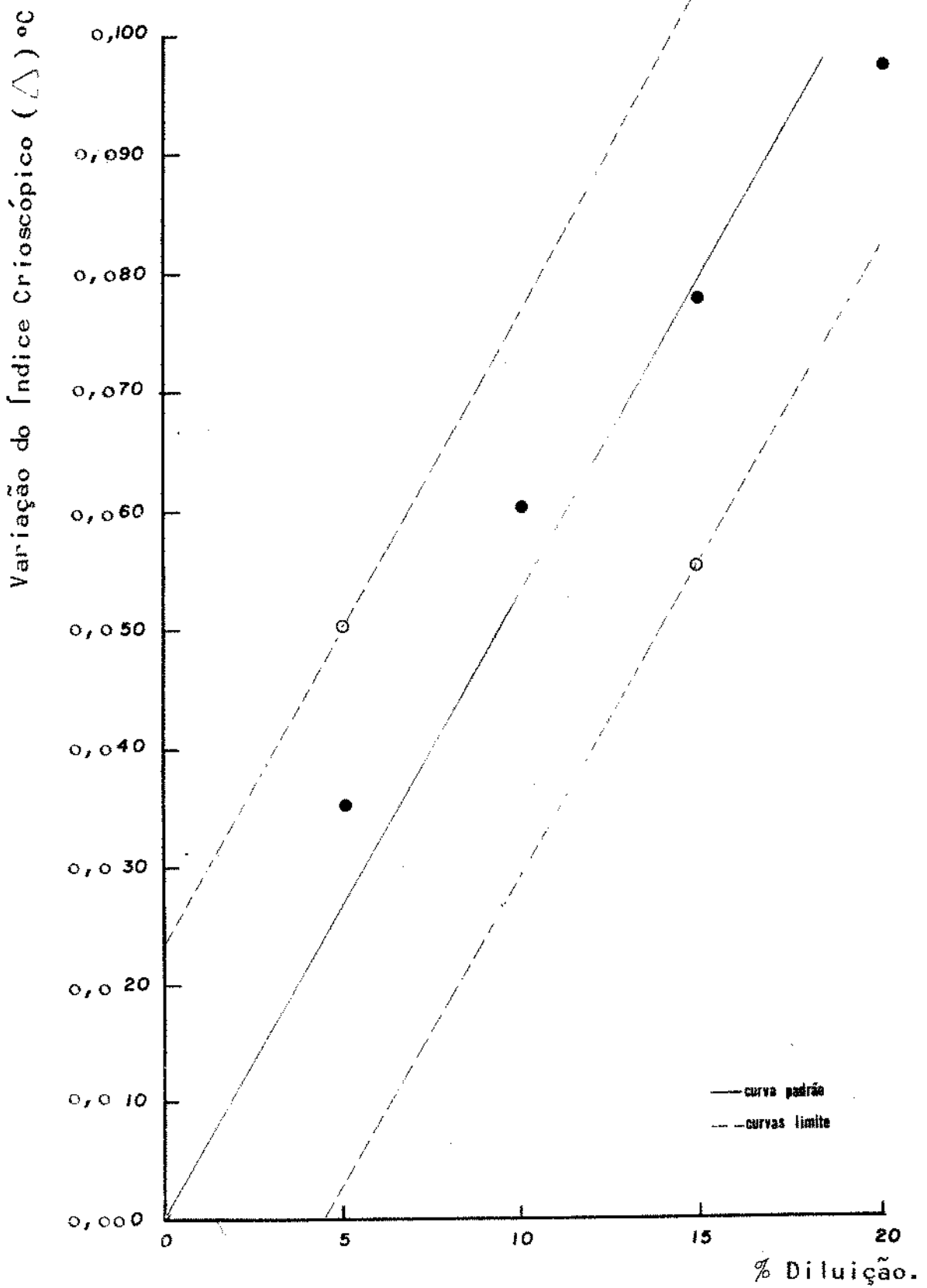


Figura 30 - Média da Variação da Crioscopia do Leite em Função das Diluições.

Condições: Leite cru à temperatura de 25°C como referência e diluição com água destilada.

Δ Variação entre os valores do leite diluído e os valores do leite integral.

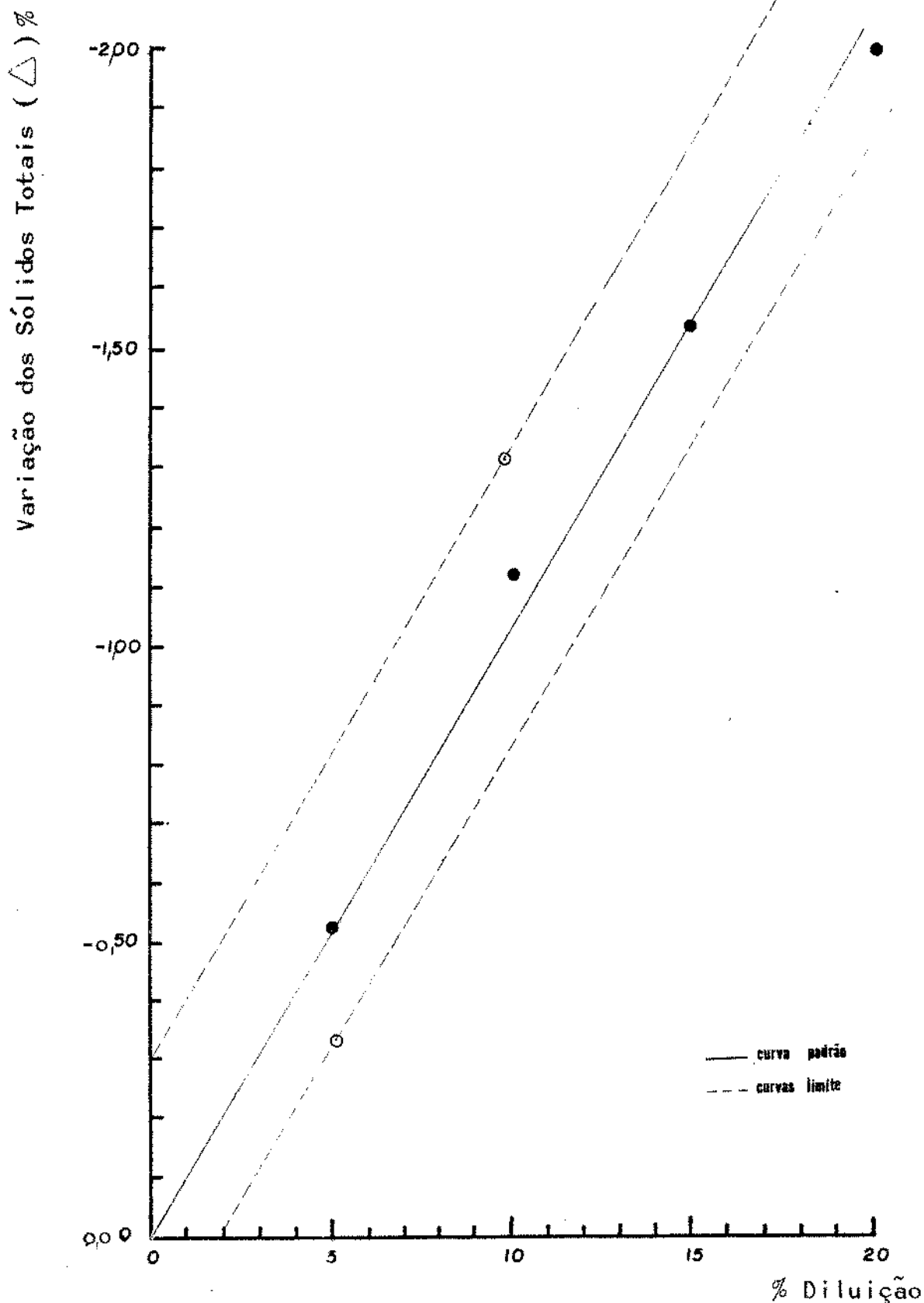


Figura 31 - Média da Variação dos Sólidos Totais do Leite em Função da Diluição

Condições: Leite cru à temperatura de 25°C como referência e diluição com água destilada.

Δ Variação entre os valores do leite diluído e os valores do leite integral.

4.3. PASTEURIZAÇÃO DO LEITE USANDO INSTALAÇÃO DEFINIDA

4.3.1. CONSUMO DE VAPOR - CALCULADO

O consumo de vapor calculado (Fórmula 1), para aquecer 100 kg de leite a 72°C nas condições: de eficiência do vapor de 0,95, eficiência de transferência de calor igual a 1,0, calor específico do leite 0,93 kcal/kg°C; usando pressões de vapor no intervalo de 2,10 a 6,30 kg*/cm² e temperaturas do leite no intervalo de 10 a 30°C, está descrito no Quadro 14. Os resultados indicam para uma mesma temperatura de alimentação do leite e variando a pressão entre 2,10 a 6,30 kg*/cm², uma redução no consumo de vapor. Essa redução é de 0,18 kg quando a temperatura do leite é de 10°C e de 0,13kg para leite a 30°C e correspondem respectivamente a uma redução de 1,71 e 1,82%. Isso indica que o aumento da pressão de vapor para uma mesma temperatura de leite não tem grande influência na redução do consumo do vapor.

Por outro lado para uma mesma pressão de vapor e aumentando a temperatura do leite de 10 e 30°C ocorre uma redução no consumo de vapor de 3,40 kg, quando a pressão de vapor é 2,10 kg*/cm² e de 3,35 kg para pressão de 6,30 kg*/cm² correspondendo respectivamente a uma redução de 32,32% e 32,39%. Esses resultados indicam que a variação da temperatura de alimentação do leite tem grande influência no consumo de vapor, ou seja, quanto maior a temperatura do leite menor o consumo de vapor.

Os resultados indicam ainda que o consumo de vapor está entre os limites 6,99 e 10,52 kg para o aquecimento de 100 kg de leite. Considerando que no processo de pasteurização do leite usando o Ejetor de vapor todo o vapor utilizado é incorporado na forma de condensado. Portanto, segundo os cálcu

Quadro 14 - Consumo de Vapor (kg) em Função da Temperatura do Leite e da Pressão de Vapor Utilizada para Aquecer 100 kg de Leite a 72°C. Cálculo Segundo Farral.

Condições: Eficiência de vapor (Efv) 0,95; eficiência de transferência de calor (Eft) 1,0; calor específico do leite 0,93; temperatura final do leite e do condensado 72°C.

Pressão kg/cm ² Temperatura °C	2,10	2,80	3,50	4,20	4,90	5,60	6,30
10	10,52	10,48	10,44	10,41	10,38	10,36	10,34
12	10,18	10,14	10,10	10,07	10,05	10,02	10,00
15	9,67	9,63	9,60	9,57	9,54	9,52	9,50
17	9,33	9,29	9,26	9,23	9,21	9,19	9,17
18	9,16	9,12	9,09	9,06	9,04	9,02	9,00
20	8,82	8,78	8,75	8,73	8,72	8,69	8,67
22	8,48	8,45	8,42	8,39	8,37	8,35	8,33
24	8,14	8,11	8,08	8,06	8,04	8,02	8,00
26	7,80	7,77	7,69	7,72	7,70	7,68	7,67
28	7,46	7,43	7,41	7,38	7,37	7,35	7,33
30	7,12	7,09	7,07	7,05	7,03	7,01	6,99

Los essa diluição, devido ao condensado, seria entre os limites 6,99% e 10,52%.

4.3.2. DETERMINAÇÕES FÍSICAS

Os experimentos com leite usando a 3ª Instalação (Figura 15), foram feitos utilizando as condições de coluna de alimentação de leite positiva e constante de 20 cm do bico do Ejetor na posição 9. As pressões de vapor foram lidas no manômetro colocado na linha de vapor a 10 cm do bico do Ejetor e as temperaturas de pasteurização da mistura (leite+vapor) a 1200 cm do Ejetor (T4). Utilizou-se leite cru integral com temperatura entre 15 e 30°C, (T_a) vapor com pressão de 2,10 e 3,15 kg/cm², obtendo-se temperaturas de pasteurização no intervalo de 65 a 73°C, condições essas possíveis devido a variação da vazão de alimentação de leite através da válvula de controle 2. Para início do processo de pasteurização utilizou-se água no tanque de equilíbrio. Com tal procedimento foi possível previamente fixar as condições de trabalho, pressão de vapor, vazão de alimentação e temperatura de pasteurização antes da admissão do leite. Quando o nível de água atingiu valores próximos de coluna de 3 cm iniciou-se a alimentação do leite. Em tais condições, as variações necessárias nos controles, para se atingir os pontos desejados, foram menores. Entretanto no início do processo, o leite se diluiu na água remanescente no tanque de equilíbrio, portanto tornou-se necessário desviar as primeiras porções, situação esta obrigatória, por estar-se na fase de controle operacional. Esse procedimento, evitou o inconveniente do leite entrar em contato com a tubulação de vapor.

Os resultados (Quadro 15) mostram que houve boa reprodutibilidade em relação a vazão de alimentação do leite e tempo de residência, quando se utilizou mesmas condições de temperatura do leite, pressão de vapor e temperatura de pasteurização.

Deve-se notar que a vazão de alimentação é alterada com a variação da temperatura do leite e temperatura de pas

teurização para uma mesma pressão de vapor. Isso pode ser visto, nos ensaios usando pressão de vapor de $2,10 \text{ kg}^*/\text{cm}^2$. Por outro lado, o aumento da pressão de vapor implica em um aumento de vazão de alimentação. Entretanto isso ocasiona uma redução no tempo de residência. Os resultados indicam ainda que o aumento da temperatura de pasteurização implica na diminuição da vazão de alimentação, para mesma pressão de vapor e temperatura do leite (ensaios nº 7 com nº 9 e 10). Observa-se também que o uso de leite com temperatura maior proporciona aumento da vazão de alimentação, em condições de pressão de vapor idênticas e temperaturas de pasteurização próximas (ensaios nº 1 a 4 com nº 7). A instalação utilizada para o tratamento do leite, apresentou idêntica eficiência aos tratamentos com água, ou seja, a pressão de vapor foi mantida constante em todos os ensaios e a válvula de controle 2 permitiu manter a temperatura da mistura (leite+vapor) com uma variação máxima de $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

O fator limitante da instalação foi o circuito de residência de 11 metros, o qual não foi suficiente para atender os tempos de residência necessários para a maioria dos ensaios, razão porque, não se utilizou maiores pressões de vapor. Entretanto, o circuito de residência poderá ser aumentado como descrito no item 4.1.5.

Os tratamentos do leite a temperatura no intervalo de 65 a 70°C , para se atingir eficiente pasteurização exigirão um tempo de residência de 2 a 15 minutos (51)(60)(63)(69). Com a instalação proposta, seria necessário um circuito de longo comprimento, condições não viáveis economicamente. Entretanto, poder-se-ia aplicar processos de residência do leite em tanques, já que diversos autores obtiveram bons resultados (57) com o sistema.

Quadro 15 - Condições Físicas dos Experimentos para Pasteurização do Leite

Condições: Válvula de controle 2, bico do Ejetor na posição 9, coluna de alimentação (+) constante de 20 cm.

Parâmetros Ensaio	Pressão kg/cm ²	Leite			
		Temperatura °C		Vazão (Va) l/h	Tempo Residência(tr) seg.
		Ta	T4		
1	2,10	30	65	1105	15
2	2,10	30	65	1140	15
3	2,10	30	65	1143	15
4	2,10	30	65	1130	15
5	2,45	26	65	1387	13
6	3,15	26	66	1597	9
7	2,10	15	67	986	14
8	3,15	26	69	1533	9
9	2,10	15	70	858	11
10	2,10	15	70	870	11
11	2,45	30	72	1161	10
12	2,45	30	72	1184	10
13	2,10	18	73	1006	13
14	2,10	18	73	1000	13
15	2,10	18	73	1008	13
16	2,10	18	73	1005	13

Os resultados do resfriamento da mistura (leite+vapor), descritos no Quadro 16, foram obtidos utilizando água de resfriamento com temperatura (T_i) entre 26 a 28°C. A relação entre os resultados das vazões de água de resfriamento e a alimentação de leite, em cada ensaio, indicou a vazão relativa de água em função de alimentação de leite, a qual esteve entre 1,30 a 1,97.

As maiores vazões relativas 1,95 a 1,97 ocorreram quando a temperatura da água na saída do resfriamento (T_f) atingiu os menores valores, ou seja, 42 a 44°C, ocasionando com isto, os menores aumentos da temperatura da água de resfriamento (14 a 17°C). Por outro lado, as menores vazões relativas 1,30 a 1,58 ocorreram quando a temperatura da água na saída do resfriamento (T_f) atingiu os maiores valores (48 a 53°C), indicando com isso os maiores aumentos da temperatura da água de resfriamento (23 a 27°C).

Deve-se notar que o aumento da temperatura da água de resfriamento (T_f) permite a redução da vazão relativa, entretanto, isto é limitado pela temperatura de resfriamento da mistura (leite+vapor) (T_5) desejada. Isso pode-se ver, nos resultados dos ensaios onde obteve-se vazões relativas de 1,58 e 1,62 com temperaturas da água na saída do resfriamento (T_f), respectivamente 48 e 47°C, tendo, entretanto, o resfriamento da mistura (leite+vapor) atingido temperaturas de 36 e 35°C.

Quadro 16 - Condições Físicas dos Experimentos Para Resfriamento da Mistura (leite+vapor).

Condições: Válvula de controle 2, bico do Ejetor na posição 9, coluna de alimentação (+) constante de 20 cm.

Parâmetros Ensaios	Pressão kg/cm ²	Leite				Água - Resfriamento				Vazão Relativa (VR)
		Temperatura °C			Vazão (Va) l/h	Temperatura °C			Vazão (Vr) l/h	
		T4	T5	T5-T4		Ti	Tf	Tf-Ti		
1	2,10	65	32	-33	1105	28	42	14	2170	1,96
2	2,10	65	32	-33	1140	28	42	14	2170	1,90
3	2,10	65	32	-33	1143	27	44	17	2236	1,95
4	2,10	65	32	-33	1130	27	44	17	2236	1,97
5	2,45	65	36	-29	1387	26	48	22	2191	1,58
6	3,15	66	35	-31	1597	27	47	20	2600	1,62
7	2,10	67	33	-34	986	26	42	15	1676	1,70
8	3,15	69	33	-36	1533	26	53	27	1992	1,30
9	2,10	70	32	-38	858	26	42	16	1544	1,79
10	2,10	70	33	-37	870	26	42	16	1566	1,80
11	2,45	72	33	-39	1161	26	46	20	1857	1,60
12	2,45	72	33	-39	1184	26	44	18	1994	1,68
13	2,10	73	32	-41	1006	26	49	23	1586	1,57
14	2,10	73	32	-41	1000	26	49	23	1580	1,58
15	2,10	73	32	-41	1008	26	49	23	1580	1,56
16	2,10	73	32	-41	1005	26	49	23	1586	1,57

4.3.3. ANÁLISES

4.3.3.1. DETERMINAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS

Os resultados das análises físico-químicas realizadas no leite cru (LC) e no pasteurizado (LP) pelo Ejetor de vapor tais como, pH, acidez titulável, densidade, % de gordura pelos processos Gerber e MK3, índice crioscópico e sólidos totais, estão demonstradas no Quadro 17.

Os resultados do pH indicaram que o leite cru (LC) apresentou valores entre 6,30 a 6,62 unidades e o pasteurizado (LP) entre 6,58 a 6,68 unidades, indicando uma tendência de aumento no leite pasteurizado em relação do leite cru. Esses aumentos foram no intervalo de 0,0 a 0,32 unidades, tendo a maioria dos ensaios apresentado um aumento no intervalo de 0,01 e 0,08 unidades. Os resultados indicaram também que para condições semelhantes de pressão de vapor, temperatura do leite e temperatura de pasteurização ocorre semelhanças entre os aumentos. Isso pode ser verificado pelos resultados dos ensaios de nº 9 e 10.

Os resultados da acidez titulável indicaram que o leite cru (LC) apresentou valores entre 17 a 22°D e o pasteurizado (LP) 15 a 19°D, indicando uma tendência de redução no leite pasteurizado, em relação ao leite cru. Essas reduções ficaram num intervalo de 1 a 3°D, tendo a maioria dos ensaios redução no intervalo de 1 a 2°D. Os resultados indicam ainda que, independentemente das condições da pressão do vapor, temperatura do leite e temperatura de pasteurização as reduções foram praticamente iguais. Os resultados são compatíveis com o descrito na literatura, a qual indica uma redução de 0,5 a 2,0°D (63) o que é justificado pela diluição provocada pelo condensado do vapor e a saída de gás carbônico do leite (39)(60).

Os resultados da densidade indicaram que o leite cru (LC) apresentou valores entre 1032,4 a 1029,6 g/l e a do leite pasteurizado (LP) entre 1029,3 a 1026,4 g/l indicando uma tendência de redução no leite pasteurizado em relação ao leite cru. Essas reduções ficaram num intervalo de 2,0 a 3,6 g/l. Os resultados indicaram ainda que para condições iguais de pressão de vapor, temperatura do leite e temperatura de pasteurização observa-se também iguais reduções. Isso pode se verificar nos ensaios de nº 13 a 16 e também nos de nº 9 e 10. Observa-se ainda que para ensaios com igual pressão de vapor, com o aumento da temperatura de pasteurização, ocorre uma tendência de aumentar o valor da redução da densidade.

Os resultados da gordura em %, indicaram que o leite cru (LC) apresentou valores entre 3,84 a 4,50% e o leite pasteurizado (LP) entre 3,46 a 4,20%, indicando uma tendência de redução no leite pasteurizado em relação ao leite cru. Os resultados indicam ainda que para condições iguais de pressão de vapor, temperatura do leite e temperatura de pasteurização, iguais reduções foram obtidas. Isso pode ser visto, nos resultados dos ensaios de nº 9 e 10 e também nos ensaios de nº 11 e 12. Entretanto, observa-se variações maiores nos ensaios de nº 1 a 4 e também nos ensaios de nº 13 a 16.

Os resultados do índice crioscópico indicaram que o leite cru (LC) apresentou valores entre -0,542 a -0,500°C e o pasteurizado (LP) entre -0,500 a -0,464°C, indicando uma tendência de aumento do índice crioscópico do leite pasteurizado. Os resultados indicam ainda que para condições semelhantes de pressão de vapor, temperatura do leite e temperatura de pasteurização, também ocorrem semelhantes aumentos do índice crioscópico. Isso pode ser visto, nos ensaios de nº 13 a 16 e também nos ensaios de nº 9 e 10.

Os resultados dos sólidos totais em % indicaram que, o leite cru (LC) apresentou valores entre 11,87 a 12,87% e o leite pasteurizado (LP) entre 10,46 e 12,11%, indicando uma tendência de redução no leite pasteurizado (LP) em relação ao leite cru (LC). Os resultados indicam ainda que para condições semelhantes de pressão de vapor, temperatura do leite e temperatura de pasteurização, ocorrem semelhanças entre as reduções na % de sólidos totais. Isso pode ser visto, nos resultados dos ensaios de nº 11 e 12.

Deve-se notar que leite pasteurizado a 73°C com pressão de vapor 2,10 kg^{*}/cm² (ensaios de nº 13 a 16) indicou um aumento no pH até 0,03 unidades e até 0,066°C no índice crioscópico e redução de 2°D na acidez titulável, 3,6 g/l na densidade, até 0,40% na % de gordura e até 1,42% nos sólidos totais.

Quadro 17 - Determinação Analítica do Leite Cru e do Leite Tratado Pelo Ejetor em Relação à Diluição.

Ta - Temperatura Inicial do Leite

T4 - Temperatura a 1200 cm do Ejetor

LC - Leite cru

LP - Leite pasteurizado

△ - Variação entre os valores do leite cru e pasteurizado.

PARÂMETROS ENSAIOS	PRESSÃO kg/cm ²	Ta °C	T4 °C		pH	ACIDEZ °D	DENSIDADE g/l	GORDURA %		ÍNDICE CRIOSCÓPICO °C	SÓLIDOS TOTAIS %
								Gurber	MK3		
1	2,10	30	65	LC	6,30	22	1031,3	4,0	4,11	-0,500	12,40
				LP	6,60	19	1029,1	3,8	3,85	-0,470	11,58
				△	0,30	-3	-2,2	-0,2	-0,26	0,030	-0,82
2	2,10	30	65	LC	6,28	21	1031,3	4,1	4,18	-0,510	12,29
				LP	6,60	18	1029,1	3,9	3,90	-0,475	11,32
				△	0,32	-3	-2,2	-0,2	-0,28	0,035	-0,97
3	2,10	30	65	LC	6,31	19	1031,9	4,5	4,50	-0,525	12,68
				LP	6,62	17	1029,6	4,2	4,19	-0,480	11,90
				△	0,31	-2	-2,3	-0,3	-0,31	0,045	-0,78
4	2,10	30	65	LC	6,31	19	1032,4	4,4	4,49	-0,530	12,71
				LP	6,58	17	1030,2	4,1	4,20	-0,490	12,00
				△	0,27	-2	-2,2	-0,3	-0,29	0,040	-0,71
5	2,45	26	65	LC	6,61	17	1030,0	3,9	3,96	-0,522	11,93
				LP	6,62	16	1028,0	3,6	3,64	-0,488	11,21
				△	0,01	-1	-2,0	-0,3	-0,32	0,034	-0,72
6	3,15	26	66	LC	6,58	19	1031,3	4,2	4,41	-0,530	12,96
				LP	6,63	17	1029,1	3,9	4,07	-0,490	12,11
				△	0,05	-2	-2,2	-0,3	-0,34	0,040	-0,85
7	2,10	15	67	LC	6,41	19	1029,6	3,8	3,84	-0,528	11,87
				LP	6,56	16	1026,4	3,4	3,46	-0,480	10,46
				△	0,15	-3	-3,2	-0,4	-0,38	0,058	-1,41
8	3,15	26	69	LC	6,63	17	1031,3	4,1	4,16	-0,520	12,77
				LP	6,68	16	1029,3	3,7	3,84	-0,480	12,00
				△	0,05	-1	-2,0	-0,4	-0,32	0,040	-0,77
9	2,10	15	70	LC	6,50	18	1030,6	3,8	3,88	-0,540	12,22
				LP	6,58	16	1027,4	3,5	3,63	-0,495	11,20
				△	0,08	-2	-3,2	-0,3	-0,25	0,045	-1,02
10	2,10	15	70	LC	6,50	18	1030,6	3,9	3,90	-0,542	11,97
				LP	6,58	16	1027,4	3,6	3,66	-0,500	10,89
				△	0,08	-2	-3,2	-0,3	-0,24	0,042	-1,08
11	2,45	30	72	LC	6,60	18	1031,3	4,0	4,10	-0,542	12,80
				LP	6,62	16	1029,3	3,7	3,77	-0,482	11,98
				△	0,02	-2	-2,0	-0,3	-0,33	0,060	-0,82
12	2,45	30	72	LC	6,61	17	1031,3	4,1	4,13	-0,535	12,74
				LP	6,62	16	1029,3	3,8	3,79	-0,482	11,93
				△	0,01	-1	-2,0	-0,3	-0,34	0,053	-0,81
13	2,10	18	73	LC	6,62	17	1031,0	4,0	4,04	-0,539	12,98
				LP	6,65	15	1027,4	3,6	3,67	-0,477	11,60
				△	0,03	-2	-3,6	-0,4	-0,37	0,062	-1,38
14	2,10	18	73	LC	6,62	17	1031,0	4,3	4,36	-0,529	12,40
				LP	6,65	15	1027,4	3,9	4,00	-0,465	11,00
				△	0,03	-2	-3,6	-0,4	-0,36	0,064	-1,40
15	2,10	18	73	LC	6,60	17	1031,0	4,2	4,21	-0,530	12,57
				LP	6,62	15	1027,4	3,8	3,86	-0,464	11,25
				△	0,02	-2	-3,6	-0,4	-0,35	0,066	-1,32
16	2,10	18	73	LC	6,62	17	1031,0	4,3	4,30	-0,530	12,42
				LP	6,65	15	1027,4	3,9	3,90	-0,464	11,00
				△	0,03	-2	-3,6	-0,4	-0,40	0,066	-1,42

4.3.3.2. EFEITO DAS DILUIÇÕES

A diluição do leite tratado por injeção de vapor tem sido analisada por diversos autores (22)(51) (60) (63) e, principalmente, nos processos de esterilização de leite por injeção de vapor (39)(52). Nesses usou-se analisar a variação da densidade, sólidos totais e índice crioscópico. O objetivo no caso era determinar diluições ou concentração no leite após o tratamento, já que, nesses processos o condensado do vapor é retirado. Entretanto muitos autores (39)(52) não consideram como satisfatória a avaliação da diluição ou concentração usando a análise de tais parâmetros, para a finalidade em questão.

Entretanto, nos processos de pasteurização do leite com o Ejetor de vapor o condensado do vapor permanece no leite pasteurizado o que provoca a diluição do leite. Esta diluição foi determinada através da variação da acidez titulável, densidade, % de gordura usando os métodos Gerber e MK3, índice crioscópico e % de sólidos totais entre o leite cru e o leite tratado. Os valores obtidos foram levados as curvas médias, que relaciona a variação dos parâmetros com as diluições (Figura 27, 28, 29, 31) e obtido as diluições por ensaio (Quadro 18). Os resultados obtidos (Quadro 18) indicaram que as diluições do leite estiveram entre 5,0 a 15,0% e a média das diluições para cada ensaio estiveram entre 7,7 a 12,9%.

Sob condições semelhantes de pressão de vapor, temperatura do leite e temperatura de pasteurização, as diluições obtidas pelas diversas análises foram variáveis, contudo, analisando-se as diluições médias observa-se semelhança entre os ensaios (Quadro 18). Entretanto, observa-se que as diluições obtidas através das variações da acidez titulável e

densidade foram as que mais se afastaram das médias de diluição, o que é justificado pela eliminação de CO_2 disperso no leite durante o processo, bem como a presença dos gases incondensáveis e do tratamento térmico efetuado, o que altera as condições físico-químicas do leite, mais que a provocada pela diluição do condensado do vapor (1).

Por outro lado, as diluições obtidas pela variação da % de gordura pelos métodos Gerber e MK3, e % de sólidos totais foram as que mais se aproximaram da média das diluições. Dentre essas análises, verifica-se que as diluições obtidas pela variação de % de gordura pelo método Gerber indicaram as maiores vazões, quando comparadas com a média das diluições. A variação do índice crioscópico é justificado, considerando que o mesmo não é alterado apenas pela diluição do condensado do vapor, mas também pelas modificações do leite durante o tratamento térmico (1).

Os resultados mostram ainda que para pressão de vapor semelhante, a diluição é menor quando se usa leite com maior temperatura e temperaturas de pasteurização maiores. Por outro lado a diluição é maior, quando se usa leite com menor temperatura e maiores temperaturas de pasteurização como se pode constatar no Quadro 18, comparando-se os resultados dos ensaios de nº 1 a 4 e nº 13 a 16.

Comparando-se os resultados dos ensaios nº 13 a 16 com os de nº 11 e 12, observa-se também que o aumento da pressão de vapor e da temperatura do leite, para obtenção de temperaturas de pasteurização próximas, ocorre uma redução da diluição.

Os resultados indicam também que com maiores pressões de vapor e temperaturas do leite, mas menores temperaturas de pasteurização, reduz-se a diluição.

Os valores da diluição para processos de pasteurização do leite descrito na literatura indicam que para processos realizados às temperaturas de pasteurização de 65 a 70°C, diluições de 1,0 a 1,5% (63), os quais estão muito distante, tanto dos dados experimentais como dos calculados (Quadro 14), do presente trabalho.

Os tratamentos que se aproximaram das condições de temperatura de pasteurização, ensaios nº 13 a 16, indicaram uma diluição até 12,7%, valor este, compatível com os valores descritos na literatura (22) relacionado ao tratamento do leite entre 75 e 80°C o qual indica um aumento de 15% em relação ao peso primitivo.

Quadro 18 - Relação Entre as Variações Analíticas (Δ) com a Avaliação da Diluição

P - Pressão do vapor

Ac - Acidez

Ic - Índice Crioscópico

Ta - Temperatura inicial do leite

De - Densidade

St - Sólidos Totais

T4 - Temperatura a 1200 cm do Ejetor

Ge - Gerber

	P kg/cm ²	Ta °C	T4 °C	Medida da Variação (Δ)						Avaliação da Diluição %						
				Ac °D	De g/l	Gordura %		St %	Ac	De	Gordura		Ic	St	Média	
						Ge	MK3				°C	Ge				MK3
1	2,10	30	65	-3	-2,2	-0,2	-0,26	0,030	-0,82	15	8,6	6,3	8,8	5,6	8,0	8,7
2	2,10	30	65	-3	-2,2	-0,2	-0,28	0,035	-0,97	15	8,6	6,3	9,4	6,6	9,5	9,2
3	2,10	30	65	-2	-2,3	-0,3	-0,31	0,045	-0,78	10	9,1	9,3	10,3	8,5	7,6	9,1
4	2,10	30	65	-2	-2,2	-0,3	-0,29	0,040	-0,71	10	8,6	9,3	9,7	7,6	7,0	8,7
5	2,45	26	65	-1	-2,0	-0,3	-0,32	0,034	-0,72	5	7,9	9,3	10,8	6,4	7,1	7,7
6	3,15	25	66	-2	-2,2	-0,3	-0,34	0,040	-0,85	10	8,6	9,3	11,7	7,6	8,3	9,2
7	2,10	15	67	-3	-3,2	-0,4	-0,38	0,058	-1,41	15	12,4	12,6	12,9	10,8	13,7	12,9
8	3,15	26	69	-1	-2,0	-0,4	-0,32	0,040	-0,77	5	7,9	12,6	10,8	7,6	7,6	8,5
9	2,10	15	70	-2	-3,2	-0,3	-0,25	0,045	-1,02	10	12,4	9,3	8,5	8,5	10,0	9,7
10	2,10	15	70	-2	-3,2	-0,3	-0,24	0,042	-1,08	10	12,4	9,3	8,2	8,0	10,6	9,7
11	2,45	30	72	-2	-2,0	-0,3	-0,33	0,060	-0,82	10	7,9	9,3	11,5	11,2	8,0	9,6
12	2,45	30	72	-1	-2,0	-0,3	-0,34	0,053	-0,81	5	7,9	9,3	11,7	10,0	8,0	8,6
13	2,10	18	73	-2	-3,6	-0,4	-0,37	0,062	-1,38	10	14,0	12,6	12,6	11,7	13,4	12,3
14	2,10	18	73	-2	-3,6	-0,4	-0,36	0,064	-1,40	10	14,0	12,6	12,3	12,0	13,7	12,4
15	2,10	18	73	-2	-3,6	-0,4	-0,35	0,066	-1,32	10	14,0	12,6	12,0	12,4	12,9	12,3
16	2,10	18	73	-2	-3,6	-0,4	-0,40	0,066	-1,42	10	14,0	12,6	13,5	12,4	13,8	12,7

4.3.4. AVALIAÇÃO DA PASTEURIZAÇÃO

Os resultados dos testes feitos em quadruplicata (Quadro 19) para determinar a reprodutibilidade de pasteurização do leite em relação à destruição de células viáveis de microrganismos, usando temperatura inicial do leite de 30°C, tempo de residência de 15 segundos e temperatura de pasteurização de 65°C, indicam que a contagem total de colônias para leite cru esteve entre 10,7 a 69 milhões de colônias por ml e para o leite após a pasteurização entre 300 a 620 mil colônias por ml, com média de 493 mil colônias por ml apresentando uma eficiência de redução microbiana entre 94,90 a 99,10% e com média de 98,70%. A contagem de colônias de coliformes para o leite cru, esteve entre 289 a 930 mil colônias por ml e após a pasteurização entre 1050 a 1300 colônias por ml, com uma média de 1177 colônias por ml apresentando uma eficiência de redução microbiana entre 99,65 a 99,98% e com média de 99,74%.

Os resultados indicam que a prova de fosfatase foi positiva em todos os ensaios, tanto para o leite cru como para o leite pasteurizado. A presença da enzima fosfatase no leite cru é normal, contudo a sua presença no leite pasteurizado não é desejada, porque é índice de pasteurização efetiva. A inativação deveria ocorrer se o tratamento fosse de 72°C por 15 segundos, entretanto, o tratamento térmico atingiu 65°C, condição essa que não permitiu sua inativação.

Os resultados referentes à presença da enzima peroxidase, tanto no leite cru como no leite pasteurizado, foram positivos em todos os ensaios. Essa condição é desejada no leite pasteurizado, isto porque a sua inativação ocorre em tratamentos acima de 80°C.

Quadro 19 - Eficiência da Pasteurização Usando Leite a 30°C, Tempo de Residência de 15 Segundos e Temperatura de Pasteurização de 65°C.

Condições: Válvula de controle 2, bico do Ejetor na posição 9, coluna de alimentação (+) constante de 20 cm.

LC - Leite cru

Fo - Fosfatase

Ef - Eficiência

LP - Leite pasteurizado

Pe - Peroxidase

Parâmetros Ensaio	Pressão kg/cm ²	Contagem Total			Coliformes			Fo		Pe	
		LC 10 ³ col/ml	LP 10 ³ col/ml	Ef %	LC col/ml	LP col/ml	Ef %	LC	LP	LC	LP
1	2,10	56.000	510	99,08	930.000	1.200	99,98	+	+	+	+
2	2,10	69.000	620	99,10	345.000	1.150	99,66	+	+	+	+
3	2,10	10.700	545	94,90	289.000	1.300	99,65	+	+	+	+
4	2,10	16.100	300	98,13	320.000	1.050	99,67	+	+	+	+
Média	2,10	37.950	493	98,70	471.000	1.175	99,74				

Os resultados dos testes feitos em quadruplicata (Quadro 20) para determinar a reprodutibilidade de pasteurização do leite, em relação à destruição de células viáveis de microrganismos, utilizando temperatura inicial do leite a 18°C, tempo de residência de 13 segundos e temperatura de pasteurização de 73°C, indicam que a contagem total de colônias, para leite cru esteve entre 3,4 a 1,6 milhões de colônias por ml e para o leite após a pasteurização entre 67 a 88 mil colônias por ml, apresentando uma eficiência de redução microbiana entre 95,68 a 97,04%.

A contagem de colônias de coliformes para leite cru esteve entre 15 a 17 mil colônias por ml e após a pasteurização entre 0 a 1 colônia por ml, apresentando uma eficiência de redução microbiana entre 99,98 a 100,0%. As contagens médias de colônias de microrganismos totais e coliformes após a pasteurização, nos quatro ensaios, foram de 76 mil a 0 (zero) colônias por ml e corresponderam à eficiência média de redução microbiana de 96,76 e 100,0%, respectivamente. Esses resultados demonstraram que não há grandes diferenças entre a redução da carga microbiana total e a de coliformes. Os resultados indicam ainda que a prova de fosfatase foi positiva para o leite cru em todos os ensaios, mas negativas nas amostras pasteurizadas. A enzima fosfatase nas condições do experimento é inativada acima de 72°C, o que justifica a sua ausência nos ensaios, dado o tratamento térmico realizado ter atingido 73°C. Os resultados referentes à presença da enzima peroxidase tanto no leite cru como no leite pasteurizado, foram positivos em todos os ensaios, isso devido a temperatura de pasteurização não ter atingido 80°C.

Quadro 20 - Eficiência de Pasteurização Usando Leite a 18°C, Tempo de Residência de 13 Segundos e Temperatura de Pasteurização de 73°C.

Condições: Válvula de controle 2, bico do Ejetor na posição 9, coluna de alimentação (+) constante de 20 cm.

LC - Leite cru

Fo - Fosfatase

Ef - Eficiência

LP - Leite pasteurizado

Pe - Peroxidase

Parâmetros Ensaio	Pressão kg/cm ²	Contagem Total			Coliformes			Fo		Pe	
		LC 10 ³ col/ml	LP 10 ³ col/ml	Ef %	LC col/ml	LP col/ml	Ef %	LC	LP	LC	LP
1	2,10	1.600	69	95,68	17.000	1	99,98	+	-	+	+
2	2,10	1.600	67	95,81	15.000	0	100,00	+	-	+	+
3	2,10	2.800	83	97,03	15.000	0	100,00	+	-	+	+
4	2,10	3.400	88	97,04	15.000	0	100,00	+	-	+	+
Média	2,10	2.350	76	96,76	15.500	0	100,00				

Os testes feitos para determinar a eficiência de pasteurização do leite no intervalo de 65 a 73°C, em relação à destruição de células viáveis de microrganismos (contagem total e coliformes) e presença das enzimas fosfatase e peroxidase. Utilizou-se o equipamento de pasteurização nas condições de: bico do Ejetor na posição 9, coluna de alimentação do leite (positiva) constante de 20 cm. Manteve-se também constante para cada ensaio, a temperatura de alimentação do leite e a pressão do vapor. Realizou-se o controle de vazão de alimentação de leite através da válvula de controle 2, em aberturas que permitam a temperatura constante desejada.

Os resultados indicam (Quadro 21) que: Os tratamentos realizados à temperaturas iguais ou inferiores a 70°C, como recomendam diversos autores (63)(64), não permitiram uma eficiente pasteurização, o que é justificado, por não se ter atingido os tempos de residência de 2 a 15 minutos recomendados (51)(60)(63)(69). Entretanto, a redução na contagem de microrganismos é bastante elevada sendo portanto interessante o tratamento, o qual de qualquer maneira é melhor que o uso de leite cru. Deve-se considerar que no trabalho realizado empregou-se leite, originado de diversos produtores chegando à plataforma de recepção 4 (quatro) horas, no mínimo, após a ordenha. Fato esse que não ocorre nas indústrias de laticínios que empregam o Ejetor de vapor (81)(82), onde normalmente o leite 2 (duas) horas após a ordenha já está processado.

Quadro 21 - Eficiência de Pasteurização Variando a Temperatura Final de Pasteurização.

Condições: Válvula de controle 2, bico do Ejetor na posição 9, coluna de alimentação (+) constante de 20 cm.

tr - Tempo de residência no circuito de 11 metros

LC - Leite Cru

LP - Leite Pasteurizado

Ef - Eficiência

Fo - Fosfatase

Pe - Peroxidase

Parâmetros Ensaio	Pressão kg/cm ²	T _a °C	T ₄ °C	tr seg	Contagem Total			Coliformes			Fo		Pe	
					LC 10 ³ . col/ml	LP 10 ³ . col/ml	Ef %	LC col/ml	LP col/ml	Ef %	LC	LP	LC	LP
1	2,45	26	65	13	8.000	220	97,25	53.000	10	99,98	+	+	+	+
2	3,15	26	66	9	5.000	300	94,00	253.000	36	99,98	+	+	+	+
3	2,10	15	67	14	87.000	300	99,65	570.000	50	99,99	+	+	+	+
4	3,15	26	69	9	5.000	90	98,20	126.000	66	99,94	+	+	+	+
5	2,10	15	70	11	84.000	262	99,68	300.000	45	99,98	+	+	+	+
6	2,45	30	72	10	7.100	120	98,30	158.000	30	99,98	+	+	+	+
7	2,45	30	72	10	5.500	64	98,83	126.000	35	99,97	+	-	+	+
8	2,10	18	73	13	1.600	69	95,68	17.000	1	99,98	+	-	+	+

As exigências da legislação, regulada pelo Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal, aprovado pelo Decreto nº 30.691 de 29.3.52 e alterado pelo Decreto nº 1255 de 25.6.62, exige que o leite para ser considerado pasteurizado pode conter no máximo 150 mil colônias de microrganismos totais por mililitro, ausência de coliformes em 1 mililitro, presença de peroxidase e ausência de fosfatase. Um dos tratamentos recomendados é no intervalo de 72 a 75°C por 15 a 20 segundos (55). Os tratamentos realizados a 72 e 73°C, (Quadros 20 e 21) indicaram um número de colônias totais de microrganismos, inferiores a 120 mil colônias por ml, a presença de peroxidase e ausência de fosfatase nos ensaios realizados a 73°C. O número de colônias de coliformes no tratamento a 73°C foi nulo em três ensaios e presença de 1 (uma) colônia em um ensaio; entretanto, o tratamento indicou um tempo de residência de 13 segundos, fora, portanto, do intervalo previsto na legislação, o que justifica a presença de coliformes; contudo, a eficiência média de redução de colônias de coliformes por ml foi de 100%. Portanto podemos considerar que esse tratamento atendeu as exigências da legislação.

Os tratamentos efetuados a 72°C indicaram presença de colônias de coliformes na ordem de 20 a 35 colônias/ml no leite pasteurizado, embora a eficiência de redução de colônias tenha sido na ordem de 99,97 e 99,98%; porém, o tempo de residência no circuito foi de 10 segundos, tempo bem inferior ao previsto na legislação. A influência desse fator se fez notar na indicação da presença de fosfatase em um dos ensaios, o que vem confirmar que o tempo de residência não foi suficiente para a inativação da mesma.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho, levaram às seguintes conclusões:

1. É recomendado o emprego da válvula controladora e redutora de pressão do vapor devido a grande influência da variação da pressão do vapor nos processos usando o Ejetor
2. A pressão de vapor mínima para se obter processos contínuos na instalação proposta é de $2,10 \text{ kg}^*/\text{cm}^2$
3. O aumento da pressão de vapor permite grande aumento da vazão de alimentação, na ordem de 317 l/h por kg^*/cm^2 de acréscimo de pressão
4. A variação da coluna de leite, tem grande influência na variação da vazão e temperatura da mistura (leite+vapor) sendo necessário portanto o emprego de controlador de nível de alimentação. É recomendado a instalação usando o Ejetor abaixo da linha de alimentação
5. É recomendado o emprego da válvula de controle de fluxo, tipo agulha, na alimentação de leite
6. Não se recomenda o uso de válvula de controle de vazão após o Ejetor
7. A posição do bico em relação ao corpo do Ejetor tem grande influência na vazão de alimentação, a mudança da posição do bico de 1 para 19 aumenta a vazão de 430 l/h (61%). A posição 9 é recomendada
8. É recomendado o uso de uma válvula de retenção a 120 cm do Ejetor para maior condensação do vapor no menor percurso de mistura

9. A diluição do leite integral com água até níveis de 20% tem grande influência na redução da acidez, densidade, % de gordura, índice crioscópico e % de sólidos totais: não indicando variação sensível no pH. O leite pasteurizado pelo Ejetor tem aumento do pH e do índice crioscópico e diminuição da acidez, % de gordura, densidade e % de sólidos totais
10. Nos tratamentos de pasteurização do leite pelo ejetor de vapor obteve-se diluições médias entre 7,75 a 12,9%
11. Análise da % de gordura, % de sólidos totais são os parâmetros indicados para determinar a % de diluição
12. Pasteurização do leite a temperatura de 73°C mesmo com tempo de residência inferior a 15 segundos permitiu atender as exigências legais de pasteurização
13. Tratamento do leite a temperatura inferior a 73°C indicou uma grande redução na contagem total de coliformes, contudo o mesmo não pode ser aceito como pasteurizado.

6. SUGESTÕES

Para estudos futuros sugere-se os seguintes assuntos:

01. Caracterização termodinâmica dos Ejetores de vapor utilizados na Indústria de Laticínios
02. Construção de Ejetores de vapor para pasteurização com maiores capacidades de sucção
03. Análise dos Ejetores de vapor usados na pasteurização de leite e dos modelos usados para produção de vácuo
04. Associação de Ejetores de vapor para aumento de capacidade de sucção
05. Análises termodinâmicas do percurso de mistura (leite + vapor)
06. Caracterização do sistema de residência do leite pasteurizado em tanques
07. Pré-aquecimento do leite a ser pasteurizado
08. Comparação Física, Físico-Química e Bioquímica entre leites pasteurizados pelos sistemas de placas e Ejetor de vapor

09. Estudo da coagulação enzimática do leite pasteurizado pelo sistema de Ejetor de vapor destinado à fabricação de queijos

10. Estudo de Tecnologia de Fabricação de Queijos usando leite pasteurizado pelo sistema de Ejetor de vapor

7. BIBLIOGRAFIA

1. Alais, C. (1970) *Ciência de La Leche* (1ª ed) CECSA, Barcelona, Espanha.
2. American Public Health Association (APHA) (1972) *Standart Method for the Examination of Dairy Products* (13ª ed.) American Public Health Association, Inc., New York, N.Y.
3. Andrade, S.S.F. (1953) *A Evolução da Indústria Nacional de Laticínios*. *Boletim do Leite* - 75:2.
4. ASHRAE (1972) *Handbook of Fundamentals*. (1ª ed.) American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
5. Atherton, H.V., and J.A. Newlander (1977) *Chemistry and Testing of Dairy Products*. (4ª ed.) AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut.
6. Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais (1967) *A Indústria de Laticínios em Minas Gerais*. *Revista do ILCT* - 134:6.
7. _____ (1969) *Diagnóstico do Setor de Laticínios em Minas Gerais*. *Revista do ILCT* - 142-3.
8. Barbosa, H.D.C. (1976) *Coletânea de Leis, Decretos, Portarias, Circulares, que estabelecem as condições para a instalação e funcionamento da indústria de laticínios* (apostila) Instituto de Laticínios "Cândido Tostes" - Juiz de Fora - MG.
9. Nirkkjaer, H.E. (1976) *The influence of Technique Applied in Cheese Making Upon Composition and Quality*. *Danish Dairy Industry* - 1:23.

10. Bochtler, K, (1973) Thermisation des Fromages Frais par Injection Directe de Vapeur. La Technique Laitière-793:37.
11. Brawn, A.H.M.E. Lazar, T. Wasserman, G.S. Smith and M.W. Cole (1951) Rapid Heat Processing of Fluid Foods by Steam Injection. Industrial and Engineering Chemistry - 43:2949.
12. Brawn, C. (1925) Fabricação dos Queijos (1ª ed.) Indústria da Caseína, Editora Técnica Ltda, Rio de Janeiro.
13. Casado, P. y Blanco, C. (1978) Metodos Instrumentais para el Analisis de la Leche (1ª ed.) Asociacion Nacional de Quimicos de Espanã, Madrid, 1978.
14. Croll-Reynolds Co. Inc. (1968) Ejectors-Design and Application of Steam Jet Vacuum. Bolletín E. 68.A - Croll Reynolds Co. Inc., Westfield, New Jersey.
15. Davis, J.D. (1965) Cheese (1ª ed.) J. e A. Churchill Ltda, London - Vol. 1.
16. Delorme, J.M. (1942) Manual Practico de Lecheria e Industrias Derivadas (2ª ed.) Gráfica Y Editorial Susanna, SL - Barcelona, Espanã.
17. Dickerson Jr, R.W, W.H. Stroup, H.E. Thompson Jr and R.B. Read Jr. (1973) Pasteurization of Grade A Milk and Milk Products by Steam Injection. Journal Milk Food Technology - 36:417.
18. Edgerton, E.R, V.A. Jones and J.A. Warren (1970) Effect of Process Variables on the Holding Time in a ULTRA-HIGH - Temperature Steam Injection System. Journal of Dairy Science- 53:1353.

19. Farral, A.W. (1968, 1963) Engineering for Dairy and Food Products. John Wiley and Sons Inc. New York and London.
20. Federation Internationale de Laiterie (FIL-IDF) (1978) Methods for Improving the Quality of Heat Treated Milk. Commission B-Technology and Engineering - Doc. 60, International Dairy Federation (FIL-IDF).
21. Ferreira, A.C. (1970) Proteínas de Soro Removidas com Sucesso na Fabricação de Queijos. Revista do ILCT - 148:13.
22. Fleischmann, W. (1924) Tratado de Lecheria (1ªed.) Editor Gustavo Gili, Barcelona, Espanha.
23. Franklin, J.G. H.M. Underwood, A.G. Perkin and H. Burton (1970) Comparison of Milks Processed by the Direct and Indirect Methods of Ultra-High-Temperature Sterilization (II) The Sporocidal Efficiency of an Experimental Plant for Direct and Indirect Processing. Journal of Dairy Research - 37:219.
24. Frensel, O. (1938) Histórico da Fundação em 1888 da Indústria de Laticínios e seu Desenvolvimento no Brasil. Boletim do Leite - 119:1.
25. _____ (1951) A Indústria de Queijos no Brasil. Boletim do Leite - 52:1.
26. _____ (1959) A Propósito do Queijo. Boletim do Leite - 141:17.
27. _____ (1960) "Alberto Boeke". Boletim do Leite - 159:7.
28. Guimarães, P. (1977) (Comunicação Pessoal).
29. Grosso, A.L. (1946) Aplicación del Proceso de Pasteurización a la leche de Uso Industrial Especialmente em Cuanto a la Fabricación de Quesos. La Industria Lechera-329:803.

30. Hall, C.W. and G.M. Trout (1968) Milk Pasteurization (1ª ed.)
The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut.
31. Hart, F.L. and H.F. Fisher (1971) Modern Food Analysis (1ª ed.)
Spring Verlag, New York, N.Y.
32. Hill, H. (1943) Pasteurization (1ª ed.) H.K. Lewis e Co. Ltd.,
London.
33. Hosken, F.S. (1979) Perspectiva e Problemas na Indústria do
Leite e Derivados (Seminário - A Indústria, o Comércio e o
Consumidor) ITAL, Campinas - SP.
34. INDI (1976) A Indústria Lática de Minas Gerais. Instituto de
Desenvolvimento Industrial de Minas Gerais, Belo Horizonte,
MG.
35. ____ (1978) Situação da Indústria de Laticínios em Minas Ge-
rais. Instituto de Desenvolvimento Industrial de Minas Ge-
rais, Belo Horizonte, MG.
36. Instituto Brasileiro de Petróleo (1975) Curso sobre distribu-
ção de vapor (Apostila) Instituto Brasileiro de Petróleo,
Rio de Janeiro, RJ.
37. Instituto de Laticínios "Cândido Tostes" (1973) Tecnologia
de Fabricação de Queijos (Apostila) Instituto de Laticí-
nios "Cândido Tostes", Juiz de Fora, MG.
38. _____ (1979) (Arquivo Téc-
nico dos Concursos de Produtos Lácteos) Juiz de Fora, MG.
39. Jordan, W.K. and A.C. O'Sullivan (1963) Measuring Dilution or
Concentration of a Fluid Processed in a Steam-Injection
Vacuum Pasteurizer. Journal of Dairy Science - 46:320.

40. Joviano, R., R. Vasconcelos, J. Sabiano Filho e R. S. Santos.
(1970) A Produção de Leite no Brasil. Revista do ILCT,
148:5.
41. Kosikowski, F. (1970) Cheese and Fermented Milk Foods (3ª ed.)
Edwards Brothers Inc., Ann Arbor, Michigan.
42. Leite, E. A. (1978) Proteínas do Soro na Fabricação de Queijos
Minas (Tese Mestrado) Universidade Estadual de Campinas,
Campinas, SP.
43. Madsen, F., W. A. Tavares, E. C. dos Santos, R. Rodrigues e J. R. Ru-
binich (1972) Práticas de Laboratório para a Inspeção In-
dustrial de Leite e Laticínios (3ª ed.) (Apostila) Univer-
sidade Federal de Minas Gerais - Escola de Veterinária,
Belo Horizonte, MG.
44. Minut, J. (1953) Conviene, Majora e se Debe Pasteurizar la
Leche para Elaborar Quesos? La Industria Lechera - 402:26.
45. _____ (1961) Pasteurizacion sua Alternativas Jistóticas y
Técnicas. La Industria Lechera - 507:447.
46. Ministério da Agricultura (1953) Regulamento de Inspeção In-
dustrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal. Serviço
de Informação Agrícola do Ministério da Agricultura, Rio
de Janeiro, DF.
47. _____ (1976) Regulamento da Inspeção In-
dustrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal. Minis-
tério da Agricultura, Brasília, DF.
48. Morgan Jr, A. I. (1960) Use of Direct Steam Injection in Food
Processing. Journal of Dairy Science - 43:1693.
49. Mulvany, J. L. (1951) Resena sobre la Pasteurizacion de la Leche
em la Elaboracion de Quesos. La Industria Lechera - 38:195.

50. Newander, J.A. and H.V. Atherton (1964) The testing and Chemistry of Dairy Products (3^a ed.) The Olsen Publishing Co, Milwaukee, Wisconsin.
51. Pecego, R. (1947) Pasteurização a Jato Direto de Vapor. Boletim do Leite - 2:13.
52. Perkin, A.G. and H. Burton (1970) The Control of the Water Content of Milk During Ultra-high Temperature Sterilization by a Steam Injection Method. Journal of Society of Dairy Technology - 23:147.
53. Peterson, R.D. and W.K. Jordan (1964) Characteristics of Steam Injection Heating. I Dispersion of Noncondensable Gases as Index to Downstream Flow Patterns, II Downstream Temperature Variations Within Fluid Stream After Steam Injection. Journal of Dairy Science - 47:365,370.
54. Pinto, M.E. e A. Houbroken (1976) Metodos de Analises Quimicas de Leche y Productos Lacteos (1^a ed.) Centro Regional de Capacitação em Lecheria de FAO, Santiago, Chile.
55. Ramires, B. (1931) Leiteira Moderna (2^a ed.) J. Rodrigues e Ca., Editores, Lisboa.
56. Ray, G. (1951) Tecnologia Laitière (2^a ed.) Dumond, Paris, França.
57. Rettl, C. e A. Sghedoni (1968) Considerações sobre Pasteurização de Leite para Fabricação de Queijos, Revista do ILCT - 139:21.
58. Reynal, A.O. (1944) Higienizacion de La Leche (1^a ed.) Ed. Atlantida, Buenos Aires,
59. Ribeiro, J.A. (1945) Impressões sobre a Atuação do DIPOA na

Indústria de Laticínios (Boletim da Comissão Executiva do Leite - 38:37.

60. _____, (1947) Pasteurização a Jato Direto. Boletim do Leite - 1:19.
61. _____, (1950) Geografia do Queijo Minas. Felctiano - 30:4.
62. _____, (1950) Queijo Minas Padronizado. Boletim da CCPL 27:59.
63. _____, (1961) Fabricação de Queijo (2ª ed.) Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, DF.
64. _____, (1955) A Indústria Leiteira no Brasil. Felctiano - 60:3.
65. _____, (1957) A Indústria Leiteira da Região de Varginha. Felctiano - 71:28.
66. _____, (1958) Aspectos da Tecnologia Queijeira - Boletim da Sociedade Paulista de Medicina Veterinária - 10:53.
67. _____, (1959) Queijos do Brasil. Revista do ILCT -86:33.
68. _____, (1960) Atualidades Laticinistas - Pasteurização do Leite para Queijos. Boletim do Leite - 155-23.
69. _____, (1962) Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal. Boletim do Leite - 182-17.
70. Rico, L. (1969) La Pasteurizacion de la Leche. La Industria Lechera - 598-141.
71. Roberts, W.M. (1959) Symposium: Latest Developments in the Heat

and Vacuum Treatment of Milk-Problems Involved in Flavor Removal. Journal of Dairy Science - 42:560.

72. _____ and C.W.Dill (1962) Direct-Steam Injection Systems for Processing Fluid Milk Products. Journal of Dairy Science - 45:937.
73. Savini, E. (1946) La Pasteurización de la Leche Aplicada a los Diversos Tipos de Quesos. La Industrial Lechera- 318:22.
74. Shames, I.H. (1970) Mechanic of Fluids (1ª ed.) Mac Graw-Hill Book Company.
75. Sommer, H.H. (1938) Market Milk and Related Products. Published by the author, Madison, Wisconsin.
76. Souza, E.A. (1960) Tecnologia da Fabricação de Queijos. Edição da Revista do ILCT, Juiz de Fora, MG.
77. Streeter, V.L. (1971) Fluid Mechanics (5ª ed.) Mac-Graw-Hill Book Company.
78. Stroup, W.H. R.W.Parker, R.W.Dickerson Jr. and R.B.Read Jr. (1972) Temperature Variations in the Holding Tube During Ultra-High Temperature Pasteurization by Steam Injection. Journal of Dairy Science - 55:177.
79. Tracy, P.H., R.Pedrick and H.C. Lingle (1950) Pasteurization Efficiency of the Vacreator When Used on Ice Cream Mix. Journal of Dairy Science - 33:820.
80. Veisseyre, R. (1975) Technologie du Lait (3ª ed.) La Maison Rustique, Paris, França.
81. Ventura, R.F. (1977) Sistema de Pasteurização Empregado na Pequena Indústria de Laticínios do Brasil. Anais do IVº Congresso Nacional de Laticínios, Juiz de Fora, MG.

82. _____. (1980) Modelos de Instalação de Ejetores de Vapor em Indústrias de Laticínios (no prelo).
83. Wister, G.H. (1964) Practical Cheese Making (10^a ed.) O.S.U. Book Stores Inc., Corvallis, Oregon, USA.

8. APÊNDICE

Apendice I - Produção de Queijos no Brasil nos Últimos Anos e Participação do Estado de Minas Gerais no Total Brasileiro.

Produção Ano	Queijos no Brasil Toneladas	Participação do Estado de MG no Total Brasileiro %
1951	20.659	93,00
1952	24.822	92,00
1953	27.480	93,00
1954	29.835	93,00
1955	30.187	94,00
1956	31.541	93,00
1957	31.406	92,00
1958	37.152	91,00
1959	33.847	88,00
1960	33.135	86,00
1961	20.999	81,00
1962	31.660	78,00
1963	27.240	75,00
1964	31.055	75,00
1965	27.715	74,00
1966	30.360	71,00
1967	29.302	63,70
1968	31.485	68,95
1969	33.498	69,79
1970	44.615	74,80
1971	51.899	78,07
1972	54.134	76,65
1973	55.241	70,41
1974	56.529	70,66
1975	67.898	65,16
1976	78.364	65,52
1977	72.368	

Fonte: (6) (34) (35)

Apêndice 2 - Capacidade Instalada da Indústria de Laticínios em Minas Gerais

Especificação	Transporte de Mil Litros de Leite Por Dia								Total	%
	Até 5	de 5 a 10	de 10 a 20	de 20 a 50	de 50 a 100	de 100 a 300	de 300 a 500	Acima 500		
Fábrica de Laticínios	156	109	40	15	10	1	5	3	339	61,08
Usina de Beneficiamento	2	5	22	29	9	8	1	-	72	12,97
Posto de Resfriamento	5	32	56	23	-	-	-	-	116	20,90
Posto de Coagulação	-	-	-	-	-	-	-	-	3	0,54
Entrepasto Usina	-	-	-	-	-	-	-	1	1	0,18
Entrepasto de Laticínios	24	-	-	-	-	-	-	-	24	4,33
Total	194	146	118	63	19	9	6	4	555	100,00
% do Total	34,23	26,31	21,26	11,35	3,42	1,63	1,08	0,72	-	100,00

Fonte: (35)