



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Faculdade de Engenharia
Campus de Bauru

**PROJETO E ANÁLISE TÉRMICA DE TANQUES DE RESFRIAMENTO DE
LEITE DE CABRA "IN NATURA" PARA QUATRO ORDENHAS**

VITOR MANOEL SALVADEO

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia da UNESP – Campus de
Bauru, para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Mecânica.

BAURU – SP

Maio - 2009



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Faculdade de Engenharia

Campus de Bauru

**PROJETO E ANÁLISE TÉRMICA DE TANQUES DE RESFRIAMENTO DE
LEITE DE CABRA "IN NATURA" PARA QUATRO ORDENHAS**

VITOR MANOEL SALVADEO

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Razuk

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da
UNESP – Campus de Bauru, para obtenção do título
de Mestre em Engenharia Mecânica.

BAURU – SP

Maior – 2009

Salvadeo, Vitor Manoel.

Projeto e análise térmica de tanques de resfriamento de leite de cabra "in natura" para quatro ordenhas / Vitor Manoel Salvadeo, 2009.

57 f. : il.

Orientador: Paulo César Razuk

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2009.

1. Tanques projetados na relação áurea e na batelada quadrada. 2. Resfriamento do leite de cabra. 3. Armazenamento. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE VITOR MANOEL SALVADEO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 24 dias do mês de março do ano de 2009, às 14:00 horas, no(a) ANFITEATRO DO STI, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. PAULO CEZAR RAZUK do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Dr. AUGUSTO RONCHI JUNIOR do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Dr. WALDEMAR GASTONI V FILHO do(a) Departamento de Gas e Tecn Agro-Industr / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de VITOR MANOEL SALVADEO, intitulado "PROJETO E ANÁLISE TÉRMICA DE TANQUES DE RESFRIAMENTO DE LEITE DE CABRA IN NATURA PARA QUATRO ORDENHAS". Após a exposição o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. PAULO CEZAR RAZUK

Prof. Dr. AUGUSTO RONCHI JUNIOR

Prof. Dr. WALDEMAR GASTONI V FILHO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que colaboraram e me incentivaram para a realização deste trabalho, porém algumas merecem uma homenagem especial:

Ao Prof. Dr. Paulo César Razuk por sua orientação, compreensão, atenção e paciência; pelos ensinamentos e conselhos, que muito contribuíram para o engrandecimento deste trabalho e em minha prática pedagógica.

Ao Sr Carlos Roberto Furlanetto, pela ajuda técnica prestada.

Ao amigo Ronan Gobbi da Silveira pelo incentivo e amizade.

Aos demais Professores do Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP- Bauru, pelo convívio e apoio.

A minha esposa Aparecida Pinheiro Salvadeo que sempre me apoiou, mesmo nos momentos mais difíceis.

A meus filhos Vitor Augusto Pinheiro Salvadeo e Denis Henrique Pinheiro Salvadeo pelo incentivo e colaboração.

Ao nosso Deus pai.

Aqueles que se entregam à prática sem ciência são como o navegador que embarca em um navio sem leme nem bússola.

A prática deve fundamentar-se sempre em boa teoria, nenhuma investigação humana pode ser considerada verdadeira ciência se não passar por demonstrações matemáticas.

(Leonardo da Vinci)

RESUMO

Salvadeo, Vitor Manoel, PROJETO E ANÁLISE TÉRMICA DE TANQUES DE RESFRIAMENTO DE LEITE DE CABRA “IN NATURA” PARA QUATRO ORDENHAS, Bauru, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2009. 57 p. Dissertação (Mestrado).

O produtor de leite de cabra, com o apoio e incentivo de entidades governamentais, privadas e ONGs; agrega tecnologia ao leite garantindo uma melhor distribuição de renda e qualidade de vida, fixando-se cada vez mais no campo. O resfriamento do leite após a ordenha é a melhor medida para retardar a proliferação natural das bactérias e sua temperatura deverá ser reduzida de 36 °C para 4 °C no período máximo de 2 horas em cada ordenha. O tempo transcorrido entre a primeira ordenha e seu recebimento na usina de beneficiamento deverá ser, no máximo, de 48 horas. Neste trabalho propõe-se projetar e analisar tanques de resfriamento de leite com capacidades úteis de 320, 500 e 2000 litros em aço inoxidável austenítico AISI 304, utilizando-se do coeficiente global médio (U) e das temperaturas médias de saturação do fluido de refrigeração (X) obtidos em ensaios experimentais. Um objetivo secundário foi verificar a possibilidade da utilização de caixas d'água de polietileno com a mesma capacidade dos tanques, por ser um produto acessível, de baixo custo e que atende as exigências sanitárias, visando obter um produto que possa substituir o aço inoxidável, mas, descartou-se esta possibilidade, pois o fundo plano destas caixas dificultaria a retirada do produto e a limpeza. Nos cálculos envolvidos na geometria para a construção dos tanques, utilizou-se da relação entre a altura cilíndrica e o diâmetro que contemplasse respectivamente, o número áureo $\left[\left(\frac{H}{D}\right) = 1,618\right]$ e a batelada quadrada $\left[\left(\frac{H}{D}\right) = 1\right]$, e observou-se que na relação áurea, há um melhor aproveitamento de chapas para os tanques de 320 e 2000 litros. No tanque de 500 litros o aproveitamento foi de 4,6% menor na batelada quadrada. A diferença em peso é de 3,9 kg, mas, optou-se pela relação áurea, pois além de gerar um tanque esteticamente mais agradável, a potência consumida requerida pelo sistema de agitação resultou 47,2% menor.

Palavras-Chave: Resfriamento do leite de cabra, Armazenamento, Agitação, Evaporador (tipo serpentina) e Tanques projetados na relação áurea e na batelada quadrada.

ABSTRACT

Salvadeo, Vitor Manoel, DESIGN AND THERMAL ANALYSIS OF “IN NATURA” GOAT MILK COOLING TANKS FOR FOUR MILKINGS, Bauru, Engineering Faculty, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 57 p. Dissertation (Master’s Degree).

The goat milk producer, with support and encouragement of governmental and private agencies as well as NGOs, aggregate technology to milk production ensuring a better distribution of income and life quality for all his family, making it possible the maintenance of the country life. The milk cooling after the milking process is the best alternative to delay the natural proliferation of bacteria. The milk temperature should be reduced from 36 °C to 4 °C in a maximum period of time of two hours for each milking. The elapsed time between the first milking and the milk delivery in the processing plant shall be at most 48 hours. In this work, we propose to design and analyze milk cooling AISI 304 austenitic stainless steel 320, 500 and 2000 liters tanks, using the mean global coefficient (U) and mean saturation temperatures of the refrigeration fluid (X), obtained experimentally. Besides stainless steel built tanks, accessible low cost polyethylene watertanks, with same dimensions of the steel tanks, attending the necessary sanitary requirements were used, aiming for an alternative product that can replace stainless steel. However, this possibility was rejected, because its flat basis would make it hard the product removal and its cleaning. During the geometric calculations in the manufacturing of the tanks, the relationship between the cylindrical height and the diameter was defined in order to provide the golden ratio and batch square, $\left[\left(\frac{H}{D}\right) = 1,618\right]$ and $\left[\left(\frac{H}{D}\right) = 1\right]$ respectively. It was observed that the use of golden ratio provides a better utilization of the steel plate for 320 and 2000 liters tanks. For the 500 liters tank, the performance was 4.6% worse the batch square. The weight difference is 3.9 kg, but we have chosen the golden ratio, because besides producing a more esthetically pleasant tank, the waste in power consumption due to the agitation system resulted in a reduction of 47.2%.

Keywords: Goat Milk Cooling, Storage, Agitation, Evaporator (Serpentine type) and Designed Tanks Using Golden Ratio and Batch Square.

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Lista de figuras.....	ix
Lista de tabelas.....	ix
Lista de símbolos.....	xi
1- INTRODUÇÃO.....	1
1.1- Objetivos.....	2
1.2- Justificativa.....	3
2- REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 - A cabra leiteira.....	4
2.2 - As raças caprinas.....	7
2.3 - O leite.....	8
2.3.1 - Variação da constituição físico-química do leite de cabra.....	10
2.3.2 - Período de lactação das cabras.....	12
2.3.3 - Destino do leite de cabra produzido no Brasil.....	13
2.3.4 - Sistemas de ordenha para cabras.....	14
2.3.5 - Limpeza de equipamentos de ordenha e tanques.....	15
2.4 - Legislação.....	16
2.5 - Relação áurea no dimensionamento de tanques.....	18
2.6 - Geometria de tanques.....	20
2.6.1- O estabelecimento da geometria de tanques verticais.....	21
2.6.2 - A relação ótima entre o diâmetro e a altura do costado.....	21
2.6.3 - Critérios de cálculos para dimensionamento da sustentação.....	23
2.7 - Agitação.....	24
2.7.1- Situação mais geral- cálculo a partir do nível de agitação.....	25
2.7.2 - Procedimento de cálculo.....	26
2.8 - Troca de calor.....	33
2.8.1- Superfície de troca de calor necessária.....	35
2.9 - Refrigeração.....	36

3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1- Materiais.....	38
3.2 - Métodos.....	39
3.2.1- Aplicação da modelagem matemática.....	39
4 - RESULTADOS.....	40
4.1- Tanques.....	40
5 - CONCLUSÕES.....	52
Referências Bibliográficas.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Motoredutor de eixo vazado (FAF).....	24
Figura 2 - Turbina universal de pás planas inclinadas.....	25
Figura 3 - Tanque de refrigeração.....	42
Figura 4 - Tanque com a serpentina.....	44
Figura 5 - Unidade condensadora Danfoss Compact Line.....	44
Figura 6 - Unidade condensadora Danfoss Blue Star.....	45
Figura 7 - Agitador.....	47
Figura 8 - Desenho do tanque projetado de 320 litros.....	49
Figura 9 - Desenho do tanque projetado de 500 litros.....	50
Figura 10 - Desenho do tanque projetado de 2000 litros.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evoluções de rebanho bovino e caprino em um período de 12 anos.....	5
Tabela 2 - Recuperação do capital empregado em um rebanho de 10 vacas e 10 cabras.....	6
Tabela 3 - Composição do leite de diferentes espécies.....	8
Tabela 4 - Níveis de minerais e vitaminas dos leites caprino, ovino, bovino e humano.....	9
Tabela 5 - Caracterização físico-química e física do leite de cabra in natura reconstituído..	11
Tabela 6 - Picos de lactação em decorrência da raça.....	12
Tabela 7 - Produção de leite em decorrência da raça.....	13
Tabela 8 - Etapas da limpeza em equipamentos de ordenha com sujidades diferentes.....	15
Tabela 9 - Funções dos produtos de limpeza.....	16
Tabela 10 - Requisitos exigidos na qualidade do leite.....	17
Tabela 11 - Critérios Microbiológicos e Tolerâncias.....	18
Tabela 12 - Nível de agitação.....	27
Tabela 13 - Outra classificação para a intensidade de agitação.....	28
Tabela 14 - Geometria dos tanques projetados para relação áurea.....	40
Tabela 15 - Dimensões relativas à agitação.....	40
Tabela 16 - Materiais fornecidos em chapas nas seguintes dimensões.....	41
Tabela 17 - Aproveitamento de chapas e suas taxas para relação áurea.....	41
Tabela 18 - Dimensões principais dos tanques para batelada quadrada.....	41
Tabela 19 - Aproveitamento de chapas e suas taxas para batelada quadrada.....	42

Tabela 20 - Comparação entre os resultados das relações áurea e quadrada.....	42
Tabela 21 - Fluxo necessário para a troca de calor.....	43
Tabela 22 - Área e comprimento da serpentina.....	43
Tabela 23 - Características dos componentes das unidades condensadoras.....	45
Tabela 24 - Características construtivas dos evaporadores.....	46
Tabela 25 - Características técnicas dos sistemas de agitação.....	46
Tabela 26 - Comparação entre os diâmetros do impelidor e às potências consumidas.....	47
Tabela 27 - Dados necessários para os cálculos da sustentação.....	48
Tabela 28 - Resultados obtidos com os cálculos da sustentação.....	48

LISTA DE SÍMBOLOS:

A	=	Área da seção transversal do tanque [m^2]
A_1	=	Área do costado [m^2]
A_2	=	Área de troca de calor ou área da seção transversal do tanque [m^2]
C	=	Força de reação da perna em relação ao tanque cheio
C_1	=	Custo de fabricação do costado
C_2	=	Custo da tampa
C_3	=	Custo do fundo
C_4	=	Custo da fundação
C_5	=	Custo da área ocupada
C_t	=	Custo total
C_{pc}, c	=	Calor específico do leite de cabra [kcal/kg.°C]
D	=	Diâmetro interno do tanque [mm]
d	=	Diâmetro do impelidor [mm]
e	=	Excentricidade da perna em relação ao tanque [cm]
f	=	Tensão resultante [N/cm^2]
f_a	=	Tensão axial de compressão [N/cm^2]
f_b	=	Tensão de flexão [N/cm^2]
f_u	=	Fator de correção da viscosidade, adimensional
H	=	Altura da parte cilíndrica do tanque [mm]
K	=	Condutividade térmica [kcal/m.h.°C]
L	=	Comprimento da serpentina [m]
l	=	Largura das pás [mm]
m	=	Massa do líquido [kg]
M	=	Massa do produto [kg]
N	=	Rotação do agitador [rpm]
NA	=	Nível de agitação
N_q	=	Número de bombeamento ou eficiência, adimensional
NP_o	=	Número de potência dos impelidores, adimensional
N_{rey}	=	Número de Reynolds
N_{rey}^*	=	Número de Reynolds modificado
n	=	Número de pernas do tanque
n	=	Número de impelidores

P	=	Potência requerida [kW]
Q	=	Capacidade de deslocamento volumétrico [m ³ /min]
Q	=	Quantidade de calor sensível [kcal]
q	=	Fluxo de calor [kcal/h]
S	=	Tensão admissível [N/cm ²]
S	=	Superfície de troca de calor [m ²]
s_t	=	Seção transversal do tubo da perna [cm ²]
T_i	=	Temperatura inicial [°C]
T_f	=	Temperatura final [°C]
Δt	=	Diferença de temperatura [°C]
t_r	=	Tempo necessário para revolver o conteúdo do tanque uma vez [min]
U	=	Coeficiente global médio [W/m ² °C]
V	=	Volume útil [m ³]
V_c	=	Volume do costado [l]
v	=	Velocidade média do produto no tanque [m/min]
X	=	Temperatura de saturação [°C]
w	=	Massa total do tanque [kg]
w_f	=	Módulo de resistência à flexão [cm ³]
μ	=	Viscosidade [cP]
ϕ	=	Número áureo
ρ	=	Densidade [kg/m ³]
θ	=	Tempo [h]

1 - INTRODUÇÃO

No mercado atual, no contexto sócio-econômico e na economia do país, é cada vez maior a importância do pequeno produtor de leite de cabra no desenvolvimento produtivo da cadeia leiteira nacional, mas, que para manter a competitividade necessária do seu produto precisa de planejamento, apoio da comunidade familiar, das associações, cooperativas, etc. Visando a busca de novas informações e de novos paradigmas para melhorar a qualidade do leite de cabra produzido pelos pequenos produtores da região nordeste, procurou-se analisar a viabilidade e comparar caixas d'água de polietileno (resinas termoplásticas derivada do petróleo) para a substituição dos tanques de resfriamento de leite existentes no mercado industrial, sendo esses fabricados em aço inoxidável.

Vários pesquisadores constatam que a caprinocultura brasileira se destacará como atividade de grande impacto sócio-econômico, devido ao crescente investimento nessa atividade, com a aplicação de novas tecnologias, visando o aumento da produtividade dos rebanhos, especialmente a do leite.

Deve-se analisar adequadamente os aspectos da vida do pequeno produtor de leite de cabra, seu conhecimento a respeito do mercado e as características necessárias para empreender com sucesso uma nova concepção de atitudes e manejo, bem como, os que possam influir na obtenção de financiamento, atualmente disponíveis no âmbito dos programas governamentais.

Montingelli (2005) cita que, com estas perspectivas, o pequeno produtor terá incentivos de continuar e até aumentar a sua criação, fornecendo leite de cabra de qualidade para o consumo nacional, agregando valores a caprinocultura básica.

A melhoria de renda deste segmento por meio de sua maior inserção no mercado tem impacto importante no interior do país e por consequência nas grandes metrópoles.

Segundo Costa (2005) a região nordeste produz diariamente 10.000 litros de leite de cabra ou 45,4% da produção nacional. O estado do Rio Grande do Norte é o principal produtor, com 8.500 litros-dia. No estado do Ceará, a produção diária de leite chega aos 1.000 litros, sendo que a região norte do estado apresenta um potencial de produção de 400 litros de leite por dia.

Ainda de acordo com Costa (2005) a produção do sudeste é de 12.000 litros, 54,6% de todo o leite de cabra que é produzido no país; por apresentar uma cadeia produtiva

organizada, com processamento industrial e a garantia de comercialização do leite e de seus derivados, garantindo a evolução do setor.

Para Leite (2000) a ovinocaprinocultura no nordeste brasileiro é um negócio economicamente sustentável, gerando excedentes aos criadores, industriais e comerciantes, desde que apoiados pelos órgãos governamentais e a iniciativa privada.

Segundo o Programa Luz para Todos (2008) a região nordeste apresenta o maior percentual de domicílios rurais sem atendimento elétrico com 1,2 milhões de domicílios ou 58,8%, derivados, sobretudo, das condições de grande dispersão geográfica, predominância de comunidades geralmente com poucos habitantes e distantes da rede convencional.

No que tange ao fornecimento de energia elétrica, o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) prevê aplicar R\$ 8,7 bilhões no Programa Luz para Todos (PLT). Até 2010, cinco milhões de pessoas do meio rural serão atendidas com ligação de luz elétrica.

Segundo notícias de Furnas (2008) o Programa Luz para Todos (PLT), carrega infinitas possibilidades como indutor do progresso econômico e social. Ele se propõe a fazer do advento da energia um vetor de desenvolvimento e renda para os beneficiados.

Já foi constatado, também, que o programa tem um impacto positivo no que diz respeito à melhoria da qualidade de vida das famílias beneficiadas, que hoje têm acesso a bens que dependem da energia elétrica para funcionar. E não é só a compra de eletrodomésticos e eletroeletrônicos que a energia tem possibilitado. Com ela, as comunidades estão investindo também na aquisição de equipamentos e implementos agrícolas, como resfriadores de leite, picadeira de ração para gado e equipamentos para irrigação de plantações, que acabam por potencializar a capacidade produtiva das propriedades atingidas.

Com todas essas perspectivas espera-se que o pequeno produtor de leite de cabra consiga adquirir tanques de refrigeração, para uma melhor qualidade do leite com um menor custo.

1.1 - Objetivos

Neste trabalho propõe-se projetar e analisar tanques de resfriamento de leite com capacidades úteis de 320, 500 e 2000 litros em aço inoxidável austenítico AISI 304 [ligas de cromo (17% a 25%) e níquel (7% a 20%)], utilizando-se do coeficiente global médio (U) e das temperaturas médias de saturação do fluido de refrigeração (X) obtidos por Razuk (2001).

Por ser um produto acessível, de baixo custo e que atende as exigências sanitárias, um objetivo secundário foi verificar a possibilidade da utilização de caixas d'água de polietileno com a mesma capacidade dos tanques visando obter a um produto que possa substituir o aço inoxidável austenítico.

1.2 - Justificativa

Com os incentivos do governo federal através do Plano Agrícola e Pecuário (PAP), lançado em 2006/2007, do Plano de Integração Lavoura – Pecuária (ILP) e Programa Luz para Todos (PLT), para as regiões Norte e Nordeste, tem-se uma série de benefícios para produtores, consumidores, meio ambientes e toda a sociedade.

As ações do ILP envolvem os setores públicos e privados, sob a coordenação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA e suporte técnico-científico da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), que criou um núcleo de pesquisa que tem como tema central o agro-negócio sustentável do leite caprino com qualidade, dando ênfase à produção, ao processamento e ao mercado, com o objetivo geral de contribuir para promover o desenvolvimento da cadeia produtiva da caprinocultura leiteira.

Segundo Costa (2005) neste núcleo de pesquisa as propostas de pesquisa são as biotécnicas de reprodução em pequenos ruminantes domésticos com inseminação artificial e transferência de embriões; sistemas de alimentação para cabras leiteiras e avaliação da resistência a verminose gastrointestinal em caprinos leiteiros.

Pensou-se nas caixas d'água de polietileno (resinas termoplásticas derivada do petróleo) para a confecção dos tanques, por ser um produto acessível e de baixo custo, baixa condutibilidade térmica, inerte face à maioria dos produtos químicos comuns, devido à sua natureza parafínica, seu alto peso molecular e sua estrutura parcialmente cristalina, é material absolutamente atóxico devidamente aprovado para contato com alimentos pelo Instituto Adolfo Lutz, Ministério da Saúde.

Espera-se, com essas ações, a redução de custos, a diversificação das atividades rurais, maior produtividade, incrementando o setor leiteiro nordestino e na fixação do homem no campo.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - A cabra leiteira

De acordo com o site www.cienciadoleite.com.br (sd) a cabra é conhecida desde os tempos pré-históricos por extrair alimentos de zonas incapazes de sustentar o gado bovino.

A cabra é um animal rústico que tem características próprias e, diferente de outros ruminantes, é capaz de subir em uma árvore para comer. Utiliza todos os resíduos vegetais que os outros animais refugam, especialmente arbustos, se adaptam bem ao meio e são poucas as doenças a que está sujeita.

Deve-se ressaltar que os caprinos apresentam fertilidade superior a 100%, atingindo até duas parições por ano.

As cabras são dos poucos animais que podem produzir carne e leite em áreas degradadas com cobertura vegetal esgotada.

Para Costa (2005) as cabras no sertão nordestino, por conviverem durante anos com as condições adversas do clima e isoladas geograficamente em seu habitat, formaram grupos com características próprias através da seleção natural e do isolamento genético, dando origem às raças locais Moxotó, Marota, Canindé, Gurgueia e Repartida, cujas características são a rusticidade, a prolificidade e a alta qualidade do couro. Desses animais os tipos Repartida e Marota se encontram em estado mais crítico de preservação.

Segundo Vasconcelos et al (2005) o Brasil detém 22.487 mil cabeças, sendo 37% de caprinos e 63% de ovinos. Do efetivo nacional de caprinos, 1,4% encontra-se na região Norte, 93% no Nordeste, 2,4% no Sudeste, 1,9% no Sul e 1% no Centro- Oeste. A região nordeste, detentora do maior rebanho de caprinos e ovinos, abrange uma área total de 166,2 milhões de hectares, dos quais 95,2 milhões (57%) estão inseridos na zona semi-árida. As microrregiões geográficas de Juazeiro (BA), Euclides da Cunha (BA), Alto Médio Canindé (PI), Campo Maior (PI), São Raimundo Nonato (PI), Petrolina (PE) destacam-se como principais produtoras de caprinos. Cerca de 50% do rebanho de caprinos e ovinos do nordeste estão localizados em propriedades com menos de 30 hectares.

No panorama mundial, os maiores detentores de rebanhos caprinos são a Índia, a China e o Paquistão, que, conjuntamente, concentram 42% do rebanho do globo.

As Tabelas 1 e 2 mostram evoluções de plantéis bovinos e caprinos, comparando o crescimento vegetativo de cada rebanho, o investimento inicial com a aquisição de 10 vacas e 10 cabras e a respectiva recuperação do capital inicial, acrescido do valor dos animais nascidos ao longo de 12 anos.

Tabela 1 - Evoluções de rebanho bovino e caprino em um período de 12 anos.

Rebanho bovino			
Ano	Fêmeas		
	Vacas	Crias	Total
1	10	4 bezerras	14
2	9	4 bezerras + 4 garrotas	17
3	8	3 bezerras + 4 garrotas + 4 novilhas	19
4	11	4 bezerras + 3 garrotas + 4 novilhas	22
5	13	5 bezerras + 4 garrotas + 3 novilhas	25
6	14	6 bezerras + 5 garrotas + 4 novilhas	29
7	16	6 bezerras + 6 garrotas + 5 novilhas	33
8	19	8 bezerras + 6 garrotas + 6 novilhas	39
9	22	9 bezerras + 8 garrotas + 6 novilhas	45
10	25	10 bezerras + 8 garrotas + 8 novilhas	51
11	28	11 bezerras + 9 garrotas + 8 novilhas	56
12	31	12 bezerras + 10 garrotas + 9 novilhas	62
Rebanho caprino			
Ano	Fêmeas		
	Cabras	Crias	Total
1	10	8 até um ano	18
2	12	10 até um ano + 3 mais de um ano	25
3	18	15 até um ano + 4 mais de um ano	37
4	24	21 até um ano + 6 mais de um ano	51
5	34	29 até um ano + 9 mais de um ano	72
6	48	41 até um ano + 13 mais de um ano	102
7	70	59 até um ano + 18 mais de um ano	147
8	98	82 até um ano + 26 mais de um ano	206
9	138	116 até um ano + 37 mais de um ano	291
10	195	164 até um ano + 52 mais de um ano	396
11	275	231 até um ano + 74 mais de um ano	580
12	389	327 até um ano + 104 mais de um ano	820

Fonte: <http://www.ovinocultura.com.br/artigo6.htm>

Indicadores Técnicos:

- a) **Bovinos:** Parição - 80% ao ano; Descarte ano I - 5%, ano II - 8%, demais anos 15%;
Mortalidade - bezerras - 6%, garrotas - 3% e adultos - 2%.
- b) **Caprinos:** 80% de parição a cada 8 meses, ou seja 120% ao ano, com 40% de partos duplos; Descarte 20% ao ano; Mortalidade - adultos - 3%; animais até um ano - 10%.

Obs.: Com inseminação artificial tanto nas vacas, como nas cabras.

Tabela 2 - Recuperação do capital empregado em um rebanho de 10 vacas e 10 cabras.

Rebanho bovino			
Ano	Fêmeas		
	Vacas	Crias	Total (R\$)
1	10.000	800	10.800
2	9.000	800 + 1.600	11.400
3	8.000	600 + 1.600 + 2.800	13.000
4	11.000	800 + 1.200 + 2.800	15.800
5	13.000	1.000 + 1.600 + 2.100	17.700
6	14.000	1.200 + 2.000 + 2.800	20.000
7	16.000	1.200 + 2.400 + 3.500	23.100
8	19.000	1.600 + 2.400 + 4.200	25.800
9	22.000	1.800 + 3.200 + 4.200	31.200
10	25.000	2.000 + 3.200 + 5.600	35.800
11	28.000	2.200 + 3.600 + 5.600	39.400
12	31.000	2.400 + 4.000 + 6.300	43.700
Rebanho caprino			
Ano	Fêmeas		
	Cabras	Crias	Total (R\$)
1	1.500	480	1.980
2	1.800	600 + 450	2.850
3	2.700	900 + 600	4.200
4	3.600	1.260 + 900	5.760
5	5.100	1.740 + 1.350	8.190
6	7.200	2.460 + 1.950	11.610
7	10.500	3.540 + 2.700	16.740
8	14.700	4.950 + 3.900	23.550
9	20.700	6.960 + 5.550	33.210
10	29.250	9.900 + 7.800	46.950
11	41.250	13.860 + 11.100	66.210
12	58.350	19.620 + 15.600	93.570

Fonte: <http://www.ovinocultura.com.br/artigo6.htm>

Obs: Valores em Reais: vaca - 1.000,00; novilhas - 700,00; garrotas - 400,00 e bezerras - 200,00; cabras - 150,00; cabritas - 60,00.

Do ponto de vista financeiro, o rebanho de vacas geraria um estoque financeiro de R\$44 mil, enquanto que as cabras gerariam um capital da ordem de R\$93 mil.

Para Brasil (2008) as cabras proporcionam quantidades consideráveis de carne e leite de boa qualidade nutricional mesmo para aquele que dispõe de pequenas áreas. Para as populações mais pobres do mundo é a fonte de proteína animal capaz de contribuir para

satisfação desta necessidade a baixo custo, principalmente por sua habilidade de superar fatores ambientais variados.

A cabra é um animal doméstico por excelência, portanto é dócil, fácil de ser tratada e ordenhada e se alimenta de quase tudo. Já ficou provado que, proporcionalmente, a cabra produz mais leite do que a vaca, necessitando de menor quantidade de alimentos.

De acordo com Filho (1999) a região semi-árida nordestina tem vocação natural para o pastoreio e, em particular, para a exploração da ovinocaprinocultura, desde que sejam adotadas as tecnologias adequadas e haja integração entre os subsistemas da cadeia produtiva, sobretudo em relação aos elos produção – processamento.

Largamente explorados de forma extensiva, esses animais têm aumentado seu contingente populacional graças à rusticidade e à adaptação ao meio ambiente, onde predomina a vegetação da caatinga.

2.2 - As raças caprinas

Segundo Brito (2008) as raças caprinas no Brasil são formadas por três grupos distintos:

- pelos caprinos denominados nativos, cujas raças são: Canindé, Moxotó, Marota, Repartida e Gurgueia, que costumam ser mais resistente a doenças e parasitas, mais rústicas, baixa produção leiteira (300 a 500 gramas por dia), são de pequeno porte, normalmente criados em sistemas extensivo e semi-extensivo, localizadas na região nordeste.
- pelos caprinos importados mais recentemente pelo Brasil, cujas raças são: Anglonubiana, Jamnary e Bbuhy.
- pelos caprinos introduzidos em nosso país há pouco tempo, cujas raças são: Saanen, Parda alpina, Branca alemã, Parda alemã e Toggenburg, com uma melhor produção de leite.

Ainda de acordo com Brito (2008) as raças podem ser consideradas naturais que são as raças nativas ou aperfeiçoadas ou melhoradas que sofreram intervenção do homem em sua formação seguindo critérios pré-estabelecidos com a finalidade de obter melhores produções de acordo com sua necessidade e conveniência.

2.3 - O leite

Uma cabra pode produzir de 300 mililitros a 9 litros de leite por dia. Para o Brasil a meta é que se tenham animais melhorados capazes de produzir 2 litros de leite por dia.

Segundo Leite (2000) a produção nacional diária de leite de cabra é de 22.000 litros. O potencial de demanda, mesmo considerando-se que a clientela para o leite de cabra é formada por um público diferenciado, é o dobro destes valores de produção, havendo, portanto, um déficit de oferta de 22.000 litros/dia ou 660.000 litros de leite por mês.

Conforme Costa (2005) o leite de cabra começa a se firmar e ganhar conceito como um alimento nutritivo na dieta do povo brasileiro, contendo os elementos necessários à nutrição humana, como açúcar (lactose), proteínas, gorduras, vitaminas, ferro, cálcio, fósforo e outros minerais.

A lactose é a principal fonte de fermentação do leite. Embora seja ligeiramente menor no leite de cabra, a ação enzimática das bactérias do fermento láctico, no processo de homofermentação é inteiramente transformada em ácido láctico.

A Tabela 3 apresenta a composição do leite de diferentes espécies.

Tabela 3 - Composição do leite de diferentes espécies.

Componentes Espécies	Densidade (g/ml)	Água (%)	Proteína (%)	Gordura (%)	Lactose (%)	Matéria Seca (%)	Sais Minerais (%)
Humana	1.031	88,12	1,90	4,50	5,30	11,88	0,18
Eqüina	1.031	88,80	2,70	2,50	5,50	11,20	0,50
Caprina	1.032	87,54	3,70	4,20	4,00	12,46	0,56
Ovina	1.038	80,41	6,52	6,86	5,23	19,59	0,98
Muar	1.033	90,45	1,70	1,55	5,80	9,55	0,50
Bubalina	1.034	82,05	4,00	7,98	5,18	17,95	0,79
Bovina	1.030	87,25	3,50	3,80	4,80	12,75	0,65

Fonte: <<http://www.cienciadoleite.com.br/valornutritivo.htm>>

De acordo com Montingelli (2005) diversas são as características do leite de cabra que o definem como altamente digestivo, a principal e mais conhecida é a do tamanho de seus glóbulos de gordura que são bem diferentes dos glóbulos de gordura do leite de vaca, para ambos os tipos de leite, é de 1 a 10 micra, porém 28% dos glóbulos de gordura de leite de cabra, contra apenas 10% do leite de vaca, apresentam diâmetro igual ou inferior a 1,5 microns.

Na Tabela 4 podem ser observados os níveis de minerais e vitaminas dos leites caprino, ovino, bovino e humano.

Tabela 4 - Níveis de minerais e vitaminas dos leites caprino, ovino, bovino e humano.

Minerais	Unidade	Espécies			
		Caprino	Ovino	Bovino	Humano
Cálcio (Ca)	mg	134	193	122	33
Fósforo (P)	mg	121	158	119	43
Magnésio (Mg)	mg	16	18	12	4
Potássio (K)	mg	181	136	152	55
Sódio (Na)	mg	41	44	58	15
Cloro (Cl)	mg	150	160	100	60
Enxofre (S)	mg	28	29	32	14
Ferro (Fe)	mg	0,07	0,08	0,08	0,2
Cobre (Cu)	mg	0,05	0,04	0,06	0,06
Manganês (Mn)	mg	0,032	0,007	0,02	0,07
Zinco (Zn)	mg	0,56	0,57	0,53	0,38
Iodo (I)	mg	0,022	0,02	0,021	0,007
Selênio (Se)	µg	1,33	1,00	0,96	1,52
Alumínio (Al)	mg	n.d.	0,05 – 0,18	n.d.	0,06
Vitaminas	Unidade	Caprino	Ovino	Bovino	Humano
A	UI	185	146	126	190
D	UI	2,3	0,18 µg	2,0	1,4
B ₁ (Tiamina)	mg	0,068	0,08	0,045	0,017
B ₂ (Riboflavina)	mg	0,21	0,376	0,16	0,02
B ₃ (Niacina)	mg	0,27	0,416	0,08	0,17
B ₅ (Ác. Pantotênico)	mg	0,31	0,408	0,32	0,20
B ₆	mg	0,046	0,08	0,042	0,011
Ácido Fólico	µg	1,0	5,0	5,0	5,5
Biotina	µg	1,5	0,93	2,0	0,4
B ₁₂	µg	0,065	0,712	0,357	0,03
C	mg	1,29	4,16	0,94	5,0

Fonte: Park et al., 2007

Observa-se também as diferenças existentes entre os tipos de ácidos graxos que compõem a gordura dos leites de cabra e de vaca, sendo que o leite de cabra apresenta 18% de ácidos graxos de cadeia curta (de 4 a 10 carbonos), ou seja, o dobro do leite de vaca; responsáveis pelo aroma, representados, sobretudo pelos ácidos caproico (Hexanoico), caprílico (Octanoico) e cáprico (Decanoico).

Segundo Emediato (2008) o leite caprino e ovino tem maior quantidade de vitamina A do que o leite de vaca. Isto acontece porque as cabras convertem todo o beta-caroteno em vitamina A no leite e por isso o leite de cabra é muito mais branco do que o bovino. O leite de cabra fornece quantidades adequadas de vitamina A e B3 (niacina) e excesso de vitaminas B1 (tiamina), B2 (riboflavina) e B5 (ácido pantotênico) com relação às exigências de crianças.

O MAPA criou o Cadastro Nacional de Produtores de Leite, no qual as indústrias de laticínios deverão cadastrar todos os produtores rurais que lhes fornecem leite. Uma vez cadastrado cada produtor será monitorado pelo MAPA enquanto ele produzir leite no Brasil, mesmo que passe a vender para outra empresa. Com isso, o MAPA vai fiscalizar a qualidade do leite em cada propriedade rural do país, garantindo alimentos lácteos seguros à população.

2.3.1 - Variação da constituição físico-química do leite de cabra

Conforme Furtado (2007) as variações na composição do leite de cabra estão em função de alguns parâmetros tais como: raça, indivíduo, estado de lactação e a alimentação. Entre os animais a diferença na variação da composição do leite é mais acentuada de indivíduo para indivíduo do que de raça para raça, podendo ser maior entre indivíduos de mesma espécie. O estado de lactação está intimamente ligado a alimentação, a água, aos fatores climáticos, principalmente se forem cabras importadas (Vieira, 1984), por isso, o estado de lactação possui importância capital na variação da composição do leite de cabra.

Ainda para Furtado (2007) o teor de gordura e proteínas do leite aumenta do princípio para o final da lactação em função da alimentação, sendo uma variação importante, especialmente a gordura que é fundamental na fabricação de queijos e esta influência é bastante percebida nos queijos de diferentes regiões da França.

Na Tabela 5 observa-se a variação da constituição físico-química do leite de cabra in natura e reconstituído.

Tabela 5 - Caracterização físico-química e física do leite de cabra *in natura* e reconstituído.

Propriedades físico-químicas e físicas	Leite de cabra <i>In natura</i>	Leite de cabra Reconstituído- Spray dryer	Leite de cabra Reconstituído- leito de jorro
<i>Teor de sólidos totais (%) *</i>	15,15±0,001	11,80±0,001	12,00±0,001
<i>pH</i>	6,64±0,005	6,70±0,005	6,63±0,005
<i>Acidez (% ácido láctico)</i>	26,04±0,003	22,43±0,007	25,69±0,005
<i>Atividade de água **</i>	0,987±0,001	0,991±0,001	0,988±0,001
<i>Densidade (g/ml)</i>	1,0324±0,001	1,0351±0,002	1,0383±0,001
<i>Tensão superficial (dyna/cm)</i>	36,16±0,18	37,54±0,15	39,28±0,09
<i>Condutividade (W/m°C)</i>	0,56±0,005	0,46±0,015	0,56±0,020
<i>Difusividade (m/s)</i>	1,20E-07±0,000	1,10E-07±0,000	1,27E-07±0,000
<i>Calor específico (Kj/Kg °C)</i>	4,84±0,049	4,28±0,143	4,56±0,265
<i>Viscosidade (Pa.s)</i>	0,002±0,000	0,003±0,000	0,003±0,000

Fonte: <http://www.abq.org.br/cbq/2007/trabalhos/10/10-404-557.htm>, citado por Medeiros et al (2007)

* O leite de cabra *in natura* utilizado nos ensaios é da raça Moxotó, cujos teores de sólidos totais eram sempre superiores a média encontrada na literatura (12,0%), especificamente o teor encontrado foi de 12,8% a 15,1%, sendo que o leite de cabra *in natura* (15,1% de sólidos totais) era submetido ao processo de desidratação em secador de leite de jorro e em spray dryer, após a obtenção do leite em pó este era rehidratado até a faixa de concentração de 12% (que é a faixa de concentração que o rótulo do leite de cabra industrial sugere que faça a diluição).

** As propriedades físico-químicas estudadas neste trabalho foram: pH, acidez e atividade de água. O pH foi medido diretamente através de um potenciômetro previamente calibrado, Método nº 4.7.2 (Instituto Adolfo Lutz, 1985). A acidez expressa em ácido láctico foi determinada pelo Método nº 15.1.5.1 (Instituto Adolfo Lutz, 1985). As medidas da atividade de água foram realizada no Aqualab, os resultados obtidos para a caracterização

físico-química (pH, acidez e água) mostram que praticamente não há alteração significativa entre as três amostras, onde as pequenas variações ocorridas são devidas ao processo de secagem e ao tipo de armazenamento, podendo desta forma ser desprezível essas diferenças.

A caracterização física do leite de cabra in natura e reconstituído foi realizada na temperatura de 23 °C.

2.3.2 - Período de lactação das cabras

Para Rocha (2007) o período de lactação das cabras varia de acordo com os fatores genéticos ou hereditários, mas também por outros fatores, como a alimentação, temperatura, clima, manejo, entre outros. A qualidade e a quantidade do leite produzido não dependem somente da capacidade leiteira da cabra, mas principalmente, da alimentação por elas recebida, na qual elas encontram os elementos de que necessitam para uma boa lactação.

Conforme Vieira (2006) o seu pico de produção é em geral, de 140 a 160 dias, com a média de 150 dias. O seu pico de produção varia muito, de acordo com a raça, como se comprova pelos dados da Tabela 6 obtidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG).

Tabela 6 – Picos de lactação em decorrência da raça.

Raças	Picos de lactação (dias)
Branca alemã	45 a 60
Toggenbourg	30 a 60
Saanen	no início da lactação
Parda alemã	15 a 45

Fonte: <http://www.epamig.br/>, citado por Vieira (2006)

Quanto à quantidade de leite, foram obtidos os resultados inseridos na Tabela 7, ajustados para 180 dias de lactação, para três partos em 2 anos e média de 1,5 cabritinhos por parto.

Tabela 7 – Produção de leite em decorrência da raça.

Raça	Produção leiteira (leite/dia)
Saanen	2,8
Parda alemã	2,36
Branca alemã	2,13
Toggenbourg	2,27
Todas	2,23

Fonte: <http://www.epamig.br/>, citado por Vieira (2006)

Ainda de acordo com Vieira (1984) no período de lactação, um fator preponderante na produção leiteira é a água, sendo o elemento que aparece em maior quantidade na composição do leite, na proporção de 4 a 4,5 litros para cada quilo de matéria seca (MS) e que há um aumento significativo na quantidade de leite produzido entre as terceira e quarta lactações, em comparação com a primeira e segunda lactações, porém, deve-se observar que as cabras quando importadas produzem menos leite devido ao clima.

2.3.3 – Destino do leite de cabra produzido no Brasil

Segundo Guimarães et al (2007) dentre os produtos lácteos caprinos produzidos e industrializados, os mais frequentes são: leite de cabra integral pasteurizado e ou congelado, leite de cabra em pó, leite de cabra esterilizado, leite de cabra UHT (Ultra High Temperature) – Longa Vida, iogurtes e bebidas lácteas, sorvetes e queijos de cabra de variados tipos.

No Regulamento de produção, identidade e qualidade do leite de cabra (2000), a pasteurização é obtida por um tratamento térmico a uma temperatura de 72 °C a 75 °C durante 15 a 20 segundos, seguindo-se da refrigeração até a temperatura igual ou inferior a 4 °C, entretanto, poderá ser comercializado congelado, alcançando o ponto de venda com a temperatura máxima de 7 °C.

O leite para ser considerado esterilizado deverá ser submetido a um tratamento térmico com temperaturas bastante superior a 100 °C, já o UHT – longa vida terá que ser processado a

uma temperatura de 130 °C a 150 °C, por 2 a 4 segundos e resfriado imediatamente, após, deverá ser embalado em caixas assépticas.

Ainda de acordo com Guimarães et al (2007) para obtenção do leite em pó, que é um produto regulador do mercado, é necessário alto custo de investimento. Conforme Medeiros et al (2007) alguns métodos poderão ser utilizados na obtenção do leite em pó tais como: o secador de leite de jorro e o spray dryer.

Para Correia et al (2006) a produção de sorvetes, iogurtes e bebidas lácteas à base de leite de cabra embora tenha um mercado pouco explorado, representa uma alternativa para pessoas que são alérgicas ao leite bovino.

Os queijos fabricados com leite de cabra, segundo Guimarães et al (2007), são de vários tipos: frescal; boursin natural ou condimentado; massa semi dura como moleson, pecorino; massa semi mole como chevrotin, chabichou, crotin, saint maure, piramide, é um produto que demonstra grande aceitação no mercado e concorre com os melhores queijos bovinos (prato, mozzarella, parmesão, Minas, etc.).

2.3.4 - Sistema de ordenha para cabras

Segundo Chapaval (2007) na elaboração de um projeto para construção de um sistema de ordenha deverá levar em consideração as condições de cada criação, as necessidades dos animais e do produtor, planejado de tal forma que o ambiente seja tranquilo, higiênico e possua toda segurança necessária, é o local que envolve maior investimento. Por se tratar de uma estrutura fixa e de difícil remodelamento, as áreas deverão ser dimensionadas de acordo com a capacidade da operação leiteira, por isso, deve-se levar em conta a possibilidade de ampliação futura.

Para Vieira (1984) existe uma série de tipos de salas de ordenha (local onde o leite é coletado), podendo variar o tamanho ou a capacidade de acordo com as necessidades ou circunstâncias:

- pequenas, para até 10 cabras;
- médias, de 11 a 25 cabras e
- grandes para mais de 25 animais.

Nas salas de ordenha, têm-se as plataformas que se destinam a manter as cabras a uma altura que permita maior conforto e facilidade ao ordenhar, proporcionando um acesso mais rápido e confortável aos úberes, nas modernas salas de ordenha as cabras são dispostas em ambos os lados do fosso dos ordenhadores. Para facilitação da ordenha as cabras poderão ficar paralelas umas às outras e a ordenha é feita por trás ou as cabras ficam ao lado umas das outras formando um ângulo de 45 ou 60°, permitindo não só a ordenha pelo lado, mas também facilitando a colocação da ordenhadeira pela frente. Outra maneira de se ordenhar é através de uma sala tipo corredor com dimensões aproximadas de 2m de largura por 4,5m ou mais de comprimento, de acordo com o número de ordenhadores, em geral 2. Quando a ordenha é mecânica, são adaptados a essa plataforma os aparelhos ou equipamentos da ordenhadeira mecânica.

2.3.5 - Limpeza de equipamentos de ordenha e tanques

De acordo com Álvares (2006) para a obtenção de um produto de qualidade não basta limpar bem a ordenha, deve-se eliminar os focos de sujidade mais comuns encontradas nos tanques de resfriamento de leite, que são a orgânica (açúcares, gorduras e proteínas) e a inorgânica (ferrugem e fosfato de cálcio), onde sua remoção se dá através de soluções de produtos ácidos e/ou contendo sequestrantes; os procedimentos de limpeza requer um cuidado todo especial na escolha dos detergentes, bem como sua concentração e tempo de contato. Feita a limpeza deve-se sanitizar o tanque sem recircular e sem promover novo enxágue, a fim de eliminar os microrganismos que sobreviveram à limpeza e cresceram durante o intervalo das ordenhas. Nas Tabelas 8 e 9 observam-se as etapas e funções dos produtos de limpeza.

Tabela 8 - Etapas de limpeza em equipamentos de ordenha com sujidades diferentes.

Ordem de limpeza	Componentes do leite	Solubilidade
1ª etapa	Lactose	Água morna de 35°C a 45°C
2ª etapa	Gordura	Água quente a 70°C + Detergente
3ª etapa	Proteína	Alcalino-Clorado
4ª etapa	Minerais	Cloro presente no Detergente Alcalino-Clorado Detergente ácido

Tabela 9 - Funções dos produtos de limpeza.

Categoria	Função
Detergente alcalino-clorado	Quebrar e dissolver as moléculas de gordura (alcalinidade) e proteínas (presença do Cloro)
Detergente manual alcalino	Quebrar e dissolver as moléculas de gordura (alcalinidade) e proteínas (esfregação manual)
Detergente ácido	Remover depósitos minerais e pedra do leite
Sanitizante	Eliminar microrganismos
Desinfetante de úbere	Controle da mastite através da redução da presença de microrganismos patógenos.

Fonte: www.cienciadoleite.com.br/limpezaequipamentostanques.htm

Alguns pontos críticos do tanque tais como, pá e haste do agitador, válvula e tampa, deverão ser priorizados para que a higienização tenha êxito e lavar o tanque usando água aquecida e detergente adequado cada vez que o leite for recolhido pelo transportador.

2.4 – Legislação

No âmbito da Legislação Sanitária Federal existe, unicamente, a Instrução Normativa nº 37, de 31 de outubro de 2000, que aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite de Cabra, onde fixa as condições de produção, a identidade e os requisitos mínimos de qualidade do leite de cabra destinado ao consumo humano, podendo ser encontrada no Diário Oficial da União de 8 de novembro de 2000.

A Instrução Normativa nº 37 é um grande passo para a normatização da produção de leite de cabra no Brasil, permitindo a uniformização dos procedimentos de produção de leite de cabra fluido. Entretanto, ainda é inexistente para os derivados, contando somente com as legislações Estaduais, que se apresentam de forma bastante regionalizada no que se refere às exigências, dificultando a busca por parte dos produtores, de alcançarem mercados mais competitivos.

Na Tabela 10 tem-se os requisitos mínimos exigidos na qualidade do leite de cabra destinado ao consumo humano.

Tabela 10 – Requisitos exigidos na qualidade do leite.

Requisitos	Leite Integral	Leite Semi-Desnatado	Leite Desnatado	Método Analítico Referencial
Gordura, % m/m (ver Nota 1)	Teor Original	0,6 a 2,9	Máx. 0,5	FIL 1 C: 1987
Acidez, em % ácido láctico	0,13 a 0,18 para todas as variedades (ver Nota 2)			LANARA/MA,1981
Sólidos Não-Gordurosos, % m/m	Mínimo 8,20 para todas as variedades			DF 21 B: 1987
Densidade, 15/15 °C	1,0280 -1,0340 para todas as variedades			LANARA/MA,1981
Índice Crioscópico, °H	- 0,550 °H a - 0,585 para todas as variedades			IDF 108 A: 1986
Proteína Total (N x 6,38) % m/m	Mínimo 2,8 para todas as variedades			IDF 20 B : 1993
Lactose % m/v	Mínimo 4,3 para todas as variedades			Lane Eynon ou Cloramina T
Cinzas, % m/v	Mínimo 0,70 para todas as variedades			LANARA/MA,1981

Fonte: Instrução Normativa nº 37 de 31 de outubro de 2000

Nota 1: Serão admitidos valores inferiores a 2,9% m/m para as variedades integral e semi-desnatada, mediante comprovação de que o teor médio de gordura de um determinado rebanho não atinge esse nível.

Nota 2: A faixa normal para a acidez titulável de leite de cabra cru congelado variará de 0,11% a 0,18%, expressa em ácido láctico.

Na Tabela 11 tem-se os critérios microbiológicos e tolerâncias, aceitos na elaboração do produto de acordo com as práticas de higiene.

Tabela 11 – Critérios Microbiológicos e Tolerâncias.

Requisito	Critérios de Aceitação	Categoria (ICMSF)	Método de Análise
Microrganismos Aeróbios mesófilos (UFC/mL):			Portaria S.D.A/MA 101, de 11/8/93
1- Pasteurizado:	$n = 5 ; c = 2 ; m = 1 \times 10^4$ $M = 5 \times 10^4$	5	idem item anterior
2- Esterilizado./UHT:	$n = 5 ; c = 0 ; m = 10.$	10	idem item anterior
Coliformes/mL (30/35 °C)			
1- Leite Pasteurizado	$n = 5 ; c = 2 ; m = 2 ; M = 4$	5	idem item anterior
2 - Leite Esterilizado./UHT	$n = 5 ; c = 0 ; m = 0$	5	
Coliformes/mL (45 °C)			
1- Leite Pasteurizado	$n = 5 ; c = 2 ; m = 0 ; M = 1$	5	idem item anterior
2- Leite Esterilizado./UHT	$n = 5 ; c = 0 ; m = 0$	5	
Salmonella spp./ 25 MI (Leite Past./Esterilizado./UHT)	$n = 5 ; c = 0 ; m = 0$	10	idem item anterior

Fonte: Instrução Normativa nº 37 de 31 de outubro de 2000.

Obs: Os parâmetros contidos na tabela acima deverão ser obtidos no produto imediatamente após sua fabricação, a partir de amostras colhidas no estabelecimento produtor.

2.5 – Relação áurea no dimensionamento de tanques

Escreve o arquiteto húngaro Doczi (2002) no livro O Poder dos Limites:

“Quando examinamos profundamente o padrão de uma flor, uma concha ou o balanço de um pêndulo descobrimos aí a perfeição, uma ordenação incrível, que desperta em nós o maravilhoso que experimentávamos quando crianças. Algo infinitamente maior do que nós se revela e percebemos que o ilimitado emerge dos limites, dos padrões bem definidos”.

Certas formas capturam nosso olhar e mexem com nossos sentidos bem mais do que outras e isso tem uma razão muito precisa e, ao mesmo tempo, encantadora.

Segundo Svevo (2003) a proporção áurea nos transmite uma inexplicável sensação de harmonia por causa de determinadas formas que obedecem a uma regra geométrica especial.

Ainda segundo Doczi (2002) diz que:

“A proporção áurea tem o poder de criar harmonia porque une diferentes partes, de tal forma que cada uma mantém sua identidade e ao mesmo tempo se integra ao todo. Ela nos mostra que as limitações não são apenas restritivas, mas também criativas”.

A proporção áurea ou número de ouro ou número áureo é uma constante real algébrica irracional, com o valor arredondado a três casas decimais de 1,618, denotada pela letra grega φ (*phi*), em homenagem ao arquiteto grego Phidias, construtor do Parthenon e que utilizou o número de ouro em muitas de suas obras. É um número que há muito tempo é empregado na arte. Também é chamada de: razão áurea, razão de ouro, divina proporção, proporção em extrema razão, divisão de extrema razão.

Este número está envolvido com a natureza do crescimento. Pode ser encontrado em conchas (o nautilus), seres humanos (o tamanho das falanges, ossos dos dedos, por exemplo), até na relação dos machos e fêmeas de qualquer colméia do mundo.

Na atualidade, algumas construções, como por exemplo, o edifício das Nações Unidas, em Nova Iorque e até objetos do dia a dia, como, o cartão de crédito, estão ligados ao retângulo de ouro e desta forma estão ligados ao número de ouro.

O fato de ser encontrado através de desenvolvimento matemático é que o torna fascinante. Estudos mostram que relações áureas são muito mais agradáveis de se ver que outras razões.

O número áureo é definido algebricamente como a proporção dada pela expressão (1):

$$\frac{a+b}{a} = \frac{a}{b} = \varphi \quad (1)$$

Sendo que $a = b\varphi$, pode-se substituir, ficando assim:

$$\frac{b\varphi + b}{b\varphi} = \frac{b\varphi}{b} \quad (2)$$

$$\frac{\varphi + 1}{\varphi} = \varphi \quad (3)$$

$$\varphi + 1 = \varphi^2$$

$$\varphi^2 - \varphi - 1 = 0 \quad (4)$$

$$ax^2 + bx + c = 0$$

onde:

$$a = 1, \quad b = -1 \quad \text{e} \quad c = -1$$

Por Bháskara:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x = \frac{-(-1) \pm \sqrt{(-1)^2 - 4 \cdot 1 \cdot (-1)}}{2 \cdot 1}$$

$$x = \frac{1 \pm \sqrt{1+4}}{2} \quad \Rightarrow \quad x = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2}$$

$$\varphi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \cong 1,618033989 \quad (5)$$

Para a confecção dos tanques, procurou-se utilizar a proporção entre a altura total e seu diâmetro igual a 1,618, embora não haja na literatura essa exigência, os tanques fabricados com a relação áurea são esteticamente mais harmoniosos e esbeltos.

2.6 – Geometria de tanques

O nome tanque designa genericamente todos os recipientes, de qualquer tipo, dimensão, formato ou finalidade, capazes de conter ou processar um fluido.

Vários fatores influenciam o projeto e a classificação de um tanque: sua função, as condições de operação, a natureza do fluido, a localização, sua capacidade e eventuais cargas atuantes.

Caso o tanque não seja projetado de maneira adequada, pode romper em serviço, normalmente por deformação plástica oriunda de excessiva concentração de tensão. A falha ainda pode ocorrer sem deformação plástica, isto é, por instabilidade elástica ou por corrosão e fadiga.

Além de atender a estes requisitos básicos, as especificações que norteiam o projeto devem satisfazer critérios econômicos.

2.6.1 - O estabelecimento da geometria de tanques verticais

A geometria do tanque é definida pela relação entre o seu diâmetro (D) e a altura de costado (H). Esta proporção ótima varia entre dois limites:

- O inferior que ocorre quando os custos do costado e tampas, por unidade de área, são independentes de (D) e (H). Esta condição se aplica aos tanques de pequeno volume em que a instabilidade elástica impõe a espessura e,
- O superior, quando a espessura das chapas utilizadas depende de (D) e (H). Esta condição é válida para os tanques de grande volume que seguem os critérios adotados pela American Petroleum Institute (API).

A relação ótima entre (D) e (H), também, é influenciada pelos custos da sustentação e da área de solo ocupada pelo tanque.

Tampa: modelo plana bipartida, construída em aço inox AISI 304 com espessura de 2,0 mm para o tanque de 320 litros e de 2,5 mm para os tanques de 500 e 2000 litros, rebordeadas de forma a ter um perfeito encaixe com o tanque. A fixação da tampa será feita através de uma ponte onde se articulam. Tampa equilibrada com função de permanecer aberta seja para inspeção ou limpeza e motoredutor e agitador fixado.

Saída do Tanque: totalmente sanitária com válvula borboleta estampada Ø2” com rosca padrão SMS para acoplamento do sistema de coleta e porca tampão plástica também de Ø2” SMS.

Painel de Controle: painel com caixa elétrica com vedação, contactor, controlador de temperatura digital com função de monitoramento do ciclo do agitador, tempo de partida para rearme do sistema de frio, chave para acionamento, sistema de proteção AC contra descargas elétricas e cabo para aterramento.

2.6.2 – A relação ótima entre o diâmetro e a altura do costado

Considerando (A_1) e (A_2) como sendo, respectivamente, as áreas do costado e da seção transversal do tanque e, (C_1), (C_2), (C_3), (C_4) e (C_5) os custos de fabricação do costado, fundo, tampa, fundação e da área ocupada, tem-se o custo total (C_t) como sendo dado pela equação (6):

$$C_t = A_1.C_1 + A_2.(C_2 + C_3 + C_4 + C_5) \quad (6)$$

Como:

$$A_1 = \pi.D.H \quad (7)$$

e
$$A_2 = \frac{\pi.D^2}{4} \quad (8)$$

A equação (6) fica reescrita assim:

$$C_t = \pi.D.H.C_1 + \left(\frac{\pi.D^2}{4}\right).(C_2 + C_3 + C_4 + C_5) \quad (9)$$

Lembrando que o volume do tanque com fundo plano é dado por:

$$V_c = \left(\frac{\pi.D^2}{4}\right).H \quad (10)$$

resulta para a equação (9):

$$C_t = \frac{4.V_c.C_1}{D} + \left(\frac{\pi.D^2}{4}\right).(C_2 + C_3 + C_4 + C_5) \quad (11)$$

Para os casos em que os custos são independentes de (D) e (H), é possível diferenciar o custo total, na equação (11), em relação ao diâmetro:

$$\frac{\partial C_t}{\partial D} = \frac{-4.V_c.C_1}{D^2} + \left(\frac{\pi.D}{2}\right).(C_2 + C_3 + C_4 + C_5) \quad (12)$$

Para um determinado volume, a condição de mínimo custo acontece quando:

$$\frac{\partial C_t}{\partial D} = 0 \text{ e } \frac{\partial^2 C_t}{\partial D^2} > 0 \text{ assim:}$$

$$\frac{-4.V_c.C_1}{D^2} + \left(\frac{\pi.D}{2}\right).(C_2 + C_3 + C_4 + C_5) = 0 \quad (13)$$

$$\text{Rearranjando } D^3 = \left(\frac{8.V_c}{\pi}\right) \left(\frac{C_1}{C_2 + C_3 + C_4 + C_5}\right) \quad (14)$$

Substituindo na equação (14) o valor de (V_c) dado pela expressão (10), tem-se finalmente:

$$D = 2.H \cdot \left(\frac{C_1}{C_2 + C_3 + C_4 + C_5} \right) \quad (15)$$

que fornece
$$\frac{D}{H} = \frac{2.C_1}{C_2 + C_3 + C_4 + C_5} \quad (16)$$

Fazendo $C_1 = C_2 = C_3$ e tomando $C_4 = C_5 = 0$ já que são custos independentes de quem fabrica, tem-se $D = H$ ou um tanque de batelada quadrada.

2.6.3 – Critérios de Cálculo para Dimensionamento da Sustentação

Observando-se as condições se o tanque tiver diâmetro menor ou igual a 1060 mm os números de pernas serão três e se o diâmetro for maior que 1060 mm o número de pernas será quatro. Validade para pernas tubulares e tanques indoor.

Além das condições, levar-se-á em consideração para os cálculos da sustentação de cada tanque a: densidade, volume total, massa do produto, massa da chaparia empregada, massa do tanque cheio, massa da serpentina e do sistema de agitação. E também as seguintes expressões:

1 – Força de reação da perna em relação ao tanque cheio:

$$C = \frac{w}{n} \quad (17)$$

2 – Tensões Atuantes:

2.1 - Axial de compressão:

$$f_a = \frac{c}{s_t} \quad (18)$$

sendo que:

$$s_t = \frac{\pi}{4} \cdot (d_e^2 - d_i^2) \cdot 10^{-2}$$

2.2 - De flexão:

$$f_b = \frac{c \cdot (e)}{w_f} \quad (19)$$

onde:

$$w_f = \left(\frac{\pi}{32}\right) \cdot \left(\frac{d_e^4 - d_i^4}{d_e}\right) \cdot 10^{-3}$$

3 – Tensão Resultante:

$$f = f_a + f_b \leq S \quad (20)$$

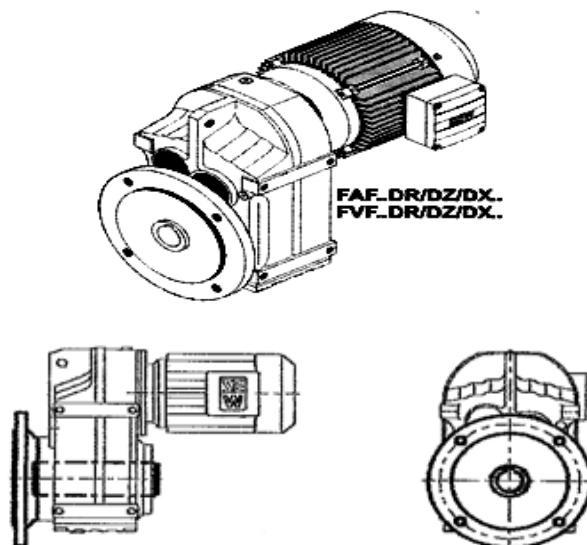
2.7 – Agitação

Razuk (1992) define agitação como sendo a operação de produzir movimentos mais ou menos regulares no interior de um fluido. A escolha de um agitador depende do tipo de mistura que se deseja, no caso do leite por se tratar de uma só substância, a operação é de agitação propriamente dita. Entretanto, quando há duas ou mais substâncias (miscíveis ou imiscíveis entre si) a operação realizada é uma mistura.

A agitação tem as seguintes finalidades: mistura de líquidos, formação de dispersões, transmissão de calor e uniformização da temperatura.

O agitador é composto pelo motoredutor, o sistema de rotação, o sistema de selagem, o impelidor, o flange ou placa de base do apoio, e eventualmente o mancal de fundo.

Na Figura 1 observa-se um motoredutor com eixo vazado (FAF), normalmente utilizado nos tanques de refrigeração.



Fonte: <http://www.sew.ind.br>

Figura 1 - Motoredutor de eixo vazado (FAF).

Os impelidores podem ser classificados em três grandes grupos, relacionados ao tipo de fluxo que são capazes de gerar:

- Impelidores de fluxo radial são aqueles cujas linhas de fluxo tendem a ser perpendiculares ao eixo do agitador, ou seja, impulsionam a massa líquida contra as paredes do tanque. Os principais tipos são: turbinas de pás retas verticais, turbinas de pás curvas verticais, turbina de disco *Rushton* e turbina de disco *Smith*.
- Impelidores de fluxo axial são aqueles que geram linhas de fluxo preponderantemente paralelas ao eixo do agitador, ou seja, tendem a levar a massa líquida para o fundo do tanque ou em direção a superfície livre. Enquadram-se nesta classe: a turbina de pás planas inclinadas, a hélice marítima e as turbinas do tipo *hidrofoil*.
- Impelidores de fluxo tangencial são os que operam em regime laminar, destinados a misturar produtos de alta viscosidade, não produzem um movimento nem radial nem axial, mas impulsionam a massa líquida em movimento circular ao redor da parede do tanque.

Nos tanques utilizar-se-á turbinas com quatro pás planas inclinadas a 45°, por ser um impelidor universal, de baixa agressividade e grande abrangência na distribuição geométrica do fluxo dentro do tanque, conforme mostra a Figura 2.

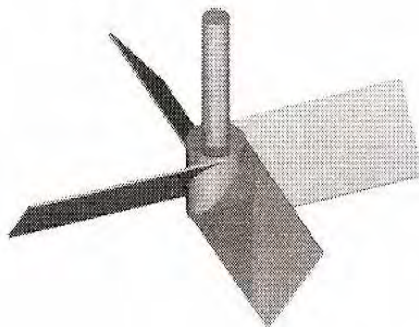


Figura 2 - Turbina universal de pás planas inclinadas.

2.7.1 - Situação mais geral – cálculo a partir do nível de agitação

Devem ser conhecidos:

a) da geometria do tanque

diâmetro interno (D)

(mm)

altura da parte cilíndrica (H) (mm)

b) do produto

densidade específica máxima (s)

viscosidade máxima (μ) (cP)

c) do sistema de agitação

nível de agitação requerido (NA)

número de impelidores (n_i)

2.7.2 - Procedimento de cálculo

1) Velocidade média do produto no tanque (v) em (m/min)

Uma resposta dinâmica mínima é requerida para se resolver satisfatoriamente um problema de agitação. Esta resposta é representada pela magnitude da velocidade média do fluido no interior do tanque.

A velocidade de fluxo criada pelo impelidor tem três componentes: a radial, atuando na direção perpendicular ao eixo-árvore; a longitudinal, paralela ao mesmo e a de rotação, na direção tangencial. Tanto a componente radial como a longitudinal contribuem efetivamente para a mistura e são preponderantes no impelidor universal de pás retas inclinadas a 45°. A componente tangencial faz com que o conteúdo do tanque gire sem produzir ação de mistura, além de facilitar a formação de vórtice.

Para quantificar a agitação relaciona-se a velocidade média, imprimida ao fluido pelas pás, a uma escala que, a título de referência, varia de 1 a 10. Assim, define-se o nível de agitação (NA) através da divisão desta velocidade (v) por 1,8, como mostram a expressão (21) e a Tabela 12:

$$v = 1,8.(NA) \quad (21)$$

É evidente que a velocidade varia grandemente, desde um máximo nas proximidades do impelidor a até quase zero nos pontos mais distantes dependendo da geometria do tanque, da viscosidade do produto e da proximidade com a parede.

Tabela 12 – Nível de agitação.

Baixo		Médio		Alto	
NA	v (m/min)	NA	v (m/min)	NA	v (m/min)
		3	5,4	7	12,6
		4	7,2	8	14,4
1	1,8	5	9,0	9	16,2
2	3,6	6	10,8	10	18,0

A agitação nos níveis 1 e 2 é característica das aplicações que requerem a menor movimentação possível, adequada para produtos com viscosidade mais alta ou que podem se oxidar com relativa facilidade. Já nos níveis de 3 a 6 se enquadra a maior parte das aplicações industriais. Aos processos que necessitam de alta velocidade, normalmente ligados à indústria química, estão associados os níveis de 7 a 10.

2) Área da seção transversal do tanque (A) em (m²)

Além do estabelecimento do nível de agitação, são fatores importantes e sempre requeridos na determinação do sistema de agitação: a densidade específica do produto, a sua viscosidade na temperatura de operação e a geometria do tanque.

A relação entre a altura do costado e o diâmetro pode variar de 0,5 a 1,5, no entanto, o estabelecimento deste valor deve atender além da estabilidade estrutural, o aspecto econômico. É regra estabelecer para tanques altos, um elemento impulsor para cada diâmetro de altura de costado.

A expressão (22) determina a área da seção transversal do tanque, a partir das considerações geométricas que fixaram a relação entre o diâmetro e a altura de costado.

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{D}{10^3} \right)^2 = 7,85398 \cdot (10^{-7}) D^2 \quad (22)$$

3) Capacidade de deslocamento volumétrico (Q) em (m³/min)

A capacidade efetiva do agitador, dada pela equação (23), mostra o volume deslocado na unidade de tempo.

$$Q = v.A \quad (23)$$

Trata-se de um parâmetro importante, pois, é inversamente proporcional ao tempo (t_r) em minutos, para revolver o conteúdo do tanque uma vez, conforme mostra a expressão (24):

$$t_r = \frac{V}{Q} \quad (24)$$

em que (V) é o volume útil de produto em (m^3).

A experiência tem mostrado que o tempo de mistura, para a condição de regime turbulento, é, no mínimo, cinco vezes maior que o tempo para revolver o conteúdo do tanque uma vez.

O tempo (t_r) pode, ainda, ser usado para classificar a intensidade de agitação como mostra a Tabela 13:

Tabela 13 – Outra classificação para a intensidade de agitação.

Intensidade de agitação	Tempo para revolver o conteúdo do tanque (t_r)
Suave	De 3 a 60 minutos
Média	De 0,5 a 3 minutos
Violenta	Entre 10 e 30 segundos

4) Diâmetro do impelidor (d) em (mm)

Os valores típicos para a relação (d/D) estão na faixa de 0,2 a 0,7. Evidentemente, abaixo de 0,2 não se produzirá uma adequada movimentação do produto, a menos que a rotação seja bastante alta e/ou em fluido de baixa viscosidade. Acima de 0,7 geram-se correntes radiais suficientemente fortes para bloquear as longitudinais, dividindo-se, então, o conteúdo do tanque em zonas estanques em função do número de impelidores.

Como ponto de partida do processo iterativo de cálculo, pode ser adotado para (d) o valor dado pela equação (25).

$$d = 0,2.D \quad (25)$$

5) Número de bombeamento (N_q) e a rotação do impelidor (N) em (rpm)

O número de bombeamento ou de agitação é um adimensional definido pela equação (26) e equivalente à eficiência do sistema de agitação.

$$N_q = \frac{Q}{N \cdot d^3} \quad (26)$$

Substituindo-se (23) em (26) e, depois, (21) em (26), tem-se:

$$N_q = \frac{Q}{N \cdot d^3} = \frac{v \cdot A}{N \cdot d^3} = \frac{NA \cdot (1,8) \cdot A}{N \cdot d^3} \text{ e rearranjando } NA = \frac{N_q \cdot N \cdot d^3}{1,8 \cdot A} \quad (27)$$

A expressão (27) mostra, claramente, a influência preponderante do diâmetro do impelidor – ao cubo – no nível de agitação. Assim para melhorar (NA) é mais significativo aumentar o diâmetro do que a rotação. Nota-se, também, já que a área da seção transversal do tanque está no denominador, que o tanque esbelto terá uma agitação melhor que o bojudo de mesma capacidade.

Na região de turbulência, ou para um número de Reynolds entre 10^3 e 10^9 , o número de bombeamento, em princípio, é uma constante para uma dada relação entre os diâmetros do agitador e do tanque, correspondendo à expressão (28):

$$N_q = 0,683 \cdot \left(\frac{0,394}{\frac{d}{D}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (28)$$

Fazendo-se o ajuste de unidades requerido em (26), obtém-se a rotação do impelidor (N) em (rpm) através da equação (29).

$$N = \frac{Q \cdot 10^9}{N_q \cdot d^3} \quad (29)$$

6) Número de Reynolds (NR_{ey})

O número de Reynolds calculado por (30) deve ser ajustado por um fator envolvendo as geometrias do tanque e do agitador, resultando o número de Reynolds modificado (NR_{ey}^*) da equação (31).

$$NR_{ey} = \frac{0,016585.d^2.N.s}{\mu} \quad (30)$$

$$NR_{ey}^* = NR_{ey} \cdot \left(\frac{\frac{d}{D}}{0,394} \right)^{1/2} \quad (31)$$

7) Adequação do número de bombeamento (N_q^*) em função de (NR_{ey}^*)

se $NR_{ey}^* > 20000$

$$N_q^* = 0,683 \quad (32)$$

para $20000 \geq NR_{ey}^* > 300$

$$N_q^* = \exp \left[-5,71 + 1,683 \cdot \ln(NR_{ey}^*) - 0,179 \cdot (\ln NR_{ey}^*)^2 + 0,0064 \cdot (\ln NR_{ey}^*)^3 \right] \quad (33)$$

se $300 \geq NR_{ey}^* > 25$

$$N_q^* = \exp \left[-0,947 - 0,231 \cdot \ln(NR_{ey}^*) + 0,0467 \cdot (\ln NR_{ey}^*)^2 \right] \quad (34)$$

para $NR_{ey}^* \leq 25$

$$N_q^* = 0,3 \quad (35)$$

8) Recálculo do diâmetro do impelidor (d) em (mm)

$$d = 0,394.D \cdot \left(\frac{N_q^*}{N_q} \right)^2 \quad (36)$$

9) Início e término do processo de interação para convergência

$$N_q = N_q^* \quad (37)$$

$$N = \frac{Q \cdot 10^9}{N_q \cdot d^3}$$

$$N \text{ Re } y = \frac{0,016585 \cdot d^2 \cdot N \cdot s}{\mu}$$

$$N \text{ Re } y^* = N \text{ Re } y \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Se $|NR_{ey}^* - NR_{ey}| \geq 1.10^{-5}$ voltar para a equação (36)

condição para saída $|NR_{ey}^* - NR_{ey}| < 1.10^{-5}$ equação (38)

10) Determinação do coeficiente de correção do efeito da viscosidade (f_u)

se $NR_{ey} > 900$

$$f_u = 1 \quad (38)$$

se $900 \geq NR_{ey} > 8$

$$f_u = \exp \left[3,154 - 0,848 \cdot \ln(NR_{ey}) + 0,0565 \cdot (\ln NR_{ey})^2 \right] \quad (39)$$

se $8 \geq NR_{ey} > 1$

$$f_u = \exp \left[3,649 - 0,942 \cdot \ln(NR_{ey}) - 0,106 \cdot (\ln NR_{ey})^2 + 0,0448 \cdot (\ln NR_{ey})^3 \right] \quad (40)$$

para $NR_{ey} \leq 1$

$$f_u = \frac{38,4}{NR_{ey}} \quad (41)$$

11) Cálculo da potência requerida (P) em (kW)

Sabe-se que o coeficiente de resistência ou de arraste é função do número de Reynolds, ou seja, $C_a = f(NR_{ey})$ ou, de acordo com os conceitos elementares da mecânica dos fluidos:

$$\frac{2.F.g}{S.v^2.\rho} = f\left(\frac{d.v.\rho}{\mu}\right) \quad (42)$$

O termo (F/S), força aplicada ao fluido por unidade de área, pode ser usado com maior comodidade se for convertido a uma potência. Lembrando que a potência é igual ao produto da força pela velocidade de aplicação da força, vem:

$$\frac{v.F}{S} = \frac{P}{S} \text{ e sendo a área proporcional a } (d^2) \quad \frac{F}{S} \propto \frac{P}{v.d^2} \quad (43)$$

e a velocidade tangencial da ponta do agitador proporcional a rotação:

$$v \propto N.d \quad (44)$$

obtem-se, substituindo (43) e (44) em (42):

$$\frac{P.g}{N^3.d^5.\rho} = f\left(\frac{d^2.N.\rho}{\mu}\right) \text{ ou } NP_o = f(NR_{ey}) \quad (45)$$

onde (NP_o) é o coeficiente de arraste nos sistemas com agitação, conhecido como número de potência. Para a região turbulenta, a curva, levantada experimentalmente e que representa a variação de (NP_o) com (NR_{ey}), tende a ser horizontal, isto é, o número de potência tende a uma constante.

Para o impelidor de 4 pás retas inclinadas a 45° no regime turbulento, o número de potência é igual a 1,37, assim da definição expressa em (45), tem-se:

$$P = 1,37.f_u.(s.10^3)\left(\frac{N}{60}\right)^3.\left(\frac{d}{10^3}\right)^5.n_i.10^{-3} = 6,34259.10^{-21}.f_u.s.N^3.d^5.n_i \quad (46)$$

Entretanto, verificou-se experimentalmente que vários outros fatores afetam a potência. O aumento na largura das pás (l), por exemplo, provoca incremento na potência

consumida tão mais acentuada quanto maior a viscosidade do fluido. Este incremento tende a se estabilizar a partir de um certo valor para a relação (l/d) . No entanto, para fluidos com viscosidade acima de 2000 cP, a potência consumida passa a aumentar linearmente com a largura.

A expressão (46) pode ser empregada para $l = (0,14 \text{ a } 0,2).d$.

A posição do impelidor no tanque, em relação a vertical, tem pouquíssima influência na potência consumida. Isto também se nota com a potência exigida por uma pá com determinada largura em comparação a duas pás, arbitrariamente separadas no eixo-árvore, cada uma com a metade desta largura.

A colocação de chicanas ou quebra-ondas, para minimizar a formação de vórtices em sistemas centralizados de agitação, promove um aumento considerável na potência quando comparado a um tanque sem quebra-ondas. A potência sobe quanto maior a largura e o número destes defletores de costado.

Sob o ponto de vista de movimentação e de consumo de potência, descentralizar o impelidor no tanque é equivalente a estar com o mesmo centralizado com dois quebra-ondas defasados de 180° . O sistema deslocado, no entanto, deve ser preferido, pois, sem os defletores fica mais fácil a higienização do tanque. A equação (46) é válida para esta condição.

2.8 – Troca de calor

De acordo com Herskowitz et al (1991) quando dois corpos estão em temperaturas diferentes e são colocados em contato, espontaneamente há transferência de energia térmica do corpo mais quente para o mais frio, até ser atingido o equilíbrio térmico. Quando um corpo ganha ou perde calor, em geral muda o estado de agitação de suas moléculas, conseqüentemente, muda a temperatura do corpo ou, então, muda a forma de ligação das moléculas do corpo (sólido torna-se líquido, líquido torna-se vapor, etc.).

Ao calor trocado (ganho ou perdido) por um corpo e que provoca apenas variação na temperatura desse corpo, sem que aconteça mudança no seu estado de agregação, ou seja, sem mudar a forma de ligação de suas moléculas (forma sólida, líquida ou gasosa) chama-se *calor sensível* e, ao calor trocado (ganho ou perdido) por um corpo para que ele mude de estado

físico, ou seja, passe do sólido para o líquido, do líquido para o gasoso e assim por diante, mas sem mudar sua temperatura, chama-se *calor latente*.

Assim se dá a propagação do calor e pode ocorrer segundo três processos diferentes: condução, convecção e radiação.

Condução é o processo de transmissão de calor em que a energia térmica passa de um local para outro através de partículas existentes entre eles. Na região mais quente as partículas têm mais energia e vibram com maior intensidade, essa vibração se transmite de molécula para molécula até o extremo oposto, espalhando calor pelo corpo inteiro.

Convecção é o processo de transmissão de calor com formação de correntes em que as moléculas de matéria sobem e descem. A convecção só ocorre em fluidos (líquidos e gases), pode ser natural, quando ocasionada por diferença de densidades devido à diferença de temperaturas entre as massas do fluido, ou forçada, quando ocasionada por bombas ou ventiladores.

Nos refrigeradores residenciais, o evaporador é sempre instalado na parte superior, para que o ar resfriado desça, dando lugar ao ar quente, que sobe ao receber calor dos alimentos e da abertura de portas. As prateleiras são gradeadas para possibilitar a convecção do ar no interior do refrigerador.

Radiação é o processo de transmissão de calor no vácuo ou num meio material por meio de raios infravermelhos.

Segundo Razuk (1992) os trocadores de calor em tanques agitados são de vários tipos: jaqueta convencional (ou camisa), serpentina meia-cana, aquecedor elétrico de imersão, serpentina interna e equipamentos externos – os trocadores de calor de placa ou de casco e tubos – que recebem o produto através da recirculação por bombas.

Ainda de acordo com Razuk (1992) a transferência de calor em vasos agitados depende do tipo de impelidor e do sistema de aquecimento empregados. Quando a troca de calor é preponderante no processo, algumas variáveis como a diferença de temperatura média logarítmica e a superfície de troca, usualmente, predominam sobre as variáveis do sistema de agitação. Nesse caso, a agitação pode afetar somente a resistência convectiva interna, uma das várias resistências que fazem parte do coeficiente global de transmissão de calor.

O coeficiente global de transferência (U) é definido em termos da resistência térmica total entre o fluido quente e frio e é determinado pelo inverso das resistências condutivas e convectivas entre os dois fluidos separados pela superfície de troca.

Conforme Razuk (2001) a seleção da superfície de troca de calor é baseada na característica particular do fluido (refrigerante), do trabalho requerido por unidade de volume

do produto processado e pelo tamanho relativo do vaso. Em geral, serpentinas são preferidas, particularmente para líquidos de baixa viscosidade, devido ao baixo custo, pressões de operação maiores e maiores coeficientes de transferência de calor. Para materiais mais viscosos, o vaso jaquetado é preferido.

O processo de transferência de calor entre o conteúdo do vaso e a jaqueta e/ou serpentina envolve três passos: transferência de calor convectiva entre o líquido no vaso e a superfície, condução através da parede metálica e convecção novamente entre a superfície e o fluido de transferência de calor que circula por ela.

2.8.1- Superfície de troca de calor necessária

Para se calcular a superfície de troca de calor necessária para cada ordenha e em cada tanque, utilizou-se das características do produto (leite de cabra): *calor específico, viscosidade e condutibilidade térmica do inox* e também adotou-se a média da temperatura de saturação (X) e o coeficiente global médio (U) dos tanques de 500 e 1000 litros, obtidos na dissertação de mestrado de Razuk (2001), onde os parâmetros do tanque de 500 litros foram utilizados nos cálculos dos tanques de 320 e 500 litros do respectivo trabalho, já para o tanque de 2000 litros, utilizou-se dos parâmetros do tanque de 1000 litros. Além desses parâmetros, utilizou-se das expressões (47) e (48) para os cálculos, onde se obteve o comprimento da serpentina (L).

$$Ln \frac{T_i - X}{T_f - X} = \frac{U \cdot S \cdot \theta}{M_C \cdot C_{PC}} \quad (47)$$

$$L = \frac{S}{\pi \cdot D_{méd.}} \quad (48)$$

Para se obter a área necessária (S) na 1ª ordenha para cada tanque considerou-se a temperatura inicial de 36 °C e a temperatura final de 4 °C, nas ordenhas subsequentes calculou-se as temperaturas iniciais após a mistura e, em seguida optou-se pela serpentina de maior comprimento.

No cálculo da quantidade de calor sensível e do fluxo para cada ordenha e em cada tanque, utilizou-se das expressões (49) e (50) dadas abaixo:

$$Q = m.c.\Delta t \quad (49)$$

$$q = \frac{Q}{2} \quad (50)$$

A expressão (50) está sendo dividida por dois, pois a temperatura deverá decrescer de 36 °C para 4 °C no máximo em duas horas. Analisando os valores obtidos para o comprimento da serpentina e o fluxo, e considerando também, os aspectos econômicos, faz-se a escolha das unidades de refrigeração compatíveis para cada tanque, o que pode ser verificado no resultado.

2.9 – Refrigeração

Levando-se em consideração as exigências das normas impostas pelo Regulamento Técnico de Produção, Identidade e Qualidade do leite de cabra (instrução normativa nº 37) e também do Regulamento Técnico da Coleta de leite cru refrigerado e seu transporte a granel do leite de vaca (instrução normativa nº 51), tem-se os critérios que deverão ser adotados para o tanque de refrigeração por expansão direta, no caso do leite de cabra a temperatura de refrigeração deverá ser igual ou inferior a 4 °C num período de tempo não superior a 2 horas após o término da ordenha e se tratando do leite de vaca refrigerá-lo até temperatura igual ou inferior a 4 °C no tempo máximo de 3h após o término da ordenha, independentemente da capacidade do tanque.

O resfriamento é um método eficiente para manter o leite com uma alta qualidade após a primeira ordenha e as subsequentes, pois o leite também é um meio perfeito para o crescimento de microrganismos. Após seguir os procedimentos corretos de ordenha e higienização, o resfriamento do leite a 4 °C retarda o crescimento microbiológico e as alterações químicas, o que evita sua deterioração.

O leite é retirado do úbere da cabra e imediatamente colocado no tanque de resfriamento, onde terá sua temperatura baixada dos 36 °C inicial para 4 °C dentro de aproximadamente duas horas, de acordo com a norma específica, permanecendo nesta temperatura até que seja efetuada a coleta pelo caminhão-tanque.

O tempo máximo de conservação do leite na propriedade até o momento do transporte à indústria é de 48 horas.

De acordo com o site on line www.milkpoint.com.br (2000) o parâmetro temperatura é um dos fatores intrínsecos mais importantes na atividade bioquímica ou atividades microbianas, por isso, o emprego de tanques de resfriamento de leite nos locais de produção é de extrema importância para a qualidade e conservação do produto.

Para Brandão (1999) o tanque de refrigeração, “é o método mais moderno e eficiente que está sendo utilizado pelos produtores atualmente, para o resfriamento do leite”.

Para o cumprimento da finalidade a que se destina um tanque, sua compra, utilização e manutenção, devem atender algumas recomendações: seu correto dimensionamento e capacidade, o modelo mais adequado, a garantia e assistência técnica e sua vida útil.

Ele também exige alguns cuidados: revisão anual da parte elétrica, limpeza semestral do condensador, sanitização rigorosa das superfícies e conexões logo após a coleta do leite, utilizando produtos adequados nas concentrações recomendadas.

Os principais benefícios alcançados com o resfriamento do leite nas propriedades rurais e seu transporte a granel são os seguintes:

- Melhoria da qualidade da matéria-prima.
- Aumento da eficiência produtiva do produtor e da indústria.
- Redução de custos para o produtor e também para a indústria.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 – Materiais

Utilizou-se no desenvolvimento do projeto dos tanques o software Projeto Integrado de Geometria e Agitação de Vasos de processos (*GEOPACK*), sistema desenvolvido como parte da tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu e elaborado por Katsuki (1999). Este software computacional foi desenvolvido para calcular as dimensões gerais, diâmetro, altura, espessura das chapas, peso, fornecendo outras informações do tanque com base nas especificações do processo.

O cálculo da geometria foi integrado com a agitação para propiciar as melhores condições para o processo e a maior economia operacional possível.

O módulo de cálculo da geometria de um tanque vertical envolve uma grande quantidade de parâmetros, denominados:

Características do tanque:

- Tipo de tanque: um tanque pode ser atmosférico ou pressurizado.
- Tipo de material: os materiais permitidos pelo sistema para a construção de tanques são: aço inoxidável e aço-carbono.
- Para cada tipo de tanque, haverá uma lista contendo os tipos de tampos permitidos.

O usuário deve selecionar o parâmetro inicial desejado, que pode ser o Volume útil, Diâmetro ou Altura do tanque, presentes na lista. O valor inicial para Relação entre diâmetro e altura adotados para tanques atmosféricos é 0.91 e 0.79 para tanques pressurizados. Este valor é obrigatório e não pode ser nulo.

Assim, se o volume útil for informado serão mostrados o diâmetro, altura e volume real do tanque. Para o parâmetro inicial diâmetro serão exibidos o volume útil, altura e volume real; e para a altura sairão volume útil, diâmetro e volume real.

O programa aguarda o fornecimento dos dados de operação que são:

- Temperatura: valor em graus Celsius obrigatório para tanques pressurizados.
- Pressão: valor a ser informado e obrigatório para tanques pressurizados.

Para o aço-carbono deve ser acrescentado um valor de sobresspessura para corrosão na caixa denominada Sobresspessura.

Agitação:

Este módulo permite determinar a agitação utilizando quatro alternativas de fornecimento dos parâmetros de entrada, sendo disponíveis as opções:

opção1 : Cálculo a partir do Nível de Agitação e do Diâmetro do Impelidor

opção2 : Cálculo a partir do Nível de Agitação e da Rotação do Impelidor

opção3 : Cálculo a partir do Diâmetro e da Rotação do Impelidor

opção4 : Cálculo a partir do Nível de Agitação

3.2 – Métodos**3.2.1 – Aplicação da modelagem matemática**

Para a modelagem matemática da construção dos tanques de 320, 500 e 2000 litros utilizou-se as expressões citadas na revisão para a construção da geometria de tanques; mediante seu volume e sua altura, determinou-se a espessura da chapa conveniente para cada tanque e o sistema de agitação.

Para a conferência dos resultados obtidos auxiliou-se do *Software Geopack*, sendo que, para obter a geometria de um tanque mais esbelto, com um melhor visual, optou-se pela utilização do número áureo. Calculou-se o material necessário (chapas) de acordo com as opções disponíveis no mercado.

O aproveitamento de chapas para o costado e os tampos, as áreas de chapas efetivamente utilizadas, áreas de refugo, bem como suas taxas de aproveitamento e refugo encontram-se nos resultados.

4 – RESULTADOS

4.1 – Tanques

Tanques: os tanques resfriadores são cilíndricos e verticais, do tipo expansão direta, para quatro ordenhas; com fundo plano e inclinado para os tanques de 320 e 500 litros, o de 2000 litros possui o fundo toro esférico 10%, foram dimensionados e projetados utilizando-se da relação áurea, onde a proporção entre sua altura total e seu diâmetro seja igual a 1,618 e, também na batelada quadrada, cuja proporção entre a altura e o diâmetro seja igual a 1, para serem construídos em aço inoxidável AISI 304, de tal modo que permita refrigerar o leite de uma temperatura inicial de 36 °C para 4 °C em até duas horas.

Na Tabela 14 tem-se a geometria dos tanques projetados para relação áurea e na Tabela 15 as dimensões relativas à agitação.

Tabela 14 - Geometria dos tanques para relação áurea.

Capacidade [litros]	Volume real [litros]	Altura maior do corpo [m]	Diâmetro interno do tanque [mm]	Massa do tanque vazio [kg]	Espessuras das chapas [mm]
320	357,0	1,000	680	74,8	2,5
500	558,0	1,250	760	97,7	2,5
2000	2196,6	1,961	1220	319,9	3,0

Tabela 15 - Dimensões relativas à agitação.

Capacidade [litros]	Relação H/D	Relação d/D [adotada]	Diâmetro do impelidor [mm]	Impelidor [rpm]
320	1,47	0,4	270	25
500	1,64	0,4	300	25
2000	1,61	0,4	490	28

O aço inoxidável tem múltiplas aplicações, tanto pelo visual, quanto pela economia e durabilidade. Na Tabela 16 encontram-se as dimensões de chapas de aço inoxidável disponíveis no mercado industrial.

Tabela 16 - Materiais fornecidos em chapas nas seguintes dimensões.

	Espessuras [mm]	Larguras [mm]	Comprimentos [m]	Tolerâncias [mm]
Laminados a frio	0,40 a 3,50	1000 a 1320	até 12	- 0 +10 (*)
Laminadas a quente	2,60 a 8,00	1000 a 1320	até 12	- 0 +10
Tipos de aço: AISI 304, 304L, 310, 316, 316L, 409, 410s, 420, 430 e 444				
(*) outras tolerâncias sob consulta				

Fonte: jati.com.br

Na Tabela 17 verifica-se o aproveitamento de chapas total para relação áurea em cada tanque e suas taxas em porcentagens.

Tabela 17 – Aproveitamento de chapas e suas taxas para relação áurea.

Capacidade [litros]	Área total utilizada [m ²]	Área total refugada [m ²]	Taxa de refugo [%]	Taxa de aproveita- mento [%]	Massa da chapa não utilizada [kg]	Massa da chapa utilizada [kg]
320	2,974	0,756	20,3	79,7	15	59
500	4,02	1,127	21,9	78,1	22,4	79,8
2000	10,39	1,61	13,4	86,6	38,4	247,5

Na Tabela 18 os tanques foram dimensionados para batelada quadrada H/D = 1 e na Tabela 19 o aproveitamento de chapas e suas taxas.

Tabela 18 - Dimensões principais dos tanques para batelada quadrada.

Capacidade [litros]	Volume real [litros]	Altura do costado [m]	Relação H/D	Massa do tanque vazio [kg]	Espessuras das chapas [mm]
320	352,0	0,765	1,0	73,0	2,5
500	550,0	0,888	1,0	94,5	2,5
2000	2190,0	1,350	1,0	290,1	3,0

Tabela 19 – Aproveitamento de chapas e suas taxas para batelada quadrada.

Capacidade [litros]	Área total utilizada [m ²]	Área total refugada [m ²]	Taxa de refugo [%]	Taxa de aproveita- mento [%]	Massa da chapa não utilizada [kg]	Massa da chapa utilizada [kg]
320	2,88	0,95	24,76	75,24	18,8	57,2
500	3,86	0,81	17,30	82,70	16,1	76,6
2000	9,14	2,12	19,27	80,73	50,5	217,7

Na Tabela 20 tem-se comparativamente os resultados das taxas de aproveitamento e refugo de chapas na geometria entre as relações áurea e quadrada.

Tabela 20 - Comparação entre os resultados das relações áurea e quadrada.

Capacidade [litros]	Taxa de aproveitamento (relação áurea) [%]	Taxa de refugo (relação áurea) [%]	Taxa de aproveitamento (batelada quadrada) [%]	Taxa de refugo (batelada quadrada) [%]
320	79,7	20,3	75,2	24,8
500	78,1	21,9	82,7	17,3
2000	86,6	13,4	80,7	19,3

Na Figura 3 tem-se um modelo de tanque de refrigeração com o volume total.

**Figura 3** - Tanque de refrigeração

Na Tabela 21 tem-se o fluxo (q) necessário para a troca de calor em cada ordenha de cada tanque.

Tabela 21 – Fluxo necessário para a troca de calor.

Capacidade (litros)	1ª ordenha (kcal/h)	2ª ordenha (kcal/h)	3ª ordenha (kcal/h)	4ª ordenha (kcal/h)
320	1532,3	1532,3	1537,1	1532,3
500	2394,3	2394,3	2401,8	2394,3
2000	9577,0	9577,0	9607,0	9577,0

A Tabela 22 corresponde aos cálculos da área necessária (S) de refrigeração para cada ordenha de cada tanque e o comprimento (L) da serpentina.

Tabela 22 - Área e comprimento da serpentina.

Capacidade	Temperatura de saturação (X) (°C)	Coefficiente global calculado (U) * (W/m ² °C)	Massa do produto (kg)	Temperatura após a mistura (°C)	Área (S) (m ²)	Comprimento da serpentina (L) (m)	
320 l	1ª ordenha	- 0,12	796,6	82,6	Inicial 36	0,13	4,2
	2ª ordenha	- 1,37	1144,0	165,1	20	0,12	3,7
	3ª ordenha	- 1,42	999,9	247,7	14,7	0,16	5,0
	4ª ordenha	- 4,28	841,4	330,2	12	0,16	4,9
500 l	1ª ordenha	- 0,12	796,6	129,0	Inicial 36	0,20	6,7
	2ª ordenha	- 1,37	1144,0	258,0	20	0,18	5,8
	3ª ordenha	- 1,42	999,9	387,0	14,7	0,25	7,9
	4ª ordenha	- 4,28	841,4	516,0	12	0,24	7,7
2000 l	1ª ordenha	- 7,70	171,1	516,0	Inicial 36	2,31	24,0
	2ª ordenha	- 8,95	164,5	1032,0	20	2,95	30,7
	3ª ordenha	- 10,70	175,4	1548,0	14,7	2,82	29,4
	4ª ordenha	- 10,30	142,7	2064,0	12	3,69	38,4

Fonte: *Coeficiente global (U) calculado por Razuk (2001)

Na Figura 4 tem-se um tanque com sua respectiva serpentina.



Fonte: Razuk (2001)

Figura 4 – Tanque com a serpentina

Unidade de Refrigeração Danfoss: unidade hermética – 60 Hz, dimensionada para atender a norma ISO 5708 com sistema de expansão através de capilar ou válvula de expansão. As unidades condensadoras utilizam-se compressores herméticos e gás refrigerante R-134a.

O R-134a é um gás refrigerante com excelente desempenho, está sendo usado como substituto do R-12 em várias aplicações, é do tipo HFC (Hidrofluorcarbono) que não causa destruição da camada de Ozônio. Tem baixa toxicidade, não é inflamável na presença de ar atmosférico em temperatura inferior a 100 °C e à pressão atmosférica, não é corrosivo, é compatível com a maioria dos materiais, os seus vapores têm um odor levemente adocicado.

Na Figura 5 tem-se uma unidade condensadora *Danfoss Compact Line* e na Figura 6 a unidade condensadora *Danfoss Blue Star*.



Fonte: Danfoss.com .br

Figura 5 - Unidade condensadora Compact Line.



Fonte: Danfoss.com.br

Figura 6 - Unidade condensadora Blue Star.

As principais características dos componentes das unidades condensadoras estão relacionadas na Tabela 23.

Tabela 23 - Características dos componentes das unidades condensadoras.

Capacidade [litros]	Unidade Condensadora	Vazão do compressor [m ³ /h]	Refrigerante	Quantidade de refrigerante [kg]	Capacidade de refrigeração [kcal/h]
320	<i>Compact Line</i> HCZ 022 1 cilindro	8,0	R-134a	2,5	1492 T.Amb.43 °C T. Evap.-10 °C
500	<i>Compact Line</i> HCZ 028 1 cilindro	10,1	R-134a	2,5	2425 T.Amb. 32 °C T. Evap.-10 °C
2000	<i>Blue Star</i> HGZ 125 4 cilindros	45,2	R-134a	10	9680 T.Amb. 35 °C T. Evap -10 °C

Evaporador: Ficará imerso em contato direto com o produto, é do tipo serpentina, construído em aço inox AISI 304, objetivando o aproveitamento total da troca térmica. Segundo as especificações do Regulamento Técnico Nacional quando o sistema de refrigeração utilizado nos tanques é de expansão direta, todos os acoplamentos que estejam ou possam estar em contato térmico direto com o leite ou o corpo interno, deverão ser fabricados com aço inoxidável AISI 304 ou aço inoxidável austenítico, não magnético, com a quantidade de cromo não inferior a 18% e a de níquel não inferior a 8%.

Na Tabela 24 tem-se as principais características construtivas dos evaporadores.

Tabela 24 - Características construtivas dos evaporadores.

Capacidade [litros]	Diâmetro médio [m]	Comprimento [m]	Condutividade [kcal/m.h.°C]
320	0,010	5,03	16,04
500	0,010	7,87	16,04
2000	0,031	38,4	16,04

Agitador: A agitação do produto, de ambos os tanques, será feita por um agitador provido de motor-elétrico, redutor de engrenagens, impelidor descentralizado com eixo tubular de inox e pás em aço inox AISI 304 e fixação da hélice no eixo do redutor através de pino elástico. As características técnicas do sistema estão indicadas na Tabela 25.

Tabela 25 - Características técnicas dos sistemas de agitação.

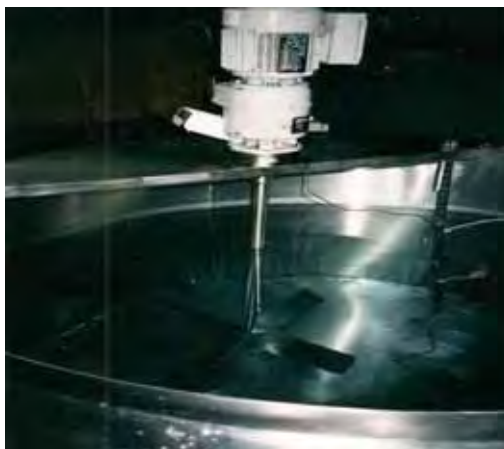
Capacidade [litros]	Redutor [SEW]	Rotação [rpm]	Impelidor [pás/inclinação]	Potência de saída [kW]	Diâmetro impelidor [m]	Massa [kg]
320	FA27DZ71D8	25	4/45°	0,15	0,27	12
500	FA27DZ71D8	25	4/45°	0,15	0,30	12
2000	FAF27DZ71D8	28	4/45°	0,15	0,49	13

Na Tabela 26 tem-se a comparação entre os diâmetros do impelidor e às potências consumidas.

Tabela 26 - Comparação entre os diâmetros do impelidor e às potências consumidas.

Capacidade (litros)	Relação áurea		Batelada quadrada	
	Diâmetro do impelidor [m]	Potência consumida [W]	Diâmetro do impelidor [m]	Potência consumida [W]
320	0,27	0,15	0,30	0,25
500	0,30	0,25	0,35	0,53
2000	0,49	4,06	0,54	6,8

Na Figura 7 tem-se o modelo do agitador descentralizado utilizado nos ensaios de Razuk (2001), no trabalho proposto utilizar-se-á um agitador muito parecido, especificamente em relação ao seu impelidor que é de 4 pás planas inclinadas a 45°, a finalidade desse dispositivo é misturar o leite, promover transferência de calor e garantir distribuição uniforme da gordura.



Fonte: Razuk (2001)

Figura 7 – Agitador

Sistema de Medição: através de escala medidora e tabela de conversão de milímetros de altura para litros, indicando o nível correspondente, sendo a tabela elaborada individualmente para cada tanque através de reservatórios calibrados e aferidos pelo INMETRO.

Sustentação: A sustentação é construída com pernas tubulares em aço inoxidável Schedule 5s e 10s onde são apoiados e fixados o tanque e a unidade condensadora, possuindo

pés para nivelamento. Devido a altura dos tanques é necessário uma plataforma para o abastecimento.

Na Tabela 27 tem-se os dados necessários para o cálculo da sustentação para cada tanque e na Tabela 28 os resultados obtidos com os cálculos.

Tabela 27 - Dados necessários para os cálculos da sustentação.

Capacidade (litros)	Massa do produto (kg)	Massa da chaparia empregada (kg)	Massa do tanque cheio (kg)	Massa da serpentina (kg)	Massa do motorreductor (kg)
320	357,0	59,0	416,0	3,76	12,0
500	558,0	79,8	637,8	5,9	12,0
2000	2197,0	247,5	2444,5	59,4	13,0

Tabela 28 - Resultados obtidos com os cálculos da sustentação.

Capacidade (litros)	Diâmetro do tubo adotado (padrão Schedule)		Reação da perna (N)	Tensão axial de compressão (N/cm ²)	Tensão de flexão (N/cm ²)	Tensão resultante (N/cm ²)
320	5s	60,33 mm	1411,86	464,4	48,8	513,2
500	5s	60,33 mm	2144,07	705,3	74,1	779,4
2000	10s	114,30 mm	6172,75	576,9	32,0	608,9

As Figuras 8, 9 e 10 mostram os desenhos dos tanques de refrigeração dimensionados para as capacidades de 320, 500 e 2000 litros, onde aparece o nível da primeira ordenha.

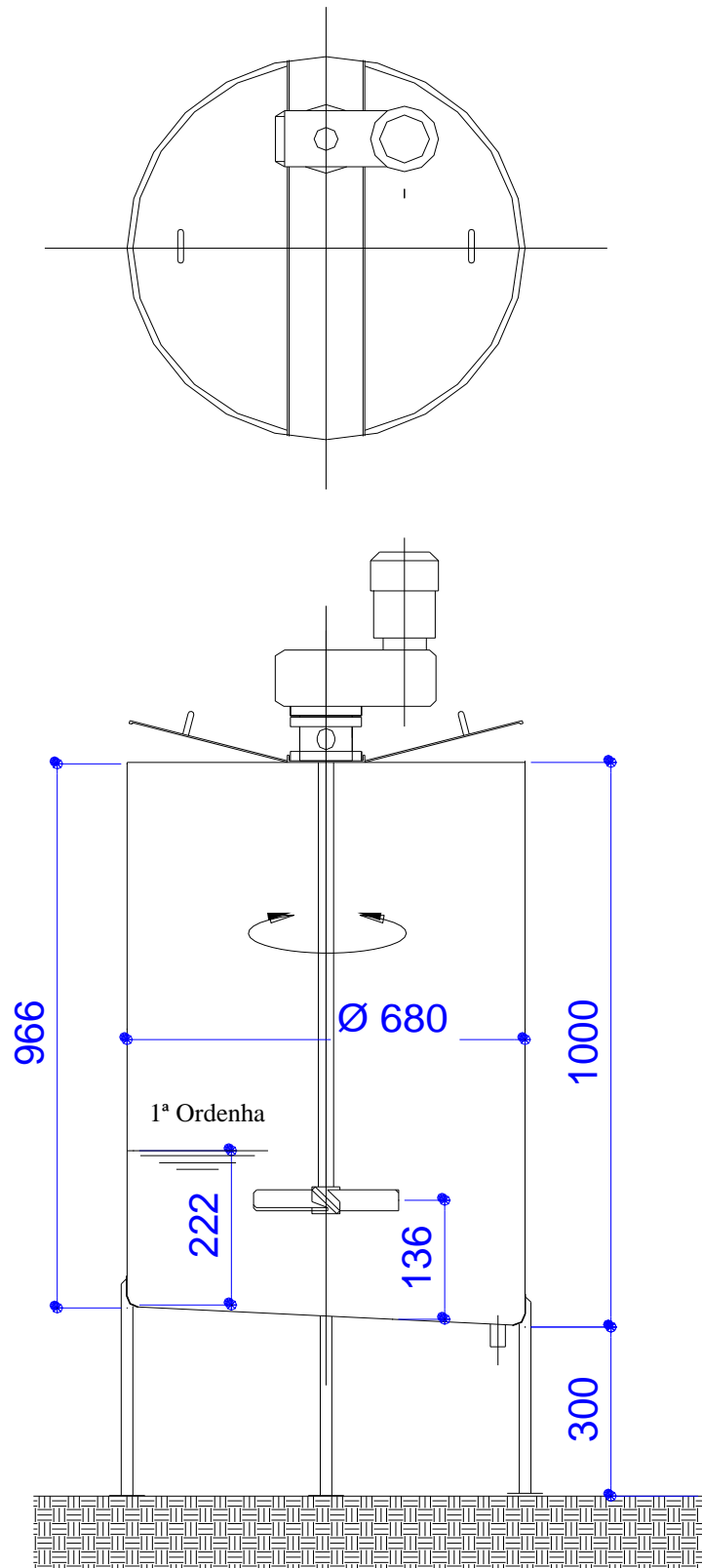


Figura 8 – Tanque de 320 litros (Dimensões em mm)

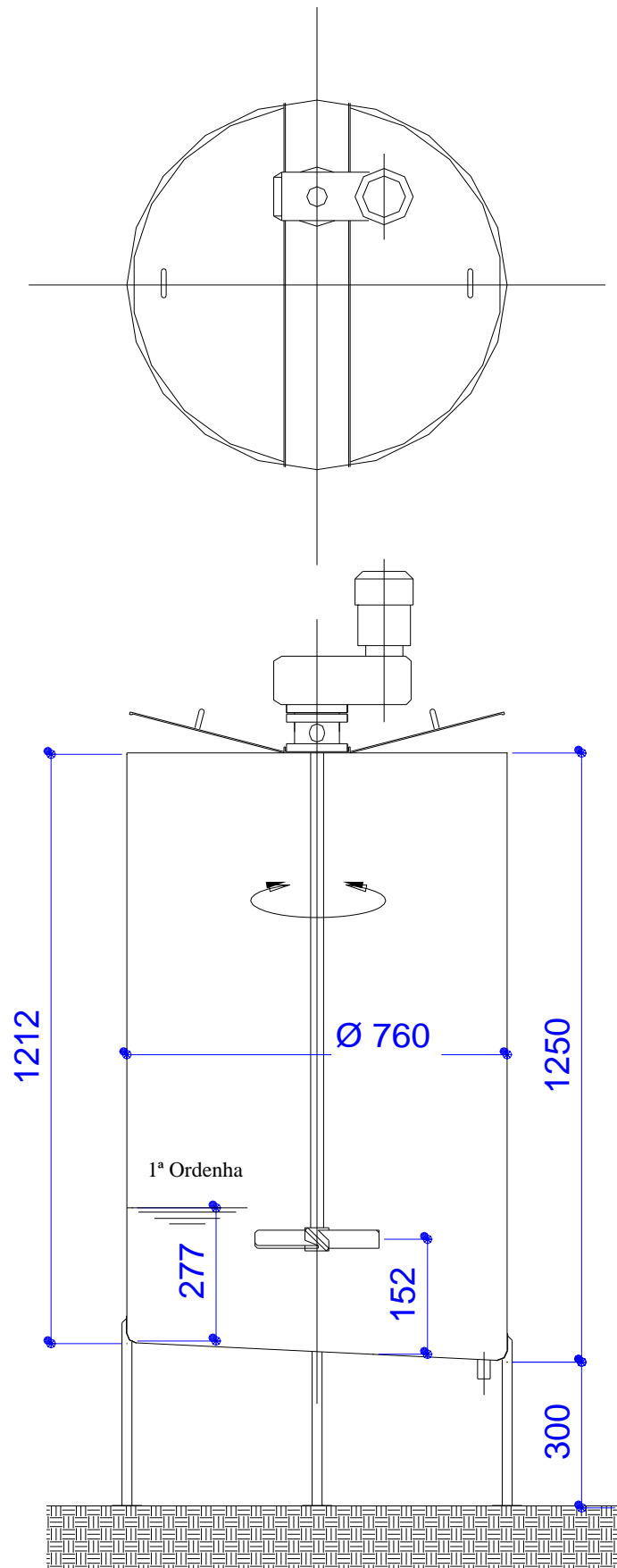


Figura 9 – Tanque de 500 litros (Dimensões em mm)

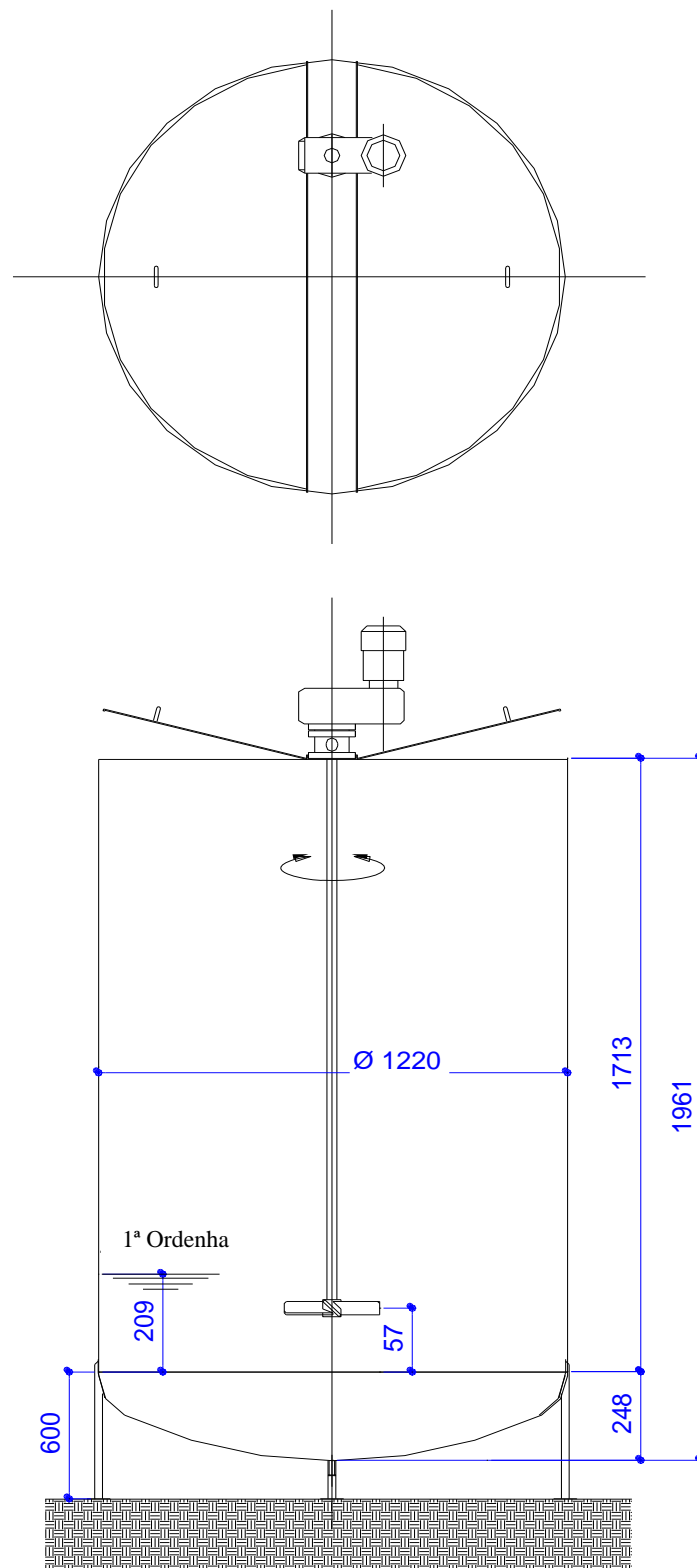


Figura 10 – Tanque de 2000 litros (Dimensões em mm)

5 – CONCLUSÕES

- 1) O interesse referido no presente estudo está focado no pequeno produtor de leite de cabra, por isto, pensou-se em utilizar caixas d'água de polietileno para a refrigeração do leite. Por ser um produto acessível e de baixo custo, baixa condutibilidade térmica, inerte face à maioria dos produtos químicos comuns, devido à sua natureza parafínica, seu alto peso molecular e sua estrutura parcialmente cristalina, é material absolutamente atóxico devidamente aprovado para contato com alimentos pelo Instituto Adolfo Lutz, Ministério da Saúde. Das várias marcas e tamanhos pesquisados havia se optado pela marca Isdralit, pela sua capacidade ser compatível com as necessidades, mas, descartou-se, pois o fundo plano dificultaria a retirada do produto e a limpeza.
- 2) Nos cálculos envolvidos na geometria para a construção dos tanques, utilizou-se a relação áurea $\left[\left(\frac{H}{D}\right) = 1,618\right]$ e da batelada quadrada $\left[\left(\frac{H}{D}\right) = 1\right]$. Eventual variação ocorrida na relação áurea se deve à otimização do uso da chaparia, e observou-se que:
 - Nos tanques de 320 e 2000 litros, em que se utiliza a relação áurea, há um melhor aproveitamento de chapas, com taxas de 79,7% e 86,6%, enquanto que na batelada quadrada foram de 75,2% e 80,7%.
 - Para o tanque de 500 litros a taxa de aproveitamento na relação áurea é de 78,1% e na batelada quadrada 82,7%. Levando-se em conta o peso, a diferença é de 3,9 kg, no entanto, faz-se a opção pelo tanque construído na relação áurea, pois além de ser esteticamente mais agradável, a potência consumida é 47,2% menor, pois, a geometria mais esbelta torna a agitação mais eficiente.
- 3) A serpentina interna minimiza o custo e facilita a transferência de calor já que a superfície de troca de calor está imersa no próprio produto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS E CONSULTADAS

ÁLVARES, B. L. Limpeza de Equipamentos de Ordenha e Tanques. Disponível em: <<http://www.cienciadoleite.com.br/limpezaequipamentostanques.htm>>. Acesso em: 27 jan. 2008.

BEHMER, M. L. A. **Tecnologia do leite: produção, industrialização e análise**. São Paulo: Nobel, 1991. 320 p.

BRANDÃO, S.C.C. Pontos fundamentais da coleta a granel. **Revista Leite Brasil**, n. 5, p. 12-21, mar. 1998.

BRASIL. Rumo ao primeiro mundo: Agricultura e Alimentos. Disponível em: <<http://www.itis.com.br/brasil/agricultura.htm>>. Acesso em: 28 jan. 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Regulamento Técnico de produção, identidade e qualidade do leite de cabra. Instrução Normativa nº 37 de 31 de outubro de 2000. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 nov. 2000. Seção 1. p. 23.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamento Técnico da Coleta de leite cru refrigerado e seu transporte a granel. Instrução Normativa nº 51 de 18 de setembro de 2002. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 set. 2002. Seção 1. p. 13.

BRASIL Rumo ao primeiro mundo: A Cabra Leiteira. Disponível em: <<http://www.itis.com.br/brasil/agricultura.htm>>. Acesso em: 12 mar. 2008.

BRITO, A. J. T. Raças Caprinas. Disponível em: <<http://www.cienciadoleite.com.br/racascaprinas.htm>>. Acesso em: 09 jan. 2008.

CARBINOX, Indústria e Comércio Ltda. **Catálogo de tubos de aço inoxidável**. Disponível em: <<http://www.carbinox.com.br>>. Acesso em: 05 fev. 2009.

CARVALHO, M. G. X. **Características físico-químicas, biológicas e microbiológicas do leite de cabra processado em microusinas da região da Grande São Paulo – SP.** 1998. 102 p. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

CELESTINO, E. L.; LYER, M.; ROGISNKI, H. The effects of refrigerated storage on the quality of raw milk. **The Australian Journal of Dairy Technology**, Melbourne, v. 51, p. 59-66, 1996.

CHAPAVAL, L. **Recomendações Técnicas para o Uso Eficiente do Equipamento de Ordenha para Cabras Leiteiras.** Sobral: Embrapa Caprinos, 2007. 5 p. (Embrapa Caprinos. Comunicado Técnico, 79). Disponível em: <<http://cnpc.embrapa.br/cot79.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2009.

CIMIANO, P. C.; ALVAREZ, J. A. G. A lipólise e sua influência na qualidade do leite. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 38, p. 27-33, 1983.

CORREIA, R.T.P. et al. Leite de cabra e derivados. Disponível em: <http://www.acosc.org.br/acosc/artigos/ac_artigosdetalhes.jsp?codigo=13>. Acesso em: 06 abr. 2009.

COSTA, A. L Leite caprino: um novo enfoque de pesquisa. Disponível em: <<http://www.cnpc.embrapa.br>>. Acesso em: 28 jan. 2007.

DANFOSS, do B. **Catálogo Seleção e aplicação – unidades condensadoras herméticas – 60Hz.** São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.danfoss.com.br>>. Acesso em: 05 fev. 2009.

DOCZI, G. **Poder dos Limites.** São Paulo: Mercuryo, 2002. 149 p.

EMEDIATO, R. M. S. Minerais e vitaminas nos leites de cabra e de ovelha. Disponível em: <<http://www.farmpoint.com.br>>. Acesso em: 26 jun. 2008.

EPAMIG - Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.epamig.br>>. Acesso em: 05 fev. 2009.

FILHO, A. N. Sistema Agroindustrial e Potencialidades da ovinocaprinocultura. Disponível em: <<http://www.ovinocultura.com.br/artigo6.htm>>. Acesso em: 16 jan. 2009.

FURLANETTO, C. R. **Aspectos sócio-econômicos na utilização dos tanques de resfriamento de leite fluído na pecuária brasileira.** 2000. Monografia (Especialização em Refrigeração e Ar Condicionado)-Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2000.

FURNAS. Disponível em: <<http://www.furnas.com.br/luzparatodos/noticias>>. Acesso em: 10 mar. 2008.

FURTADO, M. M. Variação da constituição físico-química do leite de cabra. Disponível em: <<http://www.cienciadoleite.com.br/caprinobrasil.htm>>. Acesso em: 06 jul. 2007.

GUIMARÃES, P. Valor nutritivo do leite. Disponível em: <<http://www.cienciadoleite.com.br/valornutritivo.htm>>. Acesso em: 13 mar. 2008.

GUIMARÃES, M. P.; CORDEIRO, P. R. C. Conheça o destino do leite de cabra produzido no Brasil. Disponível em: <<http://www.caprileite.com.br>>. Acesso em: 02 abr. 2008.

HERSKOWICZ, G. et al. **Curso completo de física.** 1. ed. São Paulo: Moderna, 1991. 631 p.

JATINOX, Comércio e Importação de Aços Ltda. Distribuidora exclusiva de matérias-primas em aço inoxidável. Brasil – São Paulo. Disponível em: <<http://www.jati.com.br>>. Acesso em: 05 fev. 2009.

KATSUKI, L. K. **Sistema integrado computacional auxiliar na definição da geometria e agitação de tanques atmosféricos e pressurizados, aliado a técnicas de extrapolação.** 1999. 176p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

LEITE, E. Ovinocaprinocultura no Nordeste: organização e crescimento. Disponível em: <<http://www.ascoper.com.br/exibe.jsp?id=273&tipo=Artigo>>. Acesso em: 28 jan. 2007.

Plano Agrícola e Pecuário 2006/2007. Disponível em: <<http://www2.faepe.com.br/docs/PlanoAgricolaPecuario200607.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2008.

LUZ PARA TODOS. Disponível em: <http://www.conam.org.br/luz_para_todos.htm>. Acesso em: 10 mar. 2008.

MEDEIROS, U. K. L. et al. Análise comparativa das propriedades físicas e físico-químicas do leite de cabra reconstituído. In: XLVII CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 2007, Natal.

MONTINGELLI, N. M. M. **Pré-disposição do leite de cabra para a fabricação de queijos**. 2005.47p. Monografia (Especialização em Processamento e controle de Qualidade em Carne, Leite e Ovos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

PARK, Y.W et al. **Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. Small Ruminant Research**, v. 68, p. 88-113, 2007.

RAZUK, H.C. **Análise térmica dos tanques de resfriamento de leite “in natura” para quatro ordenhas**. 2001. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2001.

RAZUK, P. C. **Um estudo sobre as operações unitárias de agitação, troca de calor em tanques e mistura de pós**. 1992. 143 p. Tese (Concurso de Livre Docência, para obtenção do Título de Professor Adjunto)-Universidade Estadual Paulista, Bauru, 1992.

SVEVO, C. A Lógica da Beleza. **Bons Fluidos**, n.45, fev. 2003. Disponível em: <<http://bonsfluidos.abril.uol.com.br/extra/a/beleza5.shtml>>. Acesso em: 12 mar. 2008.

RIBEIRO, S.D. A. **Caprinocultura: criação racional de caprinos**. São Paulo: Nobel, 1998. 318p.

ROCHA, D. Caprinos Lactação e Desmama. Disponível em:
<<http://www.ambienteemfoco.com.br>>. Acesso em: 17 jan. 2009.

SEW-EURODRIVE, Süddeutsche-Elektromotoren-Werke- Fábricas de Motores Elétricos do Sul da Alemanha. **Catálogo SEW**. Disponível em: <<http://www.sew.ind.br>>. Acesso em: 03 fev. 2008.

VASCONCELOS, V. R. et al. A evolução da caprino-ovinocultura Brasileira. Disponível em: <<http://www.cnpc.embrapa.br>>. Acesso em: 28 jan. 2008.

VIEIRA, M.I. **Criação de cabras: técnica prática lucrativa**. São Paulo: Nobel, 1984. 308p.

VIEIRA, M.I. Período de lactação das cabras. Disponível em:
<<http://www.cienciadoleite.com.br/periodolactacaocabras.htm>>. Acesso em: 03 Nov. 2006.

WIKIPÉDIA. A proporção áurea ou número de ouro. Disponível em:
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Proporção_áurea>. Acesso em: 12 mar. 2008.