

ERNESTO HASHIME KUBOTA

CINÉTICA DE PERDA D'ÁGUA E CARACTERIZAÇÃO REO-  
LÓGICA DE UMA PASTA LÁCTEA OBTIDA  
PELA SECAGEM A FRIO

Tese apresentada à Escola Superior de  
Agricultura de Lavras, como parte das  
exigências do Curso de Pós-graduação  
em Ciência dos Alimentos, para obtenção  
do grau de "MESTRE".

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

LAVRAS - MINAS GERAIS

1 9 8 5

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE QUÍMICA  
LABORATÓRIO DE QUÍMICA ANALÍTICA

Nome do Aluno: \_\_\_\_\_  
Número de Matrícula: \_\_\_\_\_  
Data: \_\_\_\_\_

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS - E.S.A.L.  
LAVRAS - MINAS GERAIS



CINÉTICA DE PERDA D'ÁGUA E CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA  
DE UMA PASTA LÁCTEA OBTIDA PELA SECAGEM A FRIO

APROVADA:



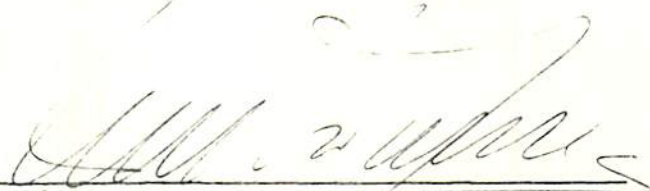
---

PROF. DR. JOSÉ CAL-VIDAL  
ORIENTADOR



---

PROF. DR. JOSÉ SÁTIRO DE OLIVEIRA



---

PROF. DR. RAUL CASTRO-GÓMEZ



Aos meus pais, Minoru e Chise

como gratidão

Aos meus irmãos como homenagem

À minha esposa Nélia,  
pelo amor, compreensão e estímulo e ao  
nosso filho Flávio

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura de Lavras - ESAL e seu Departamento de Ciência dos Alimentos pela oportunidade de realizar este trabalho.

Ao Prof. Dr. José Cal-Vidal pela dedicação, competente orientação e amizade, de fundamental importância para a realização do mesmo.

Aos Srs. Alcides Santos Penoni e Samuel Antonio Guimarães da Seção de Laticínios da Cooperativa Agrícola Alto Rio Grande de Lavras pelo fornecimento do creme de leite que permitiu a realização deste trabalho.

Ao CNPq pela concessão de bolsa de estudo e auxílios para a obtenção de equipamentos utilizados neste estudo.

A Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão-FAEPE, pela ajuda financeira quando da impressão da tese.

Ao Prof. Dr. Raul Castro-Gómez pela colaboração oferecida durante a concepção e construção do túnel-secador.

Aos professores, funcionários e colegas do Departamento de Ciência dos Alimentos pelo agradável convívio.

Finalmente a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização desta tese.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

ERNESTO HASHIME KUBOTA nasceu na cidade de Suzano no dia 08 de maio de 1958.

Realizou seus estudos secundários na Escola Estadual de 2º Grau de São Paulo (São Paulo). Prestando vestibular para Agronomia no ano de 1978, deu início em 1980 à atividade de pesquisa como estudante de iniciação científica na área de Ciência de Alimentos, formou-se em 1982 pela Escola Superior de Agricultura de Lavras.

Em 1982 deu início ao seu programa de pós-graduação a nível de Mestrado, na área de Engenharia dos Alimentos no Departamento de Ciência dos Alimentos da Escola Superior de Agricultura de Lavras, tendo concluído em 1985.

Participou, dentro da área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, dos seguintes eventos: VI Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos (Brasília, DF, 1983) onde apresentou o trabalho "Desenvolvimento de um Secador a Frio (0-15°C) aplicável a pastas alimentícias"; I Feira de Insumos para Indústria de Alimentos e I Seminário de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (São Paulo, SP, 1985); V Encontro Nacional de Secagem (Lavras, MG, 1985)



onde apresentou o trabalho "Secagem a Frio de um Produto Lácteo".

É membro da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos (Campinas, SP).

## ÍNDICE

	Página
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. Processo de secagem a frio .....	4
2.1.1. Conceituação .....	4
2.1.2. Fatores envolvidos .....	6
2.1.3. Limitações e aplicações .....	6
2.1.4. Vantagens .....	6
2.2. Emulsões, generalidades .....	7
2.2.1. Emulsões lácteas .....	7
2.2.2. Mecanismo de desestabilização de emulsões lácteas .....	8
2.2.3. A teoria de inversão de fases aplicada a sistemas lácteos .....	11
2.3. Caracterização reológica de emulsões lácteas .....	13
2.3.1. Reologia e floculação .....	15

2.3.2. O fenômeno da coalescência .....	16
2.3.3. Fatores que afetam a reologia de produtos lâcteos .....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	21
3.1. Matéria prima .....	21
3.2. Secagem a frio das amostras .....	21
3.3. Análises químicas .....	24
3.3.1. Teor de gordura do creme .....	24
3.3.2. Teor de umidade .....	24
3.4. Análises reológicas .....	24
3.4.1. Determinação da viscosidade durante a remo- ção d'água .....	24
3.4.2. Caracterização reológica .....	25
3.5. Determinação do equilíbrio higroscópico .....	27
3.5.1. Dessorção de umidade .....	27
3.5.2. Temperatura e equilíbrio higroscópico .....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
4.1. Composição química do creme de leite .....	29
4.2. Cinética de perda d'água .....	29
4.2.1. Efeito dos fatores de amostragem .....	29
4.2.1.1. Efeito área .....	29
4.2.1.2. Efeito espessura .....	37
4.2.2. Efeito de variáveis operacionais .....	42
4.2.2.1. Efeito da temperatura .....	42
4.2.2.2. Efeito da umidade relativa .....	42

4.3. Caracterização reológica .....	46
4.3.1. Efeito da temperatura .....	46
4.3.2. Efeito da velocidade de cisalhamento .....	50
4.3.3. Efeito do tempo de cisalhamento .....	56
4.4. Mudança de viscosidade durante a secagem .....	59
4.5. Análises de equilíbrio higroscópico .....	59
4.5.1. Isotermas de dessorção .....	59
5. CONCLUSÕES .....	64
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	65
7. RESUMO .....	66
8. SUMMARY .....	67
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	68
10. ANEXO .....	75

## LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
1	Composição química média do creme de leite .....	9
2	Condições do ar de secagem .....	23
3	Velocidades de cisalhamento e temperaturas utilizadas para a caracterização reológica do creme, pasta láctea e da manteiga .....	26
4	Teores médios de gordura e água do creme de leite.	30
5	Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e com um ar de secagem a 0°C e 5% UR. ....	76
6	Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e com um ar de secagem a 5°C e 5% UR. ....	78
7	Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e com um ar de secagem a 5°C e 5% UR. ....	78

## TABELA

## Página

8	Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e com um ar de secagem a 5 <sup>o</sup> C e 17% UR. ....	79
9	Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessura de 1,5 cm e com um ar de secagem a 5 <sup>o</sup> C e 40% UR. ....	80
10	Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e com um ar de secagem a 10 <sup>o</sup> C e 5% UR. ....	81
11	Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e com um ar de secagem a 10 <sup>o</sup> C e 17% UR. ....	82
12	Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessura de 1,5 cm e com um ar de secagem a 10 <sup>o</sup> C e 40% UR. ....	83
13	Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e com um ar de secagem a 15 <sup>o</sup> C e 5% UR. ....	84
14	Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e com um ar de secagem a 15 <sup>o</sup> C e 17% UR. ....	85
15	Dados de efeito da temperatura sobre as viscosidades de creme de leite, da pasta láctea e da manteiga comum determinadas a diversas velocidades de cisalhamento .....	86

## TABELA

## Página

16	Dados de efeito da temperatura sobre as viscosidades de creme de leite, da pasta láctea e da manteiga comum determinadas a diversas velocidades de cisalhamento .....	87
17	Dados de efeito do tempo de cisalhamento sobre as viscosidades de creme de leite, da pasta láctea e da manteiga comum determinadas a 26°C e 10 rpm ...	88
18	Dados de relação entre a mudança de teor d'água nas amostras e a correspondente viscosidade das amostras (transição creme-pasta) nas condições de ar a 5°C e 40% UR. Viscosidade determinada a 26°C e 5rpm .....	89
19	Dados de relação entre a mudança de teor d'água nas amostras e a correspondente viscosidade das amostras (transição creme-pasta) nas condições de ar a 10°C e 40% UR. Viscosidade determinada a 26°C e 5 rpm .....	90
20	Dados de isotermas de dessorção d'água de creme-pasta determinadas a diversas temperaturas .....	91
21	Dados de isotermas de dessorção d'água de creme-pasta determinadas a diversas temperaturas .....	92
22	Dados de efeito da temperatura sobre a atividade d'água da pasta láctea e manteiga comum .....	93

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Fatores que afetam a velocidade de coalescência de emulsões .....	14
2	Influência da velocidade de cisalhamento sobre a viscosidade do leite cru .....	17
3	Diagrama esquemático do túnel-secador .....	22
4	Efeito da área de exposição sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5 e 1,0 cm e com um ar de secagem a 5°C e 17% UR. ....	31
5	Efeito da área de exposição sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com espessura de 1,5 cm e com um ar de secagem a 5°C e 17% UR. ....	32
6	Efeito da área de exposição sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5 e 1,0 cm e com um ar de secagem a 10°C e 5% UR. ....	33
7	Efeito da área de exposição sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com espessura de 1,5 cm e com um ar de secagem a 10°C e 5% UR. ....	34



## FIGURA

## Página

8	Efeito da área de exposição sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5 e 1,0 cm e com um ar de secagem a 15°C e 5% UR. ....	35
9	Efeito da área de exposição sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com espessura de 1,5 cm e com um ar de secagem a 15°C e 5% UR. ....	36
10	Efeito da espessura de amostra sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com diâmetros de 5 e 9 cm e com um ar de secagem a 5°C e 17% UR. ....	38
11	Efeito da espessura de amostra sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com diâmetros de 5 e 9 cm e com um ar de secagem a 10°C e 5% UR. ....	39
12	Efeito da espessura de amostra sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com diâmetros de 5 e 9 cm e com um ar de secagem a 15°C e 5% UR. ....	40
13	Influência da temperatura do ar de secagem sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com diâmetros de 5 e 9 cm e espessura de 1,5 cm (UR=5%)..	43
14	Influência da temperatura do ar de secagem sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com diâmetros de 5 e 9 cm e espessura de 1,5 cm (UR=17%).	44
15	Influência da temperatura e umidade relativa do ar sobre a queda de teor d'água ao final de um período de secagem de 30 horas. Para amostras com diâmetros de 5 e 9 cm .....	45

## FIGURA

## Página

16	Influência da umidade relativa do ar de secagem <u>so</u> <u>bre</u> o teor d'água em amostras de creme de leite com diâmetros de 5 e 9 cm e espessura de 1,5 cm (T = 5 <sup>o</sup> C) .....	47
17	Influência da umidade relativa do ar de secagem <u>so</u> <u>bre</u> o teor d'água em amostras de creme de leite com diâmetros de 5 e 9 cm e espessura de 1,5 cm (T = 10 <sup>o</sup> C) .....	48
18	Influência da umidade relativa e temperatura do ar sobre a queda de teor d'água ao final de um perío- do de secagem de 30 horas. Para amostras com diâme- tros de 5 e 9 cm .....	49
19	Efeito da temperatura sobre as mudanças de viscosi- dade do creme de leite e da pasta láctea determina- das a diversas velocidades de cisalhamento .....	51
20	Efeito da temperatura sobre as mudanças de viscosi- dade da pasta láctea e da manteiga comum determina- das a diversas velocidades de cisalhamento .....	52
21	Efeito da velocidade de cisalhamento sobre a mudan- ça de viscosidade do creme de leite a diversas tem- peraturas .....	53
22	Efeito da velocidade de cisalhamento sobre a mudan- ça de viscosidade da pasta láctea a diversas tempe- raturas .....	54

## FIGURA

## Página

23	Efeito da velocidade de cisalhamento sobre as mudanças de viscosidade da pasta láctea e da manteiga comum a diversas temperaturas .....	55
24	Efeito do tempo de cisalhamento sobre a viscosidade do creme de leite e da pasta láctea (a 26 <sup>o</sup> C) ..	57
25	Efeito do tempo de cisalhamento sobre a viscosidade da pasta láctea e da manteiga comum (a 26 <sup>o</sup> C) ..	58
26	Relação entre a mudança de teor d'água nas amostras e a correspondente viscosidade das amostras (transição creme-pasta), nas condições experimentais indicadas .....	60
28	Isotermas de dessorção d'água de creme-pasta láctea em diversas temperaturas .....	61
28	Análise comparativa do efeito da temperatura sobre a atividade d'água da pasta láctea e manteiga comum .....	63

## 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre alimentos desidratados já data de um longo tempo, todavia a sua popularidade tem sido limitada tendo em vista efeitos indesejáveis em sua qualidade organoléptica e nutricional, devidos principalmente às temperaturas relativamente altas utilizadas nos processos convencionais. Por esta razão, a possibilidade de utilização de métodos de desidratação a baixas temperaturas, como a liofilização, tem sido proposta em virtude das nítidas vantagens que oferece com relação à preservação de tais qualidades. O processo de liofilização consiste no congelamento e posterior remoção d'água do material pelo processo de sublimação. Nos processos mais tradicionais de liofilização, o método é desenvolvido sob vácuo, e o calor latente de sublimação do gelo é fornecido por condução ou radiação. Todavia, o processo de liofilização tem a sua aplicação limitada devido ao alto custo da instalação e equipamento de produção do vácuo. A possibilidade de se aplicar o conceito de liofilização a pressão atmosférica a diversos produtos alimentícios tem sido tentada com algum sucesso, LEWIN & MATELES (26); WOODWARD (51); SINNAMON et alii (47); MALECKI et alii (29) e SCHMIDT et alii (43). O processo de secagem a frio decorre de uma simplificação deste processo mediante a eliminação da etapa de congelamento e possi-

lita a obtenção de produtos com um teor intermediário de umidade, características que lhes conferem uma alta estabilidade sem implicar na perda de plasticidade.

As propriedades de creme de leite têm sido extensivamente estudadas, PRENTICE (38), devido não somente ao fato do creme ser consumido em seu estado original, mas por ser também o ponto de partida para a produção de manteiga. Entretanto, existem grandes variações nas propriedades intrínsecas do creme e este é um dos principais problemas que afetam a fabricação de produtos lácteos com o fim de proporcionar aos seus consumidores um produto de boa aceitabilidade. E as propriedades reológicas de produtos lácteos ricos em gordura desempenham um papel importante durante o seu processamento e conseqüentemente, na sua aceitabilidade.

A variação no teor de umidade tem uma influência bastante pronunciada sobre a textura de muitos produtos alimentícios, MATZ (30). Em muitos casos este efeito é bastante crítico, e pequenas mudanças de teor d'água favorecem a obtenção de um produto de alta aceitabilidade e estabilidade.

Tendo em vista as considerações anteriores, este trabalho teve como objetivos:

1. A aplicação dos princípios envolvidos na secagem a frio a um produto derivado de leite com o fim de obter um concentrado lácteo.

2. Estabelecer correlações entre a velocidade de remoção d'água nesse processo e as mudanças conseqüentes de viscosidade.

3. Verificar as condições ótimas do processo/equipamento com vistas a acelerar as mudanças sob considerações e tornar aplicável tal processo a obtenção de pastas alimentícias (Produtos com Teor Intermediário de Umidade, TIU).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. O processo de secagem a frio

#### 2.1.1. Conceituação

Um processo de remoção d'água, já bastante conhecido atualmente no qual se utiliza de baixas temperaturas é a liofilização; onde o produto é previamente congelado e a água removida através da sublimação. Normalmente a liofilização é executada sob alto vácuo, porém diversos autores têm comprovado a possibilidade de se realizar o processo de liofilização à pressão atmosférica, MERYMAN (31); LEWIN & MATELES (26); WOODWARD (51) e SCHMIDT et alii (43). O processo de ~~secagem~~ de secagem a frio decorre de uma simplificação deste processo mediante a eliminação da etapa de congelamento. Consequentemente, ainda que se tenha a remoção d'água e baixas temperaturas, a água no produto é mantida no estado líquido.

#### 2.1.2. Fatores envolvidos

A capacidade de retenção de umidade do ar frio é bastante limitada, se comparada com a do ar quente. Entretanto, quando a sua umidade relativa atinge níveis suficientemente baixos, esse mesmo ar frio adquire a habilidade de absorver umidade, HALLOWELL (19). No

processo de liofilização atmosférica a pressão parcial da água deve ser mantida em valores bem baixos, requerendo-se para tanto ar frio, dessecado, fazendo uso de dessecantes, MERYMAN (31); LEWIN & MATELES (26); WOODWARD (51); SINNAMON et alii (47); KAREL (22) e SCHMIDT et alii (43). A temperatura do ar de secagem é fator crítico no processo de liofilização atmosférica, e a velocidade de remoção d'água aumenta consideravelmente com o aumento da temperatura, WOODWARD (51); SINNAMON et alii (47) e SCHMIDT et alii (43). BURKE & DECAREAU (2) não descartam a possibilidade da ocorrência de um descongelamento parcial e a migração da água líquida para a superfície quando o processo de liofilização atmosférica é realizado a temperaturas muito próximas de 0°C. LEWIN & MATELES (26) utilizaram uma temperatura de 60°C para comparar a velocidade de secagem com a das temperaturas de congelamento em rodela de cenoura e encontraram que apesar da velocidade de secagem a 60°C ser bem maior do que a temperatura de congelamento notaram a ausência de sabor e aroma nos produtos. A velocidade de fluxo do ar parece não ter apresentado um grande efeito sobre o tempo de secagem nas experiências conduzidas por WOODWARD (51) e MALECKI et alii (29). No entanto, MADARRO et alii (28) encontraram uma influência bastante significativa da velocidade do ar sobre o ciclo de secagem no processo de desidratação ambiental de frutas e hortaliças. Com relação ao tamanho das partículas, DUNOYER & LAROUSSE (13) concluem que as velocidades de secagem atmosférica podem atingir valores próximos daqueles obtidos em condições de vácuo, se o tamanho das partículas for suficientemente pequeno. Também WOODWARD (51) e HELDMAN & HOHNER (20) afirmam que a velocidade de secagem pode ser aumentada pela redução do tamanho das partículas. Com relação a fatores de composição de produtos liofilizáveis em condições



atmosféricas, WOODWARD (51) salienta que alimentos com baixo teor de açúcar podem ser liofilizados por tais métodos, mas no caso de produtos com um alto teor de açúcar devem os mesmos ser desidratados em condições bem abaixo de  $0^{\circ}\text{C}$ , para evitar-se um colapso estrutural e em consequência há a necessidade de tempos de secagem bem mais longos. Outro fator que pode controlar a velocidade de liofilização a pressão atmosférica é a resistência para a difusão de vapor d'água que existe no alimento ou é criada pela camada em formação durante a secagem. Esta resistência é proporcional ao comprimento do curso de difusão, MERYMAN (31) e MALECKI et alii (29).

#### 2.1.3. Limitações e aplicações

A limitação e a praticabilidade do processo de liofilização atmosférica é citado na maioria dos casos com relação à sua baixa velocidade de secagem e todos os esforços têm sido voltados para a necessidade de aumentar esta velocidade, WOODWARD (51); LEWIN & MATELES (26); SINNAMON et alii (47) ; MALECKI et alii (29) e KAREL (22).

#### 2.1.4. Vantagens

As principais vantagens do processo de liofilização atmosférica estão relacionados à possibilidade do uso de equipamentos simples, MALECKI et alii (29); a melhor manutenção da cor, sabor e aroma do produto devido a baixas temperaturas utilizadas, LEWIN & MATELES (26) e a melhor retenção dos componentes voláteis do aroma devido a ausência do vácuo e temperaturas elevadas, MALECKI et alii (29).

## 2.2. Emulsões, generalidades

De acordo com SHERMAN (46) uma emulsão é basicamente um sistema de dois líquidos imiscíveis, geralmente óleo e água, em que um deles é disperso em forma de gotículas de tamanho microscópico ou submicroscópico (a fase dispersa) no outro (a fase contínua). Um terceiro componente, o emulsificante ou uma combinação de emulsificantes, pode ser adsorvido na superfície das gotículas durante o processo de emulsificação de forma a estabelecer um envólucro protetor. As emulsões podem ser do tipo óleo-em-água ou água-em-óleo e podem ser subdivididas em três categorias gerais: (1) Emulsões clássicas, como por exemplo, o leite, o creme e a maionese. Basicamente eles contêm somente óleo ou gordura, uma fase aquosa e um emulsificante. (2) Emulsões em que o emulsificante e os hidrocolóides não são os únicos fatores de estabilização. Os exemplos típicos são a margarina, a manteiga e o sorvete cremoso. A margarina e a manteiga são emulsões do tipo água-em-óleo em que a fase oleosa contém cristais de gordura extremamente pequenos. (3) Produtos que existem como emulsões no estágio preliminar da confecção mas que subsequentemente alteram a sua forma. Os exemplos típicos são o bolo e emulsões desidratadas pelo processo spray-drying (atomização).

### 2.2.1. Emulsões lácteas

O leite de vaca é uma dispersão aquosa de lactose e sais minerais em solução verdadeira, proteínas de soro em solução macromolecular, micélios de caseína-cálcio-fosfato e glóbulos de gordura em suspensão coloidal. Estes glóbulos de gordura tendem a formar o

creme, isto é, eles tendem a sofrer a separação por efeito gravimétrico, devido a sua baixa densidade. A fração mais pesada, denominada de leite desnatado, é substancialmente livre de gordura. A fração mais leve, o creme, consiste de uma alta concentração de glóbulos de gordura dispersa em leite desnatado, GRAF & BAUER (18). Desta forma, estruturalmente, o creme difere do leite devido a alta concentração de glóbulos de gordura.

A composição química do creme de leite, de acordo com FLEISCHMANN (17) e DAVIS (8) é a apresentada na tabela 1.

### 2.2.2. Mecanismos de desestabilização de emulsões lácteas

A estabilidade de emulsão ou a resistência dos glóbulos de gordura a sofrerem o processo de agregação no leite ou no creme tem grande significado do ponto de vista prático e teórico. Em alguns produtos ou processos é desejável reter tanto quanto possível a dispersão fina da gordura original, enquanto em outros momentos o propósito é agregar a gordura do leite mais ou menos completamente. O primeiro caso se aplica ao leite para consumo líquido, para diferentes produtos do creme, para o leite condensado e leite desidratado, e o segundo para processos tais como produção de manteiga, produção de "ghee" e quando se procede à determinação da gordura em leite e produtos lácteos. A instabilidade de emulsões tem várias conotações, tais como, a formação de nata, floculação, coalescência e agregação, entre outros, DARLING (7). A agregação ocorre principalmente através dos três mecanismos seguintes:

TABELA 1 - Composição química média do creme de leite.

COMPONENTES	(%) <sup>a</sup>	(%) <sup>b</sup>
Gordura	50,0	67,5
Água	45,45	29,6
Albuminóides	1,7	1,3
Lactose	2,47	1,5
Cinzas	0,37	0,1

<sup>a</sup> DAVIS ( 8 ).

<sup>b</sup> FLEISCHMANN ( 17 ).

(1) Forças de atração fracas, descritos pela teoria de Derjaguin-Landaw-Verwey-Overbeek (D.L.V.O.) para estabilidade de colóides, OVERBEEK (33). Uma pequena energia a certa distância intermediária de separação entre os glóbulos resulta na formação de flocos soltos que são prontamente dispersíveis mediante agitação moderada. A natureza complexa deste processo poderia ser também interpretada em termos de uma energia mínima de interação. Isto resulta numa fraca atração entre os glóbulos, seguido pela floculação e uma rápida formação do creme, DARLING (7).

(2) Uma segunda forma de agregação ocorre por via de um mecanismo conhecido como ponte de polímeros, VINCENT (50), onde um polímero, tal como a proteína, adsorve sobre mais de uma gotícula para formar pontes do tipo partícula-partícula. No creme isto é tipicamente observado durante a homogeneização, onde as proteínas do leite atuam como o material responsável pela formação das pontes entre os glóbulos de gordura. Um dos fatores críticos que afetam a floculação por este mecanismo é a razão entre a quantidade de surfactante disponível e a área superficial de gordura. Quando esta razão diminui, a probabilidade de formação de pontes aumenta, desta forma aumentando-se a pressão de homogeneização provoca-se a floculação.

(3) O terceiro mecanismo de agregação ocorre quando alguma parte da membrana do material entre as partículas adjacentes é rompido e o agregado se torna uma gordura contínua. Se a gordura for completamente líquida então ocorre a coalescência, mas esta pode ser retardada ou mesmo impossibilitada pela própria rigidez das gotículas. Esta forma de agregação tende a ser irreversível e fre-

quentemente leva a uma completa quebra de emulsão. A bateção do creme e a fabricação de manteiga envolvem a formação destes agregados contínuos de gordura.

Além disto, a presença de gordura cristalina dentro das gotículas de emulsão é essencial para diversos processos de desestabilização. ROTHWELL (42), observou que o creme no qual a gordura esteja cristalizado tem a sua viscosidade aumentada irreversivelmente quando cisalhado, presumivelmente devido a agregação das gotículas da emulsão. Também Van Bockel citado por DARLING (7) observou que a estabilidade de emulsões sem cristais não foi influenciada pelo cisalhamento, enquanto que emulsões contendo gordura em estado cristalino foram muito sensíveis ao cisalhamento. A instabilidade nestas emulsões foi associado aos cristais adsorvidos na interface óleo-água, e o autor sugere que estes cristais devam ter atravessado a película entre glóbulos próximos, causando assim a agregação.

### 2.2.3. A teoria de inversão de emulsões aplicada a sistemas lácteos

Um efeito bastante interessante é aquele em que uma emulsão do tipo óleo-em-água se inverte para o tipo água-em-óleo. Os métodos por meio dos quais a inversão pode ser induzida envolvem a introdução de condições tais que o tipo oposto de emulsão seja normalmente o mais estável. Um dos métodos se relaciona com o fato de uma emulsão poder sofrer inversão quando o valor  $\phi$  (quociente entre a fase dispersa e a contínua) excede 0,74, admitindo-se que a fase dispersa consiste de esferas rígidas e uniformes. Entretanto, as gotículas de uma emulsão verdadeira ao

serem deformáveis num sistema monodisperso, torna o critério acima limitado em sua aplicabilidade. Outro método leva em conta o fato de alguns agentes tensoativos com íons monovalentes, tendam a estabilizar emulsões do tipo óleo-em-água, enquanto que outros agentes com íons polivalentes possam estabilizar emulsões do tipo água-em-óleo. Neste caso não será surpreendente se a adição de um sal de cálcio numa emulsão óleo-em-água que esteja estabilizada por um tensoativo contendo sódio resulte na sua inversão. Finalmente, além da inversão por mudança de volume da fase e pelo uso de agentes antagônicos, tem-se a inversão induzida por mudanças de temperatura. A desestabilização de uma emulsão pode ser realizada então pelo uso criterioso de um dos métodos de inversão de emulsão citados, ou por métodos que aceleram a velocidade de coalescência de góticulas. Também a mudança de estado em uma das duas fases líquidas pode ser proveitosa; sendo assim, emulsões podem ser desestabilizadas por aquecimento até perto do ponto de ebulição da fase dispersa ou por congelamento e posterior reaquecimento, ADAMSON (1).

O grau e a forma em que os glóbulos de gordura podem agregar-se estão intimamente relacionados com o comportamento da superfície de gordura, isto é, sua composição, seu estado físico e estrutura, propriedades mecânicas e elétricas, entre outros. A influência mútua de todos estes fatores é complexa e ainda está longe de ser completamente compreendida. Em geral, fatores que tornam a superfície dos glóbulos de gordura mais hidrofóbica, contribuem para a atração mútua dos glóbulos. Isto poderia ser obtido tanto pela alteração da membrana protetora, de tal modo que um aumento no caráter hidrofóbico da superfície tenha lugar, pela remoção da membrana

por completo, ou mediante a aplicação de uma película hidrofóbica constituída de gordura de leite sobre a membrana. Esta última condição existe quando uma porção de gordura líquida é expulsa de um glóbulo de gordura parcialmente cristalizado, provavelmente através de fendas na membrana, e se distribui sobre a superfície externa.

Na figura 1 é mostrada uma equação que relaciona a velocidade de coalescência com várias propriedades de uma emulsão. A velocidade é aumentada pelo alto volume da fase dispersa e diminuída pela alta viscosidade, porém a principal condição para a estabilização de uma emulsão é desenvolver uma barreira de energia,  $E$ , que previna a coalescência, KAREL (23). As lipoproteínas são potencialmente hábeis para formar películas firmes ao redor das gotículas de óleo e atualmente são excelentes emulsificantes, entretanto são bastante sensíveis ao congelamento e desidratação, DYER & FRASER (14). As películas da interface óleo-água dependem de várias influências ambientais e químicas, e as emulsões podem ser estáveis sob uma série de condições e instáveis sob outras.

### 2.3. Caracterização reológica de emulsões lácteas

O comportamento reológico de produtos lácteos é bastante complexo, e depende principalmente da temperatura, concentração e o estado físico de suas fases dispersas. O estado físico da gordura e proteínas pode ser afetado por diversos fatores, incluindo as circunstâncias experimentais sob as quais a observação é feita. Nestas podem destacar-se os tratamentos térmicos e mecânicos, o pH e o processo de maturação, FERNANDEZ-MARTIN (16).



A maior parte das características texturais de uma emulsão estão relacionadas com o seu comportamento reológico, e em particular com a dependência da viscosidade da velocidade de cisalhamento. A reologia de uma emulsão pode ser modificada de diversas formas e depende do grau de separação do creme, e da flocculação e coalescência dos glóbulos de gordura. A separação consiste na agregação de glóbulos com a existência de um pequeno volume da fase contínua. A flocculação e a coalescência que juntas configuram o processo de agregação, exercem um profundo efeito sobre tais características reológicas, SHERMAN (45). De acordo com KROG (24), a viscosidade de uma emulsão está intimamente relacionada com o grau de aglomeração dos glóbulos de gordura, aumentando na medida que tal grau se acentua.

### 2.3.1. Reologia e flocculação

As gotículas ou glóbulos de uma emulsão tendem a se mover de uma direção à outra a uma velocidade que depende de diversos fatores. A velocidade de flocculação depende da concentração inicial de gotículas, da viscosidade da fase contínua e da temperatura, segundo a teoria de Smoluchwiski citado por SHERMAN (45). A flocculação pode aumentar a viscosidade do meio quando as condições em que é realizada a sua determinação não destruam completamente a estrutura de agregados das gotículas. Isto ocorre devido ao fato de que cada agregado se move como um corpo simples e deste modo se comporta como se a concentração de volume da fase dispersa tivesse sido aumentada. Quando as emulsões flocculadas são examinadas a altas velo-

idades de cisalhamento, os agregados se quebram em gotículas individuais - excetuando-se o caso de sistemas muito concentrados.

### 2.3.2. O fenômeno da coalescência

Como resultado da floculação, as gotículas alcançam uma distância mínima de separação. Quando uma porção da fase contínua localizada entre as gotículas se deslocar, a película de proteção do emulsificante ao redor das gotículas pode romper-se e em consequência as gotículas tendem a coalescer. O sistema de agregados resultante da coalescência das gotículas faz com que a viscosidade diminua independentemente da velocidade de cisalhamento em que a mesma é determinada. Desde que a coalescência afeta a viscosidade de maneira oposta à da floculação, a influência precisa destes dois processos sobre o método de determinação da viscosidade - notadamente a baixas velocidades de cisalhamento - dependerá dos fatores de floculação que podem interferir ou não no fator de controle da velocidade. Se a floculação ocorre mais rapidamente do que a coalescência a viscosidade determinada a baixas velocidades de cisalhamento aumentará. Se por outro lado a coalescência ocorre mais rapidamente do que a floculação a viscosidade decrescerá, SHERMAN (45).

### 2.3.3. Fatores que afetam a reologia de produtos lácteos

A figura 2 mostra o comportamento reológico do leite cru. A viscosidade do leite cru é independente da velocidade de cisalhamento a temperaturas acima de 40°C (comportamento newtoniano), po-

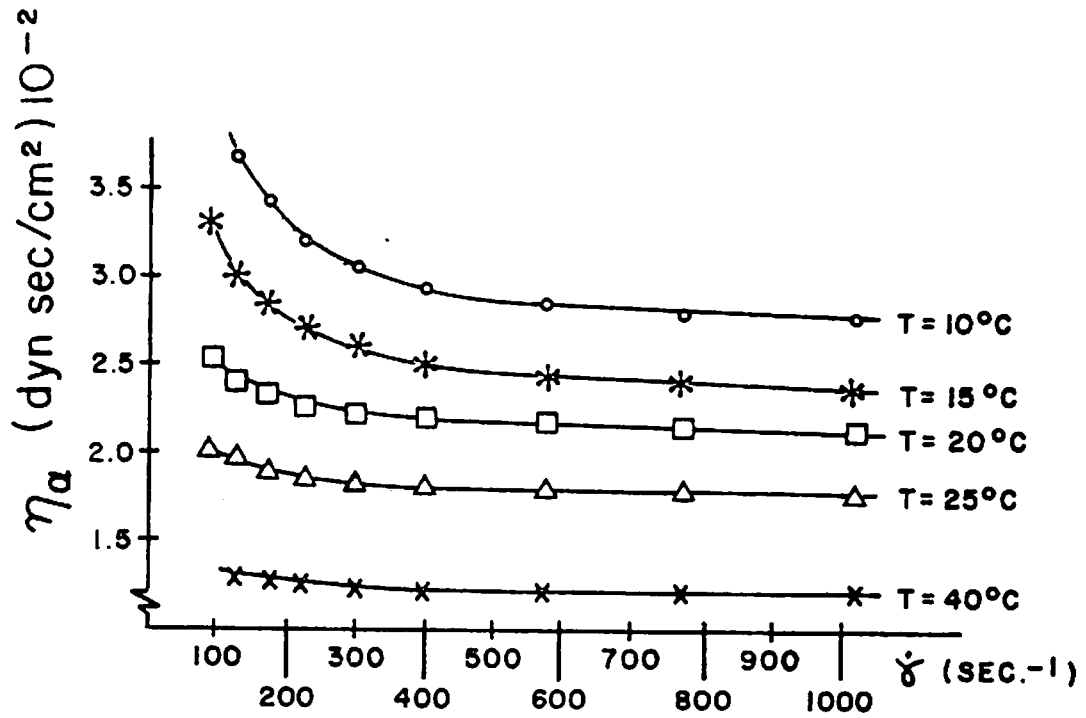


FIGURA 2 - Influência da velocidade de cisalhamento sobre a viscosidade do leite cru, RANDHAN (39).

rém abaixo desta temperatura a sua viscosidade torna-se dependente da velocidade de cisalhamento (comportamento não-newtoniano), RANDHAN (39). Entretanto, MULDER & WALSTRA (32) afirmam que deve se levar em conta que devido à não pasteurização do leite, os resultados de Randhan a temperaturas abaixo de 40°C são bastante afetados pela chamada aglutinação pelo frio, causada pelas crioglobulinas do leite crú. De acordo com FERNANDEZ-MARTIN (16) a viscosidade do leite é muito mais drasticamente afetada pela temperatura na faixa de 0 a 40°C do que na de 40 a 80°C, sendo que a viscosidade é mais baixa a temperaturas mais elevadas. PHIPPS (35) observou que a viscosidade do creme de leite também decresce com o aumento da sua temperatura numa faixa de 40 a 80°C. JOHNSON et alii (21) afirmam que a viscosidade dos líquidos simples e das soluções, com raras exceções, diminuem quando há um aumento na sua temperatura.

No creme de leite, a sua alta concentração de gordura faz com que a interação dos glóbulos seja maior do que no leite e isto se reflete nas suas características reológicas. PRENTICE (37) utilizando um viscosímetro coaxial cilíndrico encontrou que o creme com cerca de 50% de gordura comporta-se como um líquido viscoelástico à temperatura de 20°C. Entretanto, PHIPPS (35) utilizando cremes com teor de gordura numa faixa de 0 a 50% encontrou que o comportamento é newtoniano nas temperaturas de 40 a 80°C e velocidade de cisalhamento de 100  $\text{seg}^{-1}$ .

SONE (48) trabalhando com a manteiga mostrou que a mudança da viscosidade com a velocidade de cisalhamento ou temperatura não é tão pronunciada na faixa de 11 a 14°C. No entanto, quando a temperatura é elevada para 20°C, a viscosidade da manteiga di-

diminui rapidamente e o  $\log \eta$  diminui linearmente com o aumento do  $\log \dot{\gamma}$  (velocidade de cisalhamento). A temperaturas acima de 20°C, a viscosidade da manteiga torna-se dependente da temperatura e velocidade de cisalhamento, isto é, o comportamento reológico torna-se não-newtoniana, SONE (48). Também EL-NIMR et alii (15) observaram que a viscosidade da manteiga decresce com o aumento da velocidade de cisalhamento.

Em emulsões lácteas o desvio do comportamento newtoniano aumenta com o aumento da concentração de gordura, SHERMAN (45). LAMPERT (25) menciona que lotes diferentes de creme com um mesmo teor de gordura podem ter suas viscosidades bastante modificadas, mas, em geral, um aumento no conteúdo de gordura também aumenta a viscosidade do creme. VAN VLIET & WALSTRA (49); PHIPPS (35); FERNANDEZ-MARTIN (16) e COX et alii (6) também observaram um aumento da viscosidade com o aumento do conteúdo de gordura. EL-NIMR et alii (15) especularam que o aumento na viscosidade do creme com o conteúdo de gordura pode ser atribuído ao fato das colisões entre os glóbulos aumentarem significativamente com o escoamento. Além disto, um aumento no conteúdo de gordura resulta fatalmente no aumento da probabilidade de formação de agregados, e um conseqüente efeito na viscosidade.

Investigações sobre as propriedades reológicas da manteiga executadas ao longo dos anos, PERKINS (34) e deMAN & WOOD (11) indicam que a viscosidade da manteiga varia com o tempo durante a manipulação ou assentamento. SCOTT BLAIR (44); DAVIS (9) e DOLBY (12) apontam que o decréscimo da viscosidade da manteiga durante a manipulação e a sua recuperação durante o assentamento está relacio

nado com o fenômeno de tixotropicidade. PIJANOWSKI et alii (36) e CHWIEJ (4) afirmam que os parâmetros viscoelásticos diminuem, isto é, a firmeza diminui com o aumento do tamanho dos grânulos da manteiga e com o tempo de manipulação. PRENTICE (38) questiona que o creme possa exibir propriedades tixotrópicas, no entanto a velocidade de reestruturação é muito rápida.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

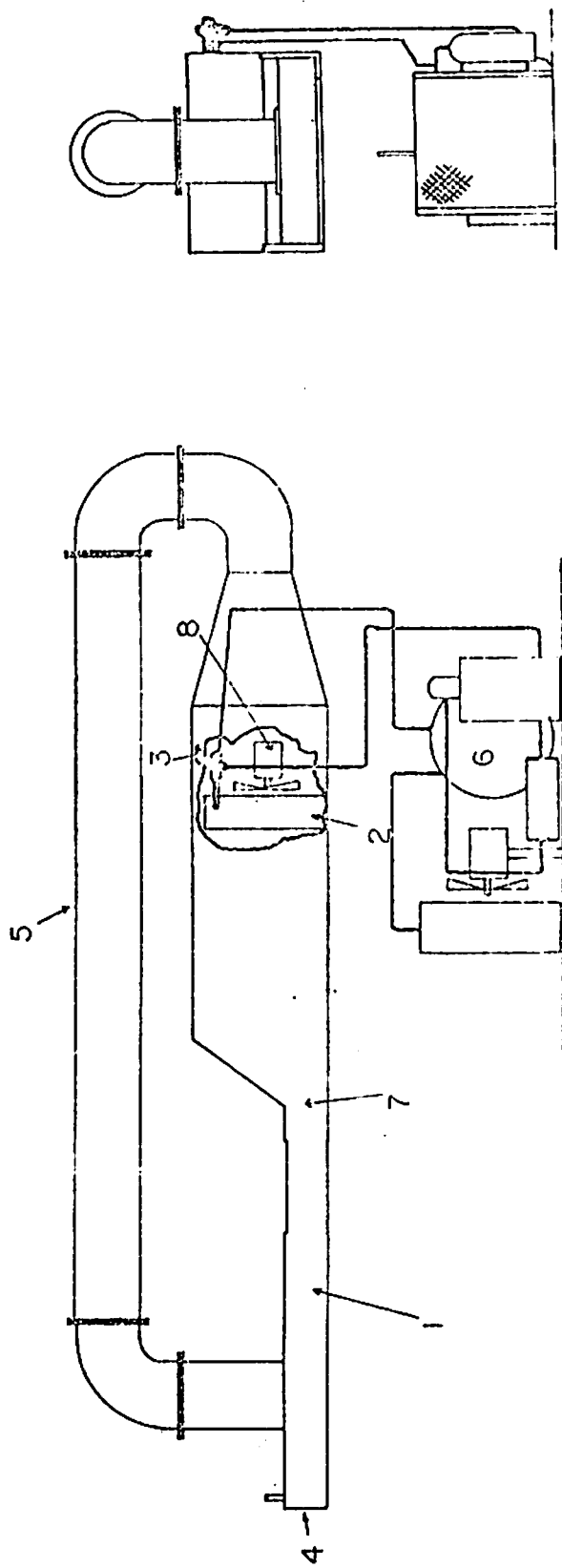
#### 3.1. Matéria prima

Para a realização deste trabalho foram utilizadas amostras de creme de leite cedidas pela Seção de Laticínios da Cooperativa Agrícola Alto Rio Grande (Lavras-MG).

#### 3.2. Secagem a frio das amostras

A secagem a frio foi conduzida numa câmara de secagem a frio e no túnel-secador desenvolvido no Laboratório de Análises Físicas e Microestruturais (Figura 3), do Departamento de Ciência dos Alimentos da ESAL.

As amostras foram dispostas em placas de Petri com diâmetros de 5,0 e 9,0 cm, nas espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm, as quais ficaram expostas nas diversas condições de temperaturas e umidades relativas sob estudo (Tabela 2) durante um período de 30 horas. As pesagens foram realizadas a cada 5 horas em balança digital Mettler modelo PC 2000 (Mettler Instruments AG, Zurique, Suíça). As secagens foram realizadas em duplicatas, e os resultados expressos em percentagem, base úmida.



1-TUNEL DE SECAGEM

2-SETOR DE RESFRIAMENTO DO AR

3-VALVULA DE CONTROLE DE TEMPERATURA

4-AMOSTRAGENS

5-SISTEMA DE RECICLAGEM DO AR

6-COMPRESSOR

7-SETOR DE CONTROLE DE UMIDADE RELATIVA

8-VENTILADOR

FIGURA 3 - Diagrama esquemático do túnel-secador.



TABELA 2 - Condições do ar de secagem.

Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)
	5
0	17
	40
	5
5	17
	40
	5
10	17
	40
	5
15	17

### 3.3. Análises químicas

#### 3.3.1. Teor de gordura do creme

Para a determinação do teor de gordura do creme foi utilizado o método de Kohler-Funke (5). As determinações foram feitas em duplicatas, sendo os resultados expressos em porcentagem de creme.

#### 3.3.2. Teor de umidade

O teor de umidade do creme de leite e da pasta láctea - assim denominado o produto final resultante da secagem da frio - foi determinado de acordo com o método indicado por LING (27) que consiste na adição de areia fina dessecada, antes da colocação na estufa a 60°C, até atingirem peso constante (tempo médio de 72 horas). Os resultados foram também expressos em porcentagem base úmida.

### 3.4. Análises reológicas

#### 3.4.1. Determinação da viscosidade durante a remoção d'água

Paralelamente às determinações de perda d'água foi medida a viscosidade das amostras por meio do viscosímetro Brookfield Synchro-lectric modelo RVT "Helipath Stand" (Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Massachusetts, USA). Este modelo utiliza hastes em forma de T que são classificadas de A a F, sendo a haste A utilizada para materiais menos viscosos e a F para materiais mais viscosos.

As viscosidades foram determinadas a uma velocidade de cisalhamento de 5 rpm e a haste utilizada foi a F. As amostras eram dispostas em placas de Petri com diâmetros de 5,0 cm e espessura de 1,5 cm em duplicatas. Os cálculos foram feitos utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\text{Viscosidade } (\eta) = \text{leitura do mostrador (0 a 100)} \times 0,01 \times f$$

onde:

f = fator de transformação da leitura em centipoise que depende da velocidade de cisalhamento e da haste

e os resultados foram expressos na forma de centipoises.

#### 3.4.2. Caracterização reológica

Para a determinação do efeito da temperatura, da velocidade de cisalhamento e do tempo de cisalhamento sobre a viscosidade do creme de leite, pasta láctea e da manteiga fez-se o uso do viscosímetro Brookfield Synchro-lectric modelo RVT, no qual é utilizado hastes em forma de disco que são classificadas de 1 a 7, sendo a haste 1 a de maior tamanho e utilizada para materiais de menor viscosidade e a haste 7 de menor tamanho e utilizada para materiais de maior viscosidade.

A haste utilizada foi a 5 e as temperaturas e velocidades de cisalhamento estudadas estão na tabela 3. Para o estudo do efeito de tempo de cisalhamento a temperatura das amostras foi de 26°C e a velocidade de cisalhamento de 10 rpm. As amostras foram dispo-

TABELA 3 - Velocidades de cisalhamento e temperaturas utilizadas para a caracterização reológica do creme, pasta láctea e da manteiga.

---

Velocidade de Cisalhamento (rpm)	Temperaturas (°C)
0,5	30
	40
	50
	60
1,0	30
	40
	50
	60
2,5	30
	40
	50
	60
5,0	30
	40
	50
	60
10,0	30
	40
	50
	60
20,0	30
	40
	50
	60
50,0	30
	40
	50
	60
100,0	30
	40
	50
	60

---

tas em becker de 600 ml em duplicatas e levados em banho-maria nas temperaturas sob estudo e as leituras realizadas nas diversas velocidades de cisalhamento. Os cálculos foram realizados de acordo com a seguinte fórmula,

$$\text{Viscosidade } (\eta) = \text{leitura do mostrador (0 a 100)} \times f$$

onde:

f = fator de transformação da leitura em centipoise que depende da velocidade de cisalhamento e da haste

e os resultados foram também expressos em centipoises.

### 3.5. Determinação do equilíbrio higroscópico

#### 3.5.1. Dessorção de umidade

Para a determinação das isotermas de dessorção d'água, as amostras de creme de leite tiveram as suas atividades d'água analisadas durante a secagem utilizando o sensor de umidade relativa Vaisala (Vaisala, Helsinque, Finlândia), o qual estava acoplado a uma tampa de borracha de um recipiente de vidro. O higrômetro utilizado foi o Higrômetro Weather Measure HMI-14 (Weather Measure Corporation, California, USA). As temperaturas de determinação foram 5; 15 e 25°C.

#### 3.5.2. Temperatura e equilíbrio hidrosfópico

As atividades d'água da pasta láctea e da manteiga comum

a temperaturas de 5; 15; 25 e 35°C foram determinadas utilizando-se também o sensor de umidade relativa Vaisala e o Higrômetro Weather Measure HMI-14.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Composição química do creme de leite

A tabela 4 apresenta os teores médios de gordura e da água do creme de leite utilizado neste trabalho. Nota-se que o teor d'água é inferior àqueles citados na literatura, DAVIS (8) e FLEISCHMANN (17).

### 4.2. Cinética de perda d'água

#### 4.2.1. Efeito de fatores de amostragem

##### 4.2.1.1. Efeito área

As figuras de 4 a 5 e as tabelas em anexo mostram o efeito da área de exposição sobre o teor d'água de um creme de leite submetido à secagem a frio. O tempo de exposição das amostras às condições indicadas foi de 30 horas. Nas condições em que o ar estava a 5°C e possuía uma umidade relativa de 17% (tabela 8) observa-se que para amostras com espessura de 0,5 cm e diâmetro de 5,0 cm o teor d'água atingido foi em torno de 9% e naquelas com 9,0 cm de diâmetro o nível atingido foi um pouco inferior (8%). Para a espessura

TABELA 4 - Teores médios de gordura e água do creme de leite.

COMPONENTES	(%)
Gordura	55,5
Água	23,5



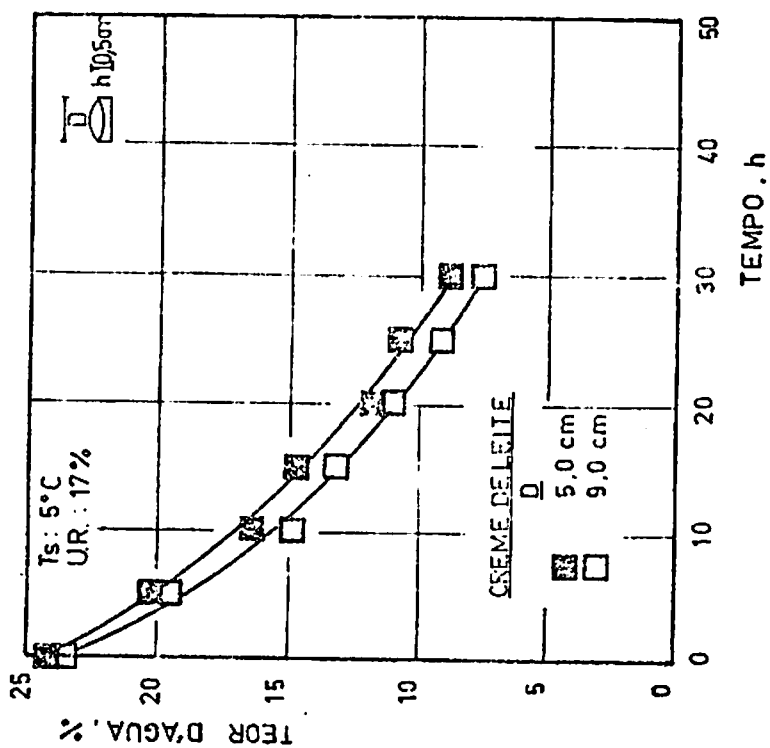
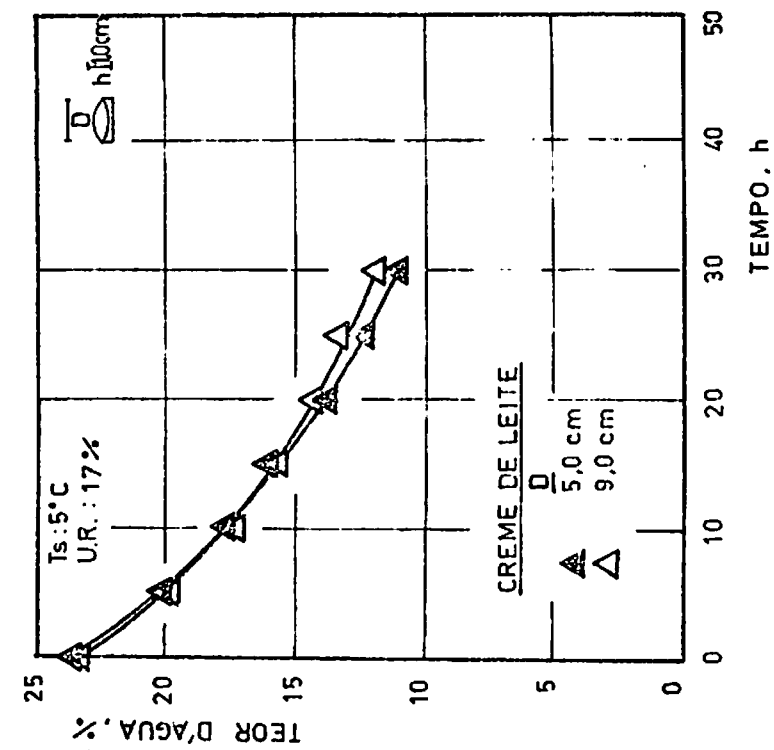


FIGURA 4 - Efeito da área de exposição sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5 cm e 1,0 cm e com um ar de secagem a 5°C e 17% UR.

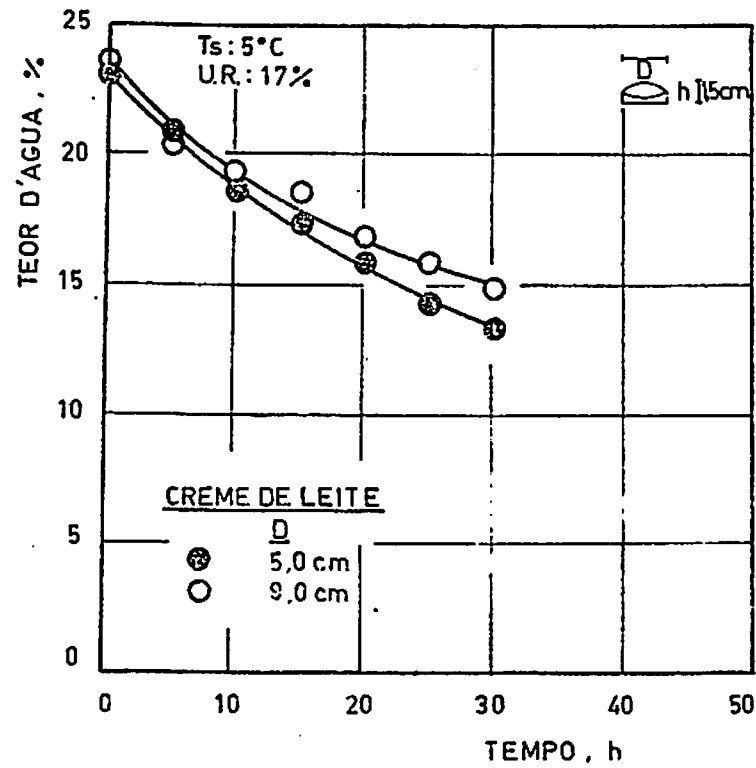


FIGURA 5 - Efeito da área de exposição sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com espessura de 1,5 cm e com um ar de secagem a  $5^\circ\text{C}$  e 17% UR.

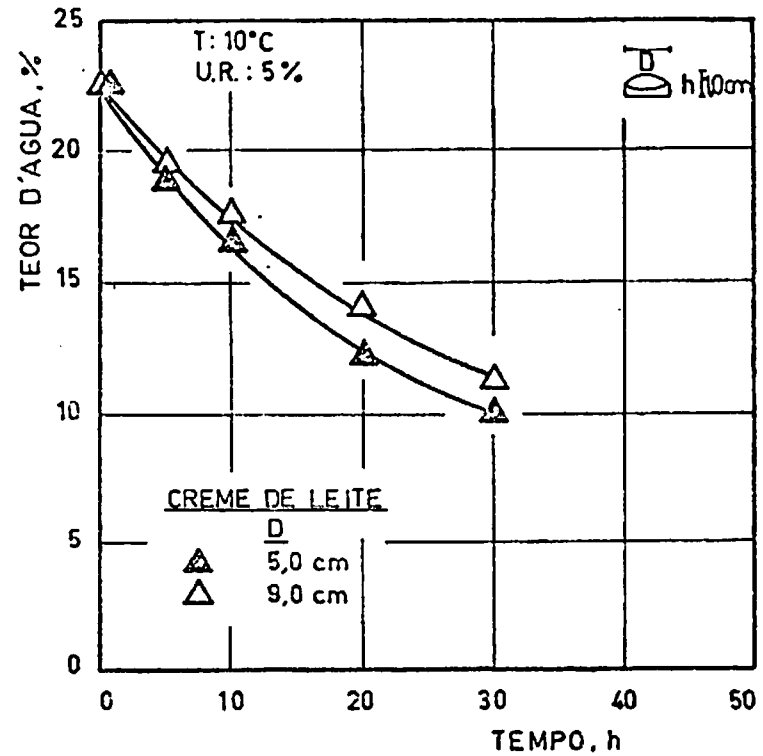
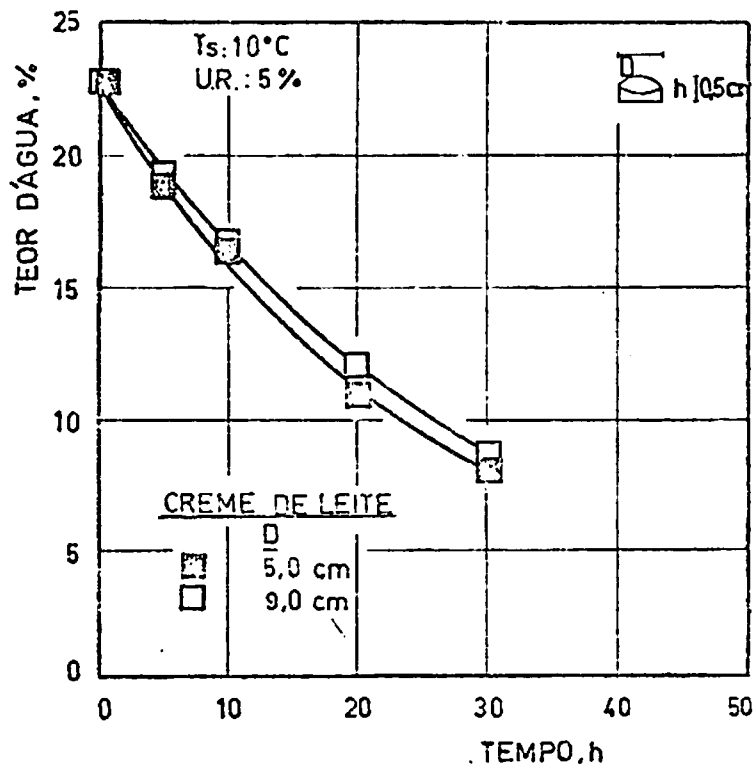


FIGURA 6 - Efeito da área de exposição sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com espessura de 0,5 cm e 1,0 cm e com um ar de secagem a  $10^\circ\text{C}$  e 5% UR.

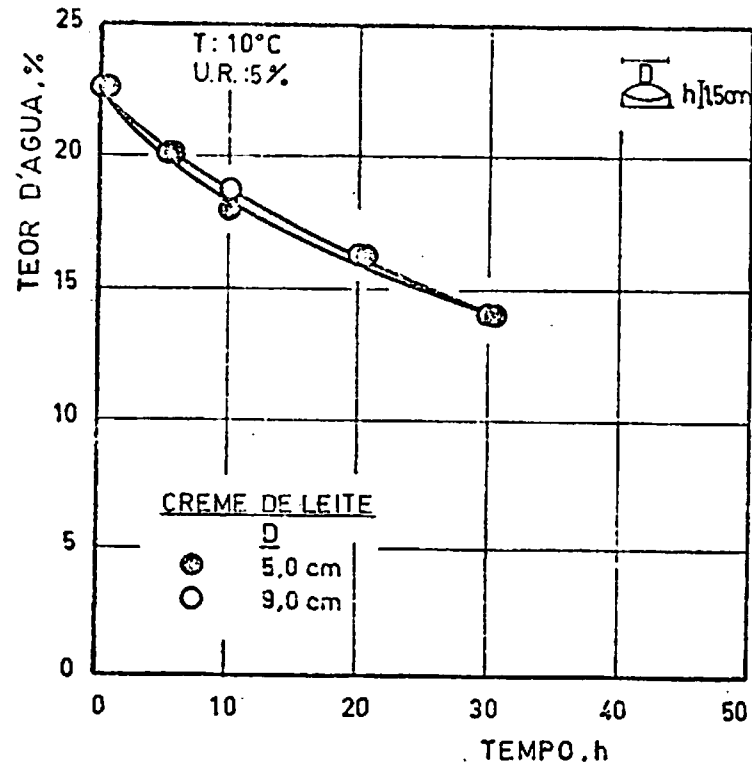


FIGURA 7 - Efeito da área de exposição sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com espessura de 1,5 cm e com um ar de secagem a 10°C e 5% UR.

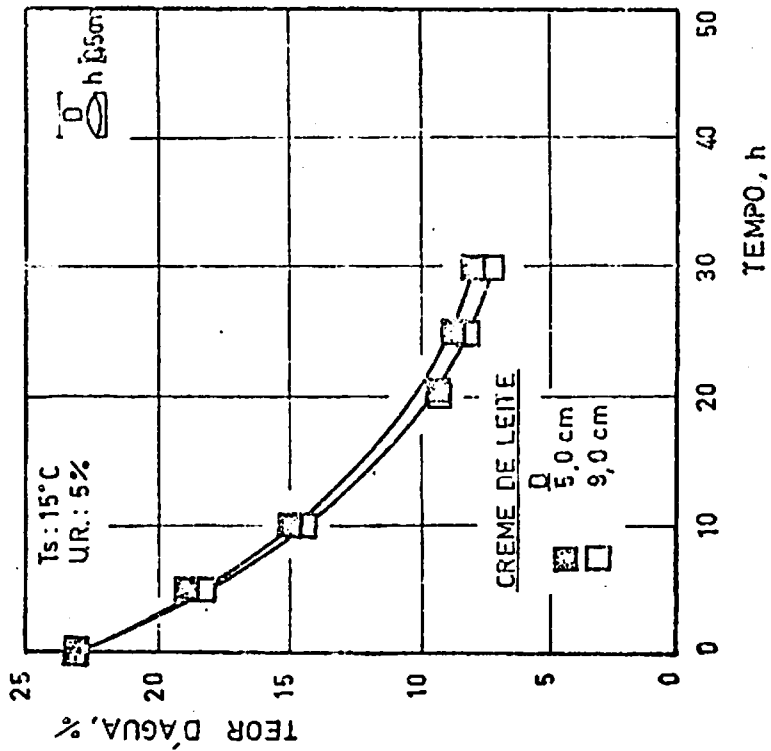
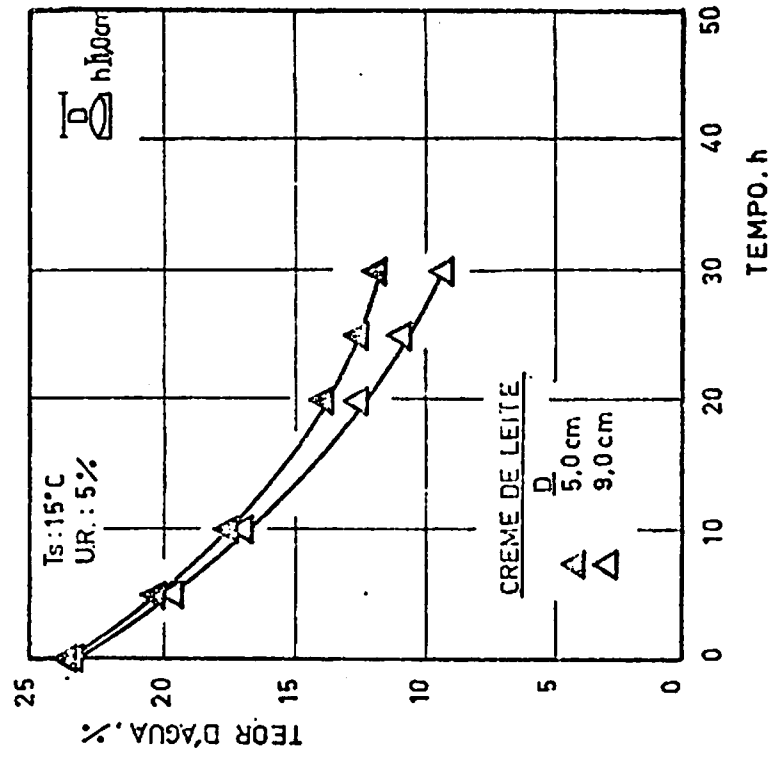


FIGURA 8 - Efeito da área de exposição sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5 cm e 1,0 cm e com um ar de secagem a  $15^\circ\text{C}$  e 5% UR.

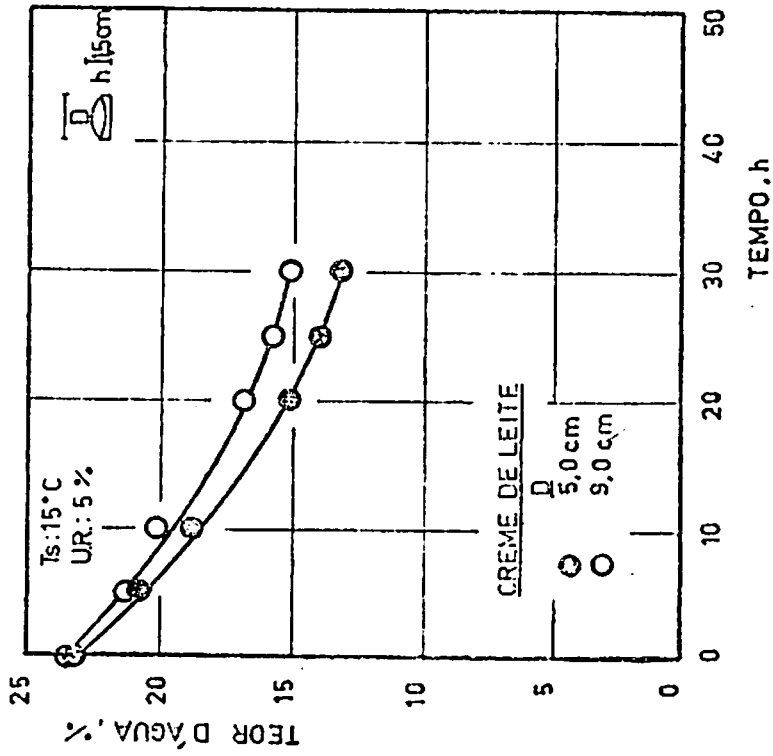


FIGURA 9 - Efeito da área de exposição sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com espessura de 1,5 cm e com um ar de secagem a  $15^\circ\text{C}$  e 5% UR.

de 1,0 cm o teor de água atingido pela amostra com 5,0 cm de diâmetro foi de 11%, enquanto as amostras com 9,0 cm de diâmetro, obteve-se um teor final de 12%. Os valores de teor d'água atingidos para a espessura de 1,5 cm e diâmetro de 5,0 cm foi de 13% e para o diâmetro de 9,0 cm o valor obtido foi de 15%. Nesta condição verificase que, para as amostras com 0,5 cm a amostra com maior área de exposição atingiu valores de teor d'água mais baixo do que a amostra com menor área, enquanto nas amostras com 1,0 e 1,5 cm as amostras com menor área atingiram valores de teor d'água mais baixos.

Para as condições de ar de 10°C e uma umidade relativa de 5% (figuras 6 e 7 e tabela 10) observa-se que para as amostras com 0,5 cm e 1,0 cm de espessura e tendo-se uma menor área de exposição deu-se uma maior perda d'água, porém naquelas amostras com 1,5 cm de espessura tais diferenças não foram verificadas.

Finalmente em amostras submetidas às condições de 15°C e uma umidade relativa de 5% (figuras 8 e 9 e tabela 13) observou-se que nas amostras com uma espessura de 0,5 cm e 1,0 cm ocorreu uma maior perda d'água nas que dispunham de uma maior área de exposição. Todavia, nos cremes de 1,5 cm as amostras com uma menor área de exposição atingiram níveis de teor d'água mais baixo.

Os resultados mostram que o efeito da área de exposição foi provavelmente afetado pelo efeito da massa, pois nota-se que a área não influencia significativamente o teor d'água remanescente, entretanto o volume d'água evaporada nas amostras com maior área de exposição é maior.

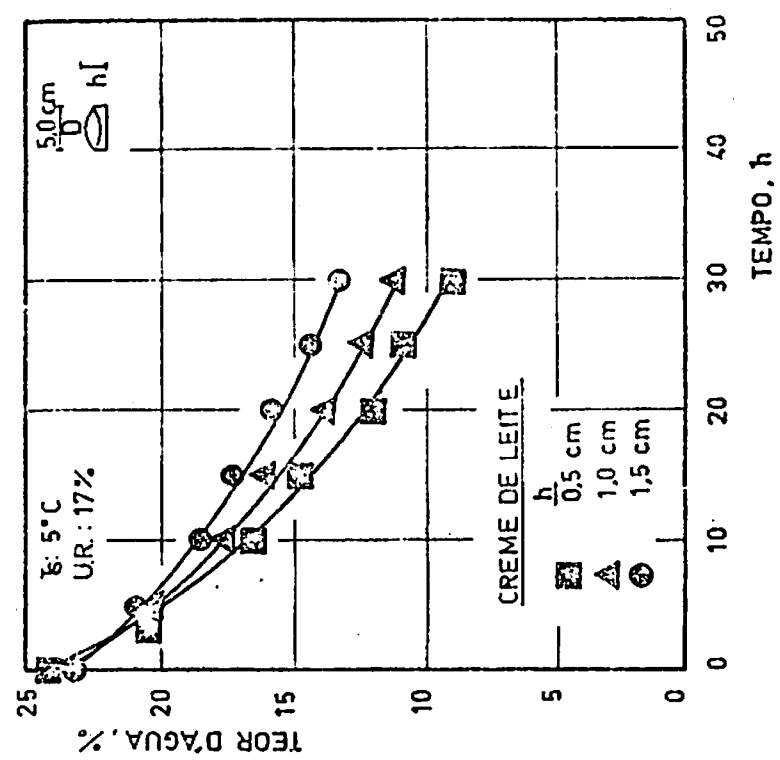
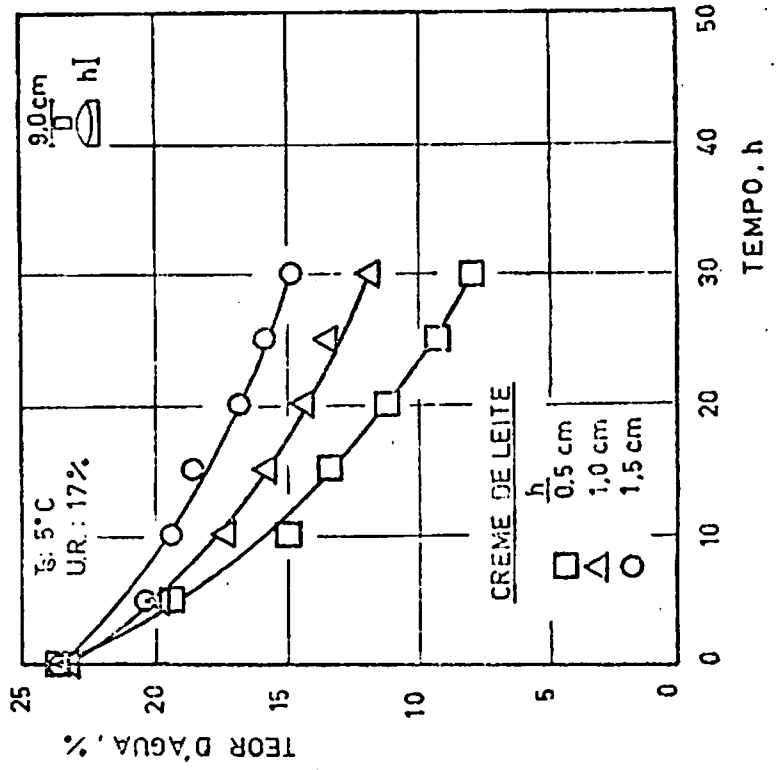


FIGURA 10 - Efeito da espessura de amostra sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com diâmetro de 5 cm e 9 cm e com um ar de secagem a 5°C e 17% UR.



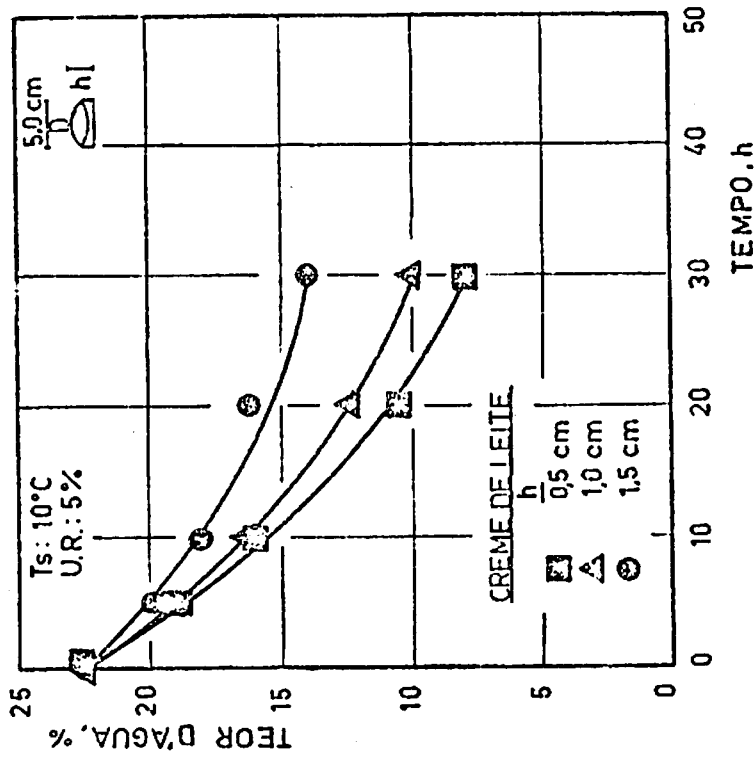
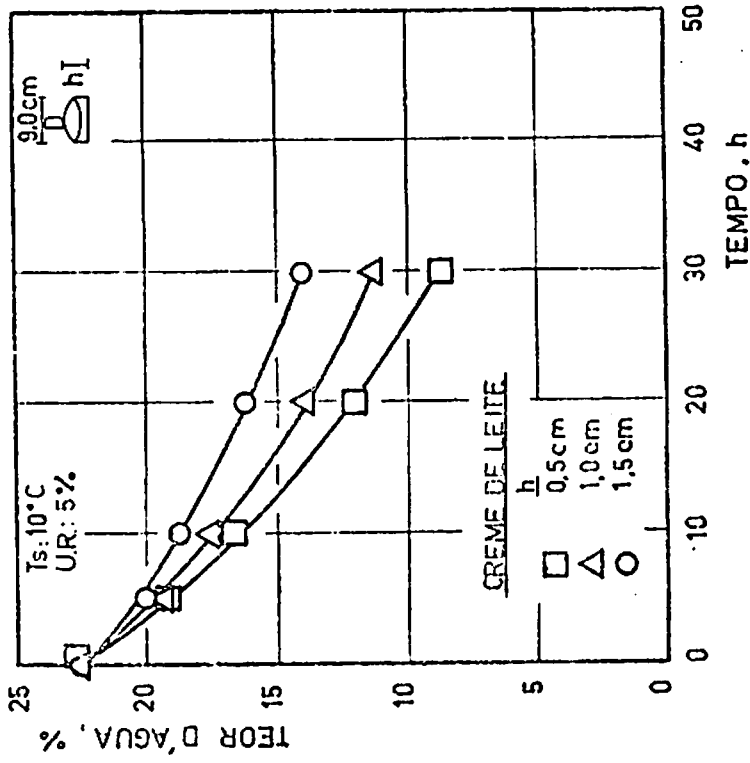


FIGURA 11 - Efeito da espessura de amostra sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com diâmetros de 5 cm e 9 cm e com um ar de secagem a  $10^\circ\text{C}$  e 15% UR.

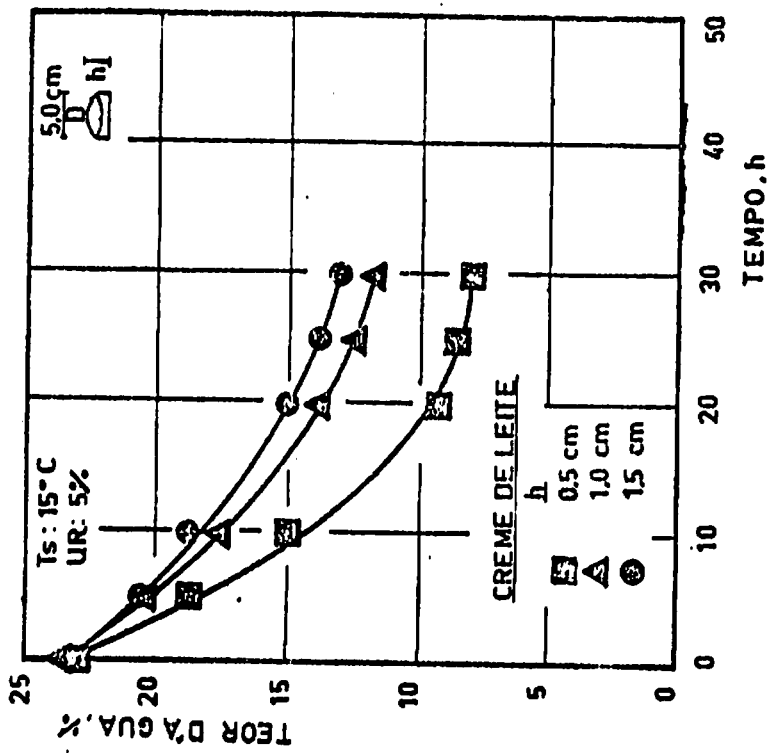
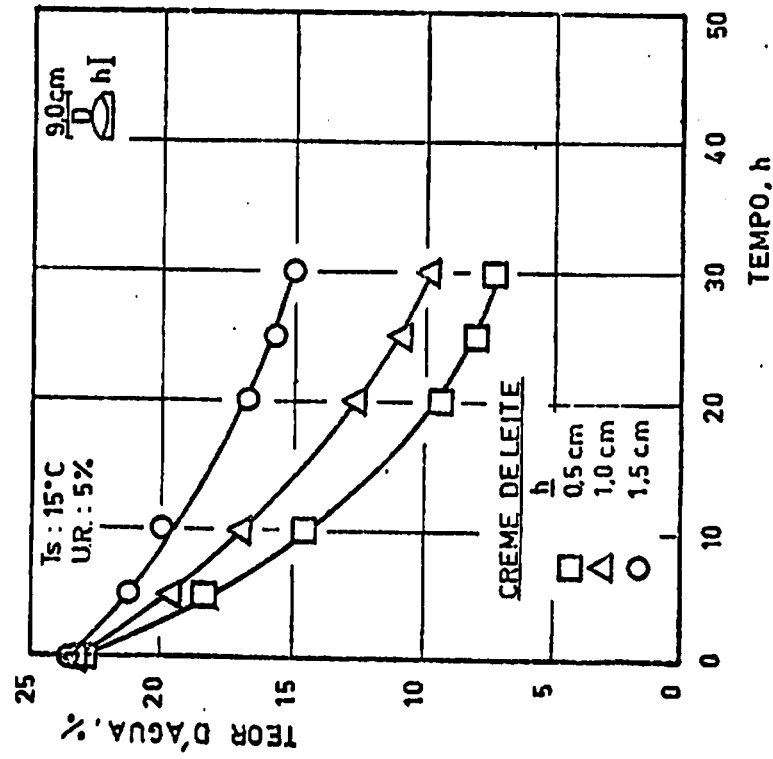


FIGURA 12 - Efeito da espessura de amostra sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com diâmetros de 5 cm e 9 cm e com um ar de secagem a 15°C e 5% UR.

#### 4.2.1.2. Efeito espessura

Nas figuras de 10 a 12 são mostrados efeitos da espessura de amostra no teor d'água do creme de leite em diversas condições. Para uma temperatura do ar de  $5^{\circ}\text{C}$  e uma umidade relativa de 17%, (tabela 8) nas amostras com diâmetro de 5,0 cm e espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm, os teores d'água atingidos foram de aproximadamente 9%, 11% e 13% respectivamente enquanto que para o diâmetro de 9,0 cm os valores atingidos foram de aproximadamente 8%, 12% e 15%, considerando a mesma ordem de espessuras. Observa-se que com a diminuição da espessura da amostra para as condições de superfície consideradas, ocorre uma diminuição no teor d'água remanescente, sendo tal efeito mais acentuado nas amostras contendo um diâmetro maior, onde na amostra com 0,5 cm de espessura a quantidade de água remanescente é praticamente a metade daquela com 1,5 cm.

Os níveis de teor d'água atingidos pelas amostras expostas a uma temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de 5% (figura 11 e tabela 10) num diâmetro de 5,0 cm e espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm foram respectivamente por volta de 8%, 10% e 14% e em diâmetro de 9,0 cm os valores obtidos foram de 9%, 11% e 14% para a mesma sequência de espessuras consideradas. Pode-se notar novamente que a espessura afeta consideravelmente os níveis de teor d'água atingidos bem como a velocidade de remoção d'água. Para amostras expostas nas condições de  $15^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de 5% (figura 12 e tabela 13) observa-se que para o diâmetro de 5,0 cm os níveis de teor d'água atingidos para a sequência de espessuras já consideradas foram de 8%, 12% e 13%, enquanto que os valores atingidos para o diâmetro de 9,0 cm foram em torno de 7%, 10% e 15%. Pode-se verificar

que quanto menor a espessura maior é a velocidade de remoção d'água. De um modo geral, pela análise das curvas nota-se que houve casos em que aquelas amostras com espessura de 0,5 cm atingem em torno de 10 horas de exposição níveis de teor d'água semelhantes às aquelas amostras com 1,5 cm de espessura que ficaram expostas durante 30 horas e atingem após aproximadamente 20 horas de exposição níveis de teor d'água atingidos pelas amostras com 1,0 cm de espessura e tempo de exposição de 30 horas.

#### 4.2.2. Efeito de variáveis operacionais

##### 4.2.2.1. Efeito da temperatura

As figuras 13 e 14 e as tabelas em anexo mostram o efeito da temperatura do ar sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com espessura de 1,5 cm e nas condições de diâmetros indicados. Pode-se observar de um modo geral que com o aumento da temperatura do ar há um pequeno aumento no grau de remoção d'água nas amostras, entretanto este efeito é mais pronunciado naquela condição de umidade relativa mais baixa. Verifica-se então que a velocidade de remoção d'água aumenta com a elevação da temperatura e simultaneamente com o decréscimo da umidade relativa do ar, pois o ar mais seco tem maior habilidade de absorção de umidade e o aumento da temperatura aumenta a capacidade de retenção de umidade pelo ar.

O efeito da temperatura do ar sobre os níveis de teor d'água atingido após 30 horas de exposição das amostras nas condições de umidades relativas indicadas é mostrado na figura 15. Observa-se

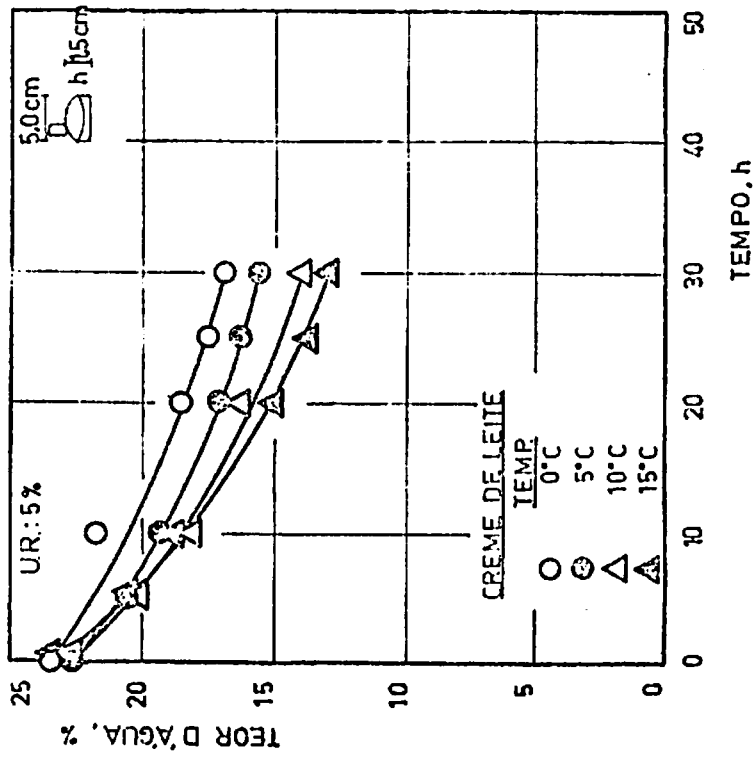
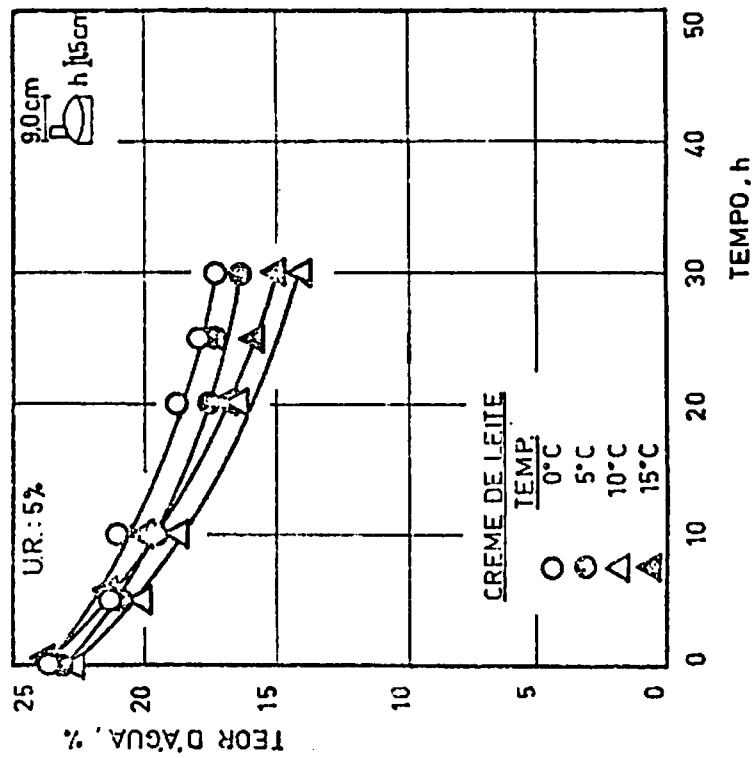


FIGURA 13 - Influência da temperatura do ar de secagem sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com diâmetros de 5 cm e 9 cm e espessura de 1,5 cm (UR = 5%).

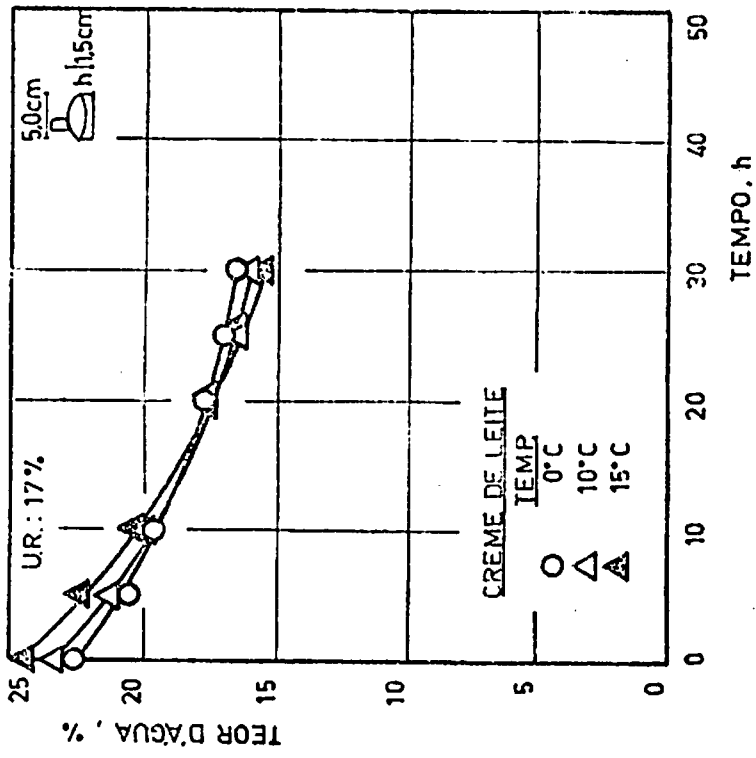
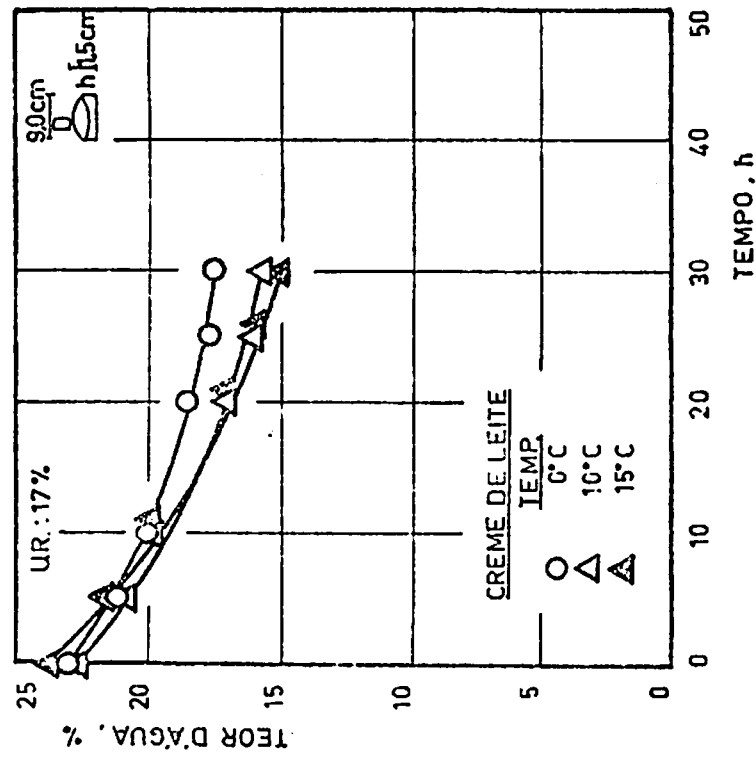


FIGURA 14 - Influência da temperatura de ar de secagem sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com diâmetros de 5 cm e 9 cm e espessura de 1,5 cm (UR = 17%).

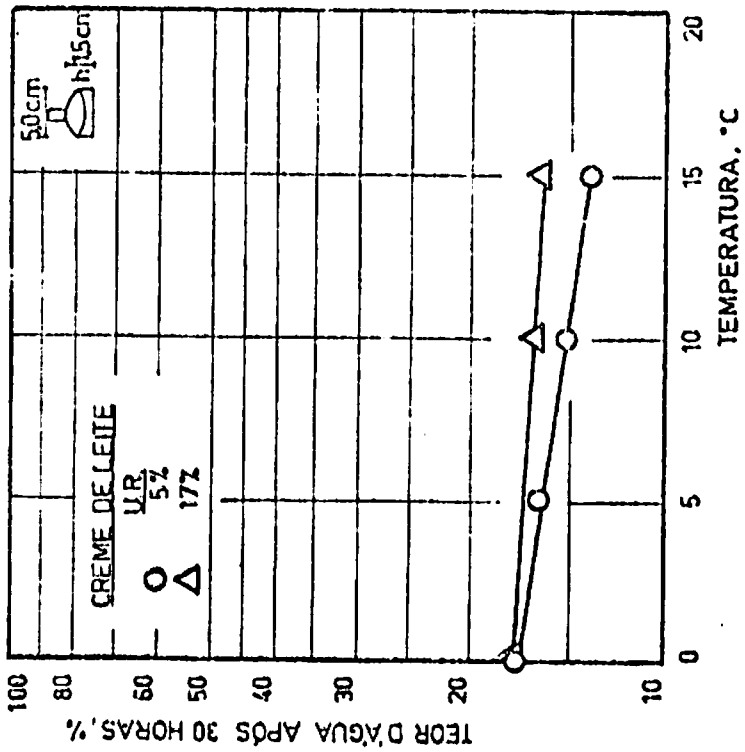
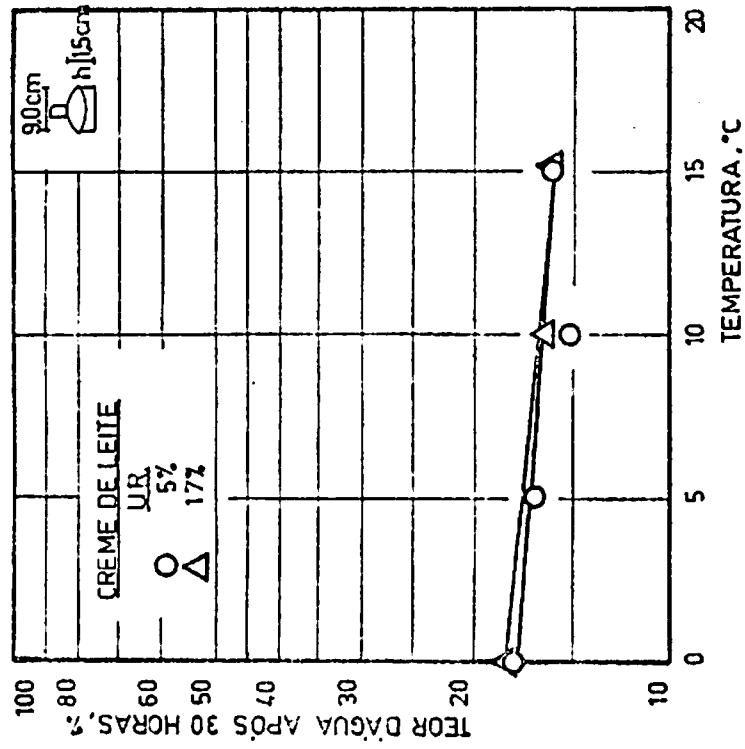


FIGURA 15 - Influência da temperatura e umidade relativa do ar sobre a queda de teor d'água ao final de um período de secagem de 30 horas. Para amostras com diâmetros de 5 cm e 9 cm.

que para temperaturas mais altas os níveis de teor d'água atingidos são mais baixos.

#### 4.2.2.2. Efeito da umidade relativa

O efeito da umidade relativa do ar no teor d'água em amostras de creme de leite com espessura de 1,5 cm e diâmetros de 5,0 e 9,0 cm expostas nas temperaturas de 5 e 10°C é mostrado nas figuras de 16 a 17 e as tabelas em anexo. Pode-se observar que a umidade relativa do ar afetou de modo mais pronunciado a velocidade de remoção d'água as amostras que estavam expostas a uma temperatura de 10°C, sendo maior nas condições de umidades relativas mais baixas.

A figura 18 mostra como a umidade relativa do ar afeta o nível de teor d'água atingindo as 30 horas de exposição das amostras na temperatura de 10°C. Observa-se que aquelas amostras que ficaram expostas em umidades relativas do ar mais baixas foram as que atingiram os níveis mais baixos de teor d'água.

### 4.3. Caracterização reológica

#### 4.3.1. Efeito da temperatura

A figura 19 e as tabelas 15 e 16 em anexo mostram o efeito da temperatura sobre a viscosidade do creme de leite e da pasta láctea em diversas velocidades de cisalhamento. Observa-se que em ambos sistemas a viscosidade é muito mais afetada pela temperatura nas baixas velocidades de cisalhamento do que nas altas. Pela análi



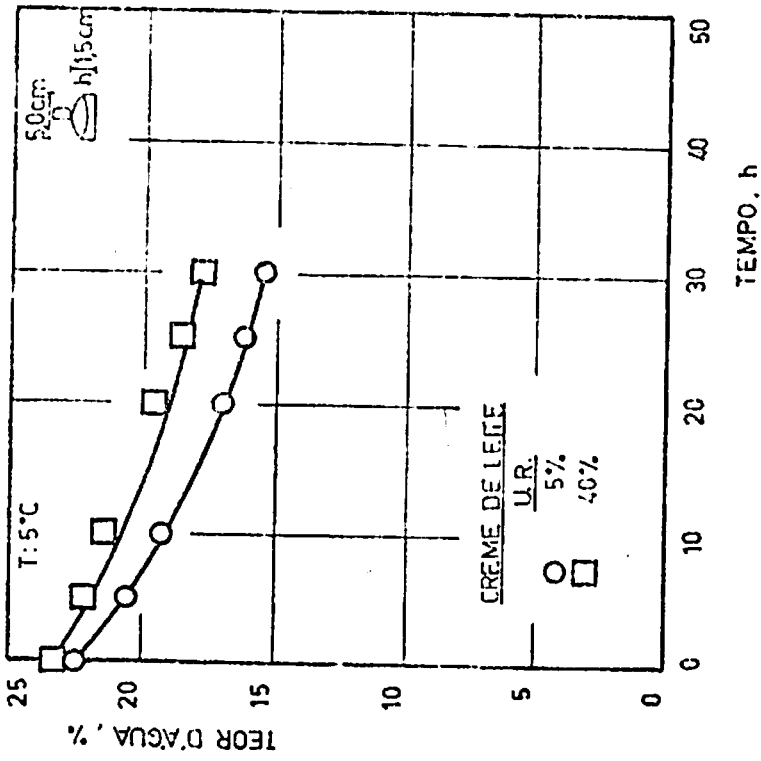
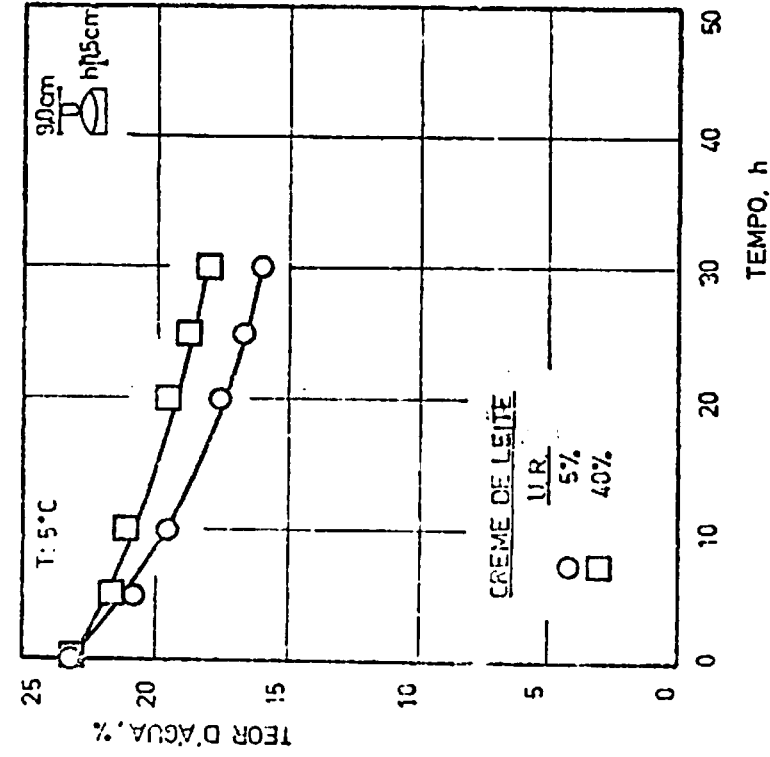


FIGURA 16 - Influência da umidade relativa do ar de secagem sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com diâmetros de 5 cm e 9 cm e espessura de 1,5 cm ( $T = 5^{\circ}\text{C}$ ).

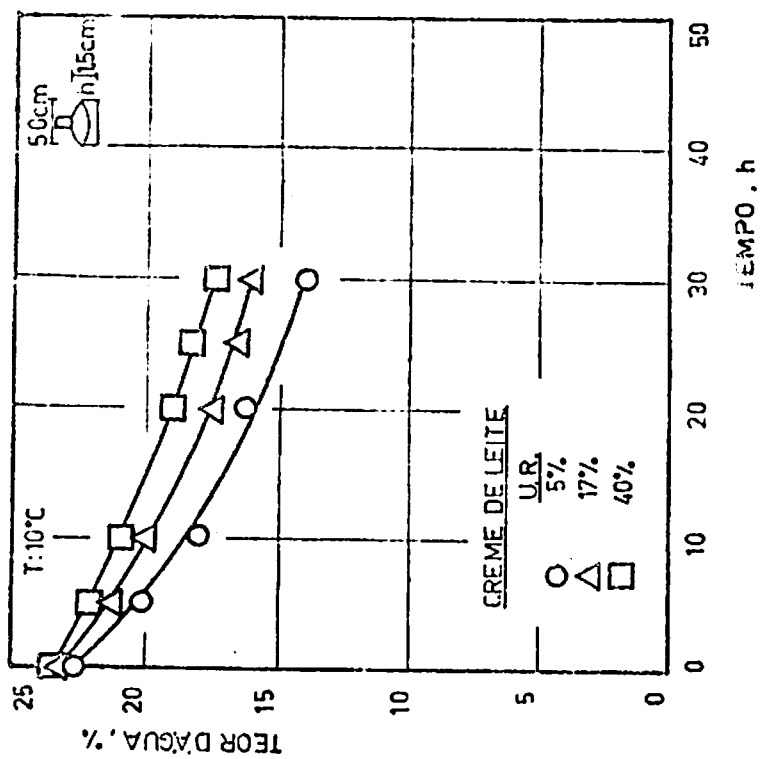
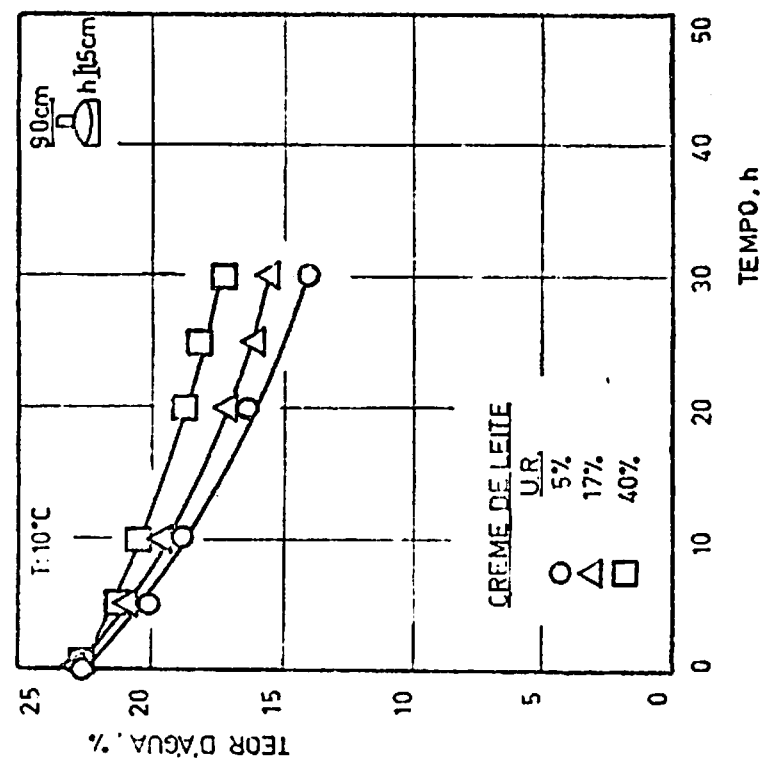


FIGURA 17 - Influência da umidade relativa do ar de secagem sobre o teor d'água em amostras de creme de leite com diâmetros de 5 cm e 9 cm e espessura de 1,5 cm ( $T = 10^{\circ}\text{C}$ ).

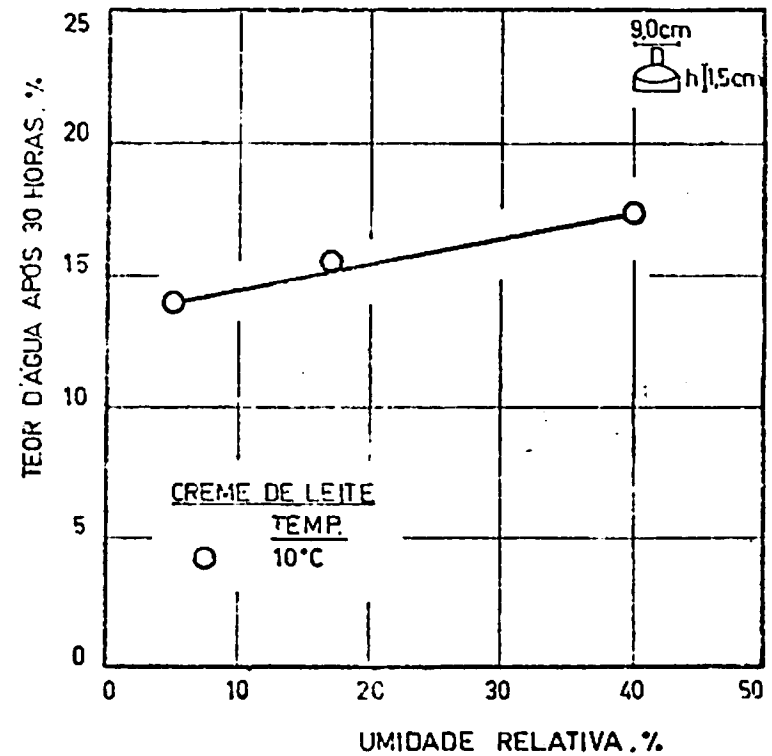
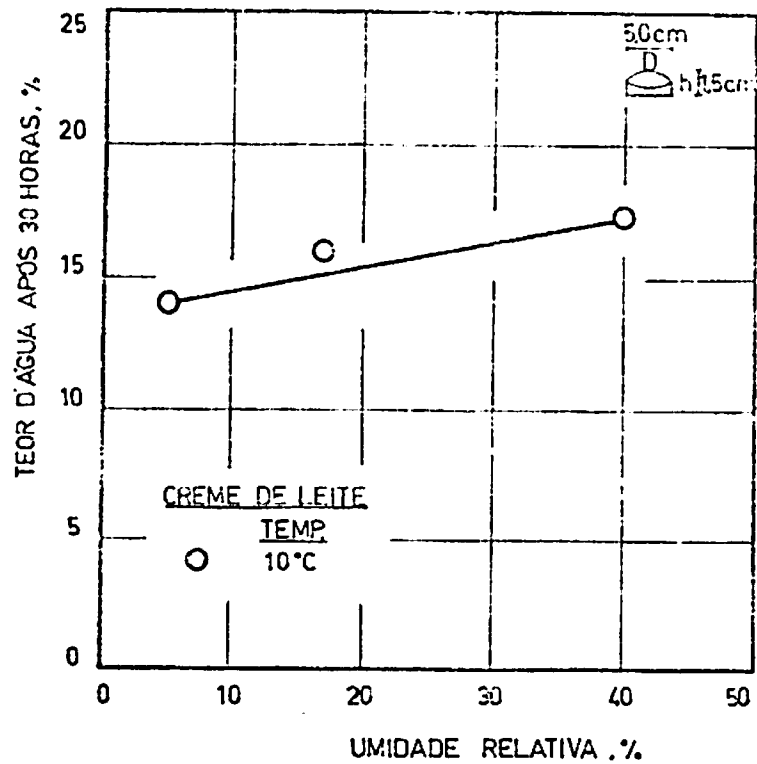


FIGURA 18 - Influência da umidade relativa e temperatura do ar sobre a queda de teor d'água ao final de um período de secagem de 30 horas. Para amostras com diâmetros de 5 cm e 9 cm.

se da curva de viscosidade do creme determinada a uma velocidade de cisalhamento de 100 rpm, verifica-se que tal efeito é menos notório. Na pasta láctea percebe-se uma queda no valor da viscosidade bastante apreciável, a partir de temperaturas próximas aos 40°C. Os resultados encontrados estão de acordo com outros trabalhos; CAFFYN (3); FERNANDEZ-MARTIN (16) e HANDHAN (39) para o leite, PHIPPS (35) no caso de creme de leite e SONE (48) para a manteiga.

A figura 20 mostra o efeito da temperatura sobre a viscosidade da pasta láctea e da manteiga. Nota-se que as viscosidades dos dois produtos são semelhantes à temperatura de 30°C, porém quando a temperatura é elevada a viscosidade da manteiga assume valores bastante inferiores aos que correspondem à pasta láctea.

#### 4.2.2. Efeito da velocidade de cisalhamento

As figuras de 21 e 22 e as tabelas 15 e 16 em anexo mostram o efeito das velocidades de cisalhamento sobre a viscosidade do creme e da pasta láctea em diversas temperaturas. Nota-se claramente que a viscosidade é mais afetada pelas velocidades de cisalhamento mais baixas, sendo que as viscosidades - tanto do creme como da pasta láctea - tornam-se menos dependentes da velocidade de cisalhamento nas temperaturas mais elevadas. Esta queda da viscosidade do produto com o aumento da velocidade de cisalhamento é característico dos fluídos pseudoplásticos, RAO (40, 41).

Na figura 23 mostra-se o efeito da velocidade de cisalhamento sobre a viscosidade da pasta láctea e da manteiga. Pode-se notar que o  $\log \eta$  diminui linearmente com o aumento da velocidade de

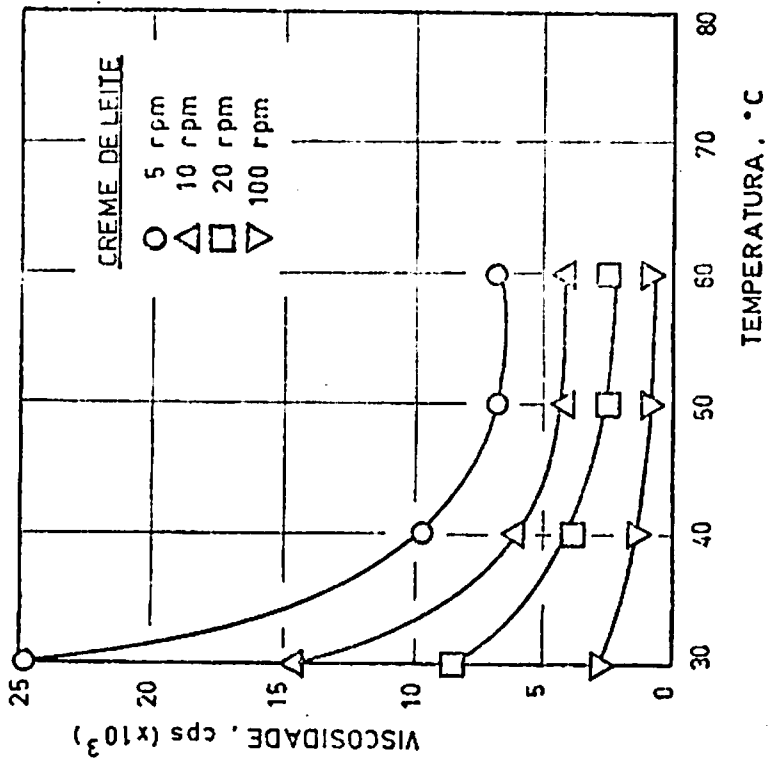
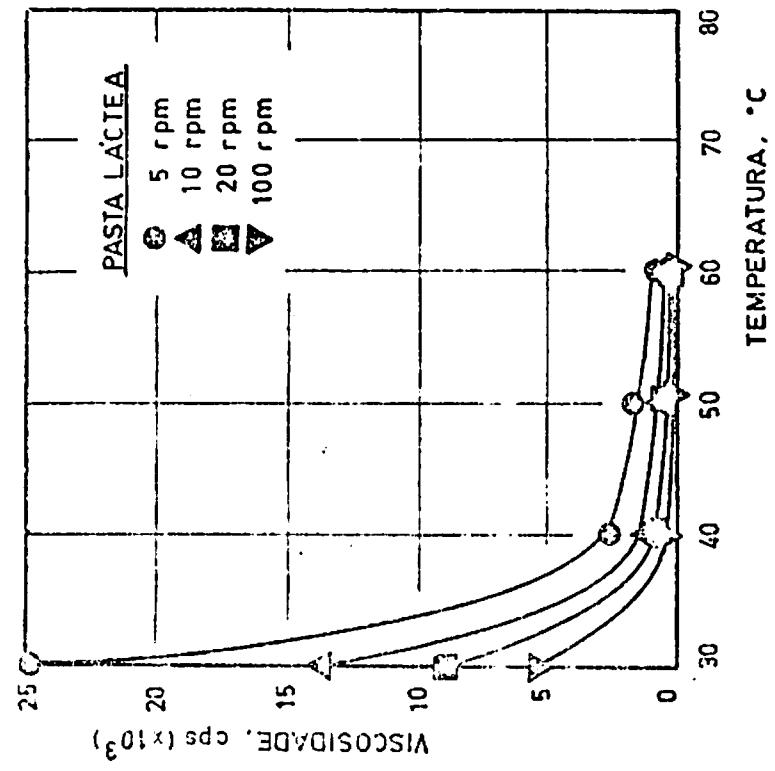
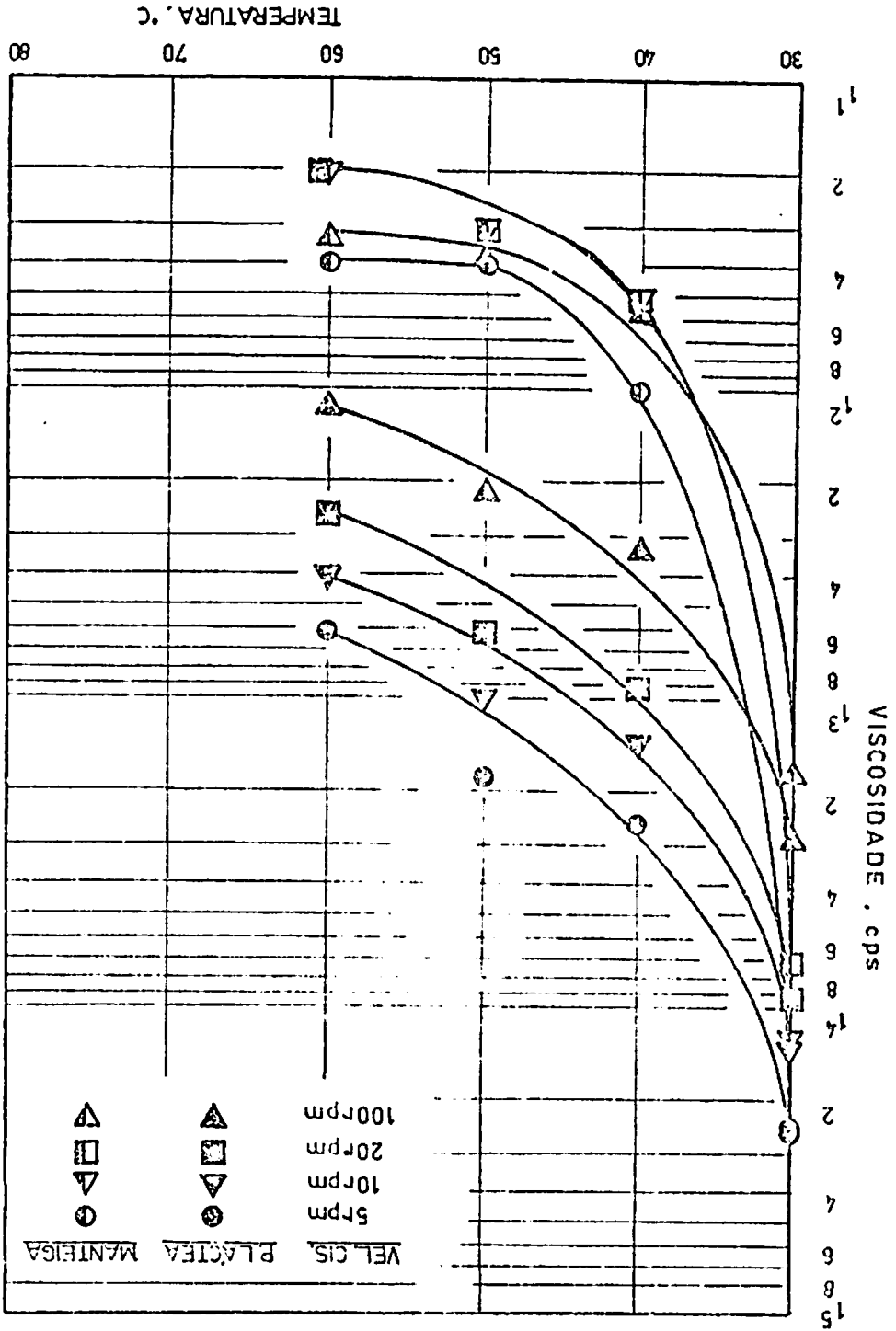


FIGURA 19 - Efeito da temperatura sobre as mudanças de viscosidade do creme de leite e da pasta láctea determinadas a diversas velocidades de cisalhamento.

FIGURA 20 - Efeito da temperatura sobre as mudanças de viscosidade da pasta láctea e da manteiga comum determinadas a diferentes velocidades de cisalhamento.



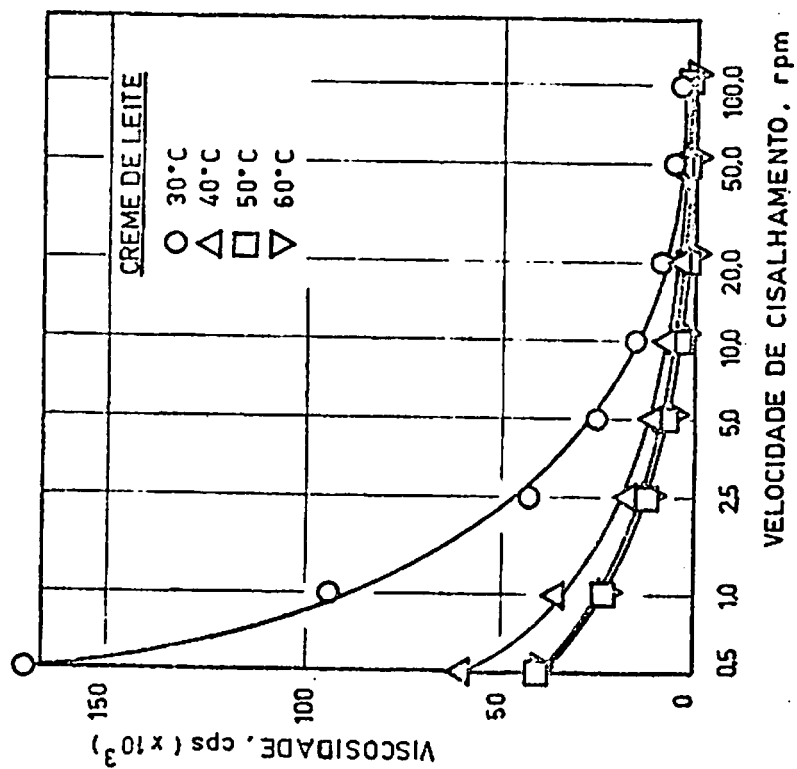


FIGURA 21 - Efeito da velocidade de cisalhamento sobre a mudança de viscosidade do creme de leite a diversas temperaturas.

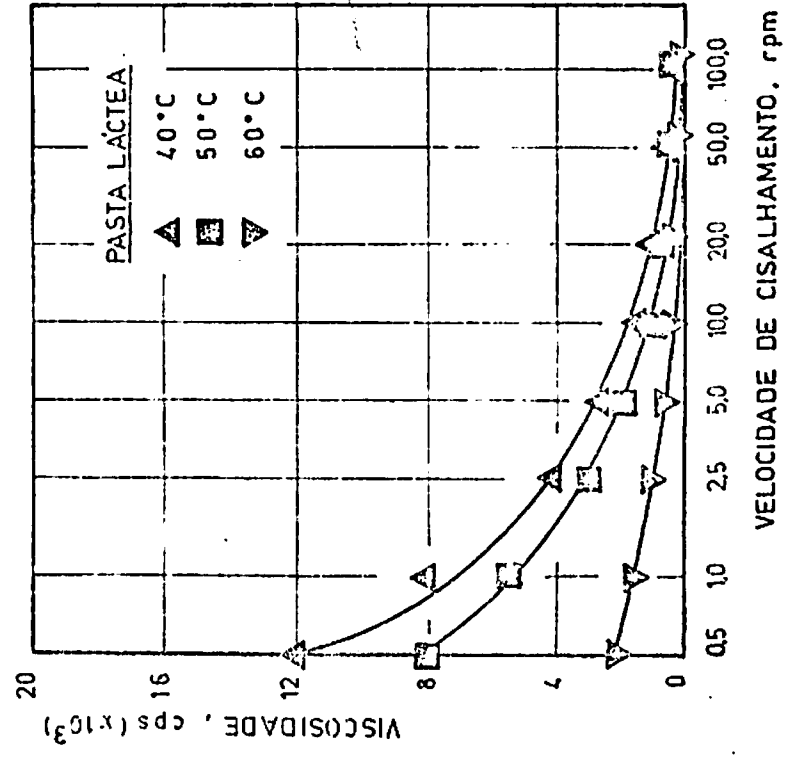
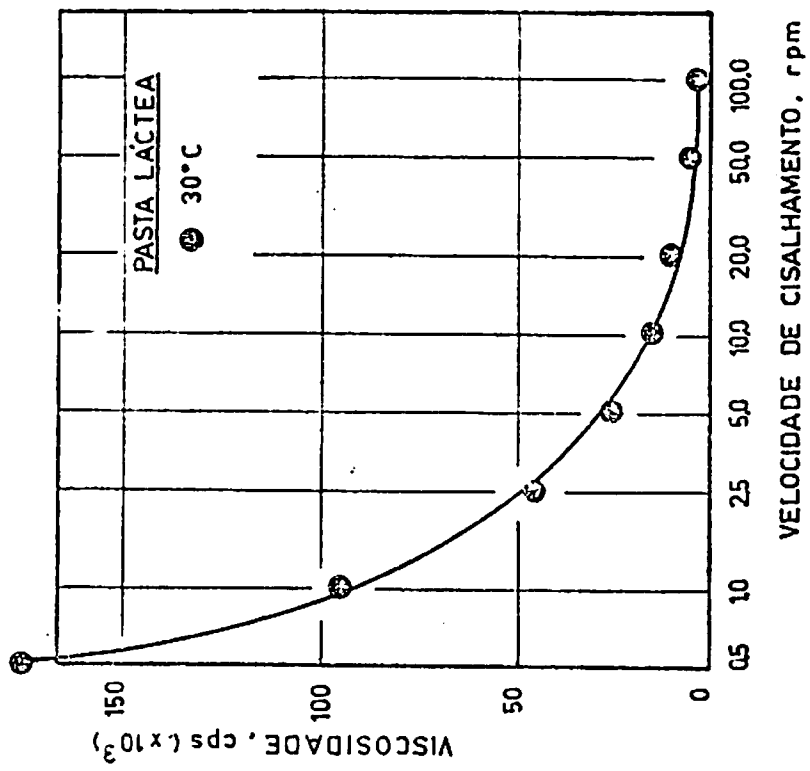


FIGURA 22 - Efeito da velocidade de cisalhamento sobre a mudança de viscosidade da pasta láctea a diversas temperaturas.



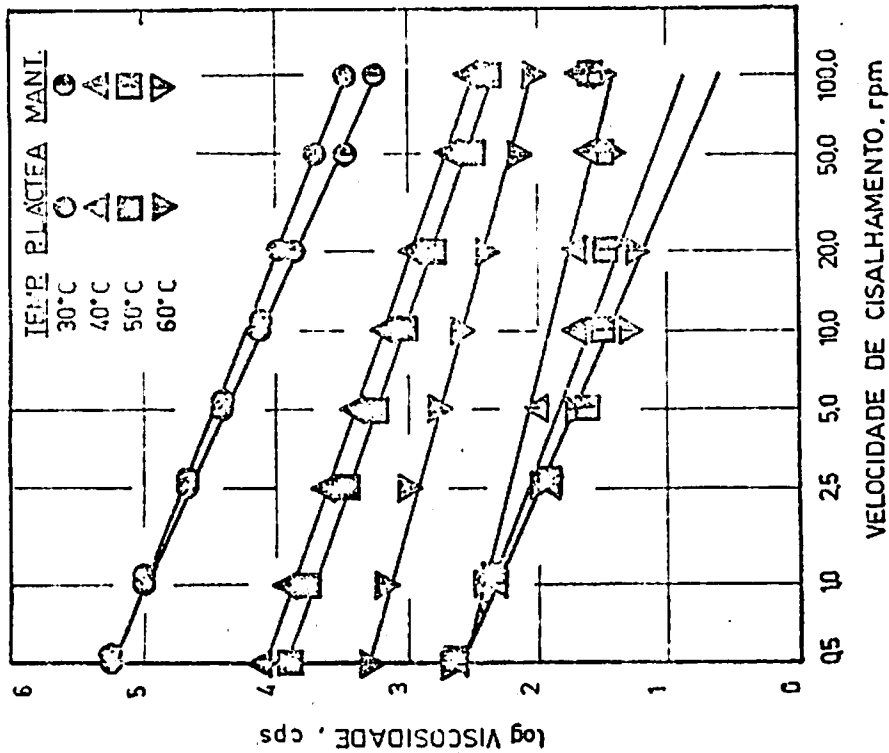
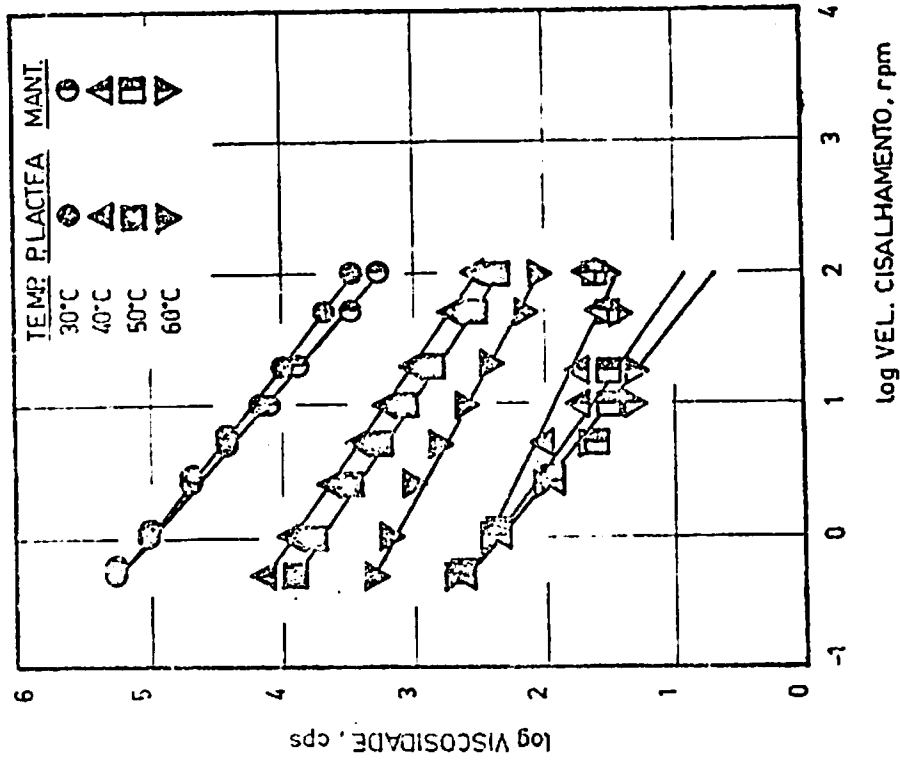


FIGURA 23 - Efeito da velocidade de cisalhamento sobre as mudanças de viscosidade da pasta láctea e da manteiga com a diversas temperaturas.

cisalhamento ( $\gamma$ ) ou do  $\log \gamma$  nas temperaturas estudadas. No entanto, a manteiga exibiu este mesmo comportamento somente à temperatura de 30°C, sendo que nas demais temperaturas estudadas verificou-se uma tendência da viscosidade a manter-se constante para velocidades de cisalhamento acima de 10 rpm. Estes resultados, confirmam aqueles obtidos por EL-NIMR et alii (15) e de certa forma também os constatados por SONE (48) devido a temperaturas inferiores a 30°C utilizados pelos mesmos. Os resultados mostram que a pasta láctea poderá ter uma boa aplicação tecnológica tendo em vista as características texturais exibidas pela mesma.

#### 4.3.3. Efeito do tempo de cisalhamento

A figura 24 e a tabela 17 em anexo mostram o efeito do tempo de cisalhamento sobre a viscosidade do creme e da pasta láctea. Observa-se que na pasta ocorre um decréscimo bastante acentuado na viscosidade, principalmente nos primeiros 20 minutos, e após o tempo de 60 minutos a sua viscosidade ainda continua decrescendo. Já no creme a queda na viscosidade com o tempo de cisalhamento é mínima nos primeiros 20 minutos, sendo que a partir daí um valor constante é atingido. Esta queda no valor da viscosidade com o tempo de cisalhamento é um tipo de fenômeno de tixotropicidade e pode durar por dias em alguns materiais e apenas alguns segundos em outros, SCOTT BLAIR (44). O comportamento observado para o creme pode ser explicado como devido à velocidade de reestruturação muito rápida que se verifica para este produto, PRENTICE (38).

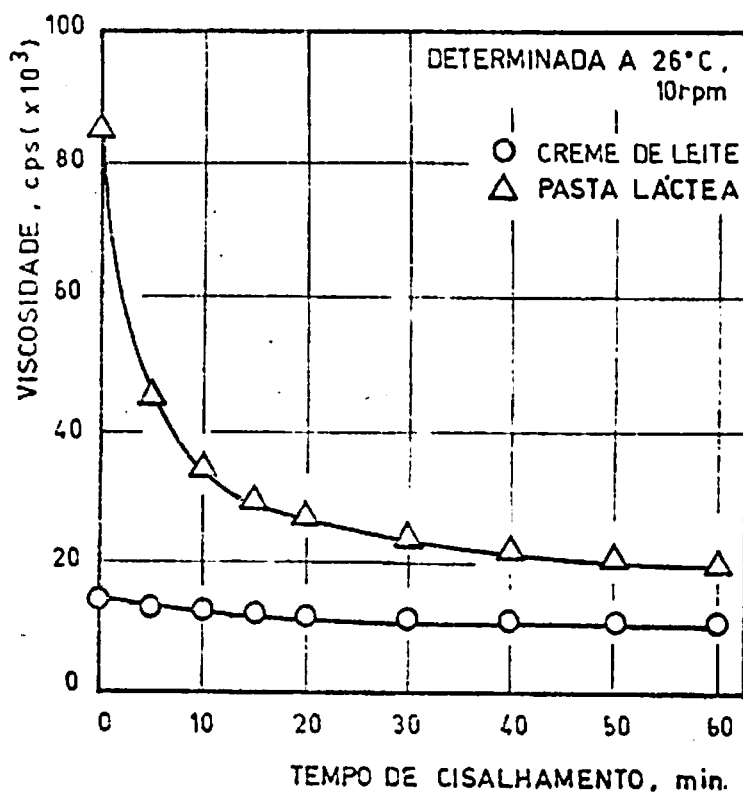


FIGURA 24 - Efeito do tempo de cisalhamento sobre a viscosidade do creme de leite e da pasta láctea (a 26°C).

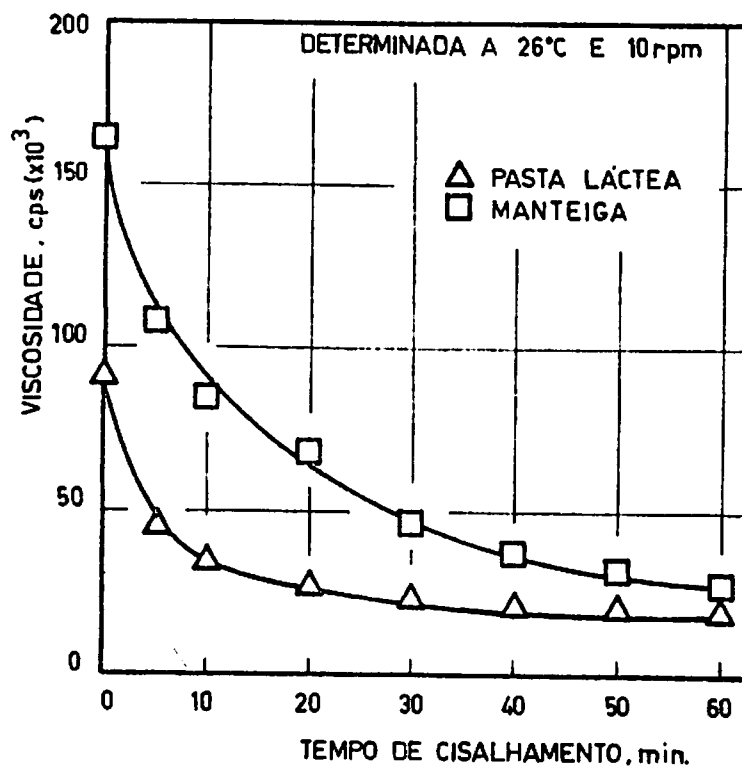


FIGURA 25 - Efeito do tempo de cisalhamento sobre a viscosidade da pasta láctea e da manteiga comum (a 26°C).

A influência do tempo de cisalhamento sobre a viscosidade da pasta e de manteiga é apresentada na figura 25. Nota-se claramente que o tempo de cisalhamento afeta de modo mais pronunciado a viscosidade da manteiga. Este resultado está de acordo com diversos outros trabalhos; PERKINS (34), DAVIS (9), SCOTT BLAIR (44), DOLBY (12), deMAN & WOOD (11), deMAN & WOOD (10), SONE (48), CHWIEJ (4) e PIJANOWSKI et alii (36).

#### 4.4. Mudança da viscosidade durante a secagem

A mudança na viscosidade com a remoção d'água em amostras de creme de leite expostas às condições de temperatura de 5°C e 10°C e umidades relativas de 40% é mostrada na figura 26 e tabelas 18 e 19 em anexo. Observa-se que existe um aumento bastante drástico na viscosidade logo no início da remoção d'água, mesmo considerando as pequenas diferenças de teor d'água das amostras. Com o decorrer do processo de remoção d'água a viscosidade passa a ser menos afetada, conforme pode verificar-se pela análise do mesmo gráfico. A remoção d'água do creme de leite concentra o mesmo o que por si só deve contribuir para o aumento da viscosidade do sistema, além disto, este aumento de viscosidade pode ser devido a uma maior tendência para formar aglomerados pelos processos de floculação e coalescência, SHERMAN (45).

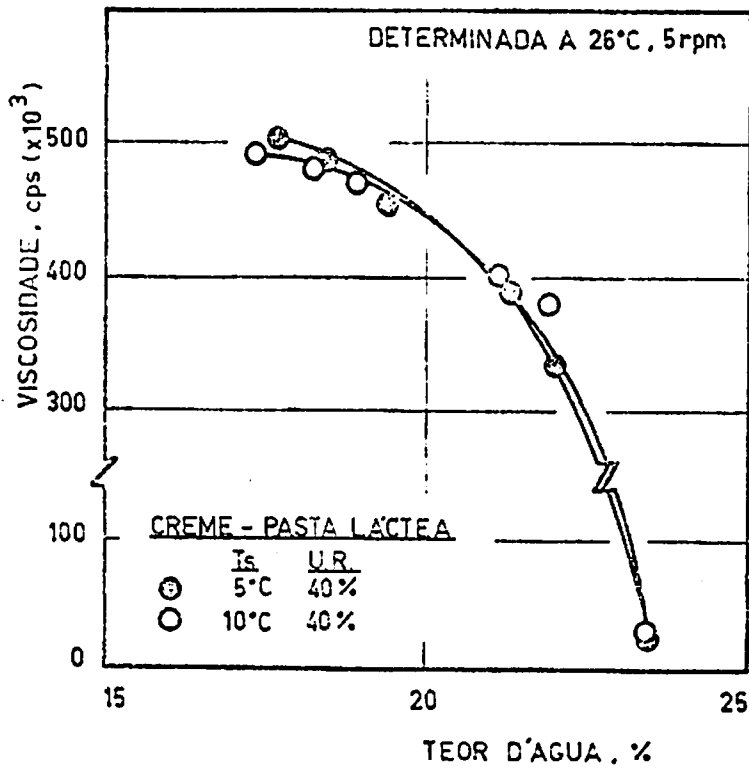


FIGURA 26 - Relação entre a mudança de teor d'água nas amostras e a correspondente viscosidade das amostras (transição creme-pasta), nas condições experimentais indicadas.

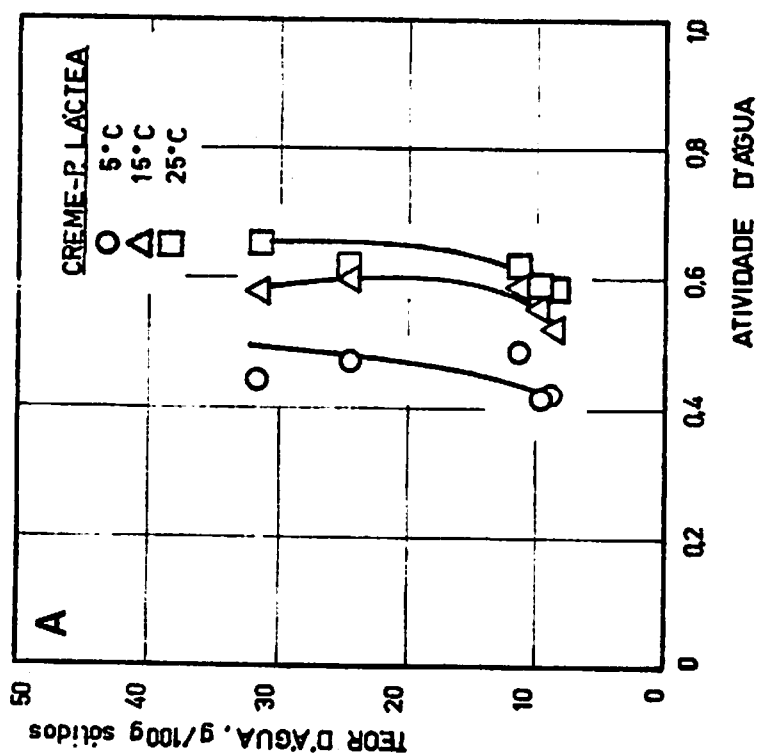
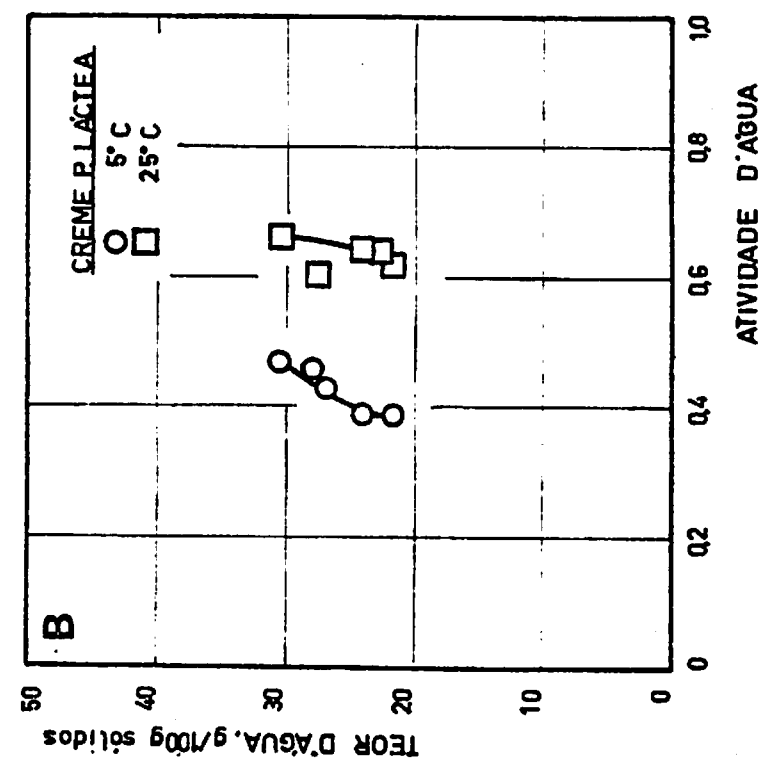


FIGURA 27 - Isothermas de dessorção d'água de creme de leite em diversas temperaturas. Condições de secagem de 15°C e 5% UR (A) e 10°C 40% UR (B).

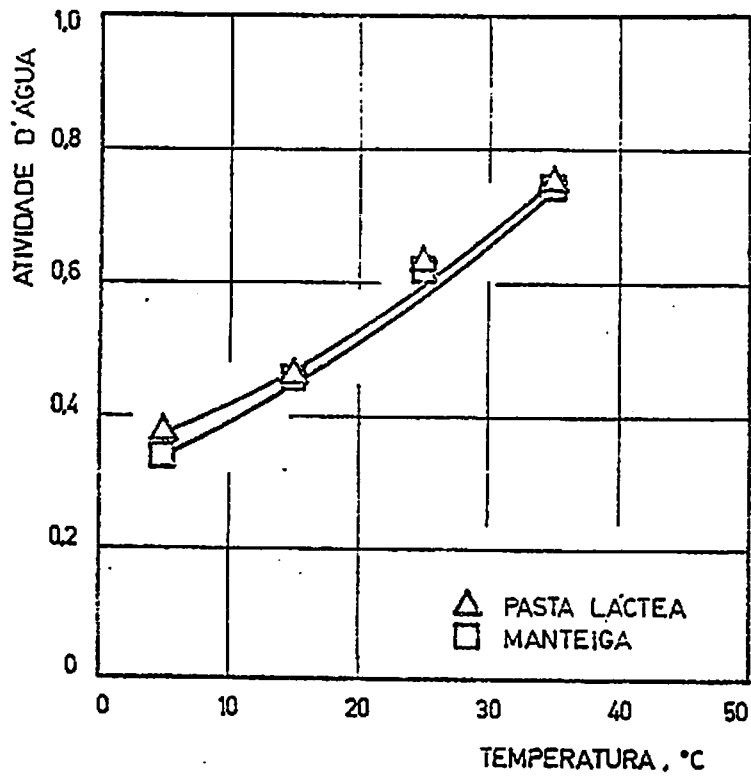


FIGURA 28 - Análise comparativa do efeito da temperatura sobre a atividade d'água da pasta láctea e manteiga comum.



## 4.5. Análises de equilíbrio higroscópico

### 4.5.1. Isotermas de dessorção

As isotermas de dessorção para o creme de leite nas temperaturas de 5; 15 e 25°C, são apresentadas na figura 27 e tabela 20. Os resultados mostram que tanto o creme como a pasta láctea têm uma estabilidade microbiológica relativamente boa. Entretanto em termos químicos existe a possibilidade de ocorrência de reações de oxidação, o que mostra a necessidade do uso de antioxidantes no produto final. Os resultados mostram ainda que a temperatura exerce uma significativa influência sobre a atividade d'água da pasta láctea e da manteiga comum, sendo maior na medida em que se aumenta a temperatura de determinação.

## 5. CONCLUSÕES

1. A área de exposição da amostra não influencia significativamente o teor d'água final do creme de leite.

2. O grau de remoção d'água do creme de leite é influenciado pela espessura da amostra, pela temperatura e pela umidade relativa a que o produto é exposto.

3. A viscosidade do creme de leite é afetada significativamente durante a secagem.

4. A viscosidade da pasta láctea é menos afetada pela temperatura quando comparada à de manteiga e mais afetada quando comparada ao de creme de leite.

5. A pasta láctea tem um comportamento reológico do tipo pseudoplástico.

6. A pasta láctea apresenta o fenômeno de tixotropicidade.

7. A remoção d'água não afeta significativamente a atividade d'água do creme de leite, todavia, esta característica é muito importante no estabelecimento do grau de estabilidade da pasta láctea.

## 6. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

1. A cinética de remoção d'água do processo deve ser estudada por meio de funções ou modelos matemáticos capazes de expressar o interrelacionamento dos fatores envolvidos.

2. O efeito da velocidade de fluxo do ar sobre o grau de remoção d'água deve ser verificado através da instalação de ventiladores que permitam a obtenção de diferentes velocidades de ar no equipamento.

3. Análises microestruturais devem ser realizadas em trabalhos futuros, em consonância com a cinética de coalescência dos glóbulos de gordura.

4. As análises de equilíbrio higroscópico do produto final devem ser estudados e relacionados à sua estabilidade.

5. É conveniente avaliar índices de formação de peróxidos com vistas a resolver o problema de rancificação observado em algumas amostras.

## 7. RESUMO

A secagem a frio de amostras de creme de leite foi estudada nas condições de ar de 5, 17 e 40% de umidade relativa e a 0, 5, 10 e 15°C. A influência dos fatores de amostragem e das variáveis operacionais foi investigada. O grau de remoção d'água foi influenciado pela espessura das amostras, pela umidade relativa e pela temperatura a que as mesmas foram submetidas. A mudança de viscosidade do creme de leite durante a secagem também foi estudada. O comportamento reológico da pasta láctea - assim denominado o produto final resultante da secagem a frio - foi estudado e comparado com o comportamento do creme de leite e da manteiga. O creme de leite, a pasta láctea bem como a manteiga tiveram suas viscosidades afetadas pela temperatura e pela velocidade de cisalhamento, sendo que nos dois últimos este efeito foi mais pronunciado. O comportamento reológico característico da pasta láctea foi o de um fluido pseudoplástico. Tanto na pasta láctea como na manteiga foi constatado claramente o fenômeno da tixotropicidade, isto é, uma queda nas suas viscosidades com o tempo de cisalhamento, o que não foi verificado no creme de leite. Foi estudado também o efeito da remoção d'água sobre a atividade d'água no creme e o efeito da temperatura sobre a atividade d'água do creme de leite, da pasta láctea e da manteiga.

## 8. SUMMARY

The low temperature air drying of cream was studied under air conditions of 5; 17 and 40% relative humidity and 0; 5; 10; and 15°C using a Cool Drier developed in our laboratory. The influence of sample thickness and surface area and operational variables was investigated. The degree of water removal was affected mainly by the sample thickness and relative humidity. The effect of temperature can be important depending upon the other mentioned conditions. The change of viscosity of the cream during the drying was also evaluated. The rheological behaviour of the dairy paste - so-called the final product - was also studied and compared with the rheological behaviours of cream and butter. The cream and dairy paste as occurring with butter had their viscosities affected by the sample temperature and shear rate. Dairy paste and butter were more affected than cream by the mentioned factors. The rheological behaviour of the dairy paste was of a pseudoplastic nature. Both, dairy paste and butter exhibited the phenomenon of thixotropy while this phenomenon did not occur in cream. Isothermic curves resulting from the removal of water in the drying process were also established at several temperatures.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADAMSON, A.W. Emulsions and foams. In: ADAMSON, A.W. Physical Chemistry of Surfaces. 2.ed. New York, Interscience, 1967, Cap.11, p.505-36.
2. BURKE, R.F. & DECAREAU, R.V. Recent advances in the freezing-drying of food products. Advances in Food Research, New York, 13:1-88, 1964.
3. CAFFYN, J.E. The viscosity temperature coefficient of homogenized milk. Journal of Dairy Research, London, 18(1):95-105, Feb. 1951.
4. CHWIEJ, M. Rheological study of creep in butter. Roczniki Technologii i Chemii Żywności, Warszawa, 17:159-70, 1960.
5. COSTA, L.C.G. Análises físicas e químicas de leite e derivados. Lavras, ESAL, 1972. p.50 (Mimeografado).
6. COX, C.P.; HOSKING, Z.D. & POSENER, L.N. Relations between composition and viscosity of cow's milk. Journal of Dairy Research, London, 26(2):182-89, June 1959.

7. DARLING, D.F. Recent advances in the destabilization of dairy emulsions. Journal of Dairy Research, London, 49(4):695-712, Nov. 1982.
8. DAVIS, J.G. A dictionary of dairying. 2.ed. London, Leonard Hill, 1966. 1132p.
9. DAVIS, J.G. The rheology of cheese, butter and other milk products. Journal of Dairy Research, London, 8:245, 1937.
10. DEMAN, J.M. & WOOD, F.W. Hardness of butter. II. Influence of setting. Journal of Dairy Science, Champaign, 42(1):56-61, Jan. 1959.
11. DEMAN, J.M. & WOOD, F.W. Thixotropy and setting of butter. Dairy Industries, London, 23:265, 1958.
12. DOLBY, R.M. The rheology of butter. II. The relation between rate of shear and shearing stress. The effect of temperature and reworking on hardness and structural viscosity. Journal of Dairy Research, London, 12(3):337-43, Sept. 1941.
13. DUNOYER, J.M. & LAROUSSE, J. Expériences nouvelles sur la lyophilisation. In: NATIONAL VACUUM SYMPOSIUM, 8, 1961. Transactions..., Oxford, Pergamon Press, 1962. p.1059.
14. DYER, W.J. & FRASER, D.I. Proteins in fish muscle. 13. Lipid hydrolysis. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, 16:43, 1959.

15. EL-NIMR, A.A.; ABBAS, H.M.; ABD-EL-HAMID, L.B. & MAHRAN, G.A. Rheology of cream and butter from Egyptian buffaloe's and cow's milk. Cairo, Faculty of Agriculture, Aim Shams University, 1982. 18p. (Research Bulletin, 1882).
16. FERNANDEZ-MARTIN, F. Influence of temperature and composition on some physical properties of milk and milk concentrates. II. Viscosity. Journal of Dairy Research, London, 39(1):75-82, Feb. 1972.
17. FLEISCHMAN, W. Tratado de lecheria. Barcelona, Gustavo Gilli, 1924. 740p.
18. GRAF, E. & BAUER, H. Milk and milk products. In: FRIBERG, S., ed. Food Emulsions. New York, Marcel Dekker, 1976. Cap. 7, p.295-383.
19. HALLOWEL, E.R. Atmosferic air. In: HALLOWEL, E.R. Cold and freezer storage manual. 2.ed. Westport, AVI, 1980. Cap.3, p.42-50.
20. HELDMAN, D.R. & HOHNER, G.A. An analysis of atmospheric freeze-drying. Journal of Food Science, Chicago, 39(1):147-55, Jan./Feb. 1974.
21. JOHNSON, J.F.; MARTIN, J.R. & PORTER, R.S. Determination of viscosity of food systems. In: RHA, C., ed. Theory, determination and control of physical properties of food materials. Dordrecht, D. Reidel, 1975. V.1, cap.3, p.25-38.



22. KAREL, M. Freeze dehydration of foods. In: FENNEMA, O.R., ed. Principles of food science; physical principles of food preservation. New York, Marcel Dekker, 1975. V.4, cap.11, p. 359-95.
23. KAREL, M. Symposium: proteins interactions in biosystems. Protein-lipid interactions. Journal of Food Science, Chicago, 38(5):756-63, Sept./Oct. 1973.
24. KROG, N. Functions of emulsifiers in relation to food texture. In: DEMAN, J.M., ed. Rheology and texture in food quality. 2.ed. Westport, AVI, 1979. Cap.16, p.507-34.
25. LAMPERT, L.M. Modern dairy products. 3.ed. New York, Ed. Chemical, 1975. 437p.
26. LEWIN, L.M. & MATELES, R.I. Freeze-drying without vacuum: A preliminary investigation. Food Technology, Chicago, 16(1):94-6, Jan. 1962.
27. LING, E.R. A text-book of dairy chemistry; practical. 3.ed. London, Chapman & Hall, 1963. 140p.
28. MADARRO, A.; PINAGA, F.; CARBONNEL, J.V. & PEÑA, J.L. Deshidratación de frutas y hortalizas com aire ambiente. I. Ensayos exploratórios com zanahorias. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, Valencia, 21(4):525-33, Dic. 1981.
29. MALECKI, G.J.; SHINDE, P.; MORGAN JR., A.I. & FARKAS, D.F. Atmospheric fluidized bed freeze-drying. Food Technology, Chicago, 24(5):601-3, May 1970.

30. MATZ, S.A. The effect of water on food texture. In: MATZ, S. A. Water in foods. Westport, AVI, 1965. Cap.16, p.222-34.
31. MERYMAN, H.T. Sublimation freeze-drying without vacuum. Science, Washington, 130:628-9, 1959.
32. MULDER, H. & WALSTRA, P. The milk fat globule; emulsion science as applied to milk and comparable foods. Farnham Royal, Commonwealth Agricultural Bureaux, 1974. 296p. (Technical Communication, Commonwealth Bureaux of Dairy Science and Technology, 4).
33. OVERBEEK, J.Th.G. The interaction between colloid particles. In: KRUYT, H.R., ed, Colloid Science. Amsterdam, Elsevier, 1952. V.1, p.278-301.
34. PERKINS, A.E. An apparatus and method for determining the hardness of butterfat. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Easton, 6(2):136, 1914.
35. PHIPPS, L.W. The interrelationship of viscosity, fat content and temperature of cream between 40 and 80°C. Journal of Dairy Research, London, 36(3):417-26, Oct. 1969.
36. PIJANOWSKI, E.; CHWIEJ, M.; HERNIC, H. & KNUWOLICZ, M. Dilution coefficient of butter serum and butter consistency. Roczniki Technologii i Chemii Żywności, Warszawa, 17:159-70, 1969.

37. PRENTICE, J.H. Measurement of some flow properties of market cream. In: Rheology and texture of foodstuffs. London, Society of Chemical Industry, 1968. p.265-78. (SCI Monograph, 27).
38. PRENTICE, J.H. Rheology and texture of dairy products. Journal of Texture Studies, Westport, 3:415-58, 1972.
39. RANDHAN, H. Flow properties of milk and milk concentrates. Milchwissenschaft, Nurmberg, 28:620-8, 1973.
40. RAO, M.A. Measurement of flow properties of fluid foods. Developments, limitations, and interpretation of phenomena. Journal of Texture Studies, Westport, 8:257-82, 1977.
41. RAO, M.A. Rheology of liquid foods. A review. Journal of Texture Studies, Westport, 8:135-68, 1977.
42. ROTHWELL, J. Studies on the effect of heat treatment during processing on the viscosity and stability of high-fat market cream. Journal of Dairy Research, London, 33(3):245-54, 1966.
43. SCHMIDT, F.W.; CHEN, Y.S.; KIRB-SMITH, M. & MACNEIL, J.H. Low temperature air drying of carrot cubes. Journal of Food Science, Chicago, 42(5):1294-8, Sept./Oct. 1977.
44. SCOTT BLAIR, G.W. An apparatus for measuring the elastic and plastic properties of cheese curd. Journal of Dairy Research, London, 9:347, 1938.

45. SHERMAN, P. Textural characteristics of dairy products. In: DEMAN, J.M., ed. Rheology and texture in food quality. 2. ed. Westport, AVI, 1978. Cap.10, p.382-404.
46. SHERMAN, P. Textural characteristics of food emulsions. In: DEMAN, J.M., ed. Rheology and texture in food quality, 2. ed. Westport, AVI, 1979. Cap.15, p.487-506.
47. SINNAMON, H.I.; KOMANOWSKY, M. & HEILAND, W.K. An experimental apparatus for drying particulate foods in air. Food Technology, Chicago, 22(2):219-22, Feb. 1968.
48. SONE, T. The rheological behaviour and thixotropy of a fatty plastic body. Journal of the Physical Society of Japan, Tokyo, 16(5):961-71, May 1961.
49. VAN VLIET, T. & WALSTRA, P. Relationship between viscosity and for content of milk and cream. Journal of Texture Studies, Westport, 11(1):65-8, March 1980.
50. VINCENT, B. The effect of adsorbed polymers on dispersion stability. Advances in Colloid and Interface Science, Amsterdam, 4:193-277, 1974.
51. WOODWARD, T.H. Freeze-drying without vacuum. Food Engineering, Philadelphia, 35(6):96-7, June 1963.

10. ANEXO

TABELA 5 - Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e com um ar de secagem a 0°C e 5% UR.

Tempo (horas)	(h, cm) Diâmetro = 5cm			(h, cm) Diâmetro = 9cm		
	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
	0	23,5 22,5 23,0	23,0 22,7 22,8	23,2 23,4 23,3	22,6 23,0 22,8	23,2 23,0 23,1
5	* * *	* * *	* * *	21,4 20,7 21,0	21,3 21,0 21,1	22,0 20,7 21,3
10	17,8 21,9 19,8	21,4 21,2 21,3	21,7 21,7 21,7	19,5 19,1 19,3	20,2 20,0 20,1	21,5 20,3 20,9
20	12,8 16,6 14,7	17,8 17,6 17,7	18,5 18,4 18,4	15,2 14,4 14,8	17,5 17,3 17,4	19,8 17,8 18,8
25	11,5 16,1 13,8	16,0 16,2 16,1	17,7 17,5 17,6	13,9 12,5 13,2	16,5 15,9 16,2	18,9 17,2 18,0
30	10,1 14,3 12,2	15,2 15,3 15,2	16,8 16,7 16,7	12,2 11,2 11,7	15,5 14,9 15,2	18,0 16,4 17,2

Observações:

1. h = espessuras das amostras
2. Em cada tempo o 3º valor é a média dos dois experimentos cujos resultados estão acima.
3. \* Resultados sem condição de análise.
4. - Experimento não realizado.

TABELA 6 - Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessura de 1,5 cm e com um ar de secagem a 0°C e 17% UR.

Tempo (horas)	(h, cm)			(h, cm)		
	Diâmetro = 5cm			Diâmetro = 9cm		
	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
0	-	-	23,0	-	-	23,2
	-	-	22,5	-	-	23,1
	-	-	22,7	-	-	23,2
5	-	-	20,8	-	-	21,1
	-	-	20,2	-	-	21,0
	-	-	20,5	-	-	21,0
10	-	-	19,8	-	-	20,1
	-	-	19,1	-	-	20,1
	-	-	19,4	-	-	20,1
20	-	-	18,1	-	-	18,5
	-	-	17,4	-	-	18,4
	-	-	17,7	-	-	18,4
25	-	-	17,5	-	-	17,9
	-	-	16,7	-	-	17,8
	-	-	17,1	-	-	17,8
30	-	-	17,0	-	-	17,5
	-	-	16,3	-	-	17,4
	-	-	16,6	-	-	17,4

Observações:

Idem folha 76.

TABELA 7 - Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e com um ar de secagem a 5°C e 5% UR.

Tempo (horas)	(h, cm) Diâmetro = 5cm			(h, cm) Diâmetro = 9cm		
	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
	0	22,9 23,1 23,0	23,0 23,1 23,0	22,3 23,0 22,6	23,0 23,0 23,0	23,1 23,1 23,1
5	20,6 21,1 20,8	21,4 21,3 21,4	20,8 20,5 20,6	19,6 19,9 19,7	20,9 20,6 20,7	20,8 20,9 20,8
10	19,0 19,1 19,0	19,7 20,1 19,9	19,1 19,5 19,7	17,6 18,2 17,9	19,5 19,3 19,4	19,5 19,7 19,6
20	15,5 15,6 15,6	16,6 17,3 17,0	16,9 17,3 17,1	13,6 15,3 14,4	17,2 16,6 16,9	17,4 17,5 17,4
25	13,8 14,2 14,0	15,5 16,0 15,8	16,2 14,4 16,3	12,4 13,6 13,0	15,9 15,4 15,6	16,8 16,8 16,8
30	11,8 13,0 12,4	14,5 15,1 14,8	15,5 15,8 15,6	11,2 12,4 11,8	15,0 14,6 14,8	16,2 16,1 16,2

Observações:

Idem folha 76.



TABELA 8 - Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e com um ar de secagem a 5°C e 17% UR.

Tempo	(h, cm)			(h, cm)		
	Diâmetro = 5 cm			Diâmetro = 9 cm		
	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
0	24,4	23,5	22,9	23,2	22,9	23,5
	24,3	23,2	23,1	23,9	23,6	23,5
	24,4	23,4	23,0	23,5	23,2	23,5
5	20,1	20,5	20,5	20,0	19,0	20,1
	20,2	21,3	21,3	19,0	20,4	20,6
	20,2	20,9	20,9	19,5	19,7	20,3
10	16,0	17,4	18,3	14,6	16,9	20,0
	17,0	17,6	18,5	15,2	17,7	18,7
	16,5	17,5	18,4	14,9	17,3	19,3
20	11,4	13,5	15,8	10,5	13,8	17,0
	12,4	13,9	15,7	11,7	14,7	16,5
	11,9	13,7	15,8	11,1	14,2	16,8
25	10,2	12,1	14,3	8,9	12,7	16,1
	11,5	12,3	14,2	9,5	14,0	15,6
	11,8	12,2	14,2	9,2	13,3	15,8
30	8,4	10,9	13,1	7,9	11,5	15,0
	9,3	11,2	13,3	7,8	12,1	14,6
	8,8	11,0	13,2	7,8	11,8	14,8

Observações:

Idem folha 76.

TABELA 9 - Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessuras de 1,5 cm e com um ar de secagem a 5°C e 40% UR.

Tempo	(h, cm) Diâmetro = 5cm			(h, cm) Diâmetro = 9cm		
	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
	0	-	-	23,6	-	-
	-	-	23,0	-	-	23,6
	-	-	23,3	-	-	22,9
5	-	-	22,3	-	-	21,0
	-	-	21,6	-	-	22,0
	-	-	21,9	-	-	21,5
10	-	-	21,6	-	-	20,4
	-	-	21,1	-	-	21,6
	-	-	21,3	-	-	21,0
20	-	-	19,4	-	-	19,0
	-	-	19,4	-	-	19,9
	-	-	19,4	-	-	19,4
25	-	-	18,5	-	-	18,4
	-	-	18,4	-	-	18,9
	-	-	18,4	-	-	18,6
30	-	-	17,7	-	-	17,8
	-	-	17,8	-	-	18,3
	-	-	17,7	-	-	18,0

Observações:

Idem folha 76.

TABELA 10 - Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e com um ar de secagem a 10°C e 5% UR.

Tempo (horas)	(h, cm)			(h, cm)		
	Diâmetro = 5cm			Diâmetro = 9cm		
	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
0	22,4	22,4	22,4	22,8	22,4	22,4
	22,9	22,4	22,5	22,5	22,5	22,3
	22,6	22,4	22,4	22,6	22,4	22,4
5	18,5	17,9	20,2	19,3	19,4	20,2
	19,4	19,6	20,0	19,1	19,4	20,0
	19,0	18,8	20,1	19,2	19,4	20,1
10	15,6	15,5	17,5	17,0	17,6	19,1
	16,4	17,7	18,4	17,6	17,5	18,5
	16,0	16,6	18,0	17,3	17,6	18,8
20	10,4	14,2	16,6	12,3	14,1	16,4
	10,7	10,4	15,8	11,8	13,8	15,9
	10,6	12,3	16,2	12,0	14,0	16,2
25	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
30	9,2	11,3	14,7	9,0	11,5	14,4
	7,0	8,9	13,4	8,7	11,0	13,8
	8,1	10,1	14,0	8,8	11,3	14,1

Observações:

Idem folha 76.

TABELA 11 - Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e com um ar de secagem de 10°C e 17% UR.

Tempo (horas)	(h, cm) Diâmetro = 5cm			(h, cm) Diâmetro = 9cm		
	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
	0	23,0 22,9 23,0	23,1 23,0 23,0	23,2 23,2 23,2	22,7 23,0 22,8	22,9 22,8 22,8
5	20,3 20,0 20,2	20,9 20,4 20,6	21,0 21,2 21,1	19,5 20,7 20,1	20,4 20,8 20,6	21,0 20,7 20,8
10	18,0 18,1 18,0	19,3 18,8 19,0	19,9 19,9 19,9	17,0 18,4 17,7	19,0 19,4 19,2	19,6 19,3 19,4
20	13,8 12,6 13,2	16,1 14,7 15,4	17,5 17,5 17,5	12,6 13,4 13,0	15,6 15,8 15,7	17,0 16,8 16,9
25	11,8 11,4 11,6	14,8 13,3 14,0	16,6 16,6 16,6	11,1 12,1 11,6	14,3 14,5 14,4	16,1 15,9 16,0
30	10,5 10,3 10,4	14,0 12,4 13,2	16,0 16,0 16,0	9,9 11,1 10,5	13,8 13,5 13,6	15,5 15,3 15,4

Observações:

Idem folha 76.

TABELA 12 - Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessura de 1,5 cm e com um ar de secagem a 10°C e 40% UR.

Tempo (horas)	(h, cm) Diâmetro = 5cm			(h, cm) Diâmetro = 9 cm		
	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
	0	-	-	23,5	-	-
	-	-	23,4	-	-	23,3
	-	-	23,4	-	-	22,6
5	-	-	21,8	-	-	20,6
	-	-	22,1	-	-	21,6
	-	-	21,9	-	-	21,1
10	-	-	20,9	-	-	20,0
	-	-	21,4	-	-	21,1
	-	-	21,1	-	-	20,6
20	-	-	18,8	-	-	18,3
	-	-	19,1	-	-	18,9
	-	-	18,9	-	-	18,6
25	-	-	18,0	-	-	17,8
	-	-	18,4	-	-	18,2
	-	-	18,2	-	-	18,0
30	-	-	17,1	-	-	17,0
	-	-	17,5	-	-	17,4
	-	-	17,3	-	-	17,2

Observações:

Idem folha 76.

TABELA 13 - Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e com um ar de secagem a 15°C e 5% UR.

Tempo (horas)	(h, cm) Diâmetro = 5cm			(h, cm) Diâmetro = 9cm		
	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
	0	23,0 22,9 23,0	23,4 23,5 23,4	23,2 23,2 23,2	23,1 22,8 23,0	23,5 22,8 23,2
5	18,5 18,9 18,7	20,2 20,2 20,2	20,6 20,7 20,6	17,9 18,4 18,2	19,5 19,7 19,6	21,3 21,2 21,2
10	14,6 15,2 14,9	17,7 17,0 17,4	18,8 18,8 18,8	14,5 14,3 14,4	17,0 16,9 16,9	20,0 20,2 20,2
20	8,2 10,2 9,2	14,6 13,1 13,8	14,9 15,3 15,1	8,9 9,5 9,2	12,2 12,6 12,4	16,7 16,9 16,8
25	8,0 9,1 8,9	12,8 12,1 12,4	13,6 14,2 13,9	8,5 7,7 8,1	10,2 11,5 10,8	15,8 15,9 15,8
30	7,5 8,4 8,0	12,0 11,4 11,7	12,8 13,4 13,1	7,4 7,0 7,2	9,2 10,4 9,8	15,0 15,3 15,1

Observações:

Idem folha 76.

TABELA 14 - Dados do teor d'água (%) em amostras de creme de leite com espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm e com um ar de secagem a 15°C e 17% UR.

Tempo (horas)	(h, cm) Diâmetro = 5cm			(h, cm) Diâmetro = 9cm		
	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
	0	23,5 23,5 23,5	21,8 22,8 22,3	24,2 25,3 24,8	24,2 23,8 24,0	23,8 23,8 23,8
5	18,0 19,2 18,6	18,1 19,0 18,6	21,5 22,9 22,2	20,0 20,0 20,0	20,5 20,4 20,4	21,3 21,4 21,4
10	14,0 15,6 14,6	15,9 17,4 16,6	19,6 21,4 20,5	16,6 16,6 16,6	18,4 18,2 18,3	19,9 19,6 19,8
20	9,0 11,4 10,2	12,7 14,5 13,6	16,5 18,4 16,4	10,9 10,7 10,8	14,8 14,9 14,8	17,3 16,8 17,0
25	8,1 10,1 9,1	11,6 13,3 12,4	15,2 18,0 16,6	9,2 9,2 9,2	13,5 13,6 13,6	16,6 15,7 16,0
30	7,1 9,3 8,2	10,5 12,3 11,4	14,3 17,0 15,6	8,2 7,9 8,0	12,5 12,2 12,4	15,5 14,8 15,2

Observações:

Idem folha 76.

TABELA 15 - Dados de efeito da temperatura sobre as viscosidades de creme de leite, da pasta láctea e da manteiga comum de terminadas a diversas velocidades de cisalhamento.

Produto	(Temperatura, °C)			(Temperatura, °C)			(Temperatura, °C)							
	30	40	50	30	40	50	30	40	50	60				
Creme de leite	21,25	7,50	5,00	23,00	8,50	6,00	26,50	10,25	7,00	7,50	30,25	12,00	8,50	9,00
	21,25	7,50	5,00	23,00	9,00	5,50	26,50	10,50	6,75	7,00	31,50	12,50	8,25	8,75
	21,25	7,50	5,00	23,00	8,75	5,75	26,50	10,38	6,88	7,25	30,88	12,25	8,38	8,88
Pasta láctea	20,50	1,00	1,00	23,00	1,50	1,50	26,50	2,00	2,00	0,50	30,00	2,50	2,50	0,75
	23,50	2,00	1,00	25,00	2,50	1,25	29,00	3,00	1,50	0,75	32,00	3,50	1,75	0,75
	22,00	1,50	1,00	24,00	2,00	1,38	27,75	2,50	1,75	0,62	31,00	3,00	2,12	0,75
Manteiga comum	30,75	0,10	0,10	33,75	0,10	0,10	37,50	0,10	0,10	0,10	38,00	0,20	0,10	0,10
	14,00	0,10	0,10	15,50	0,10	0,10	18,50	0,10	0,10	0,10	22,00	0,10	0,10	0,10
	22,38	0,10	0,10	24,62	0,10	0,10	28,00	0,10	0,10	0,10	30,00	0,15	0,10	0,10

Observações:

1. Em cada produto o 3º valor é a média dos dois experimentos cujos resultados estão acima.



TABELA 16 - Dados de efeito da temperatura sobre as viscosidades de creme de leite, da pasta láctea e da manteiga comum determinadas as diversas velocidades de cisalhamento.

Produto	(Temperatura, °C)				(Temperatura, °C)				(Temperatura, °C)				(Temperatura, °C)			
	Vel. cisalhamento = 10,0rpm				Vel. cisalhamento = 20,0rpm				Vel. cisalhamento = 50,0rpm				Vel. cisalhamento = 100 rpm			
	30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
Creme de leite	35,00	15,40	10,25	11,00	41,00	18,00	13,25	13,50	53,00	24,25	18,00	18,00	65,00	30,50	23,50	23,00
	36,50	15,00	10,00	10,50	43,50	18,25	13,00	13,25	56,00	24,50	17,50	18,00	68,50	30,75	22,75	22,75
	35,75	14,75	10,12	10,75	42,25	18,12	13,12	13,31	54,50	24,38	17,75	18,00	66,75	30,62	23,12	22,88
Pasta láctea	34,00	3,00	3,00	4,00	41,00	4,00	3,50	1,25	54,00	6,00	4,00	1,75	74,50	7,00	5,50	3,00
	34,50	4,00	2,25	1,00	52,00	5,00	2,75	1,25	63,00	5,50	3,50	1,75	70,00	9,00	3,25	2,50
	34,25	3,50	2,62	1,00	46,50	4,50	3,12	1,25	58,50	5,75	3,75	1,75	72,25	8,00	5,38	2,75
Manteiga comum	37,00	0,25	0,10	0,10	39,00	0,50	0,25	0,20	35,00	1,00	0,90	0,80	35,00	2,50	2,15	2,00
	26,00	0,25	0,20	0,10	31,00	0,50	0,35	0,20	36,00	1,00	0,80	0,70	53,00	2,50	2,00	1,60
	31,50	0,25	0,15	0,10	35,00	0,50	0,30	0,20	35,50	1,00	0,85	0,75	44,00	2,50	2,08	1,80

Observações:

Idem folha 86.

TABELA 17 - Dados de efeito do tempo de cisalhamento sobre as viscosidades de creme de leite, da pasta láctea e da manteiga comum determinadas a 26<sup>o</sup>C e 10 rpm.

Produto	Haste utilizada	Tempo (min.)							
		0	5	10	20	30	40	50	60
Creme de leite	5	35,00	32,25	30,00	28,00	27,75	27,25	27,00	27,00
		35,00	32,25	32,00	30,00	27,75	27,25	27,00	27,00
		35,00	32,25	31,00	29,00	27,75	27,75	27,00	27,00
Pasta láctea	6	84,00	44,00	34,00	26,00	23,50	22,00	21,00	20,00
		86,00	46,00	35,00	27,00	23,50	22,00	21,00	20,00
		85,00	45,00	34,50	26,50	23,50	22,00	21,00	20,00
Manteiga comum	7	42,00	28,00	22,00	17,00	12,00	10,00	9,00	8,00
		40,00	26,00	20,00	17,00	11,00	9,00	7,00	6,00
		41,00	27,00	21,00	17,00	11,50	9,50	8,00	7,00

Observações:

Idem folha 86.

TABELA 18 - Dados de relação entre a mudança de teor d'água nas amostras e a correspondente viscosidade das amostras (transição creme-pasta) nas condições de ar a 5°C e 40% UR. Viscosidade determinada a 26°C e 5 rpm.

Teor d'água (%)	Viscosidade		
	1	2	$\bar{x}$
23,3	1,50	1,50	1,50
21,9	18,00	17,00	17,50
21,3	19,00	19,00	19,00
19,4	22,00	23,00	22,50
18,4	24,00	24,50	24,25
17,7	25,00	25,00	25,00

TABELA 19 - Dados de relação entre a mudança de teor d'água nas amostras e a correspondente viscosidade das amostras (transição creme-pasta) nas condições de ar a 10°C e 40% UR. Viscosidade determinada a 26°C e 5 rpm.

Teor d'água (%)	Viscosidade		
	1	2	$\bar{x}$
23,4	1,50	1,50	1,50
21,9	19,50	18,50	19,00
21,1	20,00	20,00	20,00
18,9	24,00	23,50	23,75
18,2	24,50	23,50	24,00
17,3	24,50	24,50	24,50

TABELA 20 - Dados de isotermas de dessorção d'água de creme-pasta determinados a diversas temperaturas.

Teor d'água (g/100g sólidos)	(Temperatura, °C) Atividade d'água		
	5	15	25
31,6	41,9	56,6	65,3
	47,3	59,4	65,7
	44,6	58,00	65,5
24,4	46,4	59,3	60,8
	48,6	60,7	62,8
	47,5	60,0	61,8
11,2	47,2	58,9	61,4
	51,2	59,2	62,6
	49,2	59,0	62,0
9,6	39,5	55,3	58,1
	43,6	55,6	59,9
	41,5	55,5	58,5
8,7	41,6	52,2	59,2
	43,2	52,7	58,1
	42,4	12,5	58,6

Observações:

1. Em cada teor d'água o 3º valor é a média dos dois experimentos cujos resultados estão acima.

TABELA 21 - Dados de isotermas de dessorção d'água de creme-pasta determinados a diversas temperaturas.

Teor d'água (g/100g sólidos)	(Temperatura, °C)		
	5	15	25
30,4	-	46,0	67,0
	-	47,0	65,0
	-	46,0	66,0
28,0	-	45,0	60,0
	-	46,0	60,0
	-	45,5	60,0
27,0	-	45,0	*
	-	40,0	*
	-	42,5	*
24,0	-	40,0	65,0
	-	37,0	63,0
	-	38,5	64,0
22,5	-	*	65,0
	-	*	62,0
	-	*	63,5
21,5	-	37,0	63,0
	-	40,0	60,0
	-	38,5	61,5

Observações:

1. Em cada teor d'água o 3º valor é a média dos dois experimentos cujos resultados estão acima.
2. \*Resultados sem condição de análise.
3. -Experimento não realizado.

TABELA 22 - Dados de efeito da temperatura sobre a atividade d'água da pasta láctea e manteiga comum.

Produto	Teor d'água (%)	(Temperatura, °C) Atividade d'água			
		5	15	25	35
Pasta láctea	15,5	37,0	26,0	63,0	75,0
		37,0	46,0	63,0	75,0
		37,0	46,0	63,0	75,0
Manteiga comum	14,7	34,0	46,0	62,0	74,0
		34,0	46,0	62,0	74,0
		34,0	46,0	62,0	74,0

Observações:

1. Em cada produto o 3º valor é a média dos dois experimentos cujos resultados estão acima.

TABELA 23 - Dados de eficiência de remoção d'água em amostras de creme de leite com diâmetro de 5 cm e espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm. Condições de secagem de 5°C e 17% U.R.

Espessura amostra (cm)	Umidade final (%)	Quantidade creme (cm <sup>3</sup> )	H <sub>2</sub> O inicial (cm <sup>3</sup> )	Sólidos totais (cm <sup>3</sup> )	H <sub>2</sub> O evaporada (cm <sup>3</sup> )	H <sub>2</sub> O remanescente (cm <sup>3</sup> )	H <sub>2</sub> O evaporada (%)
0,5	9	9,8	2,254	7,546	1,508	0,746	66,9
1,0	11	19,6	4,508	15,092	2,643	1,865	58,6
1,5	13	29,4	6,763	22,638	3,381	3,382	50,0

Observações:

1. Cálculo de área de exposição =  $\frac{\pi D^2}{4}$

2. Cálculo de volume de creme = área x espessura.