

SERGIO DA COSTA E SILVA SANTOS

GRAU DE CAKING DE PÓS DE ABACATE (*Persea americana*, Mill)  
OBTIDOS POR SPRAY-DRYING

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.

3. exs.

cat.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

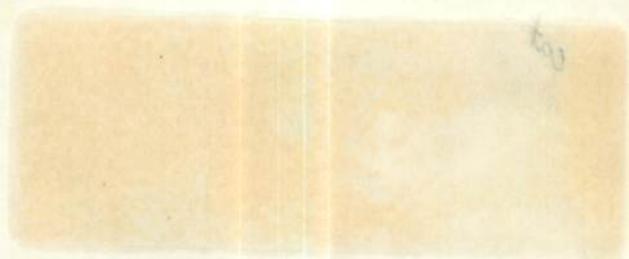
LAVRAS - MINAS GERAIS

1983

SERGIO AUGUSTA E SILVA SANTOS

GRAU DE CAKING DE PÓS DE ABACATE  
OBTIDOS POR SPRAY-DRYING

Este trabalho é dedicado à Faculdade de Engenharia de Lavras, Minas Gerais, em homenagem ao Curso de Pós-graduação em Ciência das Alimentos e ao meu querido amigo de infância  
MESTRE



ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

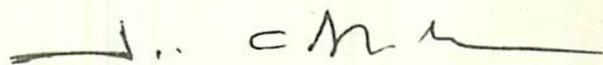
LAVRAS - MINAS GERAIS

1983

~~\_\_\_\_\_~~  
~~\_\_\_\_\_~~  
~~\_\_\_\_\_~~  
~~\_\_\_\_\_~~  
~~\_\_\_\_\_~~

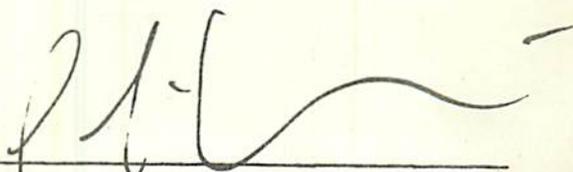
GRAU DE CAKING DE PÓS DE ABACATE  
(*Persea americana*, Mill) OBTIDOS POR SPRAY-DRYING

APROVADA:



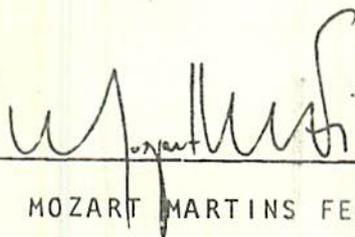
---

PROF. JOSÉ CAL-VIDAL  
Orientador



---

PROF. GIULIO MASSARANI



---

PROF. MOZART MARTINS FERREIRA

NOV 1908

*[Faint handwritten signature]*

RECEIVED  
NOV 1908

*[Faint handwritten signature]*

RECEIVED

*[Faint handwritten signature]*

RECEIVED

## AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura de Lavras - ESAL, especialmente ao seu Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA) e ainda ao Departamento de Fitossanidade por terem facilitado instalações durante a execução de trabalho experimental.

Ao Professor José Cal-Vidal, pela competente e dedicada orientação.

Aos Professores Giulio Massarani e Mozart Martins Ferreira pelas sugestões prestadas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)\* pela concessão de Bolsa de pesquisa e auxílio para a obtenção de parte do equipamento utilizado no projeto.

À Niro Atomizer Indústria e Comércio Ltda, na pessoa do Engenheiro Rinaldo Tiba, que possibilitou a utilização da unidade piloto de Diadema-SP.

Ao Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universi-

dade Federal Rural do Rio de Janeiro, na pessoa do Professor Valdir Favarin, chefe do DTA, que possibilitou a utilização da unidade piloto do departamento. Agradecimentos extensivos ao Professor Armando Ubirajara Oliveira Sabaa Srur, ao estudante de graduação Gilmar Peralta e ao funcionário Erodício de Oliveira pela ajuda na obtenção das amostras.

Ao Departamento de Engenharia Química da Universidade de São Paulo, na pessoa dos Professores Miguel Falcone e José Glauco Grandi, que possibilitaram a utilização das dependências do departamento para a preparação de amostras.

A Nestlé (Três Corações - MG.) pela cessão de soro de leite em pó.

A Refinações de Milho Brasil Ltda (São Paulo - SP.) pela cessão de Morex.

Aos Professores, funcionários do DCA e colegas de curso pelo saudável convívio.

A todos que embora não citados, contribuíram de algum modo para a realização deste trabalho.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

SERGIO DA COSTA E SILVA SANTOS nasceu na cidade do Rio de Janeiro em 03 de outubro de 1957.

Após ter realizado estudos secundários no Colégio de Aplicação da UERJ e no Instituto Lafayette (Rio de Janeiro - RJ.) ingressou no curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro tendo concluído o mesmo em 1980.

Em 1981 deu início ao seu programa de pós-graduação à nível de Mestrado, na área de Engenharia de Alimentos no Departamento de Ciência dos Alimentos da Escola Superior de Agricultura de Lavras. Durante a realização deste projeto teve ensejo de trabalhar em unidades piloto de spray drying da Niro Atomizer (Diadema - SP.) e do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Dentro da área de Ciência e Tecnologia de Alimentos participou dos seguintes eventos: IV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos (Rio de Janeiro - RJ. - 1980); III En-

contro Nacional de Secagem (Viçosa - MG. - 1981); V Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos (Viçosa - MG.-1981); V Simpósio Nacional de Fermentação (Viçosa - MG. - 1982); IV Encontro de Ciência e Tecnologia de Alimentos (Rio de Janeiro - RJ. 1982).

No VI Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos (Brasília - DF. - 1983) apresentou o trabalho "Fluidez de abacate desidratado pelo processo spray drying".

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

## ÍNDICE

	Página
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	5
2.1. O Abacate .....	5
2.2. Spray Drying .....	6
2.3. Fluidez e Caking .....	13
2.3.1. Mecanismos Responsáveis pela Perda de Fluidez e Aumento do Grau de Caking de Póis ...	13
2.3.2. Fatores que Afetam o Grau de Caking de Póis .....	17
2.3.3. Prevenção de Caking em Póis .....	22
2.3.4. Métodos para Avaliar a Fluidez de Póis ....	26
2.4. Comportamento Higroscópico e Fluidez .....	29
2.5. Reconstituição .....	30
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	32
3.1. Generalidades .....	32

3.2. Preparação e Spray Drying das Amostras .....	32
3.3. Pré-Tratamentos .....	33
3.4. Condições de Spray Drying .....	33
3.5. Análises Químicas .....	34
3.6. Condicionamentos Ambientais .....	34
3.6.1. Ambientes de Umidade Relativa .....	34
3.6.2. Amostras e Condições Ambientais de Equilí- brio .....	36
3.7. Determinação do Teor D'Água Final da Amostra ....	36
3.8. Determinação dos Tempos de Escoamento e Ângulos de Repouso .....	36
3.9. Determinação da Retenção Granulométrica ou Grau de Caking .....	37
3.10. Reconstituição .....	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	40
4.1. Composição Química do Abacate em Pó Obtido por Spray Drying .....	40
4.2. A Fluidez de Abacate em Pó Segundo Diversos Méto- dos de Análise .....	40
4.3. Grau de Caking de Abacate em Pó sob o Efeito de Diversas Condições de Temperatura e Umidade Rela- tiva .....	49
4.4. Grau de Caking do Abacate em Pó sob Efeito do seu Teor D'Água .....	51
4.5. Isotermas de Absorção D'Água .....	62

4.6. Grau de Caking de Pó de Abacate Contendo Diver- sos Adicionantes sob Efeito de Condições de Equi- líbrio .....	65
4.7. Grau de Caking sob o Efeito da Composição do Fru- to .....	75
4.8. Distribuições Granulométricas .....	77
4.9. Reconstituição .....	82
4.10. Observações Complementares .....	84
5. CONCLUSÕES .....	86
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	88
7. RESUMO .....	89
8. SUMMARY .....	91
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	93
10. ANEXOS .....	104
ANEXO I .....	105
ANEXO II .....	106

## LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Teores de umidade e de matéria graxa no fruto e na polpa fresca de diferentes variedades de abacate, ITAL (25) .....	7
2	Valores de compressibilidade e de densidade aparente de vários pós em função de seu conteúdo de umidade, MOREYRA e PELEG (40) .....	21
3	Caracterização das soluções saturadas e respectivas umidades relativas nas diferentes temperaturas, ROCKLAND (66) .....	35
4	Aberturas de peneira utilizadas para a determinação da distribuição granulométrica .....	38
5	Composição química do abacate em pó atomizado ...	41
6	Higroscopicidade comparativa de frutos tropicais.	67

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Atomização centrífuga e por bicos de alta pressão .....	9
2	Modelos de câmaras em "spray-driers" .....	11
3	Representação esquemática do mecanismo de caking de cebola em pó, PELEG e MANNHEIM (53) .....	16
4	Efeito da adição de CMC no tempo de escoamento de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 7°C .....	42
5	Efeito da adição de CMC no tempo de escoamento de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 25°C .....	42
6	Efeito da adição de CMC no tempo de escoamento de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 35°C .....	43

## Figura

## Página

7	Efeito da adição de CMC no tempo de escoamento de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 45°C .....	43
8	Efeito da adição de CMC no ângulo de repouso de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 7°C .....	44
9	Efeito da adição de CMC no ângulo de repouso de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 25°C .....	44
10	Efeito da adição de CMC no ângulo de repouso de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 35°C .....	45
11	Efeito da adição de CMC no ângulo de repouso de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 45°C .....	45
12	Efeito da adição de CMC na retenção granulométrica de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 7°C .....	46
13	Efeito da adição de CMC na retenção granulométrica de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 25°C .....	46

## Figura

## Página

14	Efeito da adição de CMC na retenção granulométrica de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 35°C .....	47
15	Efeito da adição de CMC na retenção granulométrica de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 45°C .....	47
16	Efeito da umidade relativa no grau de caking de abacate em pó, em diversas temperaturas .....	50
17	Efeito da temperatura no grau de caking de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa.	50
18	Efeito da temperatura no grau de caking de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa.	52
19	Efeito da temperatura no grau de caking de abacate em pó com 0,5% de CMC, em diversos níveis de umidade relativa .....	53
20	Efeito da temperatura no grau de caking de abacate em pó com 1% de CMC, em diversos níveis de umidade relativa .....	54
21	Efeito da temperatura no grau de caking de abacate em pó com 1,2% de CMC, em diversos níveis de umidade relativa .....	55

Figura		Página
22	Efeito do teor d'água no grau de caking de abacate em pó com diversos níveis de CMC, na temperatura de 7°C .....	56
23	Efeito do teor d'água no grau de caking de abacate em pó com diversos níveis de CMC, na temperatura de 25°C .....	56
24	Efeito do teor d'água no grau de caking de abacate em pó com diversos níveis de CMC, na temperatura de 35°C .....	57
25	Efeito do teor d'água no grau de caking de abacate em pó com diversos níveis de CMC, na temperatura de 45°C .....	57
26	Efeito do teor d'água no grau de caking de abacate em pó, em diversas temperaturas .....	59
27	Efeito do teor d'água no grau de caking de abacate em pó com 0,5% de CMC, em diversas temperaturas .....	59
28	Efeito do teor d'água no grau de caking de abacate em pó com 1% de CMC, em diversas temperaturas.	60
29	Efeito do teor d'água no grau de caking de abacate em pó com 1,2% de CMC, em diversas temperaturas .....	60

Figura		Página
30	Efeito da temperatura no teor d'água de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa ...	61
31	Isotermas de absorção de abacate em pó com diversos níveis de lactose, à 35°C .....	63
32	Isotermas de absorção de abacate em pó com diversos níveis de Morex, à 35°C .....	63
33	Isotermas de absorção de abacate em pó com 5% de lactose e Morex, à 35°C .....	64
34	Isotermas de absorção de abacate em pó com 10% de lactose e Morex, à 35°C .....	64
35	Isotermas de absorção de abacate em pó com diversos níveis de CMC, à 35°C .....	66
36	Isotermas de absorção de abacate em pó de diferentes composições, à 35°C .....	66
37	Efeito da umidade de equilíbrio no grau de caking de abacate em pó com diversos níveis de lactose, à 35°C .....	68
38	Efeito da umidade relativa no grau de caking de abacate em pó com diversos níveis de lactose, à 35°C .....	68

## Figura

## Página

39	Efeito da umidade de equilíbrio no grau de caking de abacate em pó com diversos níveis de Morex, à 35°C .....	70
40	Efeito da umidade relativa no grau de caking de abacate em pó com diversos níveis de Morex, à 35°C .....	70
41	Efeito da umidade de equilíbrio no grau de caking de abacate em pó com diversos níveis de CMC, à 35°C .....	71
42	Efeito da umidade relativa no grau de caking de abacate em pó com diversos níveis de CMC, à 35°C .	71
43	Efeito da adição de lactose no grau de caking de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 35°C .....	73
44	Efeito da adição de Morex no grau de caking de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 35°C .....	73
45	Efeito da adição de CMC no grau de caking de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 35°C .....	74
46	Efeito da umidade de equilíbrio no grau de caking de abacate em pó de diferentes composições, à 35°C .....	76

Figura		Página
47	Efeito da umidade relativa no grau de caking de <u>a</u> abacate em pó de diferentes composições, à 35°C ..	76
48	Distribuição granulométrica de abacate em pó com lactose nos níveis de 0, 5, 10 e 20% .....	78
49	Distribuição granulométrica de abacate em pó com Morex nos níveis de 0, 5, 10 e 20% .....	79
50	Distribuição granulométrica de abacate em pó com CMC nos níveis de 0; 0,5; 1,0 e 1,2% .....	80
51	Distribuição granulométrica de abacate em pó com níveis de gordura de 36 e 53% .....	81
52	Efeito das adições de lactose e Morex no tempo de reconstituição de abacate em pó .....	83
53	Efeito da adição de CMC no tempo de reconstituição de abacate em pó .....	83
54	Abacate em pó hermeticamente isolado. A: 25°C; B: 35°C .....	107
55	Abacate em pó à 25°C. A: 32% UR; B: 84% UR .....	108

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de produtos alimentares desidratados tem se expandido nos últimos anos por apresentarem uma série de vantagens entre elas, fácil estocagem e transporte, maior vida de prateleira e uma demanda crescente no mercado internacional.

Spray drying tem sido um método muito empregado para desidratação de produtos alimentícios. Entre suas aplicações mais largamente reconhecidas estão a secagem de leite, café, ovos, "baby foods", soro láctico e frutas, KAREL (28), MASTERS (37). A preferência por spray drying na indústria de alimentos, notadamente sobre outros processos envolvendo calor deve-se, além da sua rapidez na remoção d'água, ao fato de que os pós obtidos por este método apresentam um conteúdo organoléptico e nutricional aceitável, bastante superior aos obtidos nos métodos mais tradicionais de secagem a altas temperaturas, e além disto, os produtos com alto conteúdo proteico não sofrem níveis críticos de desnaturação pelo calor, SELTZER e SETTELMEYER (70). LAZAR et alii (30), traba

lhando com tomate, afirmam que pastas feitas a partir de pós desidratados por atomização apresentam cor e consistência excelentes além de sabor e aroma aceitáveis.

O abacateiro é cultivado em quase todas as regiões tropicais e subtropicais. No Brasil é cultivado em todo território, principalmente São Paulo e Minas Gerais. O valor nutritivo - notadamente sua riqueza em vitamina B - e suas qualidades organolépticas, justificam plenamente o seu consumo. O fruto apresenta um extrato seco elevado com alto teor de óleo, um mais alto teor de proteínas (1,14%) que o encontrado em outras frutas e muito bom valor energético, ITAL (25).

Por outro lado, o alto teor de gordura e o baixo teor de açúcares do abacate recomendam a sua secagem por spray drying considerando o problema normalmente encontrado na secagem de frutos típicos (ricos em açúcares e pobres em gordura) por este processo, quando a presença de tais componentes provoca a caramelização e conseqüente aderência do produto às paredes da câmara de secagem do "spray drier".

A situação de alta competitividade do mercado atual - notadamente o externo - está compelindo as indústrias a otimizar os processos empregados na obtenção de pós derivados de frutas aplicáveis em formulações alimentares das mais diversas. Como consequência disso surge a necessidade de garantir pós alimentícios de comportamento reológico mais conveniente e homogêneo nas linhas fabris de distribuição e acondicionamento. No acondicionamento destes pós, o conhecimento das propriedades de fluidez desejáveis do pó permite a melhoria e padronização das variáveis do

processo de obtenção do produto, permitindo ainda uma maior facilidade nas operações de embalagem. As propriedades de fluidez irão ainda influenciar outras operações de natureza secundária ao processo tais como transporte, bombeamento, acondicionamento e estocagem intermediária de pós alimentares, HAMANO e SUGIMOTO (17). Por tais motivos, as propriedades relacionadas à livre fluidez de pós revestem-se de importância especial, pois a formação de aglomerados de alta consistência (caking) reduz o próprio valor comercial do produto. Alguns pós, como os obtidos a partir de frutos e vegetais, são reconhecidos por sua tendência em apresentar problemas de fluidez, KAREL (28), PELEG et alii (54). Umidades relativas elevadas, temperatura, pressão de compactação e tamanho de partícula pequeno são algumas das causas que dificultam o escoamento, PELEG et alii (54).

Em vista das considerações anteriores, o trabalho teve como objetivos principais os seguintes:

1. Estabelecer, entre alguns métodos de análise disponíveis para avaliar a fluidez de pós, o que melhor se adapte ao sistema constituído de pós de abacate obtidos por spray drying.
2. Verificar a influência do condicionamento ambiental (umidade relativa e temperatura), bem como do teor d'água e umidade de equilíbrio no grau de caking do abacate em pó.
3. Comprovar a possibilidade de utilização de sólidos de natureza química diversa (lactose, carboxi-metil-celulose (CMC) e amido de milho) em favor da diminuição do grau de caking de pós de abacate.

4. Avaliar o efeito de tais adiconantes e do teor de gordura dos frutos de abacate no comportamento higroscópico e características de reconstituição desses produtos.
5. Estabelecer uma análise mais racional do efeito conjugado das condições ambientais a que os pós são expostos e da natureza e nível dos adiconantes nas propriedades higroscópicas e reológicas desses produtos derivados de abacate.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. O Abacate

O abacateiro (*Persea americana*, Mill) pertence à família Laureaceae e é um dos poucos membros do gênero *Persea* comercializados. Existem três espécies de abacate reconhecidas botanicamente; Mexicana, Guatemalense e Antilhana, BIALE e YOUNG (6), AHMED e BARMORE (1), ITAL (25). O maior produtor de abacate é o México seguido do Brasil, República Dominicana e Estados Unidos. No Brasil, os estados maiores produtores, são pela ordem, São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Ceará e Bahia, ITAL (25).

O abacate é reconhecido por seu alto conteúdo de gordura. Entretanto este varia consideravelmente entre os cultivares comerciais. Esta variação é atribuída principalmente à espécie da fruta, AHMED e BARMORE (1). O conteúdo de gordura das espécies Guatemalense e Mexicana varia de 10 a 13% e de 15 a 25% respectivamente, BIALE e YOUNG (6). Na espécie Antilhana, o conteúdo de gordura varia entre 2,5 e 5%, Hatton et alii citados por AHMED e

BARMORE (1). Segundo dados obtidos no ITAL (25), as principais variedades cultivadas no estado de São Paulo apresentam os dados constantes na Tabela 1. Convém salientar, conforme mostrado, o alto teor de sólidos totais do abacate quando comparado a outros frutos.

O conteúdo de carboidratos no abacate varia entre 1,82 e 7,80%, AHMED e BARMORE (1). Além da presença dos açúcares comuns contendo anéis de 6 átomos de carbono, glicose, frutose e sacarose, o abacate é uma fruta rica em carboidratos pouco comuns contendo compostos de 7 a 8 átomos de carbono, BIALE E YOUNG (6).

Em comparação com outras frutas, o abacate é rico em vitamina B, mas pobre em vitaminas A, C, K e ácido fólico. Com relação ao conteúdo de aminoácidos livres, o abacate é mais rico que outros frutos testados (damasco, maçã, ameixa e pera), BIALE e YOUNG (6). Seus principais aminoácidos são asparagina, ácido aspártico, glutamina e ácido glutâmico. São detectados também serina, treonina, alanina, valina e cistina. O abacate contém níveis altos de cinzas variando entre 1,0 e 1,4% e é relativamente rico em ferro, AHMED e BARMORE (1).

## 2.2. Spray Drying

Spray drying, ou secagem por atomização, é um processo que consiste na conversão dos sólidos de uma solução ou pasta em um produto seco e pulverizado, numa única operação. A solução ou pasta é atomizada e as gotículas resultantes entram imediatamente em contato com um fluxo de ar quente. Devido à rapidez com que o

TABELA 1 - Teores de umidade e de matéria graxa no fruto e na polpa fresca de diferentes variedades de abacate, ITAL (25).

Variedades	Umidade na Polpa Fresca (%)	Matéria Graxa	
		Fruto (%)	Polpa Fresca (%)
Fuerte	64,9	16,2	25,5
Wagner	70,2	15,2	24,8
Tatuf	67,6	14,3	22,1
Northrop	74,7	11,3	18,0
<u>Prince</u> *	72,7	12,0	17,3
Duke	77,6	10,1	16,1
Anaheim	75,9	11,5	15,7
Linda	75,0	9,8	15,2
Dikaro	71,6	9,6	14,5
Ikzamna	73,4	8,7	14,5
Pollock	77,3	10,6	13,4
Collinson	64,8	7,6	11,5
<u>Simmonds</u> *	79,4	8,3	10,2
Fortuna	83,3	8,2	10,2
Waldin	84,6	5,4	6,9
Ibicara	84,1	4,5	6,5

\* Variedades utilizadas experimentalmente.

processo ocorre, geralmente em segundos, e a instantânea evaporação da água, os sólidos contidos no material de alimentação não são aquecidos a altas temperaturas. Estas características são especialmente relevantes para alimentos termo-sensíveis onde o tempo e grau de aquecimento são fatores operacionais críticos, SELTZER e SETTELMEYER (70), NIRO ATOMIZER (46).

O processo de spray drying pode ser dividido em quatro estágios principais: 1) atomização do material de alimentação; 2) contato ar quente - gotículas atomizadas; 3) secagem das gotículas (evaporação); e 4) recolhimento do produto, MASTERS (37).

A atomização constitui o estágio responsável pela conversão da massa fluida em gotículas de tamanho uniforme e por uma dispersão eficaz das mesmas pela seção transversal da torre de secagem. Os atomizadores utilizados na indústria de alimentos são do tipo centrífugo ou do constituído por bicos de alta pressão. Nos atomizadores centrífugos tem-se um disco ranhurado que gira em alta velocidade (na ordem de 5-25 mil RPM), pulveriza o líquido ou a pasta e projeta as gotículas de maneira radial ao fluxo de ar quente, o qual entra pelo dispersor de ar, situado na parte superior da câmara, Figura 1-a. Nos atomizadores contendo bico de pressão, este pode ser colocado na parte inferior da câmara operando verticalmente para cima. Este sistema produz um jato tipo fonte, que encontra o fluxo de ar quente introduzido na câmara através do dispersor de ar localizado na parte superior da mesma, Figura 1-b, MASTERS (37), SELTZER e SETTELMEYER (70), NIRO ATOMIZER (46). A escolha do atomizador para determinadas condições de operação, depende do tamanho de partícula exigido. Atomizadores

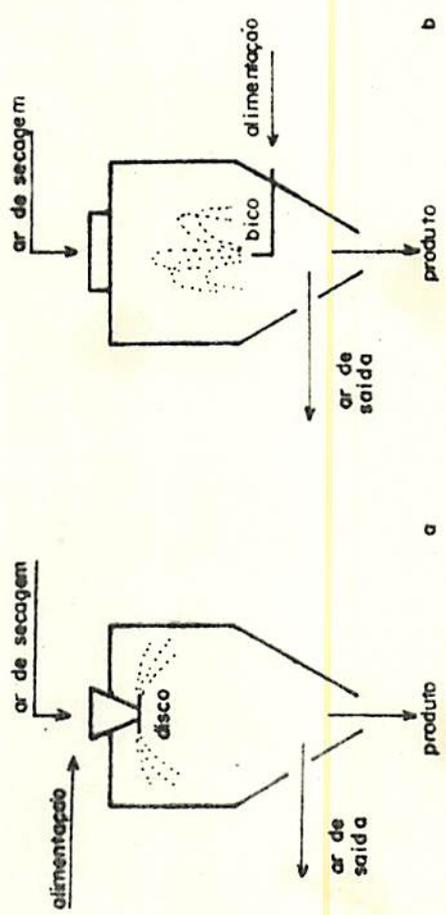


FIGURA 1 - Atomização centrífuga e por bicos de alta pressão.

centrífugos produzem partículas de tamanho médio variando entre 70 e 110 micra. Os atomizadores que utilizam bicos de pressão geram partículas com tamanho médio variando entre 180 e 250 micra, MASTERS (37).

O segundo estágio: contato ar quente - gotículas atomizadas - é dependente da maneira como as gotículas e o ar de secagem entram em contato. Há três possibilidades conforme mostrado na Figura 2: contato concorrente, contato contra-corrente e contato por fluxo misto. O modelo de câmara e o método de introdução de ar quente pelo dispersor dependem do tamanho de partícula requerido, da forma de partícula desejada e da temperatura máxima a que as partículas podem ser submetidas, MASTERS (37).

No terceiro estágio, quando as gotículas atomizadas entram em contato com o ar de secagem, inicia-se a evaporação através do filme saturado que imediatamente se estabelece na superfície das partículas. A temperatura desta superfície se aproxima da temperatura de bulbo úmido do ar de secagem e enquanto há suficiente umidade no interior da partícula, a difusão de umidade para a superfície mantém a evaporação numa velocidade constante. No momento em que o conteúdo de umidade se torna insuficiente para manter as condições de saturação na superfície da gotícula, forma-se uma camada seca (crosta), que pode ter sua espessura aumentada durante a secagem a partir da superfície, causando uma possível diminuição na velocidade de evaporação, dependendo da permeabilidade dos materiais que constituem as partículas desidratadas em formação, MASTERS (37).

Sistemas de separação do produto seco do ar e seu reco-



F - alimentação  
 G - ar  
 P - produto  
 S - sólidos

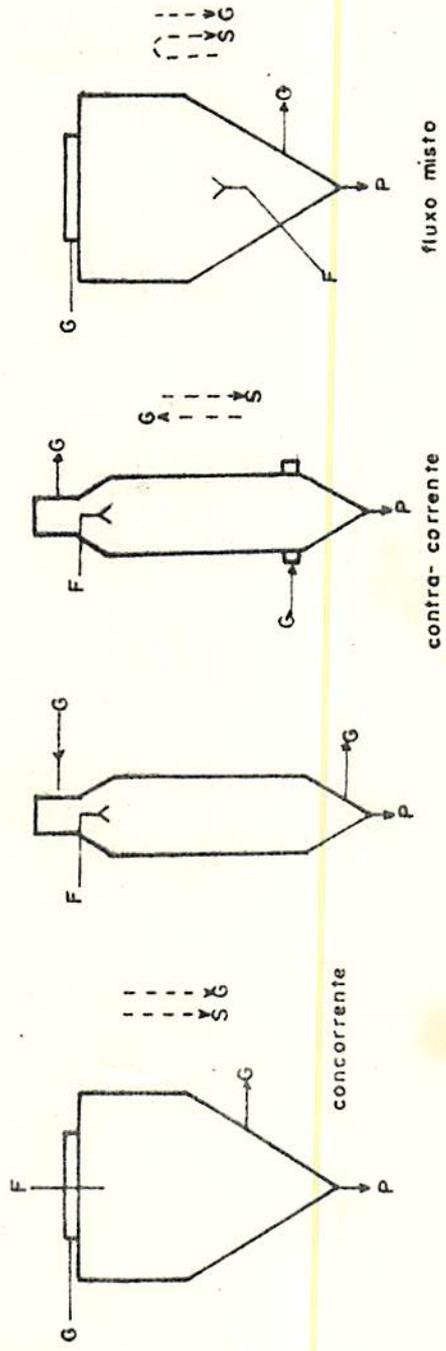


FIGURA 2 - Modelos de câmaras em "spray-driers"

lhimento, incluindo ciclones, filtros, precipitadores e depuradores de gás compõem o último estágio da secagem por atomização.

MARSHALL (36) apresenta como vantagens do processo spray drying:

- a) Possibilidade de variação e controle de certas propriedades e qualidades do produto como densidade, forma de partícula, tamanho de partícula, etc;
- b) Possibilidade de adequação à secagem de certos materiais termo-sensíveis como alimentos, produtos farmacêuticos, tintas, etc;
- c) Economicidade para altas tonelagens de produção;
- d) Maior simplicidade ou eliminação de outras operações como filtração do material de alimentação e redução da partícula do produto (moagem), etc;
- e) Capacidade evaporativa comparável a outros tipos de secadores diretos.

E como desvantagens o mesmo autor apresenta:

- a) Inconveniência de obter produtos com baixa densidade aparente ("bulk density") mesmo quando uma alta densidade é exigida;
- b) Utilização de um tipo de equipamento pouco flexível;
- c) Exigência de altas capacidades evaporativas;
- d) Necessidade de uma recuperação e purificação de produto, ocasionando um aumento no custo do processo.

## 2.3. Fluidez e Caking

### 2.3.1. Mecanismos Responsáveis pela Perda de Fluidez e Aumento do Grau de Caking de Pôs

No escoamento de pós estão envolvidas forças gravitacionais, de fricção, coesão (atração entre partículas) e adesão (atração partícula - parede do recipiente onde escoo o pó). Pós coesivos são os que sofrem influência significativa de forças internas em seu comportamento mecânico enquanto que em pós não coesivos as forças internas são desprezíveis, PELEG (51). OPOCZKY (49, 50) com base em investigações com silicatos distinguiu duas maneiras pelas quais a interação entre partículas pode ocorrer, agregação e aglomeração. A agregação é uma interação reversível entre partículas enquanto que a aglomeração é uma interação irreversível. Há diversos mecanismos responsáveis pela aglomeração em pós e os mais comuns serão discutidos a seguir.

A cristalização de substâncias dissolvidas é o mecanismo mais comum para aglomeração de pós de frutos desidratados. Estes contêm, geralmente, 50% ou mais de açúcares que se encontram em sua grande maioria em estado amorfo e tais componentes favorecem a rápida absorção d'água desses pós, contribuindo para um posterior aumento da viscosidade do produto e em consequência disto favorecendo a formação de aglomerados de alta consistência (caking). A tendência à ocorrência de caking é agravada, sob determinadas condições, pela transformação do açúcar do estado amorfo para o estado cristalino, na presença de pequenas quantidades da umidade absorvida, MAKOWER e DYE (34), KAREL (28), LAZAR e MORGAN

*Observação*

(31). ~~MAKOWER e DYE (34)~~ observaram o fenômeno de contração ("shrinkage") na cristalização de sacarose e glicose amorfas. O mesmo fenômeno é observado em lactose amorfa. Um fator que pode contribuir decisivamente para o comportamento observado, está relacionado com o fato da água liberada durante a cristalização não poder se difundir tão rapidamente quanto é produzida e gerar altas concentrações locais de umidade (acima do valor de equilíbrio) no material adjacente ainda amorfo. Esta água liberada diminui a viscosidade do açúcar amorfo e promove a cimentação das partículas, aumentando a velocidade de cristalização. A percentagem de umidade na porção amorfa do açúcar aumenta com o tempo, aumentando autocataliticamente a velocidade de cristalização da amostra e conseqüentemente, a presença de aglomerados (caking) em número e volume. ~~SILVERBERG et alii (73)~~, por meio de estudos microscópicos em fertilizantes granulares, constataram que o fenômeno de caking resulta da ligação dos grânulos por cristais de sais solúveis que se formam durante a estocagem. O desenvolvimento de cristais é menos acentuado em produtos de baixo conteúdo de umidade.

As propriedades físicas e de escoamento (fluídicas) em pós são influenciadas ainda pela presença de filmes ou pontes líquidas entre as partículas. Geralmente, a formação do filme líquido na superfície das partículas, especialmente em pós solúveis ou parcialmente solúveis, pode causar dificuldades de fluidez e, em casos extremos, sérios problemas de caking embora a presença de pontes líquidas não provoque necessariamente a formação de agregados. Se mantido a um nível moderado de umidade, um determinado pó

pode manter algum grau de fluidez apesar das pontes líquidas. Os fatores que regulam a aglomeração de partículas devido a presença de filmes líquidos dependem num alto grau das dimensões das partículas e propriedades mecânicas do filme, particularmente sua tensão superficial, PELEG (51), SCOVILLE e PELEG (69). SCOVILLE e PELEG (69) trabalhando com pérolas de vidro na formulação de pós padrões contendo filmes líquidos artificialmente dispostos entre as partículas, constataram que o efeito do filme em diversas propriedades (densidade, compressibilidade, coesão, etc.) foi considerável em pós de baixa granulometria sendo que a tensão superficial e viscosidade exerceram efeito insignificante nas propriedades globais. Segundo PELEG (51), PIETSCH (58), OPOCZKY (49, 50), WHYNES e DEE (79), as pontes líquidas podem causar dificuldades de escoamento em pós ricos em gordura (ou açúcares) desde que a temperatura seja elevada durante as operações de processamento, a condicionamento ou estocagem. Neste caso, parte da gordura pode fundir havendo formação de pontes líquidas e num posterior abaixamento da temperatura, uma resolidificação de gordura poderá acontecer resultando num produto aglomerado. A Figura 3 mostra a representação esquemática do mecanismo de caking de cebola em pó, estudado por PELEG e MANNHEIM (53). Nota-se que a ocorrência de caking é iniciada pela formação de pontes líquidas entre partículas.

Um outro mecanismo responsável por caking de pós, é particularmente favorecido pelas condições em que o pó é estocado. Quando comprimido, os pontos de contato entre as partículas do pó aumentam e em consequência disso, pontes sólidas são formadas fa-

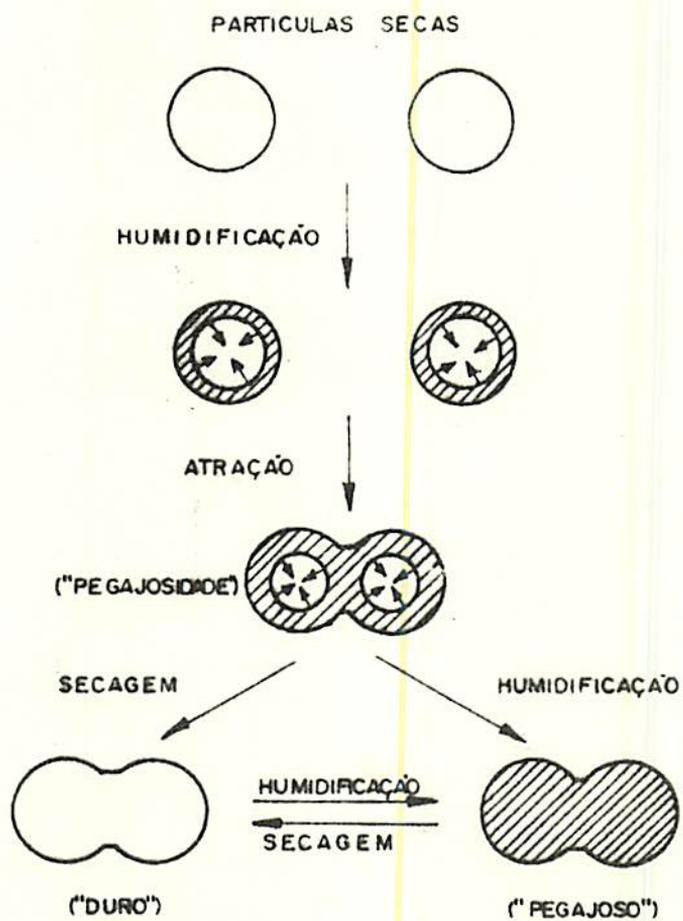


FIGURA 3- Representação esquemática do mecanismo de caking de cebola em pó; PELEG e MANNHEIM(53).

vorecendo a condição de caking, ~~PELEG et alii~~ (54).

Existem outros diversos mecanismos responsáveis pela ocorrência de caking e conseqüente perda de fluidez de pós entretanto, ou não são importantes para o caso específico de pós alimentícios, como pontes minerais e reações químicas, ou seu efeito não é significativo, como ligações inter cruzadas e forças de Van der Waals, quando comparados aos mecanismos apresentados.

### 2.3.2. Fatores que Afetam o Grau de Caking de Pós

A manipulação e deslocamento de pós aglomeráveis (com alto potencial de caking) requer certo controle das condições ambientais, fundamentalmente umidade e temperatura a que os mesmos são expostos. Segundo ~~MOREYRA e PELEG~~ (41), ~~PELEG e MANNHEIM~~ (53, 55), ~~NEUMANN~~ (43), a absorção d'água é o fator dominante no processo de caking. A umidade relativa regula a velocidade e o tipo das mudanças físicas que o pó pode sofrer já que a umidade excessiva pode ocasionar absorção d'água pelas partículas e dissolução dos componentes solúveis, com o sistema resultante formando pontes líquidas que por posterior diminuição de umidade, se convertem em uniões sólidas compostas. ~~IRANI et alii~~ (24) lembram que se um material em pó for relativamente insolúvel em água, a influência desta no fenômeno de caking é acentuadamente reduzida. ~~E SEZOBÓ e PILPEL~~ (13) constataram que um aumento no conteúdo de umidade ocasionou um aumento do valor médio das forças entre partículas de formulações de oxitetraciclina. ~~DE GÓIS~~ (12) trabalhando com mamão em pó liofilizado, constatou grandes alterações físicas no produto manifestadas pela perda de fluidez e pela ocorrência

de caking quando o produto foi exposto a ambientes com umidade relativa acima de 35%. PELEG e MANNHEIM (53) determinaram que em umidades relativas maiores que 40%, o tempo para amostras de cebola em pó atingirem a umidade de equilíbrio foi inversamente relacionado à umidade relativa, e PRUTHI et alii (64) observaram ser o alho em pó um produto altamente higroscópico alcançando uma condição de caking em teores d'água em torno de 10,6%. SHOTTON e HARB (71) observaram que amido de milho, trigo e batata, apresentaram coesão máxima em níveis intermediários de umidade relativa (60 - 70%) enquanto que lactose, dextrose e sacarose perderam a condição de livre fluidez em níveis elevados de umidade relativa (acima de 75%).

De um modo geral, temperaturas elevadas contribuem para a tendência de caking, por um aumento na solubilidade ou por mudança na distribuição de umidade no pó, MANNHEIM (35), PELEG e MANNHEIM (55). As temperaturas elevadas favorecem a plastificação de materiais ricos em açúcares e componentes graxos pela transformação de pontes líquidas em pontes sólidas mediante o posterior baixamento da temperatura, MOREYRA E PELEG (41). PELEG e MANNHEIM (55) constataram aumento no grau de caking de cebola em pó pelo aumento da temperatura. Na temperatura de 35°C houve aglomeração do pó em 72 horas enquanto que na temperatura de 15°C, o pó pôde ser estocado por 6 meses sem qualquer mudança significativa em suas propriedades de fluidez. LAZAR e MORGAN (31) reportaram que em maçã em pó atingiu-se uma condição de agregação em temperaturas maiores que 38°C mesmo com baixos conteúdos de umidade (menores que 1%). Os mesmos autores verificaram uma diminuição do

HS  
em  
conip  
a.  
de  
de caking

"stick point" de laranja em pó (49 - 66°C para 38°C) quando o conteúdo de umidade foi aumentado de 1 para 3%. O "stick point" é definido por PISECKY e SORENSEN (63), KAREL (28), LAZAR et alii (30), como sendo a temperatura em que o pó começa a aglomerar e a tornar-se pegajoso.

NEUMANN (43) afirma que a presença de partículas menores que 10 micra são a causa primária para a aglomeração de pós. PELEG (51) atribui às forças de Van der Waals este comportamento enquanto que PILPEL (59) acrescenta a elas as oriundas das forças de atrito já que os "finos" (partículas de tamanho reduzido) são adsorvidas pelas partículas maiores diminuindo a condição de fluidez. WHITE et alii (78) constataram que café em pó instantâneo, contendo um reduzido tamanho de partículas (menores que 120 micra) perderam a capacidade de escoamento. FARLEY e VALENTIN (14) observaram mudanças físicas nos sistemas de carbonato de cálcio, óxido de alumínio e pó de zinco quando partículas de reduzido tamanho estavam presentes. Segundo PILPEL (59) o problema de "finos" é bastante considerado na indústria farmacêutica especialmente na fabricação de comprimidos onde tal presença pode impedir a livre fluidez do pó, afetando o processo de compactação, dando origem a um produto não uniforme, geralmente friável. Segundo WOODHAMS e MURRAY (80), na produção de leite em pó o tamanho de partícula é um dos principais fatores que afetam a fluidez do pó. CRAIK e MILLER (11) constataram aglomeração significativa em pós de amido de milho, sacarose e cloreto de sódio, quando o percentual de partículas pequenas (menores que 100 micra) era elevado.

A compressibilidade de um pó ou seja, a mudança de sua densidade quando submetido a uma pressão normal, é um parâmetro

... de ... ..  
... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..

físico importante na determinação de alterações do produto durante a industrialização, transporte ou armazenamento. Um pó alimentício que tenha sido submetido a ambientes de altas umidades relativas, terá, com o aumento do seu conteúdo de umidade, uma possível formação de pontes líquidas entre suas partículas e em consequência uma diminuição em sua densidade. Tais hipóteses podem ser fortalecidas a partir da análise dos resultados de compressibilidade os quais aumentam com o aumento da absorção d'água, MOREYRA e PELEG (41). A compressibilidade pode também ser utilizada para caracterizar pós alimentares com relação às suas propriedades coesivas. Este conceito descreve a influência da pressão na densidade aparente. No caso de pós não coesos, inexistem praticamente forças entre partículas. Consequentemente os pós ocupam praticamente o volume do recipiente. A estrutura original é relativamente densa e há pequeno efeito na densidade aparente. No caso de pós coesos, forças entre partículas possibilitam a formação de uma estrutura aberta. A pressão de compactação quando aplicada, exerce grande efeito causando o colapso da estrutura aberta. Neste caso, valores elevados são obtidos para a compressibilidade, PELEG et alii (54), MOREYRA e PELEG (40), (Tabela 2). Os autores lembram ainda que o grau de compactação de pós, notadamente quando se manipulam grandes volumes, deve também ser levado em consideração já que pode haver uma maior interação entre partículas como atrações do tipo de Van der Waals. A densidade aparente, mencionada anteriormente, pode ser influenciada pelos seguintes fatores principais, segundo PISECKY (62), WOODHAMS e MURRAY (80): densidade do material em pó; conteúdo de ar dentro das partículas; conteúdo de ar entre as partículas; e o arranjo espacial das par-

TABELA 2 - Valores de compressibilidade e de densidade aparente de vários pós em função de seu conteúdo de umidade, MO REYRA e PELEG (40).

Material	Umidade (%)	Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Compressibilidade (x 100)
Alimento infantil	seco	0,49	6,4
Alimento infantil	1,0	0,46	8,1
Farelo de trigo	2,8	0,55	5,0
Farelo de trigo	5,4	0,42	6,7
Café (grão)	4,4	0,48	-
Café (pó)	4,8	0,36	-
Cebola em pó	0,7	0,66	8,6
Cebola em pó	1,2	0,55	9,5
Cebola em pó	2,3	0,50	8,1
Areia	seco	1,66	4,0
Areia	0,25	1,52	5,5
Areia	0,50	1,45	7,4
Sacarose (pó)	seco	0,77	4,5
Sacarose (pó)	0,17	0,71	6,0
Sacarose (granulada)	seco	0,97	-

tículas. ESEZOB0 e PILPEL (13) concluíram que formulações de oxitetraciclina, quando submetidas a diferentes níveis de compressão, apresentam fragmentação nos estágios iniciais de compactação.

### 2.3.3. Prevenção de Caking em Pôs

AUDU et alii (2), estudando isotermas de absorção de açúcares, concluíram que em  $\alpha$ -lactose as mudanças de temperatura não desempenham papel importante na higroscopicidade do açúcar e formularam a hipótese de que a adição prévia de  $\alpha$ -lactose a sucos de frutas a serem desidratados por spray drying poderia minimizar a ocorrência de caking. Esta hipótese foi baseada na premissa de que cada molécula de água pode ligar-se fortemente a cada molécula de  $\alpha$ -lactose, de modo praticamente irreversível, considerando a natureza porosa de  $\alpha$ -lactose, o que iria minimizar a formação de partículas pegajosas tão comumente encontradas em sucos de frutas após spray drying. Segundo NICKERSON (44) lactose em pó cristalizada é usada como dispersante em produtos em pó por não ser higroscópica e desta forma manter o produto em condições de livre fluidez. VILDER (77) verificou a influência da presença de cristais de lactose na higroscopicidade e caking de soro de leite em pó e comprovou que a cristalização de lactose em soro concentrado (40 - 61,7% de sólidos) deu origem a um soro em pó "levemente" higroscópico (10,1 - 15%) e "levemente" aglomerado. A influência positiva de  $\alpha$ -lactose na redução de caking foi comprovada por PI-SECKY e SORENSEN (63) que encontraram um aumento do "stick point" de soro de leite pela cristalização da lactose amorfa em  $\alpha$ -lactose.

Segundo MASTERS (37) sucos de frutas são difíceis de desidratar convenientemente sem o uso de adionantes. A quantidade do material adicionado pode variar de acordo com a natureza da fruta em questão e das condições de secagem empregadas. Assim, em processos de spray drying utilizando temperaturas baixas (caso da produção do tomate em pó por exemplo) recomenda o uso de CMC. O mesmo autor sugere o uso de leite desnatado, caseína, proteína de amendoim e lactose para a secagem de banana; e a utilização de amido solúvel, dextrina ou produtos similares na desidratação de laranja e de xarope de milho para materiais de textura mais delicada como pêssigo e damasco. Perech citado por BRENNAN et alii (7) e Eddy citado por BRENNAN et alii (7) sugerem respectivamente concentrações de CMC de 2 e 1% como aditivo para produção de pós de sucos de frutas cítricas. BRENNAN et alii (7) constataram ser glicose líquida, quando comparada a goma e CMC, o aditivo mais indicado na produção de laranja em pó atomizada obtendo-se um produto com bom aroma e livre fluidez. HAMANO et alii (16) constataram a diminuição de higroscopicidade de molho de soja em pó com a adição de qualquer pentose, dextrina, amido solúvel ou amido oxidado. SIDDAPPA e NANJUDASWAMY (72) recomendam a adição de leite desnatado e amido a pós de frutas desidratadas. Já KAREL (28) sugere o uso de polímeros e proteínas, enfatizando que no caso de substâncias extremamente sensíveis como suco de laranja, se lance mão de glicose líquida. HAMANO e SUGIMOTO (17), HAMANO e AOYAMA (15), constataram a diminuição no grau de caking de molho de soja em pó pela adição de amido; "shoyu oil", ácidos graxos saturados (14 a 18 átomos de carbono) e hidrocarbonetos alifáticos de cadeia curta (5 a 9 átomos de carbono).

JONES e PILPEL (27) fazem referência à melhoria na fluidez de magnésia granular pela adição de "finos" do próprio material em razão de redução da rugosidade relativa e consequentemente, do coeficiente de atrito entre as partículas. Os autores advertem que acima de um determinado nível, as partículas de "finos" começam a interagir entre si, diminuindo a velocidade de escoamento.

A adição de agentes anti-caking, também chamados condicionadores de fluidez, é um dos métodos mais empregados para melhoria das propriedades fluídicas em pós. O agente anti-caking é definido geralmente como um aditivo que ajuda um pó a manter um grau de escoamento estável e/ou a aumentar a velocidade de escoamento através de um orifício situado na base de um recipiente, IRANI et alii (24), IRANI e CALLIS (23). Segundo estes mesmos autores e de acordo com PELEG e MANNHEIM (52) pode-se explicar de três maneiras o modo de ação dos condicionadores de fluidez: 1) atuando como barreira sólida entre as partículas de pó reduzindo suas forças atrativas; 2) agindo como lubrificantes da superfície sólida reduzindo o atrito entre as partículas; e 3) desempenhando o papel de neutralizantes da carga eletrostática. Os condicionadores de fluidez mais empregados são diversos tipos de silicatos, estearatos, fosfatos, terras diatomáceas, amido, óxido de magnésio, talco e aminas graxas. Segundo PELEG e MANNHEIM (52), são geralmente utilizados em concentrações de até 3% e como aditivos alimentares seu uso é frequentemente limitado a 1% e a adição deve seguir rigidamente a legislação de alimentos em vigor. IRANI e CALLIS (23) citam entre os critérios para seleção de um condicio-

nador de fluidez a relação preço-performance, a facilidade de manuseio e combinação, os efeitos gerados nas propriedades físicas e químicas, o valor nutricional e o nível de adulteração provocado nos alimentos. Os mesmos autores estudando a ação de diversos condicionadores, tais como sulfato de cálcio, carbonato de magnésio, amido de milho, terras diatomáceas, caolin, silicato hidratado de cálcio, Santocel C (sílica finamente dividida) e fosfato tricálcico visando a melhoria da fluidez de chocolate, DDT, leite em pó instantâneo e açúcares, constataram que cada sistema apresenta um nível ótimo para atuação acima do qual os efeitos são desprezíveis ou prejudiciais já que as partículas do condicionante passam a aderir entre si, agravando a condição de fácil fluidez. PELEG e MANNHEIM (52,53) constataram também que a influência de agentes anti-caking se manifesta apenas em níveis baixos de umidade relativa. Em ambientes com umidades relativas elevadas a ação dos agentes fica prejudicada em virtude dos mesmos ao fornecerem uma barreira que facilite o escoamento, não conseguem oferecer um tipo de cobertura que impeça o pó de sofrer absorção d'água. PELEG e MANNHEIM (52), PELEG et alii (54), constataram ainda a eficiência de silicato de alumínio e de estearato de cálcio na melhoria da fluidez de sacarose em pó, sendo que o estearato, por sua estrutura gordurosa, agiu como lubrificante reduzindo as forças entre partículas. PILPEL (60) explica o mecanismo de ação de agentes anti-caking de origem gordurosa como estearatos do seguinte modo: a porção hidrofílica da molécula do material é atraída pela superfície hidratada do pó, expondo o grupo hidrofóbico que repelirá a deposição adicional de água. BAUDER (4) em testes com amido comercial de batata, comprovou melhoria significativa na

fluidez do material em pó quando o agente anti-caking fosfato tri-cálcico (TCP) foi adicionado. CRAIK e MILLER (11) constataram melhorias significativas na fluidez de pós de amido de milho, sacarose e cloreto de sódio, quando tratados com óxido de magnésio.

#### 2.3.4. Métodos para Avaliar a Fluidez de Pós

PELEG (51) relaciona os testes de fluidez e a obtenção dos ângulos de repouso como os métodos para determinação das propriedades relacionadas à fluidez de pós. Nos testes de fluidez o critério de aferição é a velocidade de escoamento do pó. Na obtenção dos ângulos de repouso, é determinado o ângulo que o pó forma com a horizontal. Assume-se que quanto menor o ângulo de re pouso, mais fluídico é o pó. Como regra simples e prática, pós com ângulo de repouso menores que  $40^{\circ}$  apresentam livre fluidez en quanto que pós que exibem ângulos de repouso maiores que  $50^{\circ}$  são prováveis de apresentar problemas de escoamento, CRAIK e MILLER (11). Segundo NEUMANN (43), PILPEL (60), na determinação do ângulo de repouso, os fatores que determinam a forma da pilha de pó são atrito, gravidade e forças adesivas e estas últimas são causa das principalmente pela presença d'água que tende a ligar muitas partículas evitando que o pó escoe livremente. PILPEL (60) afirma que com mistura de pós ou com produtos formulados como os encontrados nas indústrias farmacêutica e de alimentos, o ângulo de re pouso varia com outros parâmetros que incluem natureza e composição da mistura e as formas e tamanhos das partículas. O mesmo autor afirma que pós com diminutas quantidades de umidade apresentam ângulos de repouso menores que pós totalmente secos devido à

diminuição da interação entre as partículas e conseqüente diminuição das forças iônicas. TRAIN (76) comparou quatro maneiras (com cone, funil, caixa inclinada e cilindro de revolução) para a determinação de ângulo de repouso utilizando pérolas de vidro, partículas de chumbo e prata finamente dividida e concluiu que o ângulo de repouso fornece os dados necessários para comparação de amostras em testes rotineiros de controle de qualidade desde que sejam definidas rígidas condições práticas. Entretanto, HARWOOD (18), PILPEL (59), MOREYRA e PELEG (41) afirmam que o ângulo de repouso apresenta limitações entre elas as causadas pelas condições de impacto, em que os picos dos cones de pó formados tendem a ser truncados e distorcidos pelo material que cai e também pelo fato dos cones formados raramente terem uma base circular.

Entre os métodos descritos pela HUBER CORPORATION (20) para escoamento de pós está o tempo de escoamento que é o tempo que uma massa de pó, colocada em um funil, demora para escoar até uma placa de recolhimento localizada abaixo do funil a uma distância constante.

A RHODIA (65) recomenda a realização prévia de distribuições granulométricas de pós para testar os efeitos de aditivos diversos nas propriedades fluídicas dos pós. A distribuição granulométrica do produto em pó com aditivo é comparada com a distribuição granulométrica da amostra controle e desta forma é verificada a influência do aditivo nas propriedades de fluidez dos materiais sob estudo.

HARWOOD (18) descreve e analisa dois outros métodos para caracterização das propriedades de fluidez de um pó. Os méto-

dos foram o fator de escoamento de Jenike e o índice de cisalhamento de Ashton onde são levados em consideração efeitos na coesão e resistência à tensão de pós. A resistência à tensão pode ser usada como uma medida das forças que agem entre as partículas já que os pós não coesos, em que inexitem praticamente as forças intermoleculares, apresentam baixa resistência à tensão e consequentemente, não sofrem caking ou problemas de fluidez. Já pós coesos se comportam de maneira inversa.

AUGENSTEIN e HOGG (3) estudando escoamento em superfícies inclinadas para sólidos particulados secos, constataram que o movimento das partículas individuais depende fortemente da natureza da superfície na qual escoo o pó. Para superfícies lisas, o escoamento ocorre basicamente por deslizamento na superfície enquanto que em superfícies altamente rugosas parece não haver deslizamento na superfície e o escoamento ocorre inteiramente por cisalhamento com a corrente fluídica. Superfícies de rugosidade intermediária fluem de maneira que tanto o fluxo por deslizamento quanto o devido a cisalhamento com a superfície contribuem significativamente para a condição de escoamento.

Diversos autores utilizaram a análise microscópica para um melhor estudo do fenômeno de caking e fluidez de pós. TANEYA (74,75) por este método verificou a fluidez de açúcar, chocolate, leite em pó, amido, leite em pó desnatado. CAL-VIDAL (9) utilizou microscopia eletrônica para explicar o mecanismo de ocorrência de caking em maracujá liofilizado em pó, verificando a ação de diversos condicionadores de fluidez na inibição do fenômeno. O método não tem sido utilizado apenas para pós alimentares. Diver-

os pós de origem inorgânica têm tido suas propriedades de fluidez e caking analisadas. SILVEBERG et alii (73) utilizaram o método para estudar o fenômeno de ocorrência e prevenção de caking em fertilizantes granulares. Já PHILLIP et alii (57) verificaram o efeito do tamanho de partícula na granulação de fertilizantes enquanto que OPOCZKY (49) estudou a aglomeração de silicatos.

#### 2.4. Comportamento Higroscópico e Fluidez

A capacidade para absorção d'água de alimentos é mais facilmente estudada por meio de curvas isotérmicas. Uma isoterma mostra a quantidade máxima de água absorvida por uma substância, a uma dada temperatura constante, em função da umidade relativa. As isotermas fornecem informações rápidas e seguras sobre as condições para estabilidade de produtos desidratados. Apresentam diversas formas sendo que no caso de frutos, predominam formas com convexidade voltada para o eixo das abcissas até níveis intermediários de umidade relativa, passando a uma forma exponencial em regiões de umidades relativas elevadas, SALWIN (68). Estabelece-se normalmente para o caso das isotermas de alimentos desidratados ricos em açúcares, uma relação inversa entre a quantidade d'água absorvida e a temperatura do produto de acordo com trabalhos de DE GÓIS (12) com mamão liofilizado, CAL-VIDAL (9) com maracujá liofilizado e HAMANO e AOYAMA (15) com molho de soja em pó. Os mesmos trabalhos demonstram a elevada higroscopicidade de pós de frutos desidratados em razão da acentuada avidez por água dos açúcares amorfos, constituintes em maior proporção nesses pós.

Diversos autores relacionam, para diversos materiais, o

aumento da higroscopicidade com a diminuição das condições de fluidez e conseqüente aumento do grau de caking e coesão. SHOTTON e HARB (71) verificaram aumento da coesão de amido de batata, amido de milho e amido de trigo pelo aumento do conteúdo de umidade dos materiais e o mesmo comportamento foi observado por PELEG et alii (54) trabalhando com cebola em pó. PRUTHI et alii (64) observaram grau de caking maior para alho em pó em níveis maiores de umidade relativa e HAMANO e SUGIMOTO (17) observaram comportamento semelhante para molho de soja em pó. CRAIK e MILLER (11) verificaram aumento de ângulo de repouso em amido, sacarose e cloreto de sódio, todos com adição do agente anti-caking MgO, pelo aumento da umidade relativa ambiental.

NOTTER et alii (47,48) verificaram o efeito conjugado do teor d'água e temperatura no tempo para ocorrência de caking em abacaxi e laranja em pó. Verificaram que o efeito do teor d'água no tempo para caking era acentuado em temperaturas maiores sendo que na temperatura mais alta (38°C), o tempo para caking dos pós foi o mais baixo (2 dias) para qualquer nível de umidade. Nas temperaturas menores os tempos foram maiores havendo em todas elas (32°C; 29,4°C; 23,8°C), valores críticos de teor d'água a partir dos quais a influência no tempo para caking era acentuada. Estes valores críticos do teor de umidade aumentaram com a diminuição da temperatura.

## 2.5. Reconstituição

Segundo WOODHAMS e MURRAY (80), JENSEN (26), KAREL (28), os fatores que afetam a reconstituição de pós são a molhabilidade

de, a capacidade de penetração ou afundamento no seio do líquido, dispersibilidade e solubilidade (velocidade de dissolução). Enquanto que para um pó instantâneo os quatro fatores são importantes, para um pó normal somente os dois últimos são relevantes. A dispersão é a propriedade que permite ao pó se distribuir uniformemente na água. A solubilidade refere-se à velocidade de dissolução das partículas sólidas uma vez que estas se encontrem adequadamente dispersas. LASCELLE e BALDWIN (29) observaram que leite em pó não lecitinado é facilmente reconstituído quando a quantidade de "finos" (partículas menores que 90 micra) é inferior a 20% (p/p) das partículas do produto e o tamanho médio de partículas é de 130 micra. Deste modo é favorecida a dispersão do produto. Entretanto, conforme WOODHAMS e MURRAY (80), a presença de partículas pequenas ("finos") pode favorecer a velocidade de dissolução do produto. Deste modo, pode concluir-se que a existência de "finos" num determinado pó, pode favorecer e desfavorecer as diferentes fases que envolvem a sua reconstituição.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Generalidades

O abacate (*Persea americana*, Mill) foi obtido no CEAGESP, São Paulo (variedade Prince) e CEASA, Rio de Janeiro (variedade Simmonds) em estado de maturação próprio para o consumo.

#### 3.2. Preparação e Spray Drying das Amostras

Utilizou-se, para preparação das amostras, polpa de abacate triturada em liquidificador. A preparação das amostras da variedade Prince foi feita no Departamento de Engenharia Química da Universidade de São Paulo. O pó foi obtido na unidade piloto da Niro Atomizer Indústria e Comércio Ltda em Diadema, SP. A preparação das amostras da variedade Simmonds foi realizada no Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e a obtenção do pó na unidade piloto de spray drying, do próprio DTA. As análises físicas e químicas, no material obtido, foram conduzidas no Departamento de Ciência dos Alimentos da Escola Superior de Agricultura de Lavras.

### 3.3. Pré-Tratamentos

Além das amostras de controle (das variedades Prince e Simmonds), o material a desidratar teve incorporadas as seguintes substâncias: lactose na forma de soro láctico em pó (Nestlé - Três Corações/MG.), amido de milho na forma de Morex 1920 (Refinações de Milho Brasil Ltda - São Paulo/SP.) e CMC (Pro-Analysi/RJ). As quantidades incorporadas possibilitaram níveis de concentração de sólidos totais no material de alimentação de 30, 35 e 45% para as amostras com lactose e Morex e níveis de 25,5; 26,0 e 26,2% para as amostras com CMC. A amostra controle contendo em média 25% de sólidos totais foi tomada como base para cálculos.

As amostras com adição de lactose e Morex foram obtidas a partir da variedade Prince e as amostras com CMC a partir da variedade Simmonds.

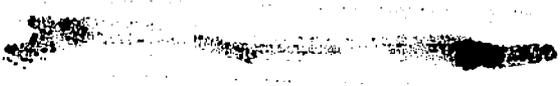
Antes de sofrer os pré-tratamentos, a polpa de abacate foi submetida a um "banho" de bissulfito de sódio 0,05 M, durante 10 minutos, segundo recomendação de AHMED e BARMORE (1) para inibição de escurecimento enzimático.

### 3.4. Condições de Spray Drying

$$T_e = 200^{\circ}\text{C} \pm 10\%$$

$$T_s = 100^{\circ}\text{C} \pm 10\%$$

$F = 2 \text{ lb/hr} \pm 10\%$  onde,  $T_e$  é a temperatura de entrada do ar,  $T_s$  é a temperatura do ar de saída e  $F$  é a vazão na alimentação. O material foi diluído a uma proporção de 1:1 (p/V) com



The first part of the document  
 discusses the general principles  
 of the project and the  
 objectives that have been set.  
 It also outlines the scope of  
 the work and the resources  
 that will be required to  
 complete it. The second part  
 of the document provides a  
 detailed description of the  
 methodology that will be used  
 to collect and analyze the data.  
 This includes a discussion of  
 the sampling methods and the  
 statistical techniques that will  
 be employed. The final part  
 of the document presents the  
 results of the study and  
 discusses their implications for  
 the field.

The methodology section of the  
 document describes the various  
 steps that will be taken to  
 ensure the reliability and  
 validity of the data. This  
 includes a discussion of the  
 sampling frame and the  
 response rate. It also  
 describes the procedures for  
 data collection and the  
 methods for data analysis.  
 The results section of the  
 document presents the findings  
 of the study in a clear and  
 concise manner. It includes  
 tables and figures that  
 illustrate the key results.  
 The discussion section of the  
 document interprets the  
 findings and discusses their  
 implications for the field.  
 It also identifies the  
 strengths and limitations of  
 the study and suggests areas  
 for further research.

The methodology section of the  
 document describes the various  
 steps that will be taken to  
 ensure the reliability and  
 validity of the data. This  
 includes a discussion of the  
 sampling frame and the  
 response rate. It also  
 describes the procedures for  
 data collection and the  
 methods for data analysis.  
 The results section of the  
 document presents the findings  
 of the study in a clear and  
 concise manner. It includes  
 tables and figures that  
 illustrate the key results.  
 The discussion section of the  
 document interprets the  
 findings and discusses their  
 implications for the field.  
 It also identifies the  
 strengths and limitations of  
 the study and suggests areas  
 for further research.

The methodology section of the  
 document describes the various  
 steps that will be taken to  
 ensure the reliability and  
 validity of the data. This  
 includes a discussion of the  
 sampling frame and the  
 response rate. It also  
 describes the procedures for  
 data collection and the  
 methods for data analysis.  
 The results section of the  
 document presents the findings  
 of the study in a clear and  
 concise manner. It includes  
 tables and figures that  
 illustrate the key results.  
 The discussion section of the  
 document interprets the  
 findings and discusses their  
 implications for the field.  
 It also identifies the  
 strengths and limitations of  
 the study and suggests areas  
 for further research.

The methodology section of the  
 document describes the various  
 steps that will be taken to  
 ensure the reliability and  
 validity of the data. This  
 includes a discussion of the  
 sampling frame and the  
 response rate. It also  
 describes the procedures for  
 data collection and the  
 methods for data analysis.  
 The results section of the  
 document presents the findings  
 of the study in a clear and  
 concise manner. It includes  
 tables and figures that  
 illustrate the key results.  
 The discussion section of the  
 document interprets the  
 findings and discusses their  
 implications for the field.  
 It also identifies the  
 strengths and limitations of  
 the study and suggests areas  
 for further research.

The methodology section of the  
 document describes the various  
 steps that will be taken to  
 ensure the reliability and  
 validity of the data. This  
 includes a discussion of the  
 sampling frame and the  
 response rate. It also  
 describes the procedures for  
 data collection and the  
 methods for data analysis.  
 The results section of the  
 document presents the findings  
 of the study in a clear and  
 concise manner. It includes  
 tables and figures that  
 illustrate the key results.  
 The discussion section of the  
 document interprets the  
 findings and discusses their  
 implications for the field.  
 It also identifies the  
 strengths and limitations of  
 the study and suggests areas  
 for further research.

vistas a facilitar seu ingresso no sistema de atomização.

### 3.5. Análises Químicas

O conteúdo de umidade das amostras em pó foi determinado pelo método gravimétrico de HORWITZ (19). Para a determinação do teor de açúcares redutores, açúcares não redutores e amido do abacate em pó, foi utilizado o método de Somogy-Nelson, NELSON (42) e para gordura foi utilizado o método recomendado pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (22).

### 3.6. Condicionamentos Ambientais

As amostras em duplicata ( $\pm 5$  g) de controle e as amostras com adição de CMC, foram acondicionadas em frascos abertos (tipo "baby food") e transferidas para dessecadores contendo os níveis de umidade relativa desejados. Após uma evacuação parcial e uniforme dos dessecadores, estes foram transferidos para estufas nas temperaturas de 7, 25, 35 e 45°C, nelas permanecendo por 18 horas. Após este período, as amostras foram retiradas e foram medidos o teor d'água, tempo de escoamento, ângulo de repouso e o grau de retenção granulométrica.

#### 3.6.1. Ambientes de Umidade Relativa

Os ambientes de umidade relativa variável foram obtidos no interior de dessecadores contendo 500 ml de soluções saturadas de sais, conforme ROCKLAND (66). As umidades relativas fornecidas pelas soluções são apresentadas na Tabela 3 e foram aferidas fazendo-se uso de um higrômetro Airguide modelo 101.

TABELA 3 - Caracterização das soluções saturadas e respectivas umidades relativas (%) nas diferentes temperaturas, ROCKLAND (66).

Soluções Saturadas	Temperatura			
	7°C	25°C	35°C	45°C
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	33	33	32	31
$\text{K}_2\text{CO}_3$	47	43	41	39
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	54	52	51	50
$\text{NaNO}_2$	69	65	63	61
$\text{NaCl}$	76	75	75	75
$\text{KCl}$	-	-	84	-

### 3.6.2. Amostras e Condições Ambientais de Equilíbrio

Amostras ( $\pm 5$  g em duplicata) controle e as contendo adições de lactose, Morex e CMC foram distribuídas uniformemente em placas de Petri de 4 cm de diâmetro e transferidas para dessecadores contendo as soluções com os níveis de umidade relativa desejados. Após uma evacuação parcial e uniforme dos dessecadores, estes foram transferidos para estufas com temperatura de  $35^{\circ}\text{C}$  permanecendo nelas até que as amostras entrassem em equilíbrio com os ambientes condicionados de umidade relativa e conseqüentemente apresentassem peso constante. As amostras em equilíbrio tiveram medidas a absorção d'água e o grau de caking.

### 3.7. Determinação do Teor d'água Final das Amostras

Após terem permanecido nas atmosferas condicionadas, as amostras foram retiradas dos dessecadores e pesadas em balança Mettler modelo PC 2000. O teor d'água foi calculado em base seca, descontando-se o teor d'água inicial das amostras.

### 3.8. Determinação dos Tempos de Escoamento e Ângulos de Repouso

Nesta técnica, adaptada da descrita por HUBER CORPORATION (20), foi utilizado um funil de  $60^{\circ}$  (7,37 cm de diâmetro) com abertura de saída de 0,71 cm. O funil teve vedada sua abertura de saída e enchido com as amostras retiradas dos dessecadores. O sistema de escoamento foi adaptado a um vibrador modelo Produtest. A distância entre a abertura de saída do funil e a placa onde foi

recolhido o pó foi de 8,060 cm. O nível de vibração empregado no sistema foi 7 na escala do Produtest. Depois de cheio, o funil teve retirada sua vedação e simultaneamente foi ligado o vibrador e iniciada a contagem de tempo. Esta cessou quando todo o material deixou o funil ou quando o escoamento foi interrompido. O tempo obtido, com um cronômetro Technos, foi o tempo de escoamento. Na pilha de pó formada na placa de recolhimento, foram medidos o diâmetro (D) da pilha e a altura (h) da mesma. O ângulo de repouso ( $\theta$ ) foi obtido pela Equação 1.

$$\theta = \text{arctg} \frac{2h}{D} \quad (1)$$

### 3.9. Determinação da Retenção Granulométrica ou Grau de Caking

Seguindo uma adaptação de técnica descrita por NIRO ATOMIZER (45), amostras de pós de abacate foram transferidas para um conjunto de peneiras, com aberturas especificadas na Tabela 4, acoplado a um vibrador modelo Produtest. O vibrador funcionou durante 4 minutos no nível de vibração máxima permitida pelo aparelho (escala número 10). A retenção granulométrica passou a ser designada grau de caking em virtude de ser este índice o mais adequado para se avaliar a condição limite de fluidez de pós de abacate e é dada tomando por base o percentual granulométrico retido na peneira maior (abertura de 2mm). Além disso foi feita uma análise da distribuição granulométrica para as amostras não condicionadas.

TABELA 4 - Aberturas de peneira utilizadas para a determinação da distribuição granulométrica.

ABNT	Tyler	mm
200	200	0,074
140	150	0,105
100	100	0,149
80	80	0,177
60	60	0,250
40	35	0,420
20	20	0,840
10	9	2,000

### 3.10. Reconstituição

As características de reconstituição foram determinadas segundo adaptação de técnica existente, NIRO ATOMIZER (45); 1g de amostra (em duplicata) foi colocada em um tubo de ensaio de tampa rosqueável modelo Pyrex-USA - nº 9825, acrescida de 5 ml de água destilada. O tubo de ensaio foi levado a um agitador de tubos de ensaio Etica modelo 117, 3600 RPM. A cada 15 segundos o procedimento era interrompido e verificava-se se havia total dispersão do pó. O tempo necessário para atingir tal condição era considerado como o de reconstituição.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1. Composição Química do Abacate em Pó Obtido por Spray Drying

Na Tabela 5 se apresenta a composição química dos pós de abacate puro obtidos das diferentes variedades utilizadas. Constatam-se elevados teores de gordura, notadamente na variedade Prince, em concordância com dados publicados previamente pelo ITAL (25). O teor de açúcares totais é reduzido e os resultados se assemelham aos de AHMED e BARMORE (1), BIALE e YOUNG (6).

##### 4.2. A Fluidez de Abacate em Pó Segundo Diversos Métodos de Análise

As Figuras 4 a 15 mostram a eficácia de diferentes metodologias para a medida da fluidez de abacate em pó obtido por spray drying, com diferentes níveis de CMC, exposto a ambientes de temperatura e umidades relativas variáveis, durante intervalo de tempo constante (18 horas).

TABELA 5 - Composição química do abacate em pó atomizado, %.

Componente	Var. Prince	Var. Simmonds
Água	2,62	1,45
Lipídeos	53,10	35,90
Açúcares totais	13,72	11,57
Açúcares redutores	8,68	8,82
Amido	7,25	6,65

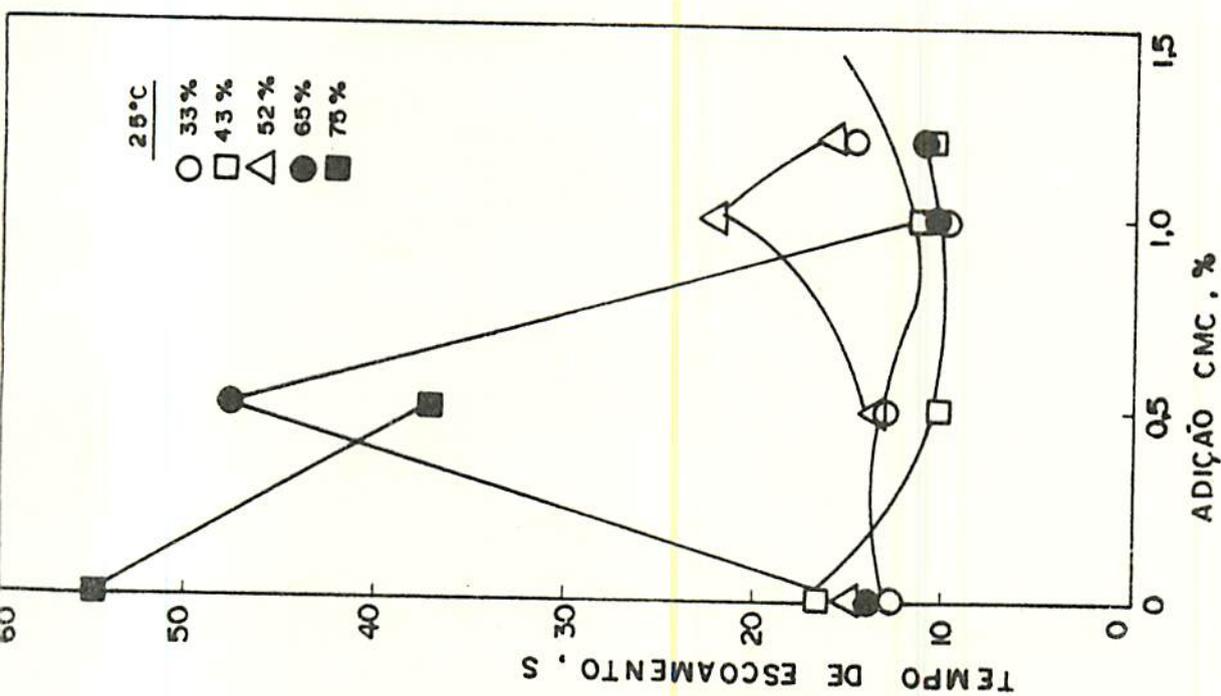


FIGURA 5 - Efeito da adição de CMC no tempo de escoamento de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 25°C.

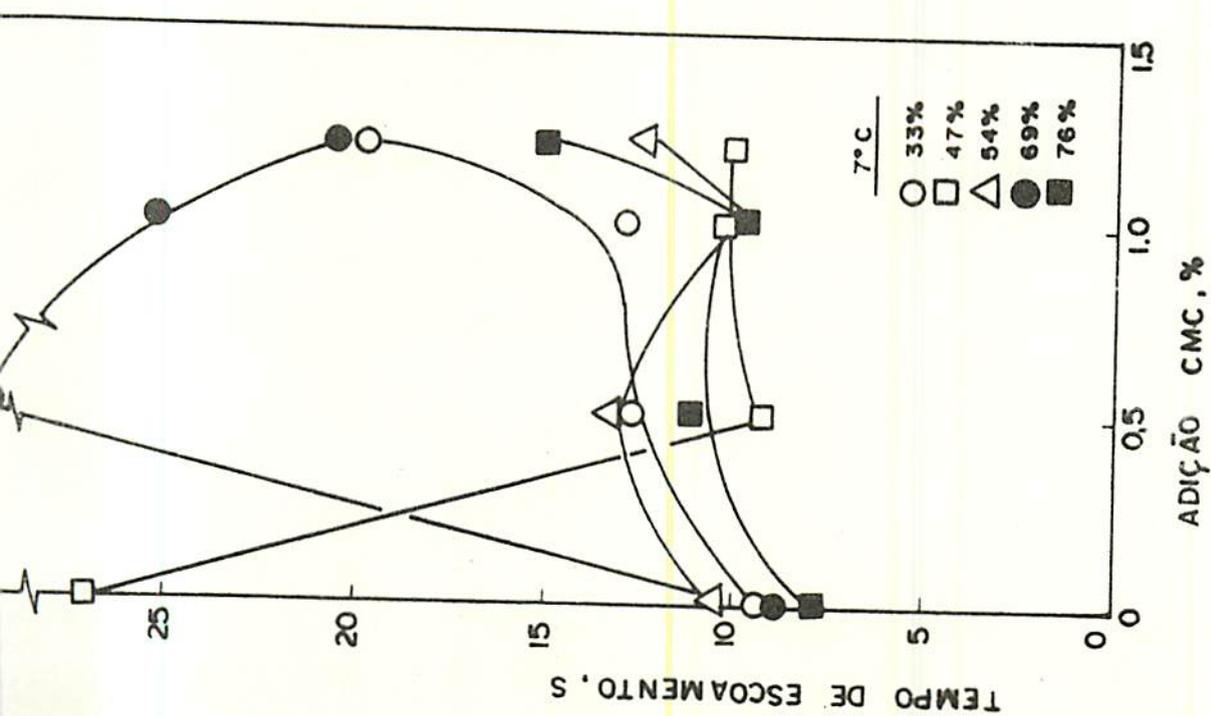
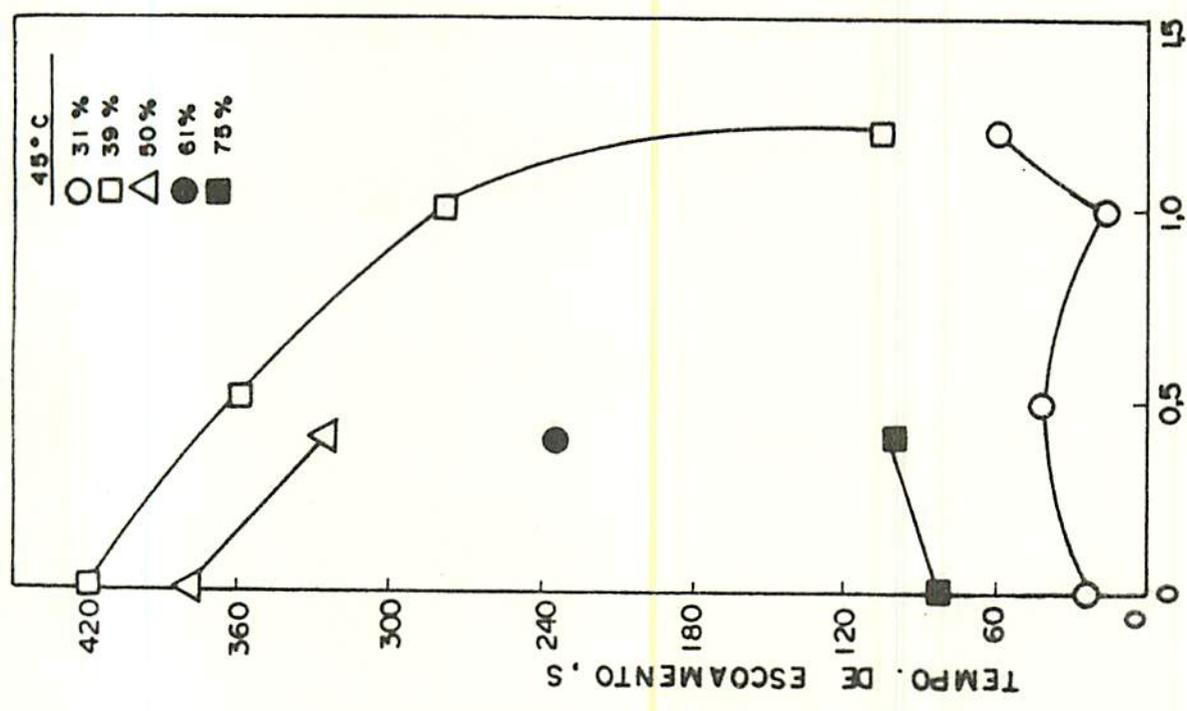
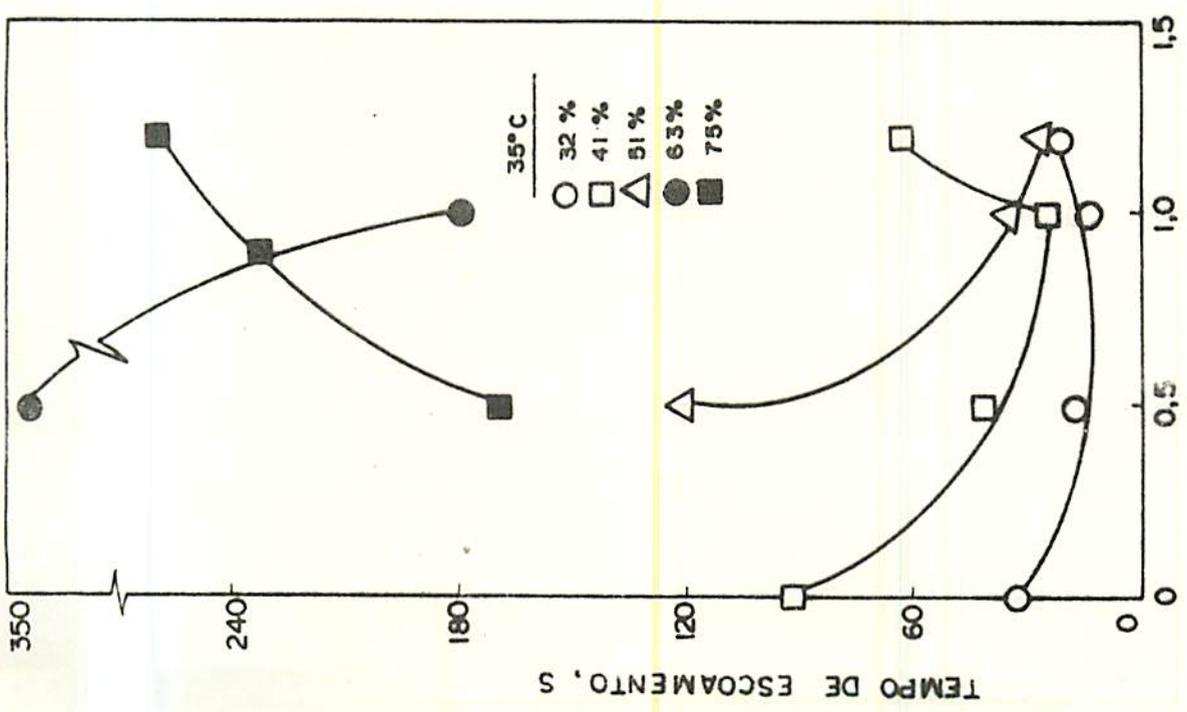


FIGURA 4 - Efeito da adição de CMC no tempo de escoamento de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 7°C.



ADIÇÃO CMC, %

FIGURA 7 - Efeito da adição de CMC no tempo de escoamento de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 45°C.



ADIÇÃO CMC, %

FIGURA 6 - Efeito da adição de CMC no tempo de escoamento de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 35°C.

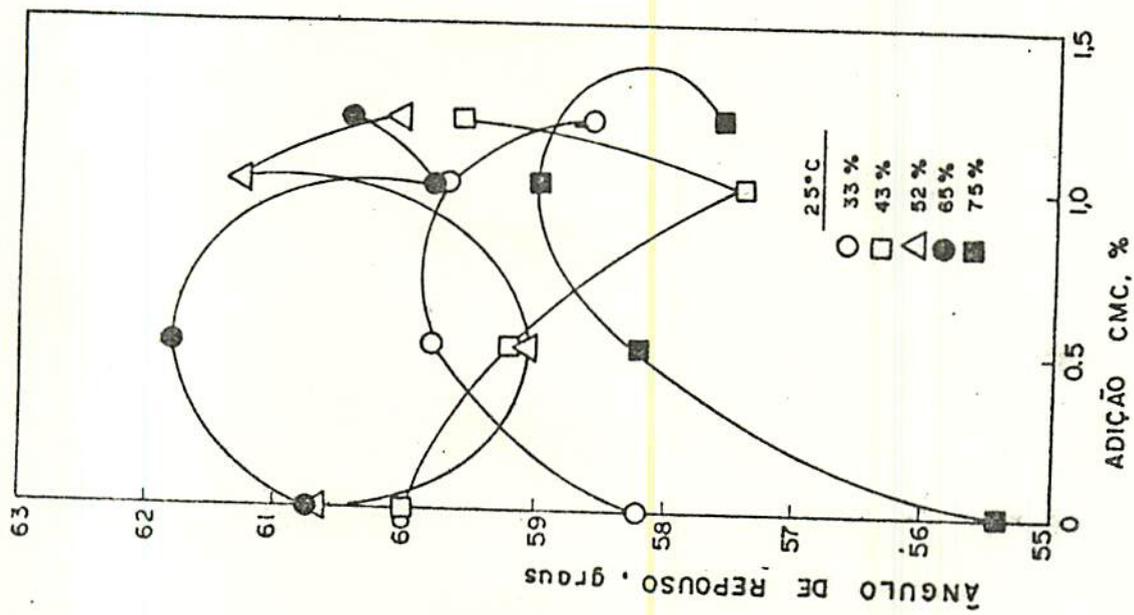


FIGURA 9 - Efeito da adição de CMC no ângulo de repouso de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 25°C.

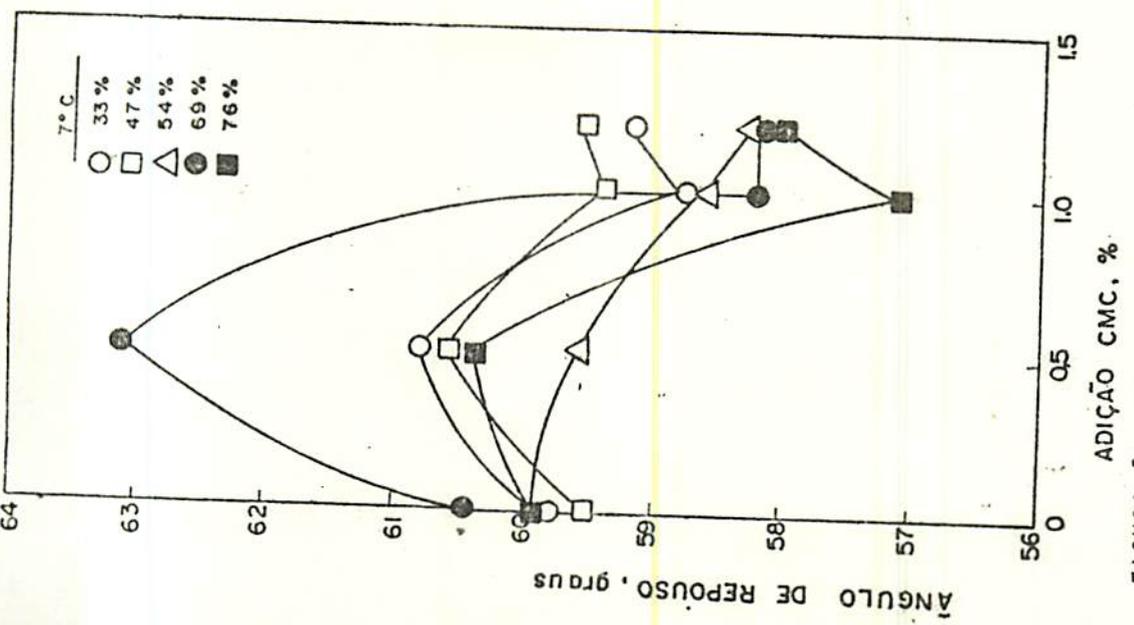


FIGURA 8 - Efeito da adição de CMC no ângulo de repouso de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 7°C.

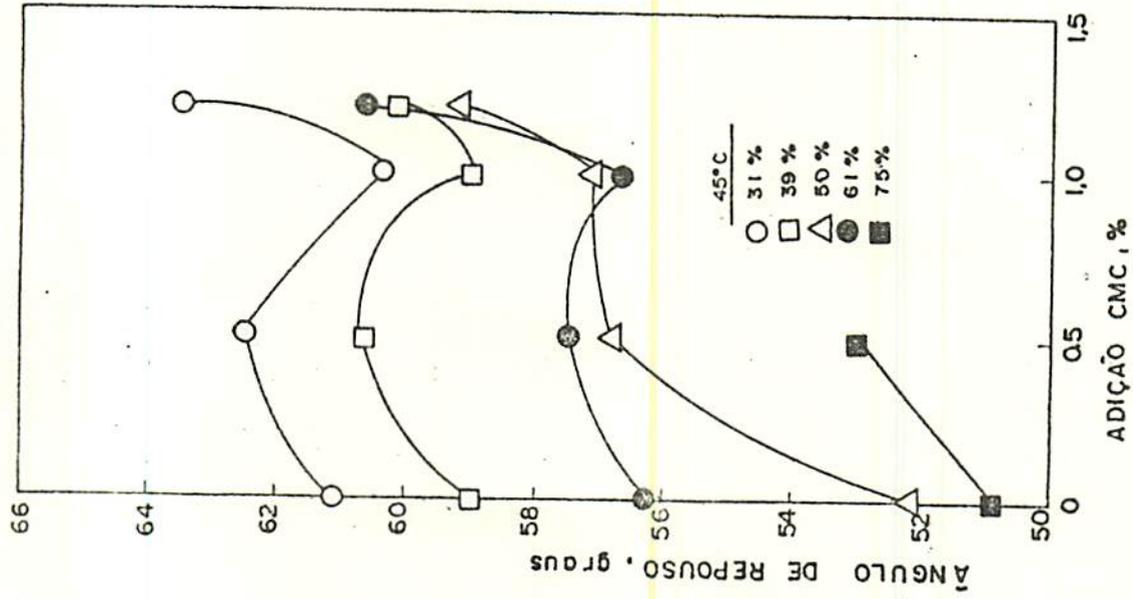


FIGURA 11 - Efeito da adição de CMC no ângulo de repouso de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 45°C.

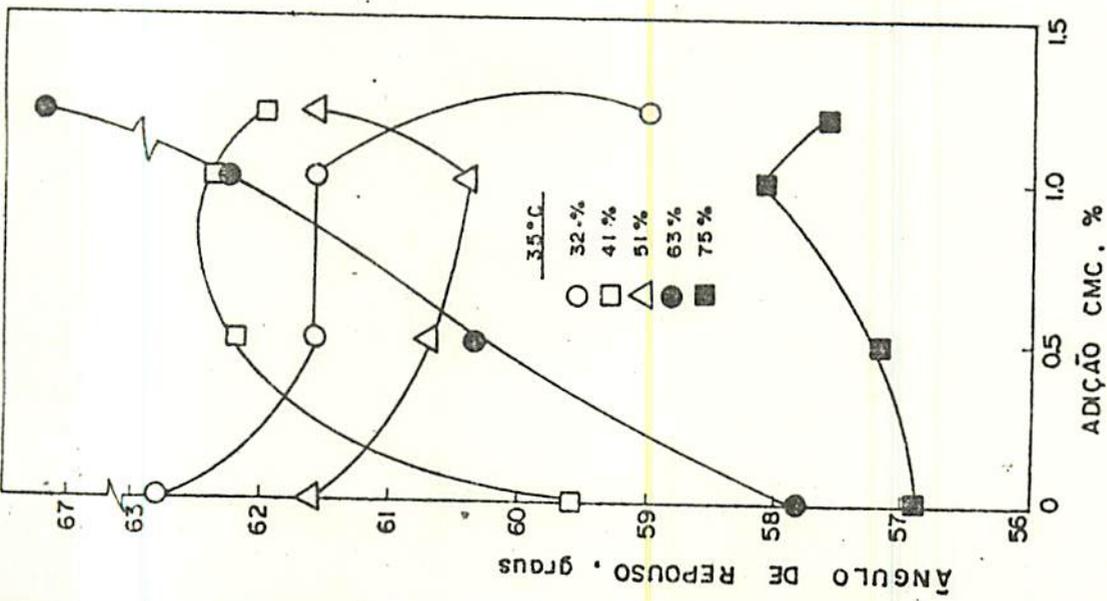


FIGURA 10 - Efeito da adição de CMC no ângulo de repouso de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 35°C.

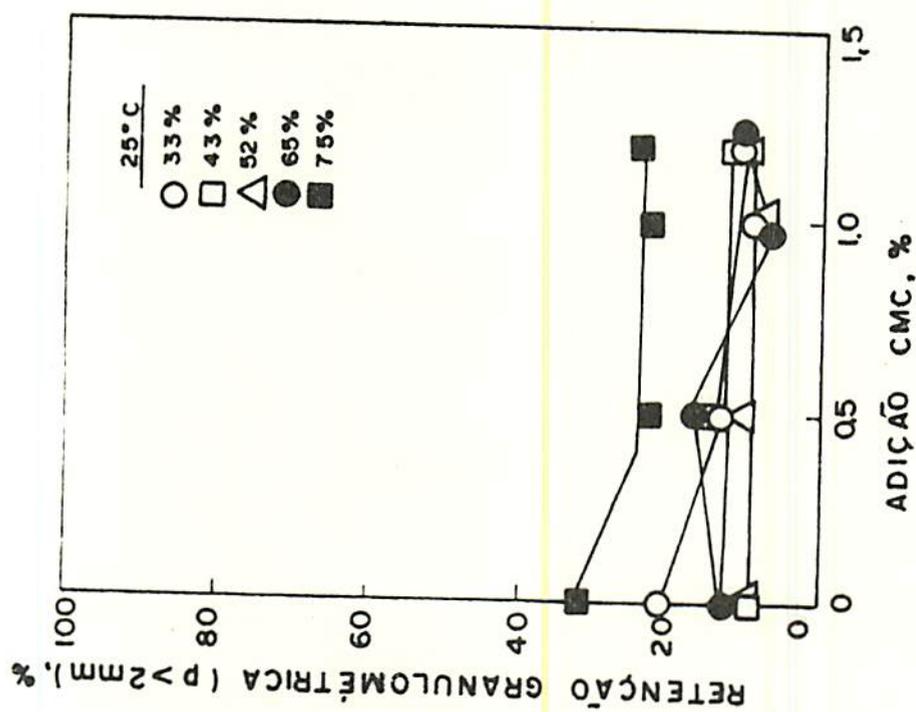


FIGURA 13 - Efeito da adição de CMC na retenção granulométrica de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 25°C.

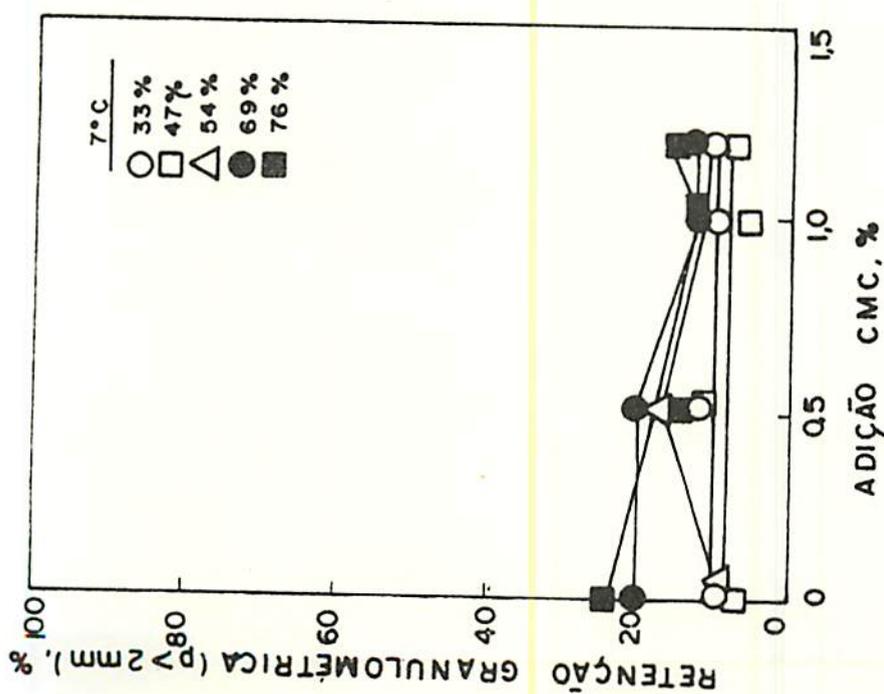


FIGURA 12 - Efeito da adição de CMC na retenção granulométrica de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 7°C.

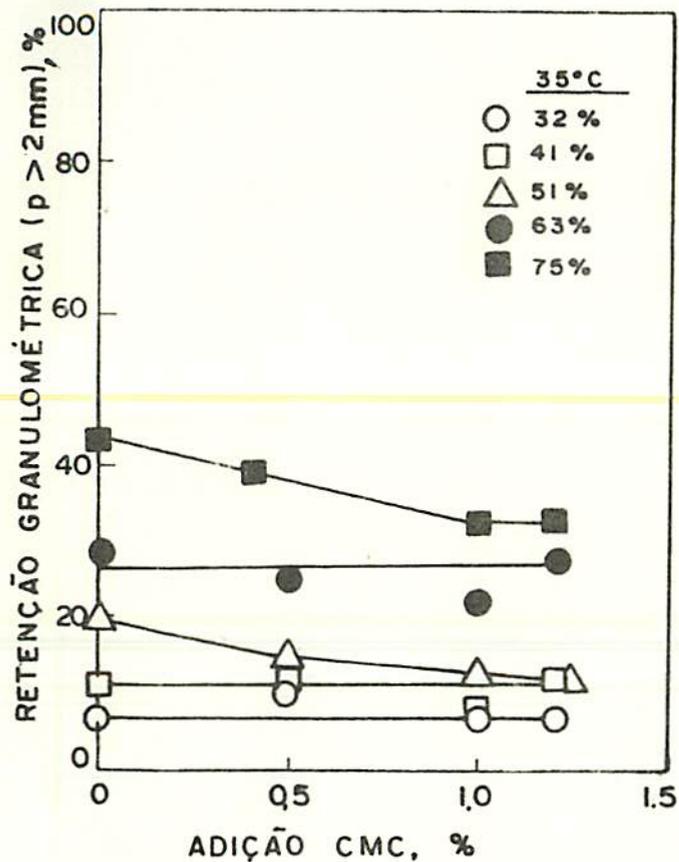


FIGURA 14 - Efeito da adição de CMC na retenção granulométrica de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 35°C.

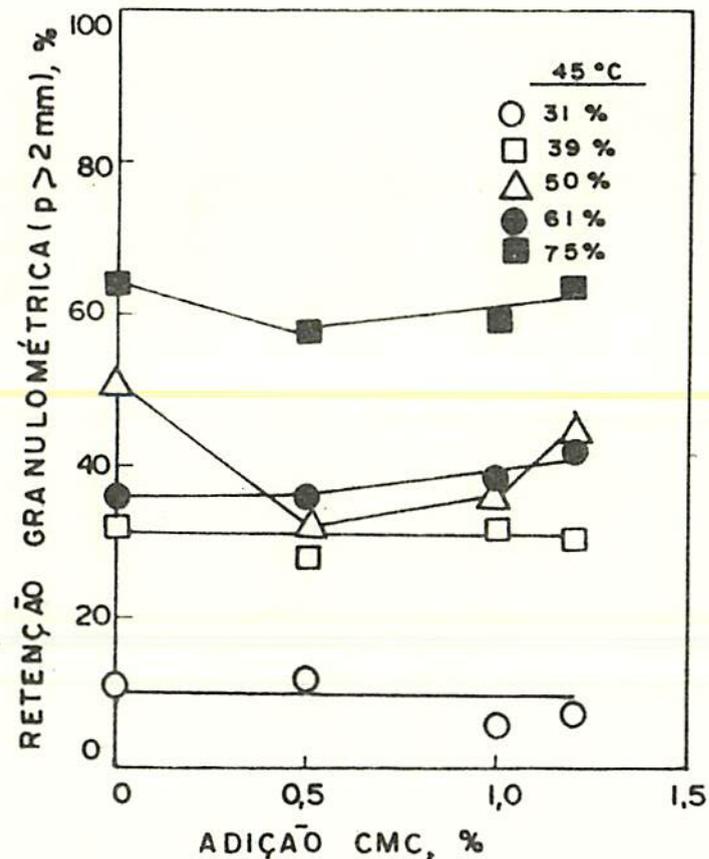


FIGURA 15 - Efeito da adição de CMC na retenção granulométrica de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 45°C.

Observa-se, para o tempo de escoamento, Figuras 4 a 7, pouca confiabilidade nos resultados obtidos. Não é possível estabelecer-se entre estes e as variáveis de condicionamento (temperatura e umidade relativa) qualquer correlação. Não há uma clara linha de comportamento seguida por estes resultados. Para o ângulo de repouso, Figuras 8 a 11, a mesma dificuldade é observada exceção feita à temperatura de  $45^{\circ}\text{C}$ , onde o ângulo de repouso diminuiu com o aumento da umidade relativa. Este resultado, entretanto, deve ser aceito com restrições porque na temperatura de  $45^{\circ}\text{C}$ , conforme será mostrado mais adiante, a influência da umidade relativa é mais acentuada, aumentando o grau de caking e desta maneira, impedindo que todo o pó escoasse. Verificou-se que na medida em que a quantidade de pó depositada no funil aumentava, o ângulo de repouso tendia a decrescer. Outra possível explicação para o problema observado, sugerida por PILPEL (59), MOREYRA e PELEG (41), é que os picos tenham sido truncados e distorcidos pelo material mais pesado (em razão do grau de caking maior) que caiu sobre o já depositado. Os resultados apresentados pelo tempo de escoamento e pelo ângulo de repouso estão de acordo com as restrições apresentadas aos métodos por estes autores e outros, HARWOOD (18). Observou-se também uma forte aderência entre as partículas e a superfície do funil por onde escoou o pó o que ocasionou um bloqueio da abertura de saída do funil.

A retenção granulométrica por outro lado, apresentou uma linha de comportamento bem mais confiável. Conforme mostram as Figuras 12 a 15, para amostras de abacate em pó puro e abacate

com diversos níveis de CMC, o aumento da umidade relativa provocou um aumento na retenção granulométrica o qual acentuou-se com a elevação da temperatura. Esta metodologia também foi recomendada pela RHODIA (65) que a testou numa diversidade de produtos químicos.

#### 4.3. Grau de Caking de Abacate em Pó sob o Efeito de Diversas Condições de Temperatura e Umidade Relativa

Com base no exposto anteriormente, a retenção granulométrica passa a ser utilizada como índice de fluidez do material sob estudo, sendo a condição de não-fluidez designada como grau de caking em vista dos objetivos propostos neste projeto.

A Figura 16 mostra a influência da umidade relativa (UR) ambiental no grau de caking de abacate em pó puro a diferentes temperaturas. Constatou-se um grau de caking maior para umidades relativas maiores sendo aquele tanto maior quanto maior foi a temperatura. O mesmo comportamento pode ser observado nas Figuras 12 a 15 onde o efeito da umidade relativa é acentuado pela temperatura. Na Figura 16 observa-se ainda um interessante fenômeno; a baixas temperaturas (7 e 25°C), o efeito da umidade relativa só é pronunciado a partir de um valor crítico de UR. Em temperaturas superiores (35 e 45°C), este valor crítico desaparece sendo o grau de caking uma função acentuada de UR, para qualquer valor desta.

A Figura 17 mostra a influência da temperatura sobre o grau de caking a diferentes níveis de umidade relativa. Constata-

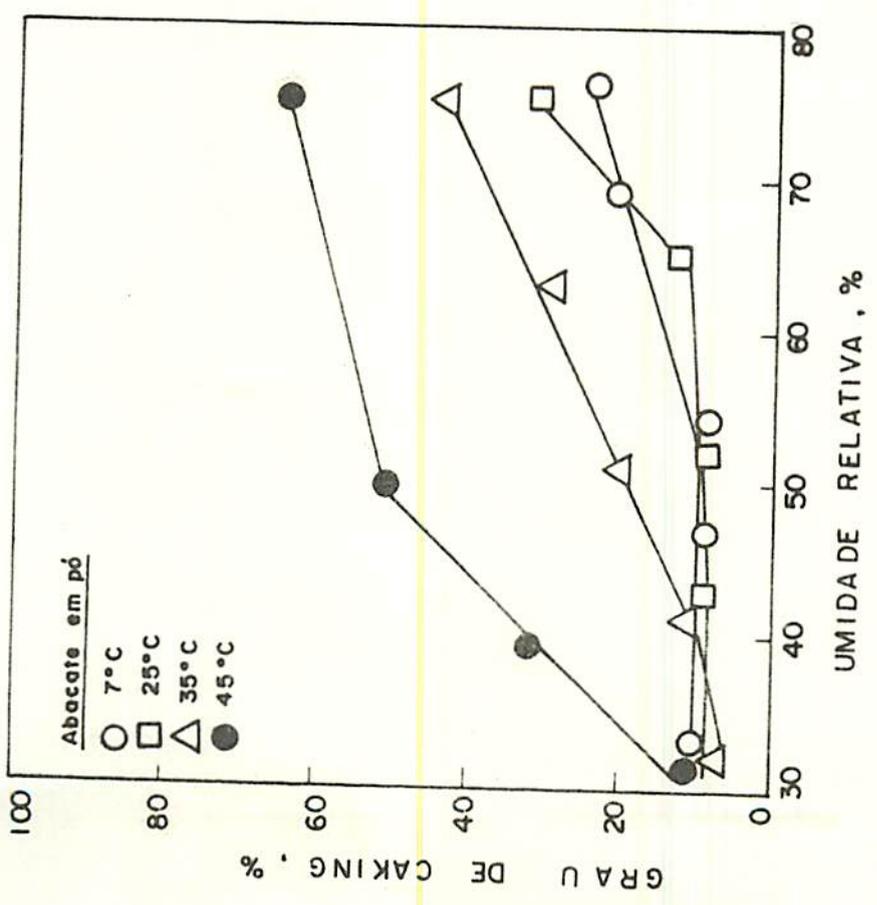


FIGURA 16 - Efeito da umidade relativa no grau de caking de abacate em pó, em diversas temperaturas.

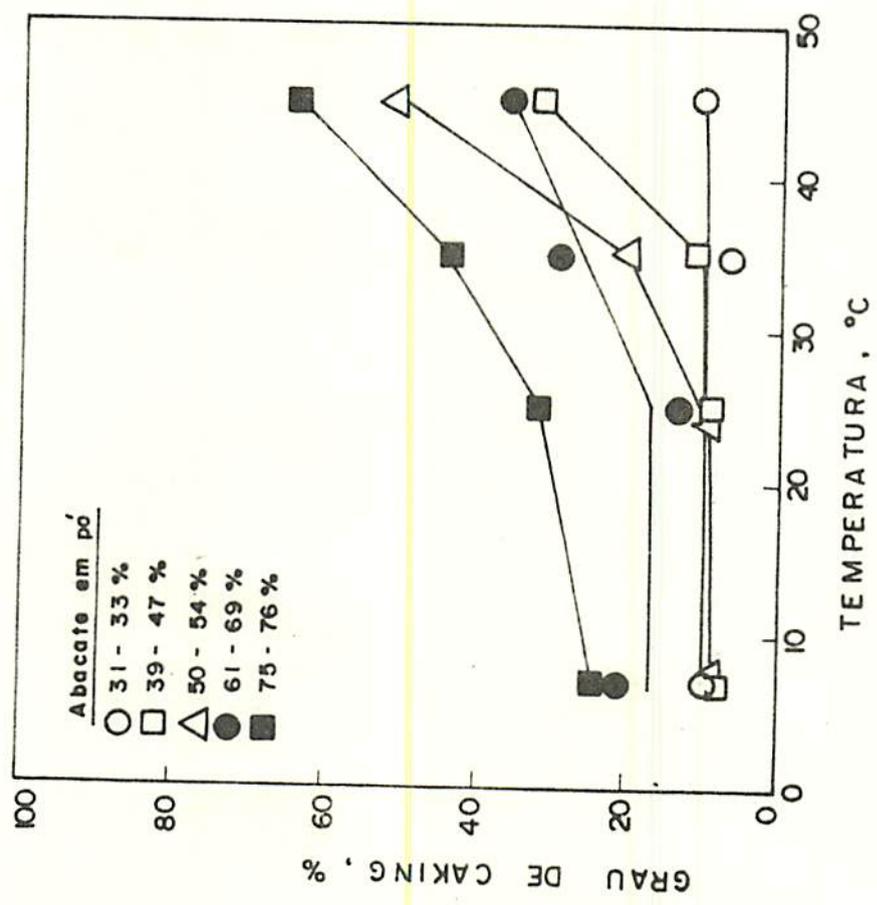


FIGURA 17 - Efeito da temperatura no grau de caking de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa.

se o mesmo tipo de fenômeno observado na Figura 16 com a temperatura exercendo efeito mais pronunciado sobre o grau de caking, em níveis elevados de UR (acima de 75%). Para níveis inferiores de UR, há sempre um valor crítico de temperatura a partir do qual ela passa a influenciar o grau de caking de modo mais significativo. Este valor é tanto maior quanto menor é o nível de umidade relativa a que está submetido o material. Para o menor nível de UR (31 - 33%), observa-se não haver influência da temperatura sobre o grau de caking do abacate em pó, na faixa considerada (7-45°C). O mesmo efeito da temperatura sobre o grau de caking pode ser observado nas Figuras 18 a 21 para o abacate em pó puro e para abacate em pó contendo CMC. Constata-se efeito crescente da temperatura com o aumento do nível de umidade a que são submetidas as amostras com e sem adições. O observado está de acordo com diversos trabalhos publicados. CRAIK e MILLER (11), PELEG e MANNHEIM (53), PELEG et alii (54) constataram um aumento do grau de caking (e conseqüente diminuição no nível de fluidez) na medida em que se elevou os níveis de UR a que são submetidos diversos materiais. PILPEL e BRITTEN (61), WHYNES e DEE (79), HAMANO e SUGIMOTO (17) constataram o aumento do grau de caking em substâncias contendo ácidos graxos, durante a elevação da temperatura a que eram submetidas amostras contendo tais substâncias.

#### 4.4. Grau de Caking do Abacate em Pó sob Efeito do seu Teor D'Água

As Figuras 22 a 25 mostram a influência do teor d'água de abacate em pó e contendo diversas concentrações de CMC, em di-

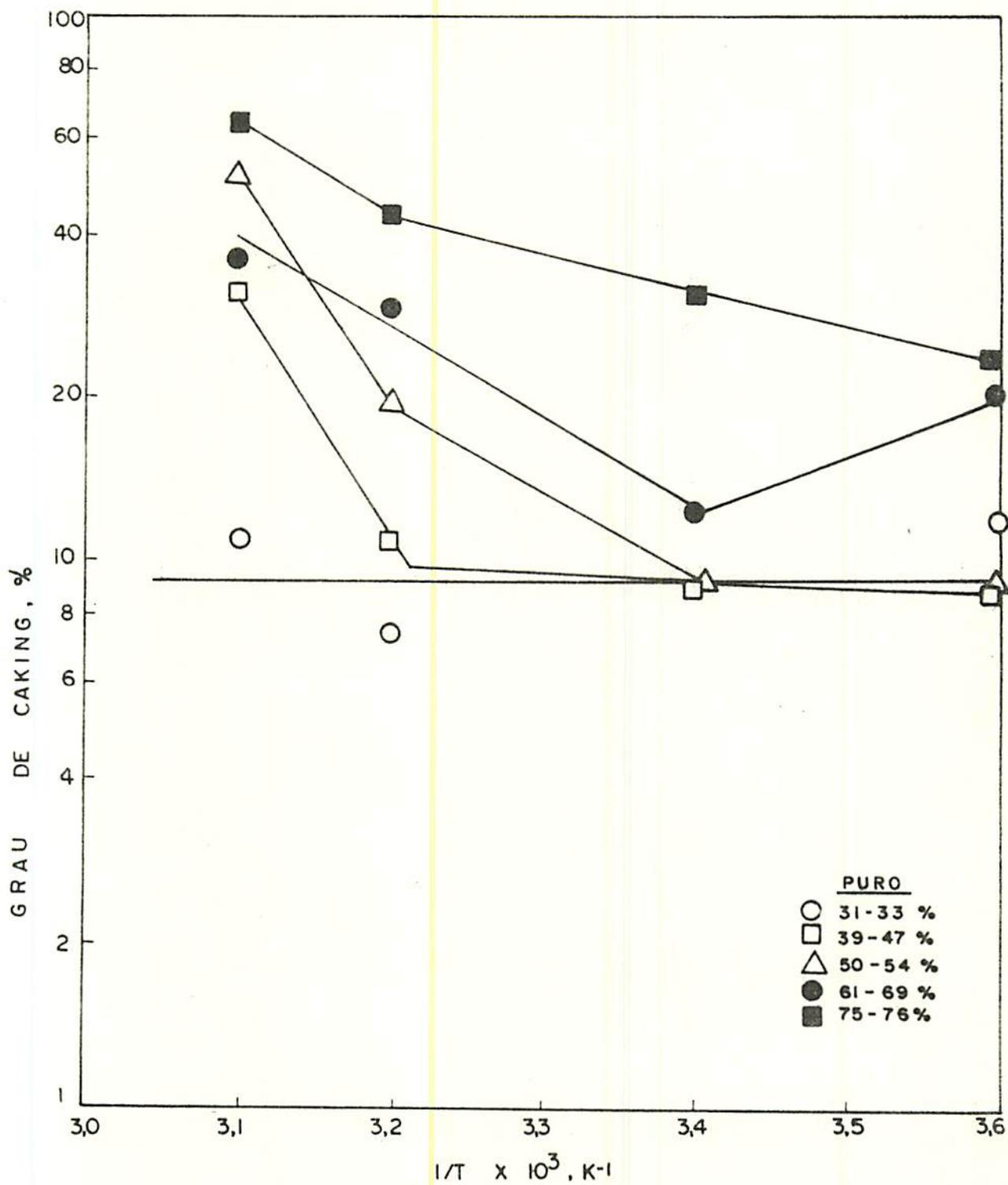


FIGURA 18 - Efeito da temperatura no grau de caking de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa.

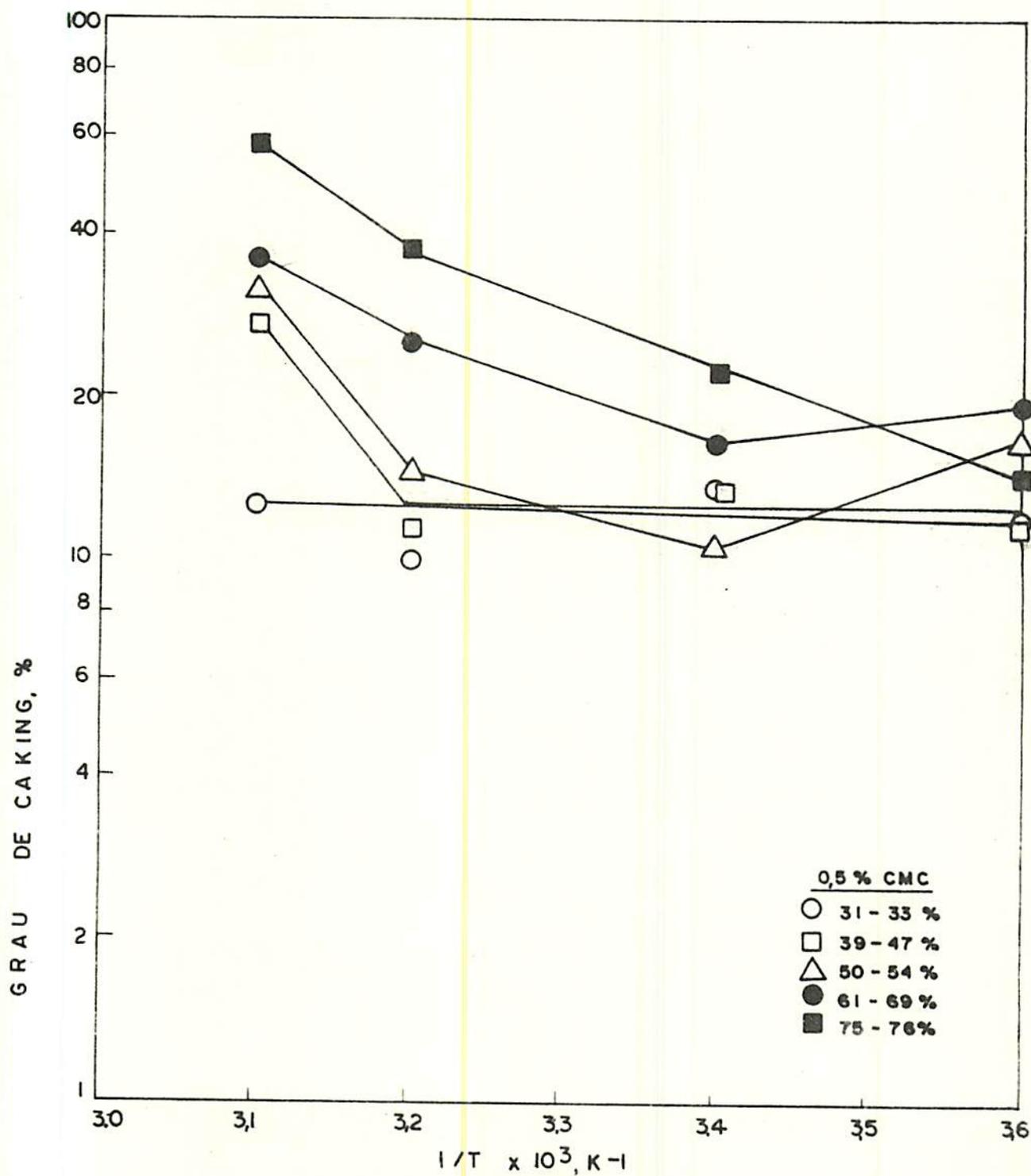


FIGURA 19 - Efeito da temperatura no grau de caking de abacate em pó, com 0,5% de CMC, em diversos níveis de umidade relativa.

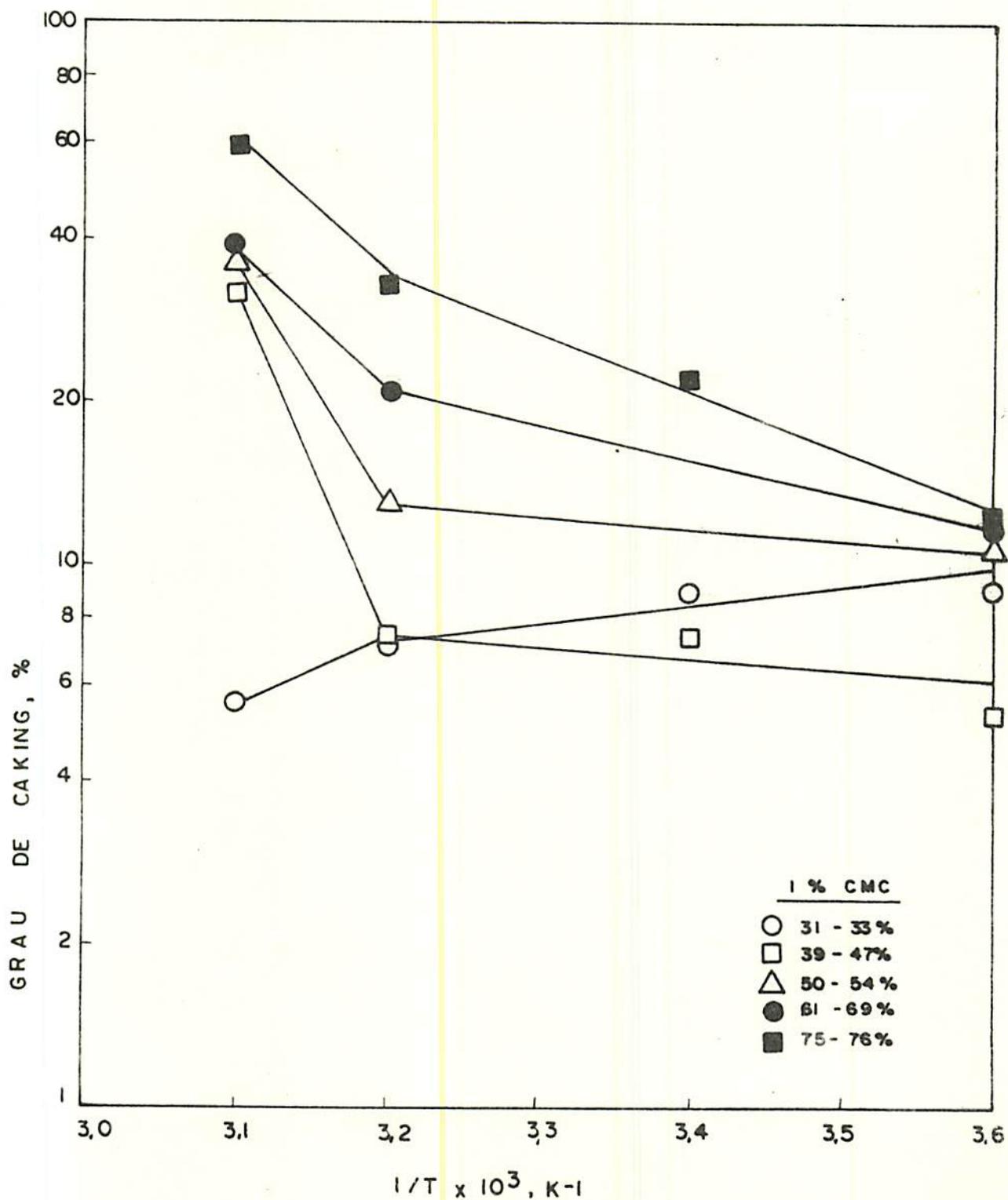


FIGURA 20 - Efeito da temperatura no grau de caking de abate em pó, com 1% de CMC, em diversos níveis de umidade relativa.

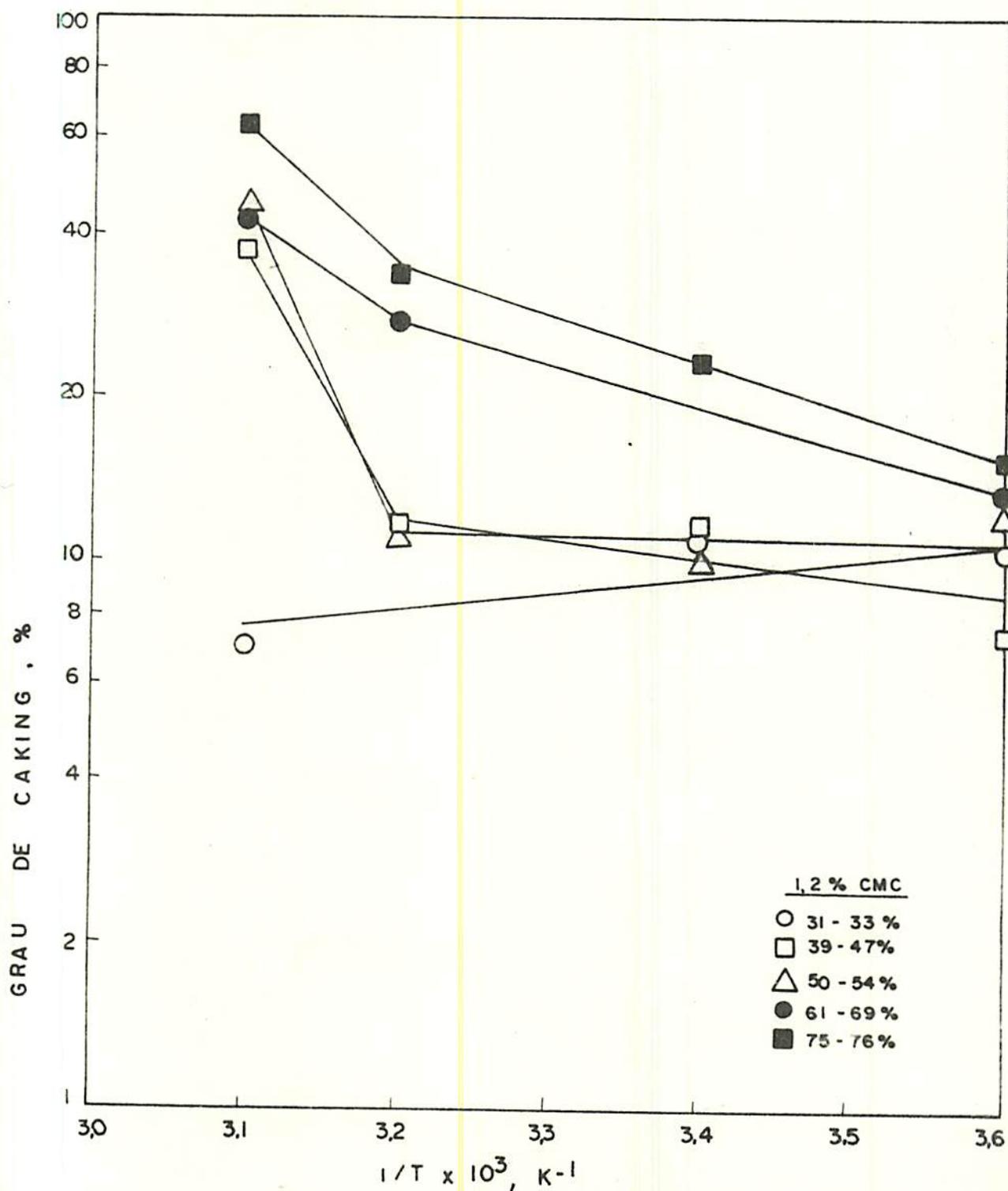
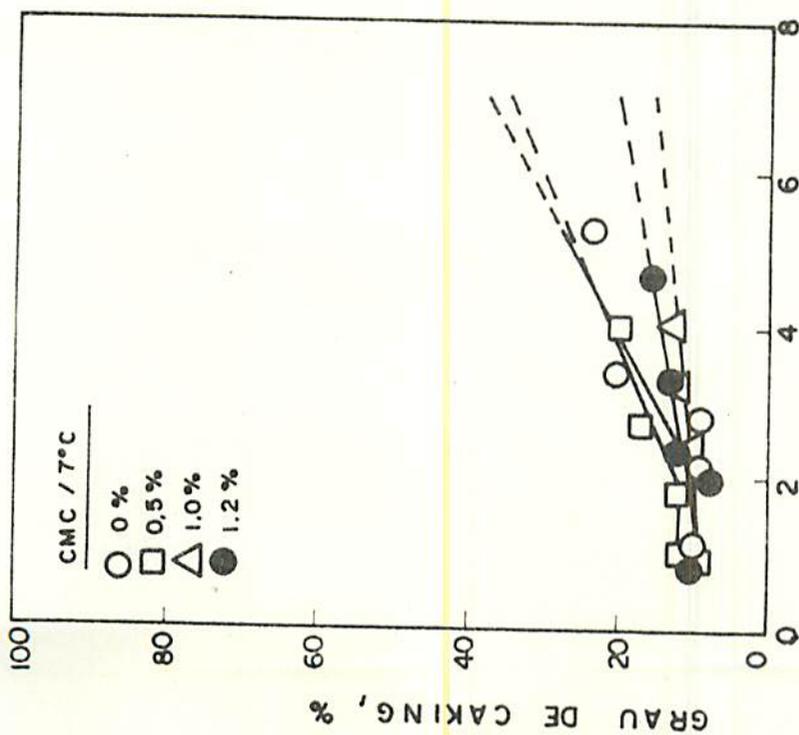
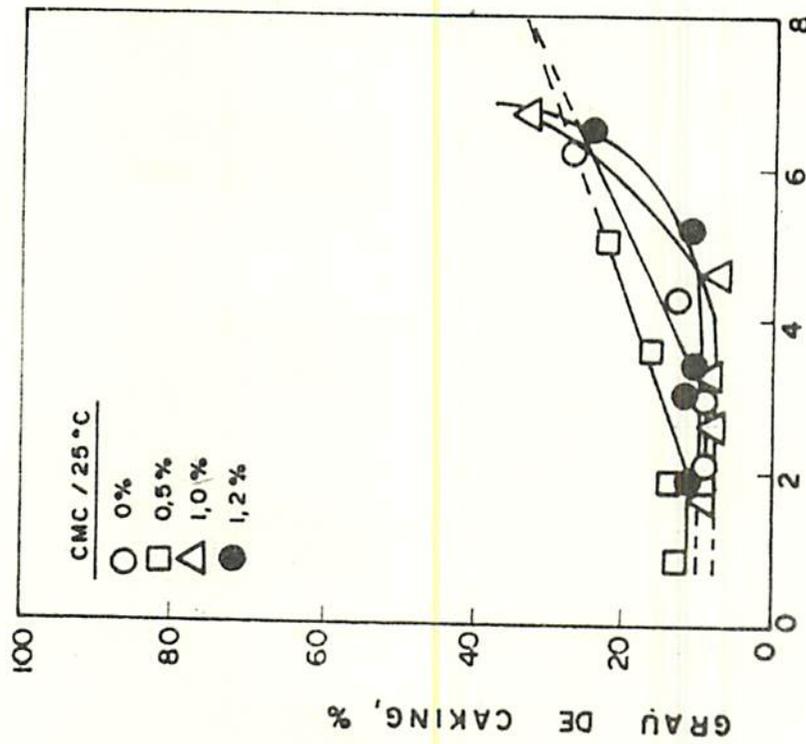


FIGURA 21 - Efeito da temperatura no grau de caking de abacate em pó, com 1,2% de CMC, em diversos níveis de umidade relativa.



TEOR D'ÁGUA .g H<sub>2</sub>O / 100g sólidos

FIGURA 22 - Efeito do teor d'água no grau de caking de abacate em pó com diversos níveis de CMC, na temperatura de 7°C.



TEOR D'ÁGUA .g H<sub>2</sub>O / 100g sólidos

FIGURA 23 - Efeito do teor d'água no grau de caking de abacate em pó com diversos níveis de CMC, na temperatura de 25°C.

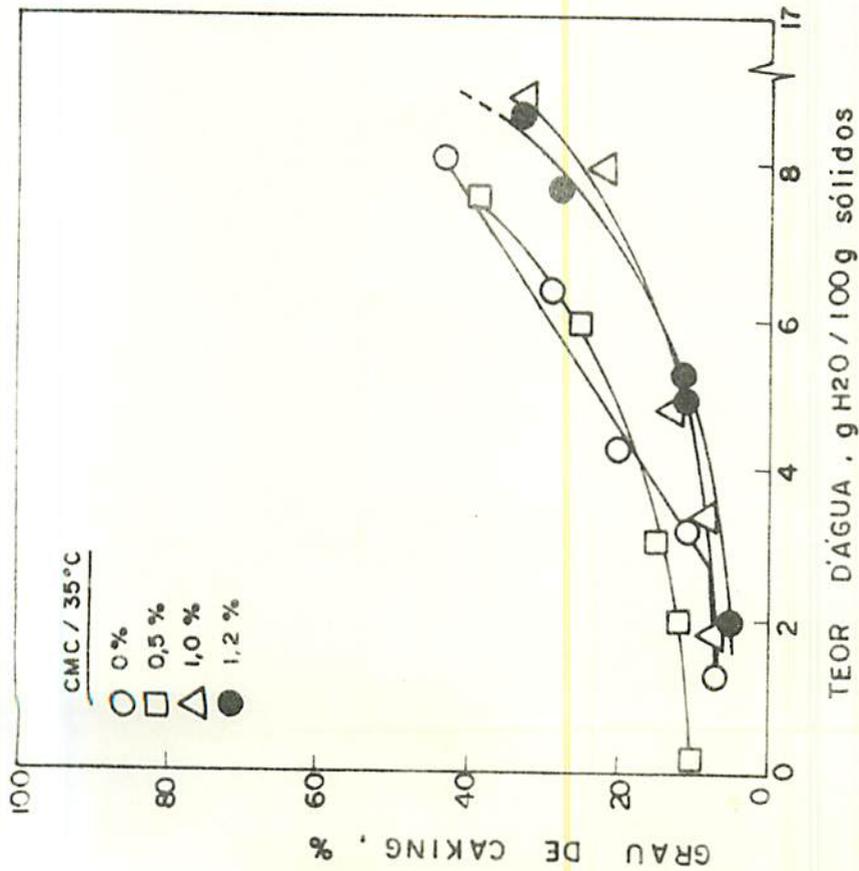


FIGURA 24 - Efeito do teor d'água no grau de caking de abacate em pó com diversos níveis de CMC, na temperatura de 35°C.

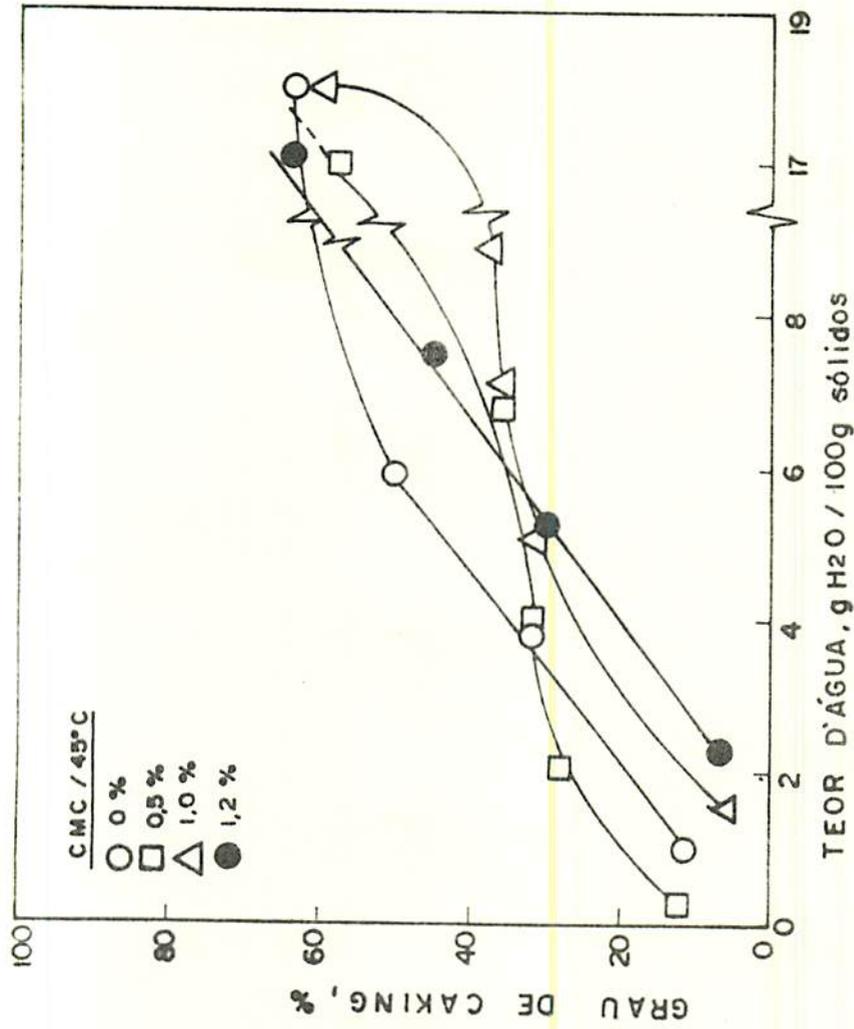
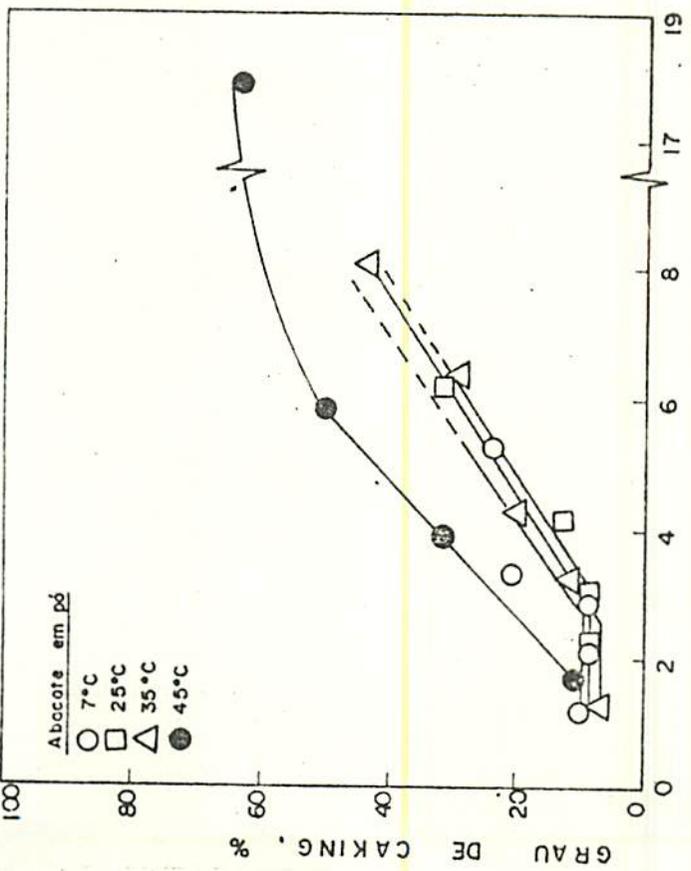


FIGURA 25 - Efeito do teor d'água no grau de caking de abacate em pó com diversos níveis de CMC, na temperatura de 45°C.

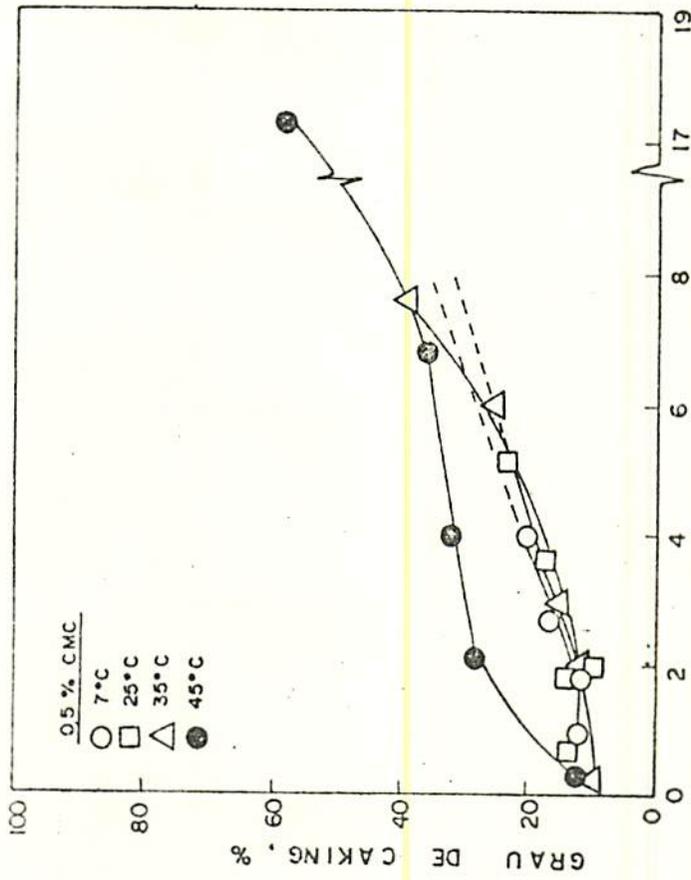
ferentes temperaturas. Observa-se que quanto maior o teor d'água, para qualquer tratamento, tem-se um aumento do grau de caking. A influência do teor d'água sobre o grau de caking se acentua notadamente nas temperaturas maiores (35 e 45°C). A exceção da temperatura de 45°C, onde o fenômeno não é claramente observado, nas demais temperaturas o grau de caking é menor para as mais altas concentrações (1,0 e 1,2%) de CMC. A influência do CMC sobre o grau de caking ou fluidez do abacate em pó, será discutida mais detidamente no item seguinte.

As Figuras 26 a 29 mostram mais claramente o aumento da influência do teor d'água sobre o grau de caking, pelo aumento da temperatura. Nestes gráficos pode ver-se com maior clareza que para todos os tratamentos (abacate em pó puro e contendo CMC), houve uma influência maior do teor d'água sobre o grau de caking, na temperatura de 45°C. Nas demais temperaturas a diferença não foi tão significativa. Os resultados encontrados são comparáveis aos de HAMANO e SUGIMOTO (17), PELEG et alii (54) que correlacionam o aumento do teor d'água com um maior grau de caking trabalhando com derivados de soja em pó e cebola em pó, respectivamente. A influência maior do teor d'água sobre o grau de caking nas mais altas temperaturas deve-se provavelmente a que o abacate em pó, conforme se vê na Figura 30, absorve um teor d'água maior a medida que aumenta a temperatura. O aumento é mais significativo em níveis maiores de umidade relativa. Este aumento da absorção d'água com o aumento da temperatura é um comportamento inverso ao apresentado por diferentes pós alimentares estudados por outros autores, DE GÓIS (12), CAL-VIDAL (10), HAMANO e AOYAMA (15), MAZ-



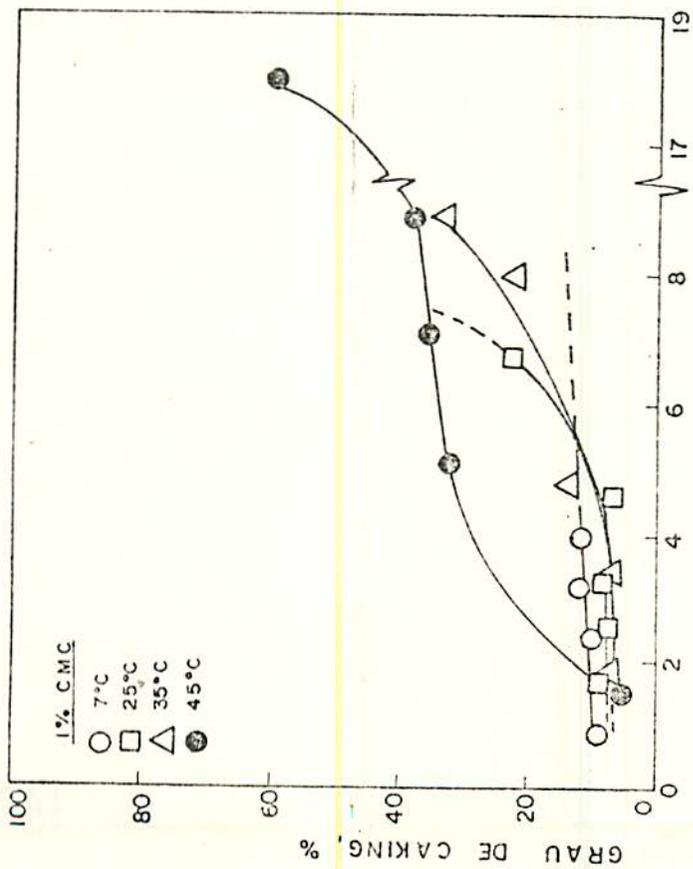
TEOR D'ÁGUA, g H<sub>2</sub>O / 100g sólidos

FIGURA 26 - Efeito do teor d'água no grau de caking de abacate em pó, em diversas temperaturas.



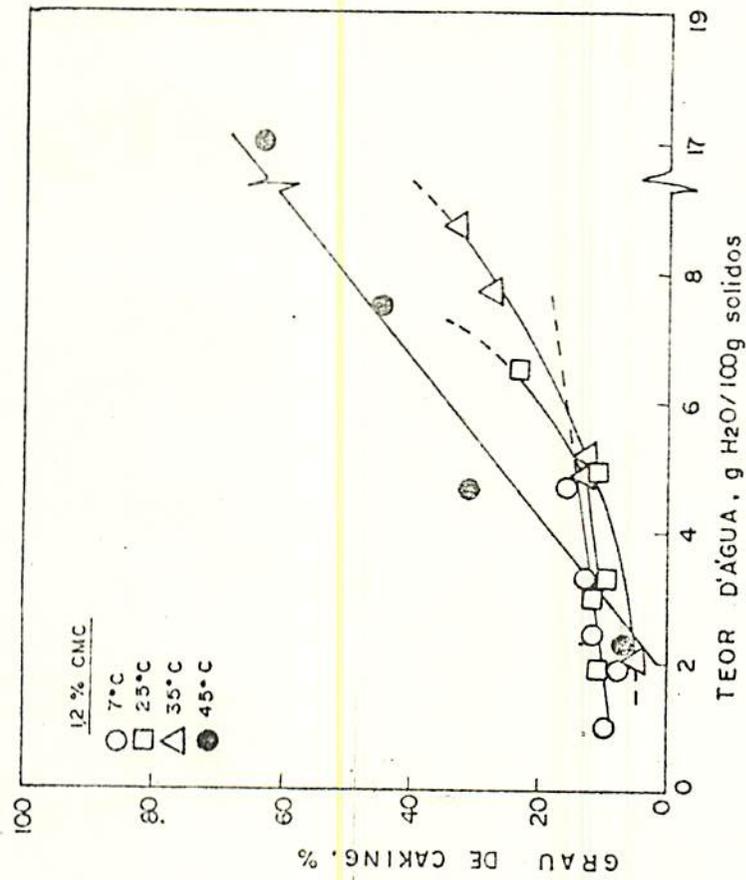
TEOR D'ÁGUA, g H<sub>2</sub>O / 100g sólidos

FIGURA 27 - Efeito do teor d'água no grau de caking de abacate em pó, com 0,5% de CMC, em diversas temperaturas.



TEOR D'ÁGUA, g H<sub>2</sub>O/100 g sólidos

FIGURA 28 - Efeito do teor d'água no grau de caking de abacate em pó, com 1% de CMC, em diversas temperaturas.



TEOR D'ÁGUA, g H<sub>2</sub>O/100g sólidos

FIGURA 29 - Efeito do teor d'água no grau de caking de abacate em pó, com 1,2% de CMC, em diversas temperaturas.

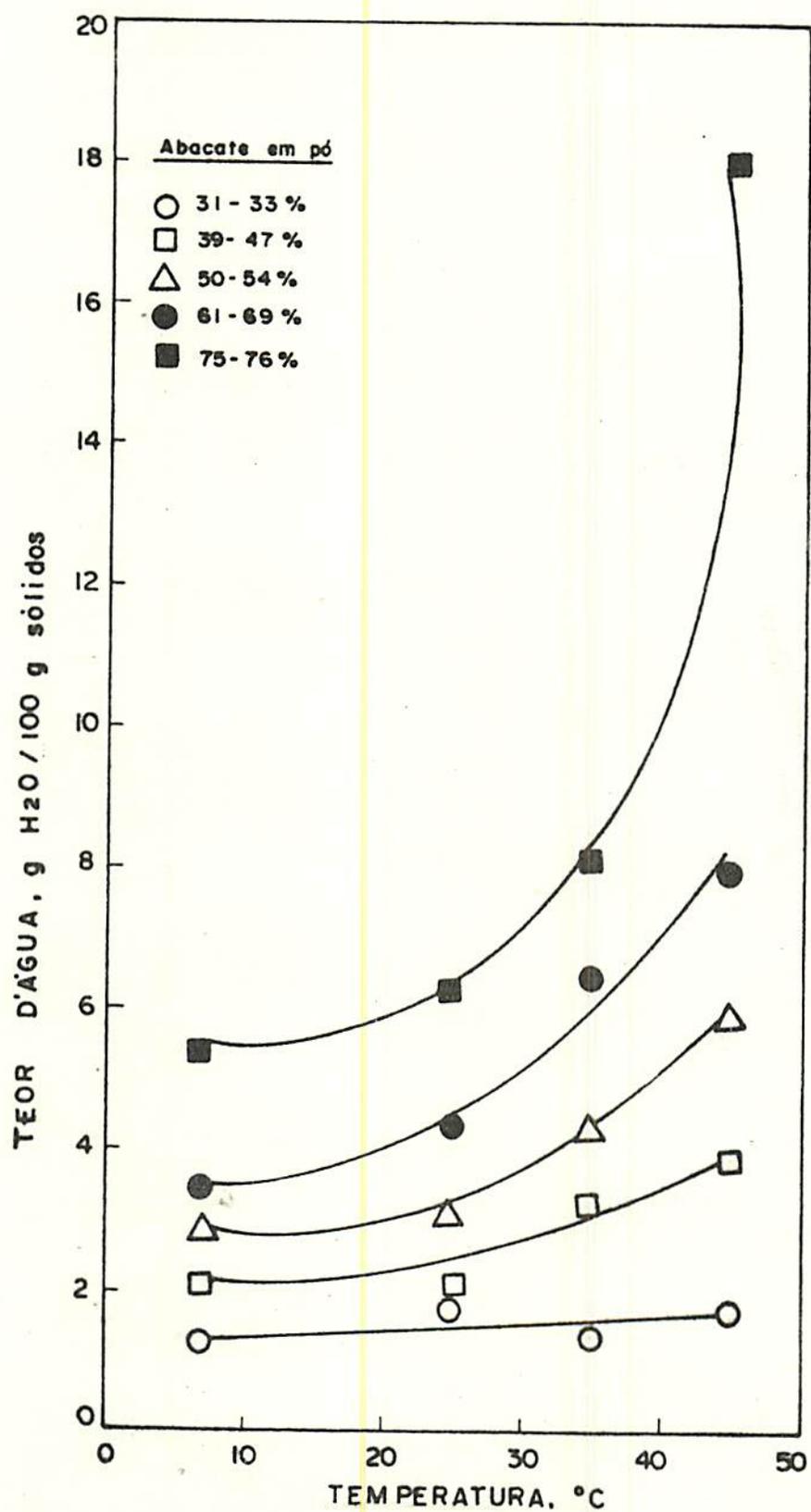


FIGURA 30 - Efeito da temperatura no teor d'água de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa.

ZA e LEMAGUER (38). BERLIN et alii (5) constataram comportamento semelhante ao apresentado pelo abacate para leite dentro de determinada faixa de umidade relativa e verificaram, dentro desta faixa, ser o calor de adsorção do pó menor que o calor latente de vaporização da água. Este comportamento termodinâmico, inverso ao apresentado pela maioria dos frutos tropicais, justifica o tipo de influência da temperatura na absorção d'água de abacate em pó e deve-se, provavelmente, ao caráter menos higroscópico do material sob estudo.

#### 4.5. Isotermas de Absorção d'água

As Figuras 31 e 32 apresentam as isothermas de absorção de abacate em pó contendo diversos níveis de lactose e Morex. Nas duas Figuras é mostrada uma menor higroscopicidade para as amostras puras (0% adição). Não é possível estabelecer uma boa correlação entre a concentração dos aditivos (lactose e Morex) com a higroscopicidade global do material. A forma das isothermas é do tipo III, típicas de frutos desidratados, segundo a classificação de ROCKLAND (67). As Figuras 33 e 34 mostram a influência dos aditivos na higroscopicidade de pós de abacate contendo lactose e Morex nas concentrações de 5 e 10%. Em ambos os níveis constata-se uma maior higroscopicidade para as amostras contendo lactose.

A Figura 35 apresenta isothermas de absorção para abacate em pó puro e abacate em pó com diferentes níveis de CMC. As isothermas encontradas foram do tipo sigmóide, à exceção das amostras com 0,5% de CMC que parece apresentar uma forma do tipo III.

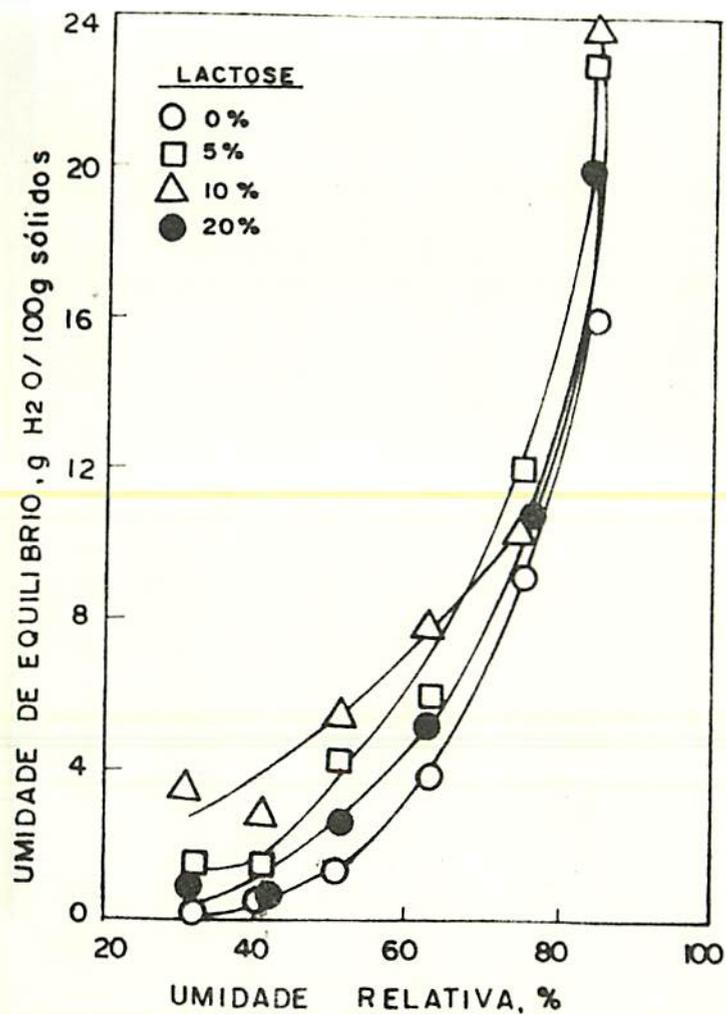


FIGURA 31 - Isothermas de absorção de abacate em pó com diversos níveis de lactose, à 35°C.

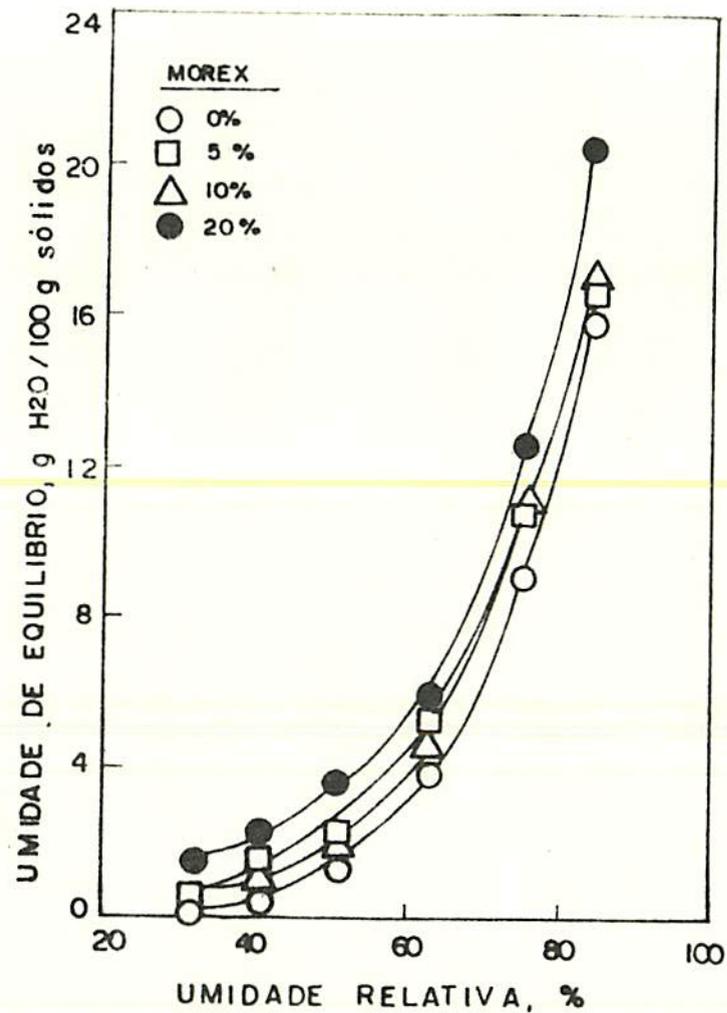


FIGURA 32 - Isothermas de absorção de abacate em pó com diversos níveis de Morex, à 35°C.

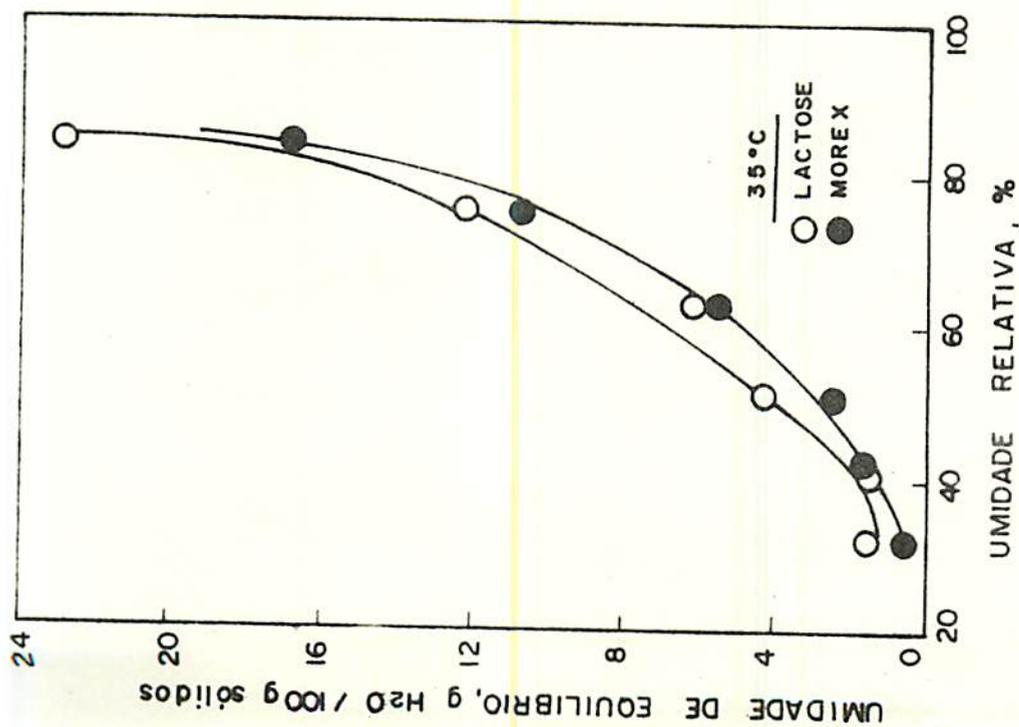


FIGURA 33 - Isothermas de absorção de abacate em pó com 5% de lactose e Morex, à 35°C.

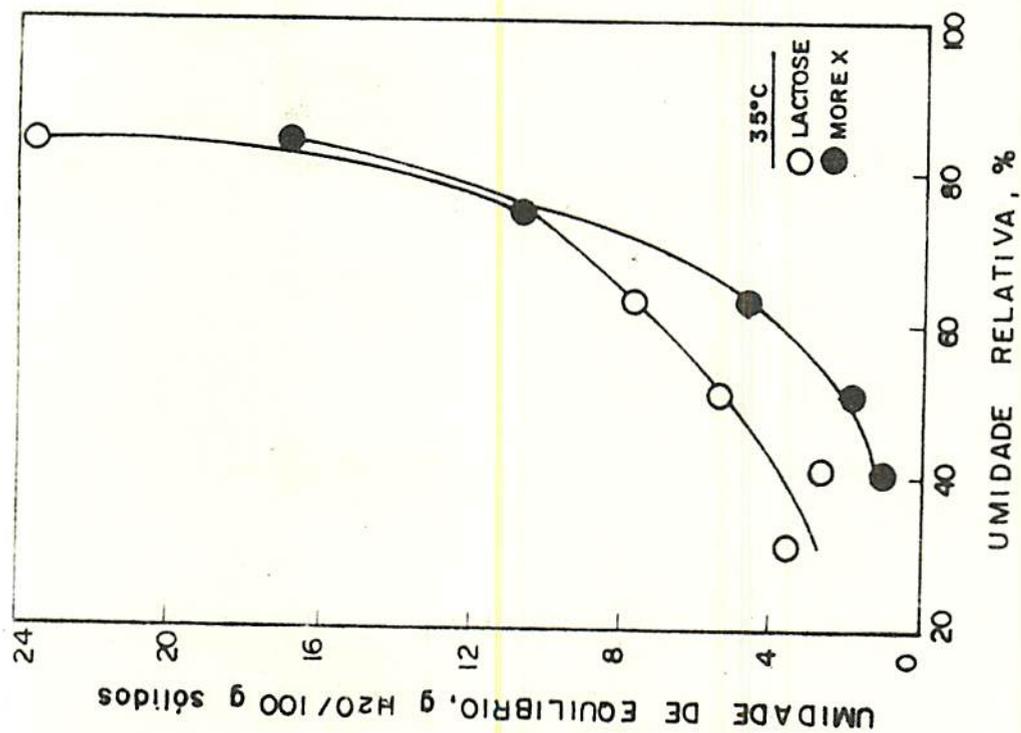


FIGURA 34 - Isothermas de absorção de abacate em pó com 10% de lactose e Morex, à 35°C.

A diferença entre a forma das isotermas das amostras contendo lactose e Morex e as que contêm CMC, deve-se provavelmente à composição do abacate utilizado. No caso das amostras contendo CMC, fez-se uso de abacate com um baixo teor de gordura (36%) e para as demais amostras (contendo lactose e Morex) foi utilizado abacate com um elevado teor de gordura (53%). A influência da composição pode ser verificada na Figura 36.

Convém salientar, conforme mostram a Figura 36 e a Tabela 6, uma absorção d'água menor para abacate em pó em faixas altas de UR, quando comparado a outros frutos. Este fato é explicável pela natureza hidrofóbica da gordura, constituinte em maior proporção no abacate em pó.

#### 4.6. Grau de Caking de Pó de Abacate Contendo Diversos Aditivos sob Efeito de Condições de Equilíbrio

As Figuras 37 e 38 mostram a influência da umidade de equilíbrio e da umidade relativa no grau de caking para amostras com diferentes níveis de lactose. De modo geral, o grau de caking aumenta com o aumento dos valores da umidade de equilíbrio e da umidade relativa tendendo a valores constantes. O comportamento apenas deixa de ser observado para o grau de caking da amostra controle sob efeito da umidade relativa, na faixa considerada, que apresentou um comportamento dependente linear na faixa sob estudo. Comparando-se o grau de caking sob influência da umidade de equilíbrio e da umidade relativa notam-se comportamentos diferentes; o grau de caking sob influência da umidade relativa, apresenta um comportamento do tipo

$$Y = a + b \log x$$

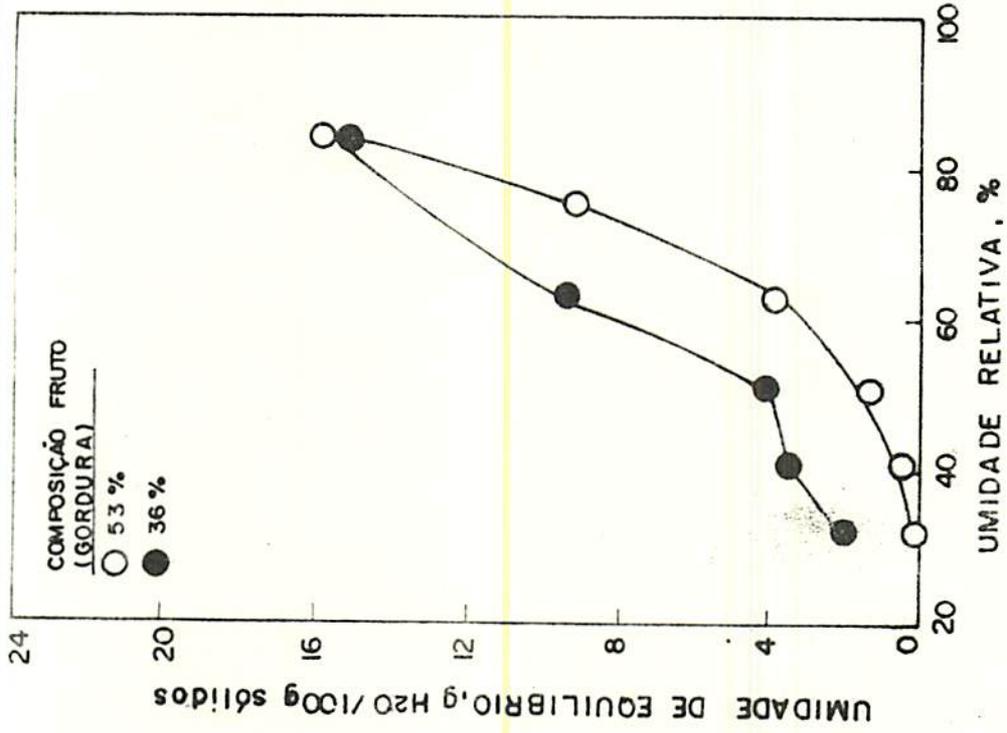


FIGURA 36 - Isotermas de absorção de abacate em pó em diferentes composições, à 35°C.

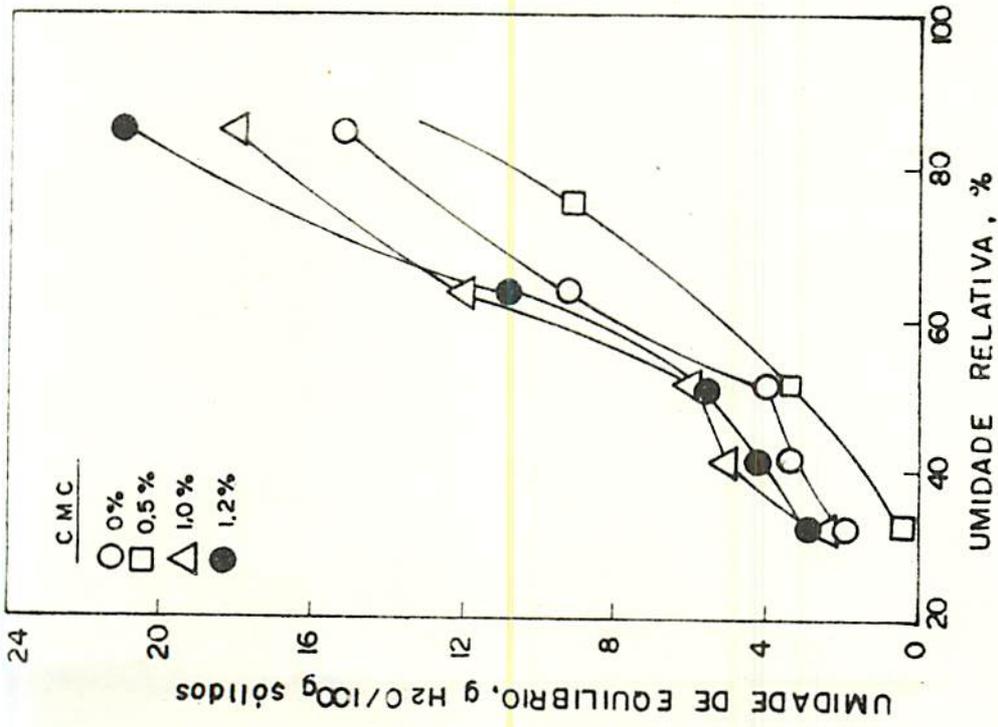


FIGURA 35 - Isotermas de absorção de abacate em pó com diferentes níveis de CMC, à 35°C.

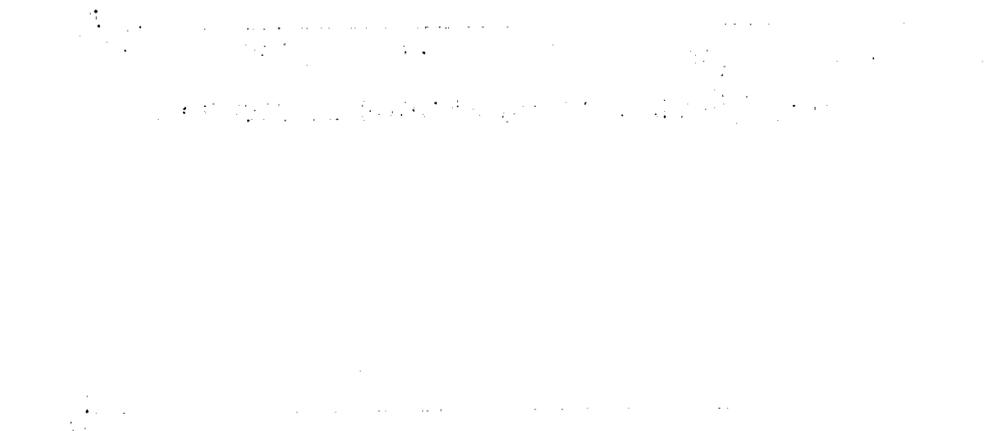


TABELA 6 - Higroscopicidade comparativa de frutos tropicais.

Fruto	UR (%)	T (°C)	Umidade Equilíbrio (%)	Referência
Mamão	84	33	60	DE GÓIS (12)
Manga	75	37	25	SIDDAPPA e NANJUDASWAMY (72)
Banana	80	25	35	IGLESIAS e CHIRIFE (21)
Abacaxi	80	45	40	IGLESIAS e CHIRIFE (21)
Abacate	84	35	16	Esse Trabalho

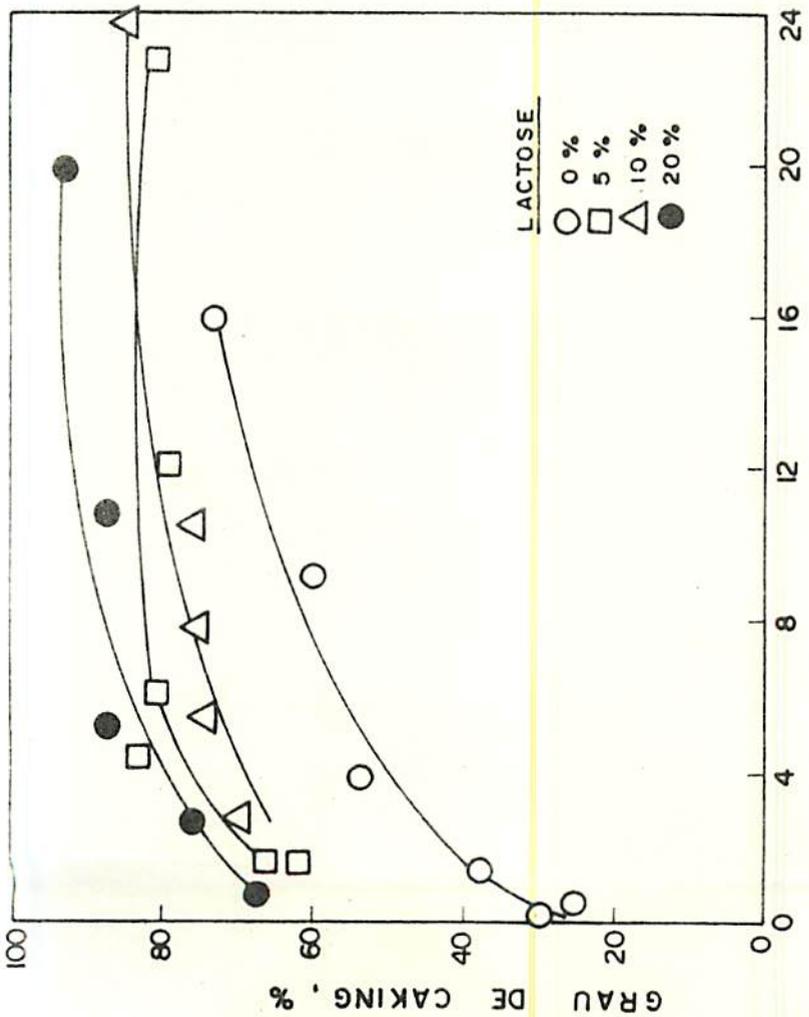


FIGURA 37 - Efeito da umidade de equilíbrio no grau de caking de abacate em pó, com diversos níveis de lactose, à 35°C.

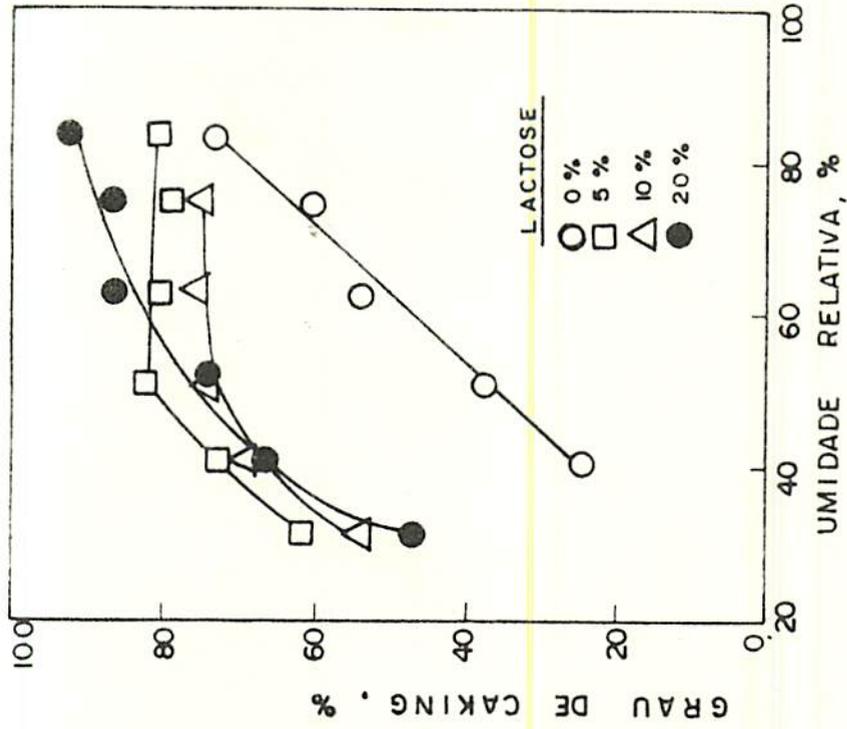


FIGURA 38 - Efeito da umidade relativa no grande caking de abacate em pó com diversos níveis de lactose, à 35°C.

e o mesmo grau de caking sob a influência da umidade de equilíbrio apresenta curvas de comportamento que pode ser ditado por equações do tipo

$$\log y = a + b \log x \quad (3)$$

O mesmo comportamento anterior é observado para as amostras com adições, em diferentes níveis, de Morex conforme se observa nas Figuras 39 e 40. Para as amostras com CMC, Figuras 41 e 42, notou-se um comportamento semelhante aos encontrados para lactose e Morex.

Pode-se comparar, sob as mesmas condições estudadas, o efeito no grau de caking da umidade de equilíbrio e do teor d'água. Um parâmetro difere do outro pelo tempo de exposição a que foram submetidas as amostras nas atmosferas condicionadas. Pelas Figuras 24 e 41 vê-se que, para um valor igual da umidade de equilíbrio e teor d'água, o grau de caking é sempre maior quando sob influência da umidade de equilíbrio. Deve-se isto certamente ao fato de que as amostras durante o menor intervalo de tempo (18 horas) retêm água em mono-camadas de adsorção e deste modo não possibilitam que o fenômeno de caking se produza com tanta intensidade. Na Figura 41, com o equilíbrio atingido, houve tempo para uma efetiva absorção d'água e conseqüente intensificação do fenômeno de caking.

Os gráficos das Figuras 37 a 40 evidenciam ainda claramente a ineficácia da lactose e de Morex na redução do grau de caking de abacate em pó. Na totalidade das observações tal fato evidencia-se ao perceber-se que a amostra controle (0% adição) foi a

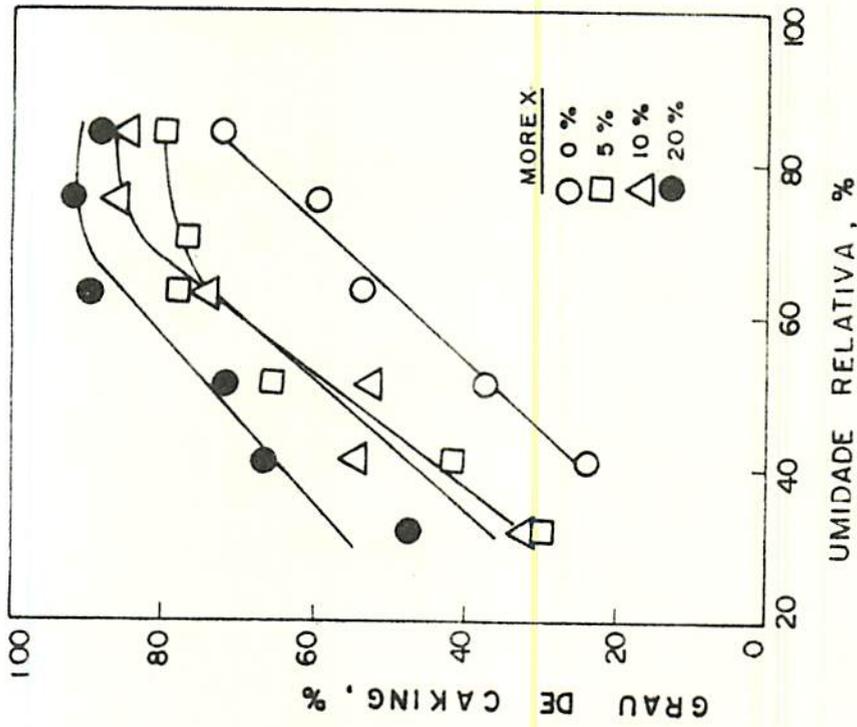


FIGURA 40 - Efeito da umidade relativa no grau de caking de abacate em pó com diversos níveis de Morex, à 35°C.

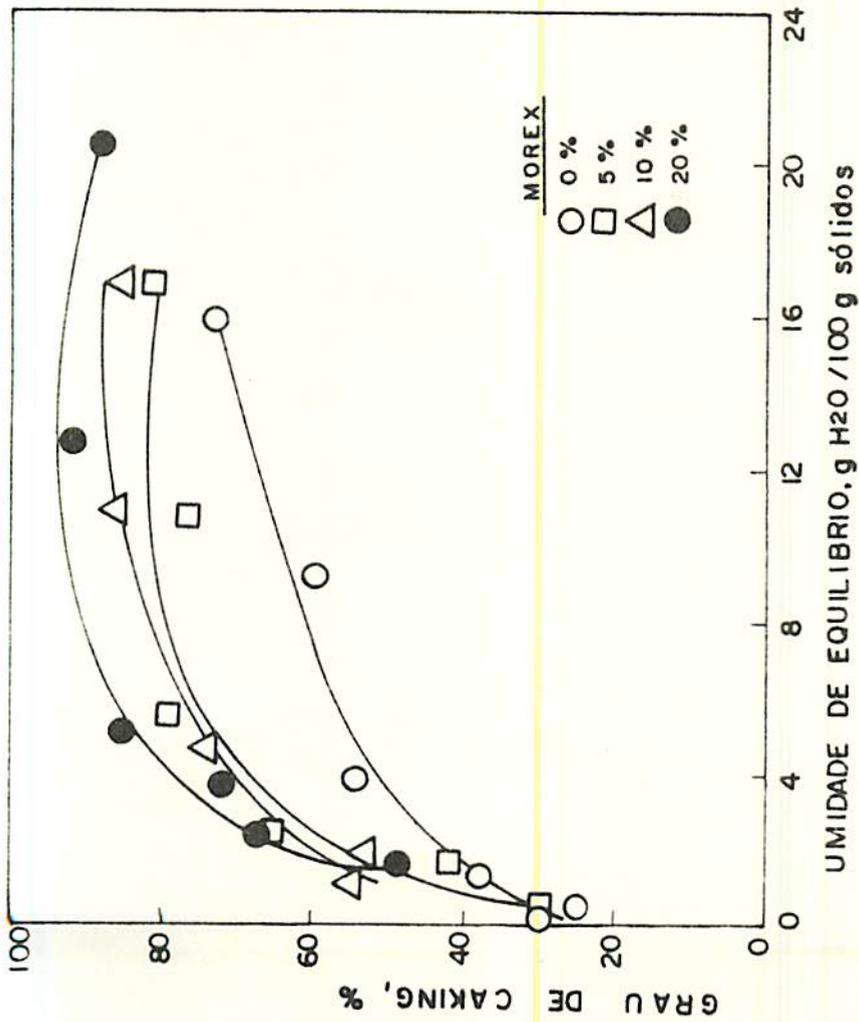


FIGURA 39 - Efeito da umidade de equilíbrio no grau de caking de abacate em pó com diversos níveis de Morex, à 35°C.

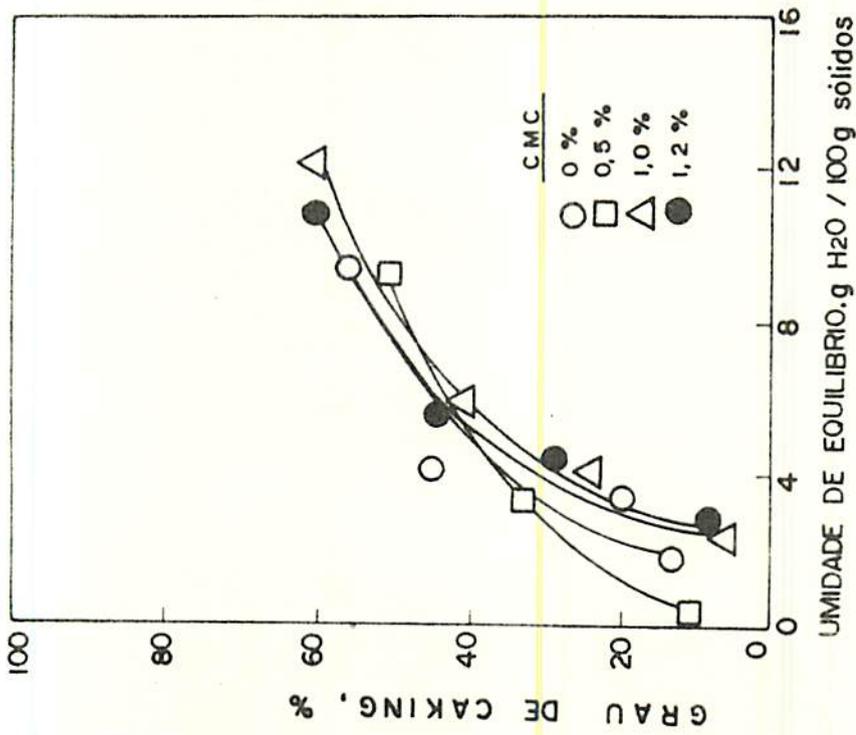


FIGURA 41 - Efeito da umidade de equilíbrio no grau de caking de abacate em pó com diversos níveis de CMC, à 35°C.

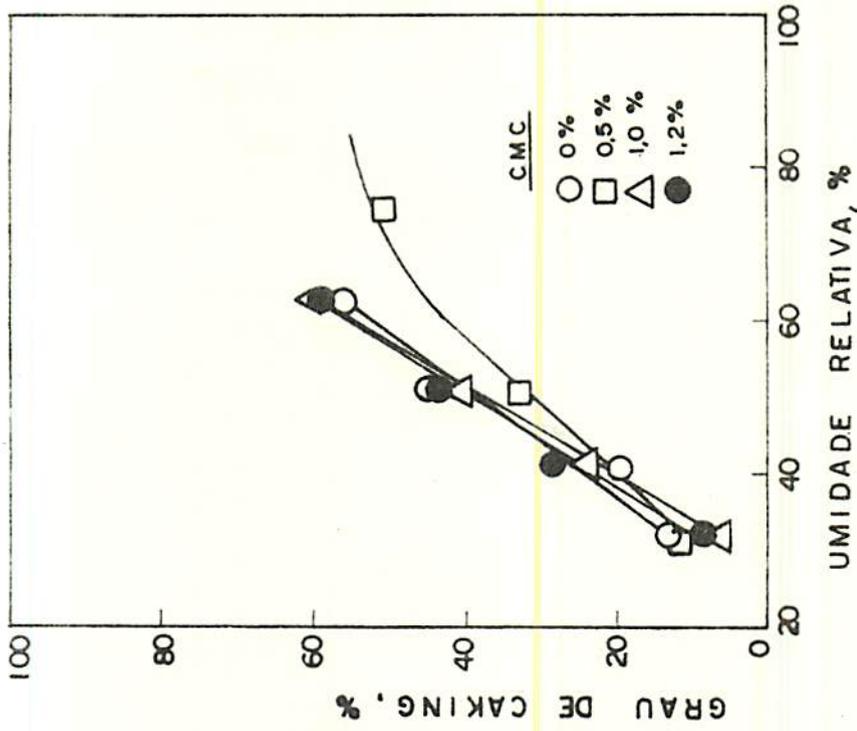


FIGURA 42 - Efeito da umidade relativa no grau de caking de abacate em pó com diversos níveis de CMC, à 35°C.

que apresentou um menor grau de caking e os níveis de adição pioraram tal propriedade de modo gradativo. Muito embora a literatura sugira a adição de lactose e amido de milho (Morex) em frutos desidratados como tomate, banana, laranja, damasco, pêssigo, etc. - ricos em açúcares e pobres em gordura - este estudo mostra que tal recomendação não pode ser aplicada a alimentos como o abacate, rico em gordura e pobre em açúcares. As Figuras 43 e 44 incluem um outro tipo de análise relacionando a influência negativa da lactose e Morex no grau de caking de pós de abacate. Estes resultados ilustram ainda o efeito da umidade relativa no grau de caking.

As Figuras 41, 42 e 45 mostram também a influência de CMC no grau de caking de abacate em pó. Os Gráficos (Figuras 41 e 42) apresentam curvas superpostas das amostras controle com as que contêm adições, em diversos níveis, de CMC. Na Figura 45 observa-se também a existência de praticamente um mesmo nível para o grau de caking, independentemente da quantidade de CMC adicionada, para os diferentes níveis de UR. Quanto ao efeito de UR, foi confirmada a influência do tipo discutido anteriormente. Pelo comportamento encontrado com estes resultados, conclui-se não haver grandes modificações no grau de caking de pós de abacate contendo CMC. Na justificativa para o comportamento observado, além das razões mencionadas pela literatura para a adição de lactose e Morex, frutos ricos em açúcares e pobres em gordura, deve-se considerar como explicações adicionais a baixa concentração de CMC utilizada, em virtude de dificuldades operacionais durante a desidratação e má distribuição de CMC nas amostras, em razão de sua alta insolubilidade.

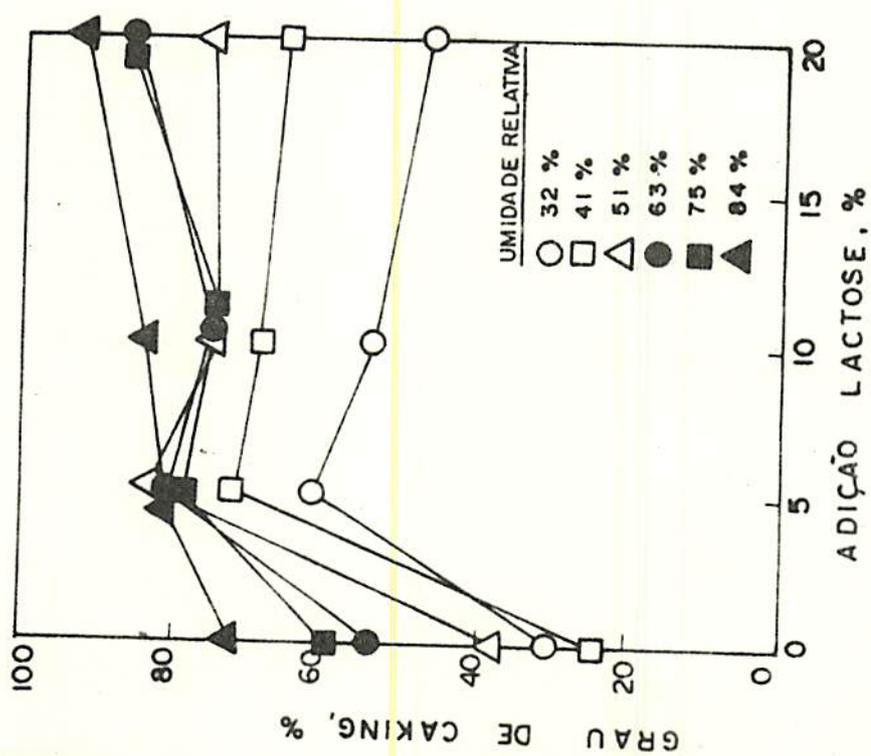


FIGURA 43 - Efeito da adição de lactose no grau de caking de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 35°C.

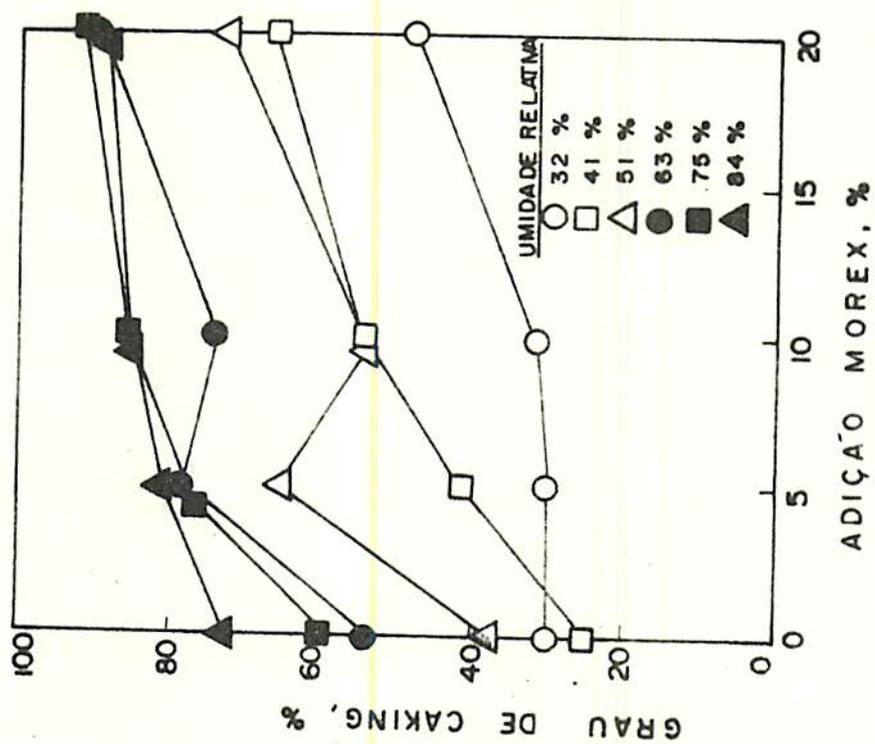


FIGURA 44 - Efeito da adição de Morex no grau de caking de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 35°C.

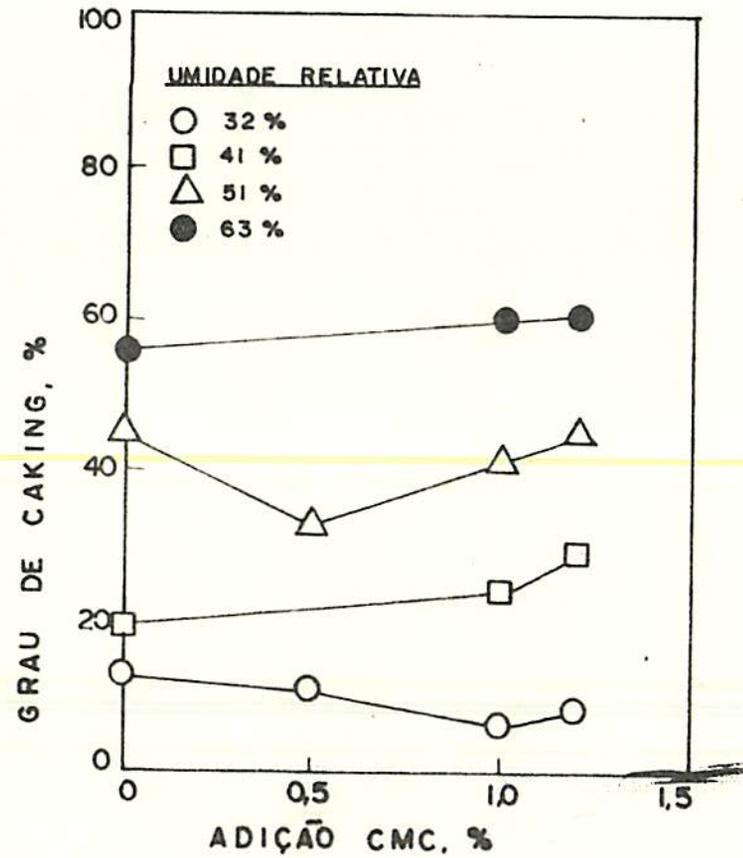


FIGURA 45 - Efeito da adição de CMC no grau de caking de abacate em pó, em diversos níveis de umidade relativa, à 35°C.

#### 4.7. Grau de Caking sob o Efeito da Composição do Fruto

Nas Figuras 46 e 47 mostra-se a influência da composição do abacate sobre o grau de caking do pó obtido. A Figura 47, com retas praticamente superpostas, apresenta o efeito da umidade relativa sobre o grau de caking de abacate em pó obtido a partir de duas variedades distintas, Simmonds (36% de gordura, base seca) e Prince (53% de gordura, base seca). Neste caso não se pode tirar uma conclusão definitiva quanto ao efeito da gordura no grau de caking. Todavia, na Figura 46, que mostra a influência da umidade de equilíbrio no grau de caking, pode observar-se uma diferença marcante entre os pós de diferentes composições. O pó obtido a partir da variedade rica em gordura apresenta grau de caking mais elevado e este fenômeno pode ser analisado sob diferentes aspectos; a composição do abacate que apresenta um alto teor de gordura poderia, numa primeira hipótese, propiciar um pó de abacate com uma maior resistência a caking em razão de uma possível ação lubrificante por parte da gordura. Tal hipótese é endossada por PELEG et alii (54) e PELEG e MANNHEIM (52) ao utilizar alguns agentes anti-caking, de origem gordurosa, para inibir caking de sacarose em pó. Neste caso, o agente teve ação lubrificante minimizando a formação de pontes entre as partículas e diminuindo a coesão do pó e conseqüente grau de caking. Entretanto, outros autores, PIETSCH (58), OPOCZKY (49,50) e PELEG (51), consideram que pós com um alto teor de gordura quando manipulados a temperaturas elevadas, podem apresentar fusão parcial deste componente com formação de pontes líquidas as quais se solidificam pelo posterior abaixamento da temperatura. Este último fenômeno pode ter ocorrido

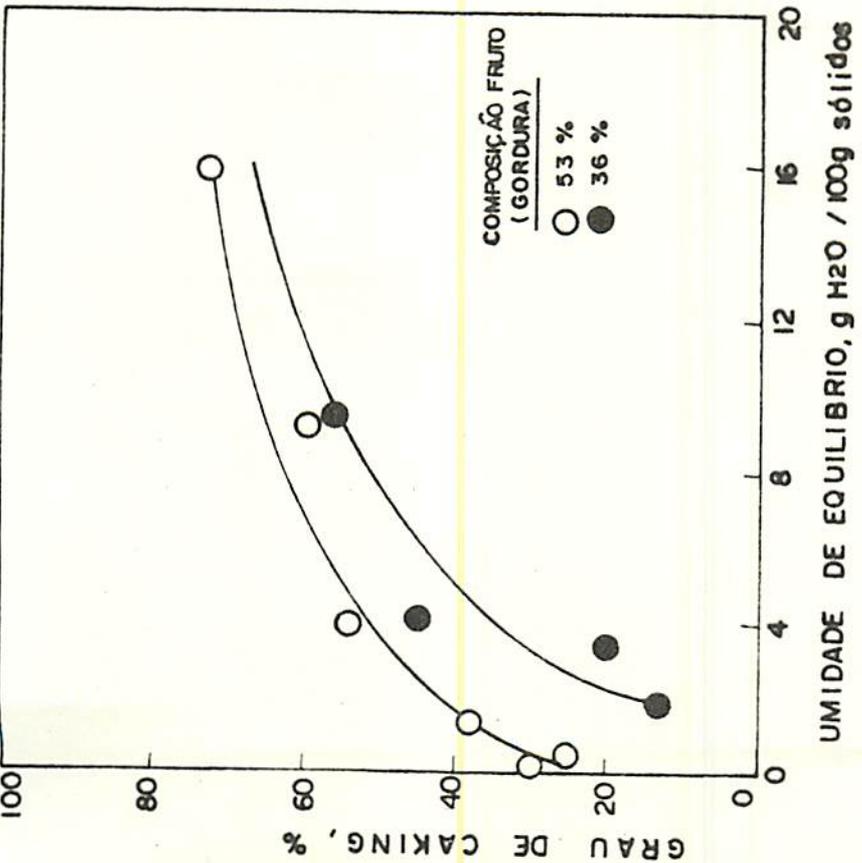


FIGURA 46 - Efeito da umidade de equilíbrio no grau de caking de abacate em pó em diferentes composições, à 35°C.

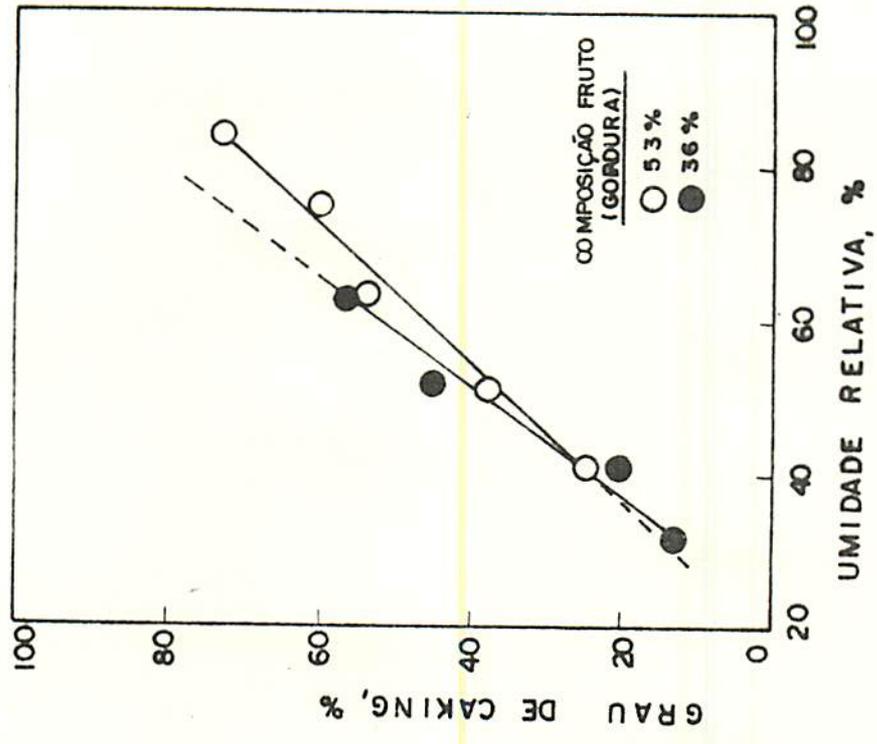


FIGURA 47 - Efeito da umidade relativa no grau de caking de abacate em pó em diferentes composições, à 35°C.

nas amostras em questão, tendo em vista que as condições experimentais foram estabelecidas na temperatura de  $35^{\circ}\text{C}$  e nesta temperatura o componente em maior proporção na gordura do abacate, ácido oleico ( $\pm 50\%$ ), ITAL (25), apresenta ponto de fusão de  $14^{\circ}\text{C}$ , PERRY e CHILTON (56), e um outro componente em grande proporção, o ácido linoleico ( $\pm 12\%$ ), apresenta ponto de fusão de  $-9,5^{\circ}\text{C}$ . Não foi possível estabelecer, pelas fontes de literatura consultadas, o ponto de fusão global da gordura do abacate.

#### 4.8. Distribuições Granulométricas

As Figuras 48 a 51 apresentam as distribuições granulométricas para todas as amostras obtidas antes de condicionadas em atmosferas controladas. Os histogramas da Figura 48 mostram a influência da adição de lactose, em diferentes níveis. Observa-se um comportamento distinto na amostra com 5% de lactose onde há um relativo equilíbrio entre os três diâmetros maiores. Nas demais amostras, as diferenças não são significativas.

Para as amostras com Morex, Figura 49, há pequenos desvios de comportamento nas que contêm 20% de Morex, com maior percentual de partículas maiores que 2 mm e menor percentual de partículas de diâmetro entre 0,84 mm e 2 mm.

Nas amostras com diferentes níveis de CMC, Figura 50, as distribuições granulométricas são praticamente as mesmas.

O efeito da gordura na distribuição granulométrica, Figura 51, não é significativo.

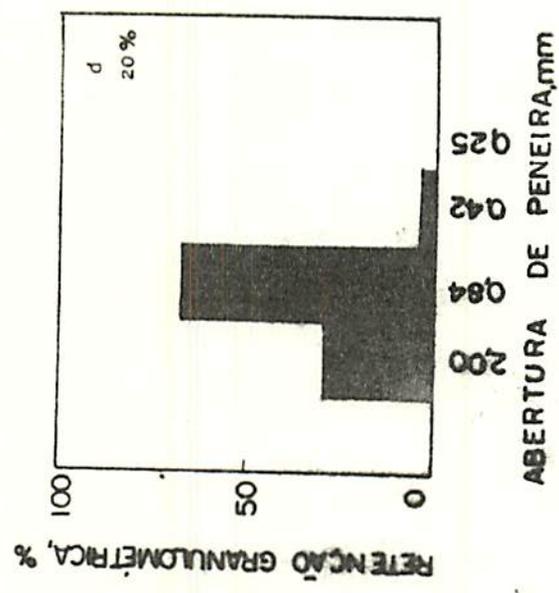
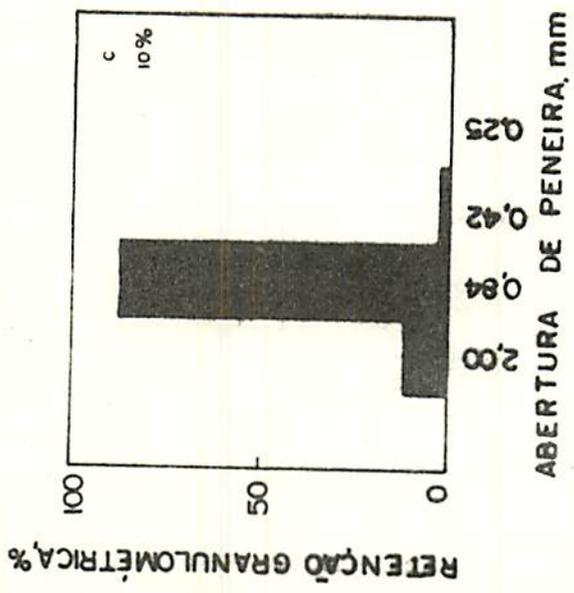
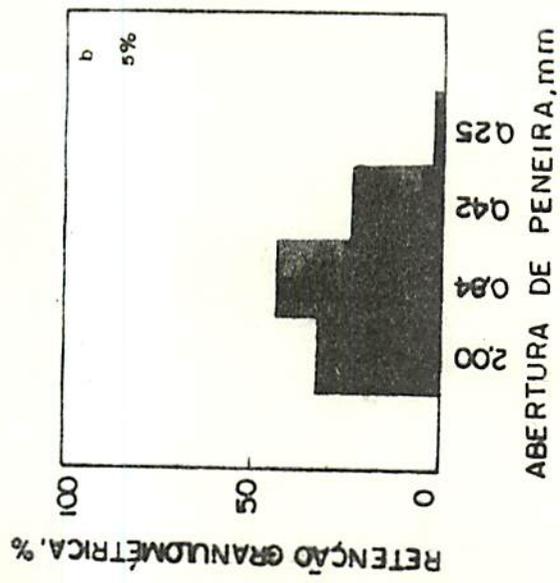
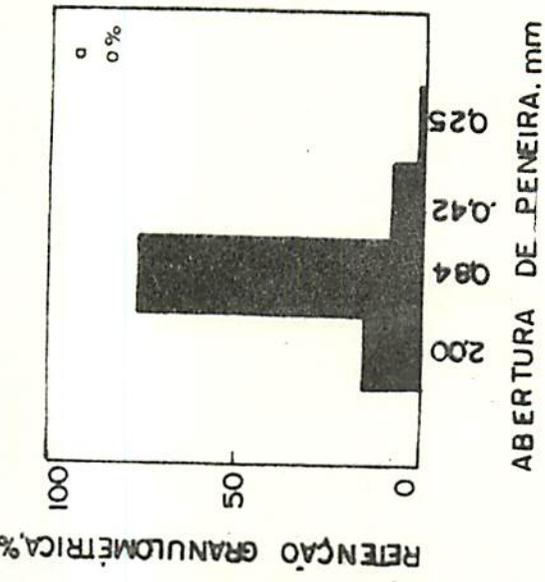


FIGURA 48 - Distribuição granulométrica de abacate em pó, com lacto se nos níveis de 0, 5, 10 e 20%.

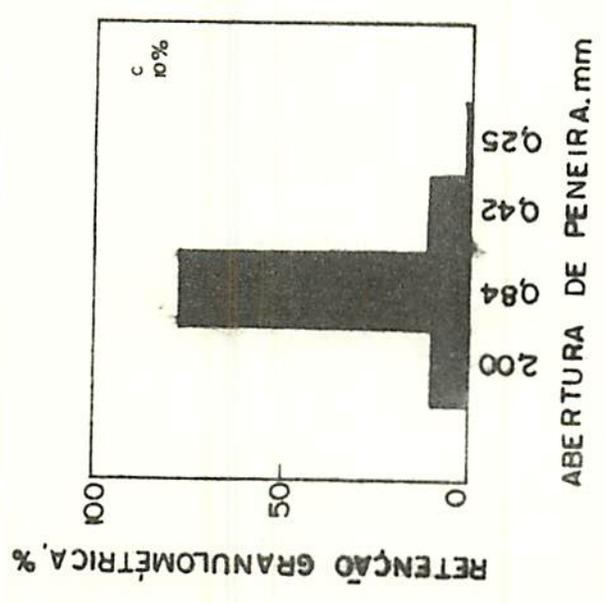
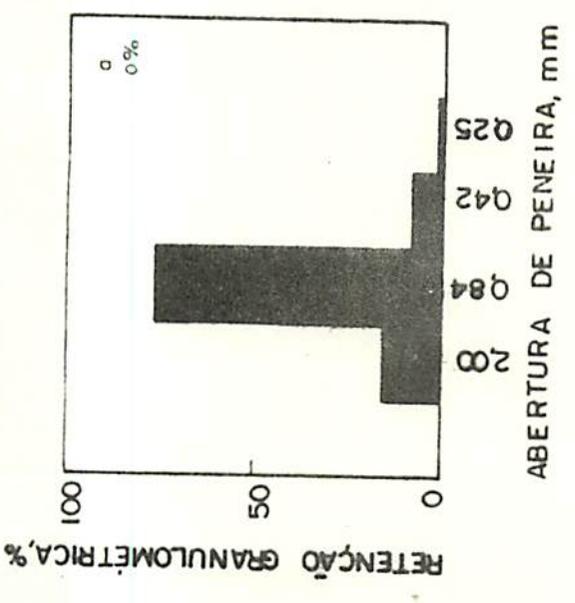
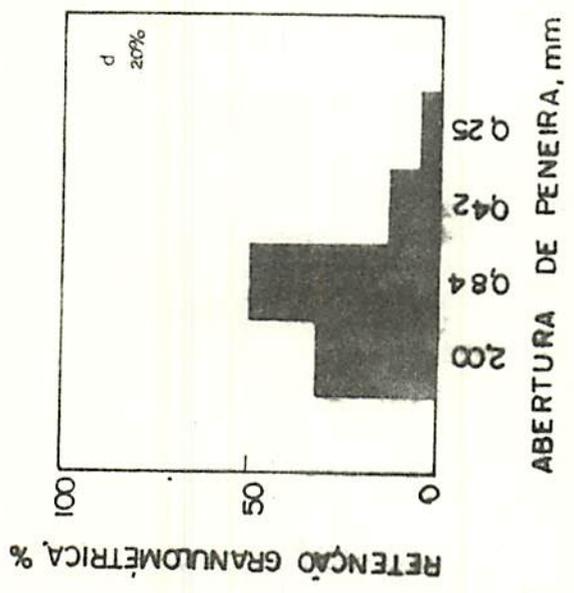
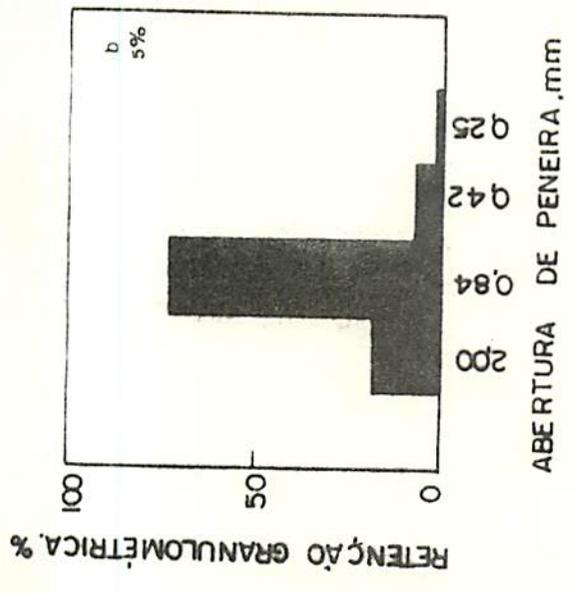


FIGURA 49 - Distribuição granulométrica de abacate em pó, com Morex nos níveis de 0, 5, 10 e 20%.

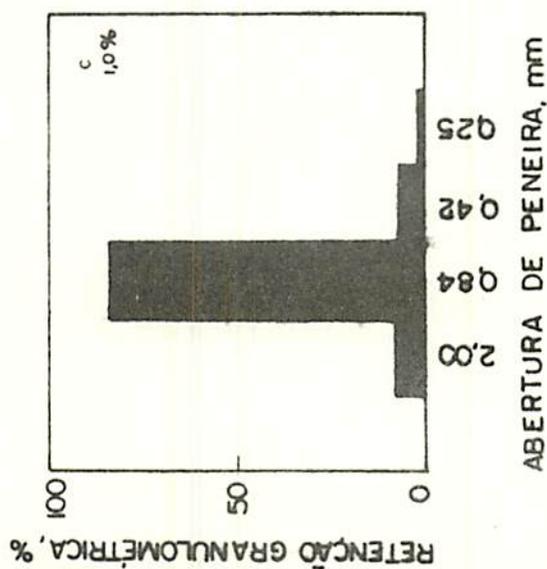
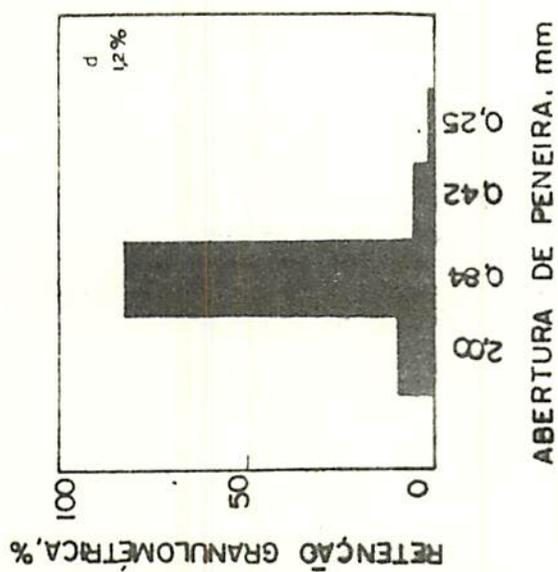
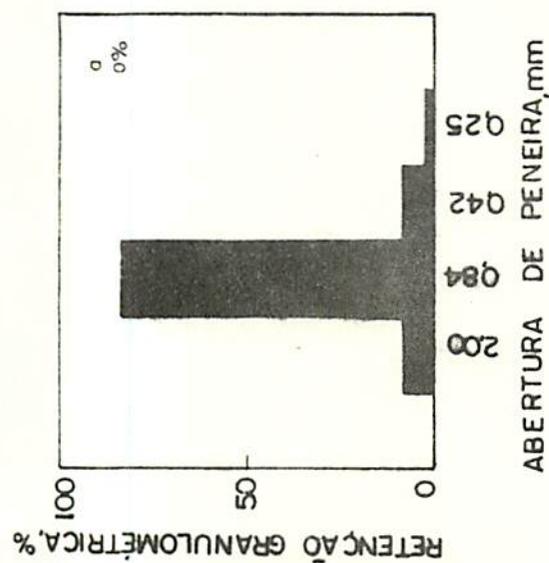
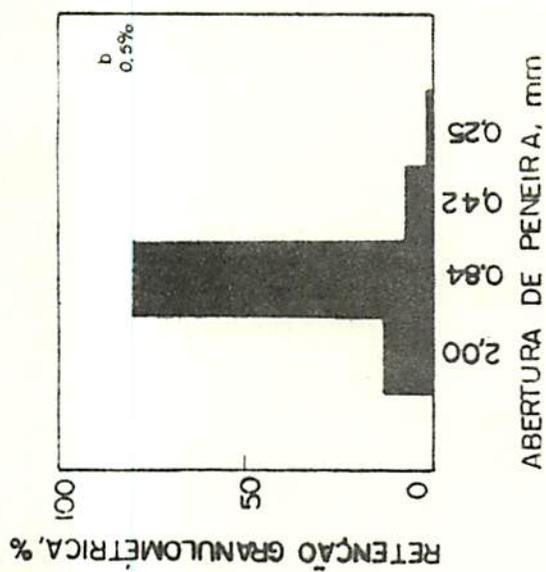


FIGURA 50 - Distribuição granulométrica de abacate em pó, com CMC nos níveis de 0; 0,5; 1,0 e 1,2%.

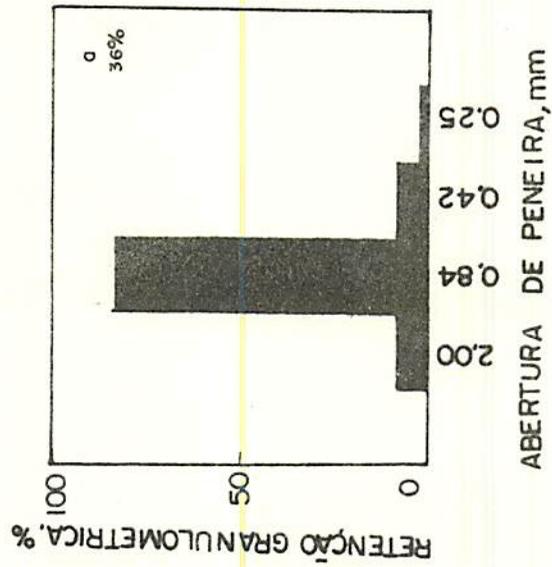
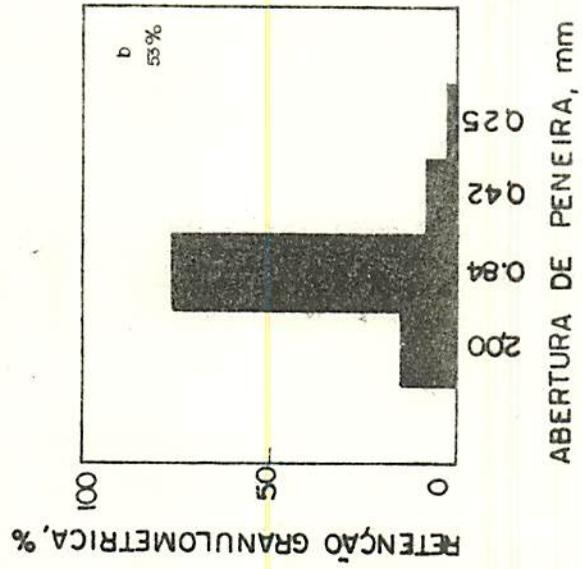


FIGURA 51 - Distribuição granulométrica de abacate em pó, com níveis de gordura de 36 e 53%.

#### 4.9. Reconstituição

As Figuras 52 e 53 mostram a influência da adição de lactose, Morex e CMC, nos tempos de reconstituição das amostras de abacate em pó. A adição de CMC foi graficada separadamente por tratar-se de amostras obtidas a partir de variedade diferente das demais. Pela Figura 52 verifica-se que as adições de lactose e Morex favorecem a reconstituição de abacate em pó. Pode-se observar que algumas das amostras com uma menor higroscopicidade (Figuras 33, 34, 35), apresentam tempos de reconstituição menores. Portanto, a avidéz por água não é o fator predominante na reconstituição de abacate em pó. Tal realidade deve-se provavelmente ao fato de estar a gordura - com sua natureza hidrofóbica - intervindo, neste tipo de interação. Além disto, a falta de um estudo cinético da absorção desautoriza a tentativa de relacionamento da reconstituição com absorção d'água.

WOODHAMS e MURRAY (80) afirmam que a terceira fase do fenômeno de reconstituição, dispersão, e a quarta fase, velocidade de dissolução, são favorecidas, respectivamente, pela ausência e pela presença de partículas menores. O fato de partículas menores poderem favorecer ou dificultar a reconstituição de um pó talvez seja a justificativa para a linha de comportamento observada na reconstituição das amostras com lactose e Morex. Exemplificando, as amostras com 5 e 10% de Morex apresentaram tempos de reconstituição menores que as amostras com 5 e 10% de lactose. A amostra com 5% de lactose apresentou uma percentagem de partículas menores superior a amostra com 5% de Morex (Figuras 48-b, 49-b) e

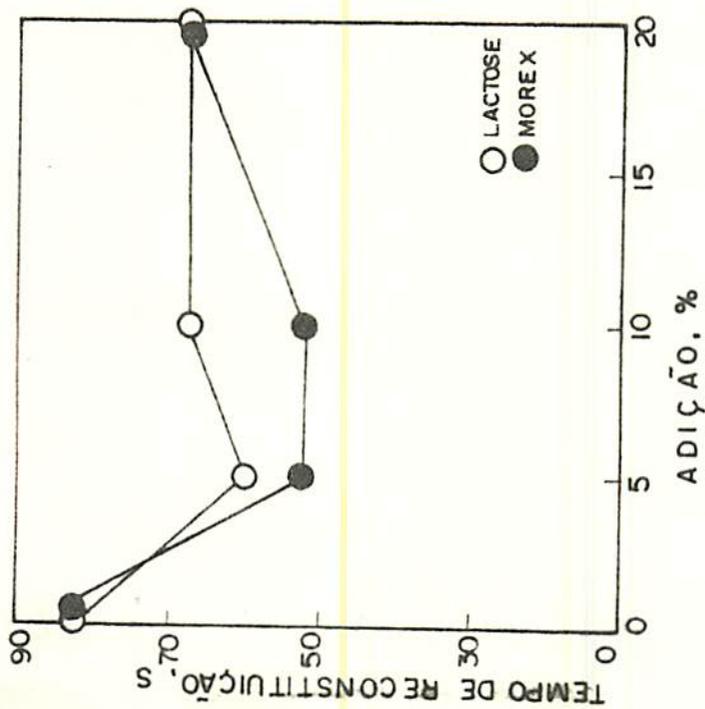


FIGURA 52 - Efeito das adições de lactose e Morex no tempo de reconstituição de abacate em pó.

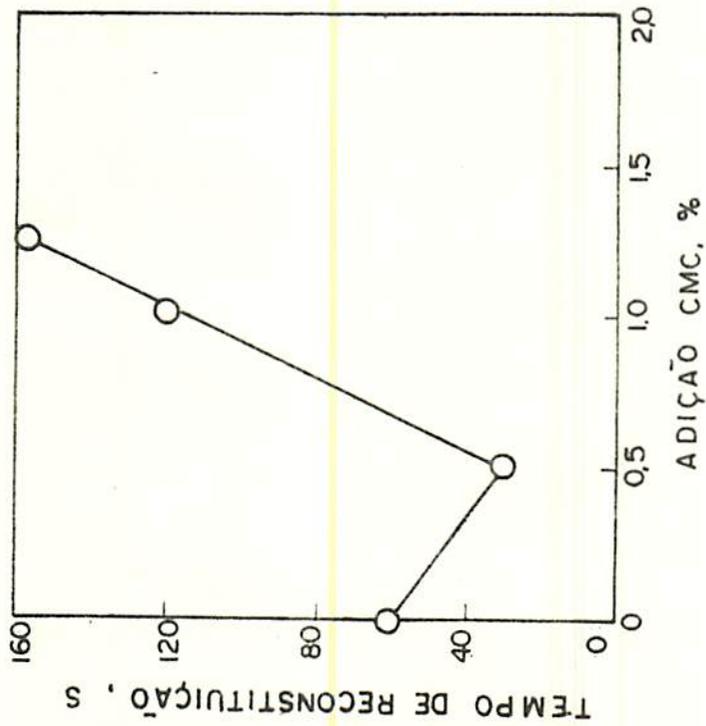


FIGURA 53 - Efeito da adição de CMC no tempo de reconstituição de abacate em pó.

como provável consequência disso teve-se uma melhor dispersão das amostras contendo Morex. No caso das amostras com um teor de 10% de lactose, que contém um maior teor de partículas maiores - superior à amostra com 10% de Morex - (Figuras 48-c, 49-c), é provável que a etapa velocidade de dissolução seja o fator predominante no tempo de reconstituição das amostras contendo este aditivo.

Na reconstituição das amostras com CMC, Figura 53, o provável mecanismo responsável pelo tempo de reconstituição está ligado à própria natureza química do CMC que controla inteiramente a propriedade, já que os dados de distribuição granulométrica para estas amostras são idênticos (Figura 50). À exceção da amostra controle (0% CMC) que apresenta um tempo de reconstituição intermediário, um aumento do nível de CMC aumenta o tempo de reconstituição da amostra. Neste caso é provável que o CMC, altamente insolúvel, esteja contribuindo para um aumento da dificuldade de reconstituição.

#### 4.10. Observações Complementares

As amostras de pós de abacate apresentaram coloração 7,5 Y 8,5/4 na notação MUNSELL (39) de cores por meios visuais. As amostras submetidas às atmosferas condicionadas, as amostras tiveram mudança de coloração e após condicionamento mais intenso (35°C, 84% UR) e conseqüentemente maior grau de caking, a coloração das amostras foi 7,5 Y 5/4 no mesmo sistema.

O material em pó apresentou um sabor "levemente" amar-

go. LLA'DSER e PIÑAGA (33) e BROWN (8) afirmam que o desenvolvimento de sabores "amargos" no abacate é ativado pelo calor. BROWN (8) relaciona três compostos alifáticos de cadeia longa (C17) como responsáveis pelo sabor "amargo" do abacate, predominantes na fruta não maturada e na fruta quando sob tratamento térmico.

menor que outras frutas tropicais, notadamente as pobres em gordura e ricas em açúcares.

6. Lactose e amido de milho (Morex) contribuíram para o aumento do grau de caking de abacate em pó enquanto que o CMC não propiciou modificações significativas.

7. O grau de caking foi maior para o abacate em pó com teor de gordura mais elevado.

8. As distribuições granulométricas de pós de abacate com lactose, Morex e CMC, não apresentaram diferenças significativas.

9. Lactose e Morex favorecem a reconstituição de abacate em pó enquanto que CMC desfavorece tal propriedade.

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

1. Realizar estudos da cinética de absorção d'água para abacate em pó a diferentes temperaturas.
2. Estabelecer o efeito integrado das variáveis ambientais na cinética de caking em pós de abacate e similares.
3. Estender análise do efeito de adiconantes a outros compostos de natureza química diversa.
4. Realizar análises microestruturais visando uma melhor compreensão dos mecanismos de caking.
5. Estabelecer funções ou modelos matemáticos capazes de expressar o inter-relacionamento das diversas condições ambientais com grau de caking de pós de frutos tropicais.

## 7. RESUMO

A fluidez de pós de abacate obtidos pelo processo de spray drying foi estudada por três dos vários métodos recomendados pela literatura: tempo de escoamento, ângulo de repouso e retenção granulométrica. Após constatar-se ser a retenção granulométrica o método mais conveniente na realização dos estudos de fluidez de pós de abacate, passou-se a caracterizá-la de grau de caking (limite de não fluidez) e sendo analisados os efeitos da temperatura (7 a 45°C), umidade relativa (30 a 75%), teor d'água, teor de gordura e de diversos adiconantes (lactose, amido de milho e CMC) em tal propriedade. O grau de caking foi significativamente influenciado pela temperatura e umidade relativa havendo nas condições mais baixas valores críticos para estes parâmetros ambientais a partir dos quais sua influência no grau de caking se acentuou de modo marcante. Foi encontrada também uma grande influência no grau de caking em função da elevação do teor d'água, que se acentuou com a temperatura. Lactose e amido de milho aumentaram o grau de caking enquanto o CMC não propiciou modificações

significativas. O teor de gordura do fruto também apresentou um e feito significativo no grau de caking de pós de abacate.

Verificou-se também o comportamento higroscópico de abacate em pó quando comparado a outras frutas tropicais e constatou-se um menor nível de absorção d'água para o abacate.

O poder de reconstituição de abacate foi aumentado pela adição de lactose e amido de milho e diminuído pela adição de CMC.

## 8. SUMMARY

The flowability of spray-dried avocado powders was studied using three different methods reported in the literature: funnel discharge time, angle of repose and granulometric retention. The preliminary results indicated that the granulometric retention was the most convenient method for the research purposes of this study. The caking degree (a non flow condition) was greatly affected by the environment temperature, relative humidity, water content, fat content and added solids (lactose, corn starch and CMC). When analysing the combined effect of the temperature and the relative humidity (or water content) critical values were found for these variables from which their effect on the degree of caking changes drastically.

The addition of lactose and corn starch had a negative effect in depressing the degree of caking of avocado powders, while the addition of CMC presented a non significant effect on that property. The fruit fat content played also an important role on the degree of caking in an antagonistic manner.

The hygroscopic behaviour of spray-dried avocado powders differed remarkably from other tropical fruits having a lower degree of water absorption when exposed at similar condition of temperature and relative humidity.

The reconstitution power of such type of powders improved by the addition of lactose and corn starch and was affected in a negative manner with addition of CMC.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHMED, E.M. e BARMORE, C.R. Avocado. In: NAGY, S. e SHAW, P.E. ed. Tropical and subtropical fruits. Composition, properties and uses. Westport, AVI, 1980 - Chap. 2, p. 121-56.
2. AUDU, T.O.K.; LONCIN, M. e WEISSER, H. Sorption isotherms of sugars. Lebensmittel - Wissenschaft und Technologie, Zurich, 11(1):31-4, 1978.
3. AUGENSTEIN, D.A. e HOGG, R. An experimental study of the flow of dry powders over inclined surfaces. Powder Technology, Lausanne, 19:205-15, 1978.
4. BAUDER, U. How to improve the filling accuracy of food powders. Food Engineering International, New York, (12):23-5, Dec. 1978.
5. BERLIN, E.; ANDERSON, B.A. e PALLANSCH, M.J. Effect of temperature on water vapor sorption by dried milk powder. Journal of Dairy Science, Washington, 53(2):146-49, 1970.

6. BIALE, J.B. e YOUNG, R.E. The avocado pear. In: HULME, A.C. ed. The biochemistry of fruits and their products. London, Academic Press, 1971. V.2, Chap. 1, p. 1-63.
7. BRENNAN, J.G.; HERRERA, J. e JOWITT, R. A study of some of the factors affecting the spray drying of concentrated orange juice, on a laboratory scale, Journal of Food Technology, Oxford, 6:295-307, 1971.
8. BROWN, B.I. Isolation of unpleasant flavor compounds in the avocado (*Persea americana*). Journal of Agricultural and Food Chemistry, Easton, 20(4):753-57, 1972.
9. CAL-VIDAL, J. Comportamento higroscópico e poder autoaglomerante (caking) de suco de maracujá (*Passiflora edulis*; f. flavicarpa) liofilizado. São Paulo, USP, 1982, 205 p. (Tese Doutorado).
10. CAL-VIDAL, J. Potencial higroscópico como índice de estabilidade de grãos e cereais desidratados, Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 17(1):61-76, jan. 1982.
11. CRAIK, D.J. e MILLER, B.F. The flow properties of powders under humid conditions. Journal of Pharmacy and Pharmacology, London, 10:136T-144T, 1958.
12. DE GÓIS, V.A. Comportamento higroscópico do mamão liofilizado com vista ao estabelecimento do seu potencial de "caking". Lavras, ESAL, 1981, 114 p. (Tese Mestrado).

13. ESEZOBO, S. e PILPEL, N. Moisture and gelatin effects on the interparticle attractive forces and the compression behaviour of oxytetracycline formulations. Journal of Pharmacy and Pharmacology, London, 29:75-81, 1977.
14. FARLEY, R. e VALENTIN, F.H.H. Effect of particle size upon the strength of powders. Powder Technology, Lausanne, 1: 344-54, 1967/1968.
15. HAMANO, M. e AOYAMA, Y. Effect of saturated fatty acids on hygroscopic equilibria of spray dried soy sauce. Journal of Agricultural and Chemical Society, Tokyo, 47(11):719-25, 1973.
16. HAMANO, M.; AOYAMA, Y. e SUGIMOTO, H. Effect of sugars on water sorption of powdered soy sauce. Journal of Agricultural and Chemical Society, Tokyo, 50(7):311-17, 1976.
17. HAMANO, M. e SUGIMOTO, H. Water sorption, reduction of caking and improvement of free flowingness of powdered soy sauce and miso. Journal of Food Processing and Preservation, Westport, 2:185-96, 1978.
18. HARWOOD, C.F. Compaction effect on flow property indexes for powders. Journal of Pharmaceutical Sciences, Washington, 60(1):161-3, Jan. 1971.
19. HORWITZ, W. ed. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 12 ed. Washington, A.O.A.C., 1975, 1094 p.

20. HUBER CORPORATION. Informação Técnica, ACI 502. Maryland, May 1978.
21. IGLESIAS, H.A. e CHIRIFE, J. An empirical equation for fitting water sorption isotherms of fruits and related products. Journal of the Canadian Institute of Food Science and Technology, Alberta, 11(1):12-15, Jan. 1978.
22. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz; Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 2. ed. São Paulo, 1976. V.1. 371 p.
23. IRANI, R.R. e CALLIS, C.F. The handling properties of cereal products. Cereal Science Today, Minneapolis, 5(7):198-201, 214 p. Sep. 1960.
24. IRANI, R.R.; CALLIS, C.F. e LIN, T. Flow conditioning and anticaking agents. Industrial and Engineering Chemistry, Easton, 51(10):1285-88, 1959.
25. ITAL - INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. Abacate - Série frutas tropicais. Campinas, 1978, V.1, 212 p.
26. JENSEN, J.D. Methods of instantizing powders for the preparation of food drinks. The Manufacturing Confectioner, Glen Rock, p. 47-56, Oct. 1973.
27. JONES, T.M. e PILPEL, N. The flow of granular magnesia. Journal of Pharmacy and Pharmacology, London, 18:429-42, 1966.

28. KAREL, M. Dehydration of foods. In: FENNEMA, O.R. ed. Principles of Food Science, physical principals of food preservation. New York, Marcel Dekker, 1975. V.4, Chap. 10, p. 309-57.
29. LASCELLES, D.R. e BALDWIN, A.J. Dispersibility of whole milk powder in warm water. New Zealand Journal of Dairy Science and Technology, New Zealand, 11:283-4, 1976.
30. LAZAR, M.E.; BROWN, A.H.; SMITH, G.S.; WONG, F.F. e LINDQUIST, F.E. Experimental production of tomato powder by spray drying. Food Technology, Chicago, 10(3):129-34, Mar. 1956.
31. LAZAR, M.E. e MORGAN, A.I. Instant apple sauce. Food Technology, Chicago, 20(4):179-81, Apr. 1966.
32. LIMA, A.W.O. Predição de vida de prateleira de banana liofilizada com base na análise da cinética de transferência do vapor d'água em filmes flexíveis. Lavras, ESAL, 1981, 143 p. (Tese Mestrado).
33. LLA'DSER, M. e PIÑAGA, F. Criodeshidratación de aguacates. I. Estudio sobre el comportamiento entéctico e higroscópico del aguacate liofilizado y ensayo de almacenamiento acelerado del mismo. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, Valencia, 15(4):547-59, Dic. 1975.
34. MAKOWER, B. e DYE, W. Equilibrium moisture content and crystallization of amorphous sucrose and glucose. Journal of Agriculture and Food Chemistry, Easton, 4(1):72-77, 1956.

35. MANNHEIM, C.H. Determination of the chemical and physical factors which regulate hygroscopicity in dehydrated foods as a basis for preventing water upstake, prolonging their storage life. Research Report 080-037. Technion - Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, 1974.
36. MARSHALL JR., W.R. Atomization and Spray-Drying. New York, American Institute of Chemical Engineers, 1954. 122 p.
37. MASTERS, K. Spray-Drying; an introduction to principles, operational practice and applications. 2.ed. London, George Godwin, 1976. 684 p.
38. MAZZA, G. e LEMAGUER, M. Water sorption of yellow globe onion (*Allium cepa* L.). Journal of the Canadian Institute of Food Science and Technology, Alberta, 11(4):189-93, Oct. 1978.
39. MUNSELL, A.H. Munsell Book of Color, 2,5R - 10G, Glossy Finish Collection. Baltimore, MacBeth, 1976.
40. MOREYRA, R. e PELEG, M. Compressive deformation patterns of selected food powders. Journal of Food Science, Chicago, 45:864-68, 1980.
41. MOREYRA, R. e PELEG, M. Propriedades físicas relacionadas con el flujo de alimentos en polvo. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, Valencia, 21(3):322-30, 1981.
42. NELSON, N. A photometric adaptation of Somogy Method for the determination of glucose. Journal of Biological Chemists, Baltimore, 153:375, 1944.

43. NEUMANN, B.S. Powders. In: HERMANS, J.J. ed. Flow properties of disperse systems. North Holland, 1953. Chap. 10. p. 382-422.
44. NICKERSON, T.A. Lactose. In: WEBB, B.H. e JOHNSON, K.R. Fundamentals of dairy chemistry. Westport, AVI, Chap. 6, p. 273-324.
45. NIRO ATOMIZER (A/S). Analytical Methods for dry milk products. A/S Niro Atomizer. Copenhagen, Dinamarca, 1978. 109 p.
46. NIRO ATOMIZER ed. Boletim Técnico da Niro Atomizer Ind. e Com. Ltda. São Paulo.
47. NOTTER, G.K.; TAYLOR, D.H. e BREKKE, J.R. Pineapple juice powder. Food Technology, Chicago, 12(6):363-6, July, 1958.
48. NOTTER, G.K.; TAYLOR, D.H. e DOWNES, N.J. Orange juice powder. Factors affecting storage stability. Food Technology, Chicago, 13(2):113-8, Feb. 1959.
49. OPOCZKY, L. Fine grinding and agglomeration of silicates. Powder Technology, Lausanne, 17:1-7, 1977.
50. OPOCZKY, L. Fine grinding and the interaction of particles. Proceedings of the First European Symposium on Storage and Handling of Particulate Solids, Amsterdam, 1980, p. 302-15.
51. PELEG, M. Flowability of food powders and methods for its evaluation - a review. Journal of Food Process and Engineering, Westport, 1:303-28, 1977.

52. PELEG, M. e MANNHEIM, C.H. Effect of conditioners on the flow properties of powdered sucrose. Powder Technology, Lausanne, 7:45-50, 1973.
53. PELEG, M. e MANNHEIM, C.H. The mechanism of caking of powdered onion. Journal of Food Processing and Preservation, Westport, 1:3-11, 1977.
54. PELEG, M.; MANNHEIM, C.H. e PASSY, N. Flow properties of some food powders. Journal of Food Science, Chicago, 38(6): 959-64, Sep./Oct. 1973.
55. PELEG, Y. e MANNHEIM, C.H. Caking of onion powders. Journal of Food Technology, Oxford, 4:157-60, 1969.
56. PERRY, R.H. e CHILTON, C.H. ed. Chemical Engineers Handbook. 5<sup>a</sup> ed. New York, McGraw-Hill, 1973. p. 3-40.
57. PHILLIP, A.B.; HICKS, G.C.; JORDAN, J.E. e HIGNETT, T.P. Effect of particle size of raw materials on granulation of fertilizers. Journal of Agriculture and Food Chemistry, Easton, 6(6):449-53, 1958.
58. PIETSCH, W.B. Adhesion and agglomeration of solids during storage, flow and handling - a survey. Journal of Engineering for Industry - Transactions of the ASME, New York, p. 435-49, May 1969.
59. PILPEL, N. Flow properties of non-cohesive powders. Chemical and Process Engineering, London, 46:167-79, Apr. 1965.

60. PILPEL, N. Some effects of moisture on the flow and cohesiveness of powders. Manufacturing Chemist and Aerosol News, London, (4):19-22, 1970.
61. PILPEL, N. e BRITTEN, J.R. Effects of temperature on the flow and tensile strengths of powders. Powder Technology, Lausanne, 22:33-34, 1979.
62. PISECKY, J. Bulk density of milk powders. The Australian Journal of Dairy Technology, Australia, p. 106-11, Sep. 1980.
63. PISECKY, J. e SORENSEN, I.H. Some aspects of whey drying. Danish Dairy Industry, Denmark, special issue, p. 1-4, Sep. 1976.
64. PRUTHI, J.S.; SINGH, L.J. e LAL, G. The equilibrium relative humidity of garlic powder. Journal of the Science of Food and Agriculture, Oxford, 10(10):359-61, Jul. 1959. ✓
65. RHODIA - Agentes de acondicionamento de pós e líquidos. Boletim Técnico da Rhodia, São Paulo, 1981.
66. ROCKLAND, L.B. Saturated salt solutions for static control of relative humidity between 5 and 40°C. Analytical Chemistry, Washington, 32(10):1375-6, Sep. 1960.
67. ROCKLAND, L.B. Water activity and storage stability. Food Technology, Chicago, 23(10):11-21, Oct. 1969.
68. SALWIN, H. Moisture levels required for stability in dehydrated foods. Food Technology, Chicago, 17(9):1114-21, Sep. 1963.

69. SCOVILLE, E. e PELEG, M. Evaluation of the effects of liquid bridges on the bulk properties of model powders. Journal of Food Science, Chicago, 46(1):174-77, 1981.
70. SELTZER, E. e SETTELMEYER, J.T. Spray-drying of foods. Advances in Food Research, New York, 2:399-533, 1949.
71. SHOTTON, E. e HARB, N. The effect of humidity and temperature on the cohesion of powders. Journal of Pharmacy and Pharmacology, London, 18:175-78, 1966. *NO FEAR SP-IAC*
72. SIDDAPPA, G.S. e NANJUNDASWAMY, A.M. Equilibrium relative humidity (ERH) relationships of fruit juice and custard powders. Food Technology, Chicago, 14(10):533-37, Oct. 1960.
73. SILVERBERG, J.; LEHR, J.R. e HOFFMEISTER, G. Microscopic study of the mechanism of caking and its prevention in some granular fertilizers. Journal of Agricultural and Food Chemistry, Easton, 6(6):442-48, Jun. 1958. *1953-BC-SPC*
74. TANEYA, S. Flow properties of powders. Japanese Journal of Applied Physics, Japan, 2(1):728-34, Nov. 1963.
75. TANEYA, S. Flow properties of powders II. Japanese Journal of Applied Physics, Japan, 4(4):297-307, Apr. 1965.
76. TRAIN, D. Some aspects of the property of angle of repose of powders. Journal of Pharmacy and Pharmacology, London, 10(3):127T-135T, 1958.

77. VILDER, J. Influence de la cristallisation du lactose dans le concentré de sérum sur l'hygroscopicité et l'agglomération de la poudre de sérum. Revue de l'Agriculture, 28(4): 963-75, Jui./Août. 1975.
78. WHITE, G.W.; BELL, A.V. e BERRY, G.K. Measurement of the flow properties of powders. Journal of Food Technology, Oxford, 2:45-52, 1967.
79. WHYNES, A.L. e DEE, T.P. The caking of granular fertilizers: an investigation on a laboratory scale. Journal of the Science of Food and Agriculture, Oxford, 8(10):577-91, Oct. 1957.
80. WOODHAMS, D.J. e MURRAY, M.J. Properties of spray dried milk powders. New Zealand Journal of Dairy Science and Technology, New Zealand, (650):172-78, 1976.

10. ANEXOS

## ANEXO I

## CONDIÇÕES DE SPRAY DRYING

Foi utilizado um secador com atomizador de disco (centrifugo), girando a uma velocidade de 22 mil RPM, com o seguinte dimensionamento da câmara de secagem:

diâmetro .....	160 cm
lado cilíndrico .....	107 cm
lado cônico .....	130 cm
abertura de saída .....	25 cm

A vazão de ar introduzida no secador foi de  $11 \text{ m}^3/\text{min}$  a uma temperatura de entrada de  $200^\circ\text{C}$  e temperatura de saída de  $100^\circ\text{C}$ .

A vazão do material de alimentação foi de  $2 \text{ lb/hr}$ .

## ANEXO II

MICROFOTOGRAFIAS DE ABACATE EM PÓ  
SOB EFEITO DE CONDIÇÕES AMBIENTAIS

As Figuras 54 e 55 mostram microfotografias de abacate em pó obtidas a partir de um microscópio Nikon SMZ-10 com aumento de 10 vezes.

As Figuras 54-A e 54-B mostram amostras de abacate em pó hermeticamente isoladas, nas temperaturas de 25 e 35°C. Observa-se mudança na distribuição granulométrica das amostras, com maior percentual de aglomerados na temperatura mais elevada (35°C). Desta maneira, ratifica-se a hipótese formulada anteriormente de que tenha havido, na temperatura de 35°C, fusão parcial da gordura do abacate em pó e em consequência um maior grau de caking das amostras submetidas a esta temperatura.

As Figuras 55-A e 55-B mostram a influência de níveis diversos de umidade relativa na aglomeração das amostras. Comparando-as à Figura 54-A, comprova-se a influência crescente da umidade relativa ambiental, contribuindo para um grau de caking mais acentuado.

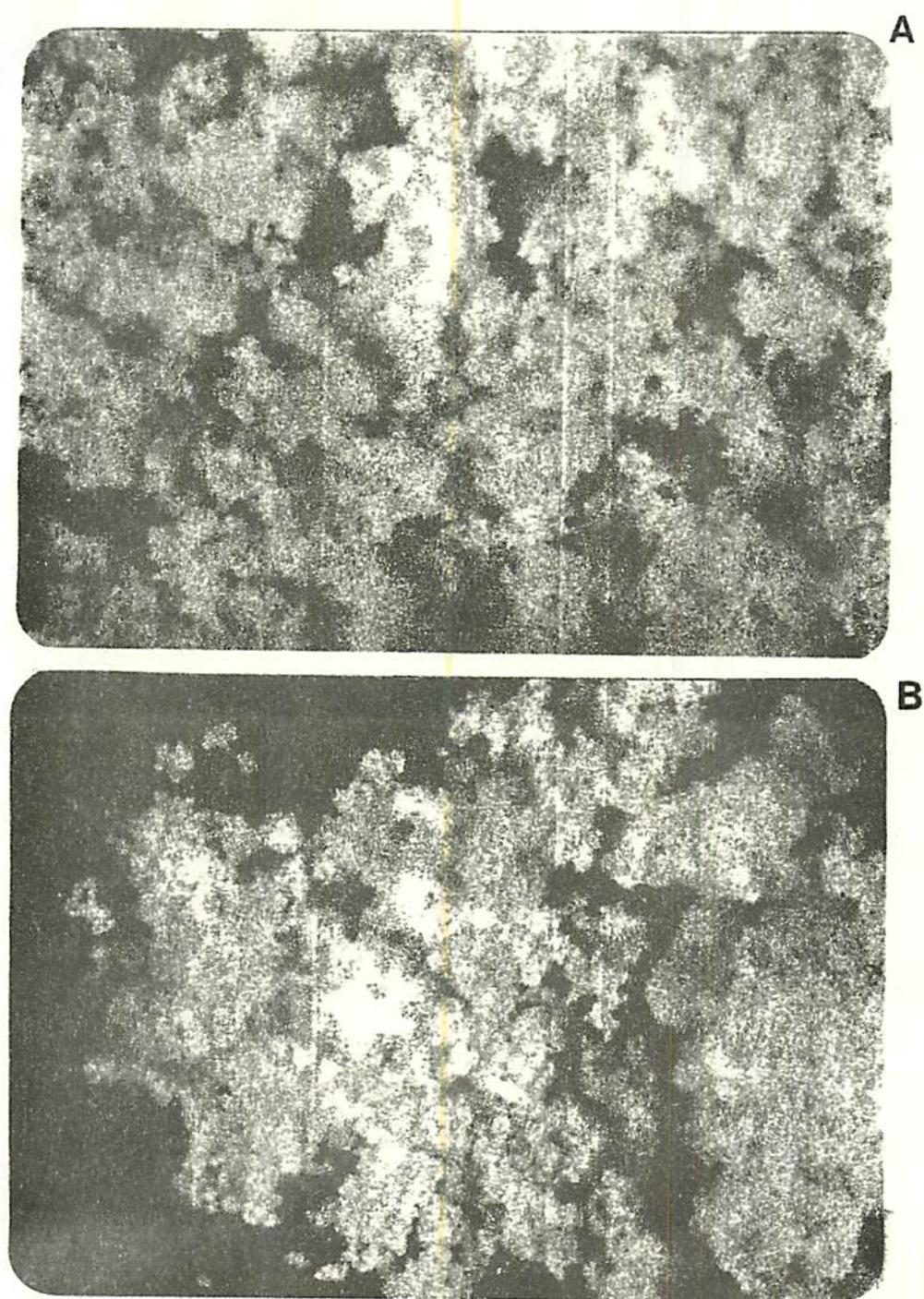
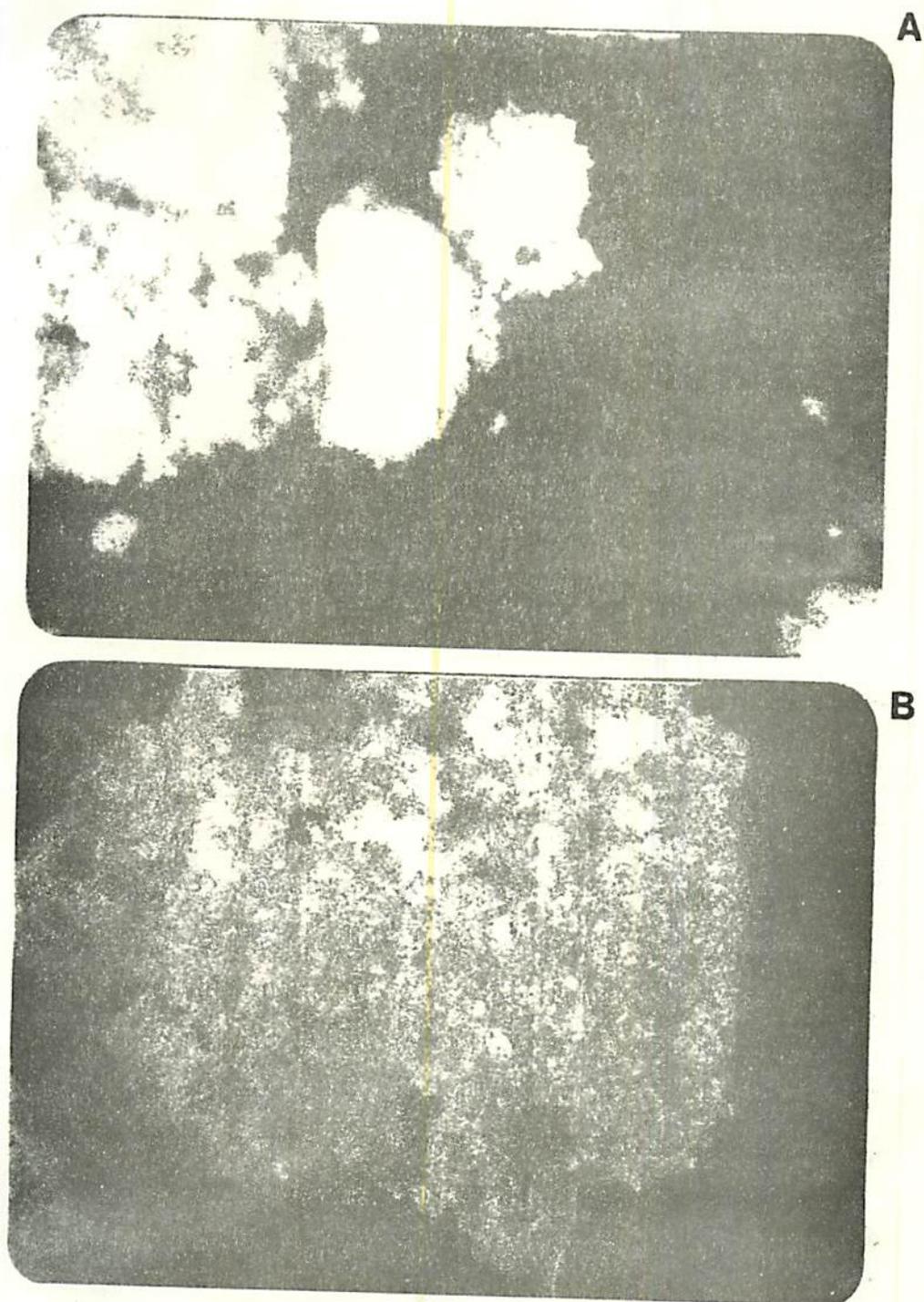


FIGURA 54 - Abacate em pó hermeticamente isolado.

A: 25°C

B: 35°C.



A

B

FIGURA 55 - Abacate em pó à 25°C.

A: 32% UR

B: 84% UR.