




ISRAEL CALORI

CINÉTICA DE CAKING DE POS DE FRUTAS LIOFILIZADAS
E SUA ESTIMAÇÃO PELA MODELAGEM MATEMÁTICA



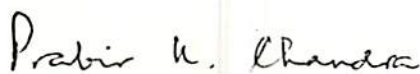
Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura
de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-
Graduação em Ciências dos Alimentos para obtenção do
grau de "MESTRE".



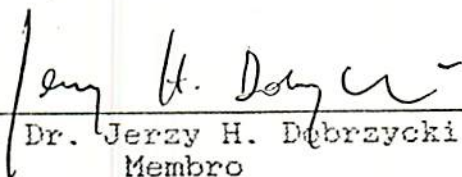
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS
LAVRAS - MINAS GERAIS
1993

CINÉTICA DE CAKING DE PÓS DE FRUTAS LIOFILIZADAS
E SUA ESTIMAÇÃO PELA MODELAGEM MATEMÁTICA

APROVADA:



Prof. Dr. Prabir Kumar Chandra
Presidente



Prof. Dr. Jerzy H. Dobrzycki
Membro



Prof. Dr. Evodio Ribeiro Vilela
Membro

A DEUS, por estar comigo em
todos momentos

OFEREÇO

"O tempo que você gosta de perder não é tempo perdido"

De um filósofo Inglês

Aos meus pais, SEBASTIAO e MARIA APPARECIDA
pelo amor, apoio e incentivo
Carinhosamente

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Escola Superior de Agricultura de Lavras - ESAL, especialmente ao Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA), pela realização deste trabalho.

Ao Professor, pesquisador e amigo José Cal-Vidal, pela orientação e amizade de suma importância para realização deste trabalho.

Ao Professor e pesquisador Prabir K. Chandra pela ajuda na realização deste trabalho.

Aos Professores Admilson e Isabel pelo empréstimo do liofilizador.

Ao Professor Evódio pelo apoio.

Ao CNPq pela concessão de auxílio para a aquisição de materiais e pela ajuda de custos.

Aos amigos Deborah, David, Miriam, Mabel, Julio, Zezé, Luciel, Nelsinho, Celeste, João e Rosivaldo pelo carinho e amizade.

A Helô, Marcia, Naninha e Claudia pelas noites tristes e felizes.

A "divina" Beth pela ajuda e carinho.

A todos da biblioteca, principalmente ao Luiz pela ajuda nas citações bibliográficas.

Aos professores e funcionários do DCA.

A Dátilu's na pessoa de Elaine Regina C. de Mendonça pelo trabalho de digitação.

Enfim, à todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho e que tenham sido esquecido por mim neste momento.

BIOGRAFIA DO AUTOR

ISRAEL CALORI, filho de Sebastião Calori e Maria Aparecida de Carvalho Calori, nasceu no município de Santa Cruz da Conceição, estado de São Paulo.

Em janeiro de 1986 recebeu o diploma de Engenheiro de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa (U.F.V.) - Viçosa - MG.

Em abril de 1986 foi contratado para trabalhar com pesquisa e desenvolvimento de processo pela Chocolates Vitória S.A.

Em janeiro de 1988 foi selecionado para o curso de Mestrado em Ciência dos Alimentos, no Departamento de Ciência dos Alimentos da Escola Superior de Agricultura de Lavras - Lavras - MG.

Em outubro de 1991 foi contratado para trabalhar com pesquisa e desenvolvimento de produto pela Chocolates Vitória S.A.

SUMARIO

LISTA DE TABELAS	08
LISTA DE FIGURAS	09
LISTA DE QUADROS	14
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. Higroscopicidade e cinética de caking	03
2.2. Efeito dos açúcares na caracterização de pós de suco de frutas	05
2.3. Análise dos mecanismos e fatores que influenciam caking	06
2.4. Bases para proposição de um modelo matemático	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1. Frutas	12
3.2. Obtenção dos sucos de frutas	12

3.3. Congelamento e liofilização	13
3.4. Preparo das amostras	13
3.5. Condicionamento das amostras	14
3.6. Determinação do grau de caking	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1. Composição química dos sucos de frutas liofilizadas .	16
4.2. Grau de caking	17
4.3. Efeito da temperatura e umidade relativa no tempo de caking	25
4.4. Análise dos dados e proposição de um modelo matemático	29
5. CONCLUSÃO	35
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	36
7. RESUMO	37
8. SUMMARY	38
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
APÊNDICE	48

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Algumas funções para ajuste de curvas de crescimento (W) no tempo (t)	11
2	Teores de açúcares das frutas liofilizadas	17

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Representação esquemática do mecanismo de caking de cebola em pós (PELEG & MANNHEIM, 1977)	04
2	Isotermas de sacarose e glucose a 55°C (SMITH et alii, 1981)	08
3	Efeito da temperatura sobre o tempo de auto-aglomeração de cebola em pó	09
4	Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 10°C e umidade relativa de 31%	18

Figura

Página

5	Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 45°C e umidade relativa de 31%	18
6	Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 10°C e umidade relativa de 52%	19
7	Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 20°C e umidade relativa de 52%	19
8	Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 35°C e umidade relativa de 52%	20
9	Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 45°C e umidade relativa de 52%	20
10	Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 10°C e umidade relativa de 75%	21

Figura

Pagina

11	Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 20°C e umidade relativa de 75%	21
12	Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 35°C e umidade relativa de 75%	22
13	Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 45°C e umidade relativa de 75%	22
14	Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 10°C e umidade relativa de 89%	23
15	Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 20°C e umidade relativa de 89%	23
16	Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 35°C e umidade relativa de 89%	24

Figura

Página

17	Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 45°C e umidade relativa de 89%	24
18	Efeito da umidade relativa e da temperatura no tempo de caking de pós de abacaxi liofilizado .	26
19	Efeito de umidade relativa e da temperatura no tempo de caking de pós de laranja liofilizado ..	26
20	Efeito da umidade relativa e da temperatura no tempo de caking de pós de mamão liofilizado ...	27
21	Efeito da umidade relativa e da temperatura no tempo de caking de pós de maracujá liofilizado .	27
22	Grau de caking de suco de abacaxi liofilizados estimados e obtidos experimentalmente a temperatura de 20°C e umidade relativa de 89%	33
23	Grau de caking de suco de laranja liofilizados estimados e obtidos experimentalmente a temperatura de 35°C e umidade relativa de 52%	33

Figura

Página

- | | | |
|----|---|----|
| 24 | Grau de caking de suco de mamão liofilizados estimados e obtidos experimentalmente a temperatura de 20°C e umidade relativa de 90% | 34 |
| 25 | Grau de caking de suco de maracujá liofilizados estimados e obtidos experimentalmente a temperatura de 35°C e umidade relativa de 75% | 34 |

1. INTRODUÇÃO

Os pós de frutas obtidos por liofilização e outros processos de secagem constituem um sistema de partículas de diversas formas e tamanhos, com certas características de fluidez. Estes sistemas apresentam em sua maioria um alto teor de açúcares na forma amorfa, favorecendo assim uma rápida absorção d'água e em consequência o surgimento de condição de caking (LAZAR & MORGAN, 1966). Muitos pesquisadores estudaram esse fenômeno e os problemas relacionados com a estocagem (CAL-VIDAL & FALCONE, 1985, 1987 e SCHUBERT, 1987).

Vários fatores são responsáveis pelo grau ou tempo de caking, alguns referentes às condições ambientais de armazenamento, como a temperatura, a umidade relativa, e a força de compactação. Outros são os inerentes às características próprias do produto, como sua composição química, forma, tamanho das partículas e teor d'água. Estes fatores contribuem com maior ou menor intensidade na formação de caking, e determinam em certa

medida os mecanismos envolvidos neste fenômeno (PELEG & MANNHEIM, 1977). A cristalização de substâncias dissolvidas, a formação de pontes sólidas ou filmes, constituem os principais mecanismos envolvidos na promoção do estado de agregação de partículas de natureza alimentar ou não (MOREYRA & PELEG, 1981). Há ainda outros mecanismos responsáveis por este fenômeno de agregação, mas não são encontrados em pós alimentícios.

Existem na literatura vários modelos matemáticos integrando variáveis que afetam a higroscopicidade de alimentos (BRUNAUER et alii, 1938; OSWIN, 1946; IGLESIAS & CHIRIFE, 1978; IGLESIAS et alii, 1980; PELEG, 1988; VIOLLAZ et alii, 1978 e CHUNG & PFOST, 1967). Estas variáveis afetam a formação de caking, portanto, há possibilidade de interrelacioná-las de forma a construir um modelo matemático que venha a facilitar a estimação da condição de caking de pós de frutas.

De acordo com o exposto, o presente trabalho tem por objetivos:

- 1 - Estudar a cinética de caking de diversos pós de sucos de frutas tais como: abacaxi, laranja, mamão e maracujá;
- 2 - Propor um modelo capaz de estimar o grau de caking desses mesmos pós.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Higroscopicidade e cinética de caking

Caking pode ser definido como uma consequência da redução de fluidez de um pó desidratado e sua acentuada tendência a formar agregados de alta rigidez. DOWNTON et alii (1982) citam que um precedente de caking é a característica pegajosa desses pós durante a estocagem.

De acordo com PELEG & MANNHEIM (1977), durante o fenômeno de caking partículas expostas a uma certa umidade, se atraem formando pontes entre si tornando o produto pegajoso e suficientemente rígido para resistir a deformações (Figura 1).

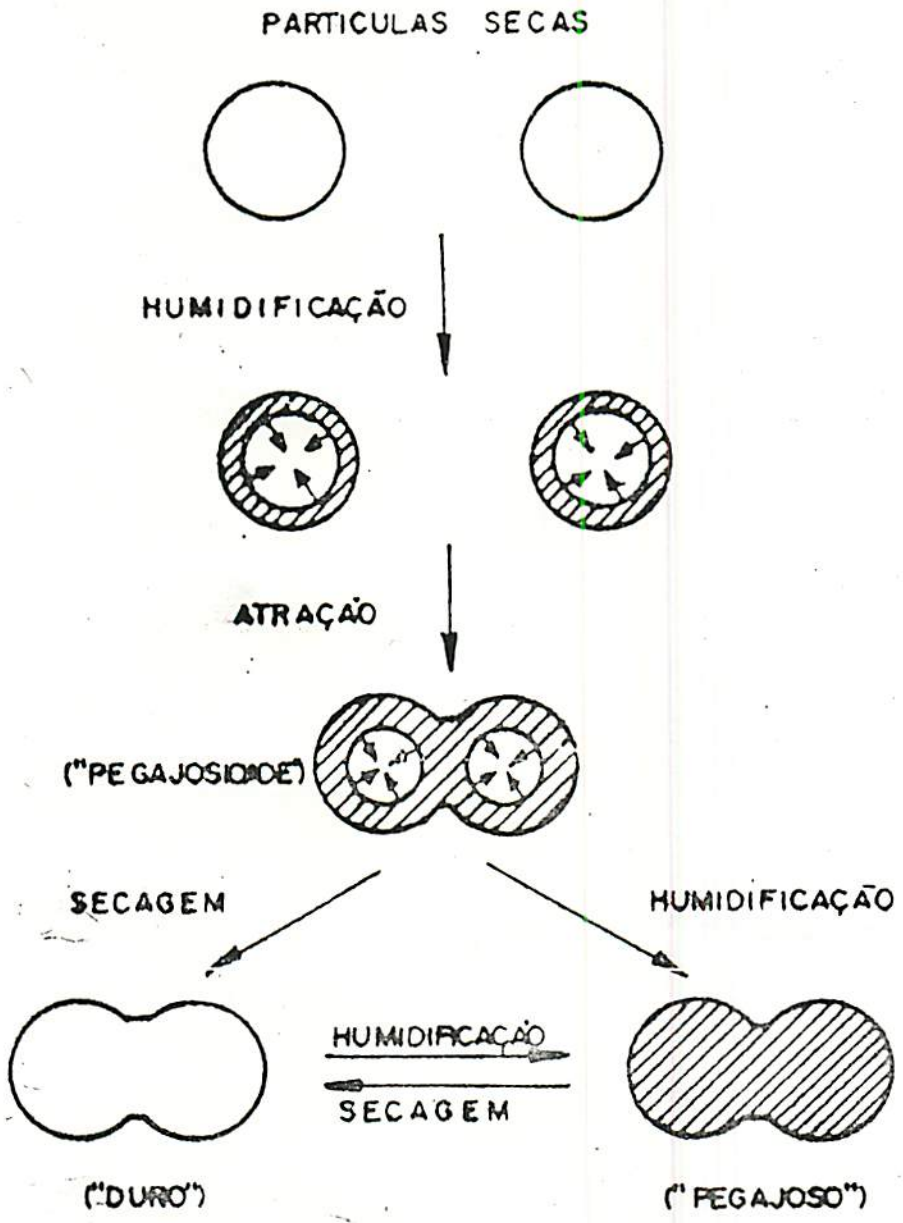


FIGURA 1. Representação esquemática do mecanismo de caking de cebola a pó (PELEG & MANNHEIM, 1977).

Alguns trabalhos tem sido feitos para se analisar a velocidade e condições para a formação de caking. Estudos sobre a cinética de caking têm demonstrado que com o aumento da umidade relativa e da temperatura, diminui-se o tempo para a formação de caking (PELEG et alii, 1973 e JUAN & CHANG, 1988). O caking não depende somente da umidade do produto, mas também da umidade absorvida de fontes externas (SILVEBERG et alii, 1958).

Devido ao alto teor de sólidos solúveis em sucos de frutas, os pós obtidos, se tornam muito higroscópicos, favorecendo portanto o caking, que depende também de outros fatores intrínsecos como forma e tamanho.

2.2. Efeito dos açúcares na caracterização de pós de suco de frutas

Os pós de suco de frutas podem apresentar certas variações em sua composição química notadamente no teor de açúcares. Esses componentes são os principais responsáveis pela sua alta higroscopicidade e conseqüentemente pela formação de caking. A tendência dos pós de frutas para formar aglomerados na estocagem, é atribuída à presença de açúcares na forma amorfa (STITT, 1958). A absorção de água pelo açúcar na forma amorfa, promove a possível cristalização de tais açúcares na presença d'água. De acordo com SIMATOS & BLOND (1975), a sacarose no estado amorfo absorve água muito mais rapidamente que no estado cristalino.

Esta absorção d'água pelos açúcares tem grande influência no fenômeno de caking de produtos tais como sucos de frutas em pó.

Entre os açúcares, a sacarose é a que apresenta a menor higroscopicidade, seguida pela glucose e frutose (AUDU et alii, 1978; PELEG & MANNHEIM, 1973 e SMITH et alii, 1981). A composição química de alguns pós de sucos de frutas, podem afetar o grau de absorção d'água (MAIA, 1988) com implicação na formação de caking.

2.3. Análise dos mecanismos e fatores que influenciam caking

Há vários problemas relacionados com caking em pós alimentícios. A formação desses agregados prejudica as propriedades de reidratação do pó (DE GOIS, 1981; CARVALHO, 1983), promove a adesão das partículas na parede do recipiente, dificulta o condicionamento, estocagem, transporte e bombeamento do material em pó (HAMANO & SUGIMOTO, 1976). Entre os fatores que influenciam na formação de caking, a composição química tem grande influência na aglomeração de pós, principalmente os açúcares. Geralmente, os sucos de frutas desidratados apresentam uma quantidade muito grande de açúcares, que se encontram na sua maioria no estado amorfo (LAZAR & MORGAN, 1966), o que favorece a rápida absorção d'água e conseqüentemente a cristalização de substâncias dissolvidas, sendo este um dos mecanismos mais comuns na formação de caking de pós (MAKOWER & DYE, 1955 e LAZAR & MORGAN, 1966). Pode-se ter uma melhor visualização de como a composição química influi na absorção d'água, através da

Figura 2, onde podemos observar que para uma mesma atividade d'água a glucose tem uma absorção d'água maior que para a sacarose. Quanto maior a absorção d'água menor o tempo de caking.

A umidade relativa regula também a velocidade de absorção d'água e os tipos de mudanças físicas que o pó pode sofrer. Com um aumento da umidade relativa, há uma maior absorção d'água pelas partículas, tem-se também a dissolução de compostos solúveis, formando pontes líquidas, as quais são transformadas em uniões sólidas compostas com posterior diminuição da umidade (MOREYRA & PELEG, 1980; NEUMANN, 1953; PELEG & MANNHEIM, 1969 e 1977). Temperaturas elevadas favorecem o aumento na solubilidade e mudanças no gradiente de umidade do pó, tornando este, mais susceptível a caking. Com o aumento da temperatura, pode haver fusão parcial dos açúcares e/ou dos compostos graxos, havendo possibilidade de formação de pontes líquidas ou filmes os quais por um posterior abaixamento de temperatura podem transformar-se em pontes sólidas (MANNHEIM, 1974; PELEG e MANNHEIM, 1969). Observa-se pela Figura 3 que com o aumento da temperatura há uma diminuição no tempo de caking.

O tamanho e forma das partículas podem afetar as características reológicas dos pós e sua tendência a compactação. Quanto menor o tamanho das partículas, maior a capacidade de coesão e maior sua força de tensão devido a um aumento entre seus pontos de contato, os quais também são influenciados pela forma geométrica da partícula (MANNHEIM, 1974 e MALAVE-LOPEZ & PELEG, 1986).

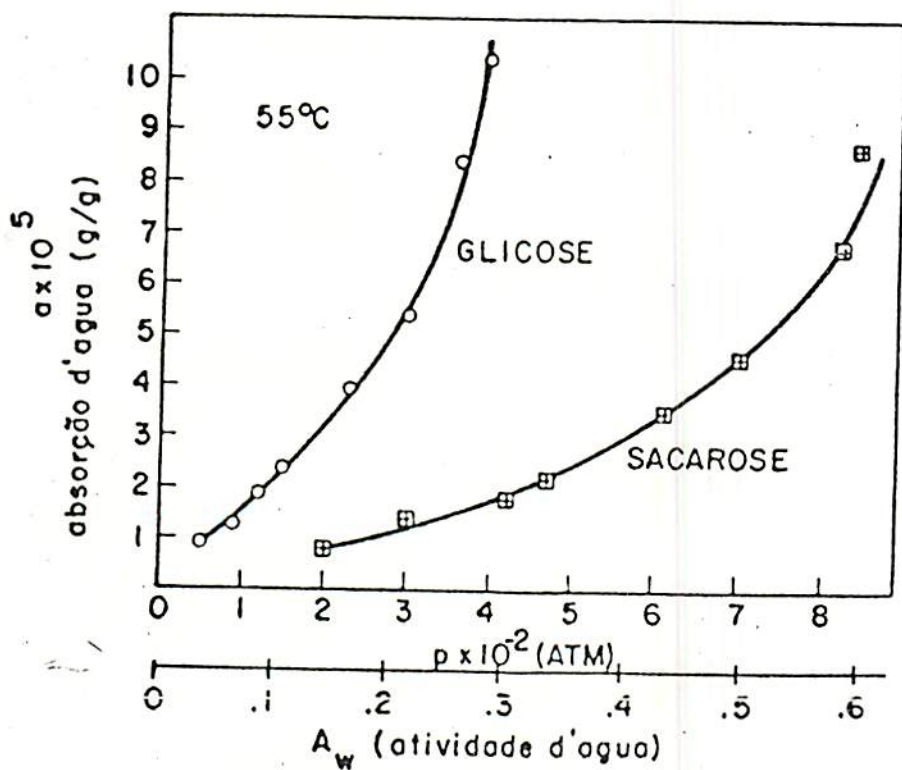


FIGURA 2. Isotermas de sacarose e glucose a 55°C (SMITH et alii, 1981).

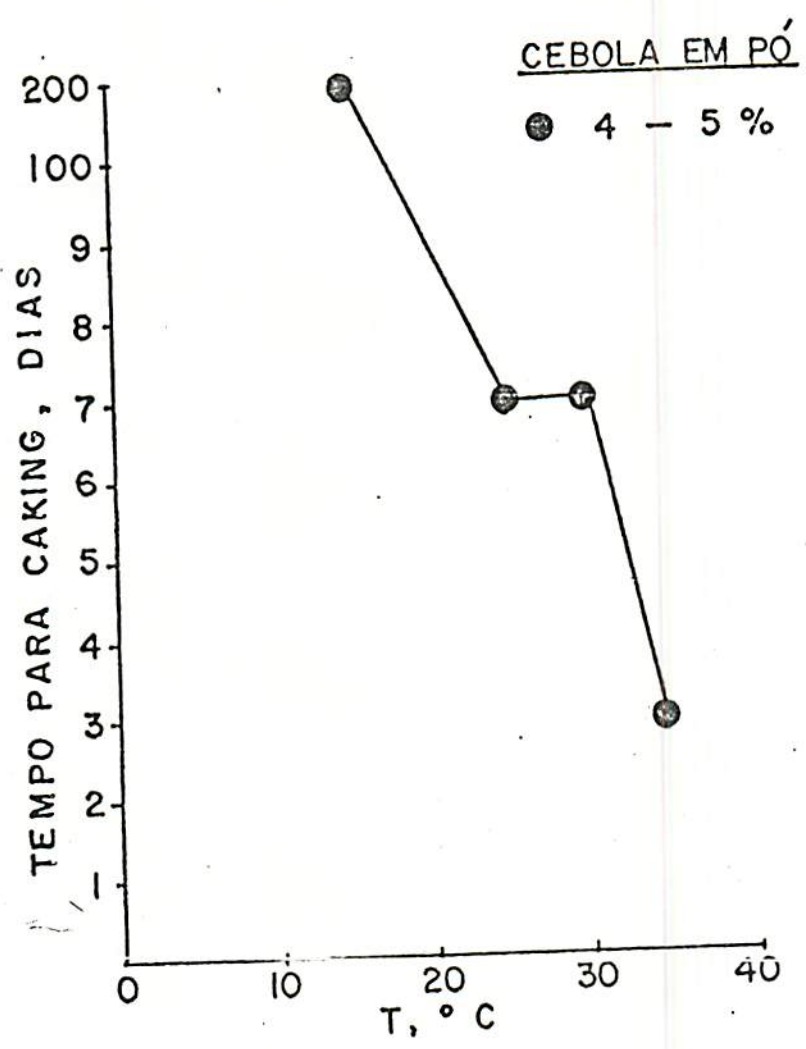


FIGURA 3. Efeito da temperatura sobre o tempo de autoaglomeração de cebola em pó (PELEG & MANNHEIM, 1969).

2.4. Bases para proposição de um modelo matemático

Após estudos de tempo e observações de que não há na literatura nenhum modelo matemático capaz de estimar a cinética de caking. Tornou-se necessário desenvolver um modelo para estimar esse fenômeno quando pós de frutas forem submetidos a diversos ambientes como temperatura e umidade relativa controlados.

PELEG (1988) trabalhando com um modelo empírico para descrever a curva de umidade de absorção, afirma que uma das vantagens de um modelo é que ele pode ser empregado com sucesso ou pelo menos estimar através de dados experimentais altas taxas de ganho de umidade em um tempo relativamente curto. YANG & CHINNAN (1988) estudaram o desenvolvimento de um modelo integrado, para prever a composição de gases e desenvolvimento de cor de tomates embalados em filmes poliméricos.

LIMA & CAL-VIDAL (1988), estimaram a vida-de-prateleira de banana liofilizada com relação à permeabilidade de filmes de embalagens no que se refere às propriedades de absorção d'água do produto e às condições críticas de formação de caking e outras condições limites (condições ambientais, umidade de equilíbrio, permeabilidade a gases, etc).

Através de um modelo matemático, pode-se estimar os fatores de permeabilidade de embalagens, que tenham relação com o fenômeno de caking, como sua permeabilidade ao vapor d'água, lipídeos, etc pode-se também, prever a vida de prateleira do produto sus-

ceptível a caking, avaliar os efeitos das condições que promovam caking como temperatura, umidade relativa, composição química, etc. Os modelos são muito usados para facilitar a resolução de problemas sobre processos e/ou fenômenos (HALLSTROM & TRAGARD, 1987), as cinéticas de reações e mudanças durante o processamento podem ser descritas através desses modelos. De posse de um modelo matemático adequado e válido, há facilidade de entendimento dos processos físicos no que se refere ao efeito de suas variáveis sem conduzir experimentos.

GALBO et alii (1989) mostraram alguns modelos matemáticos citados na literatura, como podemos observar na Tabela 1. Os modelos são utilizados para o crescimento de plantas, estas têm um crescimento até atingir um máximo. O mesmo acontece com o tempo de caking, o qual é atingido quando se têm um produto que corresponde a 100% de caking.

TABELA 1. Algumas equações para ajuste de curvas de crescimento (W) no tempo (t) (GALBO et alii, 1989).

Nome	Equação
Exponencial	$W = be^{kt}$
Gompertz	$W = ae^{-be^{-t}}$
Logística	$W = a/(1 + be^{-kt})$
Hoerl	$W = at^{be^{kt}}$
Monomolecular	$W = a(1 - be^{-kt})$
Polinômio	$W = at + bt^2 + ct^3 \dots + K$

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Frutas

Para realização deste trabalho, foram utilizados 45 kg de mamão (*Carica papaya* L.), adquiridos de fonte comercial (Lavras - MG), 80 kg de abacaxi (*Ananas comosus* Merr, L.). 60 kg de maracujá (*Passiflora edulis* L.) e 53 kg de laranja (*Citrus sinensis* L.) sendo estes obtidos na ESAL (Escola Superior de Agricultura de Lavras). As frutas se encontravam em perfeito estado de maturação.

3.2. Obtenção dos sucos de frutas

Após o corte pela metade das frutas, fez-se a retirada manual da polpa e sementes seguida, de peneiramento para obtenção de suco.

No preparo do suco de mamão fez-se o corte ao meio das frutas e retirou-se as sementes e casca. A polpa restante foi triturada em um liquidificador (Siemsem, Brusque S C, Brasil) em seguida foi passada por uma peneira para separação das fibras e suco.

3.3. Congelamento e liofilização

Os sucos de frutas foram congelados em um freezer a temperatura de -20° C. Em seguida colocou-se nitrogênio líquido nas amostras congeladas, com o objetivo de conseguir uma total solidificação das amostras e evitar o fenômeno de colapso no material liofilizado (BELLOWS & KING, 1973).

Os sucos obtidos foram liofilizados em um liofilizador modelo L4KR (Edwards B.O.C. do Brasil LTDA, São Paulo, SP, Brasil) pelo tempo de 48 horas e pressão de 8×10^{-2} mBar.

3.4. Preparo das amostras

Após a liofilização as amostras foram colocadas em um dessecador com sílica e deixado à temperatura ambiente do laboratório ($20 \pm 3^{\circ}$ C). Em seguida foram triturado em um processador Tipo 4243 (Braun, Frankfurt, Alemanha) por 3 minutos em uma rotação máxima (II). Os pós obtidos foram colocados em um conjunto de peneiras acopladas a um vibrador Produtest (São

Paulo, SP, Brasil), bota_o regulado no máximo de agitação (10 na escala) pelo tempo de 5 minutos, sendo possível assim fazer a separação das partículas de pós por diferença de tamanho. As partículas de tamanhos idênticas e semelhantes foram então selecionadas. As que passaram pelas peneiras de Tyle 100 (0,140 mm de abertura) e ficaram retidas nas peneiras de Tyler 150 (0,105 mm de abertura) foram escolhidas.

3.5. Condicionamento das amostras

Após a obtenção dos pós, as amostras foram condicionadas em dessecadores nos quais foram colocadas soluções saturadas de sal, de acordo com O'BRIEN (1948) e ROCKLAND (1960) ou com soluções de NaOH a diferentes concentrações, de acordo com STOKES & ROBINSON (1949) e conferidos fazendo uso do higrômetro Airguide modelo III (Airguide Instrument Company, Chicago). Estes dessecadores foram então colocados em estufas incubadoras para B.O.D. (FANEM, São Paulo, SP, Brasil). As umidades relativas utilizadas foram: 31, 52, 75 e 89% \pm 1% e as temperaturas 10, 20, 35 e 45° C \pm 1° C, de tal maneira que se obtivessem todas as combinações possíveis, dando ao todo 16 combinações, com duas repetições cada.

3.6. Análises Químicas

Devido as grandes variações nos teores de açúcares do mamão, fez-se a determinação de glucose e sacarose do mesmo, segundo

técnica de Somoghi-Nielson modificado e frutose pelo doseamento colorimétrico.

3.7. Determinação do grau de caking

As análises de caking foram feitas a intervalos de tempos regulares os quais foram determinados de acordo com a umidade relativa e temperatura.

O grau de caking foi calculado usando técnicas descritas por NIRO ATOMIZER (1978) com algumas modificações, em se tratando de sucos de frutas, as amostras não foram secas a $102^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$. A intervalos de tempo regulares foram coletadas as amostras de pós os quais estavam em ambientes de acondicionamento e em seguida colocadas em dessecadores contendo sílica gel, os quais foram então evacuados e permaneceram pelo período de 72 horas nos dessecadores. Em seguida pesaram-se 3 g aproximadamente do produto, as quais foram colocadas em peneiras Granutest (Produtest, São Paulo, SP, Brasil) de abertura de 0,149 mm e agitadas num vibrador Produtest pelo período de 5 minutos, com botão regulado no grau máximo de agitação (10). Pesou-se em seguida a quantidade de pó retido na peneira e determinou-se o grau de caking da seguinte forma:

$$\% \text{ Grau de caking} = \frac{\text{Peso de pó retido na peneira}}{\text{Peso de total de pó inicial}} \times 100$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Composição química dos sucos de frutas liofilizados

Na Tabela 2 (SOUTHGATE, 1976 e CAL-VIDAL, 1982), observa-se os teores de açúcares dos pós de suco de frutas liofilizados. Nota-se o alto conteúdo de sacarose para o abacaxi, laranja e mamão em relação ao detectado para o maracujá. Desta observação pode-se deduzir que as frutas com alto teor de sacarose tem uma menor susceptibilidade a formar caking, ao contrário do que ocorre com o maracujá que é mais propenso a formar caking.

A partir destes dados conclui-se que os teores de açúcares ou mesmo o balanço entre glucose e frutose contribui para a alta higroscopicidade e conseqüentemente pelo alto grau de caking desses pós de frutas liofolizadas. Estes açúcares quando comparados com a sacarose apresentam um maior potencial higroscópico (SMITH et alii, 1981 e CAL-VIDAL, 1982).

TABELA 2. Teores de açúcares das frutas liofilizadas (g/100 g de sólidos).

FRUTA	GLUCOSE	FRUTOSE	SACAROSE
Abacaxi*	14,78	9,04	50,25
Laranja*	17,71	15,64	26,21
Mamão	22,87	17,28	39,75
Maracujá**	22,55	20,49	15,06

* SOUTHGATE (1976), (calculado de acordo com o teor de açúcares em frutas "in natura").

** CAL-VIDAL (1982).

Quanto ao mamão este deve ser melhor estudado porque existem várias controvérsias com relação ao seu conteúdo de sacarose. Quanto a isto, King et alii, 1951 e Pratt & Del Rosario, 1913 citados por CHAN & KWOK, 1975 (a e b), reportaram que o teor da mesma pode estar entre 0 - 1,3% do total de açúcares, enquanto Pope 1930 e Thompson, 1914 citados pelo mesmo autor, mostraram que o mesmo pode estar entre 0 - 13,2%, havendo portanto uma faixa de variação muito grande no conteúdo deste. CHEN (1963), mostrou que o teor de sacarose do mamão foi de 60%.

4.2. Grau de caking

O grau de caking em função do tempo, está mostrado nas Figuras 4 - 18. Podemos observar por estes resultados como se comportam, com relação a caking, os diversos pós de sucos de frutas estudados neste trabalho. A umidade relativa e temperatura influem acentuadamente no grau de caking.

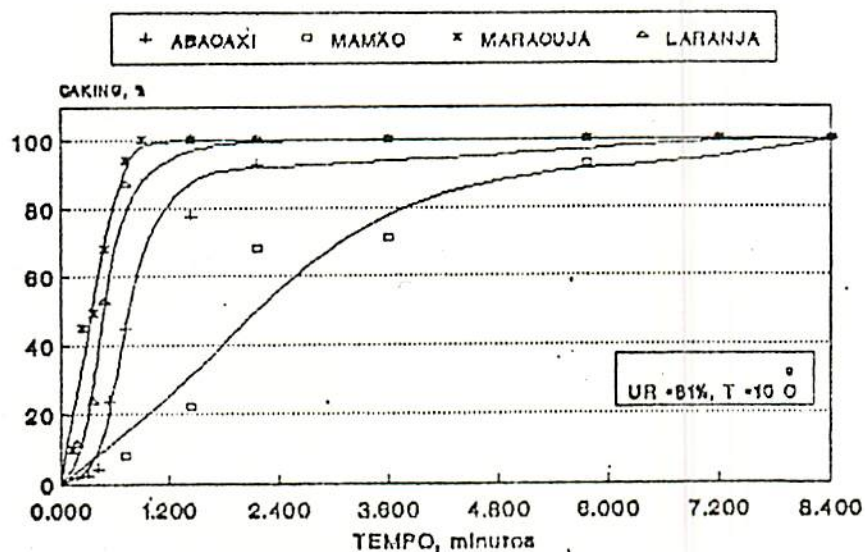


FIGURA 4. Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 10°C e umidade relativa de 31%.

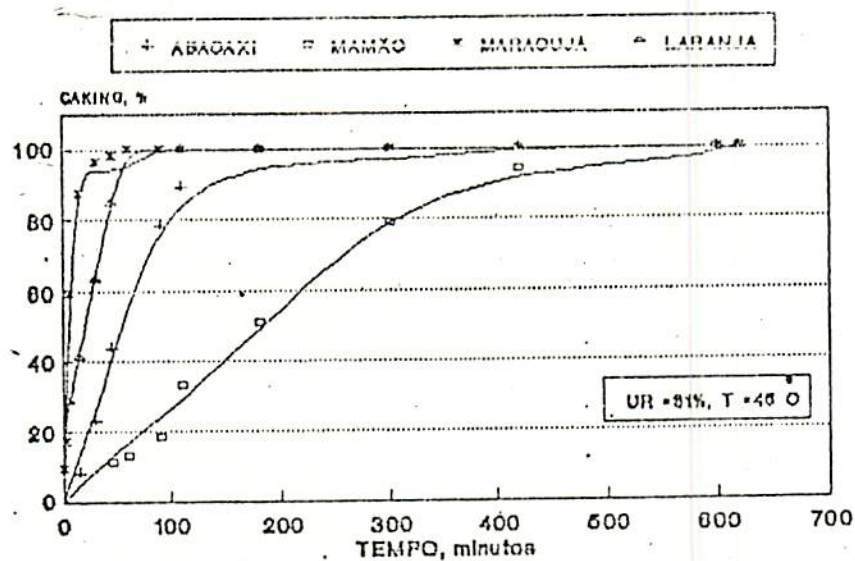


FIGURA 5. Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 45°C e umidade relativa de 31%.

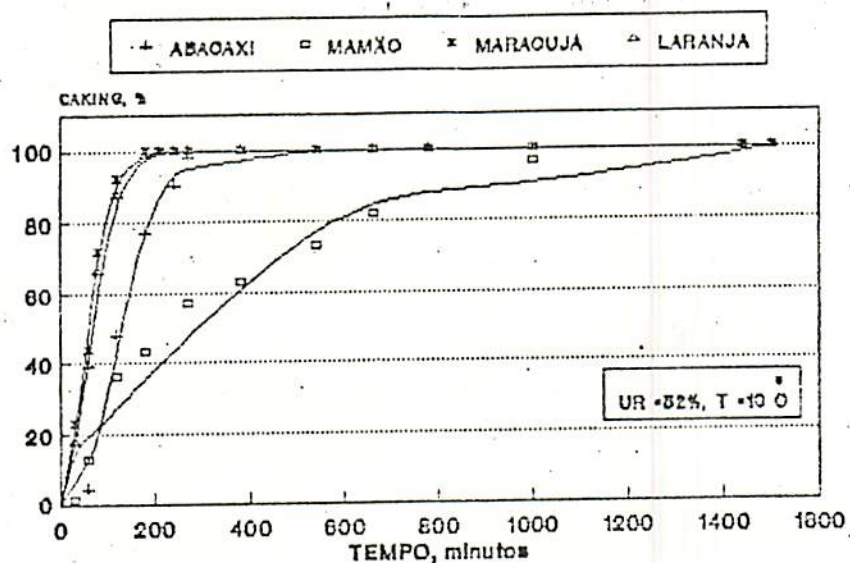


FIGURA 6. Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 10°C e umidade relativa de 52%.

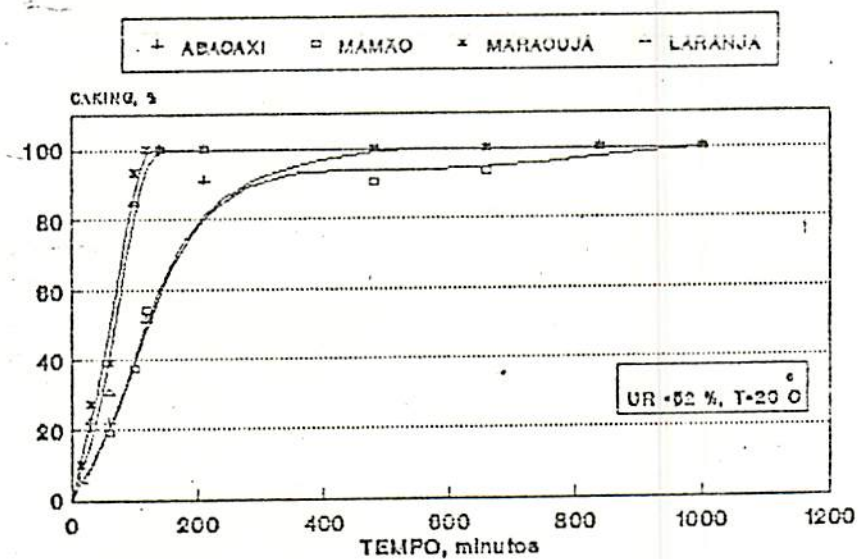


FIGURA 7. Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 20°C e umidade relativa de 52%.

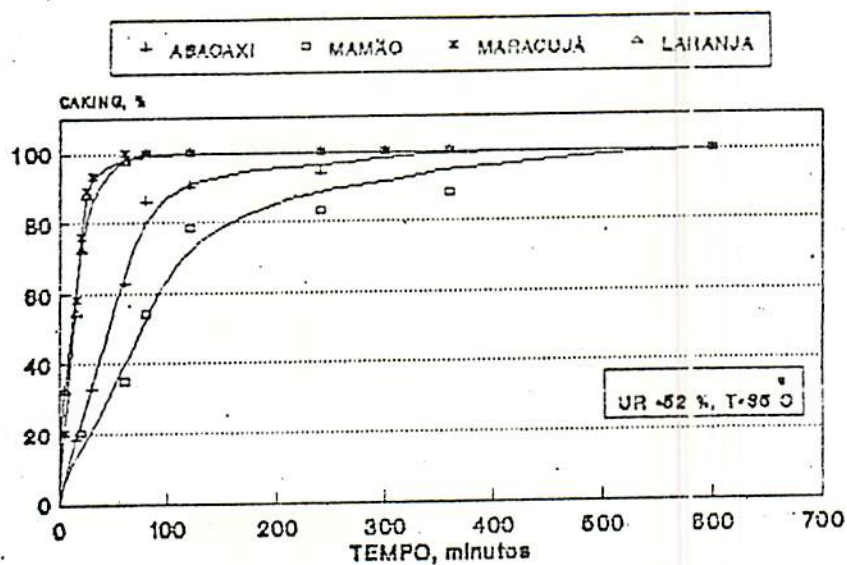


FIGURA 8. Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 35°C e umidade relativa de 52%.

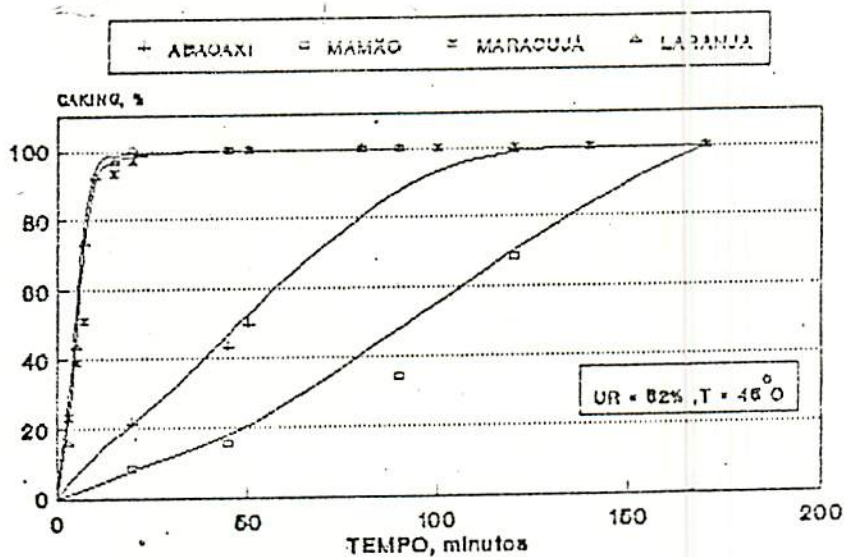


FIGURA 9. Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 45°C e umidade relativa de 52%.

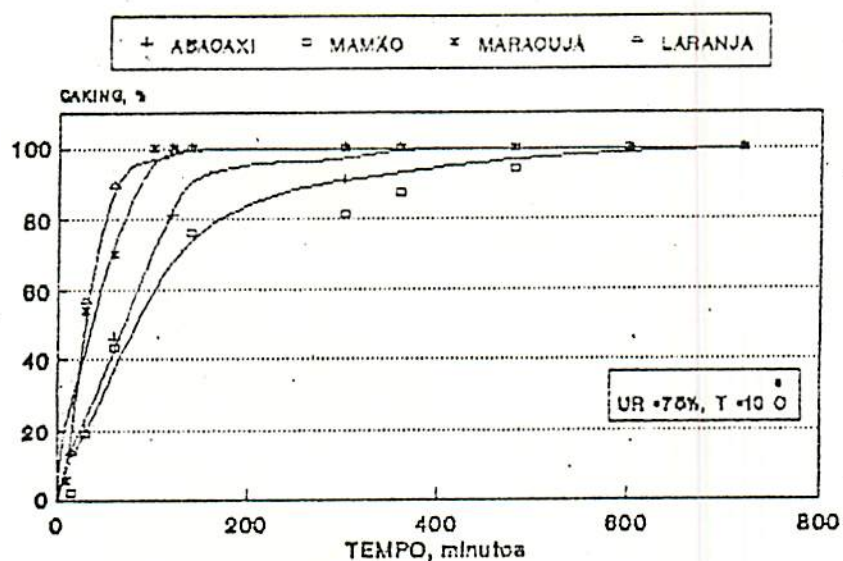


FIGURA 10. Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 10°C e umidade relativa de 75%.

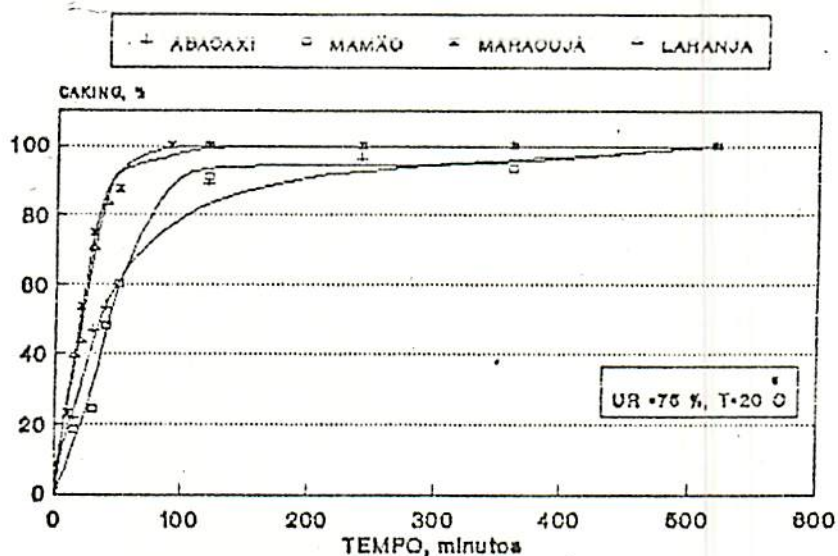


FIGURA 11. Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 20°C e umidade relativa de 75%.

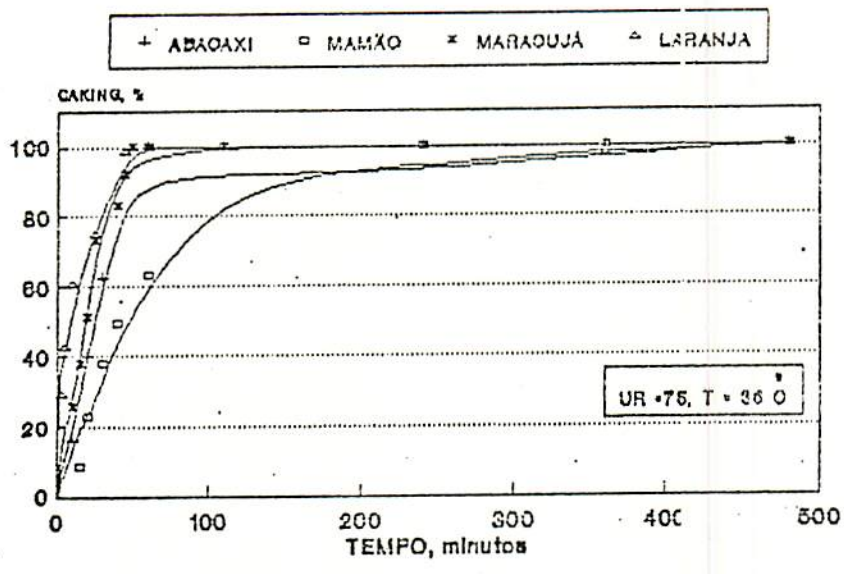


FIGURA 12. Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 35°C e umidade relativa de 75%.

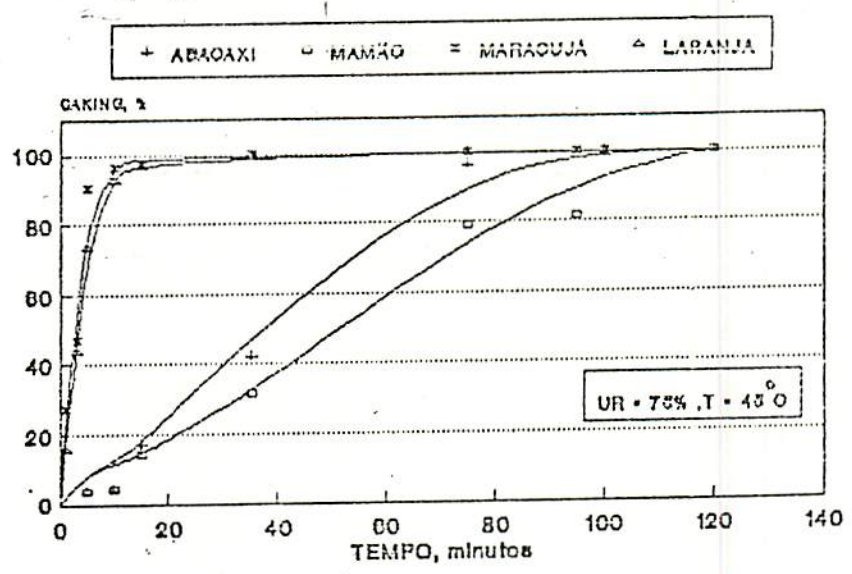


FIGURA 13. Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 45°C e umidade relativa de 75%.

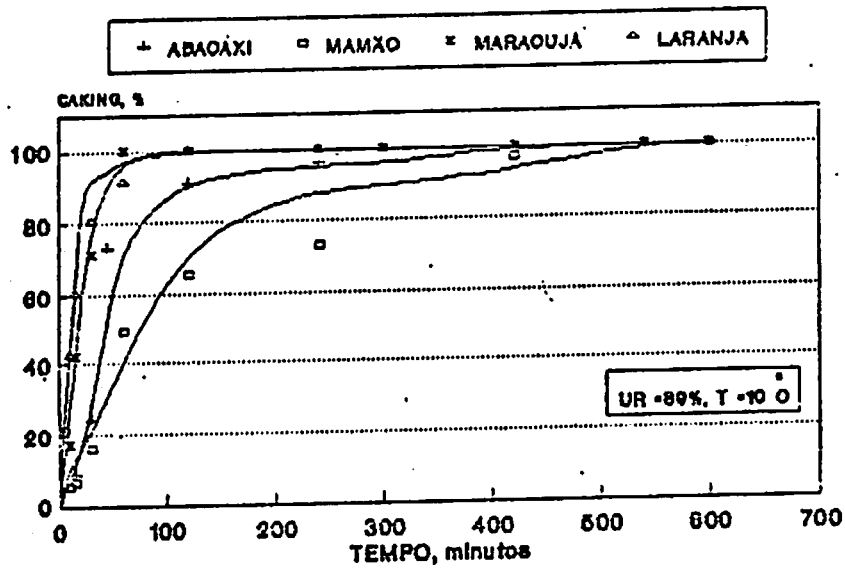


FIGURA 14. Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 10°C e umidade relativa de 89%.

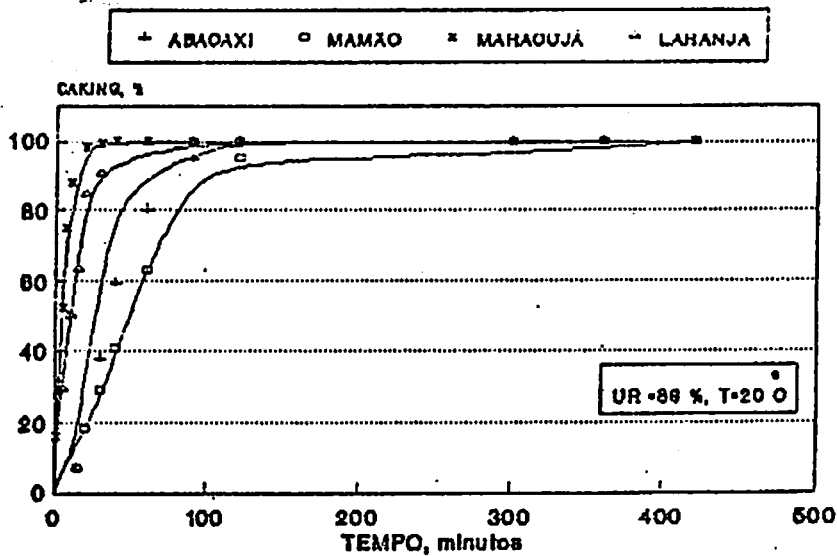


FIGURA 15. Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 20°C e umidade relativa de 89%.

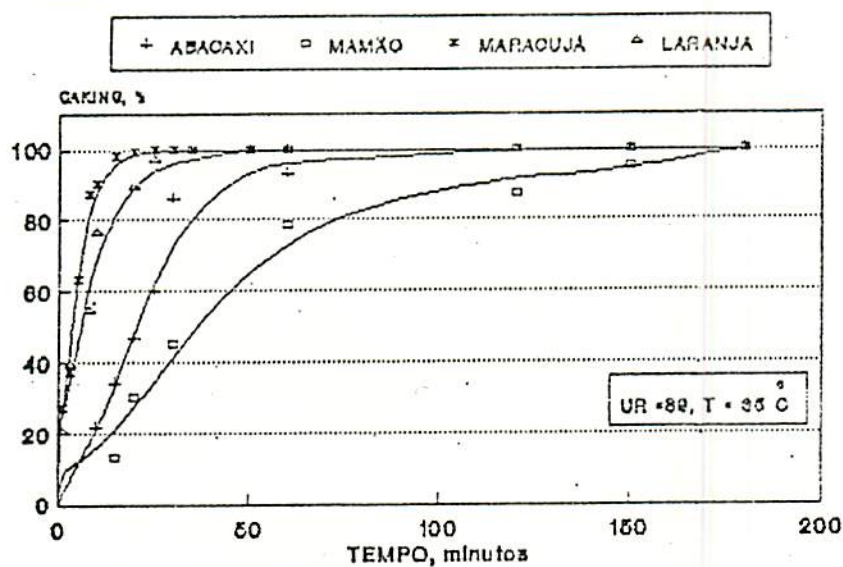


FIGURA 16. Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 35°C e umidade relativa de 89%.

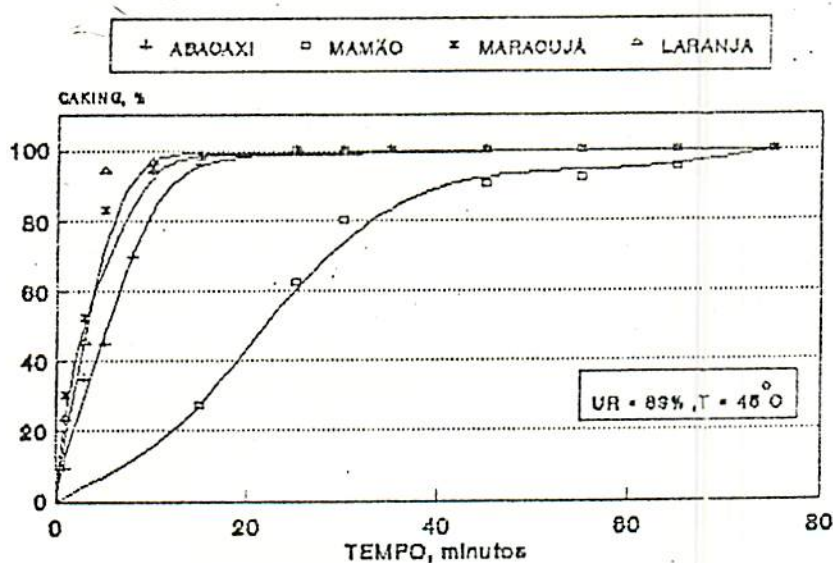


FIGURA 17. Cinética de caking de diversos pós de frutas a temperatura de 45°C e umidade relativa de 89%.

Pelas Figuras 4 e 5, percebemos que para laranja e maracujá há praticamente uma superposição de suas curvas donde vemos que o grau de caking é praticamente o mesmo para tempos iguais, isso a temperaturas de 10, 20, 35 e 45°C e umidade relativa de 31%. Nas Figuras 5, 9, 13 e 17 nota-se que nas temperaturas de 10 e 45°C há um afastamento entre as curvas apresentadas tanto para o mamão quanto para o pó de abacaxi e podemos deduzir que para o mamão tem-se um tempo de caking menor do que para o abacaxi nas mesmas condições estudadas.

Verificamos que nos gráficos de tempo e grau de caking a formação de caking é mais rápida para o pó de suco de maracujá seguido de laranja, abacaxi e mamão. Com relação aos pós de abacaxi, laranja e maracujá a velocidade do grau de caking está relacionado, como já foi observado, com o conteúdo e o tipo de açúcares contidos nos mesmos, como mostrado na Tabela 2, o que não acontece com o mamão. Sabe-se que a sacarose contida nele é menor que nas outras frutas e que esta é menos higroscópica que a frutose e glucose (AUDU et alii, 1978 e SMITH et alii, 1981).

4.3. Efeito da temperatura e umidade relativa no tempo caking

O tempo de caking versus umidade relativa está graficado nas Figuras 18 - 21, à temperaturas constantes de 10, 20, 35 e 45°C para as quatro frutas sob estudo. Estabelece-se o tempo de caking como sendo o correspondente a um caking de 100% do produto.

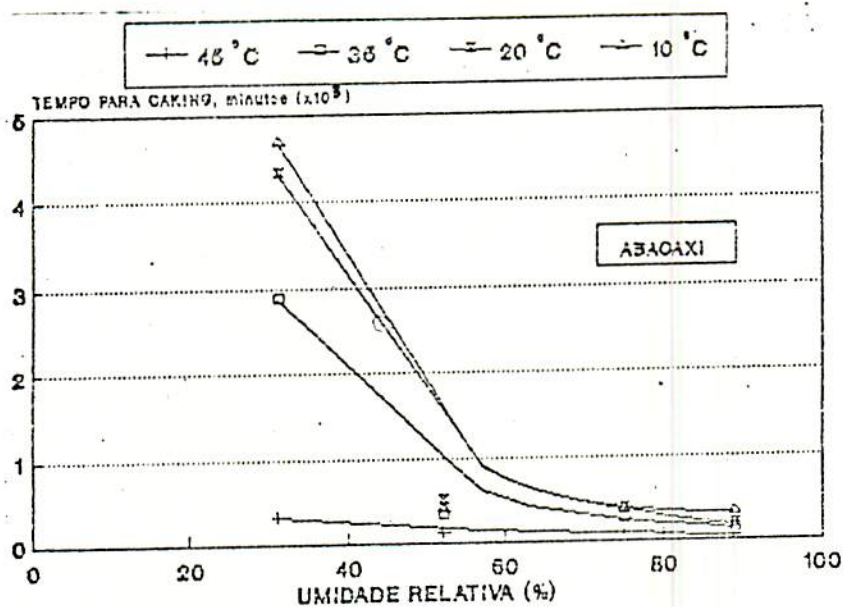


FIGURA. 18. Efeito da umidade relativa e da temperatura no tempo de caking de pós de abacaxi liofilizado.

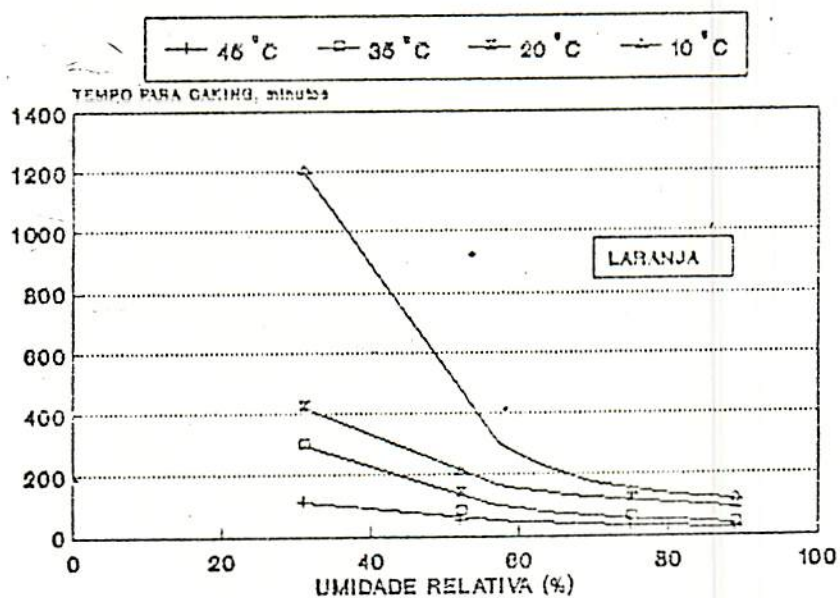


FIGURA 19. Efeito da umidade relativa e da temperatura no tempo de caking de pós de laranja liofilizado.

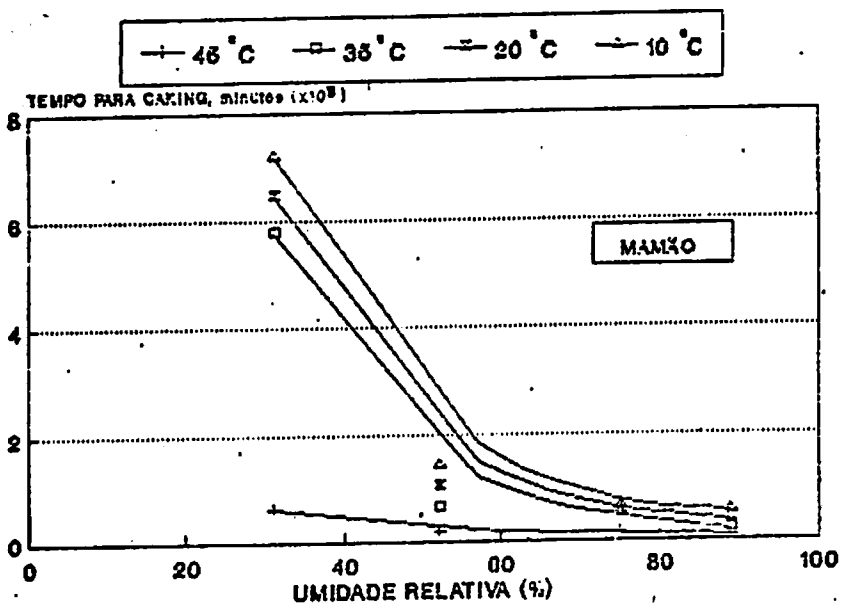


FIGURA 20. Efeito da umidade relativa e da temperatura no tempo de caking de pós de mamão liofilizado.

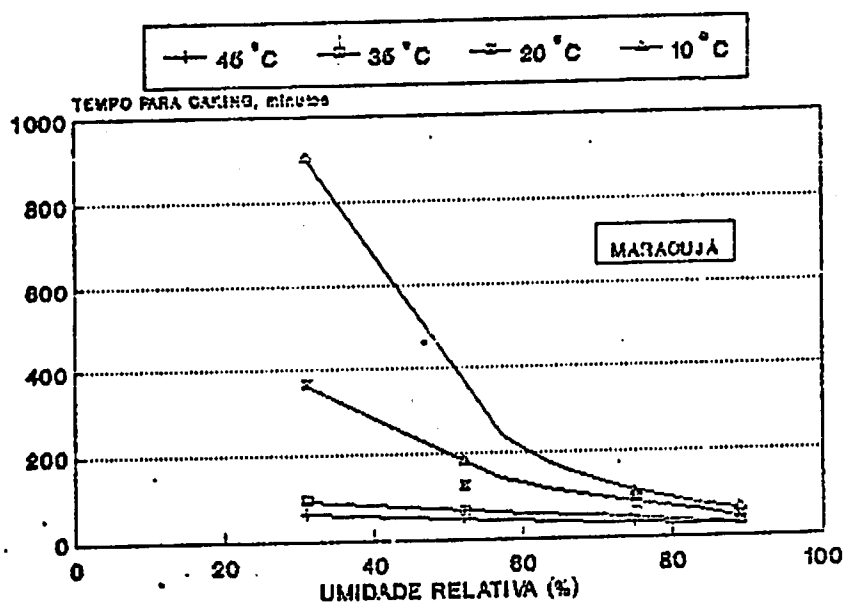


FIGURA 21. Efeito da umidade relativa e da temperatura no tempo de caking de pós de maracujá liofilizado.

Nota-se pelas Figuras que a umidade relativa tem efeito significativo no tempo de caking, o que está de acordo com vários autores (PELEG & MANNHEIM, 1969; DE GOIS, 1981; CAL-VIDAL et alii, 1986 e SANTOS, 1983). Verifica-se que para uma mesma umidade relativa, tem-se um tempo de caking maior quando a temperatura é menor, o que já foi visto por muitos pesquisadores (PELEG & MANNHEIM, 1977; CAL-VIDAL et alii, 1986 e HAMANO & SUGIMOTO, 1976), isto acontece para todos os frutos estudados.

Observa-se também que quando se aumenta a umidade relativa há uma redução no tempo de caking tornando muito próximo esse tempo para os diversos frutos. Deduz-se disto que quando aumenta a umidade relativa a influência da temperatura é pequena no que se refere ao tempo de caking. Nota-se esse fato, principalmente quando a umidade relativa está acima de 55%. Quando há uma diminuição dessa umidade relativa, percebe-se que a temperatura influi drasticamente no tempo de caking. Portanto pode-se concluir através destas observações feitas nas Figuras 18-21 que com o aumento da umidade relativa a qual o pó é exposto, o efeito da temperatura torna-se mais evidente, o que está de acordo com vários autores (CRAIK & MILLER, 1958; PELEG et alii, 1973; FILPEL & BRITTEN, 1979 e WHYNES & DEE, 1957).

4.4. Análise dos dados e proposição de um modelo matemático

Plotou-se em gráfico o grau de caking versus tempo, as curvas obedeceram a um padrão logístico. Devido a semelhança entre a curva logística e assintótica, testou-se ambas, mas a assintótica não teve boa adequação. Escolheu-se assim a regressão logística. O modelo seguinte foi sugerido para se estimar o grau de caking.

$$C = \frac{a}{1 + b e^{-kt}} \quad \dots 1$$

onde: a, b e k coeficientes a serem determinados.

Na equação (1), se o tempo é muito grande C tende a aproximar-se do valor de "a". Na realidade, se o pó é exposto por um período muito grande, ocorre um máximo de caking, significando que C será igual a 100%. Com essa analogia o valor de "a" pode ser atribuído como sendo 100.

Os coeficientes b e k estimados para cada condição experimental de temperatura, umidade relativa e teor de açúcar de cada fruta, deve ser função de cada uma dessas variáveis.

Testou-se individualmente os valores de b e k utilizando regressão múltipla e regressão multilinear. Usou-se o método de tentativa e erro com algumas variáveis, testou-se a regressão múltipla e multilinear, até obter um coeficiente de correlação satisfatório e com um mínimo de erro. Estas equações com

temperatura (T), umidade relativa (UR), frutose, glucose e sacarose, denotados por F, G e S respectivamente, são variáveis independentes e podem ser expressas como:

$$b \text{ ou } k = a + a_1T + a_2UR + a_3F + a_4G + a_5S \quad \dots 2$$

regressão múltipla com termos quadráticos

$$\begin{aligned} b \text{ ou } k = & a_0 + a_1T + a_2UR + a_3F + a_4G \\ & + a_5S + a_6T^2 + a_7UR^2 + a_8F \\ & + a_9G^2 + a_{10}S^2 + a_{11}T \cdot UR \cdot F \cdot G \cdot S \quad \dots 3 \end{aligned}$$

A equação (2) tem seis coeficientes e a equação (3) doze. Na equação (2), o número de dados experimentais deve ser no mínimo seis e para a equação (3) no mínimo doze. Obteve-se um total de dezesseis valores para b e dezesseis valores para k, onde utilizou-se quatro diferentes temperaturas e quatro diferentes umidades relativa. Não houve portanto, dificuldades em se utilizar as equações (2) e (3).

A equação (1) em combinação com a equação (2) e/ou (3) define um modelo matemático no qual é capaz de estimar o fenômeno de caking pós de frutas se as condições de estocagem e o conteúdo de açúcares das frutas forem conhecidos.

Um programa de computador foi escrito em FORTRAN e as equações (2) e (3) com seus coeficientes foram expressas como duas funções lineares. Estas duas funções foram colocadas na equação (1) e a equação final foi usada para calcular o grau de caking como função de temperatura e umidade relativa e teor de frutose, glucose e sacarose contido nos frutos.

Adaptou-se o tempo e o grau de caking correspondente a uma regressão multiplinar e regressão múltipla com termos quadráticos, primeiro considerando como duas variáveis independentes, como por exemplo temperatura e umidade relativa.

Obteve-se da equação (1) os seguintes coeficientes para b e k:

$$\begin{aligned}
 k = & a_0 + a_1T + a_2UR + a_3F + a_4G \\
 & + a_5S + a_6T^2 + a_7UR^2 + a_8F^2 \\
 & + a_9G^2 + a_{10}S^2 + a_{11}T \cdot UR \cdot F \cdot G \cdot S \quad \dots 4
 \end{aligned}$$

onde, coeficientes a_0, a_1, \dots, a_{11} foram estimados como:

$$\begin{aligned}
 a_0 = & -80,01703; & a_1 = & 2,209223; & a_2 = & 0,1379175 \\
 a_3 = & 0,1331088; & a_4 = & -1,500252; & a_5 = & -0,1379175 \\
 a_6 = & 0,0241648; & a_7 = & 0,001581628; & a_8 = & 0,06067602 \\
 a_9 = & 0,004928922; & a_{10} = & 0,002845436; & a_{11} = & 0,9670811 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

dando um coeficiente de correlação de 0,64:

$$b = a_0 + a_1T + a_2UR + a_3F + a_4G + a_5S \quad \dots 5$$

onde os coeficientes a_0, a_1, \dots, a_5 foram estimados como:

$$\begin{aligned}
 a_0 = & 0,011211106; & a_1 = & 0,008559684; & a_2 = & 0,004467826 \\
 a_3 = & 0,1052855; & a_4 = & 0,05194058; & a_5 = & -0,02805369
 \end{aligned}$$

com um coeficiente de correlação de 0,86.

A expressão de k e b , dada pela equação (4) e (5) respectivamente são substituídas na equação (1). É um modelo geral para expressar o grau de caking como função da temperatura, umidade relativa e fração do teor de frutose, glucose e sacarose da fruta.

Pode-se verificar nas Figuras 22 - 25 que os resultados obtidos experimentalmente estão bem próximos dos valores estimados, isto nas temperaturas de 20 e 35°C. Observa-se ainda que à medida que aumenta a umidade relativa, os dados experimentais vão se tornando menos próximos dos estimados concluindo que o modelo não parece ser muito preciso em umidades relativas mais altas.

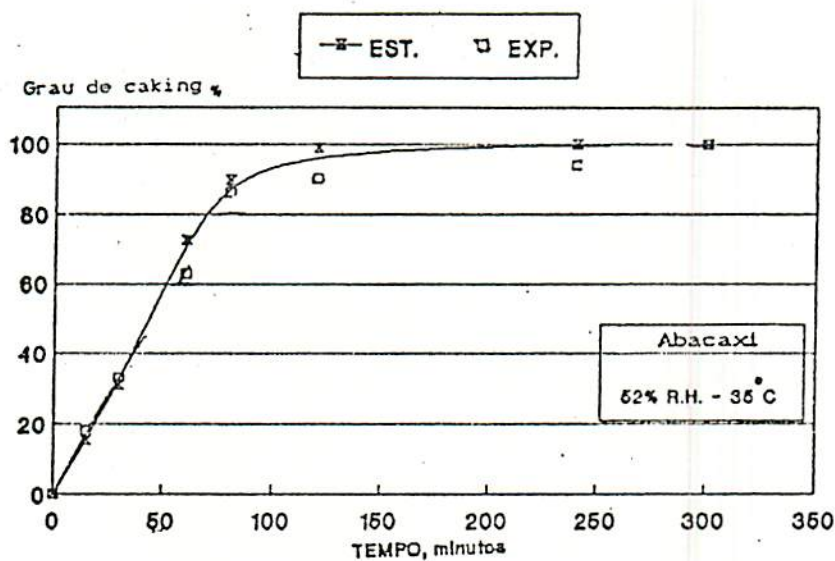


FIGURA 22. Grau de caking de suco de abacaxi liofilizados estimados e obtidos experimentalmente a temperatura de 35°C e umidade relativa de 52%.

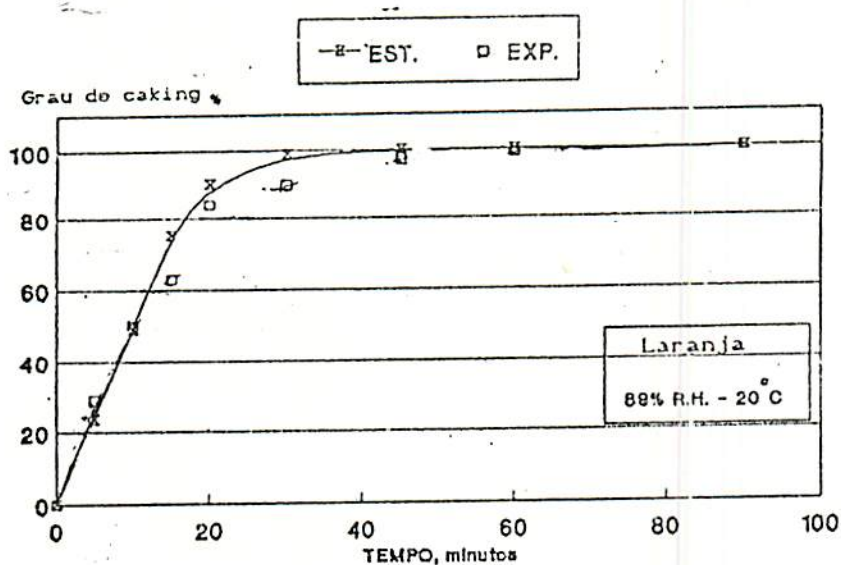


FIGURA 23. Grau de caking de suco de laranja liofilizados estimados e obtidos experimentalmente a temperatura de 20°C e umidade relativa de 89%.

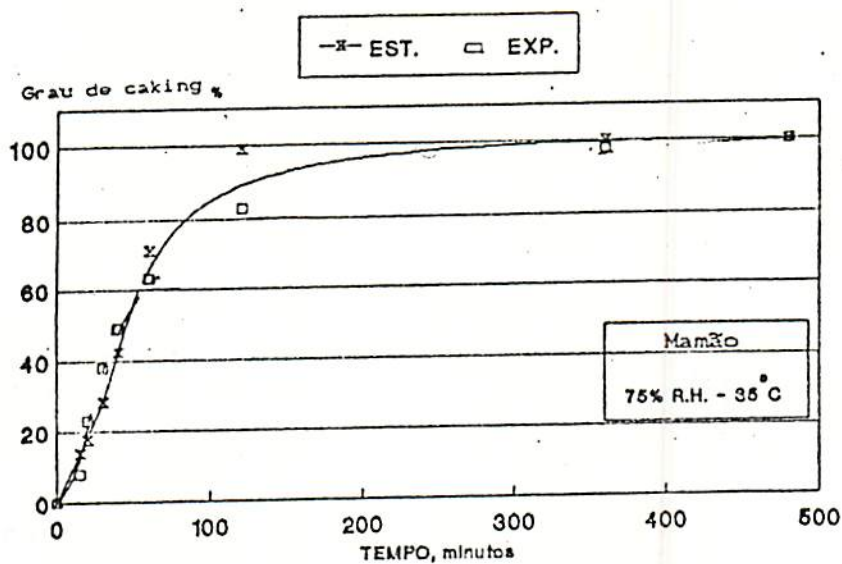


FIGURA 24. Grau de caking de suco de mamão liofilizados estimados e obtidos experimentalmente a temperatura de 35°C e umidade relativa de 75%.

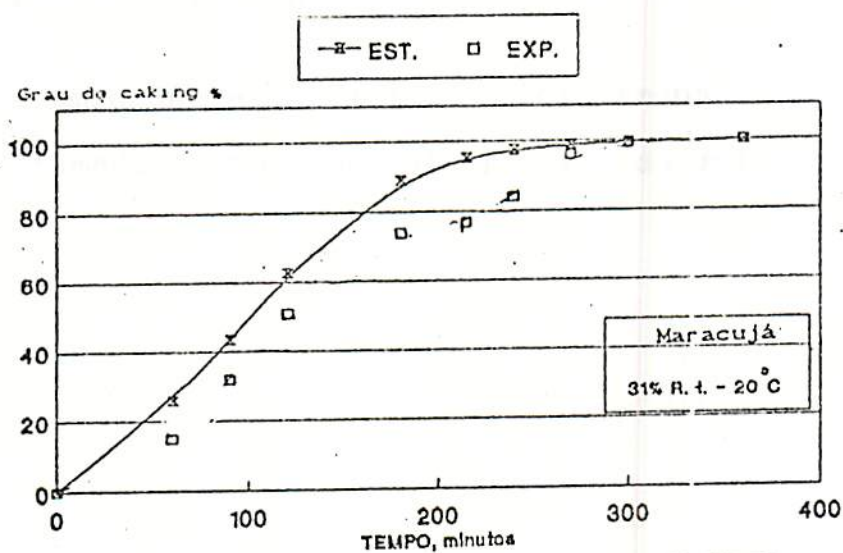


FIGURA 25. Grau de caking de suco de maracujá liofilizados estimados e obtidos experimentalmente a temperatura de 20°C e umidade relativa de 31%.

5. CONCLUSÃO

1. O modelo para estimar o grau de caking do produto é mais preciso quando forem considerados baixos tempos de condicionamento.
2. O grau de caking estimado é em geral mais elevado do que o encontrado experimentalmente.
3. Quando a unidade relativa de condicionamento é baixa, o grau de caking estimado se mostrou mais próximo do valor real.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

1. Estudar o comportamento de misturas de glucose, frutose e sacarose e determinar a cinética de caking dessa mistura assim como propor um modelo matemático.
2. Estudar o modelo proposto nesse trabalho para os diversos pós de alimentos existente.
3. Estudar os dados existentes em literatura e através deles propor um modelo matemático.

7. RESUMO

O grau de caking de pós de abacaxi, laranja, mamão e maracujá foram estudados a diferentes condições de temperatura (10, 20, 35 e 45°C) e umidade relativa (31, 52, 72 e 88%). Observou-se que com o aumento de umidade relativa e temperatura há uma diminuição do tempo de caking, e que os teores de açúcares também influem nesse tempo.

Os dados foram plotados e um modelo geral foi desenvolvido, testou-se então a validade do modelo com os dados experimentais para estimar assim o fenômeno de caking.

8. SUMMARY

KINETICS OF CAKING OF FREEZE DRIED FRUITS AND RELATED MATHEMATICAL MODELING

Degree of caking in powders of passion fruit, orange, papaya and pineapple pulp was studied under different environmental conditions of temperature (10, 20, 35 and 45°C) and relative humidity (31, 52, 72, 89%). The chemistry composition, influence the time of caking. With the increase of the relative humidity and the temperature we show the decrease of the time of caking.

The data were plotted and a general mathematical model was developed and later validated with experimental data to estimated the phenomenon of caking.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. AUDU, T.O.K.; LONCIN, M. & WEISSER, H. Sorption isotherms of sugars. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, Zurich, 11:31-4, 1978.
2. BELLOWS, R.J. & KING, C.J. Product collapse during freeze drying of liquid foods. *AIChE Symposium Series*, California, 69(132):33-41, 1973.
3. BRUNAUER, S.; EMETT, P.H. & TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American Chemical Society*, Washington, 60:309-19, Feb. 1938.
4. CAL-VIDAL, J. Comportamento higroscópico e poder autoaglomerante (caking) de suco de maracujá (*Passiflora edulis*; *F. Flavicarpa*) liofilizado. Escola Politécnica, USP, 1982. 205p. (Tese de Doutorado).

5. CAL-VIDAL, J.; CARVALHO, R.F. de & SANTOS, S.C.S. Caking phenomena in tropical fruit powders. In: LE MAGUER, M. & JELEN, P., ed. Food Engineering and Process Applications, Transport Phenomena. New York, Elsevier Applied Science Publishers, 1986. v.1, Cap.45, p.483-97.
6. _____ & FALCONE, M. Autoglomeração de suco de maracujá liofilizado em pó. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, 7(1):82-96, 1987.
7. _____ & FALCONE, M. Processing conditions affecting the hygroscopic behavior of freeze-dried passion fruit juice. Journal of Food Science, Chicago, 50(5):1238-41, Sept./ Oct. 1985.
8. CARVALHO, R.F. de. Higroscopicidade e auto-aglomeração (caking) de pós liofilizados de goiaba (*Psidium guajava* L.) contendo agentes anti-caking. Lavras, ESAL, 1983. 114p. (Tese MS).
9. CHAN JR, H.T. & KWOK, S.C.M. Identification and determination of sugars in some tropical fruit product. Journal of Food Science, Chicago, 40:419-20, 1975a.

10. CHAN JR, H.T. & KWOK, S.C.M. Importance of enzyme inactivation prior to extraction of sugars from papaya. *Journal of Food Science*, Chicago, 40:770-1, 1975b.
11. CHEN, N.K-L. Chemical changes during the post-harvest ripening of papaya fruit. Honolulu, University of Hawaii, 1963. p. (Tese MS).
12. CHUNG, D.S. & FFOST, H.B. Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 10(4):552-5, 1967.
13. CRAIK, D.J. & MILLER, B.F. The flow properties of powder under humid conditions. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, London, 10:136, 1958.
14. DE GOIS, V.A. de. Comportamento higroscópico do mamão liofilizado com vista ao estabelecimento do seu potencial de "caking". Lavras, ESAL, 1981. 114p. (Tese MS).
15. DOWNTON, G.E.; FLORES-LUNA, J. & KING, C.H. Mechanism of stickiness in hygroscopic, Amorphous powders. *Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals*, California, 21(4): 447-51, 1982.

16. GALBO, A.D.; SILVA, W.L.C. & TORRES, A.C. Comparação de modelos e estratégias para análise de crescimento. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Brasil, 1(1):1-7, 1989.
17. HALLSTROM, B. & TRAGARD, C. Mathematical modelling in food engineering research. *Acta Alimentaria*, Budapest, 16(3): 239-48, 1987.
18. HAMANO, M. & SUGIMOTO, H. Effect of sugars on water sorption of powdered soy sauce. *Journal of Agricultural and Chemical Society*, Tokyo, 50(7):311-7, 1976.
19. IGLESIAS, H.A. & CHIRIFE, J. An empirical equation for fitting water sorption isotherms of fruit and related products. *Canadian Institute of Food Science and Technology*, Ottawa, 2(1):12-5, Jan. 1978.
20. _____; _____ & BOQUET, R. Prediction of water sorption isotherms of food models knowledge of components sorption behavior. *Journal of Food Science*, Chicago, 45(3):450-2, 457, May/June 1980.

21. JUAN, I.M. & CHANG, W.H. Studies on the water adsorption and anticaking of instant tea. In: INTERNATIONAL FLAVOR CONFERENCE, 5, Porto Karras, 1987. proceedins... Netherlands, Elsevier Science Publishers, 1988. p.201-16.
22. LAZAR, M.E. & MORGAN, A.I. Instante apple sauce. Food Technology, Chicago, 20(4):179-81, Apr. 1966.
23. LIMA, A.W.O. & CAL-VIDAL, J. Estimation of shelf life of film packaged freeze-driede banana. Journal of Stored Products Research, Oxford, 24(2):73-8, 1988.
24. MAIA, M.C.A. Influencia da adiçao de pectina, gelatina e ácido cítrico na higroscopicidade de pós liofilizados de sucos cítricos. Lavras, ESAL, 1988. 178p. (Tese MS).
25. MAKOWER, B. & DYE, W. Equilibrium moisture content and crystalization of amorphus sucrose and glucose. Journal of Agriculture and Food Chemistry, Easton, 4(1):72-7, 1955.
26. MALAVE-LOPES, J. & PELEG, M. Mechanical attrition rate measurements in agglomerated instant coffee. Journal of Food Science, Chicago, 51:587-97, 1986.

27. MANNHEIM, C.H. Determination of the chemical and physical factor with regulate higroscopicity in dehydrated food as a basis of for preventing water uptake, prolouing their storage life. Research Report, 080-037, Technion Israel Institute of Technology, Haife, Israel, 1974.
28. MOREYRA, R. & PELEG, M. Compreensive deformation patterns of selected food powders. Journal of Food Science, Chicago, 45:854-8, 1980.
29. _____ & _____. Propriedades físicas relacionadas com el flujo de alimentos en polvo. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, Valencia, 81(3), 1981.
30. NEWMANN, B.S. Powders. In: HERMNS, J.J., ed. Flow properties of disperse systems. North Holland, 1953. Chap.10, p.382-422.
31. NIRO ATOMIZER, ed. Analitical methods for dried milk products. 4.ed. Copenhagen, 1978. 108p.
32. O'BRIEN, F.E.M. The control of humidity by saturated solution. Journal Science Instrumental, New York, 25(3): 73-6, Mar. 1948.

33. OSWIN, C.R. The kinetics of package life. III. The isotherm. *Journal of Chemical Industry, London*, 64(3):419, Mar. 1946.
34. PELEG, M. An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science, Chicago*, 53: 1216-7, 1988.
35. _____ & MANNHEIM, C.H. Caking of onion powder. *Journal of Food Technology, Oxford*, 4:157-60, 1969.
36. _____ & _____. Effect of conditioner on flow properties of powdered sucrose. *Powder Technology, Israel*, 7:45-50, 1973.
37. _____ & _____. The mechanism of caking of powdered onion. *Journal of Food Processing and Preservation, Westport*, 7:3-11, 1977.
38. PELEG, M.; MANNHEIM, C.H. & PASSY, N. Flow properties of some food powders. *Journal of Food Science, Chicago*, 38:959-64, 1973.

39. FILPEL, N. & BRITTEN, J.R. effects of temperature on flow and tensile strength of powders. *Powder Technology*, Israel, 22:33, 1979.
40. ROCKLAND, L.B. Saturated salt solution for static control of relative humidity between 5 and 40°C. *Analytical Chemistry*, Washington, 32(10):1375-6, Sept. 1960.
41. SANTOS, S.C.S. Grau de caking de pO_2 de abacate (*Persea americana*, Mill) obtidos por spray drying. Lavras, ESAL, 1983. 103p. (Tese MS).
42. SCHUBERT, H. Food particle technology. Part I: Properties of particles and particulate food systems. *Journal of Food Engineering*, England, 6:1-32, 1987.
43. SILVEBERG, J.; LEHR, J.R. & HOFF MEISTER JR., G. Microscopic study of the mechanism of caking and its prevention in some granular fertilizers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, 6(6):442-8, 1958.
44. SIMATOS, D. & BLOND, G. The porous texture of freeze dried products. In: *Freeze drying and advanced food technology*, 1975.

45. SMITH, D.S.; MANNHEIM, C.H. & GILBERT, S.G. Water sorption isotherms of sucrose and glucose by inverse gas chromatography. *Journal of Food Science*, Chicago, 46(4):1051-3, July/Aug. 1981.
46. SOUTHGATE, D.A.T. *Determination of food carbohydrates*. London, Applied Science Publishing, 1976. 178p.
47. STITT, F. Moisture equilibrium and the determination of water content of dehydrated foods. In: *Fundamental aspects of the dehydration of foodstuffs*. London, Society of Chemical Industry, 1958. p.67-88.
48. STOKES, R.H. & ROBINSON, R.A. Standard solutions for humidity control at 25°C. *Industrial and Engineering Chemistry*, Washington, 41(9):2018, 1949.
49. VIOLAZ, P.; CHIRIFE, J. & IGLESIAS, H.A. Slopes of moisture sorption isotherms of foods as a function of moisture content. *Journal of Food Science*, Chicago, 42:505-8, 1978.
50. WHYNES, A.L. & DEE, T.P. The caking of granular fertilizers: an investigation on a laboratory scale. *Journal of the Science Food Agriculture*, Oxford, 8:577-91, 1957.

51. YANG, G.C. & CHINNAN, M.S. computer modeling of gas composition and color development of tomatoes stored in polymeric film. *Journal of Food Science*, Chicago, 53(3):869-72, 1988.

APENDICE

APENDICE 1. Cinética de caking dos pós de frutas estudados a temperatura de 45°C e umidade relativa de 89%.

Tempo (Minutos)	ABACAXI	MAMAO	MARACUJA	LARANJA
1	9		30	23
3	35		52	45
5	45		83	94
8	70			
10	94		95	96
15	96	27	98	98
25	99	62	100	100
30	100	80		
45		90		
55		92		
65		95		
75		100		

APENDICE 2. Cinética de caking dos pós de frutas estudados a temperatura de 45°C e umidade relativa de 75%.

Tempo (Minutos)	ABACAXI	MAMAO	MARACUJA	LARANJA
1			27	15
3			47	49
5	3	3	90	73
10	4	4	96	92
15	17	14	97	96
35	42	31	100	100
75	96	79		
95	100	81		
120		100		

APENDICE 3. Cinética de caking dos pós de frutas estudados a temperatura de 45°C e umidade relativa de 52%.

Tempo (Minutos)	ABACAXI	MAMAO	MARACUJA	LARANJA
3			23	19
5			39	34
7			51	48
10	13			
15			93	83
20	21	8	97	
45	43	15	100	99
50	50			100
80		34		
120	100	68		
170		100		

APENDICE 4. Cinética de caking dos pós de frutas estudados a temperatura de 45°C e umidade relativa de 31%.

Tempo (Minutos)	ABACAXI	MAMAO	MARACUJA	LARANJA
1			9	
3			17	
5			59	28
15	8		87	41
30	23		96	63
45	44	11	98	84
60		13	100	
90	78	18		99
110	89	33		100
180		51		
300	100	79		
420		94		
600		100		

APENDICE 5. Cinética de caking dos pós de frutas estudados a temperatura de 35°C e umidade relativa de 89%.

Tempo (Minutos)	ABACAXI	MAMÃO	MARACUJA	LARANJA
1			27	20
9			37	39
5			83	
9			87	54
10	22		90	76
15	34	12	99	
20	47	20	99	96
25	60		100	97
30	86	45		
35				100
60	92	78		
120	100	87		
150		95		
190		100		

APENDICE 6. Cinética de caking dos pós de frutas estudados a temperatura de 35°C e umidade relativa de 75%.

Tempo (Minutos)	ABACAXI	MAMÃO	MARACUJA	LARANJA
3				29
5				42
10	16		26	60
15		8	38	
20	40	23	51	
25			73	74
30	62	36		
40		49	83	
45			92	98
50			100	99
60		63		100
240	100			
360		98		
480		100		

APENDICE 7. Cinética de caking dos pós de frutas estudados a temperatura de 35°C e umidade relativa de 52%.

Tempo (Minutos)	ABACAXI	MAMÃO	MARACUJA	LARANJA
5			20	32
15	18		58	54
20		20	76	72
25			89	87
30	33		93	
60	63	35	100	97
80	86	54		100
120	90	78		
240	94	83		
300	100			
360		88		
600		100		

APENDICE 8. Cinética de caking dos pós de frutas estudados a temperatura de 35°C e umidade relativa de 31%.

Tempo (Minutos)	ABACAXI	MAMÃO	MARACUJA	LARANJA
15			29	17
30			59	30
50			81	59
60	27		82	67
90	49		100	
360	95	32		100
600	97	52		
720	98	74		
2880	100	88		
4920		90		
5960		100		

APENDICE 9. Cinética de caking dos pós de frutas estudados a temperatura de 20°C e umidade relativa de 89%.

Tempo (Minutos)	ABACAXI	MAMAO	MARACUJA	LARANJA
1			16	
3			29	
5			52	29
7			75	
10			88	50
15	7	7		63
20		18	98	84
30	38	29	99	90
40	59	41	100	
60	60	63		99
90	95			100
120	100	95		
360		100		

APENDICE 10. Cinética de caking dos pós de frutas estudados a temperatura de 20°C e umidade relativa de 75%.

Tempo (Minutos)	ABACAXI	MAMAO	MARACUJA	LARANJA
10			23	
15	22	18		39
20			53	43
30	47	24	75	70
40	53	48		83
50		60	87	
90			100	
120	89	91		100
240	96			
360	100	93		
520		100		

APENDICE 11. Cinética de caking dos pós de frutas estudados a temperatura de 20°C e umidade relativa de 52%.

Tempo (Minutos)	ABACAXI	MAMÃO	MARACUJA	LARANJA
15	5		10	
30	20		27	22
60		19	39	30
100		37	93	84
120	51	54	100	
140				100
210	91			
480	100			
660		90		
840		93		
1000		100		

APENDICE 12. Cinética de caking dos pós de frutas estudados a temperatura de 20°C e umidade relativa de 31%.

Tempo (Minutos)	ABACAXI	MAMÃO	MARACUJA	LARANJA
60			15	
120			51	9
180			74	37
240			84	64
360			100	93
420				100
720	29	23		
1080	46			
1440	74	63		
2880	96	79		
3600	100	80		
4320		86		
5760		100		

APENDICE 13. Cinética de caking dos pós de frutas estudados a temperatura de 10°C e umidade relativa de 89%.

Tempo (Minutos)	ABACAXI	MAMAO	MARACUJA	LARANJA
5				21
10		5	17	42
15	9	6	42	60
30	24	16	71	80
60	73	49	100	91
120	91	65		100
240	96	73		
300	100			
420		95		
540		100		

APENDICE 14. Cinética de caking dos pós de frutas estudados a temperatura de 10°C e umidade relativa de 75%.

Tempo (Minutos)	ABACAXI	MAMAO	MARACUJA	LARANJA
10			5	
15		1		13
20	20	19	54	56
60	46	42	70	89
100			100	
140		76		100
300	91	81		
360	100	87		
480		94		
600		100		

APENDICE 15. Cinética de caking dos pós de frutas estudados a temperatura de 10°C e umidade relativa de 52%.

Tempo (Minutos)	ABACAXI	MAMÃO	MARACUJA	LARANJA
30		1	23	17
60	4	12	44	39
80			72	66
120	48	36	92	87
180	77	43	100	98
210				100
240	90			
270	98	57		
380	100	63		
540		73		
660		82		
1000		96		
1440		100		

APENDICE 16. Cinética de caking dos pós de frutas estudados a temperatura de 10°C e umidade relativa de 31%.

Tempo (Minutos)	ABACAXI	MAMÃO	MARACUJA	LARANJA
120			10	
180	2			11
240			45	
300	2			
360			49	23
420	5			
480			68	52
540	24			
720	45	8	94	87
900			100	
1440	78	22		100
2160	93	68		
3600	100	71		
5760		93		
7200		100		