

# ANÁLISE HIGROSCÓPICA E MICROESTRUTURAL DE FRUTAS DESIDRATADAS<sup>1</sup>

SORAIA V. BORGES<sup>2</sup> e JOSÉ CAL-VIDAL<sup>3</sup>

**RESUMO** - O comportamento higroscópico de frutas desidratadas (*Carica papaya*, *Musa* sp e *Mangifera indica*) foi analisado tomando-se por base as isotermas e a cinética de adsorção d'água em várias condições ambientais de temperatura (10,20 e 40°C) e umidade relativa (33-87%). A composição química e a microestrutura também foi pesquisada. Os resultados mostraram influência dos açúcares sobre o conteúdo de umidade de equilíbrio. Estes produtos apresentaram estrutura porosa, e a taxa de adsorção d'água pela banana e pela manga foi influenciada pela temperatura e umidade relativa ambientais e pela quantidade de água adsorvida.

Termos para indexação: composição química, açúcares, microestrutura, umidade relativa.

## HYGROSCOPIC AND MICROSTRUCTURAL ANALYSES OF DEHYDRATED FRUITS

**ABSTRACT** - The hygroscopic behavior of dehydrated fruits (*Carica papaya*, *Mangifera indica* and *Musa* sp) was analysed based on the isotherm and kinetics of water sorption at several environmental conditions of temperature (10,20 and 40°C) and relative humidity (33 to 87%). The chemical composition and microstructure were also searched. The results showed an influence of the sugars on the equilibrium moisture. This products presented a porous structure, and the water sorption rate for banana and mango was influenced by the amount of water absorbed and by the environmental conditions (temperature and relative humidity).

Index terms: water chemical composition, sugars, microstructure, relative humidity.

## INTRODUÇÃO

A desidratação de frutas, embora reduza a disponibilidade de água e aumente sua durabilidade, provoca certas mudanças estruturais nos açúcares como o alto grau de amorfismo, tornando o produto altamente higroscópico e sensível às mudanças físicas, químicas e microbiológicas, as quais prejudicam sua aceitação pelo consumidor. É, portanto, neste aspecto, que a construção das isotermas e o estudo cinético da adsorção se faz necessário, pois a partir destas informações podemos melhorar o desempenho dos secadores, otimizar as condições de armazenamento e prever o conteúdo de umidade de equilíbrio (Labuza et al., 1970; Karel, 1975; Cabral & Alvim, 1981; Singh et al., 1981; Strumillo & Kudra, 1986).

Entre um gás e um sólido existem muitas forças de atração que dependem da estrutura física do sólido como da natureza química de ambos, gás e sólido. Tratando-se do sistema ar úmido-fruta desidratada, a adsorção d'água depende das condições do ar (temperatura e umidade relativa) (Labuza et al., 1970; Gois & Cal-Vidal, 1986; Mateos-Nevado Alonso, 1986), das interações químicas e físicas da água com os constituintes do alimento (Siddapa & Nanjundaswamy, 1960; Varshney & Ojha, 1977; Iglesias et al., 1980 e Chinachoti & Steinberg, 1984), e do grau de porosidade do sólido (Saravacos, 1967; El-Sabaawi & Pel, 1977).

No caso de frutas desidratadas, os açúcares são os principais fatores das interações com as moléculas de água, e, segundo Makower & Dye (1956), Donnely et al. (1973), Smith et al. (1981), o comportamento destes açúcares é diferente, sendo a frutose o açúcar mais higroscópico, seguido pela glicose e sacarose.

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 17 de janeiro de 1994.

<sup>2</sup> Enga.-Química, M.Sc., Dep. de Ciência dos Alimentos (ESAL), CEP 37200-000 Lavras, MG.

<sup>3</sup> Eng.-Químico, Dr., Dep. de Ciência dos Alimentos (ESAL).

Todos estes fatores exercem interferência direta na intensidade ou cinética da adsorção: elevando a umidade relativa e a temperatura, eles aumentam, respectivamente, a difusividade do vapor d'água para o interior do material e as forças ativas de superfície para atraí-lo (King, 1965; Saravacos, 1965; Mazza & Le Maguer, 1978).

Em produtos porosos, estas forças tendem a diminuir com a subsequente adsorção, conforme se observa em alguns resultados da literatura (Saravacos, 1965; Jerecevic & Le Maguer, 1975 e Gois & Cal-Vidal, 1986).

Com base no exposto, este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento higroscópico e cinético de frutas tropicais desidratadas em secador de rolo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Amostras comerciais de banana (*Musa*, sp), mamão (*Carica papaya*) e manga (*Mangifera indica*), desidratadas em tambor rotativo, foram utilizadas para os testes, feitos em triplicata.

O conteúdo de açúcares foi determinado pelo método de Arêas & Lajolo (1980); o amido, pelas técnicas do Instituto Adolfo Lutz (1976); a proteína e umidade, segundo Horwitz (1975).

Para a determinação de adsorção d'água, utilizou-se o método estático descrito por Rockland (1960), com uso de soluções salinas saturadas em dessecadores mantidos nas temperaturas de 10, 22, 30 e 40°C.

Para o estudo cinético, utilizaram-se amostras de banana e manga, sendo a taxa de adsorção em cada intervalo de tempo dada pela tangente à curva que descreve a quantidade de água adsorvida versus tempo.

As análises microscópicas foram feitas em microscópio eletrônico de varredura, segundo a técnica de Buma & Henstra (1971).

O experimento foi feito em duplicata, e para as

análises estatísticas foi empregado o programa SAS, (Statistical Analysis Systems, 1985).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra a composição química das frutas desidratadas, a qual está de acordo com os resultados apresentados por Simmonds (1966); Nagy & Shaw (1980); Manica (1981); Wills et al. (1986).

A manga apresentou o mais alto teor de sacarose, e o mamão, ausência deste açúcar - como anteriormente reportado por Lassoudière (1969) -, em decorrência de sua conversão em glicose e frutose durante o amadurecimento. Pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, a presença somente de açúcares redutores no mamão resultou em um produto de mais alta higroscopicidade (Fig. 1A) a 10°C e 87% de umidade relativa; em níveis mais baixos (33-53%), os valores não foram significativamente diferentes. A 22°C, conforme ilustram as Fig. 1B e Tabela 2, igualmente, não se observaram diferenças significativas.

O efeito inverso da elevação da temperatura sobre a umidade de equilíbrio é mostrado na Fig. 2 (A e B), e tem sido documentado por vários autores (Smith et al., (1981, Carvalho, 1984, Gois & Cal-Vidal, 1986). Na tentativa de explicar tal fato, Iglésias & Chirife (1976) sugeriram perdas de sítios de adsorção com aumento da temperatura. Quando o calor de adsorção for constante, esta relação pode ser explicada à luz do modelo de Clausius-Clapeyron (Berg & Bruim, 1981).

A alta higroscopicidade destes produtos também se deve à sua estrutura porosa (Fig. 3), o que há de refletir sobre a cinética de adsorção.

Nota-se, pela Fig. 4, que a temperatura influ-

**TABELA 1.** Composição química das frutas desidratadas (g/100 g sólidos secos)  $\mp \sigma_n$ .

Produto	Umidade	Sacarose	Glicose	Frutose	Proteína	Amido
Banana	3.00 $\mp$ 0.08	28.4 $\mp$ 0.94	13.94 $\mp$ 0.04	15.90 $\mp$ 0.08	7.00 $\mp$ 0.82	0.79 $\mp$ 0.03
Mamão	2.74 $\mp$ 0.04	0.0 $\mp$ 0.00	12.27 $\mp$ 0.25	16.76 $\mp$ 0.04	5.85 $\mp$ 0.64	0.85 $\mp$ 0.05
Manga	1.80 $\mp$ 0.40	37.83 $\mp$ 1.88	6.34 $\mp$ 0.10	17.02 $\mp$ 0.43	3.24 $\mp$ 0.20	0.69 $\mp$ 0.07

$\sigma_n$  - desvio-padrão da média.

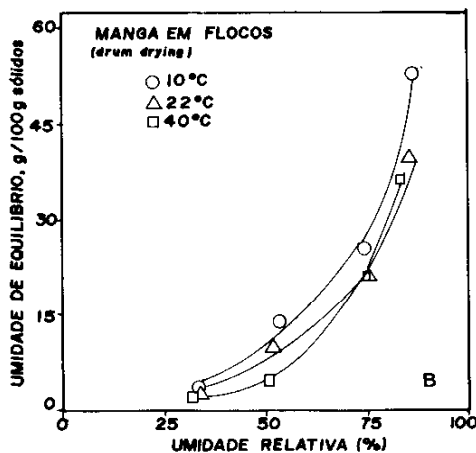
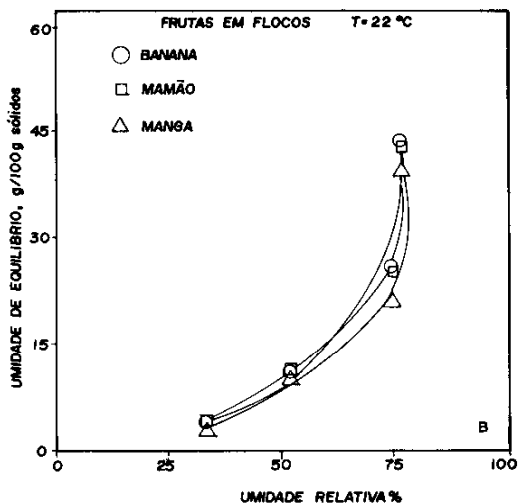
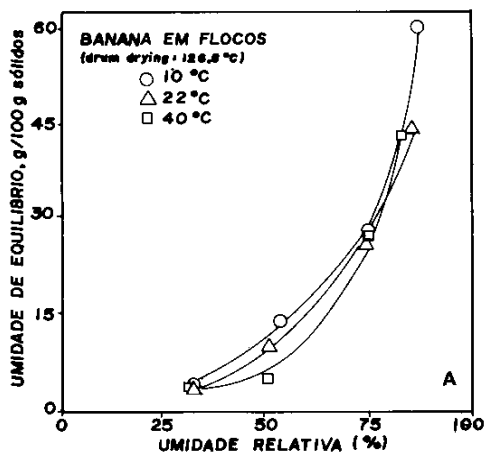
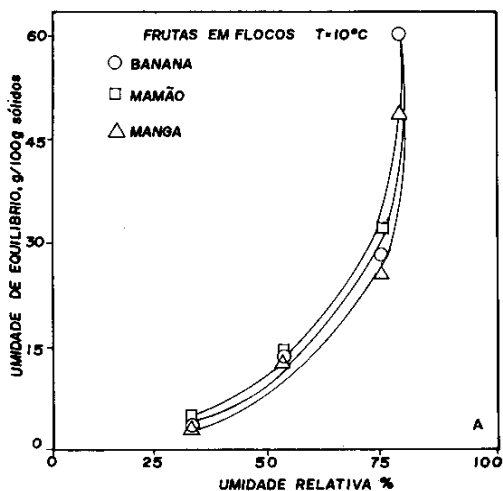


FIG. 1. Isotermas de adsorção d'água para frutas em flocos a 10°C (A) e 22°C (B).

FIG. 2. Isotermas de adsorção d'água a várias temperaturas na banana em flocos (A) e manga em flocos (B).

encia a taxa de adsorção de maneira muito variada, não permitindo, pois, generalização de seus efeitos.

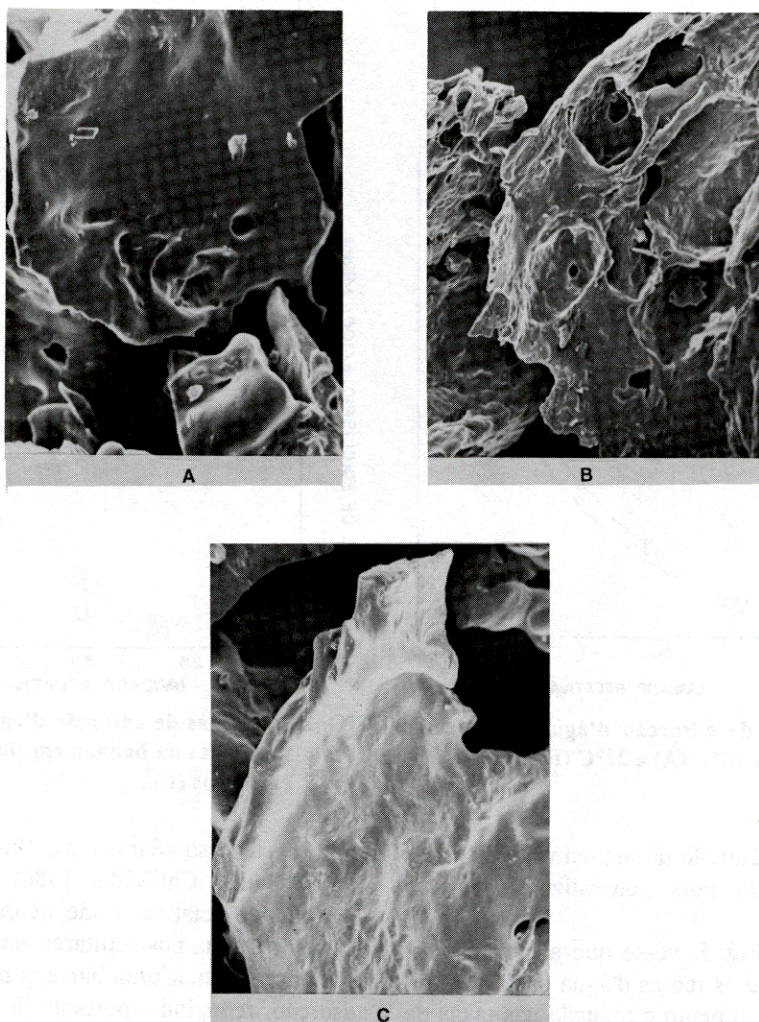
Analisando a Fig. 5, vê-se que a elevação da umidade relativa e os teores d'água promoveram, respectivamente, aumento e redução nas taxas de adsorção. Isto corrobora resultados anteriormente obtidos quanto a produtos de estrutura porosa,

como neste caso (Saravacos, 1965; Udani et al., 1968 e Gois & Cal-Vidal, 1986). Em altos níveis de umidade relativa, pode ocorrer condensação do vapor d'água nos capilares, enchendo os poros de modo a formar uma barreira para subsequente adsorção, reduzindo, portanto, a taxa, com o decorrer do tempo (Udani et al., 1968; El-Sabaawal & Pel, 1977).

**TABELA 2.** Análise de variância para o conteúdo de umidade de equilíbrio alcançado pelas frutas secas expostas a 10 e 22°C em vários níveis de umidade relativa.

Fonte	GL		SG		QM		F		Nível de significância	
	10	22	10	22	10	22	10	22	10	22
Frutas	2	2	1730.0	25.3	865.0	12.7	8.7	4.9	*	NS
UR	3	3	2739.1	2648.5	913.0	943.5	9.2	362.9	*	*
Resíduo	6	6	597.8	15.7	99.6					
Total	11	11	5066.9	2689.5						

\* Pouco significativo ao nível de 0.05; NS: não-significativo.



**FIG. 3.** Fotomicrografias das frutas em flocos: banana (A), mamão (B) e manga (C).

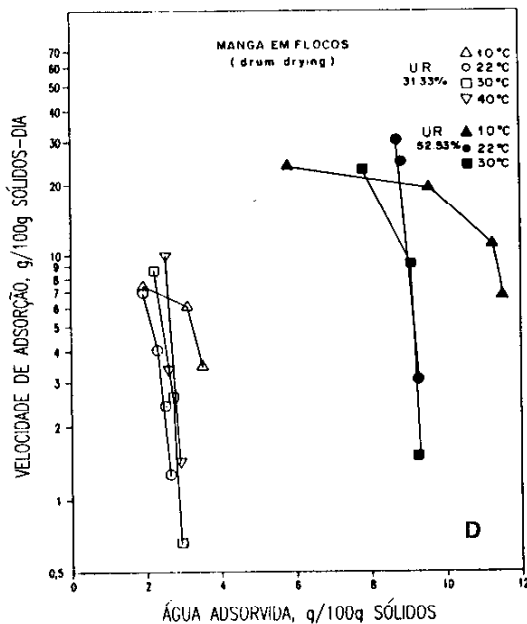
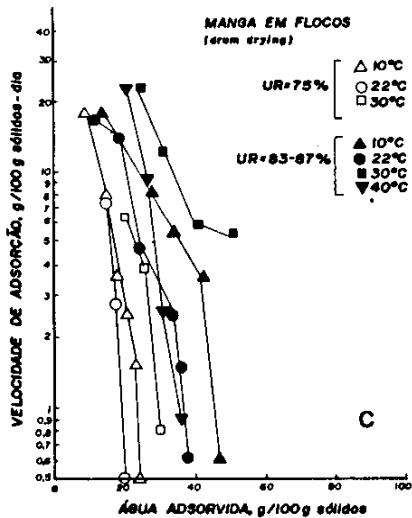
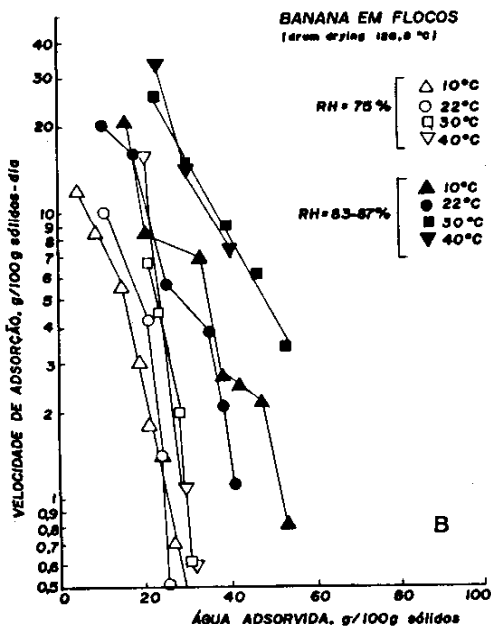
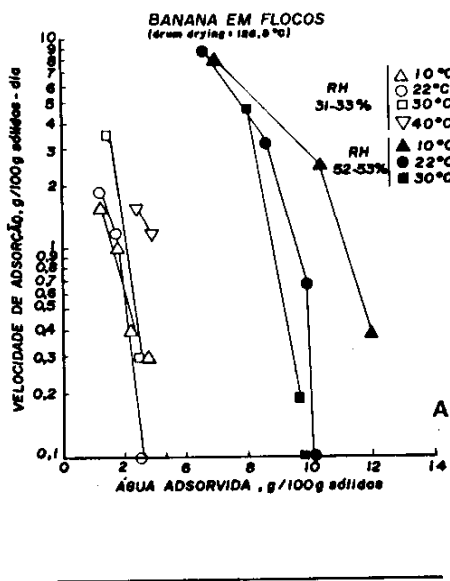


FIG. 4. Cinética de adsorção para a banana (A, B) e manga (C, D).

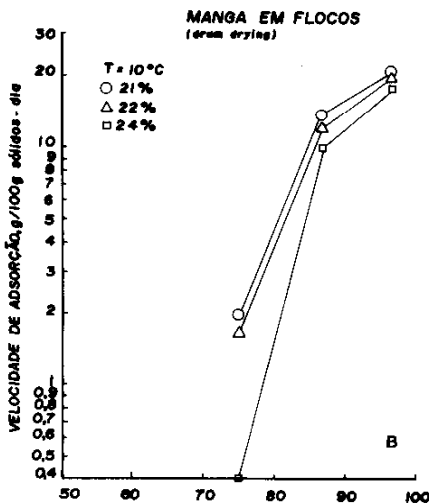
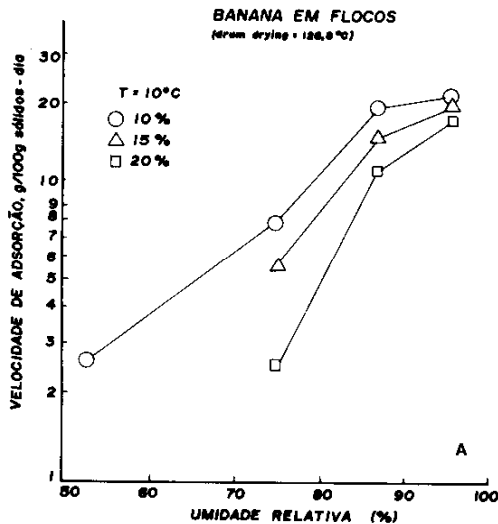


FIG. 5. Cinética de adsorção em vários níveis de umidade relativa e teores d'água para a banana (A) e manga (B).

## CONCLUSÕES

1. Os teores de açúcares redutores presentes nas frutas exerceram influência sobre a umidade de equilíbrio a 10°C, nos níveis de 75-87% de umidade relativa.

2. A cinética de adsorção foi influenciada pela temperatura, pela umidade relativa e pelo teor de água adsorvido.

3. A natureza porosa da banana e da manga desidratadas e a queda na velocidade de adsorção com a subsequente adsorção d'água confirmam resultados existentes anteriormente na literatura.

## REFERÊNCIAS

- ARÊAS, J.A.G.; LAJOLO, F.M. Determinação enzimática específica do amido, glicose, frutose e sacarose em bananas pré-climatéricas. *Anais de Farmácia e Química de São Paulo*, v.20, n.1/2, p.307-318, 1980.
- BERG, C. van den; BRUIM, S. Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects. In: ROCKLAND, L.B.; STEWART, G. *Water activity - influence on food quality*. New York: Academic Press, 1981. p.1-61.
- BUMA, T.J.; HENSTRA, S. Particle structure of spray-dried milk products as observed by scanning electron microscope. *Netherland Milk Dairy Journal*, v.25, p.75-80, 1971.
- CABRAL, A.C.D.; ALVIM, D.D. Alimentos desidratados - conceitos básicos para embalagem e conservação. *Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.18, n.1, p.1-65, 1981.
- CARVALHO, R.F. de. *Higroscopicidade e auto-aglomeração (caking) de pós liofilizados de goiaba (Psidium guajava L.) contendo agentes anti-caking*. Lavras: ESAL, 1984. 92p. Tese de Mestrado.
- CHINACHOTI, P.; STEINBERG, P. Interaction of sucrose with starch during dehydration as shown by water sorption. *Journal of Food Science*, v.49, n.6, p.1604-1608, 1984.
- DONNELLY, J.B.; FRUIM, J.C.; SCALLE, B.L. Reactions of oligosaccharides. III - Hygroscopy properties. *Cereal Chemistry*, v.50, n.4, p.12-19, 1973.
- EL-SABAAWL, M.; PEL, C.T. Moisture isotherms of hygroscopic porous solid. *Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals*, v.18, n.3, p.321-326, 1977.
- GOIS, V.A. de; CAL-VIDAL, J. Kinetics of water sorption by freeze dried papaya. *Drying Technology*, v.4, n.1, p.89-99, 1986.

- HORWITZ, H. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists.** Washington: Association of AOAC, 1975. 1094p.
- IGLÉSIAS, H.A.; CHIRIFE, J. Isosteric heat of water vapour sorption on dehydrated foods. Part I - Analysis of the differential heat curves. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v.9, p.116-122, 1976.
- IGLÉSIAS, H.A.; CHIRIFE, J.; BOQUET, R. Prediction of water sorption isotherms of food models from knowledge of components sorption behavior. **Journal of Food Science**, v.45, n.3, p.450-452, 1980.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise dos alimentos.** São Paulo, 1976.
- JERECEVIC, D.; LE MAGUER, M. Influence of the moisture content on the rate rehydration of potato granules. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, v.8, n.2, p.88-91, 1975.
- KAREL, M. Water activity and food preservation. In: KAREL, M.; FENNEMA, O.R.; LUND, D.B. **Principles food science - Physic principles of food preservation.** New York: [s.n.], 1975. v.4, cap. 8, p.237-263.
- KING, C.J. Rates of moisture sorption and desorption in porous dried foodstuffs. **Food Technology**, v.22, n.4, p.625-629, 1965.
- LABUZA, T.P.; TANNENBAUM, S.R.; KAREL, M. Water content and stability of low-moisture and intermediate-moisture foods. **Food Technology**, v.24, n.5, p.543-550, 1970.
- LASSOUDIÈRE, A. La papaye, IX - Récolte, conditionnement, exportation, produits transformés. **Fruits**, v.24, n.11/12, p.491-502, 1969.
- MAKOWER, B.; DYE, W.B. Equilibrium moisture content and crystallization of amorphous sucrose and glucose. **Journal of Food Technology**, v.4, n.1, p.72-81, 1956.
- MANICA, I. **Fruticultura Tropical - Manga.** São Paulo: [s.n.], 1981. 135p.
- MATEOS-NEVADO ALONSO, M.D. El agua en los alimentos. **Alimentaria**, n.178, p.53-60, 1986.
- MAZZA, G.; LE MAGUER, L. Water sorption properties of yellow globe onion (*Allium cepa* L.). **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, v.11, n.4, p.189-193, 1978.
- NAGY, S.; SHAW, P.E. **Tropical and Subtropical Fruits.** Westport: [s.n.], 1980. 570p.
- ROCKLAND, L.B. Stured salt solutions for static control of relative humidity between 5 and 40°C. **Analytical Chemistry**, v.32, n.10, p.1375-1376, 1960.
- SARAVACOS, G.D. Freeze-drying rates and water sorption of model food gels. **Food Technology**, v.19, n.4, p.625-629, 1965.
- SARAVACOS, G.D. Effect of the drying method on the water sorption of dehydrated apple and potato. **Journal of Food Science**, v.32, n.10, p.81-84, 1967.
- SIDDAPPA, G.S.; NANJUNDASWAMY, A.M. Equilibrium relative humidity (ERH) relations of fruit juice and custard powders. **Food Technology**, v.14, n.10, p.533-537, 1960.
- SIMMONDS, N.W. **Bananas.** London: [s.n.], 1966. 512p.
- SING, B.P.; NARAIN, A.I.; SINGH, H. Kinetics of water sorption by wheat flour from saturated atmosphere. **Journal Food Science and Technology**, v.18, p.201-206, 1981.
- SMITH, D.S.; MANNHEIM, C.H.; GILBERT, S.G. Water sorption isotherms of sucrose and glucose by inverse gas chromatography. **Journal of Food Science**, v.46, n.4, p.1051-1053, 1981.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS. **SAS user's guide: Statistics.** Nc, 1985. 956p.
- STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: principles, applications and design.** New York: [s.n.], 1986.
- VARSHNEY, N.N.; OJHA, T.P. Water vapour sorption of dried milk baby foods. **Journal of Dairy Science**, v.44, p.93-101, 1977.
- UDANI, K.H.; NELSON, A.I.; STEINBERG, M.P. Rates of moisture adsorption by wheat flour and its relation to physical, chemical and baking characteristics. **Food Technology**, v.22, n.12, p.1561-1564, 1968.
- WILLS, R.B.H.; LIM, J.S.K.; GREENFIELD, H. Composition of australian foods. 31-Tropical and sub-tropical fruit. **Food Technology in Australia**, v.38, n.3, p.118-123, 1986.