

# Comparação da cinética da desidratação osmótica de goiabas em sistema batelada e semicontínuo

**Eliana Janet Sanjinez-Argandoña<sup>1</sup>**

Departamento de Engenharia de Alimentos - UNICENTRO  
85010-990 Guarapuava, PR

**Florencia C. Menegalli<sup>2</sup>, Rosiane L. da Cunha<sup>3</sup> e Miriam D. Hubinger<sup>4</sup>**

Faculdade de Engenharia de Alimentos - UNICAMP  
13083-970 Campinas, SP

*(Recebido: 02 de dezembro de 2003)*

*Resumo: Um desidratador osmótico, em escala piloto, foi construído para a desidratação de frutas com reaproveitamento da solução desidratante. Cinéticas de desidratação osmótica de goiabas foram realizadas no desidratador (sistema semicontínuo), variando a relação fruta:solução (1:10 e 1:20) e o fluxo da solução osmótica (77 e 540 kg/h). Os resultados encontrados foram comparados com as respostas de ensaios cinéticos obtidos em béqueres (sistema batelada). As condições de processo para ambos sistemas foram: solução de sacarose a 60 % (m/m) e 40° C para o tempo de processamento de 0,5, 30, 60, 120, 180, 300 e 420 minutos. A solução desidratante no sistema semicontínuo foi reaproveitada por seis vezes. O fluxo através do leito de sólidos no desidratador semicontínuo foi misto, entretanto as diferenças na perda de peso (26,5 e 29,1%) e de água (39,0 e 40,5%) em três horas de desidratação não foram significativas entre os sistemas batelada e semicontínuo (540 kg/h), respectivamente.*

**Palavras-chave:** *Desidratação osmótica, sistema semicontínuo, goiaba*

---

<sup>1</sup>eargandona@unicentro.br

<sup>2</sup>fcm@fea.unicamp.br

<sup>3</sup>rosiane@fea.unicamp.br

<sup>4</sup>mhub@fea.unicamp.br

**Abstract:** The design of a semi-continuous osmotic dehydration apparatus was developed in order to process guava halves, with solution recycling. Kinetics studies were performed, varying the ratio fruit:solution (1:10 and 1:20) and the osmotic solution flow (77 to 540 kg/h). These results were compared to the ones obtained in beakers (batch system). The process conditions for both systems were: sucrose solution 60% (w/w), 40°C, 0.5, 30, 60, 120, 180, 300 and 420 minutes of processing time. In semi-continuous system sucrose solution was recycled six times. The flow for the semi-continuous equipment was of mixed type and no significant differences were observed in weight loss (26.5 and 29.1%) and water loss (39.0 and 40.5%) for tree hour's osmotic dehydration between the batch and semi-continuous (540kg/h) systems.

**Key words:** *Osmotic dehydration, semi-continuous system*

## 1 Introdução

O uso da desidratação osmótica, como pré-tratamento ao processo de secagem, é um método alternativo de redução da demanda energética do processo e dos prejuízos à qualidade do produto final, evitando a exposição dos frutos a altas temperaturas (KROKIDA *et al.*, 2000; LEWICKI & LUKASZUK, 2000; MORENO *et al.*, 2000; SANJINEZ-ARGANDONA, 1999). O interesse por esta técnica é crescente, porém a falta de informação sobre equipamentos e condições de processamento, para tornar possível sua aplicação industrial, são escassas. Os sistemas de processamento encontrados na literatura referem-se em sua maioria a sistemas em batelada em escala de laboratório. Qi *et al.* (1999) construíram um sistema contínuo por aspersão em escala piloto. Cubos de cenoura desidratados osmoticamente validaram o sistema para soluções mistas de sacarose e cloreto de sódio. Entretanto, concentrações mais elevadas (60°Brix) de sacarose obstruíram o sistema de aspersão. As vantagens dos sistemas contínuos, em relação ao sistema em batelada, residem, basicamente, na redução do tempo de operação do processo e no reaproveitamento da solução desidratante, o que implica em menor custo de processo. Szymczak *et al.* (1998), mostraram que o reaproveitamento de xarope de sacarose, na desidratação osmótica de cerejas, não alterou a aceitabilidade do produto para consumo.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de desidratação osmótica semicontínuo, com reaproveitamento da solução desidratante e avaliar as condições de processo na desidratação de goiabas em metades, comparando os coeficientes de transferência de massa com os obtidos no sistema de batelada.

## 2 Material e métodos

### 2.1 Material

Goiabas (*psidium guajava L.*) da variedade vermelha *Paluma* foram obtidas no mercado local de Campinas/SP. As frutas foram selecionadas de acordo com o

tamanho, aparência, formato e grau de maturação. O agente osmótico utilizado foi sacarose comercial a 60% (m/m).

## 2.2 Sistema semicontínuo - Desidratador osmótico

O sistema semicontínuo foi formado por um tanque pulmão, dois desidratadores (um em acrílico e outro em aço inoxidável) uma bomba de lóbulo e um sistema de aquecimento. Os desidratadores foram construídos um em acrílico (espessura: 3 mm) e outro em aço inoxidável com capacidade de 15 quilos de solução desidratante (Figura 1). Bandejas móveis acopláveis aos desidratadores, perfuradas (4mm x 4mm) e de aço inoxidável (inox 304), também foram construídas para a distribuição da fruta. Uma bomba de lóbulo marca Cole Parmer modelo 7549-40, com vazão máxima de 117 ml/s, foi utilizada para a recirculação da solução. Nos desidratadores, as goiabas peladas, cortadas em metades, retiradas as sementes e pesadas, foram distribuídas em 4 ou 8 bandejas (500g a 1000g de goiaba) dependendo da relação fruta:solução (1:10 e 1:20). Após a distribuição da fruta, os desidratadores foram alimentados com a solução de sacarose, previamente aquecida (40°C) no tanque pulmão. A alimentação da solução para o sistema foi realizada por bombeamento contínuo pela parte inferior dos desidratadores e retornando por gravidade, pela parte superior dos equipamentos ao tanque pulmão. As vazões mássicas da solução foram de 77 e 540 kg/h. Foram realizados diferentes ensaios para cada um dos tempos das cinéticas e a solução osmótica utilizada foi reaproveitada nos diferentes tempos para cada cinética.

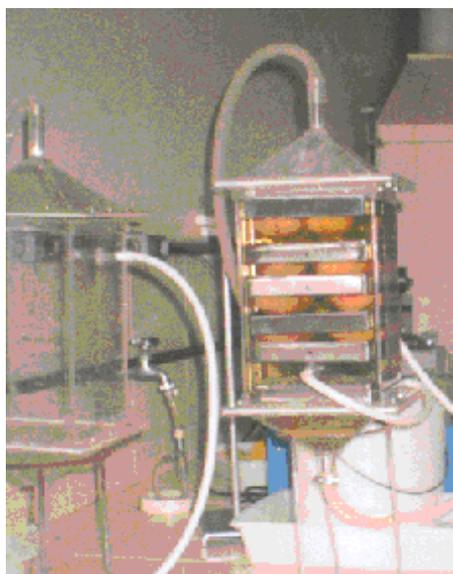


Figura 1. Sistema *semicontínuo*

### 2.3 Sistema Batelada

As goiabas cortadas em metades, limpas e pesadas foram colocadas em frascos de 600 ml com solução de sacarose previamente aquecida, com uma quantidade aproximada de 30 a 40g de goiaba por frasco (Figura 2). A relação fruta: solução foi de 1:10. Os frascos foram colocados em um banho termostático com agitação de 120 rpm e temperatura de 40°C.



Figura 2. Sistema de bancada

Em ambos os sistemas, o tempo de processamento foi de 30, 60, 120, 180, 300 e 420 min. Após o tempo de desidratação, as goiabas foram drenadas, enxaguadas com água destilada, levemente secas e pesadas. Os tratamentos aplicados aos sistemas são descritos na Tabela 1. As amostras de goiaba tratadas foram avaliadas quanto à perda de umidade, peso e atividade de água. Todas as determinações foram feitas em triplicata.

Tratamento	Fruta: solução	Nº bandejas	Vazão
A*	1:20	4	77kg/h
B*	1:10	8	77kg/h
C*	1:20	4	540kg/h
D**	1:10	1	0.8m/s

\* Sistema semicontínuo

\*\* Sistema batelada

Tabela 1. Condições operacionais dos tratamentos para a desidratação osmótica de goiabas em sistema semicontínuo e de batelada.

### 2.4 Tratamento dos dados

A perda de peso (PP), em relação à massa inicial do produto, foi determinada pela pesagem da amostra antes e depois do processo e calculada pela equação (1).

$$pp = \frac{m_o - m_t}{m_o} \times 100 \quad (1)$$

Em que:  $m_o$  e  $m_t$  são a massa total do produto no tempo inicial e a um dado tempo  $t$ , respectivamente.

A perda de água (PA) foi calculada em termos percentuais, com base no peso inicial do material antes da desidratação, pela equação (2)

$$PA = \frac{m_o M_o - m_t M_t}{m_o M_o} \times 100 \quad (2)$$

Em que:  $M_o$  e  $M_t$  são o teor de umidade do produto inicial e no tempo  $t$ .

As cinéticas de perda de peso e perda de água foram ajustadas pela equação (3) proposta por Azuara, et al. (1992).

$$PA_t = \frac{S_1 t (PA_{eq})}{1 + S_1 t} \quad (3)$$

Em que:  $PA_t$  e  $PA_{eq}$  é perda de água (%) num dado tempo  $t$  e no equilíbrio respectivamente,  $t$  tempo (s) e  $S_1$  parâmetro.

O coeficiente de difusividade aparente foi calculado pela equação (4) para a lei de Fick, considerando a geometria de placa plana infinita, transferência de massa unidirecional, regime não estacionário, sólido com concentrações de superfície constante e com resistência externa desprezível (CRANK, 1975).

$$\frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp \left[ -D_a (2n+1)^2 \frac{\pi^2 t}{4L^2} \right] \quad (4)$$

Em que:  $M_o$ ,  $M_t$  e  $M_e$  são o teor de umidade do produto inicial, no tempo  $t$  e no equilíbrio, respectivamente.  $D$  a difusividade aparente ( $m^2/s$ ),  $L$  a espessura do produto (m) e  $t$  o tempo (s). Foram usados dados de equilíbrio obtidos por Sanjinéz-Argandoña (1999).

A velocidade rotacional e o número de Reynolds, aplicado ao sistema de batelada, foram calculados pelas equações (6) e (7).

$$V = \frac{2\pi r N}{t} \quad (6)$$

$$Re = \frac{\rho N D^2}{\mu} \quad (7)$$

Em que:  $V$  é a velocidade rotacional (m/min),  $r$  o raio do bequer (m),  $N$  o número de rotações por minuto (rpm),  $t$  o tempo (min),  $Re$  o número de Reynolds (adimensional),  $\rho$  a densidade da solução de sacarose a 60°Brix ( $kg/m^3$ ),  $\mu$  a viscosidade da solução de sacarose a 60°Brix ( $kg/m \cdot s$ ),  $D$  o diâmetro do tanque (m),  $v$  a velocidade média do fluido (m/s).

Os resultados encontrados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com 95% de nível de confiança no *software* Statistica versão 5.0.

### 3 Resultados e discussão

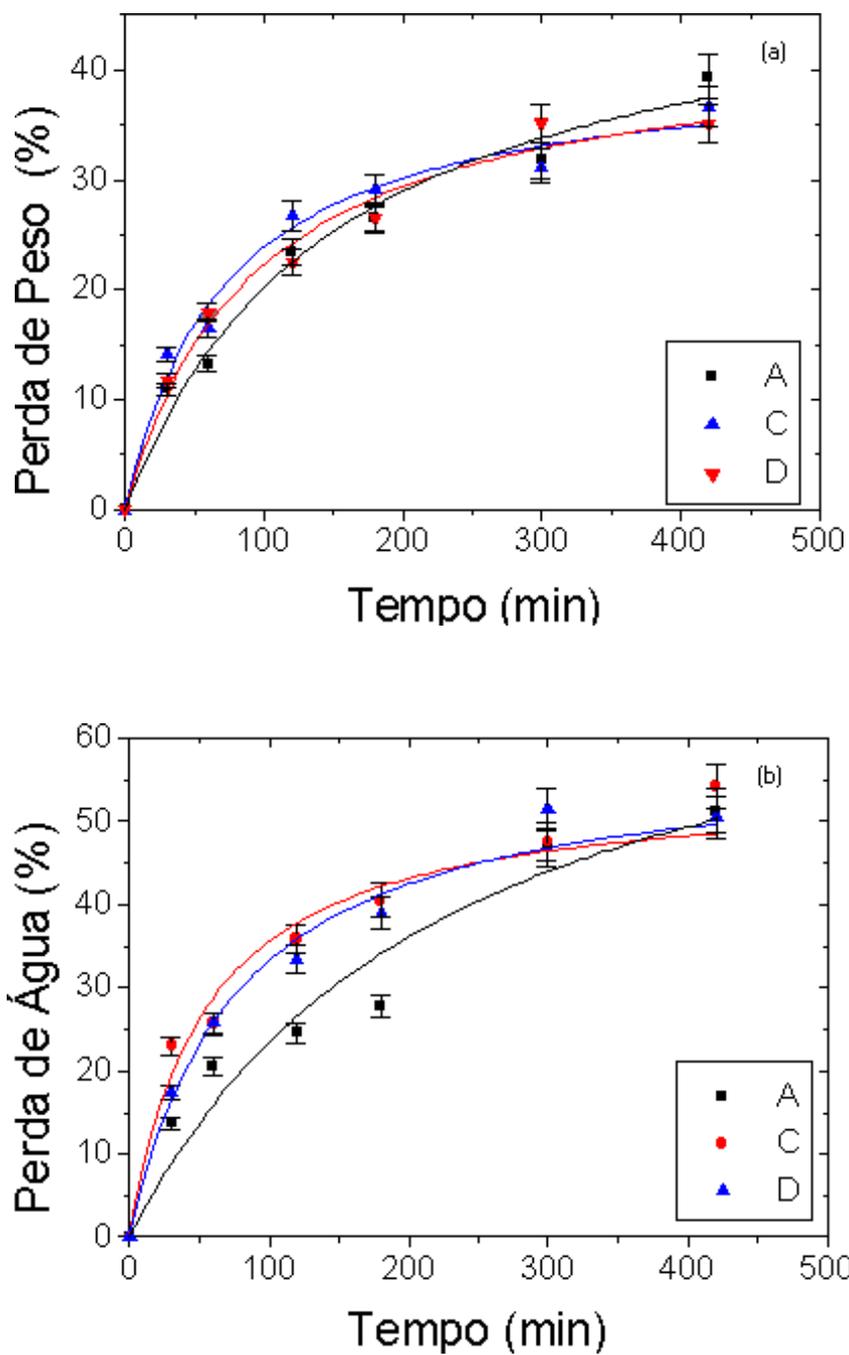


Figura 3.- Perda de Peso (a) e de Água (b) com variação de vazão de fluxo . A (77 kg/h), C (540 kg/h) e D (0,8 m/s).

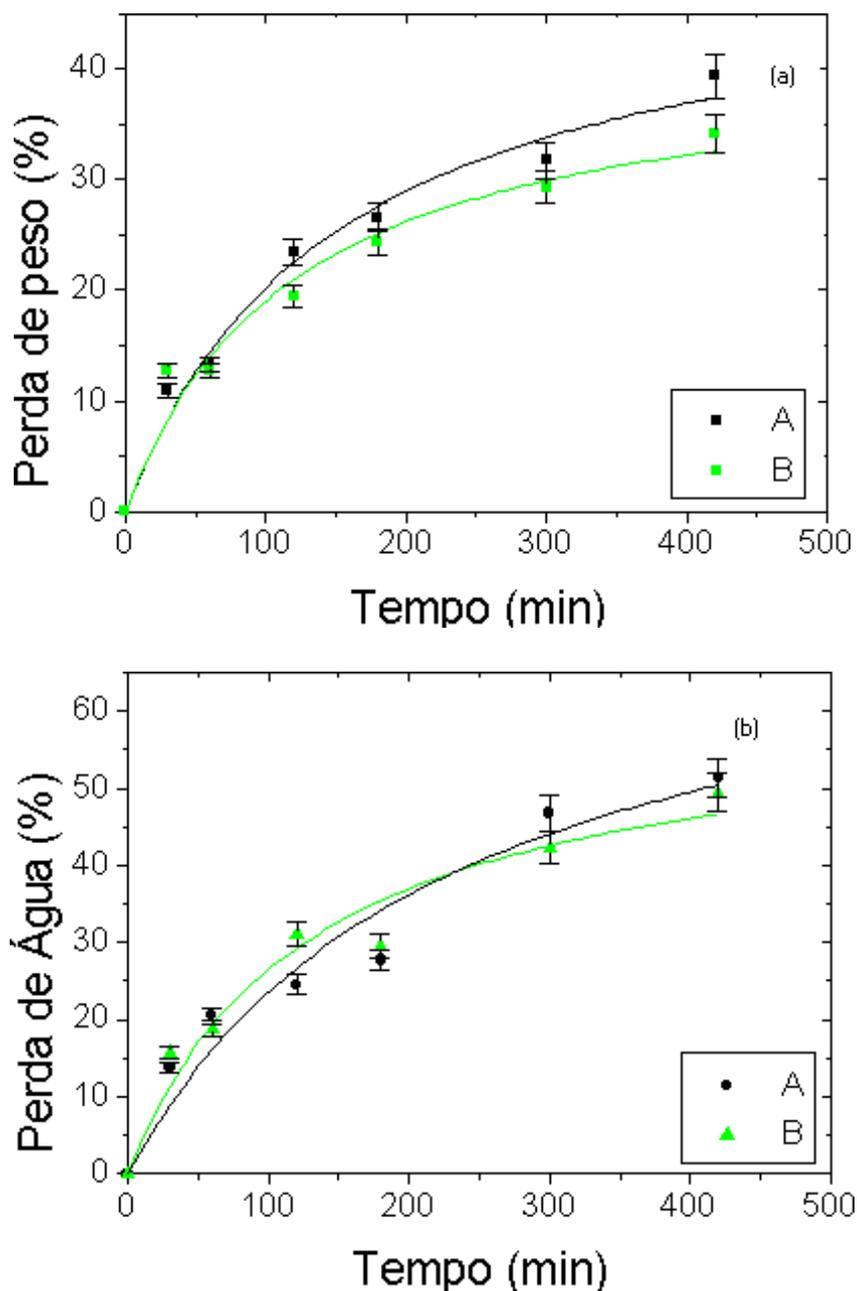


Figura 4. Perda de peso (a); Perda de água (b) variando o número de bandejas. A: (4 bandejas) e B: (8 bandejas).

Os resultados preliminares, da fluidodinâmica do sistema de desidratação osmótica com recirculação de solução (sistema semicontínuo), revelaram a existência de um escoamento misto. Para os tratamentos A e C, o fluxo na entrada do equipamento teve

um comportamento laminar ( $N_{Re}$  10 e 45), turbulento na passagem pelas peneiras ( $N_{Re}$  3193 e 22400), e novamente laminar quando restabelecido o fluxo. O tratamento *D* (em batelada) foi realizado em regime transiente ( $N_{Re}$  680), considerando que se trata de escoamento rotacional. A avaliação da influência da vazão, com relação às perdas de peso e água, é mostrada na Figura 3 (a e b). A cinética de perda de peso para as duas vazões estudadas em sistema semicontínuo *A* (77 kg/h) e *C* (540 kg/h) parece não mostrar grandes variações, apesar dos diferentes escoamentos, entretanto, a análise estatística mostrou variação significativa entre elas ( $P < 0.05$ ) com exceção a 300 minutos. Estes resultados levam a pressupor que o fenômeno de transferência de massa, depende da velocidade do fluxo, conseqüentemente, vazões mais elevadas (regime turbulento) favoreceriam à transferência de massa (MAVROUDIS *et al.*, 1998). Os valores de perda de peso oscilam entre 10.92 a 39.39 para *A*, 14.13 a 36.65 para *C* e 11.72 a 35.04 para *D*.

O poder osmótico da sacarose é evidenciado no aumento da perda de peso e de água com o tempo. Após 180 minutos, sugerido como melhor condição de processo osmótico para goiabas (SANJINEZ-ARGANDOÑA, 1999), a perda de peso foi de 26.59, 29.05 e 26.47 para os tratamentos *A*, *C* e *D* respectivamente. A perda de água (Figura 3 b) em 180 minutos foi de 27.72, 40.45 e 39.01 para os tratamentos *A*, *C* e *D* respectivamente. Os dados discrepantes observados para o tratamento *A* em 120 e 180 minutos, muito provavelmente, estão relacionados com o erro experimental, devido à dificuldade em se obter amostras com grau de maturação homogêneo (MERCADO-SILVA *et al.*, 1998).

O efeito da relação fruta:solução na perda de peso e perda de água no sistema semicontínuo, é mostrado na Figura 4. A análise estatística dos resultados, demonstra não haver, de maneira geral, influência significativa ( $P < 0.05$ ) nas cinéticas de desidratação osmótica na faixa de relação fruta:solução avaliada neste trabalho. No entanto, a perda de peso foi menor no tratamento *B*, devido ao maior incremento de solutos da solução desidratante na fruta (dados não mostrados neste artigo).

A concentração da solução de sacarose diminuiu com o reaproveitamento, 5% (m/m) para o sistema com 8 bandejas e 3% para o sistema com 4 bandejas. Esta variação não influenciou nos resultados obtidos, quando comparados com os resultados do sistema em batelada.

Os modelos matemáticos de difusividade, aplicados aos parâmetros cinéticos de perda de água dos tratamentos *C* e *D*, apresentaram um ajuste similar para ambos os tratamentos, e os valores obtidos não foram significativamente diferentes entre si, apesar das diferenças de escoamento e fluxo entre os tratamentos. Os coeficientes de transferência de massa calculados, também, não apresentaram diferença significativa (Tabela 2). Com relação aos tratamentos em sistema semicontínuo, com variação da vazão de fluxo (*A* e *B*), houve diferença significativa entre eles, constatando que o aumento da vazão influencia na transferência de massa (Tabela 2), favorecendo à maior difusão de água da fruta para o meio.

Tratamento	$S_t$	$PA_{eq}$	R	$D_a \times 10^{11} (m^2/s)$	R
A	0.0043	78.12	0.98	1.70	0.94
B	0.0077	61.07	0.98	1.95	0.89
C	0.0143	59.52	0.99	2.66	0.90
D	0.0108	62.84	0.99	2.86	0.95

Tabela 2. Parâmetros de transferência de massa para a desidratação osmótica de goiabas sob diferentes tratamentos fluidodinâmicos. Valores obtidos dos modelos matemáticos de Azuara ( $S_t$ ) e do coeficiente de difusividade aparente ( $D_a$ )

Assim, estes resultados mostram que os tratamentos, apresentados neste trabalho para o sistema semicontínuo, revelam que o sistema é adequado para o processo em estudo, reproduz os resultados obtidos em batelada e permite direcionar as possíveis condições de processo para o sistema, em experiências futuras.

## 4 Conclusões

As vazões da solução de sacarose (77 e 540 kg/h), aplicadas ao sistema semicontínuo nos ensaios preliminares, não mostraram alterações significativas aos resultados obtidos em batelada. Vazões maiores, com outro tipo de bomba, devem ser testadas para avaliar se o efeito do número de Reynolds será significativo na transferência de massa. A comparação dos resultados de perda peso e perda de água do sistema semicontínuo (540 kg/h) com os de batelada revela, que para as situações estudadas, estes não foram significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ). A relação fruta:solução não afetou os parâmetros osmóticos, podendo-se aumentar a compactação do sistema.

## Referências

- AZUARA, E. ; BERISTAIN, C. I.; GARCIA, H. S. Development of a Mathematical Model to Predict Kinetics of Osmotic Dehydration. *Journal of Food Science and Technology*, 29(4), p. 239-242, 1992.
- CRANK, J. *The Mathematics of Diffusion*. 2a Ed. Oxford: Clarendon Press., 1975.
- KROKIDA, M. K.; KARATHANOS, V. T.; MAROULIS Z. B. .Effect of Osmotic Dehydration on Color and Sorption Characteristics of Apple and Banana *Drying Technology*, 18, p. 937-950, 2000.
- LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: Technology and application. *Drying Technology*, 14(2), 391-413, 1996.
- LEWICKI, P. P.; LUKASZUK, A. Effect of osmotic dewatering on rheological properties of apple subjected to convective drying. *Journal of Food Engineering*, 45, p. 119-126, 2000.

- MERCADO-SILVA, E.; BENITO-BAUTISTA, P.; GARCIA-VELASCO, M. A. Fruit Development, Harvest Index and Ripening Changes of Guavas Produced in Central Mexico. *Postharvest Biology And Technology*, 13, p. 143-150, 1998.
- MORENO, J.; CHIRALT, A.; ESCRICHE I.; SERRA, J. A Effect of Blanching/Osmotic Dehydration Combined Methods on Quality and Stability of Minimally Processed Strawberries. *Food Research International*, 33, p. 609-616, 2000.
- QI, H.; SHARMA, S. K.; LEMAGUER, M. Design and selection of processing conditions of a pilot scale contactor for continuous osmotic dehydration of carrots. *International Journal of Food Properties*, 2(1), p. 39-54, 1999.
- SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J. *Desidratação de goiaba por imersão e secagem*. Campinas, 1999. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas.
- SZYMCZAK, J.A.; PLOCHARSKY, W.J. & KONOPACKA, The Influence of Repeated use of Sucrose Syrup on the Quality of Osmo-convectively Dried Sour Cherries. D. Drying 98. *Proceedings of The 11th International Drying Symposium (Ids'98)*, A, 895-902, 1998.