

Desidratação osmótica de acerola (*Malpighia emarginata D.C*) – Cinética de transferência de massa¹

Osmotic dehydration of West Indian cherry (*Malpighia emarginata D.C*) – Mass transfer kinetics

Jefferson Luiz Gomes Corrêa^{2,*}, Fabíola Ayres Cacciatore³, Zaqueu Ernesto da Silva⁴ e Tomaz Arakaki⁵

Resumo – Objetivou-se a determinação da cinética de transferência de massa na desidratação osmótica de acerola. As condições de desidratação incluíram o uso de branqueamento e uma solução hipertônica de sacarose 60% (p/p), determinadas anteriormente. A taxa frutas/solução foi de 1/3. Os experimentos foram conduzidos à temperatura ambiente. As cinéticas de transferência de massa de perda de água, ganho de sal e perda de peso foram obtidas. A difusividade efetiva foi determinada usando a segunda lei de Fick aplicada à geometria esférica com duas considerações: com e sem encolhimento. Foi observado que a consideração de encolhimento resultou em um melhor ajuste da difusividade efetiva com respeito aos dados de teor de umidade experimentais.

Palavras-chave: Difusividade efetiva. Acerola – secagem.

Abstract - The objective of the present work was to study the mass transfer kinetics in the osmotic dehydration of the West Indian cherry. The dehydration conditions included the use of blanching and a hypertonic solution of 60% sucrose (w/w), determined previously. The fruit/solution ratio was 1/3. The experiments were done at room temperature. The mass transfer kinetics of water loss, salt gain and weight loss were obtained. The effective diffusivity was determined by using Fick's second law applied to a spherical geometry with two considerations: with and without shrinkage. It was observed that the consideration of shrinkage resulted in best agreement of effective diffusivity with respect to experimental data of moisture content.

Key words: Effective diffusivity. West Indian cherry – drying.

* autor para correspondência

¹ Recebido para publicação em 20/08/2007; aprovado em 24/06/2008

² Engenheiro Químico, Ph. D., Professor do Dep. Ciência dos Alimentos, UFLA, Campus UFLA, Caixa Postal 3037, CEP: 37.200-000 Lavras, MG, jefferson@ufla.br

³ Engenheira de Alimentos, mestranda em Eng. Química, PPGEQ/UFRGS, fapoa2001@hotmail.com

⁴ Engenheiro Mecânico, Ph. D., Prof. do Dep. Engenharia Mecânica, UFPB

⁵ Engenheiro Químico, Ph. D., Prof. do Dep. Tecnologia Quím. e de Alimentos, UFPB

Introdução

A acerola (*Malpighia emarginata D.C*) é uma grande fonte de vitamina C. Ela também contém vitamina A, vitaminas do complexo B, ferro, cálcio, fósforo e proteína. A principal produção deste fruto no Brasil é concentrada nos estados do nordeste, onde o fruto é basicamente vendido *in natura*. Este fruto apresenta uma vida útil bastante baixa. Devido à deterioração, uma grande parte da produção é perdida, porém, processos como a secagem podem ser utilizados para se prolongar a vida útil de frutos. A desidratação osmótica de frutos é um processo no qual as propriedades organolépticas e texturais do fruto são mantidas além de inibir o escurecimento não-enzimático. (LEWICKI; LENART, 2006; FALADE; IGBEKA, 2007).

Silva (1998) e Alves et al. (2004) trabalharam com desidratação osmótica de acerola e reportaram sobre a grande resistência oferecida à transferência de massa ocasionada pela película com cera presente na acerola. Alves et al. (2004) determinaram o coeficiente efetivo de difusão (D_{eff}), sem a consideração de encolhimento, em secagem convectiva de acerola que havia passado por desidratação osmótica. Os autores acima citados verificaram que D_{eff} era maior para frutas pré-tratadas osmoticamente que para frutas sem tratamento. Esse fato mostra que a desidratação osmótica pode acelerar o processo de secagem e, por consequência, torná-lo menos agressivo. Vários trabalhos sobre desidratação osmótica são centrados na determinação do D_{eff} (NIETO et al., 1998; PARK et al., 2002; AZOUBEL; MURR, 2004; TELIS et al. 2004 ; ANDRADE et al., 2007; SINGH; GUPTA, 2007). De acordo com Azoubel e Murr (2004) e Andrade et al. (2007), existe certa dificuldade em se comparar valores de difusividade reportados na literatura devido aos diferentes métodos de determinação e modelos utilizados e também devido à variação na composição e estrutura física do alimento. Para ilustrar tais diferenças, pode-se apontar que a difusividade foi dependente do tempo de imersão em experimentos de desidratação osmótica de tomates cortados em quatro, no trabalho de Telis et al. (2004) e independente do tempo de imersão em experimentos de desidratação

osmótica de genipapo também cortados em quatro, no trabalho de Andrade et al. (2007).

Em um trabalho anterior, Corrêa et al. (2005) testaram a influência de variáveis como uso de branqueamento, concentração da solução osmótica e tempo de imersão na desidratação osmótica de acerola. As melhores condições foram: uso de branqueamento e solução de sacarose a 60% (p/p) por um período de 24 h. Alves et al. (2005), em um estudo desidratação osmótica de acerola, também reportaram que a concentração da solução deva ser de 60% (p/p). O objetivo do presente trabalho foi a determinação da cinética de transferência de massa em desidratação osmótica com relação à perda de água, ganho de sólidos e perda de peso. Na maioria dos trabalhos sobre desidratação osmótica, a influência da camada de cera na superfície do fruto é minimizada e o período máximo de desidratação é de 2 a 3 horas. Porém, neste trabalho, optou-se pela desidratação da acerola inteira e, para que se obtivesse uma desidratação satisfatória, o período máximo foi de 22 horas. Foi aqui também determinado o coeficiente de difusividade efetiva na desidratação osmótica em duas considerações: com ou sem encolhimento.

Material e métodos

Os frutos foram adquiridos em um mercado local de João Pessoa em 2005. Antes da desidratação osmótica, os frutos foram selecionados um a um com base na aparência, coloração, ausência de danos físicos e uniformidade do estágio de maturação. Após a seleção os frutos foram lavados para eliminar folhas e sujidade. Os frutos foram, então, submetidos a outra lavagem com água corrente e secos com papel absorvente.

O teor de umidade inicial foi determinado pela pesagem de amostras de acerola antes e depois de um período de 24 h à 105 °C em uma estufa, segundo a AOAC (2000), em triplicata, de acordo com a Equação 1

$$X_i(\%) = \frac{m_i - m_{as}}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

onde X corresponde ao teor de umidade (base úmida), m_i à massa inicial e m_{as} à massa de amostra seca em estufa sem tratamento osmótico.

O branqueamento, por imersão dos frutos em um banho de água a 100 °C por 1 min e banho de água com gelo a 0 °C por 1 min, precedeu os experimentos de desidratação osmótica. As soluções binárias eram preparadas à concentração de 60% (p/p) de sacarose comercial. A taxa frutos/solução (p/p) no banho osmótico foi de aproximadamente 1/3 em todos os experimentos. Os experimentos foram realizados à temperatura ambiente (aproximadamente 30 °C). Depois do tratamento osmótico, as frutas tiveram sua superfície seca com papel absorvente. O teor de umidade final (X_f) foi definido pela Equação 2, a redução de umidade (MR) de acordo com a Equação 3, o ganho de sólidos (SG) pela Equação 4 e a redução de peso (WR) pela Equação 5.

$$X_f = \frac{m_{ad} - m_{as}}{m_i} \quad (2)$$

$$MR(\%) = \frac{(X_i - X_f)}{X_i} \times 100 \quad (3)$$

$$SG(\%) = \frac{(m_{ad} B_{ad}) - (m_i B_i)}{m_i} \times 100 \quad (4)$$

$$WR(\%) = \frac{m_i - m_{ad}}{m_i} \times 100 \quad (5)$$

onde X_f corresponde ao teor de umidade final (base úmida), m_i à massa inicial, m_{ad} à massa de amostra após a desidratação osmótica, m_{as} à massa de amostra seca em estufa após tratamento osmótico, MR à redução do teor de umidade, SG ao ganho de sólidos, B_{ad} ao valor de °Brix da amostra após a desidratação osmótica, B_i ao valor de °Brix da amostra antes da desidratação osmótica e WR à redução de peso.

Três amostras foram usadas para obter o teor de Sólidos Solúveis (SS) pela medida de °Brix (B_i) e expresso conforme Equação 4. Esta

variável foi determinada em um refratômetro portátil RT-30 ATC, ATAGO®. As amostras utilizadas em cada experimento eram compostas de mais ou menos 60 frutos. Os experimentos de desidratação osmótica foram realizados em triplicata e os valores médios foram aqui reportados.

A acerola foi considerada como uma fruta em forma de esfera, como feito por Alves et al., (2004). Foram feitas duas medidas de diâmetro de cada fruta com auxílio de paquímetro em pontos perpendiculares. A média aritmética destas dimensões foi considerada como o diâmetro da fruta. O encolhimento da acerola foi determinado com base em medidas de diâmetros antes e depois do tratamento osmótico.

Depois dos tratamentos osmóticos, os frutos foram lavados e suas superfícies secas com papel absorvente. Novamente uma amostra foi tomada e o SS (em °Brix) determinado (B_{ad}). Os frutos pesados para determinação da sua massa após o tratamento osmótico (m_{ad}) e secos em uma estufa à 105 °C por 24 h para se determinar a massa dos frutos sem sólidos, m_{aa} . Uma amostra não submetida ao tratamento também foi seca em estufa a 105 °C para determinação da massa seca (m_{as}), segundo a AOAC (2000).

Como já mencionado, a geometria da acerola permite que se aproxime esta fruta por um sólido em formato de esfera. O coeficiente de difusividade efetiva (D_{eff}) para uma esfera, considerando encolhimento e dependente do teor de umidade foi aqui determinado de acordo com o método proposto por Raghavan et al. (1995), aplicando-se uma solução analítica aproximada para a segunda lei de Fick, dada pela Equação 6:

$$M = \frac{X' - X_e'}{X_i - X_e'} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \exp\left(-n^2 \pi^2 D_{eff} \frac{t}{R(X')^2}\right) \quad (6)$$

onde M é a taxa de umidade, X' o teor de umidade (base seca) no tempo t , X_i' e X_e' respectivamente, o teor de umidade inicial e de equilíbrio (base seca) e $R(X')$ o raio do fruto expresso como função do teor de umidade (base seca) e dado pela Equação 7.

A Equação 7 vem de uma relação de encolhimento volumétrico (Equação 8).

$$R(X') = (A + BX')^{1/3} R_i \quad (7)$$

$$\frac{V}{V_i} = A + BX' \quad (8)$$

Os parâmetros A e B são constantes empíricas determinadas por regressão linear, com V_i e R_i sendo respectivamente, o volume e o raio inicial do fruto. O ajuste da Equação 8 foi verificado por R^2 e erro padrão (SE), proveniente da função de perda (lf), dada pela Equação 9:

$$lf = (\text{observado} - \text{predito})^2 \quad (9)$$

e erro padrão:

$$SE = \sqrt{\frac{lf}{n}} \quad (10)$$

onde n é o número de observações.

O cálculo do coeficiente de difusividade efetiva pela Equação 6 foi possível por meio de uma técnica de interação. Para cada ponto experimental de X' versus t, $R(X')$ era determinado de acordo com a Equação 7 e o valor estimado de D_{eff} foi assumido. Isto permitiu que se calculasse o valor da taxa de umidade (M) pela Equação 6 e comparasse com o valor experimental (M_{real}). O valor assumido de D_{eff} foi seguidamente alterado até que se obtivesse $M - M_{\text{real}} < 10^{-5}$. Telis-Romero et al. (2001) também utilizou tal procedimento em estudo de secagem de caqui.

Resultados e discussão

A Figura 1 mostra a cinética de desidratação osmótica. As Figuras 2; 3 e 4 mostram a redução do teor de umidade, ganho de sólidos e redução de peso, como estabelecido pelas equações 3;

4 e 5, respectivamente, em função do tempo. De acordo com a Figura 1, após 22 horas de desidratação osmótica, o produto parece se aproximar da condição de equilíbrio. As Figuras 2; 3 e 4 mostram que há uma significativa perda de água, ganho de sólidos e redução de peso neste período e corrobora os resultados de Corrêa et al. (2005).

Pela comparação entre as Figuras 2 e 3, nota-se que o ganho de sólidos foi mais significativo no início que no decorrer do processo de desidratação e que a redução do teor de umidade mostrou comportamento inverso.

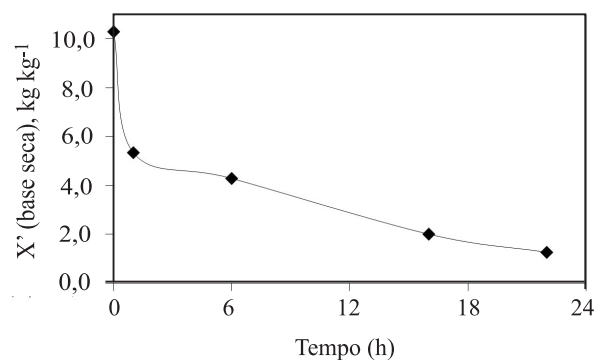


Figura 1 – Cinética de desidratação osmótica de acerola

Raoult-Wack (1994), entre outros, observou que a desidratação osmótica deva ser praticamente concluída nas primeiras 2 horas de tratamento e, em um período subsequente, o ganho de sólidos seja o fenômeno mais relevante. Em uma primeira análise, os resultados do presente trabalho parecem estar contra essa afirmação. Porém, esse fato pode ser explicado pela presença da película com cera presente na acerola, que age como uma resistência a ambos os processos osmóticos envolvidos.

No trabalho de Raoult-Wack (1994) consideraram-se frutos sem a presença da película que os reveste e neste optou-se por mantê-la. Cavalvanti Mata et al. (2003), Kross et al. (2004) e Corrêa et al. (2007) reportaram a forte influência da epiderme do tomate na desidratação osmótica. Uma situação similar foi observada neste trabalho. Após algum tempo de

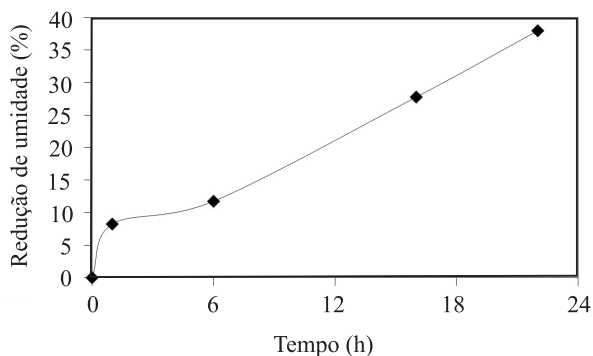


Figura 2 – Redução do teor de umidade de acerola durante desidratação osmótica

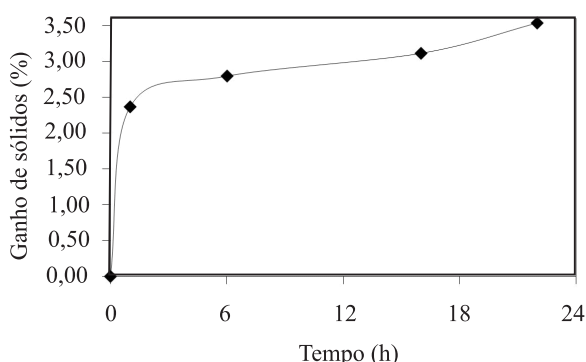


Figura 3 – Ganho de sólidos durante desidratação osmótica de acerola

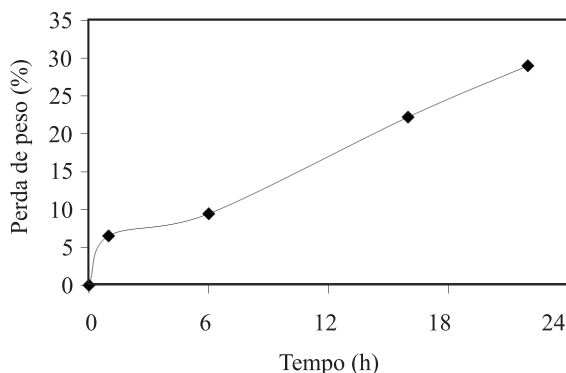


Figura 4 – Perda de peso de acerola durante desidratação osmótica

tratamento osmótico, a película torna-se mais fina e apresenta algumas fraturas, resultando em maior permeabilidade. Esses fatores foram responsáveis pelo tipo de osmose reportada neste trabalho.

A acerola apresenta um encolhimento significativo durante a desidratação osmótica. Tal comportamento foi observado e mensurado neste trabalho. A Figura 5 apresenta a variação do encolhimento com o tempo durante o tratamento. Os dados desta figura foram ajustados com a Equação 8. Os parâmetros empíricos de ajuste obtidos foram 0,23 para A e 0,0689 para B. O coeficiente de correlação (R^2) foi 0,8912 e o erro padrão (SE) foi 0,0902, onde R^2 e SE demonstraram que o ajuste da equação 8 com relação aos dados experimentais foi satisfatório.

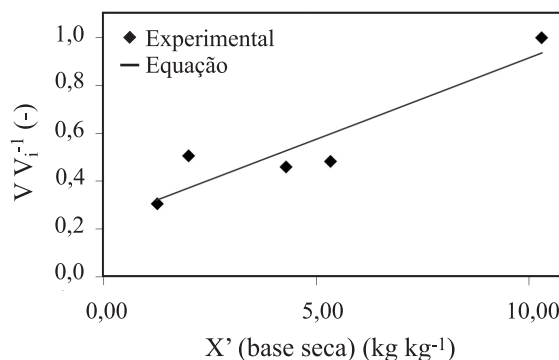


Figura 5 – Encolhimento volumétrico de acerola com relação ao teor de umidade

A Tabela 1 apresenta os dados de teor de umidade, ganho de sólidos e perda de peso com relação ao tempo de desidratação osmótica. Essa tabela auxilia na observação das figuras acima e mostra a coerência dos dados obtidos.

Coficientes de difusividade efetiva (Tabela 2) foram obtidos de acordo com a Equação 6. Os dados obtidos à 22 h de desidratação osmótica foram usados como X_e' devido ao comportamento observado na Figura 1. Como observado na Tabela 1, D_{eff} é função do teor de umidade e do encolhimento. O raio médio das acerolas esteve na faixa de valores de $1,00 \times 10^{-2}$ m até valores de $0,76 \times 10^{-2}$ m (após 22 h de desidratação osmótica). O ajuste sem consideração de encolhimento foi obtido considerando-se um raio médio de $1,00 \times 10^{-2}$ m.

A Figura 6 apresenta um ajuste de M versus tempo com e sem a consideração de encolhimento. O ajuste sem encolhimento

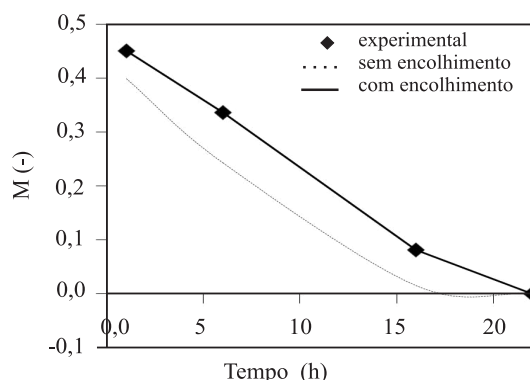
Tabela 1 – Valores médios de redução de teor de umidade (MR), ganho de sólidos (GS), redução de volume e perda de peso (WR) em função do tempo de desidratação osmótica

Teste	Tempo (h)	MR (-)	GS (kg kg ⁻¹)	Redução de volume (%)	WR (-)
1	1	8,24	2,37	40,87	6,56
2	6	11,75	2,79	41,51	9,47
3	16	27,75	3,12	59,91	22,23
4	22	37,98	3,54	64,06	29,01

Tabela 2 – Coeficientes de difusividade efetiva com e sem encolhimento em função do teor de umidade

X' (kg kg ⁻¹)	Deff x1010 (m ² s ⁻¹)	
	com encolhimento	sem encolhimento
5,3280	5,98	8,42
4,2906	1,80	2,78
1,9916	1,92	3,53

resultou em um desvio com relação aos dados experimentais, levando-se à conclusão que a consideração de encolhimento volumétrico é importante para bons resultados em simulações de processos de desidratação de acerola. Os valores de coeficiente de difusividade efetiva estiveram na faixa de $1,80 \times 10^{-10}$ a valores de $5,98 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ e de $2,78 \times 10^{-10}$ a valores de $8,42 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ com e sem encolhimento, respectivamente. Telis-Romero et al. (2001) utilizaram o mesmo equacionamento para tratar o encolhimento de caqui e obtiveram a mesma tendência.

**Figura 6** – Ajuste de dados simulados de M versus tempo com relação a dados experimentais

Conclusões

1. O ganho de sólidos foi mais significativo no início que no decorrer do processo de desidratação e que a redução do teor de umidade mostrou comportamento inverso.
2. A acerola apresenta um encolhimento volumétrico com comportamento aproximadamente linear com relação ao teor de umidade.
3. O coeficiente de difusividade efetiva foi mais bem ajustado quando considerado em função do teor de umidade e do encolhimento. Os valores de coeficiente de difusividade efetiva obtida estiveram na faixa de $1,8 \times 10^{-10}$ a valores de $5,98 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ e de $2,78 \times 10^{-10}$ até valores de $8,42 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, com e sem a consideração de encolhimento, respectivamente.
4. A epiderme da acerola com cera oferece uma grande resistência à transferência de massa na desidratação osmótica. Essa epiderme foi responsável pelo longo período de desidratação osmótica.

Referências

- ALVES, D. et al. Drying kinetics of osmotically dehydrated West Indian cherry (*Malpighia puniceifolia* L.). In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM (IDS 4004), 14., 2004, São Paulo – SP. **Proceedings...** Campinas: UNICAMP, 2004. v. C, p. 2195-2200.
- _____. Osmotic dehydration of acerola fruit (*Malpighia puniceifolia* L.) **Journal of Food Engineering**, v. 68, p. 99–103, 2005.
- ANDRADE, S. A. C. et al. Evaluation of water and sucrose diffusion coefficients during osmotic dehydration of jenipapo (*Genipa americana* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 551–555, 2007.

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis**, 17 ed. Gaithersburg, MD, USA: AOAC International, 2000.
- AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 291–295, 2004.
- CAVALCANTI, M. E. R. M; BRAGA, M. E. D.; KROSS, R. K. Secagem osmótica de tomate: efeito da epiderme. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Especial, n. 01, p. 77-84, 2003.
- CORREA, J. L. G. et al. Analysis of osmotic dehydration variables influence on tomato (*Lycopersicon esculentum*) drying. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v. 25, p. 315-328, 2007.
- CORRÊA, J. L. G. et al. Study of osmotic dehydration treatment on “in natura” West Indian Cherry drying. In: INTER-AMERICAN DRYING CONFERENCE (IADC 2005), 3., 2005, Montreal. Proceedings... Montreal: McGill, 2005. Paper A2. CD-ROM.
- FALADE, K. O.; IGBEKA, J. C. Osmotic dehydration of tropical fruits and vegetables. **Food Reviews International**, v. 23, p. 373–405, 2007.
- KROSS, R. K. et al. Mass transfer kinetics during osmotic pretreatments of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* L.): Effect of epidermis. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM (IDS 4004), 14., 2004, São Paulo – SP. **Proceedings...** Campinas:UNICAMP, 2004. v. C, p. 2141-2148.
- LEWICKI, P. P.; LENART, A. Osmotic dehydration of fruits and vegetables In: MUJUMDAR, A. S. **Handbook of industrial drying**, 3. ed. Singapore: CRC Press., 2006. cap. 28.
- NIETO, A. et al. Air drying behaviour of apples as affected by blanching and glucose impregnation. **Journal of Food Engineering**, v. 36, p. 63–79, 1998.
- PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Drying of pear d’Anjou with and without osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 56, p. 97–103, 2002.
- RAGHAVAN, G. S. V. et al. A method of determination of concentration dependent effective moisture diffusivity. **Drying Technology**, v. 13, n. 5-7, p. 1477-1488, 1995.
- RAOULT-WACK, A. L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. Trends in food science and technology, v. 05, n. 08, p. 255-260, 1994.
- SILVA, V. A. **Efeito de pré-tratamentos químicos na taxa de secagem de acerola em camada fina**. 1998. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- SINGH, B.; GUPTA, A. K. Mass transfer kinetics and determination of effective diffusivity during convective dehydration of pre-osmosed carrot cubes. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 459–470, 2007.
- TELIS, V. R. N.; MURARI, R. C. B. D. L.; YAMASHITA, F. Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 253–259, 2004.
- TELIS-ROMERO, J. et al. Drying of persimmon: mathematical model for diffusivity as a simultaneous function of moisture content and shrinkage. In: INTER-AMERICAN DRYING CONFERENCE, 2., Veracruz. **Proceedings...** Veracruz: Instituto Tecnológico de Veracruz, 2001. p. 243–251.