



Acta Scientiarum. Technology

ISSN: 1806-2563

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá
Brasil

Santos, Calila Teixeira; Bonomo, Renata Ferreira; Chaves, Modesto Antonio; Ilhéu Fontan, Rafael da Costa; Bonomo, Paulo

Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola L.*) em secador de bandeja

Acta Scientiarum. Technology, vol. 32, núm. 3, 2010, pp. 309-313

Universidade Estadual de Maringá
Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226528015>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em secador de bandeja

Calila Teixeira Santos, Renata Ferreira Bonomo*, Modesto Antonio Chaves, Rafael da Costa Ilhéu Fontan e Paulo Bonomo

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Rod. BR 415, Km 3, s/n, 45700-000, Itapetinga, Bahia, Brasil.

*Autor para correspondência. E-mail: bonomorcf@yahoo.com.br

RESUMO. No presente trabalho, objetivou-se obter curvas de secagem de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em secador de bandejas. A partir dessas curvas foram obtidos dados de taxa de secagem e de difusividade, além do ajuste de modelos semiteóricos aos dados experimentais. As curvas de secagem foram obtidas, utilizando-se um secador de bandejas nas temperaturas de 50, 60 e 70°C e com fluxo de ar de 1,5 m s⁻¹. Os dados experimentais foram ajustados os modelos de Page, Henderson e Pabis e Exponencial, utilizando-se regressão não-linear. Todos os ajustes tiveram coeficiente de determinação (R^2) superior a 0,96, mas o modelo de Page foi o que apresentou melhor ajuste. Observou-se que a difusividade efetiva, calculada a partir da lei de Fick, aumentou com a elevação da temperatura.

Palavras-chave: difusividade efetiva, secagem, modelagem.

ABSTRACT. **Kinetics and modeling of star fruit (*Averrhoa carambola* L.) drying in a tray dryer.** In this work, drying curves were obtained for the star fruit (*Averrhoa carambola* L.) in a tray dryer. From these curves, drying rates and diffusivity data were also obtained and semi-theoretical models were adjusted. The drying curves were obtained using a tray dryer with temperatures of 50, 60 and 70°C and an air flux of 1.5 m s⁻¹. The Page, Henderson & Pabis and Exponential models were fitted to the experimental data by non-linear regression. All fitted models presented high determination coefficients (R^2). The Page model showed the best fit. It was observed that effective diffusivity, calculated by Fick's law, increased with temperature.

Key words: effective diffusivity, drying, modeling.

Introdução

Frutas são de grande importância em todo o mundo, no que se refere aos aspectos social, econômico e alimentar. A fruticultura possibilita a exploração intensiva de áreas produtivas, tornando-as lucrativas. Além disso, utiliza elevada quantidade de mão-de-obra, constituindo-se numa fonte geradora de empregos não somente na produção, como também no armazenamento, no processamento e na comercialização de frutas (CHITARRA; CHITARRA, 1990).

A carambola (*Averrhoa carambola* L.) tem como origem o Sudeste asiático. A forma desses frutos varia de oblongo a elipsoide, com 6 a 15 cm de comprimento e com 4 a 5 recortes longitudinais, que correspondem aos carpelos. A casca é translúcida, lisa e brilhante, e a cor varia do esbranquiçado ao amarelo-ouro intenso (CAMPBELL; KOCH, 1989; WILSON III, 1990; TEIXEIRA et al., 2007).

A falta de técnicas adequadas de pós-colheita, transporte e armazenamento de frutas, que são altamente perecíveis, ocasiona grandes perdas

(SHUI; LEONG, 2006). Nos países emergentes, as perdas de alguns produtos são estimadas em 50% (CHITARRA; CHITARRA, 1990). Esse fato evidencia a urgente necessidade de processos simples e baratos que possam oferecer caminhos para se conservar esses alimentos extremamente perecíveis.

A secagem é a eliminação da água do material pela evaporação. Existem dois métodos de secagem: a natural, feita pelo sol ou vento (método mais antigo); e a artificial, a qual necessita de fornecimento de energia. As vantagens de se utilizar o processo de secagem são várias, dentre as quais: a facilidade na conservação do produto; a estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo; a proteção contra degradação enzimática e oxidativa; a redução do peso do produto; a economia de energia por não necessitar de refrigeração e a disponibilidade do produto durante qualquer época do ano (PARK et al., 2001; MAHAYOTHEE et al., 2009; FEMENIA et al., 2009).

Estudos e análises de curvas de secagem e determinação do teor de água permitem entender e

visualizar melhor o processo de secagem, bem como escolher o procedimento, o tratamento, o equipamento e a temperatura adequada para se realizar a desidratação de fruta, para melhor qualidade sensorial e tecnológica (OLIVEIRA et al., 2002).

O conhecimento do teor inicial e final (equilíbrio) de água do material e da relação da água com a estrutura sólida e do transporte da água do interior do material até a sua superfície possibilitam fundamentar o processo de secagem (FANG et al., 2009).

A complexidade dos fenômenos, existentes durante a secagem, conduz os pesquisadores a proporem numerosas teorias e múltiplas fórmulas empíricas para predizer a taxa de secagem. Dentre essas teorias, destaca-se a teoria difusional, que tem como base a Lei de Fick (Equação 1), que expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração do composto (neste caso, a água) (AKGUN; DOYMAZ, 2005; PARK et al., 2003).

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} \quad (1)$$

em que: M é o teor de água (kg de água kg de sólidos secos⁻¹), x é o caminho de difusão (m), t é o tempo (s) e D é a difusividade (m².s⁻¹), sobre as condições de secagem testadas, considerada como independente do teor de água.

Modelos semiteóricos para secagem em camada fina são, geralmente, derivados da simplificação de uma solução em série da segunda Lei de Fick. É o caso do modelo de Henderson e Pabis que é o primeiro termo de uma solução em série da segunda Lei de Fick (DOYMAZ, 2005). De acordo com Akpinar (2006), os vários modelos existentes devem ser testados para condições de secagem específicas. Para o presente trabalho foram selecionados os modelos de Henderson e Pabis, Exponencial e de Page, por serem os mais utilizados para alimentos em geral (sementes, frutos, folhas), descritos pelas Equações 2, 3 e 4, respectivamente:

$$MR = Ce^{(-Kt)} \quad (\text{BROOKER et al., 1992}) \quad (2)$$

$$MR = e^{(-Kt)} \quad (\text{AKPINAR, 2006}) \quad (3)$$

$$MR = e^{(-Kt^n)} \quad (\text{BARBOSA-CÁNOVAS; VEJA-MERCADO, 2000}) \quad (4)$$

em que: t = tempo de secagem, (minutos); k = constante de secagem (min.⁻¹); n e C representam os parâmetros dos modelos, MR = razão de umidade dada por:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (5)$$

em que: M = teor de água em um tempo t, M_e = teor de água de equilíbrio e M₀ = teor de água inicial, todos em base seca.

No presente trabalho, objetivou-se obter curvas de secagem de carambola (*Averrhoa carambola L.*) em um secador de bandejas e, a partir dessas curvas, obter dados de taxa de secagem e de difusividade de água, além de ajustar modelos semiteóricos aos dados experimentais.

Material e métodos

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Engenharia de Processos, no Campus Juvino de Oliveira-Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. As carambolas, obtidas de um produtor local, foram lavadas em água corrente, imersas em solução aquosa contendo 50 ppm de cloro residual, lavadas novamente em água corrente e cortadas transversalmente, em forma de estrelas, com espessura de cerca de 3 mm.

Para determinação da curva de secagem foi utilizado um secador de bandejas, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C (±1°C) e com fluxo de ar com velocidade de 1,5 m s⁻¹. As bandejas foram pesadas em intervalos de 15 min. na primeira hora, posteriormente de 20 min. na segunda hora, de 30 min. na terceira hora e, depois, de hora em hora até peso constante.

O processo de secagem foi realizado em um delineamento inteiramente casualizado com duas repetições e com medidas em triplicata. Aos dados de secagem em camada fina foram ajustados os modelos descritos nas Equações 2, 3 e 4, por análise de regressão não-linear, utilizando-se o programa SigmaPlot v. 8.0. Para se avaliar o ajuste dos modelos, foram usados o coeficiente de determinação (R²) e o valor de qui-quadrado (χ²), calculado a partir da equação seguir:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp},i} - MR_{\text{prev},i})^2}{N - n} \quad (6)$$

em que: MR_{exp,i} e MR_{prev,i} são, respectivamente, os valores experimentais e previstos da razão de umidade para a observação i, N é o número de observações e n, o número de parâmetros no modelo.

Resultados e discussão

Nas Figuras 1, 2 e 3, são apresentados os dados das curvas de secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, respectivamente, bem como os modelos ajustados. As curvas da cinética de secagem estão apresentadas em termos da razão de umidade ($(M - M_e)/(M_0 - M_e)$) em função do tempo de secagem.

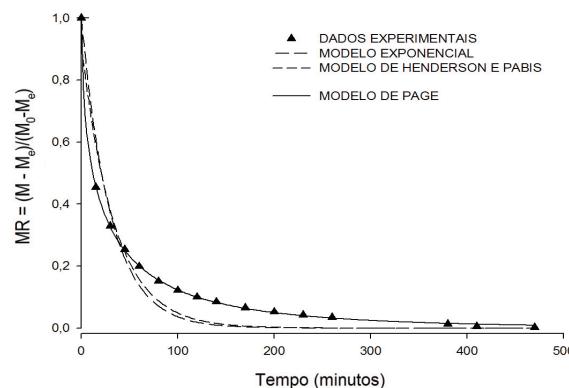


Figura 1. Dados experimentais e preditos para a secagem de carambola a 50°C.

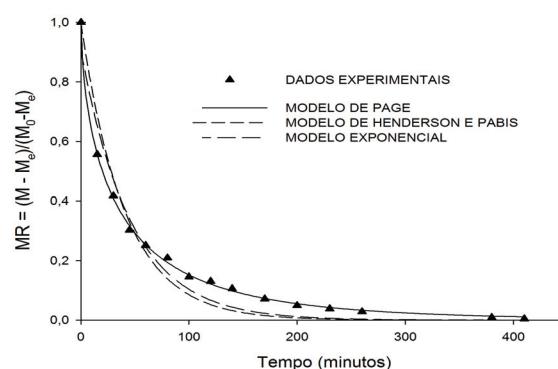


Figura 2. Dados experimentais e preditos para a secagem de carambola a 60°C.

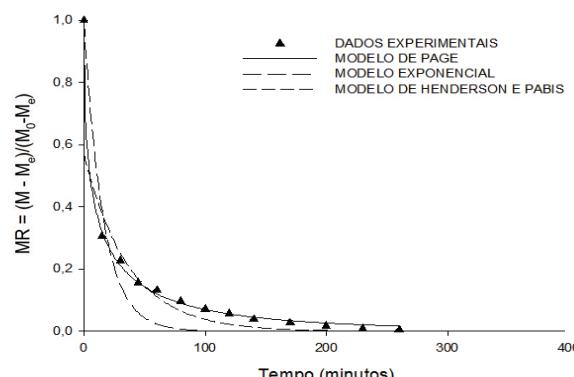


Figura 3. Dados experimentais e preditos para a secagem de carambola a 70°C.

Para todas as temperaturas, a razão de umidade reduziu rapidamente no início e, posteriormente, diminuiu lentamente à medida que se aumentava o tempo de secagem. Esses resultados estão de acordo

com a anterior observação de diferentes secagens de alimentos (KARABULUT et al., 2007; LAHSASNI et al., 2004).

Observou-se que o tempo de secagem depende da temperatura, sendo menor para maiores temperaturas. Tais resultados estão de acordo com os resultados obtidos por Park et al. (2001) para pêra *bartlett* e Giraldo-Zuñiga et al. (2006) para jaca. De acordo com a metodologia descrita por Corrêa et al. (2006), foram encontrados os seguintes valores para umidade de equilíbrio: 11,74; 10,57 e 6,93% (em base seca), para as temperaturas de 50, 60 e 70°C, respectivamente.

A temperatura de secagem de 50°C conduziu a um tempo total de secagem de 440 min., enquanto na temperatura de 70°C o tempo de secagem requerido foi de 260 min. Verificou-se, a partir dos frutos desidratados obtidos, que as temperaturas de secagem mais altas podem ser utilizadas, pois nem a coloração nem a textura foram alteradas nas condições experimentais testadas.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados dos ajustes dos modelos aos dados experimentais (valores dos parâmetros, do coeficiente de determinação (R^2), o valor de qui-quadrado (χ^2) e a estimativa dos erros. Verificou-se ajuste satisfatório dos modelos avaliados. Pode-se observar que, em termos do coeficiente de determinação, todos os modelos ajustados representam bem a cinética de secagem da carambola; apresentados em todos os casos $R^2 > 0,96$. Entretanto, quando se considera também a estimativa dos erros, observa-se que o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da secagem da carambola, apresentando maior valor de R^2 e menor erro médio relativo.

Tabela 1. Parâmetros dos modelos utilizados.

Modelo	Equações	Estimativas de Erros (%)	Valor de R^2	Valor de χ^2
Henderson e Pabis	$MR_{50^\circ C} = 0,915 \exp^{-0,029t}$	6,48	0,969	2,83E-02
	$MR_{60^\circ C} = 0,908 \exp^{-0,021t}$	5,60	0,979	3,26E-03
	$MR_{70^\circ C} = 0,961 \exp^{-0,053t}$	6,67	0,971	1,58E-02
	$MR_{50^\circ C} = \exp^{-0,033t}$	6,64	0,965	2,89E-02
	$MR_{60^\circ C} = \exp^{-0,024t}$	5,99	0,975	5,73E-02
	$MR_{70^\circ C} = \exp^{-0,056t}$	6,47	0,970	1,51E-02
Exponencial	$MR_{50^\circ C} = \exp^{-0,139(t/0,517)}$	0,37	0,999	1,33E-03
	$MR_{60^\circ C} = \exp^{-0,021(t/0,619)}$	0,83	0,999	4,24E-04
	$MR_{70^\circ C} = \exp^{-0,053(t/0,449)}$	1,06	0,999	9,33E-05
Page				

As mudanças na taxa de secagem (DR) em relação à razão de umidade são mostradas na Figura 4, para cada temperatura estudada. Observa-se que aparentemente a taxa de secagem diminui continuamente com a redução da razão de umidade. De acordo com os estudos de Kouhila et al. (2002), a taxa de secagem varia em função da temperatura do

ar. Temperaturas maiores produzem maior taxa de secagem e, consequentemente, redução na razão de umidade. Isso é pelo aumento da taxa de fornecimento de calor para o produto e a aceleração das migrações de água no interior das carambolas.

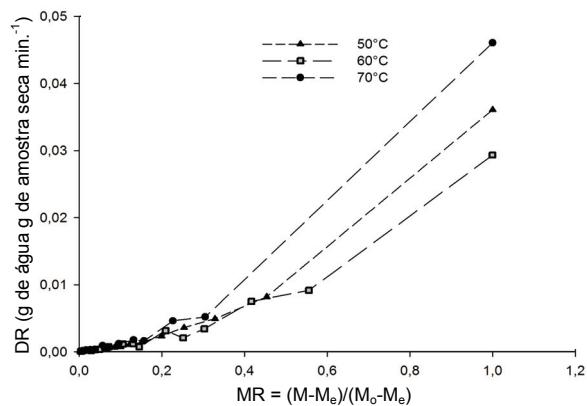


Figura 4. A variação da taxa de secagem de acordo com a razão de umidade das carambolas em cada temperatura estudada.

O modelo de Fick também foi ajustado aos dados experimentais por meio de regressão não-linear, para a determinação da difusividade efetiva. Esse modelo foi adequado para prever a secagem de carambola, o que pode ser verificado por meio dos valores do coeficiente de determinação ($R^2 > 0,97$) e ajuste dos parâmetros ($p < 0,05$) para as temperaturas estudadas. Como pode ser observado na Tabela 2, o valor da difusividade efetiva sofreu aumento com o aumento da temperatura, o que era esperado, visto que em maiores temperaturas a remoção de água é mais rápida. O mesmo foi observado por Giraldo-Zuñiga et al. (2006) e Jaya e Das (2004).

Tabela 2. Difusividade efetiva e R^2 para cada temperatura de secagem.

Temperatura (°C)	Difusividade ($m^2 s^{-1}$)	Estimativa de Erros (%)	Valor de R^2
50	$6,18 \times 10^{-8}$	5,12	0,979
60	$1,12 \times 10^{-7}$	3,96	0,989
70	$4,57 \times 10^{-7}$	5,71	0,977

Conclusão

A secagem de carambola em secadores de bandeja é possível nas temperaturas estudadas, sendo o tempo de secagem inversamente proporcional à temperatura, conforme esperado. Os modelos semiteóricos estudados se ajustaram de forma satisfatória aos dados experimentais, sendo o modelo de Page o mais adequado por apresentar maior R^2 e menores valores de χ^2 e estimativa de erros. O modelo teórico de Fick também apresentou bom ajuste, verificando-se que a teoria difusional é válida neste caso. A difusividade da água do alimento para o

ar de secagem aumentou com a elevação da temperatura, justificando o menor tempo de processo para temperaturas mais elevadas.

Referências

- AKGUN, N. A.; DOYMAZ, I. Modeling of olive cake thin-layer drying process. *Journal of Food Engineering*, v. 68, n. 4, p. 455-461, 2005.
- AKPINAR, E. K. Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. *Journal of Food Engineering*, v. 73, n. 1, p. 75-84, 2006.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; VEJA-MERCADO, H. **Deshidratación de alimentos**. Zaragoza: Editorial Acribia S. A., 2000.
- BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oil seeds**. Westport: The AVI Publishing Company, 1992.
- CAMPBELL, C. A.; KOCH, K. E. Sugar/acid composition and development of sweet and tart carambola fruit. *Journal of American Society for Horticultural Science*, v. 114, n. 3, p. 455-457, 1989.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, 1990.
- CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D. M. Drying characteristics and kinetics of coffee Berry. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2006.
- DOYMAZ, I. Drying behaviour of green beans. *Journal of Food Engineering*, v. 69, n. 2, p. 161-165, 2005.
- FANG, S. Z.; WANG, Z. F.; HU, X. S. Hot air drying of whole fruit Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Miller): thin-layer mathematical modelling. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 44, n. 9, p. 1818-1824, 2009.
- FEMENIA, A.; SASTRE-SERRANO, G.; SIMAL, S.; GARAU, M. C.; EIM, V. S.; ROSSELLO, C. Effects of air-drying temperature on the cell walls of kiwifruit processed at different stages of ripening. *LWT - Food Science and Technology*, v. 42, n. 1, p. 106-112, 2009.
- GIRALDO-ZUÑINGA, A. D.; AREVÁLO PINEDO, A.; RODRIGUES, R. M.; LIMA, C. S. S.; FEITOSA, A. C. Kinetic drying experimental data and mathematical model for jackfruit (*Artocarpus integrifolia*) slices. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, v. 5, n. 2, p. 89-92, 2006.
- JAYA, S.; DAS, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *Journal of Food Engineering*, v. 3, n. 2, p. 125-134, 2004.
- KARABULUT, I.; HAYALOGLU, A. A.; YILDIRIM, H. Thin-layer drying characteristics of kurut, a Turkish dried dairy by-product. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 42, n. 9, p. 1080-1086, 2007.
- KOUHILA, M.; KECHAOU, N.; OTMANI, M.;

- FLIYOU, M.; LAHSASNI, S. Experimental study of sorption isotherms and drying kinetics of Moroccan *Eucalyptus globulus*. **Drying Technology**, v. 20, n. 10, p. 2027-2039, 2002.
- LAHSASNI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M.; JAOUHARI, J. T. Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 2, p. 173-179, 2004.
- MAHAYOTHEE, B.; UDOMKUN, P.; NAGLE, M.; HAEWSUNGCHAROEN, M.; JANJAI, S.; MUELLER, J. Effects of pretreatments on colour alterations of litchi during drying and storage. **European Food Research Technology**, v. 229, n. 2, p. 329-337, 2009.
- OLIVEIRA, L. F.; NASCIMENTO, M. R. F.; BORGES, S. V.; RIBEIRO, P. C. N.; RUBACK, V. R. Aproveitamento alternativo da casca do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* F. *flavicarpa*) para produção de doce em calda. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 3, p. 254-258, 2002.
- 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, n. 1, p. 97-103, 2003.
- PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.
- SHUI, G.; LEONG, L. P. Residue from star fruit as valuable source for functional food ingredients and antioxidant nutraceuticals. **Food Chemistry**, v. 97, n. 2, p. 277-284, 2006.
- TEIXEIRA, G. H. A.; DURIGAN, J. F.; ALVES, R. E.; O'HARE, T. J. Use of modified atmosphere to extend shelf life of fresh-cut carambola (*Averrhoa carambola* L. cv. *Fwang Tung*). **Postharvest Biological Technology**, v. 44, n. 1, p. 80-85, 2007.
- WILSON III, C. W. Carambola and Bilimbi. In: NAGY, S.; SHAW, P. E.; WARDOWSKY, F. S. (Ed.). **Fruits of tropical and subtropical origin: composition, properties and uses**. Lake Alfred: Florida Science Source, 1990. p. 277-301.

Received on December 20, 2008.

Accepted on September 24, 2009.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.