



Avaliação da cinética de secagem da carambola em secador convectivo

Carambola (star fruit) drying kinetics evaluation in convective dryer

Daniela Dantas de Farias Leite¹, Emmanuel Moreira Pereira², Aline Pacheco Albuquerque³, Francisco de Assis Mendes⁴, Hofsky Vieira Alexandre⁵

Resumo: A carambola (*Averrhoa carambola* L.) é tida como uma das frutas de grande potencial, por ser fonte de compostos essenciais para a nutrição dos seres humanos. A grande parte das perdas pós-colheita de frutas deve-se ao despreparo das pessoas do ramo da agroindústria e consumidores. A secagem é o processo comercial mais utilizado para preservar e aumentar a vida útil do produto alimentício convertendo-os em produtos mais estáveis. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi de obter curvas de secagem de carambola em um secador convectivo e, a partir dessas curvas, obter dados de taxa de secagem. As carambolas foram lavadas, higienizadas, minimamente processadas em fatias de 1 cm de espessura e colocadas imediatamente nas bandejas para secagem. Utilizou-se um secador convectivo para o experimento, nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C e velocidade do ar de secagem de 1,5 m s⁻¹. As pesagens foram realizadas até que as variações de massa fossem insignificantes e, em seguida, as amostras foram colocadas em estufa, a uma temperatura de 105 °C por 24 h, para determinação da matéria seca. Para o ajuste matemático das curvas de secagem dos resíduos foram utilizadas as equações de Henderson, Lewis e Page ajustadas com o auxílio do programa computacional Estatística, versão 5.0. O melhor ajuste deu-se ao modelo de Page, seguido de Lewis e Henderson, apresentando os melhores R².

Palavras-chave: *Averrhoa carambola* L. Secagem convectiva. Modelos matemáticos.

Abstract: The carambola (star fruit) (*Averrhoa carambola* L.) is considered one of the great potential of fruit, being source of compounds essential for the nutrition of humans. A large part of post-harvest fruit losses due to the unpreparedness of the people's branch of the agro-industry and consumers. Drying is the most widely used commercial process to preserve and extend the life of the food product by converting them into more stable products. Thus, the aim was to get carambola (star fruit) drying curves in a convective dryer and from these curves, get drying rate data. The cannons were washed, sanitized, minimally processed into 1 cm thick slices and placed immediately in the trays for drying. We used a convection dryer for the experiment at temperatures of 60, 70 and 80 °C, and drying air velocity of 1.5 m s⁻¹. The weighings were carried out until the mass variations were insignificant, and then the samples were placed in a greenhouse at a temperature of 105 °C for 24 h to determine dry matter. For mathematical adjustment of waste drying curves were used the equations of Henderson, Lewis and Page set with the help of the software Statistica, version 5.0. The best fit was given to the Page model, followed by Lewis and Henderson, presenting the best R².

Key words: *Averrhoa carambola* L. Convective drying. Mathematical models.

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 10/02/2016; aprovado em 25/04/2016

¹Mestranda, UAEA/CTRN/UFPG. Campina Grande – PB; Fone: (83) 9 9928-3848, E-mail: danieladantasfl@gmail.com

²Mestrando, UAEA/CTRN/UFPG. Campina Grande – PB; E-mail: emmanuel16mop@hotmail.com

³Mestranda, UAEA/CTRN/UFPG. Campina Grande – PB; E-mail: aline-quimicaindustrial@hotmail.com

⁴Doutorando, UAEA/CTRN/UFPG. Campina Grande – PB; E-mail: assis_mendes@barreiros.ifpe.edu.br

⁵Bolsista de pós Doutorado, UAEA/CTRN/UFPG. Campina Grande – PB; E-mail: hofsky@gmail.com



INTRODUÇÃO

A caramboleira (*Averrhoa carambola* L.) planta de origem Asiática é cultivada no Brasil com grande êxito, por necessitar de climas quentes e úmidos (PRATI et al., 2002), é tida como uma das fruteiras de grande potencial, devido à sua capacidade de rápido desenvolvimento, alta produtividade e cultivo em sistemas baixos (ARAÚJO; MINAMI, 2001).

A carambola, fruta considerada exótica, é fonte de vitaminas, sais minerais e fibras, compostos essenciais para a nutrição dos seres humanos. Segundo Teixeira et al. (2006), a carambola se torna mais atrativa em virtude de sua forma de estrela quando fatiada. A produção desta fruta no país atinge volume expressivo. No entanto, ocorre, muitas vezes, perda considerável por falta de comercialização e por ser muito perecível (ANDRADE et al., 2003).

As frutas trazem a característica de serem alimentos de fácil deterioração, devido, principalmente, à quantidade de água livre, o que afeta diretamente a conservação e conseqüentemente a sua oferta por mais tempo. Melhoras na eficiência do processo de conservação resultam em aumento de renda para o produtor e maior disponibilidade de alimentos de boa qualidade (ANDRADE et al., 2003).

A tecnologia de alimentos tem, entre um dos seus elementos de estudo, o aumento da vida útil do produto alimentício convertendo-os em produtos mais estáveis e que possam ser armazenados por longos períodos, tendo como técnicas mais importantes o congelamento e a secagem (ALEXANDRE et al., 2013).

A secagem é o processo comercial mais utilizado para preservar o alimento, se caracteriza pelo baixo custo e operação mais simples. De acordo com Ferreira e Pena (2010), trata-se de um fenômeno complexo que envolve simultaneamente a transferência de calor e massa podendo abranger ainda a transferência de quantidade de movimento.

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 (MAHAYOTHEE et al., 2009; FEMENIA et al., 2009).

Existem métodos empíricos, teóricos e semiteóricos para se descrever matematicamente o processo de secagem. O método empírico é utilizado para análise de secagem usando-se dados experimentais, que podem ser determinados em laboratório e na utilização da análise adimensional; geralmente, este método se baseia nas condições externas de secagem, não fornecendo indicações sobre o transporte de energia e massa no interior do produto, muito embora forneça informações práticas para elaboração de projetos (FORTES; OKOS, 1980).

Estudos e análises de curvas de secagem e determinação do teor de água permitem entender e visualizar melhor o processo de secagem. As informações contidas nas curvas de secagem são de fundamental importância para o desenvolvimento de processos e para o dimensionamento de equipamentos; com elas, pode-se estimar o tempo de secagem de certa quantidade de produtos e, com o tempo necessário para a produção, estima-se o gasto energético que refletirá no

custo de processamento e influenciará no preço final do produto (VILELA; ARTUR, 2008).

Diante disso objetivou-se nesse trabalho obter curvas de secagem de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em um secador convectivo e, a partir dessas curvas, obter dados de taxa de secagem.

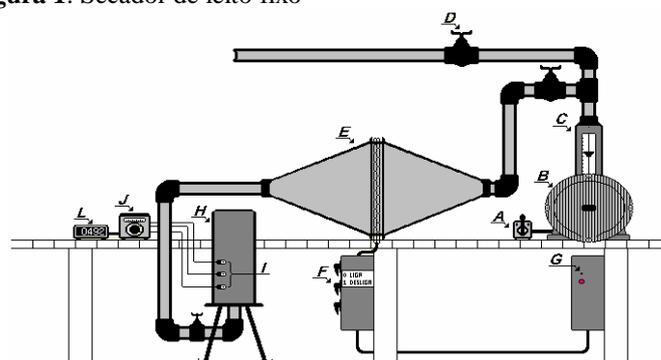
MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Processos Químicos do Departamento de Engenharia Química, em conjunto com o Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, ambos pertencentes ao Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, utilizando-se frutos da carambola.

A matéria-prima utilizada no estudo foi a carambola, a fruta foi adquirido na EMPASA na cidade de Campina Grande, PB. As carambolas selecionadas foram lavadas e higienizadas em solução de hipoclorito de sódio (100 ppm) por 10 min. Depois, foram minimamente processadas em fatias de 1 cm de espessura e colocadas imediatamente nas bandejas para secagem.

Para os experimentos de secagem utilizou-se um secador convectivo (Figura 1), nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C e velocidade do ar de secagem de 1,5 m s⁻¹. O conjunto (cesta + amostra) foi pesado manualmente e colocado na câmara de secagem, procedendo-se ao início da operação. O acompanhamento da redução do conteúdo de umidade das amostras foi realizado por pesagens descontínuas em balança digital com precisão de ± 0,01 g até peso constante. O teor de umidade perdido durante o processo foi obtido por pesagens descontínuas das amostras e o esquema de pesagem seguiu intervalos de 5, 10, 30 e 60 min, até o final do processo. As pesagens foram realizadas até que as variações de massa fossem insignificantes e, depois, as amostras foram colocadas em estufa, a uma temperatura de 105 °C por 24 h, para determinação da matéria seca.

Figura 1. Secador de leito fixo



A. Chave do ventilador; B. Ventilador radial; C. Medidor de vazão; D. Válvula reguladora; E. Aquecedor elétrico; F. Chave das resistências; G. Chave do sistema de controle; H. Câmara de secagem; I. Termopares; J. Controlador de temperatura; L. Milivoltímetro digital.

Com os dados das pesagens das amostras durante a secagem calcularam-se a razão de umidade (Eq. 1):

$$RX = \frac{X - X_e}{X_o - X_e} \quad (1)$$

Em que:

RX – razão de umidade, adimensional;

X – umidade absoluta, bs;

X_o – umidade inicial, bs;

X_e – umidade de equilíbrio, bs.

Para o ajuste matemático das curvas de secagem dos resíduos foram utilizadas as equações de Henderson, Lewis e Page (Eqs. 2, 3 e 4) ajustadas com o auxílio do programa computacional Statistica, versão 5.0.

$$RX = a \exp(-kt) \quad (2)$$

$$RX = \exp^{-kt^n} \quad (3)$$

$$RX = e^{-kt^n} \quad (4)$$

Em que:

RX – razão de umidade, adimensional;

t – tempo de secagem, s;

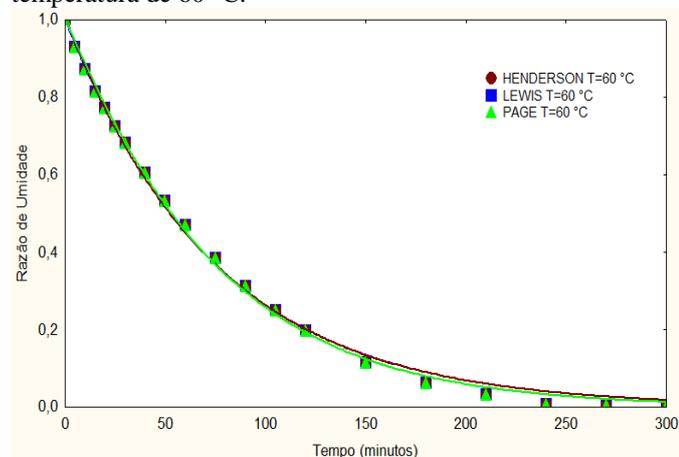
k – constante de secagem, s⁻¹;

a, n – constante do modelo, adimensional.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

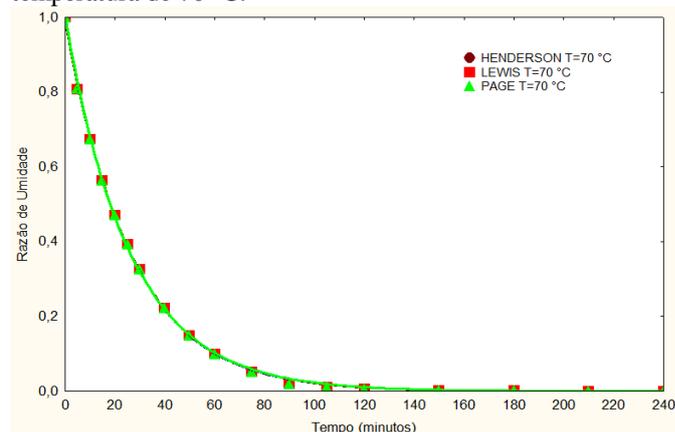
Nas Figuras 2, 3 e 4 são apresentados os dados das curvas da cinética de secagem para as temperaturas de 60, 70 e 80 °C.

Figura 2. Curvas obtidas pelo ajuste do modelo de Henderson, Lewis e Page aos dados experimentais da secagem de carambola minimamente processada na temperatura de 60 °C.



Por meio da representação gráfica pode-se verificar a influência da temperatura sobre o tempo de secagem, onde para todas as temperaturas utilizadas, a perda do conteúdo de umidade foi mais significativa no início da secagem e, posteriormente, a diminuição tornou-se mais lenta com o aumento do tempo, esse comportamento deve-se ao fato que quanto maior a temperatura empregada menor é o tempo utilizado no processo de secagem. Verificou-se a partir de estudos desenvolvidos por Riboski et al. (2014), Furtado et. al (2010) e Giraldo-Zuñinga et al. (2006) que o comportamento observado está em conformidade com os resultados obtidos para secagens realizada em diferentes frutos.

Figura 3. Curvas obtidas pelo ajuste do modelo de Henderson, Lewis e Page aos dados experimentais da secagem de carambola minimamente processada na temperatura de 70 °C.

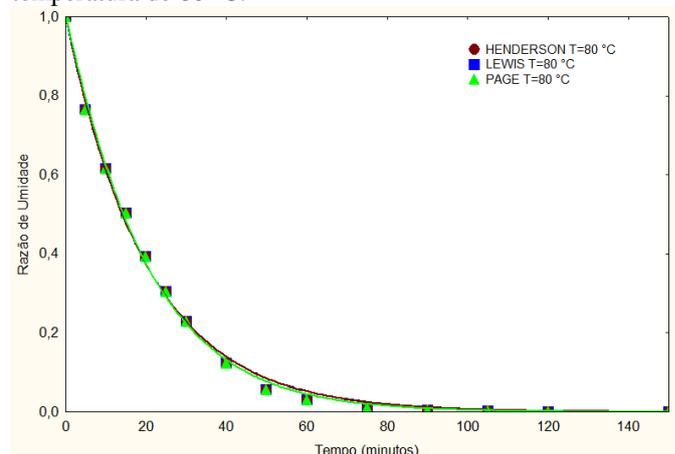


De acordo com estudo realizado por Santos et al. (2010) para secagem de carambola em secador de bandeja, foi necessário um tempo de 260 min na temperatura de 70 °C para estabilidade da razão de umidade, assemelhando-se com o tempo utilizado nesse experimento.

A temperatura de 60 °C conduziu um tempo de secagem de 300 min, enquanto que na temperatura de 70 °C o tempo requerido foi de 240 min e de 140 min para temperatura de 80 °C.

Pode-se verificar na Figura 4, que a secagem a 80 °C atinge o equilíbrio mais rapidamente, esse resultado é semelhante ao de Furtado et al. (2010) para secagem de polpa de seriguela pelo método de camada de espuma.

Figura 4. Curvas obtidas pelo ajuste do modelo de Henderson, Lewis e Page aos dados experimentais da secagem de carambola minimamente processada na temperatura de 80 °C.



Na Tabela 1 encontram-se os parâmetros obtidos a partir do ajuste dos modelos de Henderson, Lewis e Page, em função da secagem de carambola minimamente processada, para as temperaturas de 60, 70 e 80 °C. As curvas de secagem estão apresentadas em termos da razão de umidade na forma adimensional, em função do tempo de secagem.

Tabela 1. Parâmetros de ajuste dos modelos experimentais aos dados da secagem de carambola minimamente processada, nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C.

Henderson				
Temperatura (°C)	Parâmetros		R ²	χ ²
	A	K		
60	1,0066	0,0134	0,9988	0,0593
70	0,9917	0,0378	0,9997	0,0007
80	1,0018	0,0493	0,9987	0,0035
Lewis				
Temperatura (°C)	Parâmetros		R ²	χ ²
	A	K		
60	-	0,0132	0,9988	0,0060
70	-	0,0382	0,9997	0,0008
80	-	0,0492	0,9987	0,0035
Page				
Temperatura (°C)	Parâmetros		R ²	χ ²
	K	N		
60	0,0103	1,0596	0,9992	0,0039
70	0,0396	0,9892	0,9997	0,0008
80	0,0421	1,0496	0,9990	0,0028

Avaliando os parâmetros dos modelos ajustados aos dados experimentais da cinética de quantidade de água durante secagem de carambola minimamente processada, verifica-se a boa representação do modelo de Page, que obteve os maiores coeficientes de determinação (R²) variando de 0,9990 a 0,9997 e os menores qui-quadrados (χ²), respectivamente, apresentando ajuste dos dados da curva aos modelos experimentais conforme mostrado nas Figuras 2, 3 e 4, superior ao obtido pelos demais modelos. Considerando este mesmo critério, temos os modelos de Lewis e Henderson, com boa representação de ajuste aos pontos experimentais da quantidade de água com coeficientes de determinação (R²) acima de 0,99 (Tabela 1).

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, para secagem de carambola em secador convectivo, pode-se concluir que este processo é possível nas temperaturas estudadas, constatando que tempo de secagem é inversamente proporcional à temperatura.

O modelo matemático de Page, dentre os modelos estudados, é o que se ajustou de forma mais satisfatória aos dados experimentais devido apresentar maior coeficiente de determinação (R²) e menores valores de χ². Sendo que, os modelos de Henderson e Lewis também apresentaram boas representatividades com valores de R² acima de 0,99.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, H. V.; SILVA, F. L.; GOMES, J.; SILVA, O.; CARVALHO, J.; LIMA, E. Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.6, p.640-646, 2013.

ANDRADE, S. A. C.; METRI, J. C.; BARROS NETO, B.; GUERRA, N. B. Desidratação osmótica do jenipapo (*Genipa*

americana L.) *Ciências e Tecnologia de Alimentos*, v.23, n.2, p. 276-281, 2003.

ARAÚJO, P. R. S.; MINAMI, K. Seleção de caramboleiras pelas características biométricas e físico químicas dos frutos. *Scientia Agrícola*, Campinas, v.58, n.1, p.91-99, 2001.

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.

FERREIRA, M. F. P.; PENA, R. S. Estudo da secagem da casca do maracujá. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.12, n.1, p.15- 28, 2010.

FORTES, M.; OKOS, M. R. Drying theories; their bases and limitations as applied to foods and grains. In: Mujundar, A. S., (ed.). *Advances in drying*. New York: Science Press, p.153-162, 1980.

FURTADO, G. F.; SILVA, F.S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. Secagem de polpa de ceriguela pelo método de camada de espuma. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.12, n.1, p.9-14, 2010.

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 Tecnologia Alimentaria*, v.5, n.2, p.89-92, 2006.

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.

PRATI, P.; NOGUEIRA, J.N.; DIAS, C.T.S. Avaliação de carambola (*Averrhoa carambola* L.) dos tipos doce e ácido para o processamento de fruta em calda. *Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos*. v.20, n.2, p.221-246, 2002.

RIBOSKI, A.G, LEITE, A.L.M.P., SILVA, F. S., PORTO, A. G., DERLAN, J. M. Análise da cinética de secagem dos frutos de pitanga. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, Anais...Campo Grande- MS, 2014.

SANTOS, C. T.; BONOMO, M. A. C.; FONTAN, R. da C. I.; BONOMO, P. Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em secador de bandeja. *Acta Scientiarum. Technology*, v.32, n.3, p.309-313, 2010.

TEIXEIRA, G. H. de A.; DURIGAN, J. F.; MATTIUZ, B.; ALVES, R. E.; O'HARE, T. J. Cultivar affects browning susceptibility of freshly cut star fruit slices. *Scientia Agrícola*, v.63, n.1, p.1-4, 2006.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.28, p.387-394, 2008.