

## **MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA DE SECAGEM DA CASCA DE JACA (*Artocarpus heterophyllus*).**

LUIS PAULO FIRMINO ROMÃO DA SILVA<sup>1\*</sup>; ZANELLI RUSSELEY TENÓRIO COSTA<sup>1</sup>;  
AGDYLANNAH FELIX VIEIRA<sup>1</sup>; JOANA D'ARC PAZ DE MATOS<sup>2</sup>, SEMIRAMES DO  
NASCIMENTO SILVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mestrandos em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, luispfrs@hotmail.coml.com;

<sup>2</sup>Doutorandas em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, semirames.agroecologia@gmail.com

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018  
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

**RESUMO:** Teve-se como objetivo determinar as curvas de cinética de secagem da casca da jaca nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C e ajustar a modelos matemáticos. O trabalho foi realizado no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas da UFCG Campina Grande. As jacas foram adquiridas na Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas. Utilizou-se os modelos matemáticos de Thompson, Newton, Page, Henderson e Pabis e Midilli aos valores experimentais. O modelo de Midilli foi selecionado como o mais adequado para prever o fenômeno de secagem, por apresentar  $R^2 > 0,998$  e menores desvios quadráticos médios (DQM<0,01).

**PALAVRAS-CHAVE:** *Artocarpus heterophyllus*, modelos matemáticos, secagem convectiva.

### **MATHEMATICAL MODELING OF DRYING KINETICS OF JACA CASCA (*Artocarpus heterophyllus*)**

**ABSTRACT:** The objective of this study was to determine the drying kinetic curves of the jaca shell at temperatures of 60, 70 and 80 °C and to adjust to mathematical models. The work was carried out at the Laboratory of Processing and Storage of Agricultural Products of Campina Grande UFCG. The jacas were acquired in the Paraibana Company of Supply and Agricultural Services. The mathematical models of Thompson, Newton, Page, Henderson and Pabis and Midilli were used for experimental values. The Midilli model was selected as the most adequate to predict the drying phenomenon, presenting  $R^2 > 0.998$ , smaller mean quadratic deviations (DQM <0.01)

**KEYWORDS:** *Artocarpus heterophyllus*, convective drying, mathematical models.

### **INTRODUÇÃO**

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, ficando atrás apenas da China e Índia (ACIFAAC, 2017). Entretanto, há um grande desperdício pós-colheita para algumas culturas, e a produção de resíduos, o que, notadamente, gera prejuízos. Apesar de muito ter se feito em prol do crescimento da fruticultura brasileira, ainda falta uma campanha em prol do desenvolvimento mais rápido da nossa pomicultura, e outra mostrando o valor da fruta na alimentação humana (Gomes, 2007).

O desperdício alimentar está agregado às questões socioculturais, contribuindo para a diminuição dos recursos nutricionais ofertados à grande parte das famílias, sendo este fator agravante nas populações mais carentes. Segundo um levantamento de estudo do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012), de todo o lixo coletado diariamente no Brasil, representado por um montante de 183.481,50 toneladas, 51,4% correspondem à matéria orgânica.

O reaproveitamento das partes não consumidas aumenta a acessibilidade de alimentos a todas as populações, a fome e o desperdício de alimentos são dois problemas em que o Brasil enfrenta, constituindo-se em um dos paradoxos de nosso país (Damiani et al, 2011).

Segundo Matias et al. (2005) e Abud e Narain (2009), farinhas obtidas de resíduos agroindustriais podem ser utilizadas como ingrediente alimentar para incorporação em alimentos,

como substituto parcial à farinha de trigo. Para a obtenção de farinhas de resíduos agroindustriais, a secagem destaca-se dentre as opções tecnológicas. O aproveitamento integral dos alimentos tem grande vantagens a promoção da saúde e da economia para a população.

O presente trabalho teve como objetivo, descrever a cinética de secagem da casca de Jaca (*Artocarpus heterophyllus*) nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C e ajustar a modelos matemáticos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados experimentais foram obtidos no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande, PB no período de janeiro a abril de 2018. As jacas foram adquiridas na Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas - EMPASA de Campina Grande. As frutas foram transportadas ao LAPPA, selecionadas e sanitizadas em água clorada (50 ppm) por 15 min, posteriormente, realizou-se o enxague em água corrente. O teor de água inicial do produto foi determinado, segundo método padrão de estufa a  $105 \pm 3$  °C, utilizando três repetições da amostra, cada uma com aproximadamente 10 g, que permaneceram em estufa por 24 h (Instituto Adolfo Lutz, 2008). Após serem retiradas da estufa, as amostras foram resfriadas em dessecador por 15 min e pesadas em balança analítica, a determinação do teor de água foi determinada pela fórmula:

$$X = \frac{m_{H_2O}}{m_s} \quad (1)$$

Em que:

$m_{H_2O}$  - massa de água;

$m_s$  - massa seca.

As amostras foram acondicionadas em cestas teladas, cada cesta contendo aproximadamente 100 g da casca. O equipamento utilizado para secagem da casca de Jaca foi estufa de circulação de ar com velocidade de 1 m/s.

As curvas foram determinadas com três níveis de temperatura (60, 70, e 80 °C) em três repetições. As leituras em relação à perda de peso da amostra foram realizadas em intervalos regulares, iniciando-se a cada 5 min, acompanhada até atingir peso constante. Os dados experimentais foram expressos na forma de razão de umidade ( $X^*$ ) Eq. 3:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (2)$$

Em que:

RX – razão de umidade do produto (adimensional)

X – teor de água, base seca, bs;

$X_e$  – teor de água de equilíbrio, bs;

$X_0$  – teor de água inicial, bs.

Os modelos matemáticos apresentados na Tabela 1 foram ajustados às curvas de cinética de secagem da casca de jaca através de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, empregando-se o programa computacional STATISTICA 7.0.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de cinética de secagem da casca da jaca.

Designação do modelo	Equação	Referência
Page	$RX = \exp(-k.t^n)$	(Page, 1949)
Thompson	$RX = \exp((-a - (a^2 + 4.b.t)^{0.5})/2.b)$	(Sousa et al., 2011)
Midilli	$RX = a.\exp(-k.t^n) + b.t$	(Midilli, 2002)
Henderson e Pabis	$RX = a.\exp(-k.t)$	(Henderson & Pabis, 1962)
Newton	$RX = \exp(-k.t)$	(O'Callaghan, 1971)

RX - razão de umidade do produto, adimensional; k - constantes de secagem; a, b, n – constantes dos modelos; t - tempo de secagem (min).

Para avaliar a qualidade dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados experimentais foram avaliados o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o desvio quadrático médio (DQM) (Eq. 3) e a distribuição dos resíduos.

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum(RX_{pred} - RX_{exp})^2}{n}} \quad (3)$$

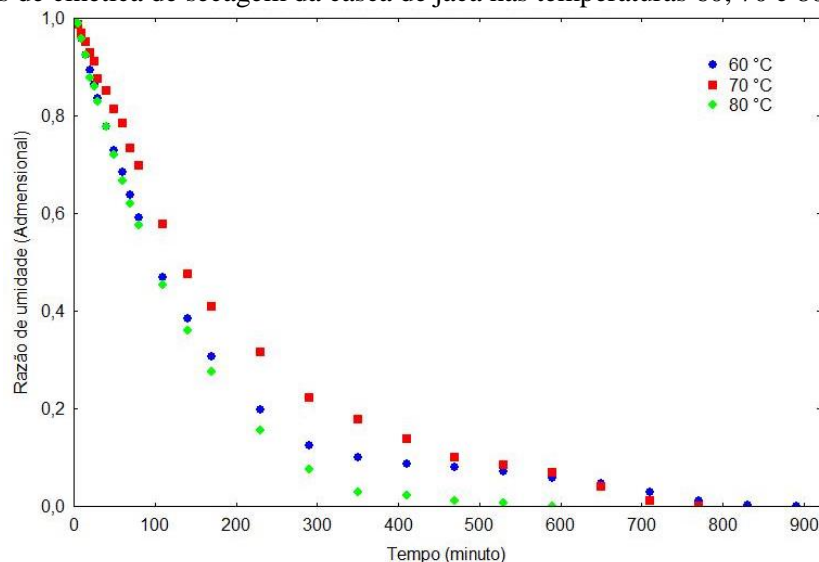
Onde:

- DQM – desvio quadrático médio;
- $RX_{pred}$  – razão de umidade predito pelo modelo;
- $RX_{exp}$  – razão de umidade experimental;
- n – número de observações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Têm-se, na Figura 1, os dados experimentais da cinética de secagem da casca de jaca nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, expressos através do teor de umidade em função do tempo de secagem (min).

Figura 1. Curvas de cinética de secagem da casca de jaca nas temperaturas 60, 70 e 80 °C.



Observou-se a redução do tempo do processo de secagem com o aumento da temperatura, comportamento esperado, uma vez que com a elevação da temperatura do ar de secagem desenvolve maior gradiente de umidade entre o produto e o ar, acarretando maior taxa de remoção de água, independente do tipo do material utilizado (Sousa et al., 2011). Entretanto, ocorreu uma diminuição no teor de umidade com a elevação da temperatura de secagem, comportamento observado por Melo et al. (2013) na secagem da polpa do fruto de mandacaru e na secagem do grão de algaroba por Silva e al. (2012).

As secagens da casca de jaca foram procedidas durante 890 min na temperatura de 60 °C, 770 min na temperatura de 70 °C e 590 min na temperatura de 80 °C. Ferreira et al. (2010) verificaram redução nos tempos de secagem com elevação da temperatura na casca de maracujá em estufa com circulação forçada de ar, obtendo tempos de secagem de 5; 3,8 e 2,4 horas para as temperaturas de 60, 70 e 80 °C, respectivamente, sendo inferiores ao da casca da jaca.

Apresentam-se, na Tabela 2, os parâmetros dos modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Newton, Page, Midili e Thompson, ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem da casca da jaca e seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM).

Tabela 2. Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados às curvas de cinética de secagem da casca da jaca, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), Desvio Quadrático Médio (DQM).

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro		n	b	$R^2$	DQM
		a	K				
Midilli	60	1,0174	0,006381	1,0165	0,000029	0,99834	0,0148
	70	1,0149	0,003960	1,0467	0,000010	0,99847	0,0144
	80	1,0028	0,003917	1,1310	-0,000015	0,99963	0,0069
Temperatura (°C)		K	n	$R^2$		DQM	
Page	60	0,0058	1,0257	0,9974		0,0184	
	70	0,0034	1,0681	0,9982		0,0156	
	80	0,0036	1,1485	0,9996		0,0075	
Temperatura (°C)		K		$R^2$		DQM	
Newton	60	0,0066		0,9973		0,0188	
	70	0,0049		0,9971		0,0197	
	80	0,0073		0,9954		0,0244	
Temperatura (°C)		a	K	$R^2$		DQM	
Henderson & Pabis	60	1,0180	0,0068	0,9978		0,0172	
	70	1,0252	0,0051	0,9983		0,0151	
	80	1,0365	0,0077	0,9976		0,0176	
Temperatura (°C)		a	b	$R^2$		DQM	
Thompson	60	-67,2531	0,6721	0,9974		0,0184	
	70	-4517,9800	4,6860	0,9971		0,0197	
	80	-3428,0700	4,9900	0,9954		0,0244	

Verificou-se que os modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Newton, Thompson, Midilli e Page resultaram em bons ajustes aos dados experimentais das secagens da casca de jaca na faixa de temperatura estudada, com  $R^2$  superiores a 0,99 e menores valores de DQM. Quanto ao modelo de Newton o mesmo apresentou um  $R^2$  médio de 0,996, DQM acima de 0,02 resultados bastante distintos dos demais modelos, considerado não satisfatório para estimar as curvas de cinética do material em estudo.

Constatou-se que dentre os modelos testados o melhor ajuste para todas as temperaturas foi o modelo Midilli, em razão de ter apresentado o maior coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,99963$ ), e menor desvio quadrático médio (DQM = 0,0069), indicando uma representação satisfatória no processo de secagem.

O parâmetro k para os modelos de Page, Newton e Henderson & Pabis aumentaram nas maiores temperaturas, diferenciando do modelo de Midilli o qual diminui o valor no decorrer do aumento da temperatura. O parâmetro n do modelo de Page e Midilli possui um efeito de moderação do tempo e corrige os prováveis erros resultantes da negligência da resistência interna para a transferência de água (Guedes & Faria, 2000).

Em relação ao parâmetro b no modelo de Thompson observou-se que houve aumento com a elevação da temperatura de secagem. Santos et al. (2017) também verificaram este comportamento ao ajustarem as curvas de secagem na romã, entras as temperaturas 50 a 70 constatou o aumento do parâmetro b com a elevação da temperatura.

O parâmetro “a” dos modelos de Midilli e Thompson diminui com a elevação da temperatura. No modelo de Henderson & Pabis tornou-se notório que o parâmetro “a” aumentou com a elevação da temperatura para a faixa de temperatura de 60 a 80 °C, comportamento também verificado por Santos et al. (2013) que desidrataram farinha de grão de urucum nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

## CONCLUSÃO

A temperatura exerceu influência sobre o tempo de secagem, onde as cascas secadas nas maiores temperaturas demandaram os menores tempos para o equilíbrio higroscópico. Dentre os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem das cascas de jaca, o de Midilli foi selecionado como o mais adequado para prever o fenômeno estudado, apresentando na maioria dos casos os maiores valores de  $R^2$  e os menores desvios quadráticos médios.

Os modelos matemáticos Page, Henderson e Pabis, Newton e Thompson, também podem ser utilizados para estimar os dados experimentais da cinética de secagem das cascas da jaca, pois resultaram em bons ajustes aos dados experimentais na faixa de temperatura estudada, com  $R^2$  superiores a 0,99 e baixos valores de DQM.

## REFERÊNCIAS

- Abud, A. K. S.; Narain, N. Incorporação de farinha de resíduo do processamento de polpa de fruta em biscoitos: uma alternativa de combate ao desperdício. *Brazilian Journal of Food Technology*. v. 12, n. 4, p. 257-265, 2009.
- ACIFAAC. Associação de Comunicação e Imprensa da FAAC. Disponível em: <<https://acifaacunesp.com/2017/09/17/brasil-e-o-terceiro-maior-produtor-de-frutas-do-mundo/>>. Acessado em 14 maio 2018.
- Damiani, C.; Silva, F. A.; Rodvalho, E. C.; Becker, F. S.; Asquieri, E. R.; Oliveira, R. A.; Lage, M. E. Aproveitamento de resíduos vegetais para produção de farofa temperada. *Alimento e Nutrição*, Araraquara, v. 22, n. 4, p. 657-662, out./dez. 2011.
- Ferreira, M. F. P.; Pena, R. S. Estudo Da Secagem da Casca do Maracujá Amarelo. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.12, n.1, p.15-28, 2010.
- Guedes, A. M. M.; Faria, L. J. G. Determinação da constante de secagem de urucum (*Bixa orellana* L.) em secador convectivo de leito fixo. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 2, n. 1, p. 73-86, 2000.
- Gomes, P. *Fruticultura Brasileira*. São Paulo: Nobel. 2007.
- Henderson, S. M.; Pabis, S. Grain drying theory I: temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Research Engineering*, v. 12, p. 732-736, 1962.
- Instituto Adolfo Lutz (IAL). *Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos*. 4ª Ed., 1ª Ed. digital, São Paulo, 2008.
- IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada). Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnósticos dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores. *Comunicados do Ipea*, nº 145 – 25 de abril de 2012. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=13917](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=13917)> Acessado em: 28 mar. 2018.
- Matias, M. F. O.; Oliveira, E.L.; Margalhães, M. M. A.; Gerturdes, E. Use of fibers obtained from the cashew (*Anacardium occidentale* L) and guava (*Psidium guajava*) fruits for enrichment of food products. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. v. 48, p. 143-150, 2005.
- Melo, K. S. et al. Secagem em Camada de Espuma da Polpa do Fruto do Mandacaru: Experimentação e Ajustes de Modelos Matemáticos. *Revista Caatinga*, v. 26, n. 2, p. 10-17, 2013.
- Midilli, A.; Kucuk, H.; Yapar, Z. A. New model for single-layer drying. *Drying Technology*, v. 20, p. 1503-1513, 2002.
- O’Callaghan, J. R.; Menzies, D. J.; Bailey, P. H. Digital simulation of agricultural dryer performance. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 16, n. 3, p. 223-244. 1971.
- Page, G. E. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. 1949. Dissertação de Mestrado, Purdue University, West Lafayette, 1949.
- Santos, D. C.; Queiroz, A. J. M.; Figueirêdo, R. M. F.; Oliveira, E. N. A. Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.17, n.2, p.223-231, 2013.
- Silva, L. A.; Cavalcanti-Mata, M. E. R. M.; Duarte, M. E. M.; Almeida, R. D.; Cavalcanti, R. F. R. M. Cinética da secagem de grãos de algaroba. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 14, p. 535-542, 2012.
- Sousa, K. A.; Resende, O.; Chaves, T. H.; Costa, L. M. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, p. 883-892, 2011.