

## **CINÉTICA DE SECAGEM DE DIFERENTES FRUTAS COMUNS EM FEIRAS ORGÂNICAS**

**JOAN CARLOS ALVES PEREIRA<sup>1\*</sup>; RENATO COSTA DA SILVA<sup>1</sup>;  
KAROLINE THAYS ANDRADE ARAÚJO<sup>2</sup>; JOSIVANDA PALMEIRA GOMES<sup>3</sup>; WILTON PEREIRA DA SILVA<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Mestrando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, renatinocosta@gmail.com;  
joan\_carlos21@yahoo.com

<sup>2</sup>Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, karoline\_thays@hotmail

<sup>3</sup>Docente/pesquisador do Depto de Engenharia agrícola-UAEA-UFCG, josivanda@gmail.com;

<sup>4</sup>Docente/pesquisador do Depto de Física-UAF-UFCG; wiltonps@uol.com.br

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018  
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

**RESUMO:** O desperdício de alimentos ainda é um problema muito grave que, além de estar presente em todas as etapas da cadeia alimentar, ele também existe em feiras livres, restaurantes e na casa do consumidor. Este trabalho teve como objetivo estudar a cinética de secagem de cinco tipos de frutas: goiaba, manga, mamão, melão e maçã que seriam descartadas de uma feira orgânica local e calcular a difusividade efetiva do fluxo de massa. As frutas foram cortadas em fatias de aproximadamente 3 cm de comprimento, 1 cm de largura e 0,4 cm de altura, sendo as secagens realizadas em estufa com circulação forçada de ar na temperatura de 65°C e o ajuste dos modelos matemáticos aos dados das cinéticas de secagem realizados através de análise de regressão não-linear. Dentre os modelos analisados, o de Page apresentou os melhores parâmetros de ajuste para as amostras de goiaba, manga e melão e o modelo de Henderson e Pabis para as amostras de mamão e maçã. A difusividade efetiva mostrou um rápido fluxo de água para a temperatura de 65°C.

**PALAVRAS-CHAVE:** Desperdício de alimentos, desidratação, modelagem matemática.

### **DRY KINETICS OF DIFFERENT COMMON FRUITS IN ORGANIC FAIRS**

**ABSTRACT:** Food waste is still a very serious problem that, in addition to being present at all stages of the food chain, it also exists in fairs, restaurants and in the consumer's home. This work aimed to study the kinetics of drying of five types of fruits: guava, mango, papaya, melon and apple that would be discarded from a local organic fair and calculate the effective diffusivity of mass flow. The fruits were cut into slices approximately 3 cm long, 1 cm wide and 0.4 cm high, being dried in an oven with forced air circulation at 65 ° C and adjusting the mathematical models to the kinetic data by non-linear regression analysis. Among the analyzed models, Page presented the best adjustment parameters for the guava, mango and melon samples and the Henderson and Pabis model for the papaya and apple samples. The effective diffusivity showed a fast flow of water to the temperature of 65°C.

**KEYWORDS:** Food waste, dehydration, mathematical modeling.

### **INTRODUÇÃO**

O consumo de frutas frescas pela população vem aumentando, seguindo a tendência mundial de conscientização em relação à necessidade de possuir uma dieta balanceada com o objetivo de se alcançar uma vida saudável. Essa nova realidade de mercado demanda investimentos em melhorias tanto no aumento da eficiência do sistema produtivo e, conseqüentemente, a produção, quanto para minimizar as perdas durante e após a colheita.

Se por um lado a grande produção é interessante para suprir a demanda interna do consumo do alimento fresco, por outro, perdas ocorrem no começo da cadeia produtiva, pós-colheita,

armazenamento e processamento e, no fim, o desperdício nos âmbitos do varejo e do consumo (ALVES & NICOLETI, 2016).

Nas feiras livres o desperdício é considerável e o consumidor final precisa aprender a valorizar o alimento que chega à sua mesa. A curta vida útil das frutas frescas leva a um curto tempo de consumo, devido ao fato da água ser o elemento principal que permite o metabolismo biológico, o que delimita e compromete sua distribuição. No intuito de prolongar a vida útil das frutas, o processamento deve ser aplicado, e a desidratação é uma das opções mais frequente e antiga na conservação de frutas, preservando ao máximo seus nutrientes (CALÍN-SÁNCHEZ et al., 2015). Nesse contexto, o processo de secagem apresenta novos recursos de consumo das frutas, tendo papel fundamental para melhor aproveitamento dos alimentos, minimizando o desperdício. Este trabalho teve como objetivo estudar a secagem de cinco tipos de frutas comuns em feiras orgânicas que seriam descartadas de uma feira orgânica local, na temperatura de 65 °C e ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais da cinética de secagem, e calcular a difusividade efetiva do fluxo de massa.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em Campina Grande, PB. Foi utilizado como matéria prima cinco diferentes frutas, sendo elas a goiaba, manga, mamão, melão e maçã, que seriam descarte da feira orgânica localizada nas dependências da UFCG, na cidade de Campina Grande, PB. Apesar do material não apresentar um aspecto visual aceitável para os padrões comerciais, devido um estágio de maturação avançado, furos ou amasso, era notório que poderiam ser aproveitadas. Os produtos foram recolhidos e transportados ao laboratório onde foram lavados, sanitizados e cortados em pequenas fatias de aproximadamente 3 cm de comprimento, 1 cm de largura e 0,4 cm de altura, posteriormente foi realizada a secagem em estufa com circulação forçada de ar com velocidade do ar de secagem de aproximadamente 1 m/s, na temperatura de 65°C.

Os dados das cinéticas foram obtidos acompanhando a perda de massa durante o processo de desidratação até que as amostras atingissem massa constante, as pesagens das amostras ocorreram em intervalos regulares de 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 90 e 120 min. Quando as amostras atingiram massa constante, determinou-se o teor de água de equilíbrio em estufa a 105 °C por 24 h para obtenção da massa seca (BRASIL, 2005). Com os dados das umidades em base seca, foram calculados os valores da razão de umidade, conforme a Equação 1.

$$RX = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \quad (1)$$

Em que: RX - Razão de umidade do produto (adimensional); X - Teor de umidade do produto em determinado tempo (b. s.); X<sub>0</sub> - Teor de umidade inicial do produto (b. s.); e X<sub>eq</sub> - Teor de umidade equilíbrio do produto (b. s.).

Em seguida foram traçadas as curvas de cinética de secagem e ajustadas aos modelos matemáticos, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Modelos matemáticos ajustados à cinética de secagem das diferentes frutas.

Modelo	Equação
Henderson e Pabis	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$
Thompson	$RX = \exp \left( \left( -a - (a^2 + 4 b t) / 2 b \right) \right)$
Page	$RX = \exp(-k \cdot t^n)$

Em que: a, b, n – parâmetros dos modelos, t – tempo, k – constante de secagem.

Para o ajuste dos modelos aos dados experimentais foi utilizado o programa computacional Statística 7. Os critérios empregados para determinar o modelo que se ajustou melhor aos dados experimentais foram: coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e o desvio quadrático médio (DQM) (Equação 2).

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

Em que: DQM - Desvio quadrático médio;  $RX_{pred}$  - Razão de umidade predito pelo modelo;  $RX_{exp}$  - Razão de umidade experimental; n - Número de observações.

A difusividade efetiva foi obtida por meio do ajuste do modelo matemático da difusão líquida, descrita pela Equação 3, aos dados experimentais da secagem da goiaba, manga, mamão, melão e maçã, considerando-se a forma geométrica do produto como aproximação a um paralelepípedo, devido ao corte do mesmo, desconsiderando-se a contração volumétrica (Luikov, 1968).

$$M(t) = M_{eq} - (M_{eq} - M_i) \sum_{n=1}^{25} \sum_{m=1}^{25} \sum_{k=1}^{25} B_n B_m B_k \exp \left[ - \left( \frac{\mu_n^2}{(L_1/2)^2} + \frac{\mu_m^2}{(L_2/2)^2} + \frac{\mu_k^2}{(L_3/2)^2} \right) Dt \right] \quad (3)$$

Em que: M(t) - Teor de umidade no instante t;  $M_{eq}$  - Teor de umidade para  $t \rightarrow \infty$ ;  $M_i$  - Teor de umidade para  $t = 0$ ;  $L_1$  - Comprimento;  $L_2$  - Altura;  $L_3$  - Espessura; D - Difusividade; t - Tempo;  $B_n = 2/\mu_n^2$ ;  $B_m = 2/\mu_m^2$ ;  $B_k = 2/\mu_k^2$ ;  $\mu_n = (2n-1)(\pi/2)$ ;  $\mu_m = (2m-1)(\pi/2)$ ;  $\mu_k = (2k-1)(\pi/2)$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor médio do teor de umidade inicial foi de 83,94, 74,90, 87,74, 92,35, 83,24 % b.u. e o teor de umidade ao final da secagem foi de 13,71, 12,37, 11,87, 5,54, 12,92% b.u. para a goiaba, manga, mamão, melão e maçã, respectivamente.

Apresenta-se, na Tabela 2, os parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem da goiaba, manga, mamão, melão e maçã na temperatura de 65°C, com os respectivos  $R^2$  e DQM.

Tabela 1 – Parâmetros dos diferentes modelos matemáticos, com seus respectivos coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e desvio quadrático médio (DQM) ajustado às curvas de secagem a 65°C da goiaba, manga, mamão, melão e maçã.

	Modelo	Parâmetros			$R^2$	DQM
		a/n	b	k		
Goiaba	Henderson e Pabis	0,996358	-	0,008129	0,9981	0,0155
	Thompson	-2705,66	1,834205	-	0,9981	0,0157
	Page	1,030831	-	0,007076	0,9983	0,0147
Manga	Henderson e Pabis	0,983343	-	0,010860	0,9994	0,0083
	Thompson	-20,2756	0,212118	-	0,9993	0,0092
	Page	0,949001	-	0,013935	0,9996	0,0072
Mamão	Henderson e Pabis	0,988148	-	0,012608	0,9989	0,0123
	Thompson	-1764,25	1,837855	-	0,9986	0,0134
	Page	0,983390	-	0,013783	0,9987	0,0131
Melão	Henderson e Pabis	1,036590	-	0,011717	0,9914	0,0359
	Thompson	-2445,45	1,862992	-	0,9894	0,0398
	Page	1,267154	-	0,003479	0,9983	0,0161
Maçã	Henderson e Pabis	0,978919	-	0,013265	0,9992	0,0102
	Thompson	-74,9249	0,683425	-	0,9985	0,0138
	Page	0,960700	-	0,016160	0,9988	0,0123

Observa-se, através dos indicadores estatísticos, que todos os modelos apresentaram bons ajustes aos dados experimentais de secagem para todas as frutas, com  $R^2$  superiores a 0,989, podendo ser utilizados na predição da cinética de secagem das frutas.

Dentre os modelos testados, o de Page foi considerado o melhor para estimar as curvas de cinética de secagem das amostras de goiaba, manga e melão, apresentando os maiores  $R^2$  ( $> 0,998$ ) e os menores DQM ( $< 0,02$ ), já para as amostras de mamão e maçã, o modelo Henderson e Pabis foi o que se ajustou melhor aos dados, apresentando os maiores  $R^2$  ( $> 0,998$ ) e os menores DQM ( $< 0,02$ ). Marques (2008) também verificou coeficientes de determinação superiores a 0,99, apresentando o modelo de Page com os melhores resultados ao estudar a secagem de abacaxi, goiaba e manga.

O parâmetro de secagem “k” dos modelos de Page e Henderson e Pabis apresentaram maiores valores para a maçã. Segundo Goneli et al. (2011), a constante de secagem “k” representa o efeito das condições externas de secagem. A constante “n”, presente no modelo de Page, apresentou o maior valor para a manga, fato que pode ser explicado devido a maior resistência do produto à secagem devido a sua composição. A constante “n” representa a resistência interna do produto à secagem (Corrêa et al., 2007).

Na Figura 1 são descritas as curvas das cinéticas de secagem da goiaba (A), manga (B), mamão (C), melão (D) e maçã (E) na temperatura de 65°C. Os pontos representam os dados experimentais e a linha contínua os dados preditos pelo modelo matemático de Page para a goiaba, manga e melão, e Henderson e Pabis para o mamão e a maçã.

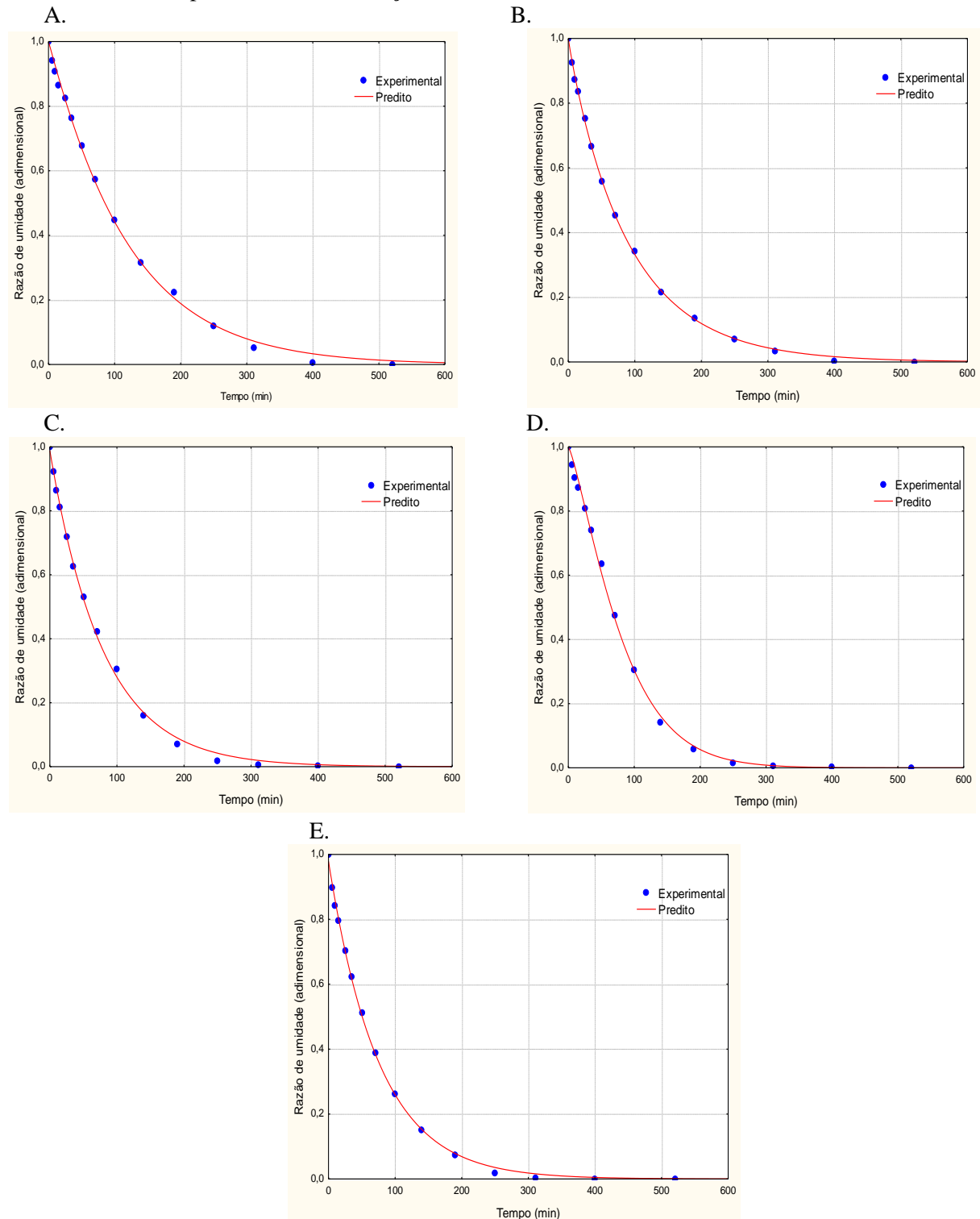


Figura 1 - Curvas de cinética de secagem da goiaba (A), manga (B) e melão (D) preditas pelo modelo de Page, mamão (C) e maçã (E) preditas pelo modelo de Henderson e Pabis, na temperatura de 65°C.

A análise dos resultados contidos na Tabela 2 possibilita afirmar que a difusividade efetiva que representa o fluxo de água ao sair do produto durante a secagem, apresentou um rápido fluxo de água, sendo maior para a goiaba, sugerindo que as moléculas de água nas demais frutas sofrem maior resistência ao sair do corpo devido a sua composição e estrutura física, fazendo com que a água seja mais ligada às moléculas que constituem a massa seca. Silva et al., (2017) ao avaliar a difusividade da goiaba surubim e a banana prata secas na temperatura de 60°C verificaram valores de  $6,48 \times 10^{-10}$  e  $7,4 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s para a goiaba e a banana, respectivamente. Resultados semelhantes também foram reportados por Rodríguez et al. (2014), com valor de  $4,57 \times 10^{-10}$  para a secagem de maçã na temperatura de 50°.

Tabela 2 - Resultado das secagens utilizando o modelo de difusão líquida.

	Difusividade ef. (m <sup>2</sup> /s)
Goiaba	$1,90 \times 10^{-9}$
Manga	$1,88 \times 10^{-10}$
Mamão	$2,20 \times 10^{-10}$
Melão	$1,91 \times 10^{-10}$
Maçã	$2,35 \times 10^{-10}$

## CONCLUSÃO

Todos os modelos matemáticos avaliados apresentaram bom ajuste às curvas de secagem para as cinco frutas estudadas. Dentre os modelos analisados, o de Page apresentou os melhores parâmetros de ajuste para as amostras de goiaba, manga e melão e o modelo de Henderson e Pabis revelou os melhores parâmetros de ajuste para as amostras de mamão e maçã. A difusividade efetiva mostrou um rápido fluxo de água para a temperatura de 65 °C.

## REFERÊNCIAS

- Alves, T. P.; Nicoletti, J. F. Influência das variáveis de processo sobre a secagem osmoconvectiva de pimentão verde. Revista brasileira de Tecnologia Agroindustrial, Ponta Grossa, v. 10, n. 1, p. 2022-2037, jan./jun. 2016. BRASIL. Ministério da saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Brasília: Ministério da saúde, 2005. 1017 p.
- Calín-Sánchez, Á.; Kharaghani, A.; Lech, K.; Figiel, A.; Carbonell-Barrachina, Á. A.; Tsotsas, E. Drying kinetics and microstructural and sensory properties of black chokeberry (aroniamelanocarpa) as affected by drying method, Food Bioprocess Technol, v. 8, n. 1, p.63–74, 2015.
- Corrêa, P. C. et al. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* l.) em camadas delgadas. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007.
- Goneli, A. L. D.; Corrêa, P. C.; Magalhães, F. E. DE A.; Baptestini, F. M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 33, p.1-8, 2011.
- Luikov, A. V. Analytical heat diffusion theory, New York, Academic Press, Book, 1968.
- Marques, L. G. O. Liofilização de frutas tropicais. 2008, 255 p. (Tese Doutorado). Doutorado em Engenharia de química, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos.
- Rodríguez, Ó.; Santa Catalina, J. V.; Simal, S.; Garcia-Perez, J. V.; Femenia, A.; Rosselló, C. Influence of power ultrasound application on drying kinetics of apple and its antioxidant and microstructural properties, Journal of Food Engineering, v.129, n. 3, p. 21-29, 2014.
- Silva, R. C.; Pereira, J. C. A.; Feitosa, R. M.; Feitosa, B. F.; Oliveira, E. N. A. Cinética de secagem e caracterização da banana prata e goiaba surubim orgânicas. In: Anais do Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido – CONIDS, Campina Grande, Paraíba, Brasil, Novembro, 2017.