



CINÉTICA DE SECAGEM DE SEMENTE DE PITANGA ROXA (*EUGENIA UNIFLORA L.*)

Kinetic for Drying Purple Pitanga Seed (Eugenia Uniflora L.)

Arianne D. VIANA, Kelly Jane P. SILVA, LEANDRO F. FERNANDES, Catherine T. CARVALHO, Isabelle L. BRITO

RESUMO: A pitanga é um fruto interessante quanto ao seu potencial nutricional e aspectos sensoriais. Sua polpa é utilizada para formulação de polpas, geleias, sorvetes, bem como sua coloração atraente, gerando a semente como subproduto. Porém, estas sementes têm sido apontadas como fonte interessante de compostos nutricionais e passíveis de utilização na formulação de produtos. Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi ajustar modelos matemáticos para obtenção da semente de pitanga roxa seca para possível utilização na formulação de produtos alimentícios. Dos modelos matemáticos utilizados, sete apresentaram bons ajustes (Newton, Page, Page M_2 , Henderson e Pabis, Two term exponential, Wang & Sing, Henderson & Pabis Modificado) com R^2 superiores a 97%, sendo o modelo Wang & Singh apresentando melhor ajuste aos resultados experimentais ($R^2=99,81\%$) e de grande relevância para avaliar a influência das variáveis no processo. Este dado pôde também ser identificado quando se associou o teor de umidade ao tempo de secagem, obtendo-se valores estimados próximos aos dados experimentais de secagem da semente de pitanga roxa.

Palavras-chave: Modelo matemático, secagem, secador convectivo, razão de umidade.

ABSTRACT: Pitanga is an interesting fruit in terms of its nutritional potential and sensory aspects. Its pulp is used for the formulation of pulps, jellies, ice cream, as well as its attractive coloring, generating the seed as a by-product. However, these seeds have been identified as an interesting source of nutritional compounds that can be used in product formulation. Given the above, the objective of the present study was to adjust mathematical models to obtain dried pitanga seed for possible use in the formulation of food products. Of the mathematical models used, seven were adjusted (Newton, Page, Page M_2 , Henderson and Pabis, Two term exponential, Wang & Sing, Henderson & Pabis Modified) with R^2 above 97%, with the Wang & Singh model presenting better adjustment to experimental results ($R^2 = 99.81\%$) and of great relevance to assess the influence of variables in the process. This data could also be identified when the moisture content was associated with the drying time, obtaining estimated values close to the experimental drying data of the purple pitanga seed.

Key words: Mathematical model, drying, convective dryer, humidity ratio.

INTRODUÇÃO

As sementes de pitanga são consideradas fontes de fibras insolúveis, ácidos graxos insaturados, minerais, compostos bioativos e boa capacidade antioxidante, sendo considerada uma alternativa interessante para aplicação industrial na forma de farinha (LUZIA et al., 2010; BAGUETTI et al., 2009). A sua composição centesimal não sofre muita influência da diferença de coloração (roxa, vermelha e laranja), o teor de umidade da semente *in natura* situa-se em torno de 57%, cinzas 0,7%, proteínas 3,5%, lipídeos 0,6%, carboidratos totais 37,4%, fibras totais 23,7% e fibras insolúveis 20,46% (BAGUETTI et al., 2009). Já a semente seca apresenta teor de umidade 12,2%, cinzas 1,16%, proteínas 7,5%, lipídeos 2,16 e carboidratos totais 77% (PEREIRA et al., 2020).

As sementes de pitanga são responsáveis por 31% do peso total da fruta, são consideradas resíduos do processamento da polpa em suco ou congelada e a sua secagem pode apresentar uma boa alternativa para aplicação industrial na forma de farinha (SANTOS et al., 2011).

As farinhas podem ser obtidas através da moagem de sementes submetidas ao processo de secagem adequado, podendo ser utilizadas como alternativa atraente para substituição à farinha de trigo ou para compor farinhas mistas na elaboração de produtos de panificação (biscoitos e pães) e massas alimentícias (SILVEIRA et al., 2016). Nesse contexto, o processo de secagem, além de proporcionar redução da atividade de água, do peso e volume, também limita a taxa de deterioração e favorece a textura para a operação de moagem.

No entanto, para obtenção da farinha, com a menor demanda de energia possível, é necessário estudar as características do produto e as condições de secagem. Dessa forma, a modelagem matemática é de grande relevância para avaliar a influência das condições de secagem, como tempo, temperatura e tipo de equipamento utilizado (PERUSSELLO et al., 2012).

Diante desta perspectiva, este trabalho objetivou ajustar modelos matemáticos para obtenção da farinha de semente de pitanga roxa, passível de aplicação na formulação de produtos alimentícios.

MATERIAL E MÉTODOS

As sementes de pitangas utilizadas foram da coloração roxa, adquiridas na região rural do município de Bananeiras, Paraíba. Os frutos foram coletados e encaminhados ao laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos Frutohortícolas – Campus III, UFPB, onde foram devidamente higienizados em solução de 150 ppm de hipoclorito. Após secos com papel toalha, os frutos foram despulpados para a obtenção das sementes a serem submetidas ao processo de secagem.

Para o processo de secagem as sementes foram distribuídas em camadas uniformes nas quantidades de 75,2g ($\pm 0,12$) em bandejas vazadas, previamente pesadas e levadas para o secador convectivo com a temperatura de secagem ajustada para 60°C. O acompanhamento da redução do teor de água com o decorrer da secagem foi realizado pelo método gravimétrico, a fim de se determinar o momento final da secagem. Anotou-se o tempo inicial do processo, e retirou-se as bandejas com as amostras para pesar em intervalos de 15

min durante as 2 primeiras horas de secagem, 30 min entre a segunda e terceira hora, após esse tempo pesou-se a cada 1 hora até a verificação de três pesagens constantes.

Para a modelagem matemática, determinou-se a razão do conteúdo de umidade da semente de pitanga roxa usando a equação 1:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: RX – Razão do conteúdo de umidade do produto, adimensional; X – Conteúdo de umidade do produto em certo instante de tempo; X_i – conteúdo de umidade inicial do produto; X_e – conteúdo de umidade do produto de equilíbrio.

Para prever a secagem da semente de pitanga, utilizou-se os seguintes modelos matemáticos apresentados nas Eq. 02 a 14 (Tabela 01).

Tabela 01 – Equações dos modelos matemáticos.

Modelos	Equações	
Newton	$RX = \exp(-K \cdot t)$	(Eq. 02)
Page	$RX = \exp(-K \cdot t^n)$	(Eq. 03)
Modific Page 1	$RX = \exp(-K \cdot t^n)$	(Eq. 04)
Modific Page 2	$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	(Eq. 05)
Henderson & Pabis	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	(Eq. 06)
Logarithmic	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	(Eq. 07)
Two term	$RX = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(k_1 \cdot t)$	(Eq. 08)
Two term exponential	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-k \cdot a \cdot t)$	(Eq. 09)
Wang & Singh	$RX = 1 + (a \cdot t) + (b \cdot t^2)$	(Eq. 10)
Aproximation of diffusion	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$	(Eq. 11)
Verma	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	(Eq. 12)
Modif. Henderson & Pabis	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + c \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	(Eq. 13)
Midilli	$RX = a \cdot \exp(k \cdot t^n) + b \cdot t$	(Eq. 14)

Onde: t – tempo de secagem; k, k_0 , k_1 – constantes de secagem; e a, b, c, n – coeficientes dos modelos.

Os modelos matemáticos foram ajustados usando análise de regressão não linear pelo método de Gauss-Newton no Programa Statistica® 7.0. O grau de ajuste dos modelos aos dados experimentais foi avaliado com base na magnitude do coeficiente de determinação ajustado (R^2) e erro relativo médio (P) (MOSCON et al., 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

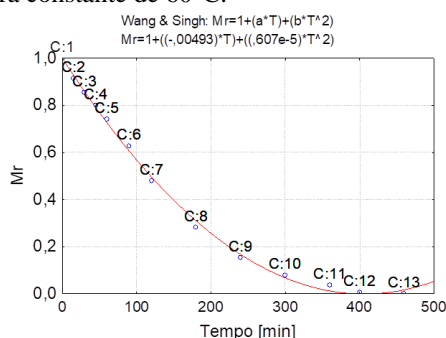
Tabela 02 – Constantes (k , k_0 e k_1), coeficientes dos modelos (a , b , c e n), coeficiente de determinação (R^2) erro médio relativo (P).

Modelos	K	a	b	k_0	c	n	k_1	R^2	P
Newton	0,007	-	-	-	-	-	-	98,146	0,050
Page	0,002	-	-	-	-	1,289	-	99,747	0,018
Page M_2	0,007	-	-	-	-	1,303	-	99,769	0,018
Henderson e Pabis	0,007	1,054	-	-	-	-	-	98,586	0,044
Two term exponetial	3,156	0,002	-	-	-	-	-	98,111	0,050
Wang & Sing	-	-0,005	0,000	-	-	-	-	99,811	0,016
Herdenson & Pabis Modificado	0,007	0,351	0,351	0,007	0,351	-	0,007	98,586	0,044

Os coeficientes de determinação dos sete modelos apresentados na Tabela 02 foram maiores que 0,98 para a temperatura de secagem utilizada, o que indica um ajuste satisfatório dos modelos matemáticos aos dados experimentais (CHAYJAN; SHADIDI, 2014). Além do coeficiente de determinação, os valores do erro médio relativo menores do que 0,1 também foram adequados para a descrição do processo de secagem da semente de pitanga roxa, ou seja, quanto mais baixos os valores P, melhor o ajuste do modelo aos dados observados (MOHAPATRA E RAO, 2005). Com base nisso, o modelo Wang & Singh (Eq. 10) apresentou melhor ajuste aos resultados experimentais, pois apresentou maior coeficiente de determinação ($R^2=99,81\%$) e menor valor para P (0,016).

Ao avaliar-se a relação do teor de umidade quanto ao tempo de secagem pelo modelo de Wang & Singh (Figura 1), observou-se que as linhas dos valores estimados estiveram próximas aos dados experimentais de secagem da semente de pitanga roxa, mostrando-se junto com os outros parâmetros avaliados, que o ajuste foi satisfatório.

Figura 1. Valores estimados pelo modelo de Wang & Singh, como função do tempo de secagem (min) para a temperatura constante de 60°C.



O teor de umidade encontrado para a semente in natura foi de 62% e a umidade final foi de 11,4% e o tempo de

secagem necessário para atingir esse teor de umidade foi de 400 min em torno de 6,3 horas.

As taxas do teor de umidade das farinhas para a temperatura de 60°C e tempos de secagem foram ajustados para os modelos matemáticos que apresentaram os melhores parâmetros estatísticos, definindo-se qual deles adequadamente descreveu o processo de secagem. Os coeficientes dos modelos matemáticos ajustados aos dados observados na modelagem das curvas de secagem em camada das sementes de pitanga roxa para os modelos de Newton, Page, Page M_2 , Henderson e Pabis, Two term exponential, Wang & Sing, Henderson & Pabis Modificado são apresentados na Tabela 02.

secagem necessário para atingir esse teor de umidade foi de 400 min em torno de 6,3 horas.

CONCLUSÕES

Os modelos de Newton, Page, Page M_2 , Henderson e Pabis, Two term exponential, Wang & Sing, Henderson & Pabis Modificado apresentaram os melhores coeficientes estatísticos para descrever as curvas de secagem das sementes de pitanga roxa, na temperatura estudada e dentre os modelos testados.

O modelo de Wang & Sing, por apresentar os melhores parâmetros estatísticos, foi recomendado para o processo de secagem das sementes de pitanga roxa.

REFERÊNCIAS

BAGETTI, M.; FACCO, E. M. P.; RODRIGUES, D. B.; VIZZOTTO, M.; EMANUELLI, T. Capacidade antioxidante e composição de sementes de pitanga. *Ciência Rural*, v.39, n.8, nov, 2009.

BORGES, K. C. Pitanga (*Eugenia uniflora*) desidratada por atomização e liofilização: Características físico-químicas, compostos bioativos e efeito sobre longevidade, estresse oxidativo e neurotoxicidade induzida em modelos in vivo *Caenorhabditis elegans*. Orientadora: Roberta Targino Pinto Correia. 233 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campinas, 2015.

CHAYJAN, R.A.; SHADIDI, B. Modeling high-moisture faba bean drying in fixed and semi-fluidized bed condition. *Journal of Food Processing and Preservation*, v.38, p.200-211, 2014.

- MOHAPATRA, D.; RAO, P.S.: A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, v.66, p.513-518, 2005.
- MOSCON, E. S.; MARTIN, S.; SPEHAR, C. R.; DEVILLA, I. A.; JUNIOR, F. R. Cinética de secagem de grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa* W.). *Revista Engenharia na Agricultura*, v.25, n. 04, p. 317-324, 2017.
- SOUTO, M. M. Caracterização de compostos bioativos de três variedades de Pitanga (*Eugenia Uniflora* L.). Orientadora: Neuza Mariko Aymoto Hassimotto. 103 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- PEREIRA, D. M.; de OLIVEIRA, K. Á. R.; CHANTELE, L.; SANT'ANA, A. M. S.; GUEDES, J. P. S.; de CARVALHO, C. T.; AZERÊDO, G. A.; BRITO, I. L. Caracterização da composição nutricional e do teor de pigmentos de pitanga (*Eugenia uniflora* L.) nas variedades vermelha e roxa. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 8, p. 58026-58038, 2020.
- KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. *Journal of Food Engineering*, v.78, p.98-108, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.007>
- PERUSSELLO, C. A.; MARIANI, V. C.; AMARANTE, A. C. C. D. Numerical and experimental analysis of the heat and mass transfer during okara drying. *Applied Thermal Engineering*, v.48, p.325-331, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.04.025>
- SANTOS, D. N.; SOUSA, L. L.; OLIVEIRA, A. L.; FERREIRA, N. J. Terpenos na composição volátil dos extratos supercríticos de semente de Pitanga (*Eugenia uniflora* L.). In: Congresso Iberoamericano de Ingenieria de Alimentos, 8, 2011, Lima. Anais...Lima: CIBIA, 2011, p. 1-5.