

ESTUDO DA MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA DE SECAGEM DA CASCA DO MARACUJÁ (*Passiflora edulis*)

AMANDA PRISCILA SILVA NASCIMENTO^{1*}; ANASTÁCIA MARIA MIKAELLA CAMPOS NOBREGA ANDRÉ²; RAPHAEL LUCAS JACINTO ALMEIDA³; NEWTON CARLOS SANTOS⁴; RENATA DUARTE ALMEIDA⁵.

¹Mestranda em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, amandapriscil@yahoo.com.br;

²Doutoranda em Engenharia de Processos, UFCG, Campina Grande-PB, anastaciamiakella@gmail.com;

³Mestrando em Engenharia Química, UFCG, Campina Grande-PB, raphaelqindustrial@gmail.com;

⁴Mestrando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, newtonquimicoindustrial@gmail.com;

⁵Dr^a em Engenharia de Processos, Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos, UFCG, Campina Grande-PB, renatadual@yahoo.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 maracujá é um fruto com grande quantidade de casca, composta pelo flavedo e albedo, visto que 60% do peso total do fruto são considerados resíduos, cada vez mais aumenta a preocupação com a minimização dos resíduos agroindustriais, reduzindo assim o desperdício. Os resíduos do beneficiamento do maracujá é um resíduo de alto potencial, pois pode agregar valor em diversos produtos em virtude do grande valor nutricional. Desta maneira este trabalho objetivou estudar a modelagem matemática que descreve a cinética de secagem da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulis*), visando o reaproveitamento desde resíduo, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, utilizando os modelos matemáticos de Henderson & Pabis, Page e Lewis. Verificou-se que com o aumento da temperatura de secagem ocorreu uma diminuição no tempo, ainda foi observado que o melhor modelo foi o de Page, apresentando melhores valores para o coeficiente de determinação R², acima de 98% e menor desvio quadrático médio (DQM).

PALAVRAS-CHAVE: Henderson & Pabis, Page, Lewis, resíduos agroindustriais.

STUDY OF THE MATHEMATICAL MODELING OF THE DRYING KINETICS OF THE SHELL OF THE MARACUJÁ (*Passiflora edulis*)

ABSTRACT: Passion fruit is a fruit with a large amount of bark, composed of flavedo and albedo, since 60% of the total weight of the fruit is considered as residues, increasing the concern with the minimization of agroindustrial residues, reducing waste. Residues of passion fruit processing are high potential residues, since they can add value to several products because of their high nutritional value. In this way the objective of this work was to study the mathematical modeling that describes the drying kinetics of the yellow passion fruit (*Passiflora edulis*) bark, aiming at the reuse from residue, at temperatures of 50, 60 and 70 ° C, using mathematical models of Henderson & Pabis Page and Lewis. It was verified that with the increase of the drying temperature a decrease occurred in the time, it was still observed that the best model was Page, presenting better values for the coefficient of determination R², above 98% and lower mean square deviation (DQM).

KEYWORDS: Henderson & Pabis, Page, Lewis, agroindustrial waste.

INTRODUÇÃO

O maracujá é um fruto com grande quantidade de casca, composta pelo flavedo (parte com coloração amarela) e albedo (parte branca). O albedo apresenta, em sua composição, uma substância flavonoide conhecida como naringina que, segundo alguns autores, pode causar sabor amargo ao produto;

no entanto, este amargor pode ser removido com maceração em água, operação física que consiste em extrair certas substâncias hidrossolúveis de determinado produto (Silva et al., 2017).

Dados de produção demonstram que a indústria de processamento de maracujá gera aproximadamente 60 % do peso total do fruto na forma de resíduo, sendo composto pela casca (epicarpo e mesocarpo). O restante da fruta (40 %) equivale à parte comestível composta pela polpa e sementes. (Oliveira et al., 2015).

O maracujazeiro é cultivado em pequenas propriedades, a maioria com pomares de 3 a 5 hectares. Embora seja uma cultura de alto risco, devido à grande suscetibilidade a doenças, por utilizar insumos de alto valor aquisitivo e de ser necessário atender à exigência de qualidade dos mercados a que se destina, tem sido uma atividade bastante atrativa, pelo alto valor agregado da produção (Meletti, 2011).

O aproveitamento da casca do maracujá pode trazer benefícios, na alimentação humana ou animal, como fonte alimentar de bom valor nutricional mostra-se viável, reduzindo custos e, ao mesmo tempo, diminuindo os problemas de eliminação dos subprodutos do processamento. Como alternativa na minimização de resíduos, a casca do maracujá pode passar por um processo de secagem e ser utilizada para extração e obtenção de componentes de interesse e poderia até ser reaproveitada pelos próprios produtores rurais (Spoladore, 2014).

Dentro deste contexto, o objetivo desta pesquisa foi estudar a modelagem matemática da cinética de secagem da casca de maracujá, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C e aplicar os modelos matemáticos de Henderson & Pabis, Page e Lewis aos dados experimentais e desta forma avaliar o modelo que melhor descreve o comportamento dos dados experimentais.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Secagem, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Alimentos, da Universidade Federal de Campina Grande, PB.

Os maracujás foram adquiridos no mercado local, após seleção foram sanitizados para retirada da polpa e posterior retirada da casca. As amostras foram colocadas em bandejas de aço inoxidável, e uniformemente espalhadas, formando uma camada fina. Para iniciar o experimento, as bandejas foram colocadas em um secador com circulação de ar com velocidade de ar de 1,5 m/s, para a realização das cinéticas de secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, no início e no final das secagens foram determinadas as massas secas e calculados os teores de água de acordo com IAL (2008).

Através dos dados experimentais, foi possível calcular os valores da razão do teor de água (Equação 1). Com o cálculo da razão de teor de água das cascas de maracujá, traçaram-se as curvas da cinética de secagem, representada pela razão do teor de água em função do tempo de secagem em minutos, aplicando os modelos de Henderson & Pabis, Page e Lewis, para ajustar os dados experimentais.

$$RX = \frac{X_{bs} - X_e}{X_{bs}(\text{inicial}) - X_e} \quad (1)$$

Onde:

RX=Razão de umidade (Adimensional); X_e = Teor de água de equilíbrio em base seca; $X_{b,s}$ = Teor de água em base seca; $X_{b,s}(\text{inicial})$ = Teor de água inicial em base seca.

Tabela 1- Modelos matemáticos utilizados para descrever o processo de secagem.

Modelo	Equação
Henderson & Pabis	$RX = a \cdot \exp(-K \cdot t)$ (2)
Page	$RX = \exp(-k \cdot t^n)$ (3)
Lewis	$RX = \exp(-Kt)$ (4)

Para análise dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados experimentais foi utilizado o programa computacional STATISTICA, versão 7, utilizando-se a análise de regressão não-linear, pelo método Quasi-Newton. Os modelos foram selecionados tomando-se como parâmetro a magnitude do coeficiente de determinação (R^2) e do desvio quadrático médio (DQM) (Equação 5).

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (RX_{\text{exp}} - RX_{\text{pred}})^2}{N}} \quad (5)$$

em que:

RX_{exp} = Razão de teor de água obtida experimentalmente; RX_{pre} = Razão de teor de água predita pelo modelo matemático; N = número de observações ao longo da cinética de secagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 encontram-se os valores dos parâmetros dos modelos matemáticos, Henderson & Pabis, Page e Lewis, ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem das cascas de maracujá, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvio quadrático médio (DQM), para a temperatura de 50, 60 e 70°C.

Tabela 2 - Parâmetros dos modelos matemáticos de Page, Lewis e Henderson & Pabis e os coeficiente de determinação (R^2) e desvio quadrático médio (DQM) na secagem a 50, 60 e 70° C para as cascas de maracujá.

Modelo	T(°C)	a	k	n	R ²	DQM
Henderson & Pabis	50	0,889363	0,004744	-	98,812%	0,034482
	60	0,881350	0,006308	-	98,623%	0,036982
	70	0,859081	0,008100	-	97,686%	0,046754
Page	50	-	0,022542	0,736396	99,163%	0,028944
	60	-	0,031019	0,716496	99,237%	0,027534
	70	-	0,047672	0,669978	98,801%	0,032807
Lewis	50	-	0,005651	-	96,331%	0,059331
	60	-	0,007652	-	95,956%	0,063368
	70	-	0,010278	-	93,950%	0,068708

Observa-se na Tabela 2 que os modelos matemáticos de Henderson & Pabis e Page mostraram-se equivalentes quanto ao ajuste, visto que apresentaram valores elevados para o coeficiente de determinação, acima de 97,686%, já o modelo de Lewis foi o que menos se adequou aos dados experimentais, apresentando valores mais baixos para o coeficiente de determinação, valores estes acima de 93,950%. O modelo de Page apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais em todas as temperaturas estudadas. Spoladore et al., (2014) ao estudarem a modelagem matemática para a secagem de casca de maracujá, observaram que para o modelo de Page nas temperaturas estudadas (60, 70, 80 e 90 °C), o coeficiente de determinação ficou acima de 99% e para o modelo de Henderson & Pabis acima de 98%, valores estes semelhantes aos analisados nesta pesquisa.

A temperatura empregada no processo de secagem tem efeito importante sobre o parâmetro “k”, que representa a constante da taxa de secagem nos modelos matemáticos empregados, este que, aumenta com a elevação da temperatura, fato também observado por Santos et al., (2018) na cinética de secagem das sementes de maracujá.

O desvio quadrático médio (DQM) variou de 0,027534 a 0,068708, o modelo matemático que apresentou menor valor de DQM foi o de Page para a secagem de 70° C e o maior valor foi para o modelo de Lewis para a secagem de 70°C, valores estes já esperados, observando-se os valores do coeficiente de determinação analisados durante a modelagem matemática.

Alexandre (2013), em estudo sobre a cinética de secagem de cascas de abacaxi, verificou que os modelos utilizados, Henderson & Pabis, Page e Lewis, ajustaram satisfatoriamente os dados experimentais, mas o modelo de Page apresentou melhores valores para o coeficiente de determinação e para o DQM, em todas as temperaturas, o mesmo comportamento pode ser observado neste estudo.

Nas Figuras de 01 a 03, as curvas de secagem da casca de maracujá, submetida à secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, aplicadas aos modelos matemáticos de Henderson & Pabis, Page e Lewis, respectivamente.

Figura 1- Curvas de secagem dos dados experimentais da casca de maracujá, submetida à secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, pelo modelo matemático de Henderson & Pabis

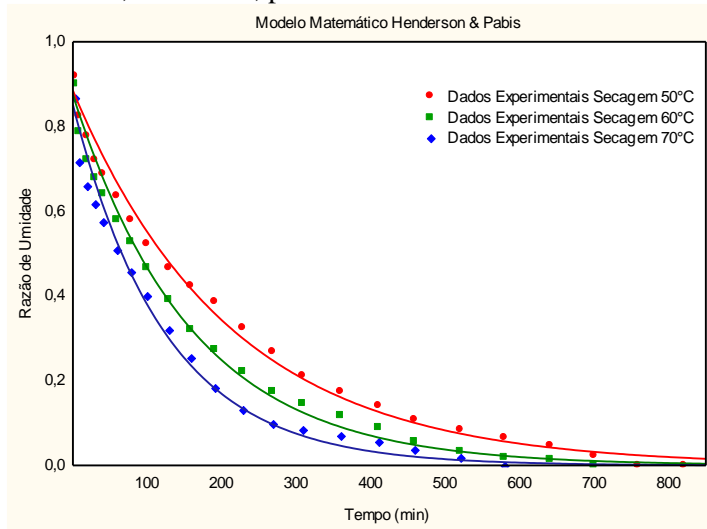


Figura 2 - Curvas de secagem dos dados experimentais da casca de maracujá, submetida à secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, pelo modelo matemático de Page.

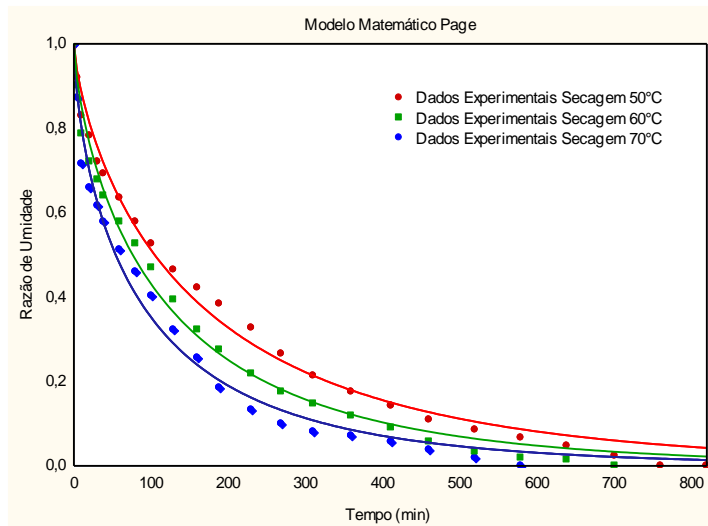
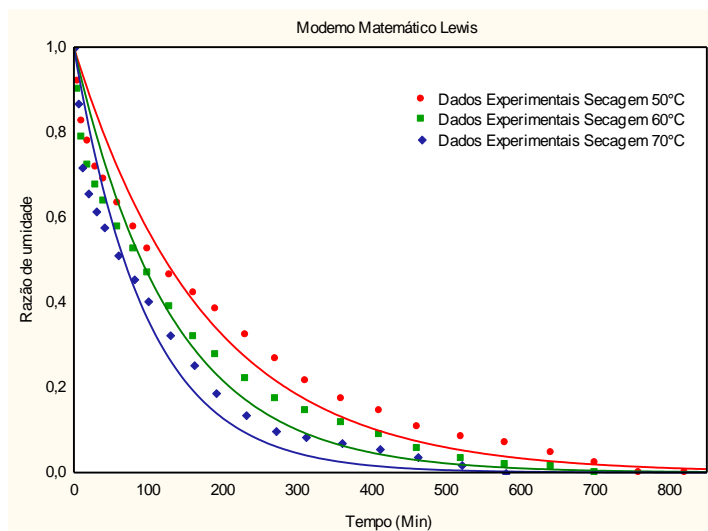


Figura 3 - Curvas de secagem dos dados experimentais da casca de maracujá, submetida à secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, pelo modelo matemático de Lewis.



Observando as figuras acima, percebe-se uma redução no tempo de secagem com o aumento da temperatura. De acordo com Celestino (2010) a capacidade que o ar tem para eliminar água de um produto, depende principalmente da umidade relativa e temperatura do ambiente. Esse fato explica que com o aumento da temperatura do ar de secagem ocorre uma maior taxa de remoção de água do produto, deste modo, existe maior gradiente de pressão de vapor de água entre o produto e o ar, consequentemente o tempo de secagem é reduzido (Queiroz et al., 2013).

CONCLUSÃO

Os modelos matemáticos de Henderson & Pabis e Page, se ajustaram bem aos dados experimentais das secagens, podendo ser utilizados na predição das cinéticas de secagem, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Já o modelo de Lewis foi o que menos se adequou aos dados experimentais. No entanto o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, apresentado o maior valor do coeficiente de determinação e o menor desvio quadrático médio. Analisando os gráficos é possível observar que com o aumento da temperatura ocorreu uma diminuição do tempo de secagem.

REFERÊNCIAS

- ADOLFO, LUTZ. Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos. Núcleo de Informação e Tecnologia - NIT /IAL, IV edição 1ª Edição Digital, São Paulo, 2008.
- Alexandre, H. V.; Silva, F. L.; Gomes, J. P.; Silva, O. S.; Carvalho, J. P.; Lima, E. E. Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande , v. 17, n. 6, p. 640-646, 2013 .
- Celestino, S. M. C. Princípios de Secagem de Alimentos. – Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 51, 2010.
- Meletti, L. M. M. Avanços na cultura do maracujá no Brasil. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal , v. 33, n. spe1, p. 83-91, 2011 .
- Oliveira, C. F.; Gurak, P. D.; Oliveira, F. C.; Marcza, L. D. F. Avaliação das propriedades físico-químicas e tecnológicas da farinha da casca do maracujá amarelo. In: SIMPÓSIO DE SEGURANÇA ALIMENTAR: Alimentação e Saúde. 5., 2015, Bento Gonçalves. Anais... Bento Gonçalves: SBCTA, 2015.
- Queiroz, A. J. M.; Figueiredo, R. M. F.; Diógenes, A. M. G. Secagem de farinha de sementes residuais de abóbora. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil. VII Congresso Ibérico de Agroingeniería Y Ciencias Hortícolas, Madrid, 2013.
- Santos, H. H.; Rodovalho, R. S.; Silva, D. P.; Morgado, V. N. M. Drying kinetics of passion fruit seeds. Científica, Jaboticabal, v.46, n.1, p.49-56, 2018.
- Silva, E. C. O. da. Influência do flavedo e da maceração nas características físico-químicas da farinha da casca de maracujá. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2017.
- Spoladore, S. F. Modelagem matemática da secagem de casca de maracujá e influência da temperatura na cor, compostos fenólicos e atividade antioxidante. 2014. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia de Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campo Mourão/PR, 2014.