

Avaliação de modelos empíricos de cinética de secagem da amêndoa da fruta do conde (*Annona squamosa* L.)

*Evaluation of empirical models for drying kinetics of cout fruit (*Annona squamosa* L.) almond.*

Paulo Cléber Mendonça Teixeira¹, Rui Guilherme Sousa dos Santos², Nayra Ponte Madalena³, Carla Francisca de Sousa Vieira⁴, Abraham Damimian Giraldo⁵.

RESUMO

A utilização dos modelos matemáticos seguros facilita calcular o procedimento dos vários fenômenos que ocorrem através da técnica de secagem. Contudo há diminuição de despesa operacional. Este estudo apresentou como objetivo determinar a cinética de secagem da amêndoa da fruta do conde (*Annona squamosa* L.), bem como ajustar diferentes modelos matemáticos em função do teor de água. As amêndoas da fruta do conde foram submetidas à secagem sob as temperaturas de 50, 60 e 70 °C em um secador experimental até o teor de água de 0,14 (ds). Os dados experimentais foram ajustados aplicando cinco modelos matemáticos. Pode-se concluir que a secagem convectiva da amêndoa da fruta do conde apresentou quanto maior a temperatura, menor o tempo de secagem. O modelo Midilli foi o que expressou melhor ajuste, usando fatores estatísticos de verificação: maiores coeficientes de determinação, menores erros médios.

Palavras-chave: Curvas. Midilli. Teor de água.

ABSTRACT

The use of safe mathematical models makes it easy to calculate the process of many phenomena that occur through the drying technique. However, there is a decrease in operational expense. Thus, this study aimed to determine the drying kinetic cout fruit (*Annona squamosa* L.) almonds as well as to adjust different mathematical models as a function of water content. Custard apple almonds were subjected to drying under temperatures of 50, 60 and 70°C in an experimental drier until reaching 0.14 (ds) of water content. The experimental data were adjusted using five mathematical models. It could be concluded that in the convective drying of custard apple almond, the higher the temperature, the shorter the drying time. The Midilli model showed the best adjustment, using verification statistical factors: higher coefficients of determination, lower mean errors, and estimated errors.

Keywords: Curves. Midilli. Water content.

¹ Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia. Prof. da Universidade Federal do Tocantins. Do Curso de Engenharia de Alimentos.

E-mail: clebermt@uft.edu.br

² Graduando em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins.

³ Graduando em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins.

⁴ Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos. Técnica em Laboratório no LAPSDEA/UFT. Do Curso de Engenharia de Alimentos.

⁵ Doutor em Ciências e Tecnologia de Alimentos. Prof. da Universidade Federal do Tocantins. Curso Engenharia de Alimentos.

1. INTRODUÇÃO

A fruta do conde (*Annona squamosa L.*) é oriunda da América Central, popularmente conhecida como pinha ou ata. Pertencente à família das anonáceas com mais de 120 gêneros, o gênero *Annona* é o mais importante, principalmente pelo interesse comercial. As anonáceas foram integradas no Brasil em 1926, a produção de pinha se iniciou na Bahia e atualmente se destaca em vários outros estados da região como Alagoas, Ceará, Paraíba, Pernambuco, e em São Paulo. Desenvolver normalmente em clima tropical, entretanto existem algumas espécies de clima subtropical (MORAIS et al. 2009).

De acordo com Filgueiras et al (2000), apesar da falta de dados é visível o consumo crescente da fruta do conde no comércio externo e interno. Esse aumento na procura estimulou os empresários e fruticultores na produção de frutos de qualidade.

A secagem da amêndoa permite a redução de teores de água à níveis adequados para armazenamento, preservando a qualidade físico-química das amêndoas. Há diversas formas de realizar o processo de secagem, entretanto este deve ser realizado com cuidado, uma vez que altas temperaturas danificam a amêndoa (DE MENEZES, et al., 2012).

Na cinética e na modelagem matemática da secagem as variáveis mais relevantes nesse método são a temperatura e a velocidade do ar de secagem.

Conforme Midilli et al. (2002), os modelos matemáticos são empregados com a finalidade de aferir o tempo de secagem das amêndoas das frutas do conde para adquirir as curvas de secagem que são o resultado.

Na literatura, são apresentados vários modelos que detalham a técnica da secagem. Classificam-se os modelos em: teóricos, semi-empíricos e empíricos. a distinção está na circunstância que os modelos teóricos prever as situações externas e internas sobre os quais o mecanismo ocorre. Já os métodos empíricos de secagem empregam como apoio os dados experimentais e análise adimensional, apresentando através do assunto médio de umidade e o tempo de secagem. Durante que os métodos semi-empíricos são a harmonia entre os citados anteriormente, no meio dos tipos semi-teóricos podemos apontar: Newton, Henderson & Pabis, Page, entre outro.

Assim, o artigo teve como objetivo descrever as curvas de secagem de amêndoa da fruta do conde e calcular a cinética usando a literatura exposta com auxílio dos modelos matemáticos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizamos o Laboratório de Processos de Separação de Biomoléculas e Desidratação de Alimentos - LAPSDEA, durante o período de agosto a novembro de 2017, para fazer a análise.

As frutas do conde (*Annona Squamosa* L.) foram adquiridas em diferentes árvores no município de Paraíso do Tocantins- TO, a altitude média é de 220 m. As médias das temperaturas anuais máximas e mínimas onde foram conduzidos os experimentos são, respectivamente, de 33,4 °C e 21,7 °C.

Colhidas manualmente, as frutas foram armazenadas em sacos plásticos à temperatura ambiente e conduzidas para o laboratório. Após a sanitização, em água corrente, e usando uma peneira, manualmente foi feito o despulpamento da fruta. As sementes foram secas com papel toalha superficialmente e armazenadas -4 °C até o momento das análises.

Para o experimento, as amostras foram retiradas aleatoriamente da refrigeração e mantidas à temperatura ambiente. A Figura 1 ilustra as amêndoas da fruta do conde (*Annona Squamosa* L.) *in natura*.



Figura 1. Amêndoa da Fruta do Conde. Fonte: Os Autores.

A secagem foi realizada conforme a metodologia do Instituto Adolf Lutz (2008), com uma velocidade à 1,5 m.s⁻¹, em secador de bandejas, onde a amostras de aproximadamente 6 g foram colocadas em placas, distribuídas de forma homogênea. As secagens foram conduzidas com três repetições. O mesmo procedimento foi realizado para as temperaturas de 50, 60 e 70°C.

Houve Perda da água ao longo do processo, em intervalo foi calculada sua pesagem das amostras. A estrutura de pesagem foi feita no espaço de 5, 10, 15 e 25 minutos com cinco repetições cada, até volume fixo.

Para a determinação da cinética de secagem, os dados foram expressos em função da razão linear de umidade adimensional (U_a), através da Equação 1 (WIKTOR et al, 2013). Os dados foram expressos nos modelos.

$$U_a = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (01)$$

Onde:

U_a = razão de umidade (adimensional) no tempo;

X_t = teor de água, base seca (% b.s.);

X_e = teor de água de equilíbrio (% b.s.);

X_0 = teor de água inicial, (% b.s.).

A análise de Regressão foi realizada usando o software Statistica 7.0. Para representar os dados que melhor apurar o modelo, utilizou-se o Coeficiente de Determinação (R^2), o Erro Relativo (P), segundo a Equação 2 e do Erro Médio Estimado (SE), descrito na Equação 3:

$$P = \frac{100}{N} \sum \frac{|Y - \bar{Y}|}{Y} \quad (02)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \bar{Y})^2}{GLR}} \quad (03)$$

Onde:

Y = valor observado pelo modelo experimental;

\bar{Y} = valor estimado pelo modelo ajustado;

N = número de observações experimentais;

GLR = grau de liberdade (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

Na Tabela 1, encontram-se os modelos e suas respectivas equações.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados na cinética de secagem.

Modelos	Equações	
Newton	$U_a = \exp(-k.t)$	4
Page	$U_a = \exp(-kt^n)$	5
Handerson & Pabis	$U_a = a. \exp(-k.t)$	6
Logarítmico	$U_a = a. \exp(-k.t) + b$	7
Midilli	$U_a = a. \exp(-k.t) + b.t$	8

Em que: U_a razão de umidade (adimensional) no tempo; a, b, k, n parâmetros dos modelos, t tempo de secagem, min.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores utilizados para as curvas de secagem para umidade inicial das amêndoas da fruta do conde foi de 5,04 b.s.

Na Figura 2 são exibidos os valores experimentais da secagem da amêndoa da fruta do conde para as temperaturas pesquisadas.

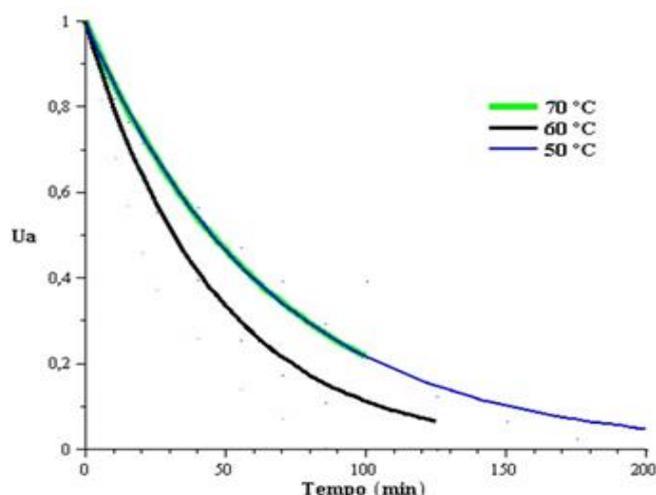


Figura 2. Curvas Experimentais de secagem da amêndoa do conde (*Annona Squamosa* L.) para temperatura 60, 60 e 70 °C. Fonte: Autores.

Para amêndoa da fruta do conde atingir um teor de água em torno de 0,14 (bs), foram necessários 200, 125 e 100 minutos de secagem temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente, o aumento da temperatura do ar da secagem resultou em uma máxima taxa de retirada de água do produto (Figura 2), concordando com vários pesquisadores para diversos produtos agrícolas, tais como o baru (TEIXEIRA & ZUNICA, 2016); Kiwi (MAHJOORIAN et al, 2017; CHIN et al, 2015); a carambola (SILVA et al, 2016) e a Actinidia Arguta (BIALIK ET AL, 2017).

Nota-se também que a secagem da amêndoa da fruta do conde, aconteceu no intervalo de taxa de secagem decrescente, mostrando que acontece maior resistência a transferência de calor e massa de dentro do produto na direção da superfície e, dessa forma, a difusão é o fundamental mecanismo que possui fluxo de água. Essas consequências estão de consonância com os trabalhos feitos sobre secagem de vários produtos.

Os parâmetros dos modelos matemático das curvas de secagem da amêndoa da fruta do conde nas temperaturas 50, 60 e 70 °C encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados da curva de secagem da amêndoa da fruta.

Modelos	T °C	Coeficientes			
		k			
Newton	50	0,015291			
	60	0,024232			
	70	0,037645			
		k	n		
Page	50	0,015789	0,99236		
	60	0,016200	1,109894		
	70	0,039638	0,984054		
		k	a		
Henderson & Pabis	50	0,014801	0,976479		
	60	0,024999	1,023223		
	70	0,037334	0,993777		
		k	a	b	
Logarítmico	50	0,011488	1,069215	-0,114752	
	60	0,02533	1,090624	-0,08788	
	70	0,047616	1,071255	-0,066614	
		k	n	a	b
Medilli	50	0,021851	0,864655	0,984123	-0,000692
	60	0,022258	0,004816	0,987637	-0,000595
	70	0,048912	0,901541	1,004287	-0,000515

Na Tabela 3, os valores são mostrados dos coeficientes de determinação, erros médios, relativos e erros estimados, para os modelos estudados para ajuste da secagem da amêndoa da fruta conde nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Tabela 3. Coeficientes de determinação (R^2), erro médio relativo (P,%) e estimado (SE,%) para os modelos matemáticos analisados, nas temperaturas 50, 60, 70 °C.

Modelos	T °C	P%	SE%	R ²
Newton	50	18,04	3,46	99,01
	60	13,47	2,75	99,50
	70	9,43	1,80	99,64
Page	50	18,55	3,45	99,02
	60	8,16	1,77	99,66
	70	9,32	1,71	99,65
Handerson & Pabis	50	19,52	3,26	99,12
	60	11,79	2,51	99,64
	70	8,44	2,49	99,66
Logarítmico	50	4,23	2,2	99,67
	60	4,48	2,1	99,68
	70	3,62	1,6	99,82
Midelli	50	5,43	1,9	99,75
	60	4,61	1,8	99,76
	70	4,55	1,7	99,81

Fonte: Autores 2019.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que a umidade deprecia constantemente com o tempo de secagem e com o acréscimo da temperatura do ar da secagem. Com os resultados obtidos pode-se concluir que o modelo de Midilli, foi o que melhor expressou os melhores ajustes para caracterizar a cinética de secagem da amêndoa da fruta do conde, por apresentar na temperatura 70 °C o maior coeficiente de determinação, menores erros médios e estimados.

REFERÊNCIAS

- BIALIK, M.; GONDEK, E.; WIKTOR, A.; LATOCHA, P.; RAJCHERT, D. Mathematical Modeling of *Actinidia arguta* (Kiwiberry) Drying Kinetics. **Agricultura Engineering**, v. 21 n. 4, p. 5-3, 2017.
- CHIN, S. K.; SIEW, E. S.; SOON, W. L. Drying Characteristics and Quality Evaluation of Kiwi Slices Under Hot air Natural. **International Food Research Journal**, 22(6), p. 2188-

2195, 2015.

DE MENEZES, N. L.; PASQLLI, L. L.; BARBIERI, A. P. P.; VIDAL, M. D.; CONCEIÇÃO, G. M. Temperaturas de Secagem na Integridade Física, Qualidade Fisiológica e Composição Química de Semente de Arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4. p.430-436, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632012000400011>.

FILGUEIRA, H. A. C.; MOURA, C. F. H.; ALVES, R. E. Caracterização de Frutas Nativas da América Latina. Jaboticabal: UNESP-SBF, 2000.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos. 4 ed. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz, São Paulo. V. 1. 1020p. 2008.

MAHJOORIAN, A.; MOKHTARIAN, M.; FAYYAR, N; RAHMATI, F. Modeling of Drying Kiwi Slices and its Sensory Evaluation. **Food Science & Nutrition**, v. 5, n. 3, p 466 - 473, 2017. <https://doi.org/10.1002/fsn3.414>.

MIDILLI, A.; KCUK, H.; YAPAR, Z. A. New Model for Single-lower Drying. **Drying Technology**, v. 20, n. 7, p 1503 - 1513, 2002. <https://doi.org/10.1081/DRT-120005864>.

MORAIS, O. M.; OLIVEIRA, R. H.; OLIVEIRA, S. L.; SANTOS, V. B.; SILVA, J. C. G. Armazenamento de Sementes de *Annona Squamosa* L. **Revista Biotemas**, Florianópolis, 22 (4), p. 33 - 44, 2009. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2009v22n4p33>.

SILVA, R. B.;. Estudo da Cinética de Secagem de Polpa de Carambola. **Revista Brasileira Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v. 10, n. 2, p. 2069 - 2080, 2016. Disponível em <<https://periodicos.utfpr.edu/rbta>>. Acesso em: 25 de jan. 2018 - 44, 2009.

WIKTOR, A.; IWANIUK, M.; SLEDZ, M.; NOWACKA, M.; CHUDOBA, T.; WITROWA-RAJCHERT, D. Drying Kinetics of Apple Tissue by Pulsed Electric Field. **Drying Technology**, 31, p. 112 - 119, 2013. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.724128>.

TEIXEIRA, P. C. M.; ZUNICA, A. D. G. Drying of Baru Almond (*Dipteryx alata* Vog) Used for the Production of Biodiesel. **African Journal of Biotechnology**. 15(41),, 31, p. 2325 - 2331, 2016. <https://doi.org/10.5897/AJB2016.15520>.