

Silva, VMA, Almeida, RLI, Santos, NC, Muniz, CES, Barros, ER, Moreira, FIN, Cabral, MB, Nascimento, ARB, & Souza, ES. (2020). Prediction of mathematical models on the drying kinetics of shelled walnuts (*Juglans regia* L.). *Research, Society and Development*, 9(7): 1-13, e522974390.

Predição de modelos matemáticos sobre a cinética de secagem de nozes (*Juglans regia* L.) sem casca

Prediction of mathematical models on the drying kinetics of shelled walnuts (*Juglans regia* L.)

Predicción de modelos matemáticos sobre la cinética de secado de nueces sin cáscara (*Juglans regia* L.)

Recebido: 10/05/2020 | Revisado: 15/05/2020 | Aceito: 15/05/2020 | Publicado: 24/05/2020

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6493-3203>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: virginia.mirtes2015@gmail.com

Raphael Lucas Jacinto Almeida

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7232-2373>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: raphaelqindustrial@gmail.com

Newton Carlos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9603-2503>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: newtonquimicoindustrial@gmail.com

Cecília Elisa de Sousa Muniz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7402-9354>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: ceciliamuniz.qi@gmail.com

Eliélson Rafael Barros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1809-7395>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: elielsnrafael@gmail.com

Flávia Izabely Nunes Moreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8863-5526>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: flavia_izabely@hotmail.com

Maysa Bernardino Cabral

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0859-4942>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: maysa_bernardino@hotmail.com

Aisla Rayanny Barbosa do Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9192-6500>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: aisla_rayanny10@hotmail.com

Ewellyn Silva Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3581-4250>

Universidade Estadual da Paraíba, Brasil

E-mail: ewellynessouza@gmail.com

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo realizar a cinética de secagem da noz sem casca, em diferentes temperaturas de ar de secagem e ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais da secagem, selecionando aquele que melhor descreve o fenômeno. A cinética de secagem foi realizada em um secador com circulação de ar com velocidade de ar de 1,5 m/s, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C. Aos dados experimentais foram ajustados dos modelos empíricos de Page, Handerson e Pabis, Newton, Logarítmico e Midili. O melhor modelos foi selecionado tomando-se como parâmetro a magnitude do coeficiente de determinação (R^2) e do desvio quadrático médio (DQM). Os modelos Page e Midili se destacaram dos demais por apresentaram os melhores valores de R^2 (>99%) e menos valores de DQM (<0,0306463) para as temperaturas de secagem estudadas. A cinética de secagem das nozes sem cascas mostrou que a temperatura foi a variável de maior influência no processo, e que a constante de secagem “k” aumentou com a sua elevação, e o tempo do processo diminuiu em função do seu aumento.

Palavras-chave: Conservação; Constante de secagem; Oleaginosa, Page.

Abstract

The present work aimed to perform the drying kinetics of shelled walnuts at different drying air temperatures and to adjust different mathematical models to experimental drying data, selecting the one that best describes the phenomenon. The drying kinetics were performed in a dryer with air circulation with an air speed of 1.5 m/s, at temperatures of 40, 50 and 60 °C. The experimental data were adjusted using the empirical models of Page, Handerson and Pabis, Newton, Logarithmic and Midili. The best model was selected taking as a parameter the magnitude of the coefficient of determination (R^2) and the mean square deviation (DQM). The Page and Midili models stood out from the others because they presented the best R^2 values ($> 99\%$) and the lowest DQM values (<0.0306463) for the studied drying temperatures. The drying kinetics of the nuts without shells showed that the temperature was the variable of greatest influence in the process, and that the drying constant "k" increased with its increase, and the time of the process decreased due to its increase.

Keywords: Conservation; Drying constant; Oilseed, Page.

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar la cinética de secado de nueces sin cáscara a diferentes temperaturas del aire de secado y ajustar diferentes modelos matemáticos a los datos de secado experimental, seleccionando el que mejor describa el fenómeno. La cinética de secado se realizó en un secador con circulación de aire con una velocidad del aire de 1,5 m/s, a temperaturas de 40, 50 y 60 °C. Los datos experimentales se ajustaron utilizando los modelos empíricos de Page, Handerson y Pabis, Newton, Logarithmic y Midili. El mejor modelo se seleccionó tomando como parámetro la magnitud del coeficiente de determinación (R^2) y la desviación cuadrática media (DQM). Los modelos Page y Midili se destacaron de los demás porque presentaron los mejores valores de R^2 ($> 99\%$) y los valores más bajos de DQM (<0.0306463) para las temperaturas de secado estudiadas. La cinética de secado de las nueces sin cáscara mostró que la temperatura fue la variable de mayor influencia en el proceso, y que la constante de secado "k" aumentó con su aumento, y el tiempo del proceso disminuyó debido a su aumento.

Palabras clave: Conservación; Secado constante; Semillas oleaginosas; Page.

1. Introdução

A espécie *Juglans regia* L., também denominada como noqueira Inglesa, persa ou comum, é o membro do género *Juglans* com maior importância a nível económico, sendo cultivada em regiões temperadas não só pela qualidade da madeira mas também pelos frutos que produz (Bayazit et al., 2007). Na atualidade, os frutos secos em geral, e a noz em particular, têm adquirido uma importância crescente nacional, dadas algumas características muito particulares da sua produção e consumo, em parte baseado na sua composição química e propriedades bioativas. Na noz a parte comestível é a semente e não o fruto propriamente dito. Em termos locais a % dos anos de produção mundial é em torno de milhões de toneladas, onde seu consumo aumentou 75% nos anos de 2015/2016, demonstrando o potencial de inovação desse alimento (FAOSTAT, 2016).

As nozes verdadeiras são frutas secas, espessas e muitas vezes contêm espinhos que recobrem sua semente. As mais conhecidas são: amêndoa, pecã, castanha-do-pará, castanha-de-caju, pistache, avelã, macadâmia, castanha e a noz, esta última apresenta contêm teores elevados de lipídeos (cerca de 40% a 60%) e de proteínas (8% a 20%), onde também são fontes de outros nutrientes e substâncias com propriedades benéficas à saúde, também denominados funcionais ou compostos biologicamente ativos (Judd et al., 2009; Venkatachalam & Sathe, 2006). A importância da ingestão de nozes para o controle da hiperlipidemia (triglicéridos e colesterol) e hipertensão é frequentemente descrita na bibliografia (Çağlırımak, 2003).

A produção e comercialização da noz é relativamente curta, de meados de Setembro até Janeiro. Após a colheita, a noz é lavada, seca, avaliada, selecionada e embalada para ser comercializada como noz em casca. Se o produto final for o miolo de noz, parte edível, procede-se ao seu descasque, seleção, embalagem e armazenamento em câmaras frigoríficas (M.A.D.R.P., 2007). O processo de secagem implica nas variações do produto observadas na textura, sabor, aroma, cor e redução da qualidade nutricional. Realização de estudos sobre processos e sistemas de secagem, por meio de modelagem matemática, permite o design, otimização e avaliação da aplicação do processo de secagem em escala comercial. É possível observar um produto final de melhor qualidade (Hernandez-Carrion et al., 2015) por meio dos parâmetros físico-químicos.

Assim, para minimizar as alterações e perdas dos produtos, e consequentemente obter um produto de melhor qualidade, é necessário a obtenção de um modelo que represente de maneira clara e satisfatória todos os dados requeridos experimentalmente. Nesse sentido, o

presente trabalho tem o objetivo de realizar a cinética de secagem da noz sem casca, em diferentes temperaturas de ar de secagem e ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais da secagem, selecionando aquele que melhor descreve o fenômeno.

2. Metodologia

Os noz (*Juglans regia* L.) foram adquiridas no comércio local da cidade de Campina Grande, Paraíba. Inicialmente foram retiradas as cascas das nozes e 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 40, 50 e 60 °C, no início e no final das secagens foram determinadas as massas secas e calculados os teores de água de acordo com Brasil (2008).

Utilizando os dados experimentais, foi calculado os valores da razão do teor de água (Equação 1).

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

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

Com o cálculo da razão de teor de água das nozes, traçaram-se as curvas da cinética de secagem, representada pela razão do teor de água em função do tempo de secagem em minutos, ajustando os modelos matemáticos de Page (Equação 2), Handerson e Pabis (Equação 3), Newton (Equação 4), Logarítmico (Equação 5) e Midili (Equação 6) aos dados experimentais.

$$RX = \exp(-kt^n) \quad (2)$$

$$RX = a.\exp(-kt) \quad (3)$$

$$RX = \exp(-kt) \quad (4)$$

$$RX = a.\exp(-kt) + c \quad (5)$$

$$RX = a.\exp(-kt^n) + bt \quad (6)$$

onde: RX é a razão de umidade (adimensional); k: constante de secagem; “a”, “n”, “c” e “b”: parâmetros dos modelos matemáticos.

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 7).

$$DQM = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(RX_{\text{exp}} - RX_{\text{pred}})^2}{N}} \quad (7)$$

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.

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1 se encontra expresso os valores dos parâmetros obtidos para os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem das nozes sem casca.

Tabela 1. Parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos utilizados na predição da cinética de secagem das nozes sem casca nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

Modelos	T (°C)	Parâmetros de ajustes			
		a	k	n	c/b
Page	40	-	0,039868	0,656032	-
	50	-	0,055373	0,608856	-
	60	-	0,066019	0,599463	-
Handerson e Pabis	40	0,852306	0,005525	-	-
	50	0,818763	0,006611	-	-
	60	0,816506	0,007617	-	-
Newton	40	-	0,007858	-	-
	50	-	0,009725	-	-
	60	-	0,012113	-	-
Logarítmico	40	0,830339	0,006358	-	0,035287
	50	0,797325	0,007912	-	0,034927
	60	0,790676	0,009268	-	0,046233
Midili	40	1,007416	0,055295	0,571062	-0,000116
	50	0,998460	0,068898	0,526697	-0,000138
	60	0,993775	0,078523	0,544843	-0,000102

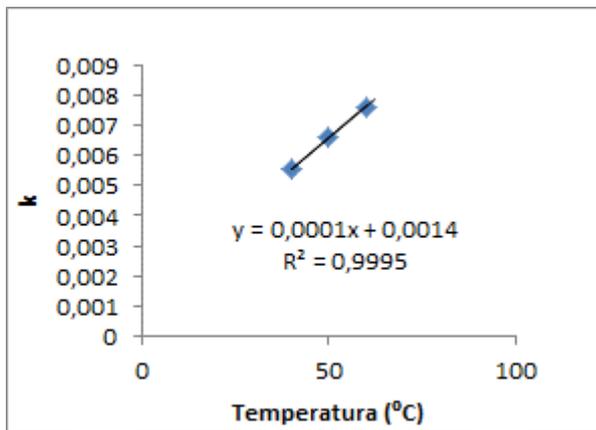
Fonte: Própria (2020).

Segundo Corrêa et al. (2007), no modelo de Page, o parâmetro “n” indica a resistência interna do produto estudado ao processo de transferência de massa. A maior resistência do produto ao processo de secagem ocorre na temperatura de 40°C, e a menor resistência do produto ocorre na temperatura de 60°C. Fato este também observado nos estudo de Silva et al. (2019a) para as sementes de sorgo, submetidas a secagem convectiva com variação de temperatura entre 40 e 80°C.

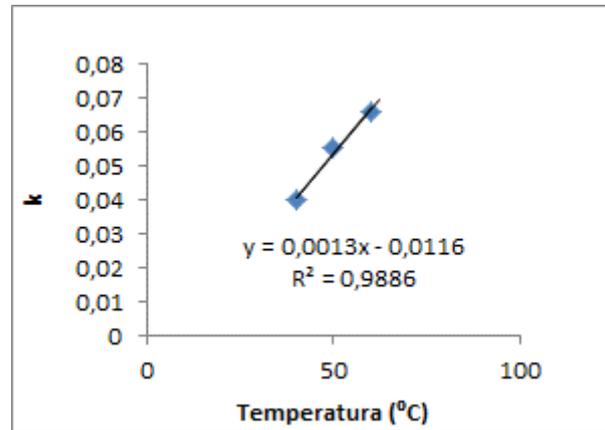
Constata-se que, a temperatura do ar aplicada no processo de secagem, possui grande influência sobre o parâmetro “k” que corresponde a constante da taxa de secagem nos modelos matemáticos empregados. Tal parâmetro aumenta com a elevação da temperatura evidenciando também a diminuição do tempo necessário para a realização do processo de secagem. Comportamento semelhante também foi observado por Silva et al. (2019b) ao estudarem o processo de secagem em grãos de feijão branco.

Observa-se pela Figura 1 através de uma linha de tendência linear que, a constante de secagem “k” aumentou com a elevação da temperatura para todos os modelos estudados.

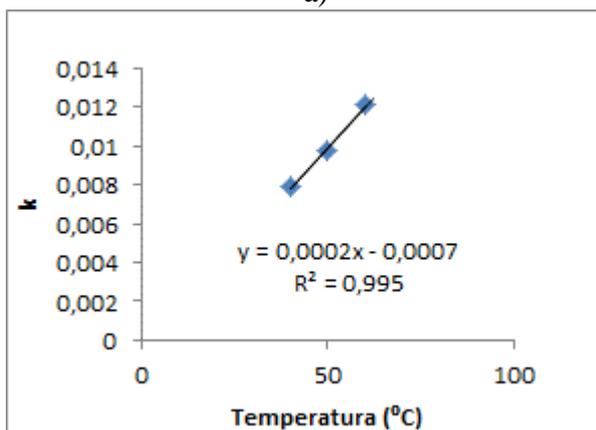
Figura 1. Constante de secagem “k” expressa na forma de linha de tendência linear para os modelos: a) Page; b) Handerson e Pabis; c) Newton; d) Logarítmico; e) Midili.



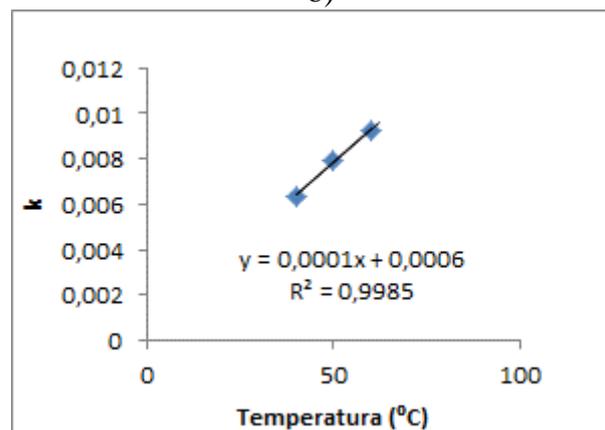
a)



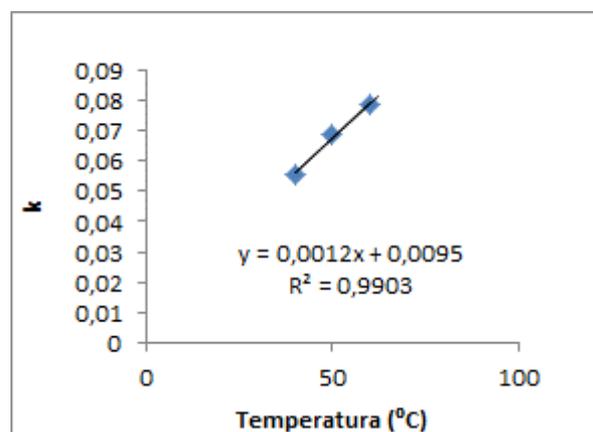
b)



c)



d)



e)

Fonte: Própria (2020).

A partir desta análise, observa-se que, para todos os modelos, o coeficiente de determinação (R^2) foi superior a 0,99, sendo assim, as equações obtidas para cada modelo podem ser usadas para estimar o valor de k para qualquer temperatura do ar de secagem aplicada.

Na Tabela 2 encontram-se os valores obtidos dos coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM), para a temperatura de 40, 50 e 60 °C dos modelos matemáticos aplicados.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos dos modelos matemáticos utilizados na predição da cinética de secagem das nozes sem casca nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.

Modelos Matemáticos	Temperatura (°C)	R^2	DQM
Page	40	0,99730	0,0306463
	50	0,99610	0,0266432
	60	0,99772	0,0199911
Handerson e Pabis	40	0,98869	0,0668056
	50	0,98513	0,0518598
	60	0,98424	0,0523705
Newton	40	0,96669	0,1140995
	50	0,95143	0,0929180
	60	0,95309	0,0896390
Logarítmico	40	0,98962	0,0629953
	50	0,98619	0,0499954
	60	0,98663	0,0482727
Midili	40	0,99953	0,0130926
	50	0,99914	0,0125210
	60	0,99949	0,0094970

Nota: R^2 : coeficientes de determinação; DQM: desvios quadráticos médios.

Fonte: Própria (2020).

Segundo Martins et al. (2014), ao selecionar um modelo não linear para descrever um processo de secagem, torna-se necessário avaliar não somente os valores de R^2 , mas se deve considerar também os desvios quadráticos médios (DQM).

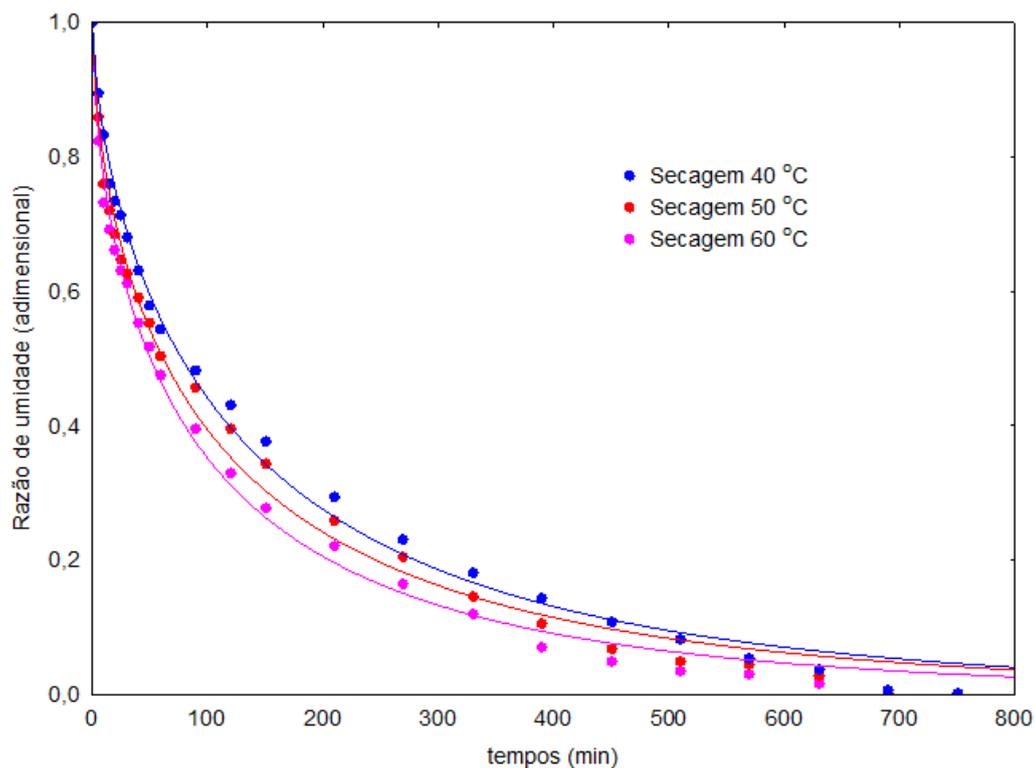
Através da Tabela 2, verifica-se que, todos os dados obtidos para a secagem das nozes sem casca se ajustam bem aos modelos matemáticos utilizados, apresentando coeficientes de determinação superiores a 98%. No entanto, apenas o modelo de Newton apresenta R^2 inferior a 98%, no qual varia de 0,95143 a 0,96669 não sendo considerado como um bom ajuste.

Observa-se que o modelo de Page se adequa bem aos dados experimentais obtidos, resultando em coeficientes de determinação (R^2) superiores a 99%, e baixos DQM no qual variam de 0,0199911 a 0,0306463. Indicando assim, uma representação satisfatória do processo de secagem nas condições estudadas para estes material biológico.

Com relação ao modelo de Midili, os valores do coeficiente de determinação (R^2) se apresentam superiores a 99,9%. Além disso, este modelo apresenta valores de DQM inferior a todos os modelos aplicados, variando de 0,0094970 na temperatura de 60°C e 0,0130926 na temperatura de 40°C, indicando maior precisão na descrição da secagem da noz sem casca.

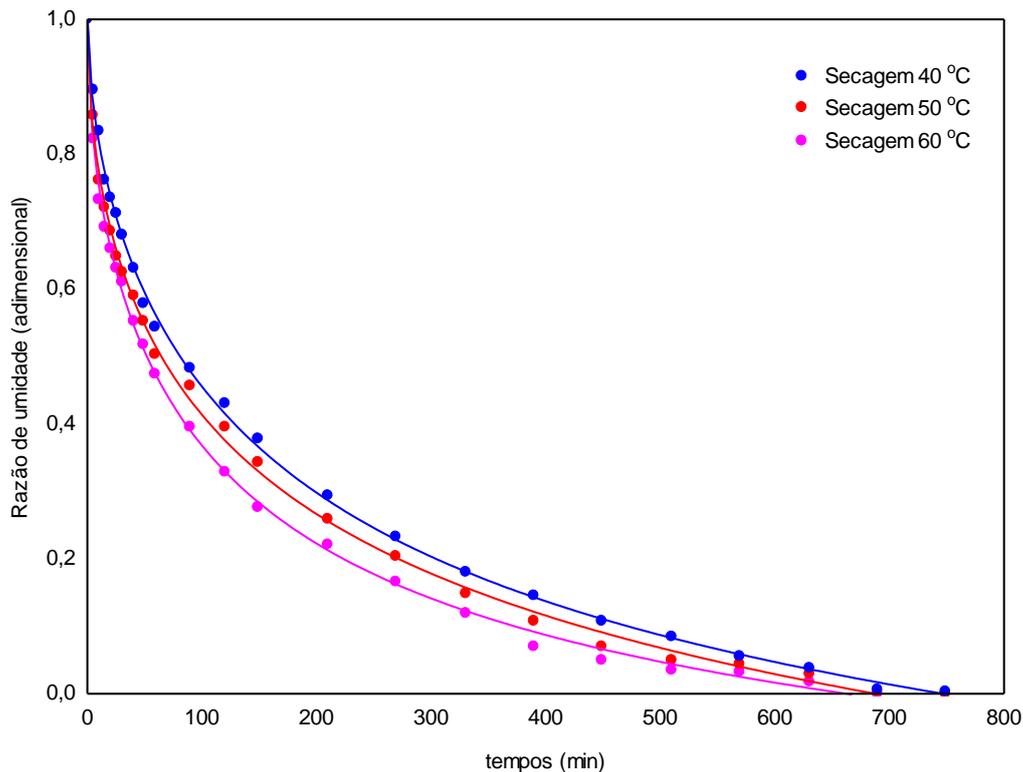
Nas Figuras 2 e 3, observa-se a cinética de secagem das nozes sem casca em camada fina a diferentes temperaturas de ar de secagem para os modelos de Page e Midili.

Figura 2. Curvas de secagem das nozes sem casca ajustadas pelo modelo matemático de Page.



Fonte: Própria (2020).

Figura 3. Curvas de secagem das nozes sem casca obtido pelo modelo matemático de Midili.



Fonte: Própria (2020).

Observa-se que, o aumento da temperatura, reduz o tempo de secagem aumentando a taxa de perda de água. O tempo de secagem varia de 690 a 810 minutos, sendo o menor e maior tempo respectivamente para as temperaturas de 60 e 40 °C.

4. Considerações Finais

Entre os modelos empregados neste estudo observou-se que ajustaram-se bem aos dados experimentais, podendo serem utilizados nas previsões das cinéticas de secagem, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, exceto o modelo matemático de Newton, pois apresentou valores de R^2 inferiores a 98%. Os modelos Page e Midili se destacaram dos demais por apresentaram os melhores valores de R^2 (>99%) e menos valores de DQM (<0,0306463) para as temperaturas de secagem estudadas. A cinética de secagem das nozes sem cascas mostrou que a temperatura foi a variável de maior influência no processo, e que a constante de secagem “k” aumentou com a sua elevação, e o tempo do processo diminuiu em função do seu aumento.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro para a realização deste pesquisa.

Referências

Bayazit, S., Kazan, K., Gülbitti, S., Cevik, V., Ayanoglu, H., & Ergül, A. (2007). AFLP analysis of genetic diversity in low chill requiring walnut (*Juglans regia* L.) genotypes from Hatay, Turkey. *Scientia Horticulturae*, 111(4), 394-398.

Çağlarımak, N. (2003). Biochemical and physical properties of some walnut genotypes (*Juglans regia*, L.). *Food/Nahrung*, 47(1), 28-32.

Corrêa, P. C., Resende, O., Martinazzo, A. P., Goneli, A. L. G., & Botelho, F. M. (2007). Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. *Engenharia Agrícola*, 27(2): 501-510.

Faostat, F. (2016). Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. *Economic and Social Development Department, Rome, Italy*. <http://faostat3.fao.org/home/E>. Accessed: 01 maio 2020.

Hernández-Carrión, M., Hernando, I., & Quiles, A. (2015). Tissue microstructure, physicochemical properties, and bioactive compound locations in different sweet pepper types. *Food Science and Technology International*, 21(1), 3-13.

IAL. (2008). Instituto Adolfo Lutz. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 4ª ed. 1ª ed. Digital, São Paulo, 2008. 1020p.

Judd, W. S., Campbell, C. S., Kellogg, E. A., Stevens, P. F., & Donoghue, M. J. (2009). Taxonomic evidence: structural and biochemical characters. *Plant systematics: a phylogenetic approach*. (Eds WS Judd, CS Campbell, EA Kellogg, PF Stevens), 53-102.

Martins, J. J. A., Marques, J. I., Santos, D. C., & Rocha, A. P. T. (2014). Modelagem matemática da secagem de cascas de mulungu. *Bioscience Journal*, 30(6): 1652-1660.

Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas. *NOZ* (2007). Consultado em Maio de 2020 em: <http://www.gppaa.minagricultura.pt/pbl/diagnósticos/subfileiras/Noz.pdf>

Silva, V. M. A., Ribeiro, V. H. A., Santos, N. C., Barros, S. L., Nascimento, A. P. S., & Araújo, A. J. B. (2019a). Determinação de modelo matemático na secagem do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) In: Francisco et al. (Org.). *Caderno de Ciência Pesquisa e Inovação*. EPGRAF, Campina Grande-PB, 2(1): 112-120.

Silva, V. M. A., Ribeiro, V. H. A., Santos, N. C., Barros, S. L., Nascimento, A. P. S., & Araújo, A. J. B. (2019b). Modelagem matemática da cinética aplicada na secagem do feijão branco (*Phaseolus vulgaris*). In: Francisco et al. (Org.). *Caderno de Ciência Pesquisa e Inovação*. EPGRAF, Campina Grande-PB, 2(1): 97-106.

Venkatachalam, M., & Sathe, S. K. (2006). Chemical composition of selected edible nut seeds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(13), 4705-4714.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva – 10%

Raphael Lucas Jacinto Almeida – 15%

Newton Carlos Santos – 15%

Cecília Elisa de Sousa Muniz – 10%

Eliélson Rafael Barros – 10%

Flávia Izabely Nunes Moreira – 10%

Maysa Bernardino Cabral – 10%

Aisla Rayanny Barbosa do Nascimento – 10%

Ewellyn Silva Souza – 10%