

DESCRIÇÃO DA CINÉTICA DE SECAGEM DE ARROZ EM CASCA EM DIFERENTES TEMPERATURAS

FERNANDO BIZON DE ARAÚJO¹, LUANA HAEBERLIN², EDNILTON TAVARES DE ANDRADE³, PAULA DE ALMEIDA RIOS⁴, FILIPE DA SILVA DE OLIVEIRA⁵, KÁTIA SOARES MOREIRA⁶

¹ Graduando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, (35) 38291596, fernando_bizon@hotmail.com

² Mestranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, (35) 38291596, haeberlin.luana@hotmail.com

³ Professor Titular do Departamento de Eng. Agrícola, Universidade Federal de Lavras, (35)38291969, ednilton@ufla.br

⁴ Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, (35) 38291596, paulariosagricola@gmail.com

⁵ Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, (35) 38291596, filipeoliveira@id.uff.br

⁶ Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, (35) 38291596, katiasoaresmoreira@hotmail.com

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: O suposto trabalho tem por objetivo ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados observados na secagem de arroz em casca realizada em secador estático, sob diferentes temperaturas. Foram utilizados arroz em casca da cultivar IRGA 424 RI produzidos no município de Heliadora, MG. Os grãos foram colhidos mecanicamente com aproximadamente $0,30 \text{ kg}_{\text{água}}.\text{kg}^{-1}_{\text{ms}}$ e secados nas temperaturas de 35, 45 e 55°C, até atingirem o equilíbrio higroscópico com o ar de secagem, com acompanhamento da secagem realizado pelo método gravimétrico. Para os ajustes dos modelos matemáticos foi realizada análise de regressão não-linear pelo método Quasi-Newton. A escolha do melhor modelo foi uma função dos parâmetros estatísticos: desvio padrão da estimativa (SE), erro médio relativo (P) e coeficiente de determinação (R^2). Portanto, o modelo de Midilli foi o que melhor representou a secagem do arroz em casca, para as condições empregadas.

PALAVRAS-CHAVE: modelos matemáticos, *Oriza sativa* L., parâmetros estatísticos

DESCRIBING THE DRYING KINETICS OF ROUGH RICE IN DIFFERENT TEMPERATURES

ABSTRACT: The objective of this work is to adjust different mathematical models to the data observed in the drying of rough rice in a static dryer under different temperatures. The rough rice grains used were from the cultivar IRGA 424 RI produced in the city of Heliadora, MG. The grains were mechanically harvested at approximately $0.30 \text{ kg}_{\text{water}}.\text{kg}^{-1}_{\text{ms}}$ and were dried at temperatures of 35, 45 and 55°C until reaching the hygroscopic equilibrium with the drying air, with drying monitoring performed by the gravimetric method. For the adjustments of the mathematical models, a non-linear regression analysis was performed using the Quasi-Newton method. The choice of the best model was a function of the statistical parameters: standard deviation of the estimate (SE), relative mean error (P) and coefficient of determination (R^2). Therefore, the model of Midilli was the one that best represented the drying of the rough rice, for the conditions employed.

KEYWORDS: mathematical models, *Oriza sativa* L., statistical parameters

INTRODUÇÃO: O Brasil tem como estimativa de produção, para a safra 2018/2019 de 10,6 milhões de toneladas de arroz em casca (CONAB, 2019). O arroz é uma cultura sazonal, portanto, necessita de armazenamento por longos períodos de tempo (MOHANTY, 2013). Sendo que a secagem é a garantia da segurança do armazenamento, devendo ser realizada imediatamente após a colheita, pois quanto maior o tempo na lavoura e/ou entre a colheita e a secagem, maiores serão as perdas na qualidade (ELIAS, 2004). No estudo de sistemas de secagem, desenvolvimento e aperfeiçoamento de equipamentos, dimensionamento, otimização e determinação da viabilidade da aplicação comercial, são de fundamental importância a simulação e a obtenção de informações teóricas a respeito do comportamento de cada produto durante a remoção de água, utilizam-se modelos matemáticos que representam satisfatoriamente (MENEGHETTI et al. 2012) Diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas. Embora várias teorias tenham sido propostas para prever o comportamento da secagem de grãos e de sementes; na maioria das vezes, as relações semiempíricas e empíricas têm sido as melhores opções para descrever o processo de secagem apesar de sua validade estar restrita às condições sob as quais os dados experimentais foram obtidos (BROOKER et al., 1992). Considerando a importância do estudo teórico do processo de secagem de arroz em casca, desenvolveu-se este trabalho com o objetivo de ajustar diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais obtidos em diferentes condições de secagem.

MATERIAL E MÉTODOS: Foram utilizados grãos de arroz do cultivar IRGA 424 RI produzidos no município de Heliadora, Minas Gerais. A colheita foi realizada mecanicamente, quando os grãos obtiveram aproximadamente $0,30 \text{ kg}_{\text{água}} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{ms}}$, e a limpeza das amostras foi realizada manualmente. O processo de secagem foi realizado no Laboratório Processamentos de Produtos Agrícolas da Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, em triplicata, utilizando um secador estacionário, com fluxo de ar de $20 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ nas seguintes condições de temperatura: 35, 45 e 55°C , que promoveram aproximadamente as seguintes umidades relativas 45,67; 24,57 e 14,05%, respectivamente. O teor de água dos grãos foi determinado pelo método da estufa a $105 \pm 1^\circ\text{C}$, com circulação de ar durante 24 h (BRASIL, 2009). O acompanhamento da secagem foi realizado por método gravimétrico, com pesagens periódicas até que o produto atingisse o teor de água de equilíbrio com as condições do ar de secagem estudado. Para a determinação das razões de teor de água dos grãos de arroz durante a secagem, utilizou-se a seguinte expressão:

$$RU = (U - U_e) / (U_i - U_e) \quad (1)$$

em que,

RU – razão de teor de água (adimensional); U – teor de água do produto no tempo t ($\text{kg}_{\text{água}} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{ms}}$); U_e – teor de água de equilíbrio do produto ($\text{kg}_{\text{água}} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{ms}}$); U_i – teor de água inicial do produto ($\text{kg}_{\text{água}} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{ms}}$).

Os dados experimentais da secagem dos grãos de arroz foram ajustados os modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da secagem de produtos agrícolas, conforme apresentação na Tabela 1. Para o ajuste dos modelos matemáticos, foram realizadas análises de regressão não linear pelo método Gauss-Newton, utilizando-se o software STATISTICA 5.0[®] (STATSOFT, 1995). A escolha do melhor modelo foi em função dos parâmetros estatísticos: desvio padrão da estimativa (SE), erro médio relativo (P) e coeficiente de determinação (R^2). O desvio padrão da estimativa e o erro médio relativo foram calculados, respectivamente, pelas equações:

$$SE = \{ [\sum (Y - Y_0)] / GLR \}^{1/2} \quad (2)$$

$$P = [(100/n) \sum |(Y - Y_0)/Y|] \quad (3)$$

em que,

Y – valor observado experimentalmente (adimensional); Y_0 – valor calculado pelo modelo (adimensional); n – número de observações experimentais (adimensional); GLR - graus de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo) (adimensional).

TABELA 1. Modelos matemáticos usados para prever a cinética de secagem.

Designação do modelo	Modelo	Equação
Page ¹	$RU = \exp(-k.t^n)$	(4)
Midilli ²	$RU = a. \exp(-k.t^n) + b.t$	(5)
Exponencial de dois termos ³	$RU = a.\exp(-k.t) + (1-a).\exp(-k.t)$	(6)
Thompson ⁴	$RU = \exp((-a - (a^2 + 4.b.t)^{0,5})/(2.b))$	(7)
Henderson & Pabis modificado ⁵	$RU = a.\exp(-k.t) + b.\exp(-k_0.t) + c.\exp(-k_1.t)$	(8)

¹Page (1949); ²Midilli, Kucuk e Yapar (2002); ³Sharaf-Eldee, Blaisdell e Hamdy (1980); ⁴Thompson, Peartt e Foster (1968); ⁵Karathanos (1999).

em que,

k, k_0 , k_1 – constantes de secagem (s^{-1}); a, b, c, n – coeficientes dos modelos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Tabela 2 se encontram os valores dos coeficientes de determinação ajustados (R^2 , %), erros médios relativos (P, %) e desvios padrões das estimativas para os modelos analisados.

TABELA 2. Coeficiente de determinação (R^2 , %), erro médio relativo (P, %), desvio padrão da estimativa (SE, decimal), para os modelos analisados, na secagem de grãos de arroz em casca nas temperaturas de 35, 45 e 55°C.

Modelos matemáticos	Temperatura								
	35°C			45°C			55°C		
	R^2	P	SE	R^2	P	SE	R^2	P	SE
Page	99,810	11,598	0,027	99,966	2,324	0,011	99,975	0,756	0,009
Midilli	99,918	3,116	0,025	99,977	0,735	0,013	99,976	0,738	0,013
Exponencial de dois termos	99,776	7,048	0,029	99,815	1,412	0,025	99,945	1,091	0,014
Thompson	99,649	14,975	0,036	99,851	4,887	0,023	99,912	1,828	0,017
Henderson & Pabis modificado	99,528	5,448	0,073	99,991	1,379	0,010	99,657	2,052	0,060

Considerando os coeficientes estatísticos para seleção de modelos não lineares, são recomendados valores de erros médios (P) inferiores a 10% (MOHAPATRA; RAO, 2005), valores de coeficientes de determinação (R^2) superiores a 99% e valores de desvio padrão (SE) inferiores a 0,05%. Dessa forma o modelo matemático que apresentou melhores valores para os parâmetros estatísticos foi o modelo de Midilli. Na Figura 1 estão representados os dados observados experimentalmente e os dados estimados pelo modelo de Midilli para a secagem de arroz em casca nas temperaturas de 35, 45 e 55°C.

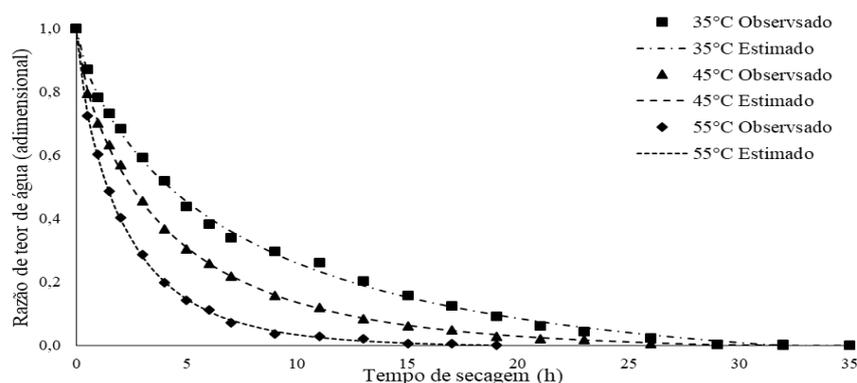


FIGURA 1. Valores de razão do teor de água observados e estimados pelo modelo de Midilli para a secagem de grãos de arroz em casca nas temperaturas estudadas, em função do tempo.

O modelo de Midilli mostrou-se mais adequado para predição do fenômeno de secagem de grãos de arroz em casca nas temperaturas estudadas, resultado também observado por Cihan et al. (2006) para secagem de arroz em casca em camada fina a temperatura de 40°C intermitente de grãos e por Meneghetti et al. (2012) para secagem intermitente de arroz em casca.

CONCLUSÕES: O modelo matemático proposto por Midilli é o que melhor representa a secagem de arroz em casca nas temperaturas estudadas.

REFERÊNCIAS:

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 2009. 399 p.
- BROOKER, D. B.; BAKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: AVI, 1992. 450 p.
- CONAB. Campanha Nacional de Abastecimento. Análise mensal arroz: março/abril de 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 07 de maio de 2019.
- CIHAN, A.; KAHVECI, K.; HACIHAFIZOĞLU, O. Modelling of intermittent drying of thin layer rough rice. **Journal of Food Engineering**, v.79, p.293–298, 2006.
- ELIAS, M.C., Pós colheita e industrialização do arroz. In: GOMES, A.S.G; MAGALHÃES JUNIOR, A.M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2004, capítulo 22, p.745-798
- KARATHANOS, V. T. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 39, n. 4, p. 337-344, 1999.
- MANEGHETTI, V. L.; AOSANI, E., ROCHA, J. C.; OLIVEIRA, M., ELIAS, M. C.; PANDORF, R. S.; Modelos matemáticos para a secagem intermitente de arroz em casca. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.16, n.10, p.1115–1120, 2012.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, New York, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002.
- MOHANTY, S. Trends in global rice consumption. **Rice Today**, Filipinas, v. 12, p. 44–45, abril/junho 2013.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 66, n. 4, p. 513-518, Feb. 2005.
- PAGE, C. **Factors influencing the maximum rates of air drying of shelled corn in thin layers**. 1949. 44 f. Thesis (Ph.D. in Mechanical Engineering)-Purdue University, Lafayette, 1949.
- SHARAF-ELDEEN, Y. I.; BLAISDELL, J. L.; HAMDY, M. Y. A model for ear corn drying. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 23, p. 1261-1265, 1980.
- STATSOFT. **Statistica**: data analysis software system. Version 5.0. 1995. Disponível em: <http://www.statsoft.com>. Acesso em: 10 mar. 2017.
- THOMPSON, T. L.; PEARTT, R. M.; FOSTER, G. H. Mathematical simulation of corn drying: a new model. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 11, n. 4, p. 582-589, 1968.