

MODELAGEM MATEMÁTICA DA CURVAS DE SECAGEM DO ARROZ AROMÁTICO

**SAMUEL A. A. DIAS¹, MATEUS M. SANTOS², KARINA R. FONSECA³,
KEDINNA D. SOUSA⁴, IVANO A. DEVILLA⁵**

¹ Graduando em engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, UEG, Anápolis – GO, Fone: (62) 992317099, samueldiasabreu@hotmail.com.

² Eng^o Agrícola, Mestre em Engenharia Agrícola, UEG, Anápolis – GO

³ Graduanda em Engenharia Agrícola, UEG, Anápolis – GO

⁴ Graduanda em Engenharia Agrícola, UEG, Anápolis – GO

⁵ Eng^o Agrícola, Prof Doutor, UEG, Anápolis – GO

Apresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: Neste trabalho utilizou-se o arroz da linhagem A131415 obtida a partir de cruzamentos de arroz Basmati no qual visou determinar a difusividade efetiva e energia de ativação, bem como modelar a cinética de secagem do Arroz aromático em diferentes temperaturas. O teor de água inicial do arroz aromático foi determinado de acordo com a norma analítica, e o produto foi submetido à secagem em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 30, 40, 50 °C ± 1°C. Os modelos matemáticos, foram ajustados aos dados experimentais de secagem. Os ajustes foram realizados a partir da análise de regressão não linear, pelo método Gauss Newton, utilizando-se o programa estatístico “Statistica 12.0. Para avaliar o ajuste das equações aos dados de secagem e difusividade efetiva foram utilizados quatro parâmetros: o coeficiente de determinação ajustado, o erro médio relativo, o erro médio estimado e o teste do qui-quadrado. O melhor modelo ajustado foi o de Henderson e Pabis Modificado para as temperaturas de 30°C e 40°C e Midilli para a temperatura de 50°C.

PALAVRAS CHAVE: Cinética de Secagem, Arroz Basmati, Coeficiente de Difusão.

MATHEMATICAL MODELING OF DRYING CURVES OF AROMATIC RICE

ABSTRACT: In this work the rice line A131415 obtained from Basmati rice crosses which it was aimed to determine the effective diffusivity and activation energy, as well as to model the kinetics of drying of the aromatic rice at different temperatures. The initial water content of the aromatic rice was determined according to the analytical standard, and the product was oven dried with forced air circulation at temperatures of 30, 40, 50 °C ± 1 °C. The mathematical models were adjusted to experimental drying data. The adjustments were made from the non-linear regression analysis, using the Gauss Newton method, using the statistical program "Statistica 12.0. To evaluate the fit of the equations to the drying and effective diffusivity data, four parameters were used: the adjusted coefficient of determination, the relative mean error, the estimated mean error, and the

chi-square test. The best adjusted model was that of Henderson and Pabis Modified for the temperatures of 30°C and 40°C and Midilli for the temperature of 50°C.

KEYWORDS: Drying kinetics, Basmati Rice, Diffusion Coefficient

INTRODUÇÃO: Segundo FAO (2015), o arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais amplamente cultivados no mundo. É um alimento básico para cerca de metade da população do mundo, em particular para os países asiáticos, sul-americanos e africanos. Cultivares de arroz aromáticos são classificadas como tendo melhor qualidade e preço mais elevado do que cultivares de arroz não aromático. O consumo do arroz aromático no Oriente Médio, Europa, Austrália e Estados Unidos tem aumentado. Com essa crescente demanda pelo arroz aromático, os pesquisadores têm interesse em conhecer os recursos genéticos dessas cultivares. CORDEIRO et al. (2010) relatam que o desenvolvimento de cultivares de arroz com grãos aromáticos, de boa qualidade e adaptados às condições de cultivo do Brasil, é uma grande oportunidade de agregar valor à produção do arroz, já que o comércio tem mostrado interesse por grãos diferenciados, para preparação de pratos da culinária internacional. A secagem é uma operação unitária que tem sido utilizada a fim de aumentar a vida útil, minimizando o crescimento microbiano, deteriorações por reações químicas, além da facilidade de transporte e estocagem pela redução de peso e volume. No entanto, durante a secagem, em condições de temperatura e umidade relativa do ar elevadas, pode ser comprometida negativamente a qualidade dos produtos (OLIVEIRA et al., 2010; ALMEIDA et al., 2013).

MATERIAL E MÉTODOS: Foi utilizada uma variedade obtida a partir de cruzamentos de arroz basmati (*Oryza sativa* L.), produzidos pela Embrapa Arroz e Feijão, localizada em Santo Antônio de Goiás. As análises foram efetuadas no Laboratório de Secagem e Armazenagem de Produtos Vegetais, do Campus de Ciências Exatas e Tecnológicas – Henrique Santillo, da Universidade Estadual de Goiás, em Anápolis- Goiás. No laboratório determinou-se o teor de água inicial dos grãos de acordo com BRASIL (2009), efetuada a limpeza manual, e a secagem O produto foi submetido à secagem em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 30, 40 e 50°C ± 1°C. Durante o processo de secagem, as bandejas com as amostras foram pesadas periodicamente, até atingir massa constante. Finalizou-se a secagem quando, não houve variação de massa em três pesagens consecutivas maior que 0,01g; o que indicou o equilíbrio higroscópico. Foi utilizado uma balança semi-analítica com precisão ± 0,01g. Os dados obtidos na secagem destes produtos foram ajustados aos modelos de cinética de secagem, Tabela 1, no qual foi utilizado o software STATISTICA 12.0.

TABELA 1. Modelos matemáticos utilizados para prever a cinética de secagem de produtos agrícolas.

Designação do Modelo	Modelo	
$RU = a \exp(-k t) + (1 - a) \exp(-k b t)$	Aproximação da Difusão	(2)
$RU = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	Dois Termos	(3)
$RU = a \exp(-k t) + (1 - a) \exp(-k a t)$	Exponencial de Dois Termos	(4)
$RU = a \exp(-k t)$	Henderson e Pabis	(5)
$RU = a \exp(-k t) + b \exp(-k_0 t) + c \exp(-k_1 t)$	Henderson e Pabis Modificada	(6)
$RU = a \exp(-kt) + c$	Logarítmico	(7)
$RU = a \exp(-k t^n) + b t$	Midilli	(8)
$RU = \exp(-k t)$	Newton	(9)
$RU = \exp(-k t^n)$	Page	(10)
$RU = \exp((-a - (a^2 + 4 b t)^{0.5}) / 2 b)$	Thompson	(11)

$$RU = a \exp(-k t) + (1 - a) \exp(-k_1 t) \quad \text{Verma} \quad (12)$$

$$RU = 1 + a t + b t^2 \quad \text{Wang e Singh} \quad (13)$$

RU - razão de teor de água do produto, adimensional; t - tempo de secagem, h; k, k₀, k₁ - constantes de secagem, h⁻¹, e a, b, c, n - coeficientes dos modelos.

O melhor modelo para traçar as curvas de secagem do arroz foi selecionado utilizando-se os valores do erro relativo (P), erro médio estimado (SE), teste do qui-quadrado (X²), e o coeficiente de determinação ajustado (R²). O critério de seleção dos estimadores estatísticos foi R² próximo de 100%, P < 10%, SE e X² próximos de zero (MADAMBA et al., 1996).

RESULTADOS E DISCUSSÕES: Na Figura 1 são mostradas as curvas experimentais de secagem do Arroz Basmati nas temperaturas estudadas. Observa-se, na Figura 1, a atuação da temperatura sobre o tempo de secagem, onde os menores tempos de secagem foram alcançados em maiores temperaturas, este fato pode ser observado em vários outros trabalhos e para diferentes culturas (REIS et al., 2012; MELO et al., 2016).

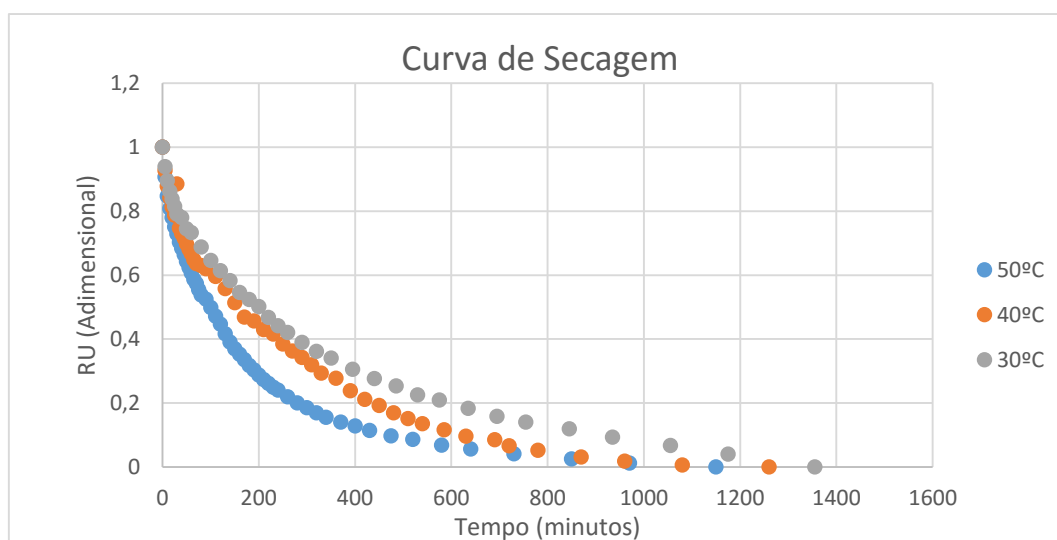


Figura 1 – Curva experimental de secagem do Arroz Basmati para a temperaturas de 30, 40 e 50°C.

Os valores dos parâmetros utilizados para a análise dos modelos, que melhor se ajustaram aos dados da secagem nas temperaturas estudadas são mostrados na Tabela 2. Já na Tabela 3 são mostrados os coeficientes dos modelos selecionados.

TABELA 2 – Erro relativo (P), coeficiente de determinação ajustado (R²), erro médio estimado (SE), teste do qui-quadrado (X²) para os modelos de secagem selecionados para as temperaturas de 30°C, 40°C e 50°C.

Modelo	°C	P	R ²	SE	X ²
Henderson e Pabis	30	2,083	0,9996	0,045	0,002
Modificada	40	5,982	0,9979	0,123	0,015
Midilli	50	2,617	0,9995	0,056	0,003

TABELA 3 – Valores dos coeficientes dos modelos matemáticos selecionados para as temperaturas de 30°C, 40°C e 50°C.

Modelo	a	b	k0	k1	k	c
Henderson e Pabis	0,1259	0,7458	0,0022	0,009	0,1018	0,1297
Modificada	0,3135	2,524	0,0046	0,006	0,0293	-1,857
Midilli	0,9972	-0,6x10 ⁻⁵	-	-	0,754	-

De acordo com os dados obtidos avaliando todos os modelos matemáticos é possível verificar que os valores do coeficiente de determinação R² estão acima ou próximos a 99% e os valores de erro médio SE e qui-quadrado X² estão com valores baixos concordando assim com MADAMBA et al. (1996), Os modelos que melhor se ajustaram foram o de Henderson e Pabis Modificada para as temperaturas de 30°C e 40°C, e Midilli para a temperatura de 50°C.

CONCLUSÃO: Com base nas análises feitas e com os resultados obtidos no presente trabalho o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem do Arroz Basmati foram os modelos de Henderson e Pabis Modificado e o de Midilli.

AGRADECIMENTOS: À Universidade Estadual de Goiás (UEG) pelo auxílio financeiro, e ao CNPq pelo apoio financeiro oferecido por meio da bolsa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: ALMEIDA, D. P.; RESENDE, O.; COSTA, L. M.; MENDES, U. C. Higroscopicidade das sementes de feijão adzuki. Científica, Jaboticabal, v. 41, n. 2, p. 130-137, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regras para Análise de Sementes. Brasília: SNDA/ DNDV/ CLAV, 2009. 365p.

CORDEIRO, A. C. C.; RANGEL, P. H. N.; MEDEIROS, R. D. Avaliação de linhagens de arroz irrigado com tipo de grão para a culinária japonesa para o estado de Roraima. **Agroambiente**, Boa Vista, v. 4, n. 2, p. 74-79, 2010.

FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations FAOSTAT). **Rice Market monitor**. Disponível em: <<http://www.fao.org/economic/est/publications/ricepublications/ricemarketmonitormm/en/>> Acesso em; 18 nov 2015.

MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. Thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, London, v.29, n.1, p.75-97, 1996.

MELO, P. C. et al. Modelagem matemática das curvas de secagem de grãos de feijão carioca. *Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias* ISSN (on line) 1981-0997 v.11, n.3, p.247-252, 2016

REIS, R. C. et al. Cinética de secagem de folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) via infravermelho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.16, n.12, p.1346–1352, 2012.

OLIVEIRA, E. G.; DUARTE, J. H.; MORAES, K.; CREXI, V. T.; PINTO, L. A. A. (2010), Optimisation of *Spirulina platensis* convective drying: evaluation of phycocyanin loss and lipid oxidation. *International Journal of Food Science and Technology*, v.45, n 8, p. 1572–1578, 2010.