

DETERMINAÇÃO E MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DE ARROZ AROMÁTICO

SAMUEL A. A. DIAS* (IC)¹, MATEUS M. SANTOS (PG)², KARINA R. FONSECA (IC)¹, KEDINNA D. SOUSA (IC)¹, GUILHERME H. T. CRUZ (IC)¹, IVANO A. DEVILLA (PQ)³

¹ Graduação em Engenharia Agrícola, PBIC/CNPq, Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Goiás, samueldiasabreu@gmail.com

² Mestre em Engenharia Agrícola, Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas - UEG, Anápolis (GO)

³ Docente do Curso de Graduação em Engenharia Agrícola, Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas - UEG, Anápolis (GO)

RESUMO: Neste trabalho foram utilizadas 1 cultivar e 2 linhagens obtidas a partir de cruzamentos de arroz Basmati no qual visou 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 $\pm$ 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 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.

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

Foram utilizadas 3 variedades obtidas a partir de cruzamentos de arroz basmati (*Oryza sativa* L.) Jasmine 85, AE131022 e AE131415, 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 $\pm$ 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 $\pm$ 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)
$RU = a \exp(-k t) + c$	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)
$RU = a \exp(-k t) + (1 - a) \exp(-k_1 t)$	Verma	(12)
$RU = 1 + a t + b t^2$	Wang e Singh	(13)

RU - razão de teor de água do produto, adimensional; t - tempo de secagem, h; k, k_0 , k_1 - 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 (X^2), e o coeficiente de determinação ajustado (R^2). O critério de seleção dos estimadores estatísticos foi R^2 próximo de 100%, $P < 10\%$, SE e X^2 próximos de zero (MADAMBA et al., 1996). Nas tabelas dos coeficientes de avaliação dos modelos (P, SE, X^2 , R^2) foram colocados apenas os 3 melhores modelos para cada temperatura de secagem, e nas tabelas que apresentam os coeficientes de cada modelo foram apresentados apenas os coeficientes do melhor modelo para suas respectivas temperaturas e para a cultivar e as duas linhagens.

Resultados e Discussão

Nas tabelas a seguir são mostrados os modelos matemáticos e seus coeficientes que mais se ajustaram aos dados experimentais de secagem.

TABELA 2 – Erro relativo (P), coeficiente de determinação ajustado (R^2), erro médio estimado (SE), teste do qui-quadrado (X^2) para os 3 melhores modelos de secagem selecionados para as temperaturas de 30°C, 40°C e 50°C na cultivar Jamine 85

Modelos	°C	R^2	P	SE	X^2
Midilli	30	0,999	5,817	0,007	$5,302 \cdot 10^{-05}$
Henderson e Pabis modificada		0,999	7,764	0,007	$5,290 \cdot 10^{-05}$
Page		0,999	9,317	0,008	$7,194 \cdot 10^{-05}$
Dois termos	40	0,999	2,985	0,007	$4,561 \cdot 10^{-05}$
Henderson e Pabis modificada		0,999	2,985	0,007	$4,743 \cdot 10^{-05}$
Verma		0,999	3,066	0,007	$5,400 \cdot 10^{-05}$

Midilli		0,999	2,65	0,007	$4,340 \cdot 10^{-05}$
Henderson e Pabis modificada	50	0,999	1,092	0,003	$6,573 \cdot 10^{-06}$
Dois termos		0,999	6,407	0,008	$6,815 \cdot 10^{-05}$

Tabela 3 – Valores dos coeficientes dos modelos matemáticos que melhor se ajustaram a cultivar Jasmine 85 para as temperaturas de 30, 40 e 50°C

Modelos	°C	a	b	c	n	k	k ₀	k ₁
Midilli	30	1,0034	-0,0007	-	0,7782	0,2052	-	-
Dois termos	40	0,393	0,5954	-	-	-	0,7152	0,0906
Henderson e Pabis modificada	50	0,1364	0,3551	0,5079	-	5,227	0,1579	0,3812

Tabela 4 – Erro relativo (P), coeficiente de determinação ajustado (R²), erro médio estimado (SE), teste do qui-quadrado (X²) para os 3 melhores modelos de secagem selecionados para as temperaturas de 30°C, 40°C e 50°C na cultivar AE131022

Modelos	°C	R ²	P	SE	X ²
Midilli		0,999	6,426	0,01	$9,090 \cdot 10^{-05}$
Henderson e Pabis modificada	30	0,999	7,589	0,009	$7,471 \cdot 10^{-05}$
Page		0,999	8,106	0,009	$8,830 \cdot 10^{-05}$
Dois termos		0,999	2,992	0,009	$8,354 \cdot 10^{-05}$
Henderson e Pabis modificada	40	0,999	2,847	0,005	$2,802 \cdot 10^{-05}$
Thompson		0,999	5,512	0,009	$8,483 \cdot 10^{-05}$
Midilli		1	7,848	0,005	$2,111 \cdot 10^{-05}$
Page	50	1	6,968	0,006	$3,117 \cdot 10^{-05}$
Henderson e Pabis modificada		1	5,667	0,003	$8,304 \cdot 10^{-06}$

Tabela 5 – Valores dos coeficientes dos modelos matemáticos que melhor se ajustaram a cultivar AE131022 para as temperaturas de 30, 40 e 50°C

Modelos	°C	a	b	c	n	k	k ₀	k ₁
Henderson e Pabis modificada	30	0,0753	0,6229	0,3069	-	2,6418	0,0943	0,2498
Henderson e Pabis modificada	40	0,478	0,4504	0,0766	-	0,5147	0,0772	4,5991
Henderson e Pabis modificada	50	0,1152	0,4025	0,4868	-	4,216	0,1539	0,5343

Tabela 6 – Erro relativo (P), coeficiente de determinação ajustado (R^2), erro médio estimado (SE), teste do qui-quadrado (X^2) para os 3 melhores modelos de secagem selecionados para as temperaturas de 30°C, 40°C e 50°C na cultivar AE131036

Modelos	°C	R^2	P	SE	X^2
Midilli	30	0,999	8,25	0,009	$8,437 \cdot 10^{-05}$
Verma		0,998	8,61	0,013	$1,671 \cdot 10^{-04}$
Dois termos		0,999	9,994	0,011	$1,134 \cdot 10^{-04}$
Midilli	40	0,999	4,961	0,008	$6,261 \cdot 10^{-05}$
Henderson e Pabis modificada		1	6,248	0,005	$3,012 \cdot 10^{-05}$
Dois termos		0,999	6,07	0,01	$1,010 \cdot 10^{-04}$
Midilli	50	1	3,232	0,006	$4,020 \cdot 10^{-05}$
Henderson e Pabis modificada		1	4,314	0,004	$1,403 \cdot 10^{-05}$
Page		0,999	4,611	0,006	$3,941 \cdot 10^{-05}$

Tabela 7 – Valores dos coeficientes dos modelos matemáticos que melhor se ajustaram a cultivar AE131036 para as temperaturas de 30, 40 e 50°C

Modelos	°C	a	b	c	n	k	k_0	k_1
Midilli	30	1,0057	-0,0002	-	0,7655	0,2247	-	-
Midilli	40	1,0128	-0,001	-	0,5678	0,4426	-	-
Page	50	-	-	-	0,7327	0,4424	-	-

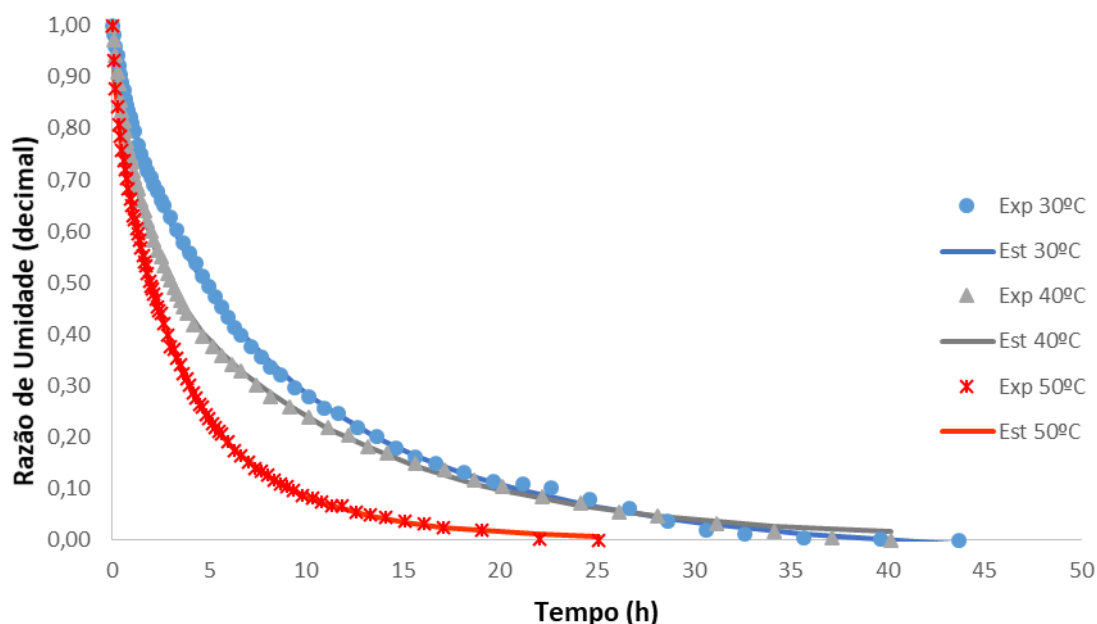


Figura 1 – Curvas de secagem estimadas (Est) e experimentais (Exp) do cultivar de arroz Jasmine 85, nas temperaturas de 30, 40 e 50°C.

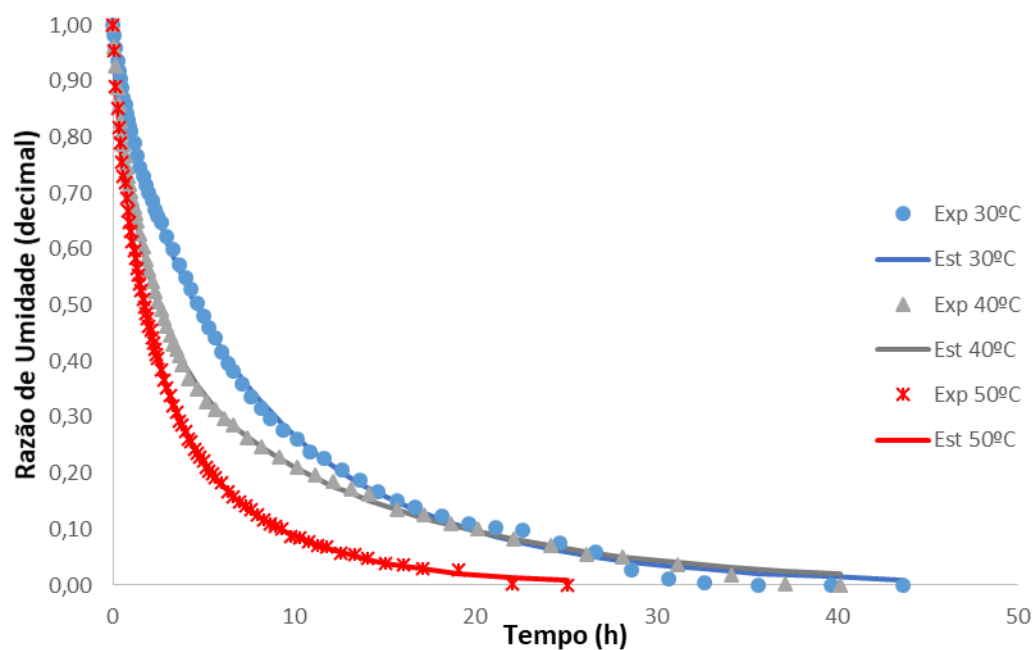


Figura 2 – Curvas de secagem estimadas (Est) e experimentais (Exp) do cultivar de arroz AE131022, nas temperaturas de 30, 40 e 50°C.

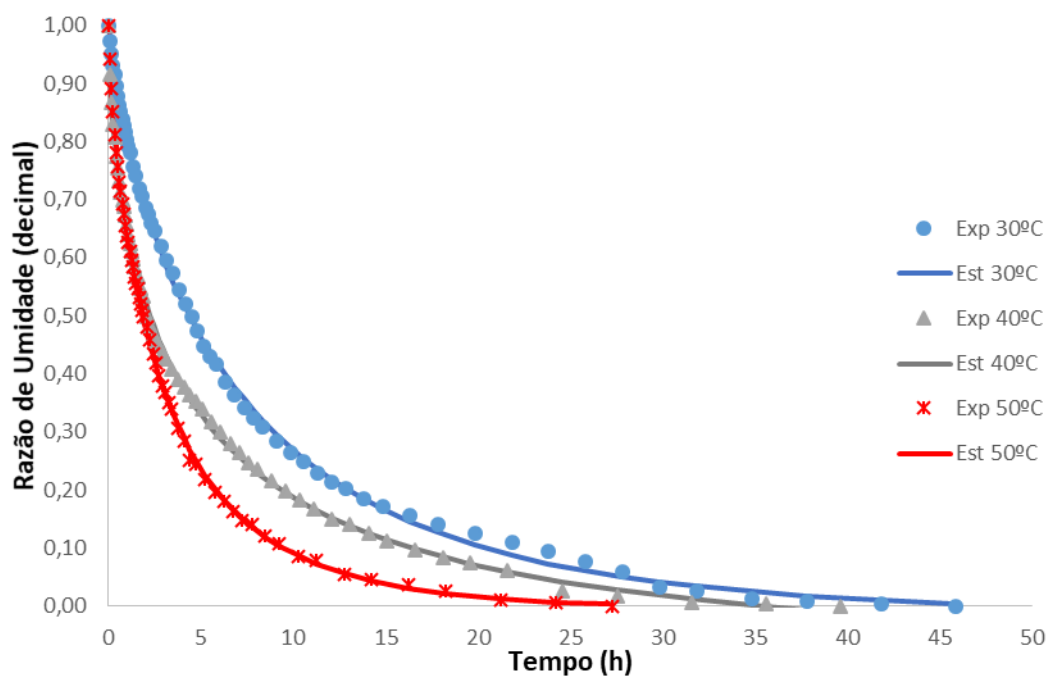


Figura 1 – Curvas de secagem estimadas (Est) e experimentais (Exp) do cultivar de arroz AE131036, nas temperaturas de 30, 40 e 50°C.

De acordo com os dados obtidos avaliando todos os modelos matemáticos é possível verificar que os valores do coeficiente de determinação R^2 estão acima ou próximos a 99%, o erro relativo P abaixo de 10% e os valores de erro médio SE e qui-quadrado X^2 estão com valores baixos concordando assim com MADAMBA et al. (1996), a partir destes dados os modelos que mais se ajustaram para a cultivar Jasmine 85 para a temperatura de a 30°C foi a de Midilli, para 40° a que melhor se ajustou foi Dois Termos e 50°C Henderson e Pabis Modificada. Para a cultivar AE131022 para as temperaturas de 30°C, 40°C e 50°C o modelo que apresentou melhores resultados foi o de Henderson e Pabis Modificada. E já para a cultivar AE131036 para as temperaturas de 30°C e 40°C o melhor modelo foi de Midilli e para 50°C o modelo de Page.

Considerações Finais

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho os modelos que melhor se ajustaram aos dados experimentais de secagem das cultivares do Arroz Aromático foram as de Midilli, Hederson e Pabis Modificada, Dois Termos e Page.

Agradecimentos

À Universidade Estadual de Goiás (UEG), ao CNPq principalmente pela oportunidade de participar deste projeto e apoio financeiro oferecido por meio da bolsa, e ao meu orientador Ivano Alessandro Devilla.

Referências

- 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.