

MODELAGEM DA SECAGEM DOS FRUTOS DE BARU

DANIEL EMANUEL CABRAL DE OLIVEIRA¹, OSVALDO RESENDE², WEDER NUNES FERREIRA JÚNIOR³, LÍLIAN MOREIRA COSTA⁴, IGOR OLACIR FERNANDES SILVA⁵

¹Doutorando em Ciências Agrárias - Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Iporá, e-mail: oliveira.d.e.c@gmail.com

²Doutor Engenharia Agrícola, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, e-mail: osvresende@yahoo.com.br

³Graduando Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, e-mail: wedernunesiftm@gmail.com

⁴Doutorando em Ciências Agrárias - Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, e-mail: lmctpg@yahoo.com.br

⁵Graduando Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, e-mail: igorolacirrv95@gmail.com

Apresentado no

XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015

13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro – SP, Brasil

RESUMO: Em meio aos processos de pós-colheita utilizados para a manutenção da qualidade de produtos agrícolas, a secagem destaca-se como forma de reduzir a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento. Desta forma, este trabalho visou ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais da secagem dos frutos de baru (*Dypterix alata* Vog.) em diversas condições de ar. O experimento foi desenvolvido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde. Os frutos de baru foram coletados em Santa Helena de Goiás - Goiás, com teor de água inicial de 0,43 base seca (b.s., decimal) e foram submetidos à secagem em estufa com ventilação de ar forçada em cinco condições de temperatura: 40, 60, 80 e 100 °C até atingirem o teor de água de $0,065 \pm 0,018$ (b.s.). Verificou-se que o tempo de secagem reduz com o aumento da temperatura, sendo que o tempo de secagem para a temperatura de 40 °C foi de 266,3 horas e para a de 100 °C foi de 22,8 horas. Dentre os modelos analisados, o modelo Logarítmico foi o selecionado para representar o fenômeno de secagem.

PALAVRAS-CHAVE: *Dypterix alata* Vog, Logarítmico, Teor de água.

MODELING OF DRYING OF FRUITS OF BARU

ABSTRACT: Amid the post-harvest processes used for the maintenance of quality agricultural products, drying stands out as a way to reduce the biological activity and chemical and physical changes that occur during storage. Thus, this study aimed to fit different mathematical models to experimental data of drying the fruits of baru (*Dypterix alata* Vog.) in different air conditions. The experiment was conducted at the Goiano Federal Institute of Education, Science and Technology, in Campus of Rio Verde City, Goiás State, Brazil. The fruits of baru were collected in Santa Helena de Goiás, with initial moisture content of 0.43 dry basis (db, decimal) and were dried in an oven with forced air ventilation in five temperature conditions: 40, 60, 80 and 100 °C until the water content 0.065 ± 0.018 (db). It was found that the drying time decreases with increasing temperature, the drying time for the temperature of 40 °C was 266.3 hours and to 100 °C was 22.8 hours. Among the analyzed models, the Logarithmic model was selected to represent the drying phenomenon.

KEYWORDS: *Dypterix alata* Vog., Logarithmic, Moisture content.

INTRODUÇÃO: O baru (*Dypterix alata* Vog.), pertence à família Fabaceae, de ocorrência em solos mais férteis de cerrado. Árvore alta, podendo atingir mais de 15 metros de altura, com caule ereto e

ramos lisos (Correa et al., 2008), sendo que os seus frutos possuem polpa e amêndoa que são utilizados na alimentação humana. Em meio aos processos de pós-colheita utilizados para a manutenção da qualidade de produtos agrícolas, a secagem destaca-se como forma de reduzir a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento (Resende et al., 2008). Peske e Villela (2006) citam as vantagens de proceder à colheita com o teor de água elevado e realizar a secagem artificial: a) possibilidade de planejar a colheita; b) possibilidade de colher mais horas por dia e mais dias por safra; c) menor perda do produto por deiscência/degrana natural; d) colheita de qualidade potencialmente superior. No entanto, durante a secagem em condições de temperatura e umidade relativa do ar que geram elevadas taxas de remoção de água, podem afetar substancialmente a qualidade do produto. Considerando a importância do estudo teórico do processo de secagem dos produtos agrícolas, no presente trabalho objetivou-se ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais da secagem dos frutos de baru durante a secagem em diversas condições de ar.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - *Campus* Rio Verde. Foram utilizados frutos de baru (*Dypterix alata* Vog.) coletados manualmente no município de Santa Helena de Goiás - Goiás, com o teor de água inicial de $0,429 \pm 0,044$ base seca (b.s.), sendo submetidos à secagem em estufa com ventilação de ar forçada em quatro condições de temperatura: 40, 60, 80 e 100 °C, que promoveram as umidades relativas de 25,1; 12,2; 5,3 e 1,7%, respectivamente. A secagem prosseguiu até que os grãos atingissem o teor de água de $0,065 \pm 0,018$ (b.s.), determinado em estufa a 105 ± 3 °C, durante 24 h (Brasil, 2009). A redução do teor de água ao longo da secagem foi acompanhada pelo método gravimétrico (perda de massa), conhecendo-se o teor de água inicial do produto até atingir o teor de água desejado. O acompanhamento da redução da massa durante a secagem foi realizado com auxílio de uma balança com resolução de 0,01 g. As temperaturas do ar de secagem e do ambiente foram monitoradas por meio de um termômetro instalado no interior e exterior do secador, sendo a umidade relativa no interior da estufa obtida por meio dos princípios básicos de psicrometria, utilizando o programa computacional GRAPSI. Para a determinação das razões de teor de água dos frutos de baru durante a secagem utilizou-se a Equação 1:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

em que: RX: razão de teor de água do produto, adimensional; X: teor de água do produto (b.s.); X_i : teor de água inicial do produto (b.s.) e X_e : teor de água de equilíbrio do produto (b.s.).

Para obter o teor de água de equilíbrio dos frutos de baru em cada temperatura foi utilizado o modelo de Halsey Modificado, indicado pela Equação 2.

$$X_e = \left[\exp(2,8707^{**} - 0,0084^{**} \cdot T) / -\ln(a_w) \right]_{1,2483^{**}}^1 \quad (2)$$

**Significativo a 1% pelo teste de t.

Aos dados experimentais da secagem dos frutos de baru foram ajustados os modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da secagem de produtos agrícolas (Tabela 1).

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

Designação do modelo	Modelo	
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a)\exp(-k_1 \cdot t)$	Verma	3
$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	Page	4
$RX = \exp(-k \cdot t)$	Newton	5
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	Midilli	6
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	Logarítmico	7
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	Henderson e Pabis	8
$RX = a \cdot \exp(-k_o \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	Dois Termos	9

em que, t : tempo de secagem, h; k, k_o , k_1 : constantes de secagem h^{-1} e a, b, c, n : coeficientes dos modelos.

Os modelos matemáticos foram ajustados por meio de análise de regressão não linear pelo método Gauss-Newton. Os modelos foram selecionados considerando a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), do erro médio relativo (P) e do desvio padrão da estimativa (SE). Considerou-se o valor do erro médio relativo inferior a 10% como um dos critérios para seleção dos modelos, de acordo com Mohapatra e Rao (2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Tabela 2 estão representados os valores do coeficiente de determinação e dos erros médios relativo e estimado dos frutos de baru nas diversas temperaturas. Em relação aos coeficientes de determinação observa-se que os modelos apresentaram valores superiores a 95% para todas as temperaturas de secagem. Ainda na Tabela 2, verifica-se também que apenas os modelos Midilli (6), Logarítmico (7) e Dois Termos (9) apresentaram valores do erro médio relativo (P) inferiores a 10%, para as quatro condições testadas, indicando, de acordo com Mohapatra e Rao (2005), serem adequados para representação do fenômeno de secagem. Com relação ao erro médio estimado (SE), verifica-se que todos os modelos apresentaram valores baixos, sendo relevantes para o bom ajuste dos modelos aos dados experimentais. Assim, os modelos Midilli (6), Logarítmico (7) e Dois Termos (9) representam satisfatoriamente a secagem dos frutos de baru, entretanto o modelo Logarítmico (7) se destaca devido à sua simplicidade de aplicação sendo assim selecionado para representar o fenômeno de secagem.

TABELA 2. Coeficientes de determinação (R^2 , %), erros médio relativo (P, %) e estimado (SE, decimal) para os modelos analisados, durante a secagem dos frutos de baru (*Dypterix alata* Vog.) nas diversas condições de temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

Modelos	40 $^{\circ}\text{C}$			60 $^{\circ}\text{C}$			80 $^{\circ}\text{C}$			100 $^{\circ}\text{C}$		
	SE	P	R^2	SE	P	R^2	SE	P	R^2	SE	P	R^2
3	0,0447	14,20	98,56	0,0436	24,81	98,79	0,0200	2,90	99,60	0,0208	2,44	99,60
4	0,0295	6,83	99,35	0,0290	15,78	99,44	0,0278	7,27	99,18	0,0258	7,84	99,33
5	0,0430	14,20	98,56	0,0417	24,81	98,79	0,0272	7,89	99,16	0,0253	7,39	99,31
6	0,0295	3,92	99,40	0,0142	6,23	99,88	0,0119	2,58	99,87	0,0130	2,25	99,86
7	0,0328	3,74	99,23	0,0136	7,49	99,88	0,0124	1,58	99,85	0,0134	1,53	99,83
8	0,0397	13,17	98,82	0,0410	23,96	98,88	0,0266	8,10	99,25	0,0230	7,43	99,46
9	0,0303	8,05	99,37	0,0031	0,86	99,99	0,0127	1,83	99,85	0,0138	1,54	99,84

Na Figura 1 estão representadas as curvas de secagem dos frutos de baru para as temperaturas estudadas, com os valores experimentais e estimados pelo modelo Logarítmico. Verifica-se o ajuste satisfatório do modelo aos valores experimentais obtidos ao longo da secagem. Nota-se que o tempo necessário para que os frutos de baru atingissem o teor de água de $0,065 \pm 0,018$ (b.s.) foi de 266,3; 166,9; 30,8 e 22,8 h para as temperaturas de secagem de 40, 60, 80 e 100 $^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Percebe-se ainda que o tempo de secagem do produto foi inversamente proporcional a temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura menor o tempo de secagem. Corrêa et al. (2010), ressaltam que a redução do teor de água dos produtos agrícolas, ocorre inteiramente de forma decrescente, em razão da diferença da umidade da superfície e do interior. Entretanto, a secagem realizada com altas temperaturas pode afetar a qualidade do produto. Na Tabela 3, estão apresentados os valores dos coeficientes “a”, “k” e “c” do modelo de Logarítmico ajustado aos dados experimentais da cinética de secagem dos frutos de baru em diferentes temperaturas.

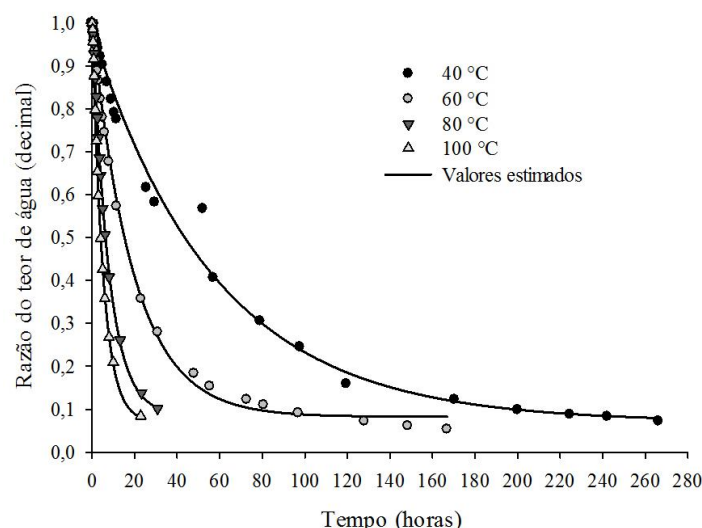


FIGURA 1. Curvas de secagem dos frutos de baru (*Dypterix alata* Vog.) estimadas pelo modelo Logarítmico nas diferentes temperaturas de 40, 60, 80 e 100 °C.

TABELA 3. Coeficientes do modelo Logarítmico ajustado para as diferentes condições de secagem dos frutos de baru (*Dypterix alata* Vog.).

Coeficiente	Temperaturas			
	40	60	80	100
a	0,911724**	0,917230**	0,944254**	0,962794**
k	0,017255**	0,051663**	0,13041**	0,197454**
c	0,07018**	0,082451**	0,086418**	0,070809**

**Significativo a 1% pelo teste de t.

Na Tabela 3, nota-se que a magnitude da constante de secagem k para o modelo Logarítmico, que representa o efeito das condições externas de secagem, aumentou linearmente com a elevação da temperatura do ar de secagem.

CONCLUSÕES: O tempo de secagem reduz com o aumento da temperatura, sendo de 266,3 horas para a temperatura de 40 °C e de 22,8 horas para a temperatura de 100 °C. Dentre os modelos analisados, os modelos de Midilli, Logarítmico e Dois Termos são adequados para representar a secagem dos frutos de baru, sendo o modelo Logarítmico selecionado devido à simplicidade.

REFERÊNCIAS

- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. **Regras ara análise de sementes**. Brasília, 2009. 398p.
- CORREA, G.C.; NAVES, R.V.; ROCHA, M.R.; CHAVES, L.J.; BORGES, J.D. Determinações físicas em frutos e sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog.), cajuzinho (*Anacardium othonianum* Rizz.) e pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.), visando melhoramento genético. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 4, p. 42-47, 2008.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, London, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005.
- PESKE, S. T.; VILLELA, F. A. **Secagem de sementes**. In: PESKE, S. T.; LUCCA FILHO, O. A.; BARROS, A. C. S. A. Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos. 2 ed. Pelotas: UFPel, 2006. p. 332.
- RESENDE, O.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; BOTELHO, F.M.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. v. 10, n. 1, p. 17-26, 2008.