

CINÉTICA DE SECAGEM DE FOLHAS DE TIMBÓ (*Serjania marginata* Casar)

ELTON APARECIDO SIQUEIRA MARTINS¹, CESAR PEDRO HARTMANN FILHO², EDUARDO ZANETTI LAGE³, ANDRÉ LUÍS DUARTE GONELI⁴, HENRIQUE DA CRUZ BENITEZ VILHASANTI⁵

¹ Eng. Agrícola, Mestrando em Engenharia Agrícola, UFGD / Dourados-MS, elton_asm@yahoo.com.br

² Eng. Agrônomo, Mestrando em Agronomia, UFGD / Dourados-MS, cphartmann21@hotmail.com

³ Eng. Agrícola, Mestrando em Engenharia Agrícola, UFGD / Dourados-MS, ezanettelage@yahoo.com.br

⁴ Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto, UFGD / Dourados-MS, andregoneli@ufgd.edu.br

⁵ Graduando em Engenharia Agrícola, UFGD / Dourados-MS, henrique_vilhasanti716@hotmail.com

Apresentado no
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: O timbó (*Serjania marginata* Casar) é uma espécie vegetal de hábito trepador escandente, apresentando uma grande ocorrência no cerrado brasileiro. Possui propriedades medicinais, sendo o composto de suas folhas utilizado popularmente para dores de estômago. Normalmente, estas plantas possuem alto teor de água estando sujeitas à alta infestação por microrganismos, tornando o processo de secagem fundamental para manutenção da qualidade destes produtos. Dessa forma o objetivo deste trabalho foi avaliar a cinética de secagem de folhas de timbó, bem como ajustar diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais de razão de umidade. As folhas de timbó foram colhidas com teor de água inicial de aproximadamente 67% b.u., sendo submetidas a secagem sob condições de temperaturas controladas (40, 50, 60 e 70 °C), até o teor de água de aproximadamente $7,4 \pm 2\%$ b.u. Aos dados experimentais, foram ajustados dez modelos matemáticos utilizados para representação da secagem de produtos agrícolas. Com base nos resultados obtidos, o modelo matemático de Midilli foi o que melhor representou a cinética de secagem para as folhas de timbó. O aumento da temperatura promoveu uma maior taxa de remoção de água nas folhas de timbó durante a secagem.

PALAVRAS-CHAVE: modelo de Midilli, modelagem matemática, razão de umidade

DRYING KINETICS OF *Serjania marginata* Casar LEAVES

ABSTRACT: The *Serjania marginata* Casar is a species of climbing scandent habit, with a high occurrence in the Brazilian cerrado. It has medicinal properties, being composed of its leaves popularly used for stomach pains. Typically, these plants have high water content and is subject to high infestation by microorganisms, making the process of drying essential to maintaining the quality of these products. Thus the aim of this work was to evaluate the kinetics of drying leaves *Serjania marginata* as well as fit different mathematical models to the experimental data of moisture ratio. The *Serjania marginata* leaves were harvested with an initial moisture content of approximately 67% w.b. and submitted to drying process under controlled conditions of temperature (40, 50, 60 and 70 °C), until the approximate moisture content of $7,4 \pm 2\%$ w.b.. Ten mathematical models were fitted to the experimental data and utilized to predict the drying process of agricultural products. Based on the results, the mathematical model Midilli was best represented the kinetics of drying leaves *Serjania marginata*. The temperature increase of the drying air promotes higher removal rate of water from the product.

KEYWORDS: Midilli model, mathematical modeling, moisture ratio

INTRODUÇÃO: O timbó (*Serjania marginata* Casar.), é uma espécie vegetal de hábito trepador escandente, apresentando uma grande ocorrência no cerrado brasileiro. Segundo Bourdy et al. (2004), o timbó possui propriedades medicinais, sendo o composto de suas folhas utilizados popularmente para dores de estômago. O interesse por produtos com potencial terapêutico, condimentares e

aromáticas vem crescendo a cada dia que passa, tanto no Brasil como no mundo. Assim como muitas plantas medicinais, o timbó é normalmente colhido com um teor de água inadequado para um correto armazenamento. Com isso, há necessidade de redução da quantidade de água do material e assim minimizar as atividades biológicas e mudanças químicas que ocorrem no produto durante o armazenamento, que poderiam reduzir a qualidade final deste produto. Devido a esses fatos acaba-se tornando essencial, além das praticas agrícolas sustentáveis e mais eficientes, o desenvolvimento de técnicas eficientes de secagem e armazenamento para que a biomassa produzida pela planta e suas propriedades químicas possam ser aproveitadas de forma integral e efetiva (TABALDI et al., 2012). Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi o de estudar a cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar), bem como ajustar diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais da razão de umidade deste produto.

MATERIAL E MÉTODOS: Foram utilizadas folhas de timbó, colhidas com um teor de água inicial de aproximadamente 67% b.u.. O teor de água das amostras foi determinado pelo método gravimétrico recomendado pela ASAE (2000), para forrageiras e plantas similares. A secagem do produto foi realizada para diferentes condições controladas de temperatura (40, 50, 60, 70 °C), com suas correspondentes umidades relativas do ar de secagem, durante a condução do experimento, de 19,2; 16,4; 9,3 e 4,8%, em uma estufa com ventilação forçada, até que o produto atingisse o teor de água de equilíbrio. A temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas por meio de psicrômetro instalado próximo à estufa contendo as amostras. Foram colocadas no interior do equipamento, três bandejas removíveis com fundo telado para permitir a passagem do ar através da camada de produto. Durante o processo de secagem, as bandejas com as amostras foram pesadas periodicamente, com o auxílio de uma balança digital de 0,01g de resolução. Para fins de modelagem matemática, considerou-se o fim da secagem quando o teor de água do produto estivesse com aproximadamente $7,4 \pm 2\%$ b.u. A razão de umidade (RU) das folhas de timbó durante a secagem nas diferentes condições de ar, foi determinada por meio da seguinte equação:

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (1)$$

em que,

RU - razão de umidade do produto, adimensional; U - teor de água do produto em um determinado tempo, decimal (b.s.); U_e - teor de água de equilíbrio do produto, decimal (b.s.); U_i - teor de água inicial do produto, decimal (b.s.).

Aos dados de razão de umidade, obtidos experimentalmente durante a secagem de folhas de timbó, foram ajustados os seguintes modelos matemáticos (Tabela 1):

TABELA 1. Modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de secagem de folhas de timbó.

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

θ - tempo de secagem, h; k, k_0 , k_1 - constantes de secagem, h^{-1} ; a, b, c, n - coeficientes dos modelos.

Os dados experimentais de cinética de secagem de folhas de timbó foram submetidos à análise de regressão não linear, pelo método de Gauss-Newton, utilizando o software Statística 8.0[®], e seleção do modelo matemático adequado para expressar a relação entre as variáveis estudadas. Para análise do grau de ajuste de cada modelo, foram consideradas as magnitudes do coeficiente de determinação

ajustados, do erro médio relativo, do desvio padrão da estimativa e o comportamento da distribuição dos resíduos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A Tabela 1 apresenta os valores dos parâmetros estatísticos, desvio padrão da estimativa (SE), erro médio relativo (P), coeficiente de determinação (R^2) e a distribuição dos resíduos, utilizados para comparação e seleção dos dez modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais de secagem de folhas de timbó em diferentes condições de temperatura do ar de secagem.

TABELA 2. Parâmetros estatísticos e distribuição dos resíduos (TD = tendenciosa; AL = aleatória) para os modelos de secagem das folhas de timbó.

Modelos	40				50			
	SE (decimal)	P (%)	R^2 (decimal)	Distribuição dos resíduos	SE (decimal)	P (%)	R^2 (decimal)	Distribuição dos resíduos
(2)	0,0288	18,3366	0,9920	TD	0,0156	15,4581	0,9981	AL
(3)	0,0244	15,8718	0,9944	TD	0,0165	15,6466	0,9982	AL
(4)	0,0323	20,5100	0,9913	TD	0,0152	17,3491	0,9980	AL
(5)	0,0416	30,7243	0,9828	TD	0,0299	35,6977	0,9925	TD
(6)	0,0125	8,5036	0,9985	AL	0,0159	9,5847	0,9981	AL
(7)	0,0131	7,1517	0,9984	AL	0,0126	5,9398	0,9989	AL
(8)	0,0424	32,7599	0,9816	TD	0,0327	40,3597	0,9900	TD
(9)	0,0308	18,5508	0,9906	TD	0,0141	15,4276	0,9983	AL
(10)	0,0430	32,7621	0,9816	TD	0,0343	40,3669	0,9900	TD
(11)	0,0178	3,1090	0,9969	TD	0,0228	18,9601	0,9956	TD

Modelos	60				70			
	SE (decimal)	P (%)	R^2 (decimal)	Distribuição dos resíduos	SE (decimal)	P (%)	R^2 (decimal)	Distribuição dos resíduos
(2)	0,0330	30,5777	0,9946	TD	0,0339	26,9164	0,9952	TD
(3)	0,0888	68,8266	0,9705	TD	0,1064	65,9551	0,9686	TD
(4)	0,0327	34,7260	0,9933	TD	0,0329	30,9251	0,9940	TD
(5)	0,0688	68,8266	0,9705	TD	0,0747	65,4678	0,9691	TD
(6)	0,0224	19,2416	0,9975	AL	0,0292	21,6274	0,9964	AL
(7)	0,0141	9,0192	0,9993	AL	0,0175	8,3537	0,9991	AL
(8)	0,0674	73,9101	0,9660	TD	0,0707	69,4878	0,9654	TD
(9)	0,0243	22,4068	0,9963	TD	0,0227	17,8921	0,9971	AL
(10)	0,0738	73,9130	0,9660	TD	0,0790	69,4925	0,9654	TD
(11)	0,0146	12,3766	0,9987	AL	0,0194	14,5407	0,9979	AL

Observa-se que para todas as temperaturas utilizadas na secagem de folhas de timbó, os modelos ajustados aos dados experimentais apresentaram valores de coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,95, o que segundo Kashaninejad et al. (2007) indica uma representação satisfatória destes modelos para o processo de secagem estudado. Madamba et al. (1996) afirma que o uso do valor do coeficiente de determinação como único critério, não é um bom parâmetro para seleção de modelos matemáticos não lineares para representar o processo de secagem. Observa-se também na Tabela 1 que o único modelo que apresentou valores de erro médio relativo (P) menor que 10%, no processo de secagem de folhas de timbó para todas as temperaturas estudadas, foi o modelo de Midilli. Segundo Kashaninejad et al. (2007) os valores do erro médio relativo (P) indicam o desvio dos dados observados a partir da curva estimada pelo modelo. Mohapatra e Rao (2005) afirmam que modelos que apresentam valores de erro médio relativo superior a 10% são inadequados para representar o processo de secagem. Ainda na Tabela 2, analisando os valores do desvio padrão da estimativa (SE), nota-se que os modelos Logarítmico e de Midilli apresentaram os menores valores de SE. De acordo com Siqueira et al. (2012) quanto menor os valores de SE melhor o ajuste do modelo aos dados observados. De acordo com a Tabela 2 apenas os modelos Logarítmico (6) e o de Midilli (7) apresentam distribuição dos resíduos aleatória para todas as temperaturas do ar de secagem. Segundo Goneli et al. (2011) um modelo é considerado aceitável se apresentar a distribuição dos resíduos aleatória, caso o modelo apresente distribuição dos resíduos de forma tendenciosa o mesmo não é adequado para representar o

fenômeno em questão. Assim, com base nos parâmetros estatísticos analisados e na distribuição dos resíduos, recomenda-se o modelo de Midilli para representar a secagem de folhas de timbó.

Na Figura 1, são apresentados os valores observados e os estimados da razão de umidade pelo modelo de Midilli, para todas as temperaturas em que as folhas de timbó foram submetidas durante a secagem.

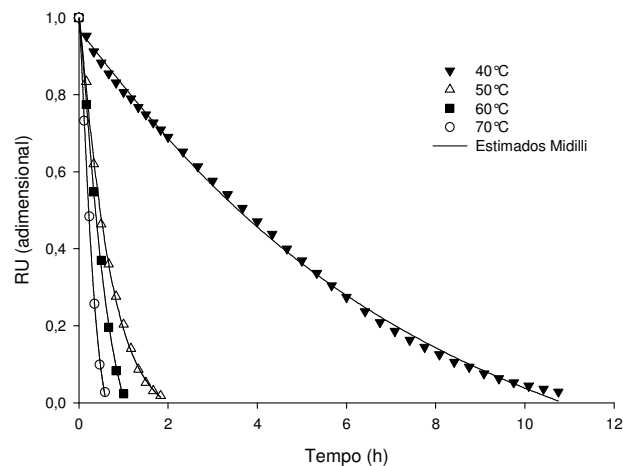


FIGURA 1. Valores de razão de umidade observados e estimados, pelo modelo de Midilli, para o processo de secagem das folhas de timbó.

De acordo com a Figura 1, observa-se que com o aumento da temperatura do ar de secagem aumenta diretamente a taxa de remoção de água, diminuindo assim o tempo de secagem. Pode se observar na Figura 1, que para as folhas de timbó atingirem a umidade, em base úmida, de $7,4 \pm 2\%$ foi necessário 10,8; 1,8; 1,0 e 0,6 horas para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C respectivamente.

CONCLUSÕES: Baseando-se em parâmetros estatísticos e na distribuição dos resíduos, o modelo matemático proposto por Midilli, dentre os modelos testados, foi o que apresentou melhor ajuste, sendo o selecionado para a representação da cinética de secagem das folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar).

AGRADECIMENTOS: À Capes e à Fundect, pelo apoio financeiro à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ASABE. Moisture Measurement – Forages: Standard S358.2 DEC1988, R2008. In: **American Society of Agricultural and Biological Engineers** (Ed.). Standards, Engineering Practices, and Data. St. Joseph: ASABE, 2010. p.684-685.
- BOURDY, G.; MICHEL, L. R. C.; ROCA-COULTHARD, A. Pharmacopeia in a shamanistic society: the Izoceño-Guaraní (Bolivian Chaco). **Journal of Ethnopharmacology**, v.91, p.189-208, 2004.
- GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; MAGALHAES, F. E. A.; BAPTESTINI, F. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33, p.01-08, 2011.
- KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v.78, p.98-108, 2007.
- MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The Thin-layer Drying Characteristics of Garlic Slices. **Journal of Food Engineering**, v.29, p.75-97, 1996.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v.66, p.513-518, 2005.
- SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Drying kinetics of Jatropha seeds. **Revista Ceres**, v.59, p.171-177, 2012.
- TABALDI, L. A.; VIEIRA, M. C.; ZÁRATE, N. A. H.; SILVA, L. R.; GONÇALVES, W. L. F.; PILECCO, M.; FORMAGIO, A. S. N.; GASSI, R. P.; PADOVAN, M. P. Cover crops and their effects on the biomass yield of *Serjania marginata* plants. **Ciência Rural**, v.42, p.614-620, 2012.