

# MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DE CASCAS DE MULUNGU

## MATHEMATICAL MODELING OF THE DRYING OF HUSKS MULUNGU

Jorge Jacó Alves MARTINS<sup>1</sup>; Jordânio Inácio MARQUES<sup>1</sup>; Dyego da Costa SANTOS<sup>2</sup>;  
Ana Paula Trindade ROCHA<sup>3</sup>

1. Discente do curso de Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande, PB, Brasil. [jaco-m@hotmail.com](mailto:jaco-m@hotmail.com); 2. Discente do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - UFCG, Campina Grande, PB, Brasil; 3. Professora, Doutora, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande, PB, Brasil.

**RESUMO:** O *Erythrina velutina*, conhecido popularmente como mulungu, vem sendo utilizado no Nordeste brasileiro devido suas propriedades medicinais. Suas cascas, após extração da árvore, apresentam elevado teor de água necessitando de secagem para atender às necessidades da indústria farmacêutica de fitoterápicos. Objetivou-se com este trabalho secar cascas de mulungu nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C e ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados da cinética de secagem. Constatou-se que as cascas de mulungu apresentaram elevados tempos de secagem, com tempos variando de aproximadamente 35 h para a temperatura de 40 °C e 14 h para a temperatura de 70 °C. O aumento da temperatura de desidratação promoveu elevação das taxas de secagem, atingindo valor superior a  $9 \times 10^{-3}$  kg kg.min<sup>-1</sup> à 70 °C no início da secagem, decrescendo posteriormente com o decorrer do processo. Dentre os modelos matemáticos avaliados, o de Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da secagem de cascas de mulungu, apresentando os maiores valores de coeficientes de determinação ( $R^2$ ), baixos desvios quadráticos médios (DQM) e tendência aleatória de distribuição dos resíduos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Plantas medicinais. *Erythrina velutina*. Desidratação. Modelos matemáticos.

### INTRODUÇÃO

A *Erythrina velutina* é uma árvore de 8-12 m de altura, com flores vermelhas, fruto do tipo folículo, distribuída nas Américas Central e do Sul. É característica de várzea úmida e margens de rios temporários da caatinga na região semiárida nordestina (SILVA JUNIOR et al., 2012). A *E. velutina* é popularmente conhecida como suinã, mulungu, corticeira, mulungu-da-caatinga dentre outros. Das várias espécies distribuídas pelo mundo cerca de doze estão no Brasil (VIRTUOSO et al., 2005).

O mulungu tem sido utilizado na medicina popular em algumas regiões do país. A casca é utilizada, principalmente no Nordeste brasileiro, pelas propriedades sudorífica, calmante, emoliente, peitoral, anestésica local e outras (VIRTUOSO et al., 2005). Estudos farmacológicos realizados em diferentes laboratórios brasileiros têm demonstrado que extratos do gênero *Erythrina* apresentam efeitos periféricos e sobre o sistema nervoso central, podendo ser utilizado como tranquilizante. Atua também como antinociceptivo, ansiolítico/sedativo, relaxante muscular e possui ação antibacteriana (DANTAS et al., 2004; VASCONCELOS et al., 2004; MARCHIORO et al., 2005; VIRTUOSO et al., 2005; SANTOS et al., 2007).

Para o aproveitamento da casca do mulungu na indústria farmacêutica é necessário remove-la da árvore. Após extração, as cascas apresentam elevado

teor de água, o que torna necessário secá-las. Uma vez que na literatura especializada não foram encontrados estudos a cerca da secagem de mulungu, são necessárias pesquisas específicas com esta finalidade, visto que é um dos processos mais importantes para a exploração comercial de produtos de origem vegetal.

De acordo com Lorenzi e Matos (2002), nas espécies medicinais a secagem é uma operação unitária de preparação para o armazenamento a fim de atender às necessidades da indústria farmacêutica de fitoterápicos, que não tem estrutura para usar as plantas frescas nas quantidades exigidas para a produção industrial. O processo de secagem implica em considerável redução de volume e indiretamente redução de custos em transportes e manipulação do produto, além de possibilitar a conservação das plantas por maior tempo (PRATES et al., 2012).

Quando o material vegetal é colocado em contato com o ar quente ocorre uma transferência de calor do ar ao produto sob efeito da diferença de temperatura existente entre eles. Simultaneamente, a diferença de pressão parcial de vapor de água existente entre o ar e a superfície do produto determina uma transferência de massa para o ar, na forma de vapor de água (ALEXANDRE et al., 2009; SANTOS et al., 2014a). Lima et al. (2007) relatam que o processo de secagem deve acontecer de forma controlada para que seja uniforme, evitando elevados gradientes de umidade e temperatura no interior do material que podem provocar a perda da

qualidade do produto. Os efeitos da secagem alteram as propriedades físicas e químicas do produto e que estes, por sua vez, afetam o processo de transferência de calor e massa, por isso é fundamental se conhecer os seus efeitos e o seu controle.

Ante o exposto, objetivou-se com este trabalho ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais da cinética de secagem de cascas de mulungu (*E. velutina*) em estufa, com circulação forçada de ar.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas cascas de mulungu extraídas de árvores situadas na cidade de Soledade-PB (7° 3' 27" Sul, 36° 21' 47" Oeste). O material vegetal foi conduzido em caixas térmicas ao Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, onde o estudo foi realizado.

As cascas foram selecionadas para eliminação de sujidades provenientes do campo, e trituradas em pedaços com cerca de 10 cm de comprimento, 4 cm centímetros de largura e 0,6 cm de espessura. Os ensaios foram realizados em blocos inteiramente casualizados, com quatro tratamentos (temperaturas de secagem) e três repetições, cada uma constituída por aproximadamente 400 g de amostra dispostas em bandejas confeccionadas com telas de alumínio (malha de 5mm). Antes do início das secagens, determinou-se o teor de água inicial das cascas de mulungu pelo método de estufa a 105 ± 2° C até peso constante, segundo método do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

No estudo da cinética de secagem, as bandejas contendo as amostras com teor de água de aproximadamente 62,5% b.u. foram pesadas e direcionadas para a secagem em camada fina em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 °C, e velocidade do ar de secagem fixada em aproximadamente 1,5 m s<sup>-1</sup>

<sup>1</sup>, uma vez que alterações nessa valor poderiam influenciar na taxa de secagem. As temperaturas de secagem foram determinadas com base na literatura especializada que, frequentemente, utiliza temperaturas iguais ou próximas às estabelecidas neste trabalho em desidratações de plantas medicinais e produtos agrícolas (MARTINAZZO et al., 2007a; RADÜNZ et al., 2010; PRATES et al., 2012; DIÓGENES et al., 2013; SANTOS et al., 2013a; SANTOS et al., 2014b) . Monitorou-se a perda de água através de pesagens em períodos regulares, inicialmente de 10, 15, 20 e 30 min, e posteriormente em intervalos de 60 min, até que as amostras atingissem massa constante. Ao final da secagem também se determinou o teor de água exato final das amostras (IAL, 2008). Neste trabalho, desprezou-se a influência de fatores ambientais nos resultados.

As razões de água (RX) foram calculadas e construídas a partir dos dados de perda de massa das amostras de cascas de mulungu durante as secagens e dos teores de água determinados no final das mesmas. Para a determinação das razões de água foi utilizada a equação (1).

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

em que,  
RX - razão de água (adimensional);  
X - teor de água;  
X<sub>i</sub> - teor de água inicial;  
X<sub>e</sub> - teor de água de equilíbrio.

Ajustou-se os modelos matemáticos de Dois termos, Exponencial de Dois Termos, Henderson e Pabis, Logarítmico, Midilli e Page (Tabela 1) aos dados experimentais da cinética de secagem de cascas de mulungu, equações essas frequentemente utilizadas na predição da secagem de plantas medicinais e produtos agrícolas, utilizando-se o programa computacional Statística 5.0<sup>®</sup> através de análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton.

**Tabela 1.** Modelos matemáticos ajustados à cinética de secagem das cascas de mulungu.

Designação do modelo	Equação	Referência	
Dois Termos	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-q \cdot t)$	(PRATES et al., 2012)	(2)
Exponencial de Dois Termos	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-k \cdot a \cdot t)$	(RESENDE et al., 2009)	(3)
Henderson e Pabis	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	(REIS et al., 2012)	(4)
Logarítmico	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	(RADÜNZ et al., 2011)	(5)
Midilli	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	(MIDILLI et al., 2002)	(6)
Page	$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	(LIMA et al., 2007)	(7)

em que: RX - razão de água (adimensional); a, b, c, k, n, q - constantes do modelo; t - tempo (h).

Para seleção do modelo matemático que melhor representa o processo de secagem das cascas de mulungu, utilizou-se como critério de avaliação o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio quadrático médio (DQM), em que quanto menor o valor de DQM melhor é a representação do modelo empregado (LIMA et al., 2007), de acordo com a equação (8).

$$DQM = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

em que,

DQM - desvio quadrático médio;

$RX_{pred}$  - razão de água predita pelo modelo;

$RX_{exp}$  - razão de água experimental;

n - número de observações.

Na determinação das taxas de secagem das amostras utilizou-se a equação (9), a partir dos dados de teor de água das cascas de mulungu e dos tempos de secagem.

$$TX = \frac{X_{t+dt} - X_t}{dt} \quad (9)$$

em que:

TX - taxa de secagem, kg kg.min<sup>-1</sup>;

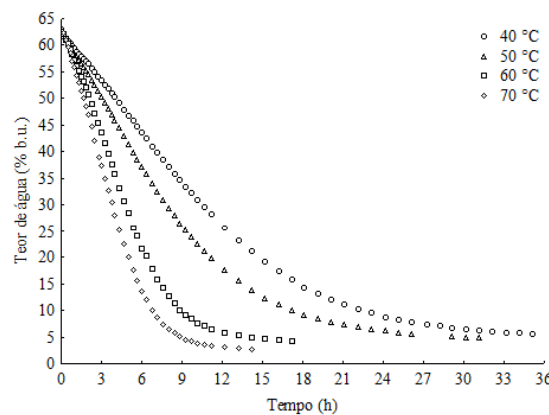
$X_{t+dt}$  - teor de água em t + dt, (kg de água/kg de matéria seca);

$X_t$  - teor de água no tempo t, (kg de água/kg de matéria seca);

t - tempo de secagem, min.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Têm-se na Figura 1 as curvas de secagem das cascas de mulungu nas temperaturas de 40 a 70 °C, expressos pelo teor de água em função do tempo. O teor de água inicial das cascas de mulungu foi de aproximadamente 62,5% b.u., sendo este teor reduzido para 5,56; 4,88; 4,30 e 2,76% b.u., para as secagens nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente. Os tempos necessários para se atingir os teores de água de equilíbrio foram de 35,17 h (40 °C), 31,17 h (50 °C), 17,17 h (60 °C) e 14,17 h (70 °C). Fica evidente que o tempo total do processo foi afetado pela temperatura, em que quanto maior a temperatura do ar de secagem menor foi o tempo de desidratação, fenômeno comum e relatado em uma grande variedade de plantas medicinais (DOYMAZ, 2006; DOYMAZ et al., 2006; MARTINAZZO et al., 2007; RADÜNZ et al., 2010; RADÜNZ et al., 2011; PRATES et al., 2012; REIS et al., 2012; ROCHA et al., 2012).



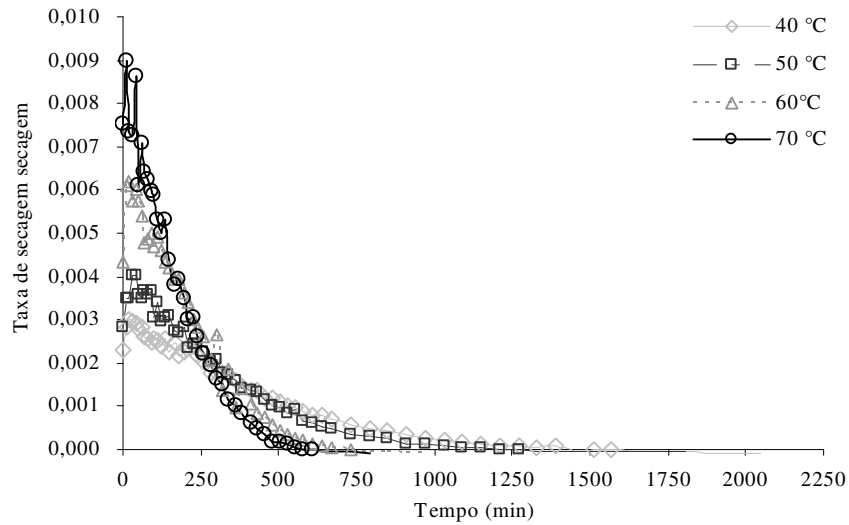
**Figura 1.** Curvas de secagem das cascas de mulungu nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

O comportamento inversamente proporcional da temperatura e do tempo de secagem é explicado por Sousa et al. (2011), que relatam que o aumento da temperatura do ar de secagem faz com que haja uma maior taxa de remoção de água do produto devido a um maior gradiente de umidade entre o produto e o ar, decrescendo o tempo necessário para reduzir o teor de água até o valor desejado. Apesar de redução do tempo de secagem com o aumento da temperatura, nota-se que este permaneceu superior a 14 h, devido à rigidez das cascas de mulungu, o que dificultou a perda de água.

A Figura 2 apresenta as taxas de secagem das cascas de mulungu desidratadas em diferentes temperaturas. Constata-se que as secagens foram processadas em períodos de queda de velocidade e a taxa de remoção de água das amostras foi mais rápida no início das secagens, devido à fácil eliminação da água livre das cascas de mulungu, sendo reduzido com o prosseguimento das desidratações. No final da secagem a água encontrava-se em regiões mais intrínsecas das cascas de mulungu, necessitando de maior energia para a sua evaporação, assim a secagem das amostras ocorreu mais lentamente, resultando em menores valores da taxa de secagem (RESENDE et

al., 2009). A maior taxa de secagem foi detectada na desidratação a 70 °C, com magnitude superior a  $9 \times 10^{-3} \text{ kg kg.min}^{-1}$ , enquanto que a menor taxa de

secagem foi verificada na temperatura de 40 °C (valor superior a  $2 \times 10^{-3} \text{ kg kg.min}^{-1}$ ).



**Figura 2.** Taxas de secagem ( $\text{kg kg.min}^{-1}$ ) das cascas de mulungu desidratadas nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Verifica-se, na Tabela 2, o ajuste dos modelos matemáticos por regressão não linear aos dados de cinética de secagem das cascas de mulungu em camada fina, considerando-se as diferentes temperaturas do ar de secagem, com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM). De acordo com os resultados, apenas os modelos Midilli e Page apresentaram valores de  $R^2$  superiores a 0,99, para todas as temperaturas estudadas, indicando uma

representação satisfatória do fenômeno em estudo (MADAMBA et al., 1996). Entretanto, levando-se em consideração que os valores de  $R^2$ , sozinhos, não constituem bom critério para a seleção de modelos não lineares, os dados de DQM foram considerados. Em análise ao DQM, nota-se que apenas os modelos Logarítmico e Midilli apresentaram variação na última casa decimal, sendo o modelo de Midilli considerado como tendo os melhores parâmetros de ajuste, com os maiores  $R^2$  e DQM inferior a 0,0009.

**Tabela 2.** Parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos utilizados na predição da cinética de secagem de cascas de mulungu nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM)

Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros						$R^2$	DQM
		a	b	c	k	n	q		
Dois Termos	40	0,5385	0,5385	-	0,0915	-	0,0915	0,9854	0,0773
	50	0,5417	0,5417	-	0,1281	-	0,1281	0,9885	0,0608
	60	0,5593	0,5593	-	0,2102	-	0,2102	0,9739	0,0780
	70	0,5591	0,5591	-	0,2634	-	0,2635	0,9742	0,0830
Exponencial de Dois Termos	40	1,0000	-	-	0,0829	-	-	0,9759	0,0297
	50	1,9010	-	-	0,1822	-	-	0,9994	0,0219
	60	1,0000	-	-	0,1839	-	-	0,9558	0,0332
	70	1,9947	-	-	0,3756	-	-	0,9956	0,0531
Henderson e Pabis	40	1,0769	-	-	0,0915	-	-	0,9854	0,0773
	50	1,0835	-	-	0,1281	-	-	0,9885	0,0608
	60	1,1186	-	-	0,2102	-	-	0,9739	0,0780
	70	1,1182	-	-	0,2635	-	-	0,9742	0,0830

Logarítmico	40	1,2021	-	-0,1549	0,0679	-	-	0,9951	0,0001
	50	1,1451	-	-0,0806	0,1086	-	-	0,9932	0,0001
	60	1,2435	-	-0,1586	0,1567	-	-	0,9861	0,0001
	70	1,2340	-	-0,1528	0,1959	-	-	0,9872	0,0001
Midilli	40	0,9853	-0,0004	-	0,0314	1,3911	-	0,9999	0,0003
	50	0,9884	0,0001	-	0,0503	1,4020	-	0,9999	0,0004
	60	0,9773	-0,0001	-	0,0644	1,6214	-	0,9996	0,0004
	70	0,9730	-0,0004	-	0,0927	1,6052	-	0,9995	0,0009
Page	40	-	-	-	0,0344	1,3709	-	0,9994	0,0327
	50	-	-	-	0,0553	1,3619	-	0,9997	0,0085
	60	-	-	-	0,0755	1,5472	-	0,9991	0,0245
	70	-	-	-	0,1088	1,5268	-	0,9988	0,0296

Esses dados corroboram com Radünz et al. (2010) que, ao analisarem a cinética de secagem de folhas de sálvia, concluíram que o modelo de Midilli teve bom ajuste aos dados experimentais de secagem; Prates et al. (2012) estudaram a secagem de *Solanum lycocarpum* e relataram que o modelo de Midilli representou satisfatoriamente o fenômeno de secagem da espécie; Martinazzo et al. (2007) também verificaram que o modelo de Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados de cinética de secagem de folhas de capim-limão.

O parâmetro “k” de todos os modelos avaliados aumentou com a elevação da temperatura de secagem. Comportamento similar foi relatado Prates et al. (2012) na secagem de folhas de *S. lycocarpum*, em que o parâmetro “k” também aumentou com a elevação da temperatura de secagem em todos os modelos avaliados. Corrêa et

al. (2010) afirmam que o parâmetro “k” tende a aumentar visto que maiores temperaturas acarretam maiores taxas de secagem chegando ao teor de água de equilíbrio em menor tempo de submissão do produto ao ar de secagem. Essa constante de secagem (k) está relacionada à difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente, sendo a difusão líquida que controla o processo de secagem (SOUSA et al., 2011).

A Tabela 3 apresenta a tendência de distribuição de resíduos de todos os modelos ajustados à cinética de secagem de cascas de mulungu em diferentes condições do ar de secagem. Verifica-se que a equação de Midilli foi o único modelo com distribuição aleatória dos resíduos em todas as temperaturas estudadas, resultando em melhor ajuste aos dados de secagem de cascas de mulungu.

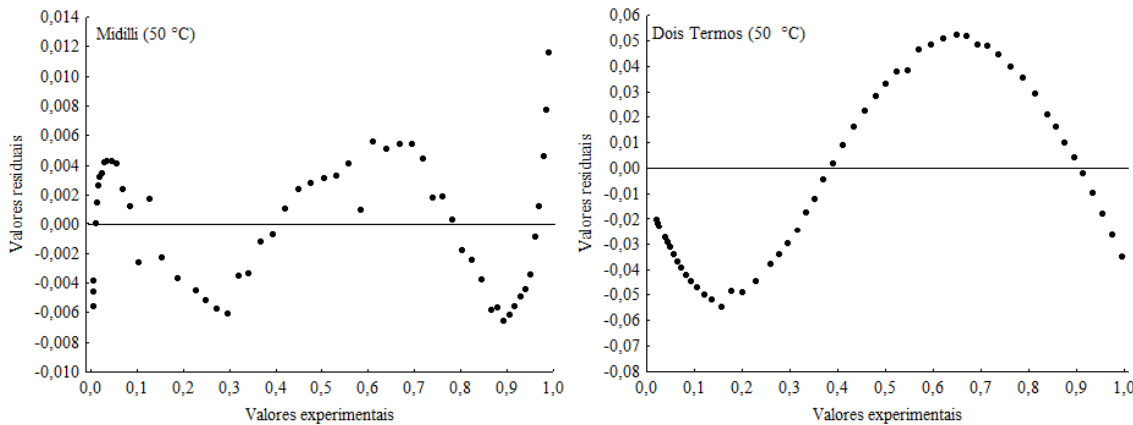
**Tabela 3.** Tendência de distribuição de resíduos para os modelos ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem de cascas de mulungu.

Modelo matemático	Temperatura (°C)			
	40	50	60	70
Dois Termos	Tendencioso	Tendencioso	Tendencioso	Tendencioso
Exponencial de Dois Termos	Tendencioso	Aleatório	Tendencioso	Tendencioso
Henderson e Pabis	Tendencioso	Tendencioso	Tendencioso	Tendencioso
Logarítmico	Tendencioso	Tendencioso	Tendencioso	Tendencioso
Midilli	Aleatório	Aleatório	Aleatório	Aleatório
Page	Aleatório	Aleatório	Aleatório	Tendencioso

Podem-se observar, na Figura 3, as ilustrações das tendências de distribuição dos resíduos aleatório (modelo de Midilli a 50 °C) e tendencioso (Modelo de Dois Termos a 50 °C) da secagem de cascas de mulungu. Esses resíduos foram obtidos por meio da diferença entre os valores experimentais e os valores estimados pelos modelos.

De acordo com Goneli et al. (2011), um modelo é considerado aceitável se os valores dos resíduos apresentaram distribuição aleatória. Se apresentar distribuição tendenciosa, o modelo é considerado inadequado para representar o fenômeno em questão. A não formação de figuras definidas indica aleatoriedade dos resultados (SANTOS et al.,

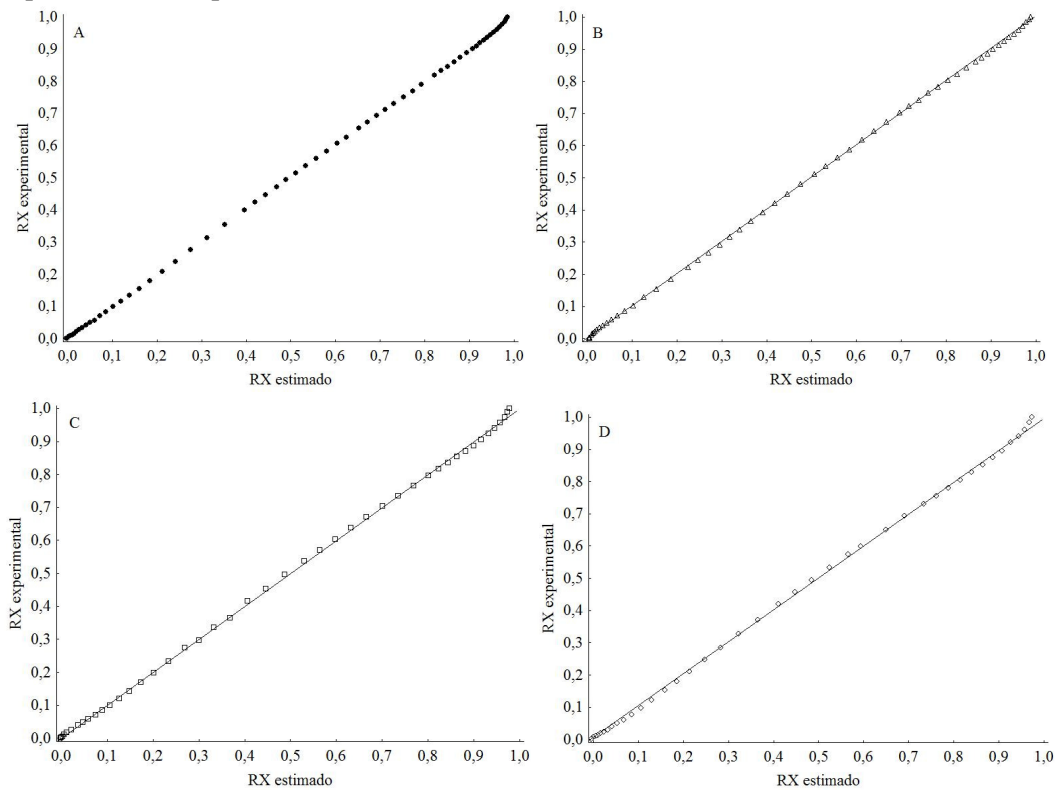
2013b) e um bom ajuste do modelo à cinética de secagem.



**Figura 3.** Tendência de distribuição dos resíduos para os modelos de Midilli e Dois Termos (50 °C) com distribuições aleatória e tendenciosa, respectivamente, durante a cinética de secagem de cascas de mulungu.

Têm-se na Figura 4 o gráfico de razão de teor de água (RX), experimentais e estimados, referente à equação de Midilli, para a cinética de secagem de cascas de mulungu em diferentes condições do ar de secagem. Essa figura foi construída para melhor compreensão do ajustamento do modelo aos dados obtidos nas desidratações. Constata-se que os dados experimentais encontram-

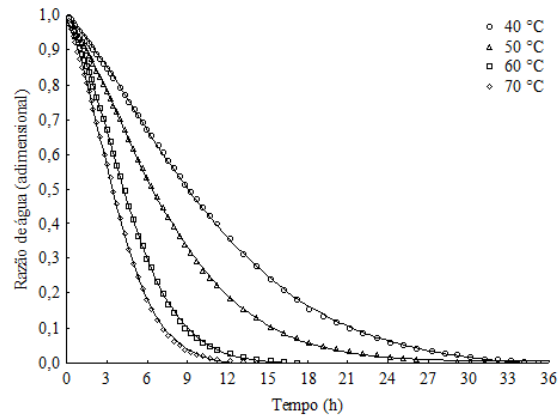
se próximos da reta que passa pela origem, que teoricamente representa a igualdade entre os valores observados e estimados (CORRÊA et al., 2010). Essa dispersão dos dados experimentais em relação aos dados estimados indica ajustamento da equação de Midilli aos dados da secagem de cascas de mulungu (AFONSO JÚNIOR; CORRÊA, 1999).



**Figura 4.** Relação entre os valores experimentais e estimados de razão de teor de água pelo modelo de Midilli para a cinética de secagem de cascas de mulungu nas temperaturas de 40 (A), 50 (B), 60 (C) e 70 °C (D), respectivamente.

Observa-se na Figura 5 o ajuste do modelo matemático de Midilli aos dados experimentais da cinética de secagem de cascas de mulungu nas temperaturas de 40 a 70 °C. Esse modelo se ajustou adequadamente aos dados de secagem, não sendo observada dispersão significativa dos pontos

experimentais em relação às curvas de ajuste, estando, desse modo, em concordância com os valores de  $R^2$ , DQM e distribuição dos resíduos apresentados, confirmando ser o melhor modelo para estimar a cinética de secagem de cascas de mulungu.



**Figura 5.** Modelo de Midilli ajustado aos dados experimentais da cinética de secagem de cascas de mulungu

## CONCLUSÕES

As cascas de mulungu (*E. velutina*) apresentaram elevados tempos de secagem, sendo este tempo reduzido com o aumento da temperatura do ar de desidratação. Considerando-se os custos de produção, as temperaturas mais elevadas seriam as mais ideais para processamento. Entretanto, tornam-se necessários estudos dos princípios ativos das cascas do mulungu desidratadas nas diferentes temperaturas de secagem, a fim de se verificar o seu impacto nos compostos químicos responsáveis pelas

propriedades medicinais e, assim, ajudar a definir qual a melhor condição de secagem para a espécie.

As taxas de secagem mais elevadas foram encontradas para as amostras desidratadas nas temperaturas de secagem mais elevadas, o que justifica menores tempos de secagem nessas temperaturas. O modelo matemático de Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da cinética de secagem de cascas de mulungu, com os maiores valores de coeficientes de determinação ( $R^2$ ), baixos desvios quadráticos médios (DQM) e tendência aleatória de distribuição dos resíduos.

---

**ABSTRACT:** The *Erythrina velutina*, popularly known as mulungu, are being used in northeastern Brazil because of its medicinal properties. Their peel after extraction of the tree, have a high water content requiring drying to meet the needs of the pharmaceutical industry of herbal medicines. The objective of this work was to dry peels mulungu at the temperatures of 40, 50, 60 and 70 °C and adjust different mathematical models the drying kinetics data. It was found that to peel mulungu presented drying high time, with times ranging from about 35 h to a temperature of 40 °C and for 14 h at 70 °C. Increasing the temperature of dehydration increased of the drying rate, reaching a value greater than  $9 \times 10^{-3}$  kg kg.min<sup>-1</sup> to 70 °C at the start of drying, falling further to the process. Among the mathematical models evaluated, the Midilli was the best fit to the experimental data of drying of peels of mulungu, with higher values of coefficients of determination ( $R^2$ ), lower mean squared deviations (MSD) and random distribution of trend residues.

**KEYWORDS:** Medicinal plants. *Erythrina velutina*. Dehydration. Mathematical models.

---

## REFERENCIAS

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 349-353, 1999.

- ALEXANDRE, H. V.; GOMES, J. P.; BARROS NETO, A. L.; SILVA, F. L. H.; ALMEIDA, F. A. C. Cinética de secagem de abacaxi cv pérola em fatias. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 123-128, 2009.
- CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010.
- DANTAS, M. C.; OLIVEIRA, F. S.; BANDEIRA, S. M.; BATISTAS, J. S.; SILVA, J. C. D.; ALVES, P. B.; ANTONIOLLI, A. R.; MARCHUIORO, M. Central nervous system effects of the crude extract of *Erythrina velutina* on rodents. **Journal of Ethnopharmacology**, Leiden, v. 94, n. 1, p. 129-133, 2004.
- DIÓGENES, A. M. G.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SANTOS, D. C. Cinética de secagem de grãos de abóbora. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 1, p. 71-80, 2013.
- DOYMAZ, I. Thin-layer drying behaviour of mint leaves. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 74, n. 3, p. 370-375, 2006.
- DOYMAZ, I.; TUGRUL, N.; PALA, M. Drying characteristics of dill and parsley leaves. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 77, n. 3, p. 559-565, 2006.
- GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; MAGALHÃES, F. E. A.; BAPTESTINI, F. M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 1-8, 2011.
- IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4 ed., 1ª ed digital, São Paulo: IAL, 2008. 1020 p.
- LIMA, E. E.; FIGUEIRÊDO, R.M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Cinética de secagem de polpa de facheiro. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 17-28, 2007.
- LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 512 p.
- MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Thin layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996.
- MARCHIORO, M.; BLANCK, M. F.; MOURÃO, R. H.; ANTONIOLLI A. R.; Antinociceptive actvy of the aqueous extract of *Erythrina velutina* leaves. **Fitoterapia**, London, v. 76, n. 7-8, p. 637-642, 2005.
- MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 301-306, 2007a.
- MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; MELO, E. C.; BARBOSA, F. F. Difusividade efetiva em folhas de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf submetidas à secagem com diferentes comprimentos de corte e temperaturas do ar. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 68-72, 2007b.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; VAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, Oxford, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002.
- PRATES, M. F. O.; REIS, R. C.; DEVILLA, I. A.; FARIA, R. Q.; LIMA JUNIOR, A. F. Cinética de secagem de folhas de *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil. (fruta-de-lobo). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 514-521, 2012.



- RADÜNZ, L. L.; MOSSI, A. J.; ZAKRZEWSKI, C. A.; AMARAL, A. S.; GRASSMANN, L. Análise da cinética de secagem de folhas de sálvia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 979-986, 2010.
- RADÜNZ, L. L.; AMARAL, A. S.; MOSSI, A. J.; MELO, E. C.; ROCHA, R. P. Avaliação da cinética de secagem de carqueja. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 19-27, 2011.
- REIS, R. C.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R.; SERVULO, A. C. O.; SOUZA, A. B. M. Cinética de secagem de folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) via infravermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1346-1352, 2012.
- RESENDE, O.; ARCANJO, R. V.; SIQUEIRA, V. C.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática para a secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de concreto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 189-196, 2009.
- ROCHA, R. P.; MELO, E. C.; CORBÍN, J. B.; BERBERT, P. A.; DONZELES, S. M. L.; TABAR, J. A. Cinética del secado de tomillo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 6, p. 675-683, 2012.
- SANTOS, M. R. V.; ALVES, P. B.; ANTONIOLLI, A. R.; MARCHIORO M. Relaxant effects of the aqueous extract of *Erythrina velutina* leaves on rat vas deferens. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Curitiba, v. 17, n. 3, p. 343-348, 2007.
- SANTOS, D. C.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; OLIVEIRA, E. N. A. Mathematical modeling for the annatto (*Bixa orellana* L.) seed drying process. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, v. 73, n. 3, p. 320-326, 2013a.
- SANTOS, D. C.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; OLIVEIRA, E. N. A. Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 223-231, 2013b.
- SANTOS, D. C.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; OLIVEIRA, E. N. A. Secagem solar de grãos residuais e farinha de grãos residuais de urucum. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 2, p. 436-446, 2014a.
- SANTOS, D. C.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; OLIVEIRA, E. N. A. Secagem de grãos residuais de urucum por exposição direta ao sol combinada com secagem em secador acumulador de calor. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 277-290, 2014b.
- SILVA JUNIOR, V. T.; LIMA, J. M. G. M.; RODRIGUES, C. W. M. S.; BARBOSA, D. C. A. *Erythrina velutina* willd. (Leguminosae-Papilionoideae) ocorrente em caatinga e brejo de altitude de Pernambuco: biometria, embebição e germinação. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 247-257, 2012.
- SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; COSTA, L. M. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 883-892, 2011.
- VASCONCELOS, S. M. M.; MACEDO, D. S.; PAIVA, M. A.; RODRIGUES A. C. P.; SILVEIRA, E. R.; CUNHA, G. M. A.; SOUSA, F. C. F.; VIANA G. S. B. Central activity of hydroalcoholic extracts from *Erythrina velutina* and *Erythrina mulungu* in mice. **Journal of Ethnopharmacology**, Leiden, v. 56, n. 3, p. 389-393, 2004.
- VIRTUOSO, S.; DAVET, A.; DIAS, J. F. G.; CUNICO, M. M.; MIGUEL, M. D.; OLIVEIRA, A. B.; MIGUEL, O. G. Estudo preliminar da atividade antibacteriana das cascas de *Erythrina velutina* Willd., Fabaceae (Leguminosae). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Curitiba, v. 15, n. 2, p. 137-142, 2005.