

CINÉTICA DE SECAGEM DE FOLHAS DE NEEM INDIANO

Jaqueline F. V. Bessa¹, Osvaldo Resende², Vitor M. Vidal¹, Wilker A. Morais¹, Zirvaldo Z. Virgolino³

¹ Mestre em Ciências Agrárias - Agronomia, Doutorando em Ciências Agrárias – Agronomia, IF Goiano, Rio Verde – GO, (0XX64) 3620 5636, jaqueline@agricola.eng.br;

² Doutor em Engenharia Agrícola, Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação, IF Goiano, Rio Verde – GO.

³ Mestre em Ciências Agrárias - Agronomia, Gerente, CONAB, Santa Helena de Goiás – GO.

Apresentado no

XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015

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

RESUMO: O Neem Indiano é uma espécie arbórea de grande porte cujo óleo extraído de suas folhas é utilizado como pesticida natural. Suas folhas, frutos, sementes, cascas e madeira são de amplo uso na medicina, agricultura, pecuária e cosméticos. Devido seus fins, objetivou-se ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais da secagem de folhas de Neem Indiano (*Azadirachta indica* A. Juss.) durante o processo de secagem. As folhas de neem indiano, com teor de água inicial de $1,96 \pm 0,003$ b.s. (base seca, decimal) foram submetidas à secagem em secador experimental de camada fixa, o sistema foi regulado para aquecer a 35, 50 e 65 °C com fluxo de ar de $1,0 \text{ m s}^{-1}$, até atingirem o teor de água de $0,037 \pm 0,004$ b.s. Aos dados experimentais, compararam-se doze modelos, ajustando-se o que desempenha melhores resultados, baseado nos parâmetros adotados para avaliação. Foi evidenciado ajuste satisfatório para os modelos de Verma, Newton, Midilli, Logarítmico e Aproximação da Difusão, porém selecionou-se o modelo de Newton por apresentar maior simplicidade de aplicação.

PALAVRAS-CHAVE: *Azadirachta indica*, modelagem matemática, qualidade.

DRYING KINETICS LEAVES INDIAN NEEM

ABSTRACT: The Indian Neem tree is a kind of large whose oil extracted from its leaves is used as a natural pesticide. Its leaves, fruits, seeds, bark and wood are widely used in medicine, agriculture, livestock and cosmetics. Because its purposes, aimed to fit different mathematical models to experimental data of drying Indian Neem leaves (*Azadirachta indica* A. Juss.) during the drying process. Leaves or Indian Neem, with an initial moisture content of 1.96 ± 0.003 d.b. (dry basis, decimal) were dried in an experimental fixed bed dryer, the system was set to heat at 35, 50 and 65 °C with an air flow of 1.0 m s^{-1} , until reaching the water content of 0.037 ± 0.004 d.b. The experimental data, we compared twelve models, setting that performs the best results based on the criteria adopted for evaluation. It was shown satisfactory adjustment to the models Verma, Newton, Midilli, Logarithmic and Approximation of Diffusion, but selected the model of Newton due to its greater simplicity of application.

KEYWORDS: *Azadirachta indica*, mathematical modeling, quality.

INTRODUÇÃO: O Neem Indiano tem despertado interesse nas regiões Norte, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do Brasil, por apresentar ampla utilização nas áreas da medicina, pecuária, agricultura e cosmética, proporcionada pelas folhas desidratadas, frutos, sementes, cascas, madeira e principalmente, extratos pesticidas oleosos (MIRANDA et al., 2014). Além das finalidades mencionadas, diversos autores, afirmaram que o Neem Indiano tem apresentado potencial no controle de patógenos de plantas (MELLO et al., 2005). Para utilização das folhas de Neem Indiano deve-se adotar o processo de secagem, que consiste na retirada de parte da água que é prejudicial na

conservação pós-colheita dos materiais. Resende et al. (2010) mencionam a importância da simulação e a obtenção de informações teóricas a respeito do comportamento de cada produto durante a remoção de água. Ainda, segundo estes autores, modelos matemáticos, geralmente baseando-se em variáveis externas ao produto, como a temperatura e a umidade relativa do ar de secagem têm sido utilizadas para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas. Dessa forma, tem-se a importância em estabelecer o modelo que forneça o melhor ajuste aos dados experimentais baseando-se na verificação do grau de ajustes das equações. Diante o exposto, neste estudo objetivou-se determinar as curvas de secagem e ajustar modelos tradicionais de secagem aos dados experimentais durante a secagem das folhas de Neem Indiano, nas temperaturas de 35, 50 e 65 °C.

MATERIAL E MÉTODOS: A pesquisa foi realizada no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal Goiano - Câmpus Rio Verde, com folhas de Neem Indiano.

Realizou-se a secagem em secador de camada fixa, confeccionado em chapa metálica número 16. A câmara de secagem tem as seguintes dimensões: 0,60 x 0,60 x 0,60 m, totalizando um volume de 0,216 m³, e possui ainda uma chapa com 25% de perfuração, situada a 0,33 m de altura. O ventilador é do tipo centrífugo, acionado por motor trifásico com potência de 1,5 cv.

Cada secador é composto por seis sensores de temperatura pendulares e quatro resistências elétricas de 1.500 watts, perfazendo um total de 6.000 watts. Os sensores foram posicionados antes e após o sistema de aquecimento e no interior de cada bandeja. Na câmara de secagem foram colocadas quatro bandejas removíveis com fundo perfurado, com dimensões de 0,28 x 0,28 x 0,15 m. O sistema ainda dispõe de um controlador automático que gerencia o sistema e armazena os dados gerados.

Foram envolvidas cerca de 0,25 kg de folhas de Neem Indiano por tecido do tipo voile e espalhadas sobre a bandeja, perfazendo uma camada de aproximadamente 0,06 m. A velocidade do ar utilizada para a secagem foi de 1,0 m s⁻¹. O sistema foi regulado para aquecer a 35, 50 e 65 °C. A umidade relativa dentro dos secadores durante a secagem foi de 40,39; 19,21 e 10,03% para as temperaturas de 36,2; 50,5 e 64,3 °C, respectivamente.

As folhas apresentavam o teor de água inicial de 1,96 ± 0,003 b.s. (base seca, decimal). A secagem prosseguiu até que as folhas atingissem o teor de água de 0,037±0,004 b.s., determinado em estufa pelo método Brasil (2009).

A redução do teor de água ao longo da secagem foi acompanhada pelo método gravimétrico (perda de massa), utilizando-se uma balança com resolução de 0,01 g.

A temperatura e a umidade relativa do ambiente externo à câmara de secagem foram monitoradas por meio de psicrômetro, e a temperatura interna foi monitorada por um termômetro instalado no interior da câmara de secagem. A umidade relativa no interior do secador foi obtida por meio dos princípios básicos de psicrometria, utilizando o programa computacional GRAPSI.

Aos dados experimentais da secagem das folhas de Neem Indiano foram ajustados modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da secagem de produtos agrícolas, por meio de análise de regressão não linear pelo método Gauss-Newton. Os modelos foram selecionados considerando a magnitude do coeficiente de determinação (R²), do teste de qui-quadrado (χ²), 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 & Rao (2005).

$$P = \frac{100}{N} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (1)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (2)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR} \quad (3)$$

em que,

Y - valor experimental; \hat{Y} - valor estimado pelo modelo; N - número de observações experimentais; e GLR - graus de liberdade do modelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Tabela 1, são demonstrados os valores dos parâmetros utilizados para seleção dos modelos de secagem de folhas de Neem Indiano, nas diferentes temperaturas estudadas.

TABELA 1. Erro médio estimado (SE, decimal), erro médio relativo (P, %), valores de qui-quadrado (χ^2 , decimal $\times 10^{-4}$) e coeficientes de determinação (R^2 , %) para os modelos analisados, durante a secagem de folhas de Neem Indiano com fluxo de ar de $1,0 \text{ m s}^{-1}$ em três condições de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

Modelos	$1,0 \text{ m s}^{-1}$											
	35 $^{\circ}\text{C}$				50 $^{\circ}\text{C}$				65 $^{\circ}\text{C}$			
	SE	P	χ^2	R^2	SE	P	χ^2	R^2	SE	P	χ^2	R^2
Wang e Singh	0,057	73,0	0,00331	97,37	0,067	62,8	0,00454	96,10	0,064	55,3	0,00408	96,63
Verma	0,011	9,7	0,00012	99,91	0,011	4,13	0,00013	99,89	0,013	7,13	0,00018	99,86
Page	0,011	10,4	0,00012	99,91	0,009	6,44	0,00008	99,93	0,008	9,02	0,00006	99,95
Newton	0,011	9,7	0,00011	99,91	0,011	4,13	0,00011	99,89	0,012	7,13	0,00015	99,86
Midilli	0,008	4,3	0,00006	99,95	0,009	4,45	0,00008	99,94	0,006	2,90	0,00004	99,97
Logarítmico	0,007	4,4	0,00006	99,96	0,009	3,93	0,00010	99,92	0,011	9,57	0,00013	99,90
H. e Pabis	0,010	11,2	0,00009	99,92	0,009	4,58	0,00009	99,92	0,011	7,34	0,00012	99,90
Aprox. da Difusão	0,011	7,0	0,00012	99,91	0,008	5,28	0,00007	99,94	0,007	8,30	0,00005	99,96

De acordo com SE e P, observa-se que os modelos: Verma, Newton, Midilli, Logarítmico e Aproximação da Difusão, tiveram valores de P menores que 10%, e segundo Mohapatra & Rao (2005) são indicados para descrever o processo de secagem. Além disso, os modelos selecionados em função de P apresentaram menores valores para SE, com relação à Wang e Singh, e valores próximos aos demais modelos estudados. Os valores da magnitude do coeficiente de determinação (R^2) se mostraram superiores a 95% para todos os modelos e temperaturas de ar estudadas, indicando, segundo Madamba et al. (1996), representação satisfatória da secagem. Quando analisado o R^2 individualmente, este não constitui um bom critério para seleção de modelos não lineares que descrevam o processo de secagem, corroborando com afirmações de Madamba et al. (1996) e Prates et al. (2012), desta forma, considerou-se para a seleção dos modelos os demais parâmetros.

Os modelos selecionados para descrever o processo de secagem de folhas de Neem Indiano apresentaram valores de χ^2 significativos e inferiores à 0,0002, aumentando a confiabilidade da seleção, sendo que, de acordo com Panchariya et al. (2002), o modelo mais aprimorado deve respeitar valores de χ^2 o mais próximo de zero.

Dentre os modelos que apresentaram bons ajustes aos dados experimentais, Newton foi selecionado para descrever a cinética de secagem das folhas de Neem Indiano, devido sua simplicidade de aplicação por possuir menor quantidade de coeficientes (Figura 1).

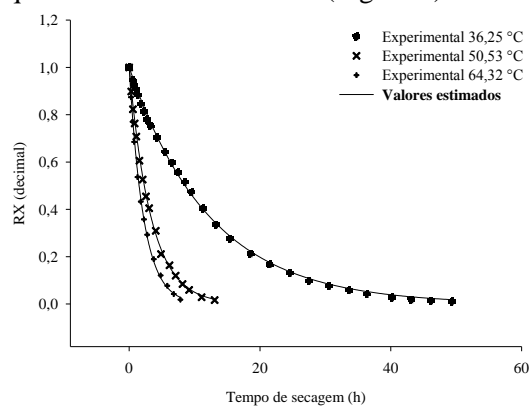


FIGURA 1. Curva de secagem das folhas de Neem Indiano, determinada pelo modelo de Newton, em função das temperaturas do ar de secagem.

Observa-se na Figura 1 que, com o aumento da temperatura ocorre um decréscimo no tempo de secagem, concordando com os resultados obtidos por Radünz et al. (2010) trabalhando com sálvia e Martinazzo et al. (2010) analisando a secagem de capim-limão. Quando comparados com a temperatura de $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$, as secagens de $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ das folhas de Neem Indiano proporcionaram redução

de tempo de 3,77 e 6,31 vezes, respectivamente, corroborando com os resultados de Mohapatra & Rao (2005).

O modelo de Newton apresenta bom ajuste na estimativa da secagem de folhas de Neem Indiano, assim como para o capim-limão nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C, segundo Ibrahim et al. (2009). Oposto ao modelo selecionado para folhas de Neem Indiano, Reis et al. (2012) concluíram que o modelo de Midilli explica com bom ajuste a cinética de secagem de folhas de manjeriço, avaliando a secagem por infravermelho nas temperaturas entre 50 e 80 °C e também, entre as temperaturas de 30 e 50 °C foi observado por Oliveira et al. (2013) que o modelo exponencial simples de três parâmetros foi considerado mais adequado para explicar a secagem de *Pectis brevipedunculata* (Gardner) Sch. Bip. Por esta ocasião, é importante ressaltar que a determinação do modelo matemático depende primordialmente da espécie estudada, fato também observado por Radünz et al. (2010).

CONCLUSÕES: Os modelos de Verma, Newton, Midilli, Logarítmico e Aproximação da Difusão, apresentaram ajuste aceitável para representar a secagem de folhas de Neem Indiano. O modelo de Newton foi selecionado por apresentar maior simplicidade de aplicação.

REFERÊNCIAS

- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 399p.
- IBRAHIM, M.; SOPIA, K.; DAUD, W. R. W. Study of the drying kinetics of lemon grass. **American Journal of Applied Sciences**, v.6, n.6, p.1070-1075, 2009.
- 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.
- MARTINAZZO A. P.; MELO E. C.; CORRÊA P. C.; SANTOS R. H. S. Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf]. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.12, n.4, p.488-498, 2010.
- MELLO, A. F. S.; LOURENÇO, S. A.; AMORIM, L. Alternative products in the in vitro inhibition of *Sclerotinia sclerotiorum*. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.62, n.2, p.179-183, 2005.
- MIRANDA, D. L. C.; KELM, V.; SANTOS, J. P. Crescimento de nim (*Azadirachta Indica* A. Juss) em plantio puro e consorciado no norte de mato grosso. **Nativa**, Sinop, v.2, n.1, p.37-41, 2014.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, London, v.66, n.4, p.513-18, 2005.
- OLIVEIRA, M. T. R.; BERBERT, P. A.; MARTINAZZO, A. P. Avaliação de modelos matemáticos na descrição das curvas de secagem por convecção de *Pectis brevipedunculata* (Gardner) Sch. Bip. **Revista Brasileira Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.15, n.1, p.1-12, 2013.
- PANCHARIYA, P. C.; POPOVIC, D.; SHARMA A. L. Thin-layer modelling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, New York, v.52, n.4, p.349-57, 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.
- 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.; FERREIRA, L. U.; ALMEIDA, D. P. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão Adzuki (*Vigna angularis*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.12, n.2, p.171-178, 2010.