



Cinética de secagem de vagens de algaroba (*Prosopis juliflora* SW)

Drying kinetics of pods of algaroba (Prosopis juliflora SW)

Amanda Priscila Silva Nascimento^{*1}, Anna Karoline de Sousa Lima², Cristina Fernandes Cavalcanti³, Rennan Pereira de Gusmão⁴

Resumo: O objetivo deste trabalho foi estudar a cinética de secagem de vagens de algaroba em secador convectivo, nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C. A secagem foi conduzida em camada fina, em um secador com circulação de ar, onde as vagens foram colocados em um recipiente de alumínio, medindo 20 mm de comprimento e 10 mm de largura, com capacidade de aproximadamente 10 g. Para representar o comportamento cinético da secagem foram utilizados os modelos matemáticos de Page, Henderson & Pabis e Exponencial de Dois Termos. A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que a secagem das vagens de algaroba ocorreu durante o período de taxa decrescente e é influenciada pela ação da temperatura, ou seja, ao aumentar a temperatura de secagem tem-se uma diminuição no tempo de estabilização, podendo este processo ser representado pelos três modelos matemáticos estudados, sendo o modelo Exponencial de Dois Termos o que melhor se ajustou aos dados experimentais apresentando coeficiente de determinação superior a 99,8% e desvios quadráticos médios menores que 0,05.

Palavras-chaves: *Prosopis juliflora*, modelos matemáticos, tempo de secagem

Abstract: The objective of this work was to study the drying kinetics of algaroba pods in convective dryer at temperatures of 60, 70 and 80 °C. The drying was carried out in thin layer in a circulating air dryer where the beans were placed in a fine mesh metal container measuring 20 mm long and 10 mm wide, with a capacity of approximately 10 g. To represent the kinetics of drying the mathematical models of Page, Henderson and Pabis and Exponential of Two Terms were tested. Based on the results obtained it was concluded that the drying of algaroba pods occurs during falling rate period and is influenced by the action of temperature, in other words, by increasing the drying temperature has been a decrease in settling time, this process can be represented by the three mathematical models considered, being the Exponential of Two Terms model which best fits the experimental data showing higher coefficient of determination 98% and lower DQM.

Key words: *Prosopis juliflora*; mathematical models; drying time

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 21/03/2015; aprovado em 23/12/2015

¹Graduanda em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande; 996135002, amandapriscil@yahoo.com.br

²Graduanda em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Campina Grande, karol_slima@hotmail.com

³Graduanda em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Campina Grande, Christina_cyc@hotmail.com

⁴Professor Doutor da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Campina Grande, rennangusmao@gmail.com

INTRODUÇÃO

A algaroba *Prosopis juliflora* (SW) D. C., introduzida no Brasil, principalmente no Nordeste há mais de 50 anos, constitui-se numa das raras espécies capazes de possibilitar aos animais e ao próprio homem uma convivência harmoniosa com o fenômeno adverso e periódico das secas (SILVA et al., 2000).

A algarobeira é uma leguminosa arbórea que concentra o seu valor nutritivo nas vagens (frutos), constituindo-se rica fonte de carboidratos e proteínas, com valor energético bruto comparável ao milho (STEIN et al., 2005). Os frutos são indeiscentes, lomentos drupáceos, lineares, falcados, mesocarpo carnudo, endocarpo dividido em compartimentos contendo uma semente em cada, segmento coriáceo para lenhoso (RIBASKI et al., 2009).

A sua grande importância se dá nas vagens palatáveis, aromáticas lembrando baunilha, e doces em função do elevado teor de sacarose, que pode chegar a 40%. Esse altíssimo teor de açúcares fermentescíveis, associado aos altos níveis de nitrogênio favorece os processos de biotransformação no caldo doce extraído de suas vagens, viabilizando os processos tecnológicos de produção de bebidas fermento destiladas. Sua proteína é de qualidade e digestibilidade razoáveis equiparando-se às da cevada e do milho (SILVA et al., 2012).

Como a algaroba tem múltiplos usos, muitas pesquisas necessitam ser feitas para se descobrir a grande potencialidade da algaroba.

A secagem dos produtos é o processo mais utilizado para assegurar sua qualidade e sua estabilidade, considerando que a diminuição da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento (CORRÊA et al., 2007).

A secagem tem a finalidade de eliminar um líquido volátil contido num corpo não volátil, através de evaporação. Portanto, a secagem de nosso interesse é caracterizada pela evaporação da água do material biológico. Durante a secagem é necessário um fornecimento de calor para evaporar o teor de água do material e também deve haver um sorvedor de água para remover o vapor água, formado a partir da superfície do material a ser seco (FIOREZE, 2004).

Para a determinação das variáveis que caracterizam o processo de secagem, assim como a obtenção de um maior domínio e conhecimento nos fundamentos dos mecanismos envolvidos, muitos pesquisadores tem estudado a secagem de alimentos em camada fina (ALMEIDA et al., 2006).

O produto 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 da água (Perry, 1984).

Diante do exposto o presente trabalho teve como objetivo estudar o comportamento cinético das vagens de algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) D. C.), submetidas a secagem, em camada fina, com temperaturas de 60, 70 e 80°C.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Secagem e Liofilização da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos, da Universidade Federal de Campina Grande.

As vagens da algarobeira (*Prosopis juliflora* (Sw) DC), foram adquiridas no município de Campina Grande - PB. Após sanitizadas, as vagens foram cortadas manualmente, com 20 mm de comprimento. Após o corte das vagens, retirou-se amostras para determinação do teor de água inicial. As análises do teor de água foram realizadas pelo método padrão da estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, por 24h, e o resultado expresso em base úmida, conforme a Equação 1.

$$X = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

X - teor de água, %;

m_i - massa inicial, g

m_f - massa final, g

A secagem foi realizada em camada fina, em um secador convectivo Modelo MA035 onde as vagens foram colocadas em cestas de alumínio. As secagens foram conduzidas, com três repetições. Este procedimento foi realizado para a secagem nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C.

A quantidade de água perdida durante o processo foi obtido por pesagens descontínuas das amostras e o esquema de pesagem seguiu intervalos de 5, 10, 30 e 60 min. Durante a operação de secagem foram realizadas pesagens periódicas das amostras, até que estas atingissem peso constante.

Para a determinação da cinética de secagem, os dados experimentais foram expressos na forma de razão do teor de água sendo calculados pela Equação 2 e aplicados os modelos matemáticos de Page, Henderson & Pabis e Exponencial de Dois Termos.

$$RX = \frac{X_t - X_{eq}}{X_i - X_{eq}} \quad (2)$$

Onde:

RX- Razão de teor de água;

X_t - Teor de água na base úmida no instante t;

X_i - Teor de água na base úmida no início do processo;

X_{eq} - Teor de água de equilíbrio para cada temperatura.

Na Tabela 1, encontram-se os modelos e as respectivas equações utilizadas.

Os parâmetros dessas equações foram obtidos mediante o ajuste das curvas de secagem aos dados experimentais, utilizando-se o programa computacional Statistica versão 7.0. Como parâmetro de avaliação do melhor modelo que se ajustou aos dados experimentais, utilizou-se o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM), calculado pela Equação 3:

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RX_{exp} - RX_{pre})^2}{N}} \quad (3)$$

Onde:

DQM - desvio quadrático médio

RX_{pre} - razão de umidade predito

RX_{exp} - razão de umidade experimental

N - número de dados experimentais

Tabela 1 – Modelos matemáticos utilizados para cinética de secagem

Modelo	Equação
Page	$Rx = \exp(-k \cdot t^n)$
Henderson & Pabis	$Rx = \exp(-k \cdot t)$
Exponencial de Dois Termos	$Rx = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$

Onde, Rx = razão de teor de água; t= tempo (min); k, n, K₀, K₁ = parâmetros dos modelos

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As vagens de algaroba tiveram seu teor de água inicial reduzido de aproximadamente 20,5% (b.u) para 5,3; 4,1 e 1,3% (base úmida) nas temperatura de 60, 70 e 80 °C respectivamente.

Observou-se uma diminuição maior no teor de água no início do processo, sendo a temperatura de 60 °C a que necessitou de um período maior para estabilização (660 minutos), as secagens nas temperaturas de 70 e 80 °C ocorreram em períodos de 600 e 540 minutos, respectivamente. Resultados semelhantes também foram observados por Goneli (2007) em secagem de trigo; Gouveia (2003) na secagem de frutos de cajá e Silva (2012) ao secar os frutos da algaroba.

Segundo Almeida (2006) as equações podem ser utilizadas como modelo de ajuste das curvas de secagem quando apresentam valores de R² superiores a 91%. Nas Tabela 2, 3 e 4, encontramos os parâmetros e os valores de R² e DQM determinados a partir do ajuste dos dados nos modelos de Page, Henderson & Pabis e Exponencial de Dois termos nas temperaturas estudadas.

Tabela 2 - Parâmetros obtidos pelo ajuste dos modelos de Page, Henderson & Pabis e Exponencial de Dois Termos aos dados experimentais da secagem de vagem de algaroba a 60°C..

Modelos	60°C						R ²	DQM
	Parâmetros							
	a	b	k	n	k ₀	k ₁		
Page	-	-	0,02129	0,80785	-	-	0,9975	0,02377
Henderson & Pabis	0,95061	-	0,00797	-	-	-	0,9931	0,03947
Exponencial de Dois termos	0,30825	0,03896	-	-	0,72697	0,00586	0,9989	0,01536

Tabela 3 - Parâmetros obtidos pelo ajuste dos modelos de Page, Henderson & Pabis e Exponencial de Dois Termos aos dados experimentais da secagem de vagem de algaroba a 70°C.

Modelos	70°C						R ²	DQM
	Parâmetros							
	a	b	k	n	k ₀	k ₁		
Page	-	-	0,03607	0,73934	-	-	0,9996	0,00799
Henderson & Pabis	0,90623	-	0,00968	-	-	-	0,9936	0,03581
Exponencial de Dois termos	0,69224	0,00705	-	-	0,29887	0,04806	0,9998	0,00602

Tabela 4 - Parâmetros obtidos pelo ajuste dos modelos de Page, Henderson & Pabis e Exponencial de Dois Termos aos dados experimentais da secagem de vagem de algaroba a 80°C.

Modelos	80°C						R ²	DQM
	Parâmetros							
	A	b	k	n	k ₀	k ₁		
Page	-	-	0,06882	0,65957	-	-	0,9997	0,00735
Henderson & Pabis	0,87385	-	0,01425	-	-	-	0,9869	0,04816
Exponencial de Dois termos	0,40087	0,06903	-	-	0,58959	0,00855	0,9997	0,00694

Ao analisar os dados obtidos a partir do ajuste das curvas, observou-se que todos os modelos aplicados representaram bem os dados experimentais, já que todos os coeficientes de determinação foram superiores a 98%.

O modelo Exponencial de Dois Termos mostrou-se um pouco superior sobre os outros já que apresentou os maiores valores de R² e menores valores de DQM em todos os tratamentos.

Camícia (2013) encontrou a mesma eficiência para o modelo Exponencial de dois termos para a secagem do feijão – caupi.

A partir dos valores adimensionais do teor de água (razão de teor de água), construiu-se gráficos de Rx em

função do tempo, representando assim, a cinética de secagem da vagem de algaroba nas três temperaturas estudadas, ajustadas aos modelos de Page, Henderson e Pabis e Exponencial de Dois termos, respectivamente.

Analisando as curvas de secagem, observa-se que a perda de água é mais rápida no início do processo e com o aumento da temperatura do ar, tem-se uma diminuição no período necessário para estabilização das amostras. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et. al. (2012) na secagem de grãos de algaroba; Souza et al. (2011) na secagem de sementes de nabo forrageiro e Faria et al. (2012) na secagem de sementes de cambre.

Figura 1. Curva de secagem de algaroba ajustada ao Modelo de Page

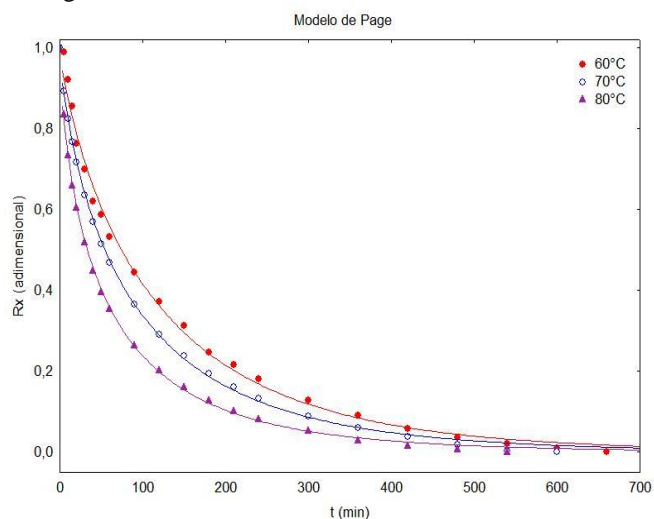


Figura 2. Curva de secagem de algaroba ajustada ao Modelo de Henderson e Pabis

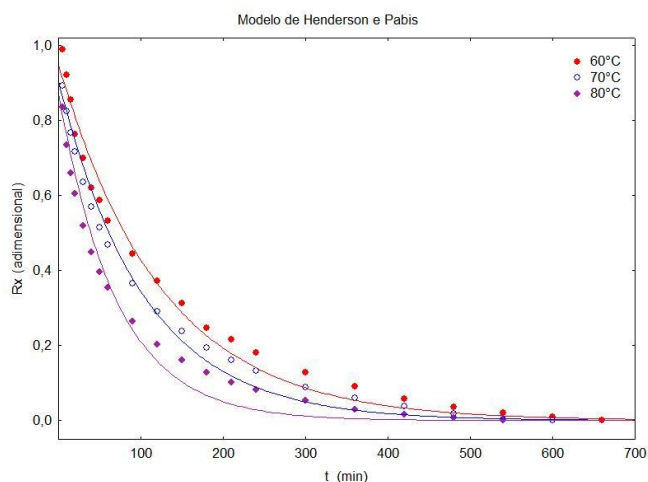
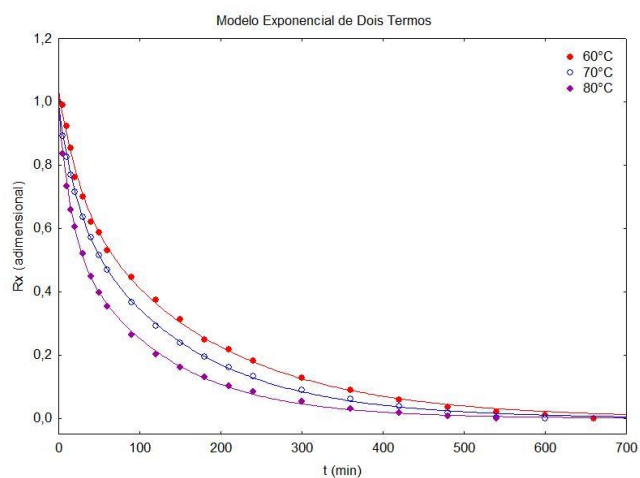


Figura 3. Curva de secagem de algaroba ajustada ao Modelo Dois Termos



A partir da análise dos gráficos observou-se que o modelo Exponencial de Dois Termos realmente representou melhor os dados experimentais obtidos, observou-se também que a perda de água tem tendência a se estabilizar em tempos

superiores a 300 min. Silva (2012) ao estudar a secagem dos grãos da algaroba notou que em tempos superiores a 60 min a perda de teor de água tende a se estabilizar.

CONCLUSÕES

Conclui-se que a cinética de secagem das vagens de algaroba ocorreu no período de taxa decrescente, com o aumento da temperatura de secagem, podendo este processo ser representado pelos três modelos matemáticos estudados, sendo o modelo Exponencial de Dois Termos um pouco superior pois apresentou coeficiente de determinação maiores e desvios quadráticos médios menores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. A. de; GOUVEIA, J. P. G. de; ALMEIDA, F. de A. C.; SILVA, F. L. H. da. Avaliação da cinética de secagem em frutos de acerola. Revista de biologia e ciências da terra, Volume 6, 2006.

CAMICIA, R. G. da M. Modelagem matemática da secagem do feijão – caupi e efeito sobre a qualidade fisiológica das sementes. Dissertação – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2013.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. Eng. Agríc. Jaboticabal, v.27, n.2, p.501-510, maio/ago. 2007.

FARIA, R. Q. de; TEXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R.; RESENDE, O. Cinética de secagem de sementes de crame. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.16, n.5, p.573–583, 2012

FIGOZZE, R. Princípios de Secagem de Produtos Biológicos. João Pessoa: Editora Universitária / UFPB, 2004. 229p.

GONELI, A.L.D et al. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 27, n. 1, p. 135-140, 2007.

PERRY, J.H. Chemical engineer's handbook. 6. ed. New York: Mc Graw-Hill, 1984. 1078p.

RIBASKI, J.; DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R. DE; NASCIMENTO, C. E. DE S. Algaroba (*Prosopis juliflora*): Árvore de Uso Múltiplo para a Região Semiárida Brasileira. Comunicado Técnico, Colombo – PR, 2009.

SILVA, L. A. da; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; ALMEIDA, R. D.; CAVALCANATI, R. F. de R. M. Cinética da secagem de grãos de algaroba. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.14, n. Especial, p.535-542, 2012

- SILVA, S. A. da; SOUZA, A. G.; CONCEIÇÃO, M. M. da; ALENCAR, A. L. S.; PRASAD, S.; CAVALHEIRO, J. M. O. Estudo termogravimétrico e calorimétrico da algaroba. Revista Química Nova, Vol. 24, No. 4, 460-464, 2001.
- STEIN, R. B. S.; TOLEDO, L. R. A.; ALMEIDA, F. Q. et al. Uso do farelo de vagem de algaroba (*Prosopis juliflora* (Swartz) D.C.) em dietas para eqüinos. Revista Brasileira de Zootecnia, v.34, n.4, p.1240-1247, 2005.
- SOUZA, K. A. de; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; COSTA, L. M. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) Revista Ciência Agronômica, v. 42, n. 4, p. 883-892, 2011.