



X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica

“Influência da pesquisa em Engenharia Química no desenvolvimento tecnológico e industrial brasileiro”

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Universidade Severino Sombra
Vassouras – RJ – Brasil

ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS CINÉTICOS DA SECAGEM DA CASCA DA MACADÂMIA EM CAMADA FINA

ALMEIDA*¹, P. S.; XAVIER², T. P.; BACELOS², M. S.; BARROZO³, M. A. S.; LIRA², T. S.

¹Aluna – DETEC/UFES ²Docente – DETEC/UFES ³Docente – FEQ/UFU

Departamento de Engenharias e Tecnologia – Universidade Federal do Espírito Santo

Endereço – Rodovia BR 101 Norte, Km 60, Bairro Litorâneo, São Mateus, ES - CEP 29932-540,
email: taisa.lira@ufes.br

RESUMO - A macadâmia é uma amêndoa com alto valor agregado no mercado mundial. No Espírito Santo o cultivo da noz está em pleno desenvolvimento, sendo o estado o segundo maior produtor brasileiro. Um dos resíduos do beneficiamento da noz é a casca, sendo que para cada tonelada de noz produzida, gera-se cerca de 70 a 77% de resíduos de casca ou carpelo. Esta casca, se processada adequadamente, pode se tornar uma boa alternativa para geração de energia renovável, uma vez que pode gerar produtos com alto poder calorífico a partir da pirólise. Neste trabalho foi investigada a cinética de secagem da casca da macadâmia em camada fina, utilizando um secador convectivo, tipo túnel. As amostras foram expostas a temperaturas de 30, 50 e 70°C, sendo que para cada temperatura realizou-se três experimentos utilizando velocidades de ar fixas em 1,0, 1,5 e 2,0m/s. Para determinar uma equação para representar a cinética de secagem, foram analisadas as equações de taxa de secagem semi-empíricas mais utilizadas na literatura, quais sejam: Lewis, Brooker, Henderson e Henderson, Page e Overhults. Estimaram-se então os parâmetros de cada equação e estas foram discriminadas usando medidas de curvatura de Bates e Watts e o vício de Box.

Palavras chave: medidas de não linearidade, taxa de secagem, resíduo da noz.

INTRODUÇÃO

A noqueira macadâmia é uma planta originária da Austrália, trazida para o Brasil na década de 30. Segundo PIMENTEL (2007), seu fruto é um folículo, composto por três partes principais: carpelo (exocarpo e mesocarpo), casca (endocarpo) e amêndoa (embrião).

No Brasil, a produção em 2003 esteve em cerca de 3.000 toneladas de nozes “em casca”, e de 600 toneladas em amêndoas,

alcançando assim, a sexta posição no mercado (SOBIERAJSKI et al., 2006).

O estado do Espírito Santo é o segundo maior produtor no Brasil. Sendo o município de São Mateus o maior produtor do estado, com aproximadamente 500 hectares de área plantada e produção de 800 toneladas por ano (GLOBO RURAL, 2011).

A casca de macadâmia é um dos resíduos originados a partir do processo de beneficiamento da amêndoa e está disponível em grande quantidade no Norte do estado do

Espírito Santo. A cada tonelada de noz produzida, são geradas cerca de 70 a 77% de resíduos de casca ou carpelo.

Segundo ARRUDA (2008), nos experimentos de secagem em camada fina, o ar em condições constantes de umidade, temperatura e vazão mássica atravessa uma fina camada do material úmido, e então, o comportamento do material é observado por um determinado período de tempo.

A forma mais utilizada na literatura para representar a taxa de secagem é através de equações semi-empíricas. Estas equações são geralmente provenientes de modificações do modelo difusivo ou ainda de analogia com outros fenômenos.

Neste trabalho, objetivou-se estudar a cinética de secagem da casca da macadâmia e determinar, através da discriminação dos parâmetros estimados, a melhor equação semi-empírica que a representa.

METODOLOGIA

A casca utilizada nesse trabalho foi fornecida pela Cooperativa Agroindustrial dos Produtores de Noz Macadâmia (COOPMAC), situada no município de São Mateus, no norte do Espírito Santo.

Para a realização da secagem do material utilizou-se um secador convectivo, tipo túnel, e para a determinação da massa seca de cada amostra empregou-se uma estufa de convecção natural com controle PID de temperatura do ar de secagem.

No procedimento experimental realizado, a casca foi umidificada por 3 horas à temperatura de 100°C. Em seguida, o material foi inserido em formas de 10 cm de diâmetro confeccionadas com folhas de alumínio. As amostras variaram de 2 a 3 gramas. Depois, estas foram introduzidas no secador convectivo e a cada 10 min foram retiradas e, posteriormente, realizou-se a pesagem da massa em uma balança analítica com precisão de 5×10^{-4} g. Após o término da secagem, as amostras foram levadas a uma estufa que se

encontrava na temperatura de $105 \pm 3^\circ\text{C}$ para obtenção da massa seca da amostra.

Este procedimento foi realizado com o ar a temperaturas de 30°C, 50°C e 70°C, sendo que para cada temperatura realizava-se três experimentos em duplicata com as velocidades fixas em 1m/s, 1,5m/s e 2m/s.

Para ajustar os dados experimentais a equações de cinética de secagem realizou-se regressões não lineares, sendo os parâmetros estimados pela minimização dos quadrados dos resíduos.

As equações semi-empíricas de cinética de secagem utilizadas no trabalho são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Equações semi-empíricas de cinética de secagem.

Equação	Referência
$MR = \exp(-K.t)$ sendo $K = A.\exp(-B/T_f)$	Lewis (1921)
$MR = C.\exp(-K.t)$ sendo $K = A.\exp(-B/T_f)$	Brooker et al. (1974)
$MR = C[\exp(-K.t) + 1/9.\exp(-9.K.t)]$ sendo $K = A.\exp(-B/T_f)$	Henderson e Henderson (1968)
$MR = \exp(-K.t^n)$ sendo $K = A.\exp(-B/T_f)$	Page (1949)
$MR = \exp[-(K.t)^n]$ sendo $K = \exp(A + B/T_f)$	Overhults et al. (1973)

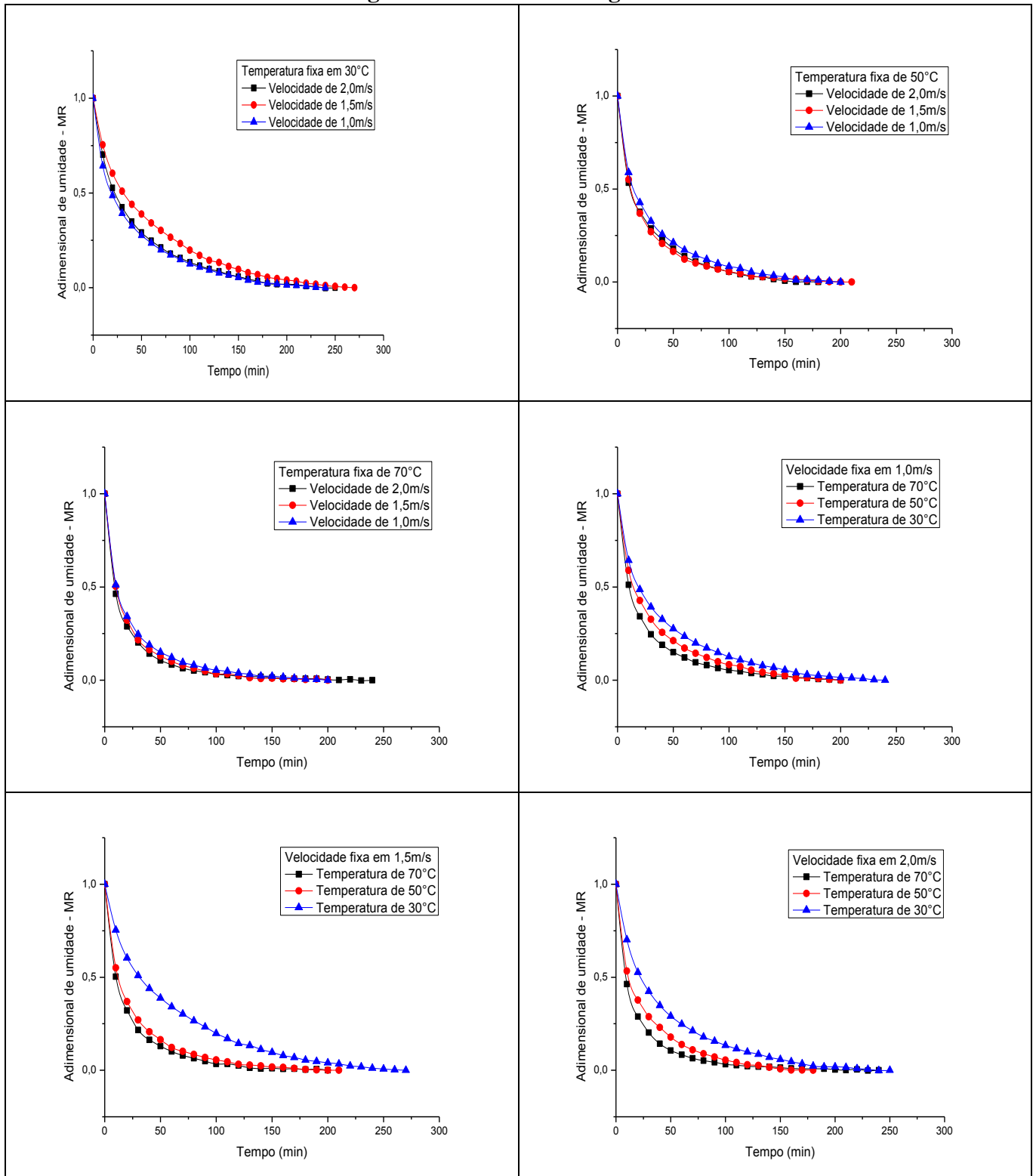
Sendo MR definido com $(M - M_{eq})/(M_0 - M_{eq})$.

Para encontrar a equação que melhor representa o comportamento dos dados experimentais de cinética de secagem utilizou-se de um procedimento estatístico de discriminação de modelos rivais, que tem como base medidas de não linearidade, ou seja, medidas de curvatura de Bates e Watts (1980) e de vício de Box (1971).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As curvas de secagem obtidas nas diferentes condições experimentais estabelecidas estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - Curvas de secagem.



Através dos gráficos apresentados acima, nota-se uma maior influencia da temperatura sobre a secagem do material do que a influencia da velocidade. Percebe-se também que a secagem é controlada pela difusão, logo, o teor de umidade da superfície do sólido é

bem próximo ao valor de equilíbrio. Como a difusividade aumenta com o aumento da temperatura, a secagem ocorre mais rapidamente à temperaturas mais elevadas. Os parâmetros estimados, ajuste do modelo (R^2), medidas de curvatura de Bates e Watts

(IN e PE) e vício de Box encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros estimados e medidas de curvatura.

Referencia	R ²	Parâmetro		Valor Estimado		% de Vício de Box
Lewis*	0,961393	IN	0,0283	A	0,754	7,1142
		PE	11,0619	B	2302,224	0,0118
Brooker**	0,968092	IN	0,0487	A	0,666	6,3493
				B	2293,844	0,0105
		PE	12,7952	C	0,918	0,0093
Henderson e Henderson**	0,977906	IN	0,0407	A	0,578	4,6612
				B	2274,960	0,0082
		PE	10,9592	C	0,850	0,006
Page**	0,988685	IN	0,0339	A	0,777	1,5141
				B	1590,217	0,0268
		PE	6,2661	C	0,709	0,0211
Overhults**	0,988685	IN	0,0338	A	-0,36	-0,1979
				B	-2242,63	0,0084
		PE	0,0568	C	0,71	0,021

$$* 1/2\sqrt{F_{(2;203;0,95)}} = 0,113$$

$$** 1/2\sqrt{F_{(3;202;0,95)}} = 0,171$$

Pela Tabela 2, percebe-se que nas cinco equações a curvatura intrínseca (IN) não possui valor significativo, já que esta apresenta valores menores do que $1/2\sqrt{F}$, sendo que na curvatura paramétrica, que é uma curvatura devido a efeitos de parâmetro, apenas a equação de Overhults possui valor menor do que $1/2\sqrt{F}$. Nas quatro primeiras equações, como o valor da curvatura (PE) é superior a $1/2\sqrt{F}$, pelo menos um dos parâmetros apresenta comportamento não linear. Como pode ser verificado na Tabela 2, o parâmetro A apresenta os maiores valores de % de vício para as quatro primeiras equações, e, portanto,

este parâmetro é o responsável pelo comportamento não linear destas equações.

As equações de Page e Overhults apresentaram os maiores valores para o R², porém, a equação de Page possui um comportamento não linear, ou seja, (PE) > $1/2\sqrt{F}$. Este comportamento deve-se a forma como a temperatura esta associada ao parâmetro difusividade efetiva, que nas quatro primeiras equações é através de uma função do tipo Arrhenius.

CONCLUSÕES

Através do estudo realizado, pode-se concluir que a equação de Overhults é a equação que melhor representa a cinética de secagem da casca da macadâmia, pois esta equação apresentou os maiores valores de R^2 e possui valores da curvatura intrínseca e paramétrica não significativos, o que indica um comportamento próximo a linearidade.

Constatou-se ainda que a secagem da casca de macadâmia sofre mais influência da temperatura do ar de secagem do que da velocidade.

NOMENCLATURA

T_f : temperatura do ar [$^{\circ}\text{C}$]

A, B, C e n: adimensionais

MR: adimensional de umidade

M: umidade em base seca em um dado instante

[$\text{Kg}_{\text{água}}/\text{Kg}_{\text{amostra seca}}$]

M_0 : umidade em base seca inicial

[$\text{Kg}_{\text{água}}/\text{Kg}_{\text{amostra seca}}$]

M_{eq} : umidade em base seca de equilíbrio

[$\text{Kg}_{\text{água}}/\text{Kg}_{\text{amostra seca}}$]

REFERÊNCIAS

- ARRUDA, E.B. Comparação do desempenho do secador roto-fluidizado com o secador rotatório convencional: secagem de fertilizantes. Universidade Federal de Uberlândia, 2008. Tese de Doutorado.
- BATES, D.M., WATTS, D.G. Relative curvature measures of nonlinearity. *Journal of the Royal Statistical Society Series B*, vol. 42, p. 1-25, 1980.
- BOX, M.J. Bias in nonlinear estimation. *Journal of the Royal Statistical Society Series B*, vol. 33, p. 171-201, 1971.
- BROOKER, D.B., BAKKER-ARKEMA, F.W., HALL, C.W. Drying cereal grains. The Avi Publish Company, Inc., Westport, 1974.
- GLOBO RURAL, Cultivo da noz macadâmia cresce no Espírito Santo. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2011/04/cultivo-da-noz-macadamia-cresce-no-espirito-santo.html>> Acessado em 09 de agosto de 2013.

HENDERSON, J.M., HERDERSON, S.M. A computational procedure for deep-bed drying analysis. *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 13, p. 87-95, 1968.

LEWIS, W.K. The rate of drying of solids materials. *Ind. Eng. Chem.* vol 13, p. 427, 1921.

OVERHULTS, D.G., WHITE, G.M., HAMILTON, H.E., ROSS, I.J. Drying soybeans with heated air. *Transactions of the ASAE*, p. 112-113, 1973.

PAGE G.E. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin-layer, Purdue University, Indiana-USA, 1949. Dissertação de Mestrado.

PIMENTEL, L. D. A cultura da macadâmia. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 29, p. 414-716, 2007.

SOBIERAJSKI, G. R., FRANCISCO, V. L. F. S., ROCHA, P., GHILARDI, A. A., MAIA, M. L. *Revista Informações Econômicas*, SP, v.36, n° 5, maio 2006.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, ao CNPq e à FAPES pelo apoio financeiro.