

CINÉTICA DE SECAGEM DOS GRÃOS DE COENTRO (*Coriandrum sativum L.*)

¹Matheus Serrano Medeiros, ²Wilton Pereira da Silva, ¹Daniela Dantas de Farias Leite,
³Gabriel Barbosa Câmara, ¹Patrícia Venâncio da Silva Medeiros

¹Doutorandos em Engenharia Agrícola. UFCG/Campina Grande-PB.

²Engenheiro Eletricista, Professor Doutor, Depto. de Física. UFCG/Campina Grande-PB.

³Graduando em Nutrição. FACISA/Campina Grande-PB.

RESUMO

Cultivar de grande importância econômica no Brasil, o coentro desempenha um papel social significativo, onde suas sementes e folhas são amplamente utilizadas como condimento em diversas preparações culinárias e formulações. Devido as diversas transformações que o meio ambiente vem sofrendo, faz-se essencial à adaptação as novas tecnologias que preservem os recursos naturais existentes no meio em que vivemos, como a secagem, por exemplo. Diante disso, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar a secagem de grãos de coentro e ajustar diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais. Dentre os modelos matemáticos testados, o de Dois Termos apresentou os melhores parâmetros de ajuste, com R^2 superiores a 0,99 e baixos valores de DQM.

Palavras-chave: Condimento; Desidratação; Dois Termos.

ABSTRACT

Cultivar of great economic importance in Brazil, the coriander plays a significant social role, where its seeds and leaves are widely used as condiment in various culinary preparations and formulations. Due to the diverse transformations that the environment is suffering, it becomes essential to adapt the new technologies that preserve the natural resources existing in the environment in which we live, such as drying, for example. In view of this, this work was developed with the objective of analyzing the drying of coriander grains and adjusting different mathematical models to the experimental values. Among the mathematical models tested, the Two-Tables presented the best adjustment parameters, with R^2 above 0.99 and low DQM values.

Key words: Condiment; Dehydration; Two Terms.

1. INTRODUÇÃO

O coentro (*Coriandrum sativum* L.) é originário da região mediterrânea, sendo cultivada em diversas regiões do mundo, onde todas as suas partes são consideradas comestíveis. Suas folhas são muito utilizadas na culinária nordestina, geralmente na decoração e composição de pratos regionais (MANDAL, 2015; GRANGEIRO et al., 2011). As suas sementes são extremamente valorizadas no ramo comercial, isso por que se trata de uma erva condimentar, com uma alta taxa de importação e produção nacional. Em termos de volume de comercialização de sementes de hortaliças, o coentro equivale a 9% do total de toda a produção no Brasil (SOUSA et al., 2011).

Segundo ABCSEM (2010), foram comercializadas no ano de 2009, cerca de 508 toneladas de sementes de coentro das cultivares Verdão e Português, onde estima-se que a área plantada no país com essas cultivares foi de 36.679 ha.

A produção nacional de sementes está relacionada diretamente ao sistema convencional, porém isto vem mudando no decorrer dos anos. Devido as diversas transformações que o meio ambiente vem sofrendo, seja ela natural ou pela ação do homem, assim como também a crise socioeconômica, faz-se essencial à adaptação as novas tecnologias que preservem os recursos naturais existentes no meio em que vivemos (SILVA; COELHO JÚNIOR; SANTOS, 2012).

Mesmo a semente do coentro sendo uma cultura em destaque comercial em toda região do Nordeste, poucos estudos têm sido realizados com o intuito melhorar as técnicas utilizadas na sua produção que mantenha suas características iniciais por um longo período, sendo a secagem da mesma, uma opção acessível e simples.

A secagem é a operação de retirada de água de um material úmido por meio da aplicação de calor, com o auxílio de um fluxo de ar desumidificado, tendo como objetivo a vaporização da água, promovendo, assim, a diminuição da atividade enzimática, fúngica e bacteriana (NASCIMENTO; BIAGI; OLIVEIRA, 2015).

Vários trabalhos já foram desenvolvidos para avaliar a secagem de diversos tipos de grãos e sementes. Corrêa et al. (2007), com a secagem de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), Costa et al. (2011), ao analisarem a modelagem matemática da secagem de sementes de crambe (*Crambe abyssinica*), Reis et al. (2011), com a secagem de pimenta cumari do Pará, e Diógenes et al. (2013), ao investigarem a cinética de secagem de grãos de abóbora.

Considerando a importância do estudo teórico do processo de secagem dos produtos agrícolas e também a limitação de informações a respeito dos fenômenos que ocorrem durante a secagem nos grãos, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar a secagem de grãos de coentro e ajustar diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) da Universidade Federal de Campina Grande. Para a condução do experimento, foram utilizados grãos de coentro da variedade Verdão, comprados na feira central de Campina Grande, os teores de água do produto foram determinados de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). A secagem do produto foi realizada para nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Utilizou-se na secagem recipientes retangulares removíveis de metal com fundo telado para permitir a passagem do ar através da massa de produto, sendo realizado em sistema de triplicata para assegurar a confiabilidade dos dados, contendo cada uma, aproximadamente 35 gramas de grãos de coentro. A quantidade dos grãos utilizados promoveu o completo preenchimento do recipiente de forma a assegurar uma camada delgada de produto. O fluxo de ar foi monitorado com o auxílio de um anemômetro o qual aferiu velocidade do ar de 1,5 m.s⁻¹.

Durante o processo de secagem, os recipientes com as amostras foram pesados periodicamente. Utilizou-se uma balança digital de precisão científica com 0,001 casas decimais. As cinéticas de secagem foram determinadas pesando-se as cestas com as amostras em intervalos regulares de 5, 10, 20, 30 e 60 min, até atingir o equilíbrio, sendo então determinada a massa seca em estufa a 105 °C, de acordo com o Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

Após o término dos experimentos, foi elaborada uma tabela com todos os dados necessários para a plotagem gráfica. A partir disso, as curvas de secagem, para as diferentes temperaturas, foram plotadas através do software STATISTICA 7.7. A partir destas curvas, pôde-se avaliar a influência da temperatura no tempo de secagem do material.

Com os dados experimentais das cinéticas de secagem foram calculadas as razões do teor de água das amostras, de acordo com a Equação 1.

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

Em que:

RX – razão do teor de água da amostra (adimensional);

X – teor de água da amostra em um determinado tempo de secagem (b.s.);

X_i – teor de água inicial da amostra (b.s.);

X_e – teor de água de equilíbrio da amostra (b.s.).

Com os dados coletados foram construídas as curvas de cinética de secagem e os modelos matemáticos (Tabela 1) de Lewis, Page, Henderson e Pabis, Exponencial de Dois Termos, Logarítmico, Aproximação de difusão, Dois Termos e Midilli foram ajustados aos dados experimentais, utilizando-se o programa Statistica 7.7.

Tabela 1- Modelos matemáticos utilizados para ajustar os dados da cinética de secagem

Designação do modelo	Modelo	Referência	Eq.
Lewis	$RX = \exp(-k.t)$	Kaleta e Górnicki (2010)	(2)
Page	$RX = \exp(-k.t^n)$	Galdino et al. (2016)	(4)
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-k.t)$	Galdino et al. (2016)	(6)
Exponencial de Dois Termos	$RX = a \exp(-k.t) + (1-a) \exp(-k.a.t)$	Ferreira et al. (2012)	(7)
Logarítmico	$RX = a \exp(-k.t) + c$	Diógenes et al. (2013)	(8)

Aproximação de Difusão $RX=a.exp(-k.t)+(1-a).exp(-k.b.t)$ Faria et al. (2012) (9)

Dois termos $RX=a.exp(-k_0.t)+b.exp(-k_1.t)$ Jittanit (2011) (10)

Midilli $RX=a.exp(-k.t^n)+b.t$ Galdino et al. (2016) (11)

Onde: RX - razão do teor de água, adimensional; a, b, k, n, q – parâmetros dos modelos; t - tempo de secagem, min.

Para avaliar qual modelo produziu o melhor ajuste foram utilizados, como parâmetros, o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM), este último de acordo com a Equação 12.

$$DQM = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

Em que:

DQM - desvio quadrático médio;

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

RX_{exp} - razão de água experimental;

n - número de observações realizadas durante o experimento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se, na Tabela 2, os parâmetros dos modelos matemáticos de Lewis, Page, Henderson e Pabis, Exponencial de Dois Termos, Logarítmico, Aproximação de difusão, Dois Termos e Midilli ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem dos grãos de coentro e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM).

Tabela 2 - Parâmetros obtidos, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos matemáticos ajustados aos dados de secagem dos grãos de coentro

Modelo	Parâmetro				
	T (°C)	K	R^2	DQM	
Lewis	40	0,037505	0,8736	0,0764	
	50	0,073650	0,8870	0,0664	
	60	0,085753	0,9081	0,0606	
	70	0,089385	0,9511	0,0480	
Page	T (°C)	K	n	R^2	DQM
	40	0,202674	0,509628	0,9983	0,0089
	50	0,339834	0,465871	0,9961	0,0123

	60	0,350953		0,481939	0,9949	0,0142	
	70	0,269573		0,586945	0,9974	0,0111	
	T (°C)	A		k	R ²	DQM	
Henderson e Pabis	40	0,797218		0,027230	0,9186	0,0613	
	50	0,861677		0,059694	0,9044	0,0611	
	60	0,895344		0,073626	0,9183	0,0572	
	70	0,925557		0,081126	0,9563	0,0454	
	T (°C)	a		k	R ²	DQM	
Exponencial de dois termos	40	0,228938		0,125427	0,9240	0,0592	
	50	0,258309		0,212299	0,9257	0,0538	
	60	0,269263		0,235207	0,9401	0,0489	
	70	0,273869		0,244131	0,9705	0,0349	
	T (°C)	a	K	c	R ²	DQM	
Logarítmico	40	0,797140	0,037850	0,061372	0,9506	0,0479	
	50	0,871499	0,085376	0,057124	0,9515	0,0435	
	60	0,896011	0,101456	0,054665	0,9635	0,0382	
	70	0,917426	0,099839	0,041095	0,9770	0,0329	
	T (°C)	a	K	b	R ²	DQM	
Aproximação da difusão	40	0,606268	0,123986	0,088881	0,9953	0,0148	
	50	0,742670	0,171094	0,080004	0,9975	0,0099	
	60	0,769030	0,177104	0,085662	0,9982	0,0085	
	70	0,711413	0,183056	0,142136	0,9956	0,0044	
	T (°C)	a	k0	b	k1	R ²	DQM
Dois termos	40	0,596984	0,117838	0,386511	0,010804	0,9954	0,0145
	50	0,255880	0,013607	0,737044	0,168982	0,9975	0,0099
	60	0,230137	0,015116	0,765550	0,175887	0,9982	0,0084
	70	0,288308	0,026000	0,710764	0,182752	0,9956	0,0044
	T (°C)	a	k	n	b	R ²	DQM
Midilli	40	1,006810	0,203853	0,510180	0,000008	0,9984	0,0086
	50	1,004947	0,336268	0,471370	0,000017	0,9964	0,0119
	60	1,004671	0,341492	0,494092	0,000036	0,9956	0,0132
	70	1,003586	0,263875	0,597341	0,000043	0,9976	0,0105

Verifica-se que os modelos matemáticos de Page, Aproximação de difusão, Dois Termos e Midilli, resultaram em bons ajustes aos dados de secagem dos grãos de coentro. Entretanto, o de Aproximação da Difusão foi considerado o melhor para estimar as curvas de cinética de secagem dos grãos de coentro nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, apresentando os menores valores de DQM (< 0,002) e os maiores R² (> 0,995). Hacıhafızoglu et al. (2008) e Costa et al. (2011) também verificaram coeficientes de determinação superiores a 0,99 ao estudarem a secagem de grãos de feijão, grãos de arroz e sementes de crame, respectivamente.

O parâmetro “k” dos modelos Henderson e Pabis e Aproximação da Difusão, aumentou com o aumento da temperatura de secagem, comportamento também verificado por Doymaz (2005), para a secagem em camada fina de feijão verde a 50, 60 e 70 °C, e por Corrêa et al. (2001) ao secarem milho de pipoca nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C. Segundo

Corrêa et al. (2007), a constante de secagem “k” representa o efeito das condições externas de secagem e a constante “n” reflete a resistência interna do produto à secagem.

Com o aumento da temperatura do ar de secagem constata-se que ocorreu maior taxa de remoção de água do produto. Martins et al. (2015) citam que o aumento da temperatura do ar de secagem reduz diretamente o tempo necessário para a remoção de água do produto diminuindo, assim, o tempo de secagem. Este fenômeno foi observado por diversos pesquisadores em vários produtos agrícolas (RADÜNZ et al., 2011; PRATES et al., 2012; SIQUEIRA et al., 2012; GONELI et al., 2014).

Pontes et al. (2009) estudando a secagem da pimenta de cheiro, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, verificaram que a temperatura de desidratação exerce influência sobre a velocidade de secagem do produto, sendo o tempo de secagem menor com o aumento da temperatura, com tempos de secagem iguais a 600, 162 e 138 min, respectivamente. Esse comportamento deve-se ao fato das maiores taxas de remoção de água do produto ocorrerem nas maiores temperaturas, o que reduz o tempo de secagem.

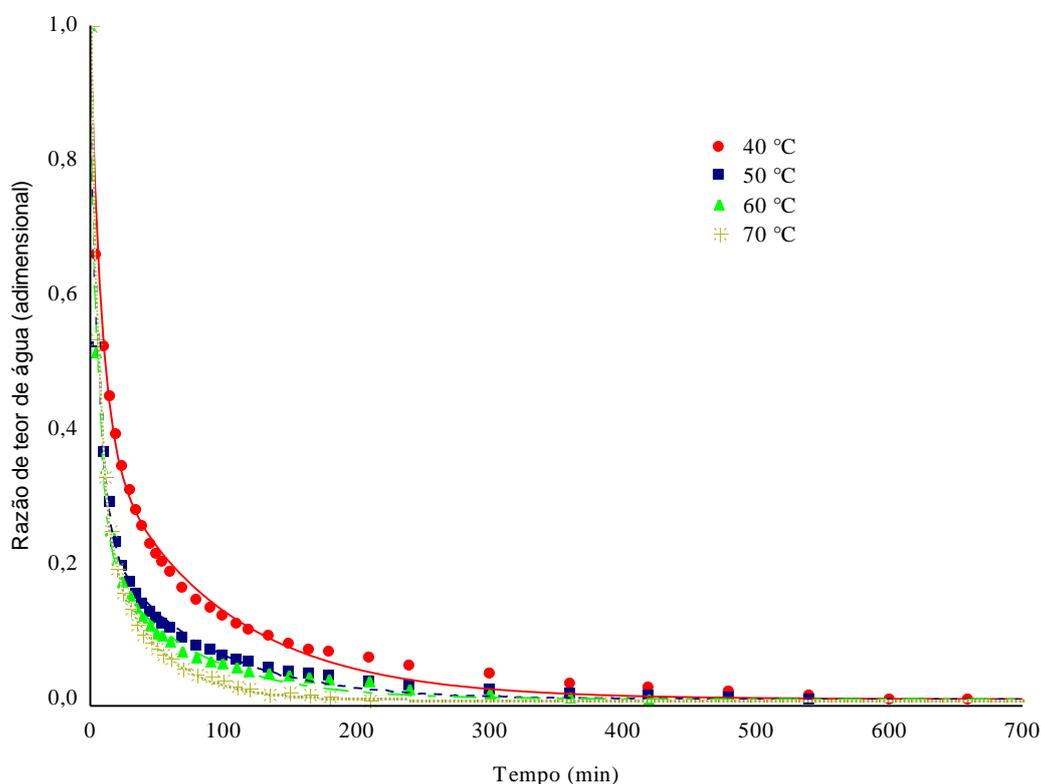


Figura 1 - Cinética de secagem dos grãos de coentro, ajustados ao modelo de Dois Termos, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

4. CONCLUSÃO

O tempo de desidratação dos grãos de coentro diminuiu com o aumento da temperatura de secagem, 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente. A maioria dos modelos matemáticos representaram satisfatoriamente os dados experimentais. Entretanto, o modelo de

Dois Termos foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, apresentando R^2 superiores a 0,99 e baixos valores de DQM.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS - ABSEM. 2010. Pesquisa mercado. Disponível:http://www.abcsem.com.br/docs/direitos_reservados.pdf.

CORRÊA, P. C.; MACHADO, P. F.; ANDRADE, E. T. Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho- pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 1, p. 134-142, 2001.

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. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007.

COSTA, L. M.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; GONÇALVES, D. N. Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 10, p. 1089-1096, 2011.

DIÓGENES, A. M. G.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SANTOS, D. C. Cinética de secagem de grãos de abóbora. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 1, p. 71-80, 2013.

DOYMAZ, I. Drying behaviour of green beans. **Journal of Food Engineering**, v. 69, n. 2, p. 161- 165, 2005.

FARIA, R. Q.; TEIXEIRA, I. R; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R.; RESENDE, O. Cinética de secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 57-583, 2012.

FERREIRA, L. F. D; PIROZI, M. R; RAMOS, A. M; PEREIRA, J. A. M. Modelagem matemática da secagem em camada delgada de bagaço de uva fermentado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 6, p. 855-862, 2012.

GALDINO, P. O.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; GALDINO, P. O. Drying kinetics of atemoya pulp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 7, p. 672-677, 2016.

GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C.; VILHASANTI, H. C. B.; GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014.

GRANGEIRO, L. C.; OLIVEIRA, F.; NEGREIROS, M.; MARROCOS, S.; LUCENA, R.; OLIVEIRA, R. Crescimento e acúmulo de nutrientes em coentro e rúcula. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 11-16, 2011.

HACIHAFIZOGLU, O.; CIHAN, A.; KAHVECI, K. Mathematical modelling of drying of thin layer rough rice. **Food and Bioproducts Processing**, v. 86, n. 4, p. 268-275, 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p.

JITTANIT, W. Kinetics and temperature dependent moisture diffusivities of pumpkin seeds during drying. **Kasetsart Journal: Natural Science**, v. 45, n. 1, p. 147-158, 2011.

KALETA, A.; GÓRNICKI, K. Evaluation of drying models of apple (var. McIntosh) dried in a convective dryer. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 45, n. 5, p. 891-898, 2010.

MANDAL, S.; MANDAL, M. Coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil: Chemistry and biological activity. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 5, n. 6, p. 421-428, 2015.

MARTINS, E. A. S.; LAGE, E. Z.; GONELI, A. L. D.; HARTMANN FILHO, C. P.; LOPES, J. G. Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, pp. 238-244, 2015.

NASCIMENTO, V. R. G.; BIAGI, J. D.; OLIVEIRA, R. A. Modelagem matemática da secagem convectiva com radiação infravermelha de grãos de *Moringa oleifera*. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 19, n. 7, p. 686-692, 2015.

PONTES, S. F. O.; SANTOS, C. T.; FERREIRA, R. C.; PONTES, V. L.; FONTAN, R. C. I. Determinação das curvas de secagem em camada delgada de pimenta de cheiro (*capsicum chinense*) a diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 2, p. 143-148, 2009.

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**, v. 14, n. 3, p. 514- 521, 2012.

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**, v. 19, n. 1, p. 19-27, 2011.

REIS, R. C.; BARBOSA, L. S.; LIMA, M. L.; REIS, J. S., DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R. Modelagem matemática da secagem da pimenta cumari do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 347-353, 2011.

SILVA, M. A. D.; COELHO JÚNIOR, L. F.; SANTOS, A. P. Vigor de sementes de coentro (*Coriandrum sativum* L.) provenientes de sistemas orgânico e convencional. **Revista Brasileira de plantas mediciniais, Botucatu**, v. 14, p. 192-196, 2012.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Drying kinetics of *Jatropha* seeds. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, p. 171-177, 2012.

SOUSA, T. V.; ALKIMIM, E. R. A.; DAVID, A. M. S. S.; SÁ, J. R.; PEREIRA, G. A.; AMARO, H. T. R.; MOTA, W. F. Época de colheita e qualidade fisiológica de sementes de coentro produzidas no Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira Plantas Mediciniais**, v. 13, n. especial, p. 591-597, 2011.