

Equilíbrio Higroscópico de Sementes de Linhaça em Diferentes Condições Ambientais de Armazenamento

27

Juliana Soares Zeymer¹, Paulo Cesar Corrêa¹, Fernanda Machado Baptestini², Marcos Eduardo Viana de Araujo¹, Igor Lopes de Faria¹, Renata Cássia Campos¹

RESUMO

O estudo sobre a higroscopicidade de sementes fornece informações essenciais para otimização de processos de secagem, manuseio, armazenagem, embalagem e longevidade do produto. Dito isto, objetivou-se neste trabalho determinar o modelo matemático mais adequado para prever o teor de água de equilíbrio de sementes de linhaça. O equilíbrio higroscópico foi alcançado por meio do método estático-gravimétrico, nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 ± 1°C e atividade de água entre 0,11 e 0,96 ± 2%. Seis modelos matemáticos foram ajustados aos dados experimentais do teor de água de equilíbrio das sementes de linhaça. O modelo mais adequado foi escolhido considerando-se a magnitude do erro médio relativo (MRE), o desvio padrão da estimativa (SDE) e a análise de distribuição dos resíduos. O modelo de Smith foi o que melhor representou o fenômeno, apresentando valores de 9,41% e 0,51 de MRE e SDE, respectivamente, e distribuição aleatória dos resíduos. As curvas isotérmicas de sementes de linhaça estimadas pelo modelo de Smith apresentaram formato exponencial, característica de curva do tipo III.

Palavras-chave: Modelagem matemática, Umidade relativa, Temperatura, Isotermas de sorção.

INTRODUÇÃO

O armazenamento de sementes constitui importante estratégia para a manutenção genética *ex situ* de espécies vegetais, atendendo a objetivos como conservação,

¹Universidade Federal de Viçosa (UFV), Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR), Campus de Viçosa, CEP 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. E-mail: juliana.zeymer@ufv.br; copace@gmail.com; marcos.rav@hotmail.com; igorbenks@gmail.com; camposrc16@gmail.com;.

² Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Departamento de Engenharia Rural, Campus de Alegre, CEP 29500-000, Alegre, Espírito Santo, Brasil. E-mail: fbaptestini@yahoo.com.br.

melhoramento ou longevidade (Caetano et al., 2012). As condições de temperatura e umidade relativa do ar durante o armazenamento, onde as sementes alcançarão o equilíbrio higroscópico, determinarão a manutenção de sua qualidade fisiológica por maior ou menor tempo (Zeymer et al., 2017).

As sementes de linhaça, assim como a maioria dos produtos agrícolas, possuem a propriedade de realizar trocas de água sob a forma de vapor com o ambiente que os envolve. Essas trocas podem ocorrer por meio do ganho ou da perda de água, buscando estabelecer um equilíbrio entre o seu teor de água e as condições do ar ambiente (Corrêa et al., 2014). Assim, se faz relevante o conhecimento entre o produto, a temperatura e a umidade relativa do ar, a fim de estabelecer condições que amenizem possíveis alterações físicas, químicas, microbiológicas e fisiológicas durante o período de armazenamento do produto (Goneli et al., 2013).

O comportamento higroscópico de produtos agrícolas tem sido estudado por vários pesquisadores através de modelos matemáticos (Silva e Rodvalho, 2012). Tais modelos são imprescindíveis pois relatam o teor de água do produto em determinada condição ambiental, sem a necessidade de realizar testes onerosos e demorados. Além disso, em conjunto com a previsão do tempo, pode-se antever o que poderá ocorrer com as sementes armazenadas, sendo informação importante para a tomada de decisão do profissional responsável pelas sementes (Corrêa et al., 2016).

Diante da importância do conhecimento da higroscopicidade no armazenamento de produtos agrícolas, nota-se que a literatura não faz menção ao estudo de sementes de linhaça. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo determinar as isotermas de dessorção de sementes de linhaça, ajustando diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais e selecionando aquele que melhor representa o fenômeno.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Propriedades Físicas e Avaliação de Qualidade de Produtos Agrícolas, pertencente ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR), localizado na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

Para a obtenção do teor de água de equilíbrio das sementes de linhaça, foi empregado o método estático-gravimétrico. Para cada repetição, foram colocados 20 g de sementes envolvidas por um tecido impermeável para permitir o contato do ar com o produto. Em seguida, as amostras foram colocadas no interior de dessecadores. Para o controle da umidade relativa no interior dos dessecadores, foram utilizadas soluções salinas saturadas de diferentes sais, que determinaram umidades entre 11 e 96 ± 2%. Os dessecadores foram armazenados em câmaras BOD, reguladas nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C ± 1°C.

Durante o experimento, as amostras foram pesadas diariamente e o equilíbrio higroscópico foi atingido quando a variação de massa em três pesagens consecutivas foi menor ou igual a 0,01 g. O teor de água do produto foi então determinado pelo método gravimétrico utilizando-se uma estufa com circulação forçada de ar a $105 \pm 1^\circ\text{C}$ por 24 h, em três amostras de 50 g, de acordo com Brasil (2009).

Aos dados experimentais do teor de água de equilíbrio das sementes de linhaça, foram ajustados seis modelos matemáticos frequentemente utilizados para a representação da higroscopicidade de produtos agrícolas, cujas expressões estão apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. Modelos matemáticos utilizados para prever a higroscopicidade de produtos agrícolas

Nome do modelo	Modelo	Número da equação
Henderson Modificado	$U_e = \left[\frac{\ln(1 - a_w)}{-a(T + b)} \right]^{\frac{1}{c}}$	(1)
Oswin Modificado	$U_e = (a + bT) \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^{\frac{1}{c}}$	(2)
Harkins Jura	$U_e = \frac{\exp(a - bT)}{c - \ln(a_w)}$	(3)
Copace	$U_e = \exp[a - (bT) + (ca_w)]$	(4)
Chung Pfof	$U_e = a - b \ln[-(T + c) \ln(a_w)]$	(5)
Smith	$U_e = a - (bT) - c \ln(1 - a_w)$	(6)

Em que: U_e – teor de água de equilíbrio, (% b.s.); a_w – atividade de água (decimal); T – temperatura ($^\circ\text{C}$); a, b e c – parâmetros de ajuste dos modelos utilizados.

Para o ajuste dos modelos matemáticos, foi realizada análise de regressão não-linear pelo método Gauss-Newton. Para verificar o grau de ajuste dos modelos, foram consideradas as magnitudes do erro médio relativo (MRE) e desvio padrão da estimativa (SDE), sendo que, de modo geral, quanto menores forem as magnitudes desses índices, melhor o ajuste do modelo aos dados observados. Os valores de MRE e SDE para cada modelo foram calculados pelas Equações 7 e 8, respectivamente:

$$\text{MRE} = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i} \quad (7)$$

$$\text{SDE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\text{GLR}}} \quad (8)$$

Em que: Y_i – valor observado experimentalmente; \hat{Y}_i – valor estimado pelo modelo; n – número de dados observados; GLR – graus de liberdade do resíduo (número de dados observados menos o número de parâmetros do modelo).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão apresentados os parâmetros dos modelos e os coeficientes ajustados aos valores do teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes de linhaça, obtidos por dessorção, para diferentes condições de temperatura e umidade relativa.

TABELA 2. Coeficientes de ajuste e estimativas dos parâmetros dos modelos de equilíbrio higroscópico das sementes de linhaça, obtidos por dessorção

Modelo	Parâmetros	R ² (%)	SDE (decimal)	MRE (%)	Distribuição dos resíduos
Henderson Modificado	a = 0,00080 b = 21,95261 c = 1,64004	98,34	0,64	13,28	Tendencioso
Oswin Modificado	a = 7,774562 b = -0,074514 c = 2,510142	98,01	0,70	15,30	Tendencioso
Harkins Jura	a = 2,238718 b = 0,013650 c = 0,435856	98,49	0,61	14,25	Tendencioso
Copace	a = 1,121089 b = 0,013445 c = 1,925965	98,31	0,65	15,60	Tendencioso
Chung Pfof	a = 17,64801 b = 3,49790 c = 14,48074	99,05	0,49	12,53	Tendencioso
Smith	a = 4,353000 b = 0,084726 c = 5,149479	98,96	0,51	9,41	Aleatório

Os parâmetros estatísticos (erro médio relativo e desvio padrão da estimativa) auxiliam na tomada de decisão da escolha do modelo a ser utilizado para representação do fenômeno em questão. De acordo com Draper e Smith (1998), a habilidade de um modelo para descrever adequadamente um processo físico é inversamente proporcional aos valores de SDE. Nota-se o modelo de Smith apresentou menores valores, quando comparado aos demais. Para averiguação do erro associado à estimativa do modelo, Costa et al. (2015) afirma que, para se obter um ajuste satisfatório, o valor de MRE deve ser menor que 10 %. Observa-se que apenas o modelo de Smith apresentou valor satisfatório.

Finalmente, de modo a selecionar o melhor modelo, deve-se levar em consideração a distribuição dos resíduos, que são as diferenças entre os valores observados experimentalmente e os estimados pelo modelo. Para Corrêa et al. (2014), um modelo é considerado aleatório se os valores residuais se encontrarem próximos da faixa horizontal, em torno de zero, e também quando não formarem figuras definidas ou geométricas. Nota-se que apenas o modelo de Smith apresentou comportamento aleatório dos resíduos, não indicando tendenciosidade dos resultados.

Assim, conclui-se que o modelo de Smith foi o selecionado para prever o teor de água de equilíbrio das sementes de linhaça, pois apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais (SDE = 0,51; MRE = 9,41 %; resíduos aleatórios). Na Figura 1 é apresentado os resultados experimentais do teor de água de equilíbrio das sementes de linhaça, obtidos por dessorção, tal como suas isotermas determinadas pelo modelo de Smith.

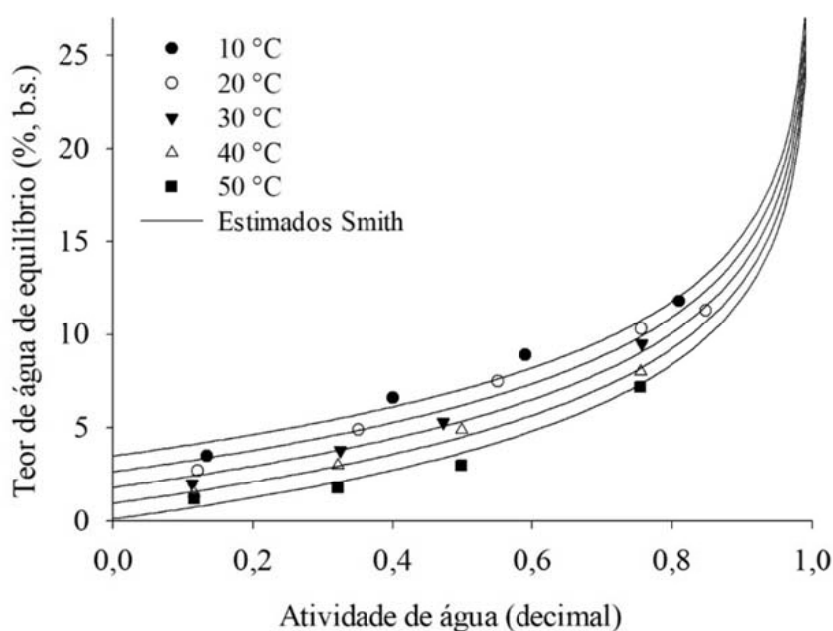


FIGURA 1. Valores experimentais e estimados pelo modelo de Smith, do teor de água de equilíbrio das sementes de linhaça, obtidos por dessorção.

Conforme observado na Figura 1, as isotermas calculadas pelo modelo de Smith

apresentam comportamento exponencial, podendo ser classificadas como do tipo III (IUPAC, 1985). O comportamento encontrado para as sementes de linhaça faz referência aos principais constituintes do produto, que apresentam pouca afinidade pelas moléculas de água, o que é perfeitamente explicável quando se trata de sementes de linhaça, que possuem grande quantidade de óleo em sua constituição. Resultados similares foram encontrados por Siqueira et al. (2018), estudando as isotermas de dessorção de grãos de niger, produto caracterizado pelo alto teor de óleo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análises de sementes**. Brasília: MAPA, 2009. 399p.

CAETANO, G.S.; SOUSA, K.A.; RESENDE, O.; SALES, J.F.; COSTA, L.M. Higroscopicidade de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, n.4, 2012.

CORRÊA, P.C.; BOTELHO, F.M.; BOTELHO, S.C.C.; GONELI, A.L.D. Isotermas de sorção de água de frutos de *Coffea canephora*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.10, p.1047-1052. 2014.

CORRÊA, P.C.; OLIVEIRA, G.H.H.; OLIVEIRA, A.P.L.R.; GONELI, A.L.D.; BOTELHO, F.M. Isotermas de dessorção de sementes de beterraba. **Engenharia na Agricultura**, v.24, n.1, p.15-21, 2016.

COSTA, J.M.G.; SILVA, E.K.; HIJO, A.A.C.T; AZEVEDO, V.M.; BORGES, S.V. Physical and Thermal Stability of Spray-Dried Swiss Cheese Bioaroma Powder. **Drying Technology**, v.33, p.346-354, 2015.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1998. 736p.

GONELI, A.L.D.; CORRÊA, P.C.; OLIVEIRA, G.H.H. ; AFONSO JÚNIOR, P.C. Water sorption properties of coffee fruits, pulped and green coffee. *LWT - Food Science and Technology*, v.50, n.2, p.386–391, 2013.

IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry. Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity (Recommendations 1984), **Pure and Applied Chemistry**, v.57, p.603-619, 1985.

SILVA, H.W.; RODOVALHO, R.S. Isotermas de dessorção das sementes de pimenta

malagueta. **Global Science and Technology**, v.5, n.1, p.32-39, 2012.

SIQUEIRA, V.C.; SILVA, F.P.; QUEQUETO, W.D.; JORDAN, R.A.; LEITE, R.A.; MABASSO, G.A. Desorption isotherms and isosteric heat of niger grains (*Guizotia abyssinica* (L.f.) Cass.). **Revista Agroambiente**, v.12, n.2, p.124-133, 2018.

ZEYMER, J.S.; CORRÊA, P.C.; OLIVEIRA, G.H.H.; BAPTESTINI, F.M.; FREITAS, R.C.P. Desorption isotherms of *Lactuca sativa* seeds. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.8, p.568-572, 2017.