



Modelagem das isotermas de dessorção e do calor isostérico de sementes de crotalária

Suian José GRANELLA^{1*}, Taise Raquel BECHLIN¹, Divair CHRIST¹

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, Brasil. (ORCID: *; 0000-0002-9543-4471; 0000-0001-7179-4336)
*E-mail: suian.jose@gmail.com (ORCID: 0000-0002-9495-4635)

Recebido em 26/12/2018; Aceito em 13/08/2019; Publicado em 04/02/2020.

RESUMO: A manutenção da qualidade de sementes de crotalária (*Crotalaria spectabilis* Roth) por meio do equilíbrio higroscópico é uma forma de conhecer os níveis de teor de água seguros ao armazenamento. Desta forma, objetivou-se determinar as isotermas de dessorção de água das sementes de crotalária nas temperaturas de 5, 10, 15, 25 e 40 °C e atividades de água entre 0,204 e 0,877 (decimal), bem como obter os valores do calor isostérico de dessorção em função do teor de água de equilíbrio do produto. Para obtenção do teor de água de equilíbrio foi utilizado o método estático-gravimétrico. O modelo de Chung-Pfost foi o melhor modelo recomendado para representar a higroscopicidade das sementes de crotalária, cujos teores de água recomendados para o armazenamento seguro são de, no máximo, 21,8; 21,5; 21,2; 20,6 e 19,8% (base seca, b.s.), para as respectivas temperaturas de 5, 10, 15, 25 e 40 °C. O calor isostérico integral de dessorção aumenta com a redução do teor de água, ocorrendo incremento da energia necessária para a remoção de água do produto.
Palavras-chave: *Crotalaria spectabilis* Roth; higroscopicidade; teor de água de equilíbrio.

Modelling of desorption isotherms and isosteric heat of sunn hemp seeds

ABSTRACT: Maintenance of sunn hemp (*Crotalaria spectabilis* Roth) seeds quality through the hygroscopic equilibrium is a way to meet the safe water content levels to storage. Thus, this paper aimed to determine the water desorption isotherms of Sunn hemp seeds at temperatures of 5, 10, 15, 25 and 40 °C, and water activity between 0.204 and 0.877 (decimal), and obtain the values of isosteric heat of desorption as a function of the equilibrium moisture content of the product. The equilibrium moisture content was obtained using the static-gravimetric method. Chung-Pfost was the best model recommended to represent the hygroscopicity of sunn hemp seeds. The recommended moisture contents for safe storage of sunn hemp seeds are not more than 21.8, 21.5, 21.2, 20.6 and 19.8% (dry basis, d.b.) for the respective temperatures of 5, 10, 15, 25 and 40 °C. The integral isosteric heat of desorption increases as the water content decreases, leading to an increment in the energy required to remove water from the product.

Keywords: *Crotalaria spectabilis* Roth; hygroscopicity; equilibrium moisture content.

1. INTRODUÇÃO

Crotalaria spp. é uma leguminosa utilizada como cobertura para controle de ervas daninhas e para o fornecimento de matéria orgânica ao solo, sendo utilizada também para aumentar o teor de nitrogênio por meio de sua simbiose com rizóbium. Já a espécie *Crotalaria spectabilis* é utilizada para o controle de pragas, são plantas semi-químicas atraentes ou repelentes conhecidos como “push-pull” (HASSANALI et al., 2008; PICKETT et al., 2014).

Como diversos produtos agrícolas as sementes de crotalária são higroscópicas, e têm a capacidade de ceder ou adsorver água do ambiente. Essas mudanças no teor de água acontecem até que o produto entre em equilíbrio com as condições do ar que o circunda (GRANELLA et al., 2018). Assim, o teor de água de equilíbrio está diretamente relacionado à secagem e ao armazenamento. Diferentes materiais têm diferentes teores de água de equilíbrio e dependendo da temperatura e umidade relativa do ambiente, variedade e maturidade do grão esse valor muda.

Assim, o comportamento higroscópico de produtos agrícolas tem sido estudado por meio de modelos

matemáticos, que podem prever, com precisão, o teor de água de equilíbrio para uma determinada faixa de temperatura e de atividade de água (CHEN; WENG, 2010). De acordo com Wang; Brennan (1991), por meio das isotermas de equilíbrio higroscópico, pode-se determinar a demanda de energia necessária ao processo de secagem, representada pelos valores do calor isostérico integral (ou entalpia) de dessorção.

Assim, objetivou-se com o estudo determinar as isotermas de dessorção de água das sementes de crotalária às temperaturas de 5, 10, 15, 25 e 40 °C e a atividade da água entre 0,204 e 0,877, além de obter os valores de calor isostérico de dessorção em função do teor de água de equilíbrio do produto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Controle de Qualidade de Produtos Agrícolas pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus Cascavel. Foram utilizadas sementes de crotalária (*Crotalaria spectabilis* Roth) com teor de água de 0,248 (decimal, b.s.).

O teor de água de equilíbrio foi obtido utilizando o método estático-gravimétrico, em três repetições para cada condição de temperatura e atividade de água. Cada repetição usou aproximadamente 5,0 ± 1,0 g de sementes, as quais foram colocadas em recipientes fechados de aproximadamente 100 mL de capacidade. A atividade de água nos recipientes foi controlada utilizando soluções saturadas de diferentes sais e mantidos em câmaras de incubação BOD (Demanda Bioquímica de Oxigênio), reguladas às temperaturas de 5, 10, 15, 25 e 40 °C. As amostras de sementes ficaram sobre um suporte sem contato com a solução salina.

Na Tabela 1 são apresentadas as combinações de temperatura e os intervalos de atividade da água para as soluções salinas saturadas, obtendo valores de atividade de água entre 0,204 e 0,877, adaptado de Spess; Wolf (1987).

Tabela 1 Atividade de água das soluções salinas saturadas.
Table 1. Water activity of saturated saline solutions.

Sal	Temperatura (°C)				
	5	10	15	25	40
CH ₃ CO ₂ K	0,250	0,246	0,225	*	0,204
MgCl ₂	0,336	0,335	0,333	0,328	0,316
K ₂ CO ₃	0,431	0,431	0,431	0,431	0,432
NaNO ₂	0,777	0,731	0,696	0,645	0,616
KI	0,733	0,721	0,710	0,688	0,661
NaCl	0,756	0,757	0,753	0,751	0,746
KCl	0,877	0,868	0,842	0,823	0,795

O processo de dessorção foi monitorado por pesagem periódica até a massa de sementes ser estabilizada e o equilíbrio ser atingido. O teor de água da amostra neste estágio foi definido como o teor de água de equilíbrio. Durante este período, as amostras foram inspecionadas visualmente para detectar qualquer degradação ou alterações.

O teor de água em equilíbrio foi determinado pela secagem das amostras em estufa com circulação de ar forçado a 105 °C durante 24 h (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em base de massa seca (b.s.). Os modelos matemáticos frequentemente utilizados para representar a higroscopicidade dos produtos vegetais (OLIVEIRA et. al., 2017) foram ajustados nos dados experimentais obtidos a cada temperatura (Equações 1 a 8).

Chung-Pfost $X_e = a - b \ln \square \cdot [-(T+c) \cdot \ln (A_w)]$ (1)

Copace $X_e = \exp [a - (b \cdot T) + (c \cdot A_w)]$ (2)

Sigma-Copace $X_e = \exp \{a - (b \cdot T) + [c \cdot \exp(A_w)]\}$ (3)

GAB $X_e = \frac{(a \cdot b \cdot c \cdot A_w)}{[(1 - c \cdot A_w) \cdot (1 - c \cdot A_w + b \cdot c \cdot A_w)]}$ (4)

Sabbah $X_e = a \left(\frac{A_w^b}{T^c} \right)$ (5)

Chung-Pfost Modificado $X_e = (-1/b) \cdot \ln \square [(T+c) \cdot \ln (A_w)] / (-a)$ (6)

Smith $X_e = a - (b \cdot T) - c \cdot \ln(1 - A_w)$ (7)

Côrrea $X_e = 1 / (a \cdot T^b + A_w^c)$ (8)

em que: X_e = teor de água de equilíbrio, decimal b.s.; A_w = atividade de água, decimal; T = temperatura, °C, e a, b e c = coeficientes de ajuste do modelo.

Para o ajuste dos modelos matemáticos foi usado o procedimento de regressão não-linear pelo método Gauss-Newton, que minimiza a soma de quadrados dos desvios entre os dados experimentais e estimados em uma série de etapas iterativas.

Para verificar o grau de ajuste do modelo, foram consideradas as magnitudes do desvio padrão da estimativa (SE) e do erro médio relativo (P), sendo que, de modo geral, quanto menores forem as magnitudes desses índices, melhor o ajuste do modelo aos dados observados experimentalmente (CORRÊA et. al., 2015). Os valores de P e SE para cada modelo foram calculados pelas Equações 9 e 10, respectivamente.

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \tag{9}$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \tag{10}$$

em que: Y = valor experimental; \hat{Y} = valor estimado; n - número de observações, e GLR = graus de liberdade do resíduo (número de dados observados menos o número de parâmetros do modelo).

Além do erro médio relativo e do desvio padrão da estimativa, foram considerados a magnitude do coeficiente de determinação (R²) e o comportamento da distribuição dos resíduos (aleatório ou tendencioso). Após a seleção do modelo que apresentou melhor ajuste foi realizada a análise da dessorção pelo cálculo do calor isostérico.

O calor isostérico líquido de sorção (ou entalpia diferencial) foi determinado pela Equação 11 de Clausius-Clayperon:

$$\frac{\partial \ln \square (A_w)}{\partial T} = \frac{\Delta h_{st}}{R T^2} \tag{11}$$

em que: R=constante universal dos gases constante universal dos gases 0,287 kJ kg K⁻¹, sendo para o vapor d'água 0,4618, kJ kg K⁻¹; A_w = atividade de água, decimal, e T é a temperatura absoluta, K.

Integrando a Equação 8 e assumindo que o calor isostérico líquido de sorção é independente da temperatura, obtém-se o calor isostérico líquido de sorção para cada teor de água de equilíbrio, conforme a Equação 12 (WANG; BRENNAN, 1991):

$$\ln (aw) = \left(\frac{\Delta h_{st}}{R} \right) \frac{1}{T} + C \tag{12}$$

em que: C = Constante de integração, adimensional.

Os valores de atividade de água, temperatura e teor de água de equilíbrio foram obtidos a partir da equação de melhor ajuste aos dados de teor de equilíbrio higroscópico das sementes de crotalária. Os processos de dessorção requerem energia, ou seja, calor deve ser fornecido ao sistema (semente) para que a água líquida mude de fase e deixe o sítio ativo do material higroscópico na forma de vapor.

O calor isostérico integral de sorção foi obtido adicionando-se os valores de calor isostérico líquido de sorção e o valor do calor latente de vaporização da água livre de acordo com a Equação 13.

$$Q_{st} = \Delta h_{st} + L \quad (13)$$

em que: L = calor latente de vaporização da água livre, kJ kg⁻¹; Q_{st} = calor isostérico integral de sorção, kJ kg⁻¹, e h_{st} = calor isostérico líquido de sorção ou entalpia diferencial, kJ kg⁻¹.

O calor latente de vaporização da água livre foi obtido pela temperatura média na faixa em estudo, segundo apresentado na Equação 14.

$$L = 2502,2 - 2,39 \bar{T} \quad (14)$$

em que: T = média aritmética das temperaturas utilizadas, °C.

Para prever o comportamento do calor isostérico integral de dessorção, de acordo com o teor de água de equilíbrio, foi utilizado o modelo exponencial de Ajisegiri-Sopade (AJISEGIRI, 1994) de acordo com a Equação 15.

$$Q_{st} = a \exp(b X_e) + L \quad (15)$$

em que: a e b = parâmetros de ajuste do modelo.

3. RESULTADOS

Na Tabela 2 estão apresentados os coeficientes dos modelos ajustados aos dados experimentais de equilíbrio higroscópico das sementes de crotalária, obtidos por dessorção, para as diferentes condições de temperatura e atividade de água, com seus respectivos valores de erro médio relativo (P), desvio padrão da estimativa (SE) e coeficiente de determinação (R²).

Na Figura 1 estão apresentados os valores experimentais do teor de água de equilíbrio das sementes de crotalária, obtidos por dessorção, bem como as isotermas de dessorção estimadas pelo modelo de Chung-Pfost para as temperaturas de 5, 10, 15, 25 e 40 °C. A Figura 2 mostra a distribuição dos resíduos apresentada pelo modelo Chung-Pfost na descrição do fenômeno de dessorção das sementes de crotalária.

Nota-se, na Figura 2, que o comportamento apresentado pelos resíduos na descrição dos teores de água de equilíbrio das sementes de crotalária foi aleatório. Assim, além de resultar menores magnitudes de erro, o modelo Chung-Pfost também não foi tendencioso nas suas estimativas, sendo esse o modelo recomendado para a predição dos teores de água de equilíbrio das sementes de crotalária.

Tabela 2. Coeficientes de ajuste e parâmetros estatísticos dos modelos de equilíbrio higroscópico para sementes de crotalária obtidos por dessorção
Table 2. Adjustment coefficients and statistical parameters of the hygroscopic equilibrium models for sunn hemp seeds obtained by desorption.

Modelo	Parâmetros			SE (-)	P (%)	R ² (%)	Distribuição residual
	a	b	C				
Chung-Pfost	0,307*	0,0434*	53,35**	0,01454	6,10	86,07	Aleatória
Copace	-2,397*	0,0045*	1,00*	0,01505	6,39	84,97	Aleatória
Sigma-Copace	-2,855*	0,0041*	0,565*	0,01476	6,50	85,53	Aleatória
GAB	0,0907 ^{ns}	3,12x10 ^{5 ns}	0,652**	0,01657	7,70	81,77	Tendenciosa
Sabbah	0,248*	0,506*	0,069**	0,01708	7,45	80,63	Aleatória
Chung-Pfost Modificado	23,05*	53,356**	1181,0**	0,01454	6,10	86,07	Aleatória
Smith	0,105*	0,0006**	0,0578*	0,01456	6,46	81,77	Tendenciosa
Córrea	5,345*	0,0825**	178,43*	0,03761	20,64	6,13	Tendenciosa

*Significativo ao nível de probabilidade de 0,01 pelo teste t; **Significativo ao nível de probabilidade de 0,07 pelo teste t; ^{ns}Não significativo.

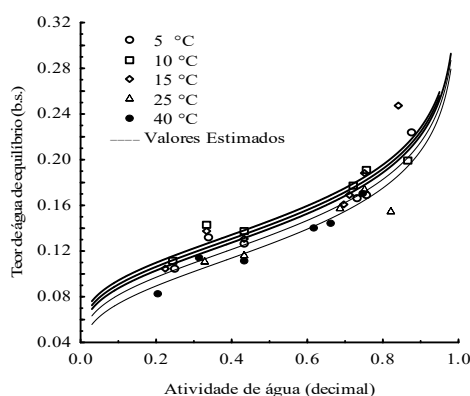


Figura 1. Valores observados e estimados pelo modelo Chung-Pfost do teor de água de equilíbrio das sementes de crotalária obtidos por dessorção

Figure 1. Observed and estimated values by Chung-Pfost model of equilibrium moisture content of sunn hemp seeds obtained by desorption.

Diante da representação satisfatória do equilíbrio higroscópico das sementes de crotalária, o modelo de Chung-Pfost foi utilizado para o cálculo dos valores de atividade de

água, necessários para a determinação dos valores do calor isostérico líquido de dessorção.

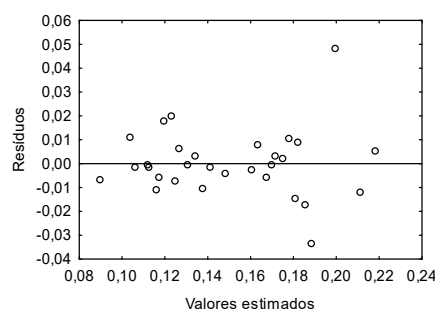


Figura 2. Comportamento da distribuição dos resíduos do modelo Chung-Pfost avaliado para obtenção das isotermas de dessorção das sementes de crotalária.

Figure 2. Behavior of the distribution of model waste Chung-Pfost used for obtaining the desorption isotherms of sunn hemp seeds.

Na Figura 3 são apresentadas as curvas do logaritmo neperiano da atividade da água para específicos valores de teor de água de equilíbrio (% b.s.), em função do inverso da temperatura absoluta (K⁻¹), para as sementes de crotalária.

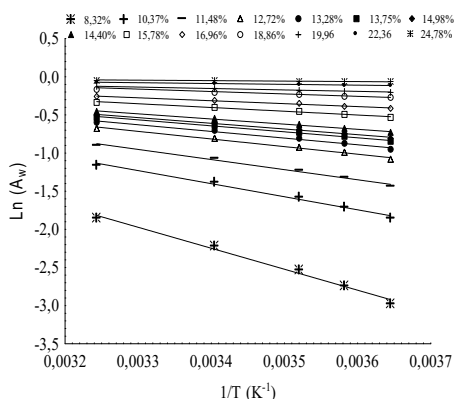


Figura 3. Curvas do logaritmo neperiano da atividade de água (decimal), para o teor de água de equilíbrio (% b.s.), em função de valores do reverso da temperatura 1/T (K⁻¹) para as sementes de crotalária.

Figure 3. Neperian logarithm curves of water activity (decimal), for the equilibrium moisture content (% d.b.), in function of reverse temperature 1/T (K⁻¹) for the seeds of sunn hemp.

A partir dos coeficientes de inclinação das retas da Figura 3, multiplicados pela constante universal dos gases ideais (R=0,4618 kJ.kg⁻¹K⁻¹) foram encontrados os valores do calor isostérico para cada teor de água de equilíbrio, conforme propõe a equação de Clausius Clapeyron (Equação 11), utilizado para estimar a energia requerida no processo de desidratação de produtos agrícolas. A curva do calor isostérico integral de dessorção, representada pelo modelo de Ajisegiri-Sopade, em função do teor de água de equilíbrio (% b.s.) para as sementes de crotalária é apresentada na Figura 4.

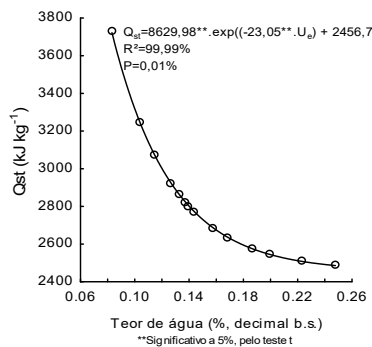


Figura 4. Valores experimentais e estimados do calor isostérico integral de dessorção (Qst) das sementes de crotalária em função do teor de água de equilíbrio.

Figure 4. Experimental and estimated values of the integral isosteric heat of desorption (Qst) in sunn hemp seeds in function of the equilibrium moisture content.

4. DISCUSSÃO

Na modelagem matemática, buscaram-se sempre modelos que apresentam o melhor ajuste possível aos dados experimentais, avaliando-se o erro da estimativa e distribuição dos resíduos. No caso do erro associado à estimativa do modelo, diversos autores argumentam que um modelo tem ajuste satisfatório se o valor do erro médio relativo (P) for menor que 10% (MOHAPATRA; RAO, 2005). Já para o caso do desvio padrão da estimativa (SE), considerou-se aceitável neste trabalho, valores abaixo de 1%.

Desta forma, de acordo com os dados da Tabela 2, verifica-se que, entre os modelos avaliados, o de Chung-Pfost

e Chung-Pfost Modificado foram os que obtiveram as menores magnitudes do desvio padrão da estimativa, sendo (SE) 0,01454, em ambos, e do erro médio relativo (P) 6,10%. Logo, esses modelos foram os melhores que atenderam aos critérios utilizados para a descrição do fenômeno da dessorção das sementes de crotalária.

O coeficiente de determinação (R²) normalmente tem maiores valores para aqueles modelos com melhor ajuste, caso deste trabalho, em que ambos apresentaram valor acima de 86%. Considerando-se que o modelo Chung-Pfost vem sendo tradicionalmente usado para produtos amiláceos (ULLMANN et al., 2016; LI et al., 2011) ele foi selecionado para representar a higroscopicidade das sementes de crotalária.

Assim, na Figura 1 nota-se que as isotermas de dessorção das sementes de crotalária estimadas pelo modelo de Chung-Pfost possuem formato sigmoidal, considerada padrão para produtos agrícolas, como obtido para grãos de mamona (GONELI et al., 2013), grãos de milho (SMANIOTTO et al., 2013) e semente de pimenta (SILVA et al., 2015).

O modelo de Chung-Pfost foi adequado para representar a higroscopicidade das sementes de crotalária na faixa de atividade de água estudada entre 0,204-0,877(decimal, b.s.), como também ocorreu para sorgo sacarino (ULLMANN et al., 2016) e sementes de beterraba (CORRÊA et al., 2015).

Analisando as isotermas da Figura 1, pode-se verificar ainda a influência da temperatura na higroscopicidade das sementes de crotalária que normalmente acontece para a maioria dos produtos agrícolas. Para atingir o mesmo teor de água de equilíbrio aumentando-se a temperatura, deve-se, necessariamente, aumentar a atividade de água, ou, de forma semelhante, para uma dada atividade de água constante, o teor de água de equilíbrio diminui com o aumento da temperatura. Por meio da Figura 4, observa-se, que os valores de calor isostérico integral de dessorção para as sementes de crotalária, entre os teores de água de equilíbrio de 0,083 e 0,247 (b.s.), variaram de 3.726 a 2.485 kJ kg⁻¹. Desse modo, a redução do teor de água ocasiona o aumento da energia necessária para a remoção de água do produto, representada pelos valores do calor isostérico integral de dessorção. Este comportamento durante o fenômeno de dessorção está relacionado com a mobilidade das moléculas de água presentes. Com a elevada atividade de água há menos locais disponíveis para as ligações entre as moléculas, implicando em menor demanda de mobilidade das moléculas de água (RESENDE et al., 2017).

Os valores de calor isostérico de dessorção obtido neste estudo podem ser correlacionados com Oliveira et al. (2013) ao trabalharem com milho, onde relataram valores de 2.734 a 2.506 kJ kg⁻¹, para a faixa de teor de água de 12,8 a 23,3% (b.s.) nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C, logo, Li et al. (2011) avaliando trigo, onde o calor isostérico variou de 4.200 e 2.600 kJ kg⁻¹, trabalhando com cinco variedades de trigo para o teor de água de equilíbrio entre 5,0 e 32,0% (b.s.) nas temperaturas de 10, 20, 25, 30 e 35 °C.

O calor isostérico integral de dessorção para as sementes de crotalária pode ser representado de forma adequada pela equação de regressão exponencial, como também foi constatado por Ullmann et al. (2016) e Oliveira et al. (2017).

5. CONCLUSÕES

O modelo de Chung-Pfost foi o que melhor representou as isotermas de dessorção de água das sementes de crotalária, dentre todos os modelos analisados.

Os teores de água recomendados para o armazenamento seguro das sementes de crotalária são de, no máximo, 21,8; 21,5; 21,2; 20,6 e 19,8% (b.s.), para as respectivas temperaturas de 5, 10, 15, 25 e 40 °C.

O calor isotérmico integral de dessecção das sementes de crotalária varia de 3.726 a 2.485 kJ kg⁻¹, para a faixa de teor de água de 0,083 a 0,247 (b.s.).

6. REFERÊNCIAS

- AJISEGIRI, E. S.; SOPADE, P. A.; ABASS, A. B. Moisture sorption study on Nigerian foods: Kuka. **Journal Stored Products Research**, v. 30 n. 4, p.331–338, 1994. DOI: [https://dx.doi.org/10.1016/S0022-474X\(94\)90324-7](https://dx.doi.org/10.1016/S0022-474X(94)90324-7)
- BRASIL_MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. **Regras Para Análise de Sementes**. Brasília: Secretaria Nacional de defesa Agropecuária, 2009. 399 p.
- CHEN, C.; WENG, Y. K. Moisture sorption isotherms of oolong tea. **Food and Bioprocess Technology**, v. 3, n. 2, p. 226–233, 2010. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s11947-008-0075-9>
- CORRÊA, P. C.; REIS, M. F. T.; OLIVEIRA, G. H. H.; OLIVEIRA, A. P. L.; BOTELHO F. M. Moisture desorption isotherms of cucumber seeds: modeling and thermodynamic properties. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 37, n. 3, p. 218–225, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v37n3149549>
- 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. **Food Science and Technology**, London, v. 50, n. 2, p. 386–391, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.006>
- GRANELLA, S. J.; CHRIST, D.; BECHLIN, T. R.; WERNCKE, I.; COELHO, S. R. M. Thermodynamic properties for different equilibrium moisture content in sunn hemp seeds. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 40, n. 3, p. 288–295, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v40n3188518>
- HASSANALI, A.; HERREN, H.; KHAN, Z. R.; PICKETT, J. A.; WOODCOCK, C. M. Integrated pest management: the push-pull approach for controlling insect pests and weeds of cereals, and its potential for other agricultural systems including animal husbandry. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1491, p. 611–621, 2008. DOI: <https://dx.doi.org/10.1098/rstb.2007.2173>
- LI, X.; CAO, Z.; WEI, Z.; FENG, Q.; WANG, J. Equilibrium moisture content and sorption isosteric heats of five wheat varieties in China. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 47, n. 1, p. 39–47, 2011. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jspr.2010.10.001>
- MOHAPATRA, D.; RAO, S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 66, n. 4, p. 513–518, 2005. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.04.023>
- OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; COSTA, L. M.; FERREIRA JÚNIOR, W. N.; SILVA, I. O. F. Hygroscopicity of baru (*Dipteryx alata* Vogel) fruit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 4, p. 279–284, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n4p279-284>
- OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; SMANIOTTO, T. A. S.; SOUSA, K. A.; CAMPOS, R. C. Propriedades termodinâmicas de grãos de milho para diferentes teores de água de equilíbrio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 1, p. 50–56, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632013000100007>
- PICKETT, J. A.; WOODCOCK, C. M.; MIDEGA, C. A. O.; KHAN, Z. R. Push-pull farming systems. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 26, p. 125–132, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.copbio.2013.12.006>
- RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; COSTA, L. M.; JÚNIOR, W. N. F. Thermodynamic Properties of Baru fruits (*Dipteryx alata* Vogel). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 37, n. 4, p.739–749, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n4p739-749/2017>
- SILVA, H. W.; COSTA, L. M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; SOARE, R. S.; VALE, L. S. R. Higroscopicidade das sementes de pimenta (*Capsicum chinense* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 8, p.780–784, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p780-784>
- SMANIOTTO, T. A. S.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; SOUSA, K. A.; CAMPOS, R. C. Isotermas e calor latente de dessecção dos grãos de milho da cultivar ag 7088. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 11, n.3, p.312–322, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v11n3p312-322>
- ULLMANN, R.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; COSTA, L. M.; CHAVES, T. H. Higroscopicidade das sementes de sorgo-sacarino. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 3, p. 515–524, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n3p515-524/2016>
- WANG, N.; BRENNAN, J. G. Moisture sorption isotherm characteristics of potatoes at four temperatures. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 14, n. 2, p. 269–287, 1991. DOI: [https://dx.doi.org/10.1016/0260-8774\(91\)90018-N](https://dx.doi.org/10.1016/0260-8774(91)90018-N)