

**ISOTERMAS E CALOR ISOSTÉRICO DE DESSORÇÃO DA ÁGUA EM SEMENTES DE TRIGO**Suián José Granella<sup>1</sup>, Taise Raquel Bechlin<sup>2</sup>, Divair Christ<sup>3</sup> & Ivan Werncke<sup>4</sup>1 - Engenheiro agrícola, doutorando em Engenharia Agrícola, UNIOESTE, Cascavel-PR, [suiangranella@hotmail.com](mailto:suiangranella@hotmail.com)2 - Engenheira agrícola, doutoranda em Engenharia Agrícola, UNIOESTE, Cascavel-PR, [tayse\\_raquel@hotmail.com](mailto:tayse_raquel@hotmail.com)3 - Engenheiro agrícola, professor de Engenharia Agrícola, UNIOESTE, Cascavel-PR, [divair.christ@unioeste.br](mailto:divair.christ@unioeste.br)4 - Tecnólogo em Manutenção Industrial, doutorando em Engenharia Agrícola, UNIOESTE, Cascavel-PR, [ivanwerncke@hotmail.com](mailto:ivanwerncke@hotmail.com)**Palavras-chave:**higroscopicidade  
teor de água de equilíbrio  
transferência de calor e massa**RESUMO**

As condições de umidade relativa e temperatura determinarão mudanças na manutenção da qualidade do produto até que o produto atinja o teor de água em equilíbrio, sendo diretamente relacionado à secagem e ao armazenamento. Assim, objetivou-se neste estudo especificar as isotermas de desorção da água em sementes de trigo e obter os valores do calor isostérico de desorção em função do teor de água de equilíbrio. Os dados das isotermas de desorção do teor de água das sementes de trigo foram obtidos pelo método estático gravimétrico, em cinco temperaturas (5, 10, 15, 25 e 40°C), e pela atividade de água entre 0,204 e 0,7567. Foram utilizados cinco modelos matemáticos, Chung-Pfost, Copace, Sigma-Copace, GAB e Sabbah, para descrever os dados experimentais obtidos. O teor de água de equilíbrio das sementes de trigo se reduz com o aumento da temperatura a um teor de água constante. O modelo Chung-Pfost é o que melhor representa as isotermas de desorção da água das sementes de trigo para faixa de atividade de água estudada. O calor isostérico de desorção das sementes de trigo aumenta com a redução do teor de água, variando de 2.602,85 a 4.280,60 kJ.kg<sup>-1</sup>; para a faixa de teor de água estudada de 9,42 a 17,92% (b.s.), o calor isostérico permite determinar o ponto final de secagem e a quantidade mínima de energia requerida para a secagem do alimento.

**Keywords:**hygroscopicity  
equilibrium moisture content  
heat and mass transfer**ISOTHERMALS AND ISOSTERIC HEAT OF WATER DESORPTION ON WHEAT SEEDS****ABSTRACT**

Conditions of relative humidity and temperature will determine changes in the maintenance of product quality until the product reaches equilibrium moisture content, which is directly relate to drying and storage. Thus, the purpose of this study was to determine the desorption isotherms on wheat seeds and to obtain the isosteric desorption heat values as a function of equilibrium water content. Desorption isotherms data of the wheat seeds moisture content were obtained by gravimetric static method, at five different temperatures (5, 10, 15, 25 and 40° C) and water activity ranging from 0.0204 to 0,7567. Five mathematical models, Chung-Pfost, Copace, Sigma-Copace, GAB and Sabbah were use to describe the experimental data obtained. The equilibrium moisture content values of wheat seeds decreased with an increase in temperature at constant relative humidity. Chung-Pfost model was selected to represent the desorption isotherms of wheat seeds for water activity range studied. The isosteric desorption heat of wheat seeds increased with the reduction of water content, ranging from 2,602.85 to 4,280.60 kJ.kg<sup>-1</sup>, for the studied moisture content range of 9.42 to 17.92% (db), the isosteric heat determines the final point of drying and the minimum amount of energy required for the biological materials drying.

## INTRODUÇÃO

Para descrever o processo de secagem, o resfriamento do ambiente do grão, o efeito sobre a atividade de água e para melhorar o controle físico no armazenamento, é essencial o conhecimento da relação entre o teor de água de equilíbrio e a umidade relativa do ambiente. A maneira mais recomendada para definir essa relação é ajustar aos dados experimentais uma equação adequada (Sun & Woods, 1994; Sun, 1999).

Assim como diversos produtos agrícolas, os grãos e as sementes de trigo são higroscópicos e têm a capacidade de ceder ou adsorver água do ambiente. O teor de água de equilíbrio é útil na determinação da perda ou ganho de água sob determinada condição de temperatura e umidade relativa, relacionando-se diretamente com os processos de secagem e armazenagem de produtos agrícolas (Ghodake *et al.*, 2007). 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 determinada faixa de temperatura e de atividade de água (Chen & Weng, 2010).

Trabalhos recentes têm sido realizados com a finalidade de estudar a higroscopicidade de diferentes produtos, tais como sementes de crumbe (Costa *et al.*, 2013), grãos de milho (Smaniotta *et al.*, 2013), semente de pimenta (Silva *et al.*, 2015), sementes de beterraba (Corrêa *et al.*, 2015), sementes de opúncia (Hassini *et al.*, 2015), sorgo sacarino (Ullmann *et al.*, 2016) e frutos de baru (Oliveira *et al.*, 2017).

De acordo com Wang e 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. Silva *et al.* (2016) ressaltam ainda que o estudo das propriedades termodinâmicas é justificável, uma vez que fornece informações relevantes sobre o comportamento da água em produtos agrícolas e os requisitos de energia para removê-la durante o processo de secagem.

Diante da importância das propriedades higroscópicas e termodinâmicas dos produtos agrícolas e de que as informações sobre as isotermas de sorção das variedades de trigo brasileiras são limitadas, objetivou-se com este trabalho determinar e modelar as curvas de equilíbrio higroscópico obtidas por dessorção para as sementes de trigo em diferentes condições psicrométricas do ar e obter o calor isostérico de dessorção.

## 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 trigo, cultivar IPR Catuara TM, colhidas com teor de água de 18,6% (b.s.). O método estático gravimétrico foi utilizado para obter seis teores de água de equilíbrio para cada uma das cinco temperaturas constantes (5, 10, 15, 25 e 40°C). Na Tabela 1, adaptada de Spiess e Wolf (1987), 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 0,7567.

**Tabela 1.** Atividade de água das soluções salinas saturadas

Sal	Temperatura (°C)				
	5	10	15	25	40
CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> K	0,2500	0,2460	0,2251	*	0,2040
MgCl <sub>2</sub>	0,3360	0,3347	0,3330	0,3278	0,3160
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,4313	0,4314	0,4315	0,4316	0,4320
NaNO <sub>2</sub>	*	*	0,6962	0,6450	0,6160
KI	0,7330	0,7211	0,7098	0,6886	0,6609
NaCl	0,7565	0,7567	0,7530	0,7510	0,7468

\*Condição não determinada

Amostras de  $4,0 \pm 1,0$  g de sementes de trigo foram pesadas numa balança analítica e colocadas nos recipientes contendo as soluções salinas saturadas, as quais foram suspensas por uma base sem contato com a solução. Vinte e um recipientes (100 mL), contendo cada um 15 mL de solução salina, foram mantidos em estufa incubadora Biochemical Oxygen Demand (BOD) com temperatura controlada para fornecer sete grupos de diferentes níveis de teor de água, na faixa de 0,204 e 0,7567. As combinações de teor de água a uma dada temperatura ocorreram em triplicata e um total de 81 amostras foram utilizadas no experimento para descrever as cinco isotermas de dessecção das sementes de trigo.

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

O teor de água em equilíbrio foi determinado pela metodologia da estufa, com circulação de ar forçado a  $105 \pm 1,0^\circ\text{C}$  durante 24h, conforme as Regras para Análise de Sementes – RAS (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem em base seca (% b.s.).

Para a análise dos dados de dessecção, foram utilizados os modelos apresentados na Tabela 2 para ajustar os dados experimentais de teor de água de equilíbrio obtidos por dessecção, usando o procedimento de regressão não linear pelo método Quasi-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. Os valores de P e SE para cada modelo foram calculados pelas equações 6 e 7, respectivamente:

**Tabela 2.** Modelos matemáticos utilizados para prever os fenômenos de sorção de água em produtos agrícolas

Modelos	Equação
Chung-Pfost	$X_e = a - b \ln[-(T+c) \ln(A_w)]$ (1)
Copace	$X_e = \exp[a - (b.T) + (c.A_w)]$ (2)
Sigma-Copace	$X_e = \exp\{a - (b.T) + [c \cdot \exp(A_w)]\}$ (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)

em que,

$X_e$  = teor de água de equilíbrio, % b.s.;

$A_w$  = atividade de água, decimal;

T = temperatura, °C; e

a, b, c = coeficientes de ajuste do modelo

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (6)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (7)$$

em que,

$Y$  = valor experimental;

$\hat{Y}$  = valor estimado;

$n$  = número de observações; e

GLR = graus de liberdade do ajuste (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 ( $R^2$ ) e o comportamento da distribuição dos resíduos (aleatório ou tendencioso). 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 % (Madamba *et al.*, 1996; Mohapatra & Rao, 2005). Já para o caso do desvio padrão da estimativa, consideraram-se aceitáveis, neste trabalho, valores abaixo de 1%.

A distribuição dos resíduos mostra a diferença entre os valores observados experimentalmente e os estimados pelo modelo, representados como uma função dos níveis estimados, possibilita avaliar como o modelo estima os valores da variável em estudo. Essa é uma avaliação subjetiva, mas, normalmente, um modelo é considerado aceitável se os valores residuais se encontrarem em uma zona horizontal perto de zero, formando distribuições aleatórias. Se as distribuições dos resíduos formarem figuras geométricas, apresentarem regiões em que o modelo subestima ou superestima a condição real ou tendem a se acumular em um ponto fora do eixo, a distribuição dos seus resíduos é considerada tendenciosa e o modelo é inadequado para representar o fenômeno em questão. 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 8 de Clausius-Clayperon:

$$\frac{\partial \ln(A_w)}{\partial T} = \frac{\Delta h_{st}}{R T^2} \quad (8)$$

em que,

$R$  = constante universal dos gases ideais 0,287 kJ kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>, sendo para o vapor d'água 0,4618, kJ kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>;

$A_w$  = atividade de água, decimal;

$T$  = temperatura absoluta, K; e

$h_{st}$  = calor isostérico líquido de sorção ou entalpia diferencial, kJ kg<sup>-1</sup>.

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 9 (Wang & Brennan, 1991):

$$\ln(A_w) = \left( \frac{\Delta h_{st}}{R} \right) \frac{1}{T} + C \quad (9)$$

em que,

$C$  = constante de integração, adimensional.

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 10.

$$Q_{st} = \Delta h_{st} + L \quad (10)$$

em que,

$L$  = calor latente de vaporização da água livre, kJ kg<sup>-1</sup>; e

$Q_{st}$  = calor isostérico integral de sorção, kJ kg<sup>-1</sup>.

O calor latente de vaporização da água livre foi obtido pela temperatura média na faixa em estudo, segundo apresentado na equação 11.

$$L = 2502,2 - 2,39 \bar{T} \quad (11)$$

em que,

$\bar{T}$  = média aritmética das temperaturas utilizadas, °C.

Para prever o comportamento do calor isostérico integral de dessecção, de acordo com o teor de água de equilíbrio, foram utilizados os modelos exponenciais de Ajisehiri-Sopade e Vivanco-Pezantes, apresentados nas equações 12 e 13, respectivamente.

$$Q_{st} = a \exp(b X_e) + L \quad (12)$$

$$Q_{st} = a + b \exp\left(-\frac{X_e}{c}\right) \quad (13)$$

em que,

a, b, c = parâmetros de ajuste do modelo.

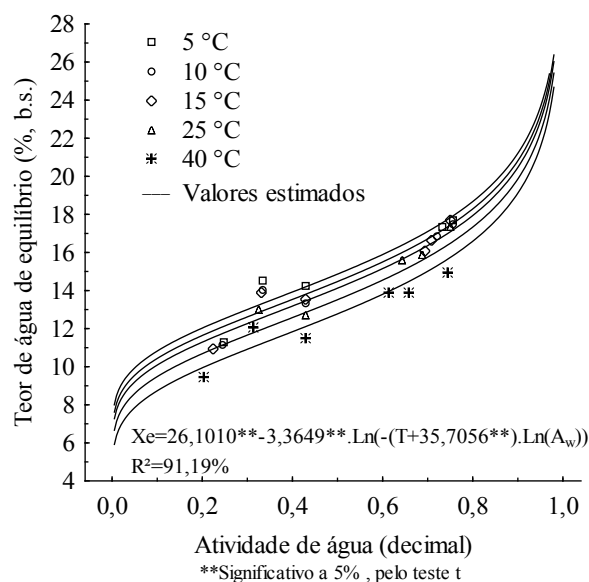
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 estão apresentados os coeficientes dos modelos ajustados aos dados experimentais de equilíbrio higroscópico das sementes de trigo, obtidos por dessecção, 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 ( $R^2$ ).

Dessa forma, de acordo com os dados apresentados na Tabela 3, verifica-se que, entre os modelos avaliados, os de Chung-Pfost e Copace foram os que obtiveram as menores magnitudes do desvio padrão da estimativa ( $SE < 0,72\%$  (b.s)), em ambos; e do erro médio relativo ( $P = 4,26$  e  $4,27\%$ , respectivamente), sendo os que melhores atenderam aos critérios utilizados para a descrição do fenômeno da dessecção das sementes

de trigo. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) normalmente tem maiores valores para aqueles modelos com melhor ajuste, caso deste trabalho, em que ambos apresentaram valor acima de 91%. Considerando-se que o modelo Chung-Pfost vem sendo tradicionalmente usado para produtos amiláceos, ele foi selecionado para representar a higroscopicidade das sementes de trigo, como ocorreu para sorgo sacarino (Ullmann *et al.*, 2016) e sementes de beterraba (Corrêa *et al.*, 2015).

Na Figura 1 estão apresentados os valores experimentais do teor de água de equilíbrio das sementes de trigo, obtidos por dessecção, bem como as isotermas de dessecção estimadas pelo modelo de Chung-Pfost para as temperaturas de 5, 10, 15, 25 e 40°C.



**Figura 1.** Valores observados e estimados pelo modelo Chung-Pfost do teor de água de equilíbrio de sementes de trigo obtidos por dessecção

**Tabela 3.** Coeficientes de ajuste e parâmetros estatísticos dos modelos de equilíbrio higroscópico para sementes de trigo obtidos por dessecção

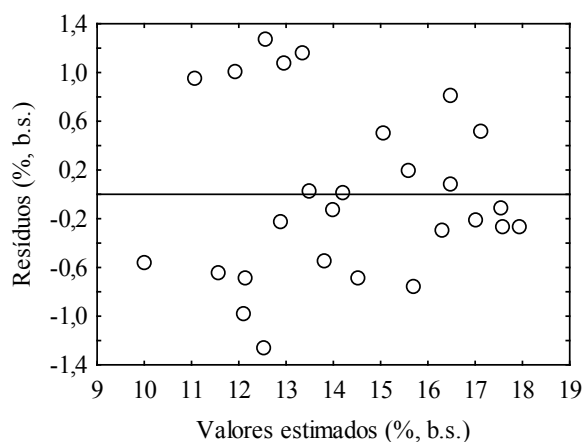
Modelo	Parâmetros			P (%)	SE (% b.s.)	R <sup>2</sup> (%)
	a	b	c			
Chung-Pfost	26,1010*	3,3649*	35,7056**	4,26	0,72	91,19
Copace	2,3564*	0,004483*	0,7331*	4,27	0,72	91,12
Sigma-Copace	1,9964*	0,004350*	0,4309*	4,54	0,76	90,41
GAB	12,2394 <sup>ns</sup>	46,9115 <sup>ns</sup>	0,4032**	5,81	1,08	80,34
Sabbah	24,7794*	0,5017**	0,0616**	7,65	1,02	89,89

\*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.

Na Figura 1, nota-se que as isotermas de dessecção das sementes de trigo estimadas pelo modelo de Chung-Pfost possuem formato sigmoidal, considerada padrão para produtos agrícolas, como grãos de trigo (Li *et al.*, 2011), grãos de mamona (Goneli *et al.*, 2013), grãos de milho (Smaniotto *et al.*, 2013), semente de pimenta (Silva *et al.*, 2015), sementes de beterraba (Corrêa *et al.*, 2015) e sorgo sacarino (Ullmann *et al.*, 2016).

Analisando as isotermas da Figura 1, pode-se verificar a influência da temperatura na higroscopicidade das sementes de trigo 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 teor de água, ou, de forma semelhante, para um dado teor de água constante, o teor de água de equilíbrio diminui com o aumento da temperatura.

A Figura 2 mostra a distribuição dos resíduos apresentada pelo modelo Chung-Pfost na descrição do fenômeno de dessecção das sementes de trigo.



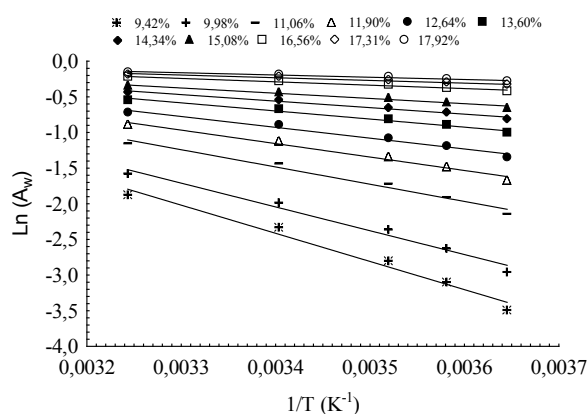
**Figura 2.** Comportamento da distribuição dos resíduos do modelo Chung-Pfost avaliados para obtenção das isotermas de dessecção das sementes de trigo

Nota-se, na Figura 2, que o comportamento apresentado pelos resíduos na descrição dos teores de água de equilíbrio das sementes de trigo foi aleatório. Assim, além de resultar menores magnitudes de erro (P e SE), 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 trigo.

Diante da representação satisfatória do equilíbrio higroscópico das sementes de trigo, 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 dessecção.

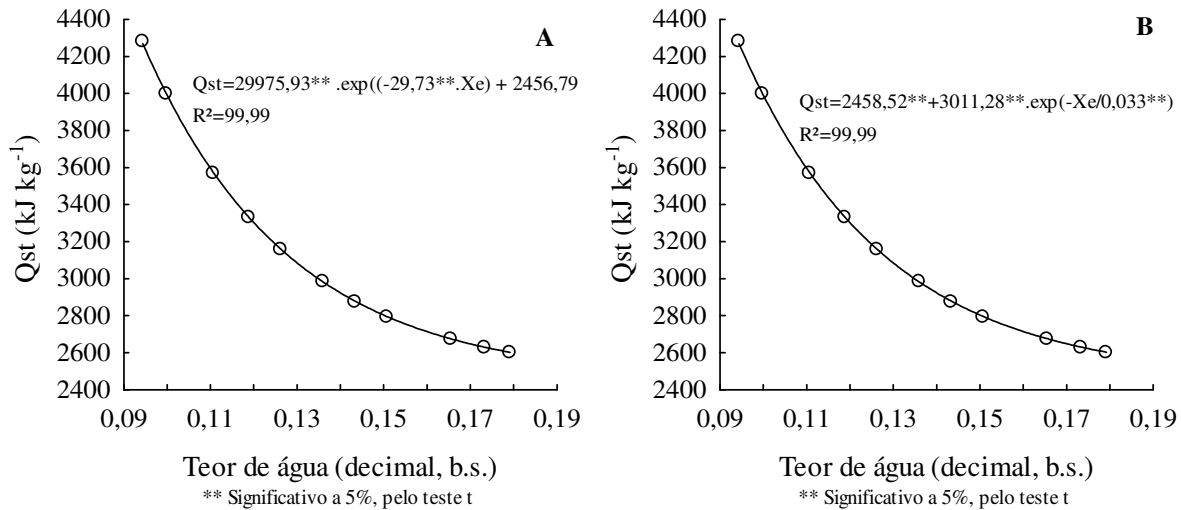
Na Figura 3 são apresentadas as curvas do logaritmo neperiano da atividade da água para valores específicos de teor de água de equilíbrio (% b.s.), em função do inverso da temperatura absoluta ( $K^{-1}$ ), para as sementes de trigo.



**Figura 3.** Curvas do logaritmo neperiano da atividade de água (decimal), para o teor de água de equilíbrio (% b.s.), em função de valores de  $1/T$  ( $K^{-1}$ ) para as sementes de trigo

A partir dos coeficientes de inclinação das retas da Figura 3, multiplicados pela constante universal dos gases ideais ( $R=0,4618 \text{ kJ.kg}^{-1}K^{-1}$ ), foram encontrados os valores do calor isostérico para cada teor de água de equilíbrio, conforme propõe a equação de Clausius Clapeyron (equação 8), utilizado para estimar a energia requerida no processo de desidratação de produtos agrícolas.

As curvas do calor isostérico integral de dessecção, representadas pelos modelos de Ajisegiri-Sopade e Vivanco-Pezantes, em função do teor de água de equilíbrio (% b.s.) para as sementes de trigo, são apresentadas na Figura 4.



**Figura 4.** Valores experimentais e estimados do calor isostérico integral de dessorção ( $Q_{st}$ ) das sementes de trigo em função do teor de água de equilíbrio, de acordo com os modelos de Ajisehiri-Sopade (A) e Vivanco-Pezantes (B)

Observa-se que os valores de calor isostérico integral de dessorção para as sementes de trigo, entre os teores de água de equilíbrio de 9,42 e 17,92% (b.s.), variaram de 4.280,60 a 2.602,85  $\text{kJ.kg}^{-1}$ .

Constata-se que a redução do teor de água aumentou a energia necessária para a remoção de água do produto, representada pelos valores do calor isostérico integral de dessorção, conforme relatado para diversos produtos agrícolas, como sorgo-sacarino (Ullmann *et al.*, 2016), arroz-vermelho (Ascheri & Bastos, 2015) e crambe (Costa *et al.*, 2013). Esse 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 menor demanda de mobilidade das moléculas de água (Goneli *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2014; Resende *et al.*, 2017). Do mesmo modo, quando reduzem-se os sítios para ligação das moléculas de água, esta é mais facilmente retirada da semente, o que ocorre em teores de água geralmente acima de 12-14%, dependendo do tipo da espécie. Por fim, essa característica é importante para o estudo e aprimoramento de novas formas de secagem.

Li *et al.* (2011) encontraram magnitudes compreendidas entre 4.200,00 e 2.600  $\text{kJ.kg}^{-1}$ ,

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, 35°C. Já para grãos de milho, Oliveira *et al.* (2013) relataram que os valores do calor isostérico variaram de 2.734 a 2.506  $\text{kJ.kg}^{-1}$ , para a faixa de teor de água de 12,8 a 23,3% (b.s.) nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C.

O calor isostérico integral de dessorção para as sementes de trigo pode ser representado de forma adequada pelas equações de regressão exponencial (Figura 4). Ambos os modelos testados para o calor isostérico de dessorção, Ajisehiri-Sopade e Vivanco-Pezantes, apresentaram elevado coeficiente de determinação (99,99%), como também foi constatado por Ullmann *et al.* (2016) e Hubinger *et al.* (2009), utilizando os mesmos modelos, respectivamente.

## CONCLUSÕES

- O teor de água de equilíbrio das sementes de trigo diminui com o aumento da temperatura, para uma mesma atividade de água.
- As isotermas de dessorção obtidas para as sementes de trigo possuem formato sigmoidal, padrão para o equilíbrio higroscópico de produtos agrícolas amiláceos.

- O modelo de Chung-Pfost foi o que melhor representou a higroscopicidade das sementes de trigo.
- O calor isostérico integral de dessecção das sementes de trigo varia de 4.280,60 a 2.602,85 kJ.kg<sup>-1</sup>, para a faixa de teor de água de 9,42 a 17,92 (% , b.s.).

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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:10.1016/S0022-474X(94)90324-7
- ASCHERI, D.P.R.; BASTOS, S.M.C. Propiedades de adsorción de agua de dos genotipos de arroz rojo. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.1, p.134-143, 2015. DOI:10.1590/1809-4430-Eng. Agric.v35n1p134-143/2015
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. **Regras Para Análise de Sementes**. Brasília, p.399, 2009.
- CHEN, C.; WENG, Y.K. Moisture sorption isotherms of oolong tea. **Food and Bioprocess Technology**, v.3, n.2, p.226-233, 2010. DOI: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**, v.37, n.3, p.218-225, 2015. DOI:10.1590/2317-1545v37n3149549
- COSTA, L.M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D.E.C. Isotermas de dessecção e calor isostérico dos frutos de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.4, p.412-418, 2013.
- GHODAKE, H.M.; GOSWAMI, T.K.; CHAKRAVERTY, A. Moisture sorption isotherms, heat of sorption and vaporization of withered leaves, black and green tea. **Journal of Food Engineering**, v.78, n.3, p.827-835, 2007. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2005.11.023
- 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** v.50, n.2, p.386-391, 2013. DOI:10.1016/j.lwt.2012.09.006
- GONELI, A.L.D.; CORRÊA, P.C.; OLIVEIRA, G.H.H.; RESENDE, O.; MAUAD, M. Moisture sorption isotherms of castor beans . Part 1 : Mathematical modeling and hysteresis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.8, p.751-756, 2016.
- HASSINI, L.; BETTAIEB, E.; DESMORIEUX, H.; TORRES, S.S.; TOUIL, A. Desorption isotherms and thermodynamic properties of prickly pear seeds. **Industrial Crops and Products**, v.67, n.1, p.457-465, 2015. DOI:10.1016/j.indcrop.2015.01.078
- HUBINGER, M.D.; VIVANCO-PEZANTES, D.; KUROSZAWA, L.E.; SOBRAL, P.J.A. Isotermas de dessecção de filé de bonito (*Sarda sarda*) desidratado osmoticamente e defumado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.3, p.305-311, 2009. DOI:10.1590/S1415-43662009000300012
- 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**. v.47, n.1, p.39-47, 2011. DOI:10.1016/j.jspr.2010.10.001
- MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v.29, n.1, p.75-97, 1996. DOI:10.1016/0260-8774(95)00062-3
- MOHAPATRA, D.; RAO, S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of**



- Food Engineering**, v.66, n.4, p.513-518, 2005. DOI: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**, 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.; CHAVES, T.H.; SOUZA, K.A.; SMANIOTTO T.A.S. Propriedades termodinâmicas das sementes de pinhão-mansão. **Bioscience Journal**, v.30, n.1, p.147-157, 2014.
- 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**, v.43, n.1, p.50-56, 2013. DOI:10.1590/S1983-40632013000100007
- PEZANTES, D.V. **Estudo das operações combinadas da desidratação osmótica a vácuo, defumação líquida e secagem em filés de bonito (*Sarda sarda*)**. 2006. 223f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- RESENDE, O.; OLIVEIRA, D.E.C.; COSTA, L.M.; JÚNIOR, W.N.F. Thermodynamic Properties of Baru fruits (*Dipteryx alata* Vogel). **Engenharia Agrícola**, 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.; SOARES, R.S.; VALE, L.S.R. Higroscopicidade das sementes de pimenta (*Capsicum chinense* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.8, p.780-784, 2015. DOI:10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p780-784
- SILVA, H.W.; COSTA, L.M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D.E.C.; SOARES, R.S.; VALE, L.S.R. Thermodynamic properties of pepper seeds - variety “Cabacinha”. **Científica**, v.44, n.1, p.14-22, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2016v44n1p14-22>
- 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**, v.11, n.3, p.312-322, 2013.
- SPIESS, W.E.L.; WOLF, W. Critical evaluation of methods to determine moisture sorption isotherms. In: Rockland LB, Beauchat LR (eds). **Water Activity: Theory and Applications to Food**. Marcel Dekker Inc, p.215-233, 1987.
- SUN, D.W. Comparison and selection of EMC/ERH isotherm equations for rice. **Journal of Stored Products Research**, v.35, n.3, p.249-264, 1999. DOI:10.1016/S0022-474X(99)00009-0
- SUN, D.W.; WOODS, J.L. The selection of sorption isotherm equations for wheat based on the fitting of available data. **Journal of Stored Products Research**, v.30, n.1, p.27-43, 1994. DOI:10.1016/0022-474X(94)90270-4
- ULLMANN, R.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D.E.C.; COSTA, L.M.; CHAVES, T.H. Higroscopicidade das sementes de sorgo-sacarino. **Engenharia Agrícola**, v.36, n.3, p.515-524, 2016. DOI: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**, v.14, n.2, p.269-287, 1991. DOI:10.1016/0260-8774(91)90018-N