

CALOR ISOSTÉRICO DE SORÇÃO DA SEMENTE DE GERGELIM BRS SEDA

RENATO COSTA DA SILVA¹, KAROLINE THAYS ANDRADE ARAÚJO^{1*}
FRANKLIN GOMES CORREIA¹; FRANCISLAINE SUELIA DOS SANTOS¹ JOSIVANDA PALMEIRA GOMES²

¹Mestrando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB,
renatinocosta@gmail.com, karoline_thays@hotmail.com, franklincorreiaufcg@yahoo.com.br,
suelia_santos@hotmail.com

²Docente/pesquisador do Depto de Engenharia agrícola-UAEA-UFCG; E-mail: josivanda@gmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

RESUMO: O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma espécie de planta herbácea com produção anual, sua semente tem uma elevada qualidade nutricional e é composta em média de 50% de óleo, muito contemplada como um alimento energético. É possível estimar a quantidade mínima de calor requerido para remover uma dada quantidade de água, calculando-se o calor isostérico, ajudando a compreender o processo de secagem de determinado produto. Objetivou-se nesse trabalho calcular o calor isostérico para a semente de gergelim da variedade BRS Seda. Para a realização do cálculo, a atividade de água e a umidade de equilíbrio foram determinadas em laboratório. Com o uso destes valores foi determinado o calor isostérico, utilizando a equação de Clausius-Clapeyron. Os valores do calor isostérico do gergelim BRS Seda para os teores de umidade de equilíbrio, de 3,9 a 5,97 % (b.s.), variaram de 2562,11 a 3200,17 kJ/kg. Concluiu-se que quanto menor a quantidade de água na semente, mais energia foi necessário para a evaporação da mesma no produto.

PALAVRAS-CHAVE: *Sesamum indicum* L., atividade de água, energia

SORPTION ISOSTERIC HEAT GERGELIM SEED 'BRS SEDA'

ABSTRACT: The sesame (*Sesamum indicum* L.) is a species of herbaceous plant with annual production, its seed has a high nutritional quality and is composed on average 50% of oil, much contemplated as an energetic food. It is possible to estimate the minimum amount of heat required to remove a given amount of water by calculating the isosteric heat, helping to understand the drying process of a given product. The objective of this work was to calculate the isosteric heat for the sesame seed of the 'BRS Sed'a variety. For the calculation, the water activity and the equilibrium moisture were determined in the laboratory, and the Clausius-Clapeyron equation was used for the calculation. The isosteric heat values of 'BRS Seda' sesame for equilibrium moisture contents of 3.9 to 5.97% (b.s.) ranged from 2562.11 to 3200.17 kJ / kg. It is concluded that the smaller the amount of water in the seed, the more energy is needed for the evaporation of the same in the product.

KEYWORDS: *Sesamum indicum* L., water activity, energy

INTRODUÇÃO

O gergelim (*Sesamum indicum* L.), é uma oleaginosa que pertence à família Pedaliaceae, tem uma ampla relevância socioeconômica, é cultivada em muitos países de clima tropical e subtropical com o intuito principal da extração do seu óleo, devido seu grande potencial na indústria, na medicina e na alimentação (Arriel et al., 2014).

Com isso, a fim de se analisar a efetividade e preparar a produção, carência e capacidade energética, faz-se conveniente a compreensão das características caloríficas da semente de gergelim, particularmente a respeito de seu calor isostérico.

Estudar calor isostérico em função da umidade de equilíbrio é fundamental para os estudos de secagem com o intuito do armazenamento dos produtos agrícolas, sendo capaz de deduzir as necessidades energéticas do procedimento da secagem. Com o calor isostérico é possível se estimar a quantidade mínima de calor necessária para retirar um volume de água e se obter algumas suposições

sobre a microestrutura e as modificações físicas que ocorrem nos alimentos. Pode-se dizer que o calor isotérmico é uma característica termodinâmica de sorção de água fundamental no estudo do fenômeno de transferência de calor e de massa (Campos et al., 2009; Lima et al., 2008).

Devido ao pressuposto apresentado, este trabalho foi realizado com o objetivo de se calcular o calor isotérmico de sorção da semente de gergelim BRS Seda.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados experimentais deste trabalho foram realizados no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em Campina Grande, PB.

Foi utilizado como matéria-prima sementes de gergelim adquiridas na Embrapa Algodão de Campina Grande, PB. As sementes foram separadas manualmente de grãos imaturos, rachados ou partidos; sementes de ervas daninhas, material inerte e pedaço de plantas, como precaução contra a possível influência na leitura da atividade de água.

O cálculo do calor isotérmico foi realizado utilizando as leituras de atividade de água (a_w) da semente do gergelim obtidas no higrômetro AquaLab 3TE (Decagon) nas temperaturas de 30, 35 e 40 °C, e as umidades de equilíbrio (% , b. s.) foram determinadas pelo método da estufa (105 °C durante 24hs), de acordo com a metodologia descrita em Brasil (2005).

Para a realização do cálculo do calor isotérmico líquido (Q_{st}), foi-se aplicado o modelo exponencial de Sopade e Ajisehiri (1994) mostrada na Eq. 1, onde representa o comportamento do calor isotérmico de sorção em função apenas do teor de umidade de equilíbrio (Oliveira et al., 2013; Teixeira et al., 2012), e a equação de Clausius-Clapeyron (Eq. 2), modificada por Wang & Brennan (1991), que considerou além do teor de umidade de equilíbrio também a temperatura.

$$q_{st} = A \cdot \exp(-B \cdot U_{eq}) \quad (1)$$

$$\ln(a_w) = -\left(\frac{q_{st}}{R}\right) \cdot \frac{1}{T_a} + C \quad (2)$$

Em que: q_{st} - o calor isotérmico líquido de sorção (kJ/kg), A e B - coeficientes do modelo, a_w - é a atividade de água (decimal), T_a - temperatura em absoluta (K), e R - constante universal dos gases (8,314 kJ.kmol⁻¹/K) sendo para o vapor d'água 0,4619 kJ/kg K, C - constante de integração, adimensional.

Para a equação de Clausius-Clapeyron, o calor isotérmico líquido de sorção (q_{st}) foi determinado a partir das inclinações das retas do gráfico $\ln(a_w) \times (1/T_{abs})$ para os diversos teores de umidade de equilíbrio (Eq. 3).

$$q_{st} = \text{coeficiente angular} \times R \quad (3)$$

Foi calculado o calor isotérmico integral de sorção (Q_{st}), que além do calor isotérmico líquido de sorção, também considera o calor latente de vaporização da água livre ($L = \text{kJ/kg}$), de acordo com a (Eq. 4).

$$L = 2502,2 + 2,39 \cdot T \quad (4)$$

Em que: T - temperatura média (°C).

E obtido o calor isotérmico integral de sorção ($Q_{st} = \text{kJ/kg}$) adicionando aos valores de calor isotérmico líquido de sorção ($q_{st} = \text{kJ/kg}$) e o valor do calor latente de vaporização da água livre ($L = \text{kJ/kg}$) representada pela Eq. 5.

$$Q_{st} = q_{st} + L = A \cdot \exp(-B \cdot U_{eq}) + L \quad (5)$$

Em que: A e B - coeficientes do modelo.

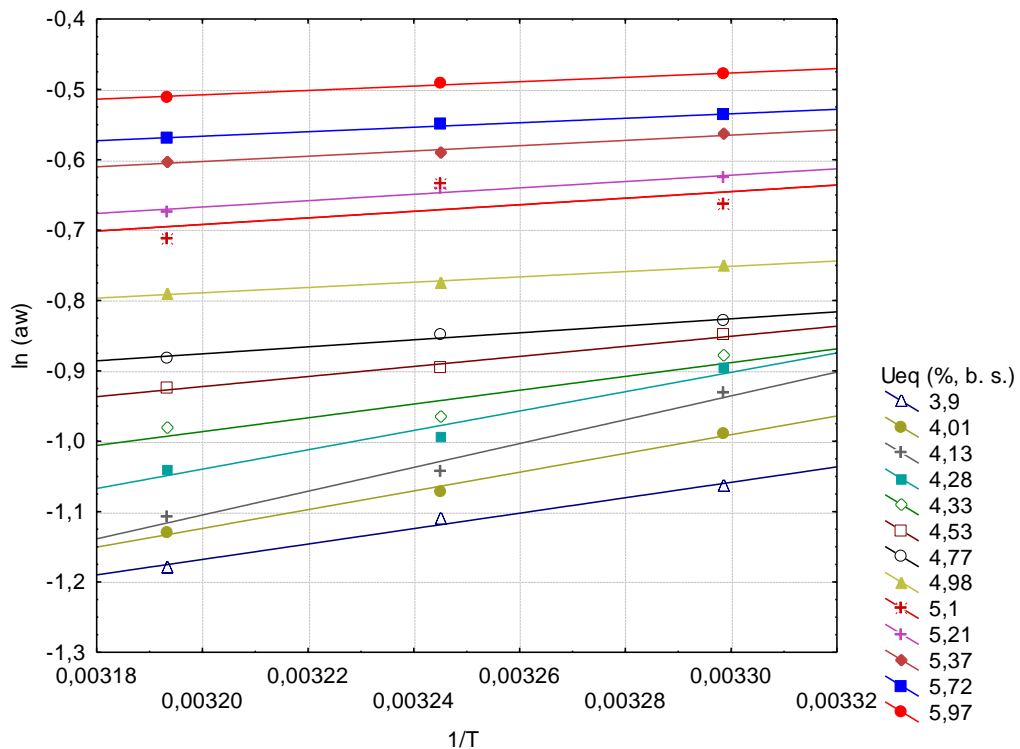
Os cálculos de inclinação das retas e curva do calor isotérmico foram realizados utilizando-se de programa computacional Statistica 7. Na análise de representatividade dos dados, os dados experimentais foram comparados com os valores preditos pela (Eq. 5), verificando-se a porcentagem de erro médio relativo (P) e o coeficiente de determinação (R^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para se obter os valores de calor isostérico integral de sorção Q_{st} (kJ/kg), foi-se incluído aos valores de calor isostérico líquido de sorção q_{st} (kJ/kg) o valor do calor latente de vaporização (L), que indica a menor quantidade de energia para que ocorra a evaporação da água, calculado para a temperatura média de 35 °C, que resultou no valor de 2418,55 kJ/kg.

A partir da obtenção dos valores de $\ln(a_w)$, estão representadas na Figura 1 as curvas do logaritmo neperiano da atividade de água da semente de gergelim BRS seda em função do inverso da temperatura absoluta ($1/T$, 1/K) para diferentes teores de umidade de equilíbrio (% b.s.) e suas respectivas equações lineares.

Figura 1. Valores de $\ln(a_w)$ para diferentes teores de umidade de equilíbrio (% b.s.), em função da atividade de água (a_w) e da temperatura para semente de gergelim BRS Seda.



Os valores do calor isostérico líquido e integral de sorção obtidos, respectivamente, a partir do coeficiente angular e do calor latente de vaporização, estão expostos na Tabela 1.

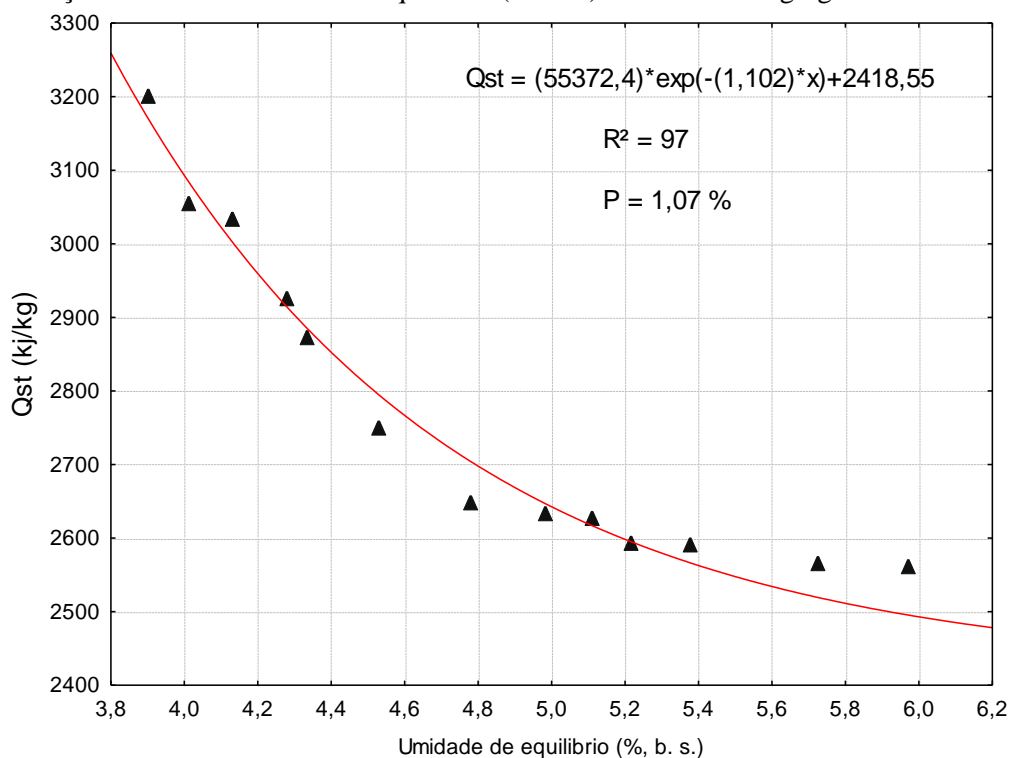
A partir dos dados, é possível verificar que os valores de calor isostérico integral de sorção, para a semente de gergelim na faixa de teor de umidade de 3,9 a 5,97 % (b.s.), variaram de 2562,11 a 3200,17 kJ/kg. Oliveira et al. (2014), estudando o calor isostérico da semente do arroz em casca encontraram valores de calor isostérico integral de dessorção, na faixa de teor de umidade de 3,2 a 13,8 (% b.s.), de 2.514,26 a 2.572,45 kJ/kg, já Chaves et al. (2013), estudando o calor isostérico das sementes de pinhão-mansão relataram valores na faixa de teor de umidade de 5,6 a 13,4 % (% b.s.), de 2631,89 a 3035,61 kJ/kg. Com os dados relatados é possível afirmar que o gergelim apresentou uma aproximação nos valores da energia em relação ao pinhão-mansão e maior variação quando comparado ao arroz em casca; a aproximação em relação ao pinhão-mansão pode ser explicado devido as duas serem oleaginosas, requerendo assim, mais energia para a remoção da água contida nas mesmas.

Tabela 1. Valores do calor isostérico líquido e integral de sorção para diferentes teores de umidade de equilíbrio (% b. s.).

Teor de umidade de equilíbrio (% b.s.)	Equação da reta	Coefficiente angular	Calor isostérico líquido (kJ/kg)	Calor isostérico integral (kJ/kg)
5,97	$y = -1,5028 + 310,9572*x$	310,95	143,55	2562,11
5,72	$y = -1,5864 + 318,7022*x$	318,7	147,13	2565,68
5,37	$y = -1,8018 + 374,7921*x$	374,79	173,02	2591,57
5,21	$y = -1,9937 + 376,4373*x$	376,43	173,78	2592,33
5,10	$y = -2,1179 + 453,3542*x$	453,35	209,29	2627,84
4,98	$y = -2,1859 + 466,8489*x$	466,84	215,52	2634,07
4,77	$y = -2,4692 + 497,9333*x$	497,93	229,87	2648,42
4,53	$y = -3,2106 + 715,0782*x$	715,07	330,12	2748,67
4,33	$y = -4,1258 + 981,0515*x$	981,05	452,92	2871,47
4,28	$y = -4,6757 + 1096,1525*x$	1096,15	506,05	2924,61
4,13	$y = -5,3868 + 1332,1527*x$	1332,15	615,01	3033,56
4,01	$y = -5,4428 + 1375,9656*x$	1375,96	635,23	3053,78
3,90	$y = -6,5226 + 1693,0374*x$	1693,03	781,62	3200,17

Tem-se na Figura 2, os valores do calor isostérico integral de sorção Q_{st} (kJ/kg) da semente de gergelim BRS Seda em função do teor de umidade de equilíbrio (% b.s.). Os valores dos parâmetros estimados e coeficiente de determinação foram, respectivamente, $A = 55372,4$, $B = 1,102$ e $R^2 = 0,97$. A partir da análise dos resultados da Figura 2, assim como o mencionado por Oliveira et al. (2013) e por Teixeira et al. (2012) foi possível verificar que à medida que o teor de umidade do produto diminui, mais energia é necessária para a remoção de água.

Figura 2 - Valores experimentais e preditos do calor isostérico integral de dessorção Q_{st} (kJ/kg) estimados em função do teor de umidade de equilíbrio (% b. s.) da semente de gergelim BRS Seda.



Observando a Figura 2, pode-se afirmar que quanto menor a quantidade de água contida no produto, mais necessária é a quantidade de energia para retirar essa água do produto. Sendo também relatado para diversos produtos agrícolas, como crambe (Costa et al., 2013), pimenta-malagueta (Silva & Rodovalho, 2012) e pinhão (Ullmann et al., 2016).

O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,97, valor este que varia entre 0 e 1, indicado em decimal, e indica o quanto a equação é capaz de explicar os valores observados. Com isso, quanto mais próximo a 1 o (R^2) melhor ela se ajusta à os dados experimentais. O desvio médio relativo P (%) foi de 1,07%, apresentando um ajuste satisfatório aos dados experimentais.

CONCLUSÕES

A solicitação energética essencial para a retirada de água presente na semente de gergelim BRS Seda é relatada através do calor isostérico de sorção, para os teores de umidade de equilíbrio, de 3,9 a 5,97 % (b.s.), que variaram de 2562,11 a 3200,17 kJ/kg, relacionando-se que, quanto mais baixo o teor de umidade de equilíbrio, maior será a quantidade de energia necessária para a remoção da água contida no produto.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Métodos químicos e físico-químicos para análise de alimentos, Brasília: Ministério da Saúde, 1017f, 2005.
- IGLESIAS, H.; CHIRIFE, J. Prediction of the effect of temperature on water sorption isotherms of food material. *Journal of Food Technology*, Oxford, v.11, p.109-116, 1976.
- ARRIEL, N. H. C.; BEZERRA, B. B.; MOTA, J. V. F.; FARIAS, A. L.; LUCENA, A. M. A.; ARAÚJO, M. C. F.; ALBUQUERQUE, F. A.; SOUSA, S. L. Produtividade da cultivar BRS Seda em diferentes configurações de plantio. In: VI Congresso Brasileiro de Mamona, 6, e III Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, 3., 2014, Fortaleza. Anais...Campina Grande: Embrapa Algodão, 205p. 2014.
- CAMPOS, A. R. N.; SILVA, F. L. H. da; GOMES, J. P.; OLIVEIRA, L. S. C.; OLIVEIRA, M. M. de. Isotermas de adsorção e calor isostérico da palma forrageira enriquecida proteicamente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.13, n.6, p.734-740, 2009.
- LIMA, E. E. de; SILVA, A. S. A.; FIGUEIREDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. de M. Estudo das isotermas e calor isostérico de adsorção da farinha da coroa de frade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.10, n.2, p. 163-170, 2008.
- SOPADE, P. A.; AJISEGIRI, E. S. Moisture sorption study on nigerian foods: maize and sorghum. *Journal of Food Engineering*, Lleida, v.17, n.1, p.33-56, 1994.
- 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.
- TEIXEIRA, L. P.; ANDRADE, E. T.; SILVA, P. G. L. Determinação do equilíbrio higroscópico e do calor isostérico da polpa e da casca do abacaxi (*Ananas comosus*). *Engvista*, Niterói, v. 14, p. 172-184, 2012.
- WANG, N.; BRENNAN, J. G. Moisture sorption isotherm characteristics of potatoes at four temperatures. *Journal of Food Engineering*, New York, v.14, n.1, p.269-287, 1991.
- OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; CAMPOS, R. C.; DONADON, J. R. Obtenção e modelagem das isotermas de dessorção e do calor isostérico para sementes de arroz em casca, Científica, Jaboticabal, v.42, n.3, p.203-210, 2014.
- 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.
- COSTA, L. M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C. Isotermas de dessorção e calor isostérico dos frutos de crambe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.17, n.4, p.412-418, 2013.
- SILVA, H. W.; RODOVALHO, R. S. Isotermas de dessorção das sementes de pimenta malagueta. *Global Science and Technology*, Rio Verde, v.5, n.1, p.32-39, 2012.