

Isotermas e calor isostérico de sementes de *Buchenaia capitata* (Vahl) Eichler¹

Isotherms and isosteric heat in the seeds of *Buchenaia capitata* (Vahl) Eichler

Lílian Moreira Costa^{2*}, Osvaldo Resende², Daniel Emanuel Cabral de Oliveira² e Kelly Aparecida de Sousa²

RESUMO - Diante da importância do conhecimento da higroscopicidade e do calor isostérico para as operações de secagem e armazenamento, objetivou-se neste trabalho determinar as isotermas de dessorção de sementes de *Buchenaia capitata* (Vahl) Eichler, bem como ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais, selecionando aquele que melhor representa o fenômeno e, assim, utilizá-lo para determinar o calor isostérico de dessorção. Para obtenção do teor de água de equilíbrio higroscópico utilizaram-se as sementes de *B. capitata* com teor de água inicial de $13,16 \pm 0,17\%$ base seca (b.s.). Para obtenção das isotermas de dessorção das sementes, utilizou-se o método estático indireto, sendo a atividade de água (a_w) determinada por meio do equipamento Hygropalm Model Aw 1. Para o controle da temperatura utilizou-se uma câmara tipo B.O.D., regulada a 10; 20; 30 e 40 °C. Aos dados experimentais foram ajustados os modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da higroscopicidade de produtos vegetais. O teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes de *Buchenaia capitata* (Vahl) Eichler é diretamente proporcional à atividade de água e decresce com o aumento de temperatura para um mesmo valor de umidade relativa de equilíbrio. O modelo matemático de Copace é o que melhor representa a higroscopicidade de sementes de *B. capitata* nas temperaturas e nas atividades de água estudadas. O calor isostérico de sementes de *B. capitata* aumenta com a diminuição do teor de água de equilíbrio, sendo necessária maior quantidade de energia para retirar a água.

Palavras-chave: Modelagem matemática. Equilíbrio higroscópico. Atividade de água.

ABSTRACT - Given the importance of understanding hygroscopicity and isosteric heat in drying and storage operations, the aim of this work was to determine desorption isotherms in seeds of *Buchenaia capitata* (Vahl) Eichler, and to fit different mathematical models to the experimental data, selecting the one that best represents the phenomenon, and using it to determine the isosteric heat of desorption. To obtain the hygroscopic equilibrium moisture content, seeds of *B. capitata* with an initial moisture content of $13.16 \pm 0.17\%$ db (dry basis) were used. To obtain the desorption isotherms of the seeds, the indirect static method was employed, with the water activity (a_w) being determined by a Model Aw 1 Hygropalm. The temperature was controlled by means of a BOD chamber set at 10, 20, 30 and 40°C. Mathematical models frequently used to represent the hygroscopicity of plant products were adjusted to the experimental data. The hygroscopic equilibrium moisture content of seeds of *Buchenaia capitata* (Vahl) Eichler is directly proportional to water activity, and decreases with increasing temperature for a given value of equilibrium relative humidity. The Copace mathematical model best represents hygroscopicity for seeds of *B. capitata* at the temperatures and water activity under study. Isosteric heat in seeds of *B. capitata* increases with decreases in the equilibrium moisture content, a greater amount of energy being required to remove the water.

Key words: Mathematical modelling. Hygroscopic equilibrium. Water activity.

DOI: 10.5935/1806-6690.20150033

*Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 12/04/2014; aprovado em 09/04/2015

Pesquisa financiada pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Câmpus Rio Verde

²Programa de Pós-Graduação, Ciências Agrárias/Agronomia, Instituto Federal Goiano, Câmpus Rio Verde, Av. Sul Goiânia, Km 1, Zona Rural, Rio Verde-GO, Brasil, 75.901-970, lmcpg@yahoo.com.br, osvresende@yahoo.com.br, oliveira.d.e.c@gmail.com, oliveira.d.e.c@gmail.com

INTRODUÇÃO

A espécie *Buchenavia capitata* (Vahl) Eichler (boca boa), da família Combretaceae, encontra-se naturalmente espalhada por florestas neotropicais de 23° N a 23° S (WEAVER, 1991), possuindo árvores de dossel emergente de decíduos. Espécies dessa família constituem importantes elementos de mangues, florestas úmidas e de regiões semiáridas (STACE, 2004), sendo algumas cultivadas como plantas ornamentais, tais como a *Quisqualis indica* L. e a *Terminalia catappa*. Algumas são utilizadas na medicina popular e possuem potencial farmacológico (FÉRREA *et al.*, 1993). De acordo com Freitas (2009), os extratos das folhas de *B. capitata*, bem como os alcaloides isolados, apresentam atividade citotóxica e contra o vírus HIV. Agra *et al.* (2007) referiram os usos etnomedicinais desta espécie para a microrregião do Cariri Paraibano e Barbosa *et al.* (2004) relatam a sua ocorrência para a Mata do Buraquinho, no litoral, e para a Mata de Pau-ferro, em Brejo de Altiude.

O Cerrado brasileiro possui flora abundante, com diversas espécies que merecem atenção especial, a exemplo das plantas medicinais e frutíferas (CARAMORI *et al.*, 2004; KLINK e MACHADO, 2005; SILVA *et al.*, 2010). Os conhecimentos técnicos a respeito da conservação de uma espécie nativa são fundamentais para a definição da tecnologia de exploração.

Assim, o armazenamento de sementes constitui importante estratégia para a manutenção genética *ex situ* de espécies vegetais, atendendo a objetivos como conservação, melhoramento ou propagação (CAETANO *et al.*, 2012).

Para reduzir ao mínimo o processo de deterioração, as sementes devem ser armazenadas adequadamente. As condições de umidade relativa e temperatura, durante o armazenamento, promovem o equilíbrio higroscópico das sementes e são fatores determinantes para a manutenção da qualidade fisiológica, por maior ou menor tempo, e seu estudo tem sido intensificado, ultimamente, para sementes florestais (BORGES *et al.*, 2009).

Uma maneira de se conhecer o comportamento higroscópico dos produtos é por meio das isotermas de sorção. A atividade de água, descrita pela isoterma de sorção, pode ser definida como o nível para o qual a água é limitada, sendo esta, determinada em função de dada temperatura e pressão (ARAÚJO *et al.*, 2001; CORRÊA *et al.*, 2001; PARK *et al.*, 2001). A isoterma é uma relação de equilíbrio que vincula o teor de água de um produto com a temperatura e umidade relativa do ar circundante, sendo essencial para a transformação e dimensionamento dos equipamentos de secagem e transporte.

O calor isostérico de sorção (Q_s) estabelece a quantidade de energia que deve ser fornecida ao produto

durante a dessorção (secagem), de acordo com o teor de água. Este valor não é constante, nem igual ao calor latente de vaporização da água pura, mas é uma função do teor de água e da temperatura, variando ao longo do processo de secagem (RUCKLOD *et al.*, 2003). A determinação do calor isostérico é realizada a partir das isotermas de sorção, por meio de modelos matemáticos simples (CHEN, 2006). De acordo com Resende *et al.* (2006), Henao *et al.* (2009) e Corrêa *et al.* (2014), as isotermas de sorção são usadas para vários propósitos, tais como: a determinação do tempo de secagem ou, ainda, previsões para misturar e embalar os produtos, prevendo as mudanças de umidade que ocorrem durante a armazenagem e, conseqüentemente, a sua estabilidade.

Diante da importância do conhecimento da higroscopicidade e do calor isostérico dos produtos vegetais, objetivou-se neste trabalho, determinar as isotermas de dessorção de sementes de *B. capitata*, bem como ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais, selecionando aquele que melhor representa o fenômeno.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Pós-colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Câmpus Rio Verde. Os frutos maduros de *B. capitata* foram coletados manualmente, sendo armazenados por um período de sete dias em temperatura ambiente, a fim de facilitar a extração das sementes. Decorrido esse período, foi realizada a extração das sementes, com auxílio de faca, retirando-se o pericarpo. Para ajustar o teor de água do produto à faixa de leitura do equipamento, após a retirada dos resíduos, as sementes foram secadas em ar natural até o teor de água de $13,16 \pm 0,17\%$ (b.s.). Em seguida, as sementes foram submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 45 °C até, atingirem teores de água de 13,15; 12,06; 9,60 e 7,28% (b.s.), determinados em estufa a 105 ± 3 °C, durante 24 horas (BRASIL, 2009).

Para a obtenção das isotermas de dessorção das sementes, após secagem na estufa, determinou-se a atividade de água (a_w), utilizando-se três repetições com aproximadamente 15 g de sementes para cada teor de água, aplicando-se o método estático indireto, por meio do equipamento HygroPalm AW1. As determinações ocorreram em câmara tipo B.O.D. (Biochemical oxygen demand), regulada para as temperaturas constantes de 10; 20; 30 e 40 °C.

Aos dados experimentais foram ajustados os modelos matemáticos, frequentemente utilizados, para representação da higroscopicidade de produtos vegetais, cujas expressões estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Modelos matemáticos utilizados no estudo da higroscopicidade das sementes de *B. capitata* (Vahl) Eichler

Designação do modelo	Modelo	
$X_e = a-b.\ln[-(T+c).\ln(a_w)]$	Chung-Pfost	(1)
$X_e = \exp[a-(b.T)+(c.a_w)]$	Copace	(2)
$X_e = (a.b.c.a_w)/[(1-c.a_w).(1-c.a_w+b.c.a_w)]$	GAB	(3)
$X_e = [\exp(a-b.T)/-\ln(a_w)]1/c$	Halsey Modificado	(4)
$X_e = \exp\{a-(b.T)+[c.\exp(a_w)]\}$	Sigma Copace	(5)
$X_e = [\ln(1-a_w)/(-a.T+273,16)]1/c$	Henderson	(6)
$X_e = \{1/[(1-a_w).(1/a.b+((a-1)/a.b))]\}$	BET	(7)
$X_e = (a+b.T)/[(1-a_w)/a_w]1/c$	Oswin	(8)
$X_e = (a.b.c_w).(c/T)/(1-b.a_w+(c/T).b.a_w).(1-b.a_w)$	GAB Modificado	(9)

Em que:

X_e : teor de água de equilíbrio, % b.s.;

a_w : atividade de água, decimal;

T: temperatura, °C;

a,b,c: coeficientes do modelo.

Para o ajuste dos modelos matemáticos foi realizada a análise de regressão não linear, pelo método Gauss Newton, utilizando-se o programa estatístico “Statistica 7.0”. Para verificar o grau de ajuste de cada modelo foi considerada a significância do coeficiente de regressão pelo teste t; a magnitude do coeficiente de determinação (R^2); os valores do erro médio relativo (P); erro médio estimado (SE) e do teste de Qui-quadrado (χ^2), o qual identifica se a frequência com que um determinado acontecimento observado em uma amostra se desvia, significativamente, ou não da frequência com que ele é esperado. Considerou-se o valor do erro médio relativo inferior a 10% como um dos critérios para seleção dos modelos, de acordo com Mohapatra e Rao (2005).

$$p = \frac{100}{N} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \tag{10}$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \tag{11}$$

$$X^2 = \frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR} \tag{12}$$

Em que:

Y : valor experimental;

\hat{Y} : valor estimado pelo modelo;

N: número de observações experimentais.

GLR: graus de liberdade do modelo (número de observações experimentais menos o número de coeficientes do modelo).

O calor isostérico líquido de sorção, para cada teor de água de equilíbrio, foi obtido utilizando-se a equação de Clausius-Clayperon (IGLESIAS; CHIRIFE, 1976):

$$\frac{\partial \ln(a_w)}{\partial T} = \frac{\Delta h_{st}}{RT_a^2} \tag{12}$$

Em que:

a_w : atividade de água, decimal;

T_a : temperatura absoluta, K;

Δh_{st} : entalpia diferencial ou calor isostérico líquido de sorção, kJ kg⁻¹;

R: constante universal dos gases, 8,314 kJ kmol⁻¹ K⁻¹, sendo para o vapor d’água 0,4619 kJ kg⁻¹ K⁻¹.

Integrando a Equação 12 e assumindo que o calor isostérico líquido de sorção é independente da temperatura, este foi obtido, para cada teor de água de equilíbrio, conforme a Equação 13 (WANG; BRENNAN, 1991):

$$\ln(a_w) = -\left(\frac{\Delta h_{st}}{R}\right) \cdot \frac{1}{T_a} + C \tag{13}$$

Em que:

C: coeficiente do modelo.

Os valores de atividade de água, temperatura e teor de água de equilíbrio foram obtidos a partir das isotermas de dessorção das sementes, utilizando o modelo de melhor ajuste aos dados experimentais. O calor isostérico integral de sorção foi obtido adicionando-se aos valores de calor

isostérico líquido de sorção, o valor do calor latente de vaporização da água livre, de acordo com a Equação 14:

$$Q_{st} = \Delta h_{st} + L = a \cdot \exp(-b \cdot X_e) + L \quad (14)$$

Em que:

Q_{st} : calor isostérico integral de sorção, kJ kg⁻¹;

L: calor latente de vaporização da água livre, kJ kg⁻¹;

X_e : teor de água de equilíbrio, % b.s.;

a, b: coeficientes do modelo.

O calor latente de vaporização da água livre (L) (kJ kg⁻¹) para a temperatura de equilíbrio (°C) foi calculado utilizando-se a temperatura média (T) na faixa em estudo, em °C, por meio da seguinte equação:

$$L = 2502,2 - 2,39 \cdot T \quad (15)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios do teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes de *B. capitata*, para as temperaturas de 10; 20; 30 e 40 °C e das diferentes atividades de água obtidos por dessorção, estão apresentados na Tabela 2. Verifica-se que o teor de água inicial das sementes foi de 13,03% (b.s.). Quando as sementes atingiram o teor de água de aproximadamente 7,0% (b.s.), observou-se baixa atividade de água. Entretanto, esta faixa de teor de água analisada refere-se ao intervalo utilizado para o armazenamento seguro da maioria dos produtos agrícolas.

Nota-se que, para uma mesma temperatura, com o incremento da atividade de água, ocorreu o aumento no teor de água de equilíbrio. Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira *et al.* (2011) para amêndoa de cacau (*Theobroma cacao* L.), trabalhando com as temperaturas de 25; 35; 45 e 55 °C.

Corrêa *et al.* (2005), ao estudarem a higroscopicidade das espigas de milho da cultivar BR 205, o mesmo ocorreu para a higroscopicidade das sementes de nabo forrageiro (SOUSA *et al.*, 2013) e pinhão manso (OLIVEIRA *et al.*, 2014) verificaram que ocorre decréscimo do teor de água de equilíbrio com o aumento de temperatura, para uma mesma umidade relativa, seguindo a tendência da maioria dos produtos agrícolas.

Na Tabela 3 estão apresentados os parâmetros dos modelos ajustados aos valores de teor de água de equilíbrio higroscópico para as sementes de *B. capitata*, obtidos por dessorção, pelo método estático para diferentes temperaturas e atividades de água.

Tabela 2 - Valores médios do teor de água de equilíbrio (% b.s.) das sementes de *B. capitata* (Vahl) Eichler, obtidos pelo processo de dessorção, em função da temperatura (°C) e da atividade de água (decimal)

A w (decimal)	Temperatura (°C)			
	10	20	30	40
0,333	7,21	-	-	-
0,378	-	7,34	-	-
0,400	-	-	7,31	-
0,422	-	-	-	7,25
0,433	9,63	-	-	-
0,497	-	9,62	-	-
0,521	-	-	9,67	-
0,527	12,19	-	-	-
0,538	-	-	-	9,49
0,558	12,99	-	-	-
0,573	-	12,06	-	-
0,611	-	-	12,07	-
0,620	-	13,29	-	-
0,622	-	-	-	11,93
0,650	-	-	13,31	-
0,669	-	-	-	13,03

De um modo geral, os modelos apresentaram elevados valores do coeficiente de determinação, superiores a 90%, exceto os modelos de GAB e BET. Para uma análise mais detalhada foram utilizados outros parâmetros estatísticos para respaldar a seleção do melhor modelo. Segundo Madamba *et al.* (1996), a utilização do coeficiente de determinação como o único critério de avaliação para a seleção dos modelos não lineares, não constitui um bom parâmetro para representação do fenômeno.

De acordo com os valores obtidos para os erros médios estimados (SE), nota-se que os modelos Chung-pfost e Copace, apresentaram menores valores quando comparados aos demais. Sendo que a capacidade de um modelo representar adequadamente um determinado processo físico é inversamente proporcional ao valor do erro médio estimado (DRAPER; SMITH, 1998).

Ainda na Tabela 3, nota-se que os valores do erro médio relativo (P) foram inferiores a 10% para todos os modelos analisados, que de acordo com Mohapatra e Rao (2005), indica uma representação adequada do fenômeno estudado.

Tabela 3 - Parâmetros dos modelos ajustados aos teores de água de equilíbrio higroscópico para as sementes de *B. capitata*, R² - coeficientes de determinação, SE - erro médio estimado, P - erro médio relativo, χ^2 - teste de qui-quadrado

Modelos	R ²	SE	P	χ^2
	%	Decimal	%	Decimal x 10 ⁻⁵
Chung-pfost	98,85	0,271	1,94	0,073
Copace	98,90	0,265	1,95	0,070
GAB	84,44	0,996	7,63	0,993
Halsey Modificado	98,53	0,306	2,33	0,094
Sigma Copace	98,51	0,308	2,35	0,095
Henderson	91,73	0,700	5,44	0,490
BET	79,82	1,093	7,70	1,195
Oswin	98,59	0,300	2,20	0,090
GAB Modificado	97,72	0,381	2,96	0,145

Em relação ao teste de Qui-quadrado (χ^2) para os modelos analisados, observa-se que estes se encontram no intervalo de confiança de 95%. Verificando-se a magnitude dos valores, constatou-se que os menores deles foram constatados pelos modelos de Chung-pfost e Copace em comparação com demais.

Considerando-se estes dois modelos, verificou-se que o de Copace exibiu maior coeficiente de determinação, menor valor de erro médio estimado e menor magnitude dos valores de Qui-quadrado, sendo, desta maneira, o melhor modelo para a predição do equilíbrio higroscópico de sementes de *B. capitata*. Almeida *et al.* (2013), Bortolotti e Barrozo (2013), Costa *et al.* (2013) e Sousa *et al.* (2013), estudando o equilíbrio higroscópico das sementes de feijão adzuki, sementes de alface, frutos de crambe e nabo

forrageiro, respectivamente, verificaram também que o modelo de Copace foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais.

Verifica-se na Tabela 4, que os modelos matemáticos apresentaram significância ao nível de 1% pelo teste t, para a maioria dos seus coeficientes.

Na Figura 1, estão apresentados os valores experimentais do teor de água de equilíbrio de sementes de *B. capitata* obtidos por dessorção, bem como suas isotermas, estimadas pelo modelo de Copace.

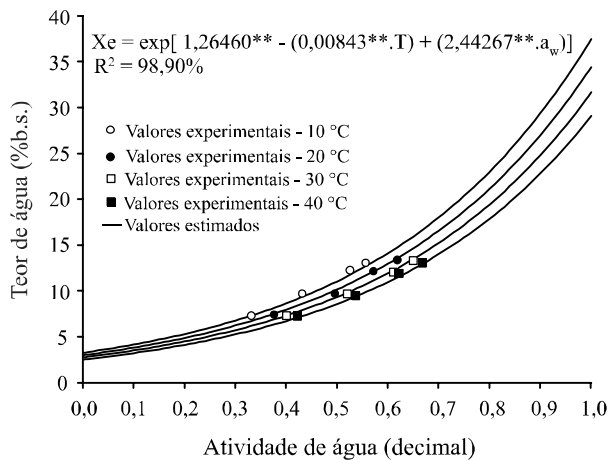
Verifica-se na Figura 1 que houve boa correspondência entre os valores estimados pelo modelo de Copace e os dados experimentais, para as quatro temperaturas avaliadas, conforme também confirmado pelo valor do coeficiente de determinação, de 98,90%

Tabela 4 - Coeficientes dos modelos ajustados para as diferentes condições de equilíbrio higroscópico das sementes de *B. capitata* (Vahl) Eichler

Modelo	a	b	c
Chung-Pfost	44,44966**	8,22863**	72,01664**
Copace	1,26460**	0,00843**	2,44267**
GAB	180,2271 ^{ns}	1,2392 ^{ns}	0,0870 ^{ns}
Halsey Modificado	22,687506**	0,010827**	1,22864**
Sigma Copace	0,089377 ^{ns}	0,008736**	1,451506**
Henderson	0,00012**	1,294193**	-
BET	-24,9912**	0,2081**	-
Oswin	11,81275**	-0,08131**	-1,68976**
GAB Modificado	7,0055**	0,8802**	103,8854**

^{ns}Não significativo e ** significativo a 1% pelo teste t

Figura 1 - Valores experimentais da atividade de água e isotermas de dessorção estimadas pelo modelo de Copace para as sementes de *B. capitata* (Vahl) Eichler, em diferentes condições de temperatura e atividade de água



** significativo a 1% pelo teste t

para este modelo (Tabela 3). Além disso, como o modelo é exponencial, não se observa a inflexão das isotermas para os menores teores de água e quando a atividade de água se aproxima de zero, sendo esta uma limitação desse modelo na estimativa dos teores de água de equilíbrio das sementes dessa espécie.

Nota-se que, para uma atividade de água constante, os valores do teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes diminuíram com o aumento da temperatura (Figura 1), seguindo a mesma tendência da maioria dos produtos vegetais, como observado para isotermas de sorção de variedades chinesas de trigo (*Triticum spp.*) (LI *et al.*, 2011), folhas e caule de erva-cidreira (*Melissa officinalis L.*) (ARGYROPOULOS *et al.*, 2012), sementes de quiabo (*Abelmoschus esculentus L.*) (GONELI *et al.*, 2010), milho (*Zea mays L.*) (SMANIOTTO *et al.*, 2012), nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*) (SOUSA *et al.*, 2013) e crambe (*Crambe abyssinica hochst*) (COSTA *et al.*, 2013).

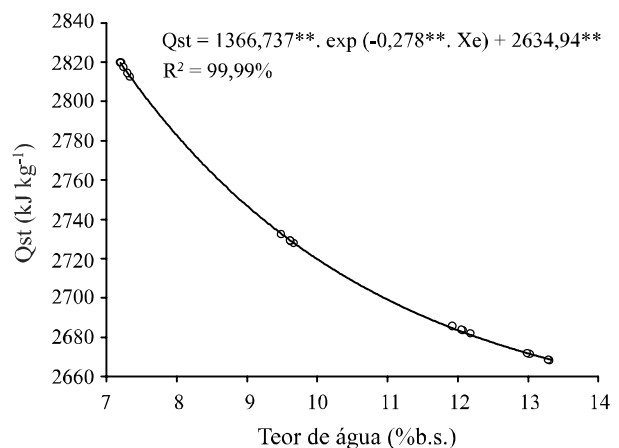
De acordo com Alcântara *et al.* (2009), podem ser encontrados na literatura diversos trabalhos que relacionam valores de atividade de água com o desenvolvimento de diversos microrganismos. Em particular, o *Aspergillus niger* é descrito por Pinto *et al.* (2006) como o microrganismo mais adaptável aos processos fermentativos, sendo em torno de 0,7 o valor da atividade de água mínima para o desenvolvimento de suas atividades metabólicas.

De acordo com Ferreira e Pena (2003), a atividade de água (a_w) é uma medida da quantidade de moléculas de água livres ou ativas, geralmente obtida em relação

à pressão de vapor da água pura. A importância da determinação dessa medida reside no fato de que, por meio dela, podem ser previstas reações químicas, enzimáticas e desenvolvimento de microrganismos.

Na Figura 2, são apresentados os valores do calor isotérico integral de dessorção (Q_{st}), em função do teor de água de equilíbrio (% b.s.).

Figura 2 - Calor isotérico integral de dessorção para as sementes de *B. capitata* em função do teor de água de equilíbrio



Os valores de calor isotérico integral de dessorção para as sementes de *B. capitata* na faixa do teor de água de equilíbrio de 13,31 a 7,21 (% b.s.) variaram de 2.667,93 a 2.819,56 kJ kg⁻¹. Já Caetano *et al.* (2012), analisando os valores de calor isotérico integral de dessorção para sementes de caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum Rizz*), com menores teores de água (entre 1,76 a 6,56% b.s.), obtiveram valores com maiores magnitudes, sendo de 4.586,35 a 2.572,70 kJ kg⁻¹.

Verifica-se que houve decréscimo do calor isotérico com o aumento do teor de água de equilíbrio, ou seja, quanto menor o teor de água das sementes de *B. capitata* durante a dessorção, mais energia é requerida para evaporar a água ligada à estrutura biológica do produto, isto é, a evaporação de água das sementes requer energia para superar o calor de evaporação dos baixos teores de água. Este fato foi identificado para diversos produtos alimentícios, como folha e caule de coentro desidratada (*Coriandrum sativum L.*) (SILVA *et al.*, 2010), polpa de maracujá desidratado (*Passiflora edulis fo. flavicarpa O. Deg*) (CATELAM *et al.*, 2011), arroz em casca (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Segundo Hubinger *et al.* (2009), à medida que o teor de água de equilíbrio diminui, o valor do calor isostérico aumenta, e a capacidade de retenção de água do produto começa a se elevar, devido a um aumento na concentração de gorduras, proteínas e sais de cloreto de sódio. Os pesquisadores relatam também que a camada monomolecular fica mais fortemente ligada aos grupos polares dessas substâncias, em consequência do incremento das ligações de hidrogênio das moléculas de água que formam, progressivamente, estruturas ordenadas e rígidas nas quais precisaria de cada vez maior quantidade de energia para quebrá-las e liberar uma molécula de água na forma de vapor.

CONCLUSÕES

1. O teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes de *Buchenavia capitata* (Vahl) Eichler é diretamente proporcional à atividade de água e decresce com o aumento de temperatura para um mesmo valor de umidade relativa de equilíbrio;
2. O modelo matemático de Copace é o que melhor representa a higroscopicidade de sementes de *B. capitata* nas temperaturas e umidades estudadas;
3. O calor isostérico de sementes de *B. capitata* aumenta com a diminuição do teor de água de equilíbrio, sendo necessária maior quantidade de energia para retirar a água.

AGRADECIMENTOS

Ao IF Goiano, CAPES, FINEP e CNPq pelo apoio financeiro, indispensável para execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, S. R. *et al.* Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p.81-87, 2009.
- ALMEIDA, D. P. *et al.* Higroscopicidade das sementes de feijão adzuki. **Científica**, Jaboticabal, v. 41, n. 2, p. 130-137, 2013.
- AGRA, M. F. *et al.* Medicinal and poisonous diversity of the flora of “Cariri Paraibano”, Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 111, n. 2, p. 383-395, 2007.
- ARGYROPOULOS, D. *et al.* Moisture sorption isotherms and isosteric heat of sorption of leaves and stems of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) established by dynamic vapor sorption. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie Journal**. v. 47, n. 2, p. 324-331, 2012.
- BARBOSA, M. R. V. *et al.* Diversidade florística na Mata do Pau-Ferro. In: PORTO, K. C.; CABRAL, J. J. P.; TABARELLI, M. (ORG.). **Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, p. 111-122, 2004. (Série Biodiversidade, 9).
- BORGES, S. *et al.* Equilíbrio higroscópico e viabilidade de sementes de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speng) em diferentes condições ambientais de armazenamento. **Scientia Florestalis**, v. 37, n. 84, p. 475-481, 2009.
- BORTOLOTTI, C. T.; BARROZO, M. A. S. Searching the best equilibrium moisture equation for lettuce seeds using measures of curvature and bias. **Food Science & Nutrition**, v. 1, n. 6, p. 422-427, 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS. p. 399. 2009.
- CAETANO, G. S. *et al.* Higroscopicidade de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 437-445, 2012.
- CARAMORI, S. S.; LIMA, C. S.; FERNANDES, K. F. Biochemical characterization of selected plant species from Brazilian Savannas. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 2, p. 253-259, 2004.
- CATELAM, K. T.; TRINDADE, C. S. F.; ROMERO, J. T. Water adsorption isotherms and isosteric sorption heat of spray-dried and freeze-dried dehydrated passion fruit pulp with additives and skimmed milk. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1196-1203, 2011.
- CHEN, C. Obtaining the isosteric sorption heat directly by sorption isotherm equations. **Journal of Food Engineering**, v. 74, n. 2 p. 178-185, 2006.
- CORRÊA, P. C.; JÚNIOR, P. C. A.; ANDRADE, E. T. Modelagem matemática da atividade de água em polpa cítrica peletizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 283-287, 2001.
- CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D. M. Isotermas de sorção das espigas de milho: obtenção e Modelagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 1, p. 126-134, 2005.
- CORRÊA, P. C. *et al.* Isotermas de sorção de água de frutos de *Coffea canéfora*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 10, p. 1047-1052, 2014.
- 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.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3rd ed. New York, N. Y: John Wiley, p. 712. 1998.
- FÉRREA, G. *et al.* In vitro activity of a *Combretum micranthum* extract against herpes simplex virus types 1 and 2. **Antiviral Research**, v. 21, n. 4, p. 317-325. 1993.

- FERREIRA, C. D.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 251-255, 2003.
- FREITAS, J. V. B. Constituintes Voláteis das Folhas de *Bauhinia unguolata* L., *Buchenavia capitata* (Vahl) Eichl. e *Mouriri cearensis* Hub. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 32., 2009, Fortaleza. **Resumos...** Fortaleza: SBQ, 2009.
- GONELI, A.L.D. *et al.* Water desorption and thermodynamic properties of okra seeds. **Transactions of the ASABE**, v. 53, n. 1, p. 191-197, 2010.
- HENAO, J. D.; QUEIROZ, M. R.; HAJ-ISA, N. M. A. Umidade de equilíbrio de café cereja descascado baseada em métodos estático e dinâmico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 470-476, 2009.
- HUBINGER M. D. *et al.* Isotermas de desorção 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.
- IGLESIAS, H.; CHIRIFE, J. Prediction of the effect of temperature on water sorption isotherms of food material. **Journal of Food Technology**, v. 11, n. 2, p. 109-116, 1976.
- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A. Conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147- 155, 2005.
- LI, X. *et al.* 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.
- 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.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 4, p. 513-18, 2005.
- OLIVEIRA, G. H. H. *et al.* Evaluation of thermodynamic properties using GAB model to describe the desorption process of cocoa beans. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 10, p. 2077- 2084, 2011.
- OLIVEIRA, D. E. C. *et al.* Propriedades termodinâmicas das sementes de pinhão manso, **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 147-157, 2014.
- OLIVEIRA, D. E. C. *et al.* Obtenção e modelagem das isotermas de desorção e do calor isostérico para sementes de arroz em casca. **Científica**, v. 42, n. 3, p. 203-210, 2014.
- PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para pêra Bartlett (*Pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.
- PINTO, G. A. S. *et al.* Fermentação em estado sólido: uma alternativa para o aproveitamento e valorização de resíduos agroindustriais. **Revista de Química Industrial**, v. 74, n. 724, p. 17-20, 2006.
- RESENDE, O. *et al.* Isotermas e calor isostérico de desorção do arroz em casca. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 31, n. 1, p. 86-94, 2006.
- RUCKLOD, S. *et al.* The energy of interaction between water and surfaces of biological reference materials. **Food Chemistry**, v. 82, n. 1, p. 51-59, 2003.
- SILVA, A.S. *et al.* Característica higroscópica e termodinâmica do coentro desidratado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 237-244, 2010.
- SILVA, N. L. A. *et al.* Triagem fitoquímica de Plantas do Cerrado da Área de Proteção Ambiental Municipal do Inhamum, Caxias, Maranhão. **Scientia Plena**, v. 6, n. 2, p. 1-17, 2010.
- SMANIOTTO, T. A. S. *et al.* Isotermas e calor latente de desorção dos grãos de milho da cultivar AG 7088. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 3, p. 312-322, 2012.
- SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; COSTA, L. M. Isotermas de desorção das sementes de nabo forrageiro obtidas pelos métodos dinâmico e estático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 216-222, 2013.
- STACE, C. A. *Combretaceae*. fig. 55, pl 15. In: SMITH, N. P. *et al.* (ED.). **Flowering Plants of the Neotropics**. United Kingdom, The New York Botanical Garden; Princenton University Press. p. 110-111, 2004.
- WANG, N.; BRENNAN, J. G. Moisture sorption isotherm characteristics of potato at four temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 14, n. 4, p. 269-287, 1991.
- WEAVER, P.L. *Buchenavia capitata* (Vahl.) Eichler: Granadillo. SO-ITF-SM-43, **Ministério da agricultura**, serviço florestal, floresta Sul Experiment Station, Nova Orleans, p. 7, 1991.