

## MODELAGEM DAS ISOTERMAS DE DESSORÇÃO DOS FRUTOS DE BARU (*Dypterix alata* Vog.)

WEDER NUNES FERREIRA JÚNIOR<sup>1</sup>, OSVALDO RESENDE<sup>2</sup>, DANIEL EMANUEL CABRAL DE OLIVEIRA<sup>3</sup>, LÍLIAN MOREIRA COSTA<sup>4</sup>, IGOR OLACIR FERNANDES SILVA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Graduando Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, e-mail: wedernunesifm@gmail.com

<sup>2</sup>Doutor Engenharia Agrícola, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, e-mail: osvresende@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Doutorando em Ciências Agrárias - Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Iporá, e-mail: oliveira.d.e.c@gmail.com

<sup>4</sup>Doutorando em Ciências Agrárias - Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, e-mail: lmctpg@yahoo.com.br

<sup>5</sup>Graduando Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, e-mail: igorolacirrv95@gmail.com

Apresentado no

XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015

13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro – SP, Brasil

**RESUMO:** Com o conhecimento do equilíbrio higroscópico dos frutos de baru (*Dypterix alata* Vog.) pode-se manejar adequadamente o produto visando à manutenção de seu teor de água nos níveis recomendados para um armazenamento seguro. Desta forma, objetivou-se a determinação das isotermas de dessecção de água dos frutos de baru nas temperaturas de 20, 25, 30, 35 °C e atividades de água entre 0,14 e 0,80, ajustando diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais, e selecionando aquele que melhor representa o fenômeno. Para obtenção do equilíbrio higroscópico foi utilizado o método estático-gravimétrico. Para cada repetição, foram colocados 50 g de frutos envolvidos por um tecido permeável para permitir o contato do ar com o produto e colocados no interior dos dessecadores enquanto para o controle da umidade relativa no interior dos dessecadores foram utilizadas soluções saturadas. Verificou-se que quanto maior a temperatura, para um mesmo teor de água de equilíbrio (% b.s.), maiores são os valores de atividade de água. O modelo Halsey Modificado obteve o maior coeficiente de determinação e baixos valores de erro médio relativo, erro médio estimado e *Qui*-quadrado, sendo selecionado para predição do equilíbrio higroscópico dos frutos de baru.

**PALAVRAS-CHAVE:** Teor de água de equilíbrio, Halsey Modificado, Atividade de água.

## MODELLING OF THE DESORPTION ISOTHERMS OF FRUIT OF BARU (*Dypterix alata* Vog.)

**ABSTRACT:** With the knowledge of the equilibrium moisture content of baru (*Dypterix alata* Vog.) fruit can properly manage the product in order to maintain the moisture content at recommended levels for safe storage. Thus, the aim of determining the isotherms of water desorption of the fruits of baru at temperatures of 20, 25, 30, 35 °C and water activities between 0.14 and 0.80, adjusting different mathematical models to experimental data, and selecting the one that best represents the phenomenon. To obtain the equilibrium moisture content was used, the static gravimetric method. For each replicate were placed 50 g of fruit surrounded by a fabric permeable to permit air contact with the product and placed inside the desiccators as to control the humidity on inside the desiccators saturated solutions were used. It was found that the higher the temperature for the same equilibrium moisture content (% d.b.), the higher the water activity values. The Modified Halsey model had the highest coefficient of determination and low average relative error values, estimated mean error and chi-square, being selected to predict the equilibrium moisture content of the fruits of baru.

**KEYWORDS:** Equilibrium moisture content, Modified Halsey, Water activity.

**INTRODUÇÃO:** O baru (*Dypterix alata* Vog.), é um fruto com ocorrência no cerrado e a sua polpa e a amêndoa pode ser usado para alimentação humana, sendo que a sua semente tem sabor semelhante ao do amendoim e pode ser consumida in natura ou torrada. Assim durante a fase de pós-colheita, a realização de um manejo inadequado pode conduzir a uma rápida deterioração da qualidade dos frutos e sementes. A atividade microbiana pode causar efeitos indesejáveis e contribuir para o aquecimento do produto armazenado e perdas de matéria seca por meio da utilização de carboidratos, proteínas e lipídeos como fonte de energia durante a respiração (Magan e Aldred, 2007). Todos os produtos agrícolas têm a capacidade de ceder ou absorver água do ambiente, tendendo a manter constantemente uma relação de equilíbrio entre o seu teor de água e as condições do ar ambiente. O teor de água de equilíbrio é alcançado quando a pressão parcial de vapor de água no produto iguala-se a do ar que o envolve (Corrêa et al., 2005). A afinidade existente entre a água e os outros componentes (gordura, amido, açúcar, proteínas, etc.) de um produto define sua higroscopicidade (Brooker et al., 1992). Com isto, estudos sobre a higroscopicidade dos produtos agrícolas têm a finalidade de amenizar estas possíveis alterações, uma vez que estes têm a capacidade de absorver e ceder água para o ambiente tendendo para um equilíbrio (Resende et al., 2006). Assim, objetivou-se no presente trabalho obter as isotermas de dessecção dos frutos de baru nas temperaturas de 20, 25, 30, 35 °C e atividades de água entre 0,14 e 0,80, ajustando diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais, e 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. Foram utilizados frutos de baru (*Dypterix alata* Vog.) coletados manualmente no município de Santa Helena de Goiás - Goiás, com o teor de água inicial de 43% base seca (b.s.). Para obtenção do teor de água de equilíbrio higroscópico foi utilizado o método estático-gravimétrico; para cada repetição foram colocados aproximadamente 50 g de frutos envolvidos por um tecido permeável (voile) a fim de permitir a passagem do ar através do produto, sendo em seguida colocados no interior de dessecadores. A temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas por meio de um data logger inserido no interior dos dessecadores. Visando ao controle da umidade relativa no interior dos dessecadores foram utilizadas soluções saturadas de diferentes sais (cloreto de lítio, cloreto de cálcio, nitrato de cálcio, cloreto de sódio e brometo de potássio). Os dessecadores foram colocados em câmaras incubadoras tipo B.O.D. (Biochemical Oxygen Demand) reguladas nas temperaturas de 20, 25, 30 e 35 °C. As amostras foram pesadas periodicamente e o equilíbrio higroscópico foi atingido quando a variação da massa permaneceu invariável durante três pesagens consecutivas. Após atingir o equilíbrio higroscópico foi determinado o teor de água de equilíbrio em estufa a  $105 \pm 3$  °C, durante 24 h (Brasil, 2009). 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 2. Modelos matemáticos utilizados para prever a higroscopicidade de produtos vegetais.

Designação do modelo	Modelo	
$X_e = a - b \cdot \ln[-(T + c) \cdot \ln(a_w)]$	Chung-Pfost	1
$X_e = \exp[a - (b \cdot T) + (c \cdot a_w)]$	Copace	2
$X_e = [\exp(a - b \cdot T) / -\ln(a_w)]^{1/c}$	Halsey Modificado	3
$X_e = \exp\{a - (b \cdot T) + [c \cdot \exp(a_w)]\}$	Sigma Copace	4
$X_e = \{1/[1 - a_w] \cdot (1/a \cdot b + ((a - 1)/a \cdot b))\}$	BET	5
$X_e = (a + b \cdot T) / [(1 - a_w) / a_w]^{1/c}$	Oswin	6

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. Para verificar o grau de ajuste de cada modelo utilizou-se a magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), os valores dos erros médio relativo (P) e estimado (SE) e do teste de *Qui*-quadrado ( $\chi^2$ ). 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).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 3, estão apresentados os parâmetros dos modelos de equilíbrio higroscópico para os frutos de baru, obtidos por dessecção, para diferentes condições de temperatura.

Tabela 3. Parâmetros dos modelos de equilíbrio higroscópico para os frutos de baru (*Dypterix alata* Vog.) com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ , %), erros médios relativo (P, %) e estimado (SE, decimal) e *Qui*-quadrado ( $\chi^2$ , decimal).

Modelos	SE	P	$\chi^2$	$R^2$
Chung-Pfost	1,87	17,04	3,51	96,31
Copace	1,02	4,32	1,04	98,90
Halsey Modificado	0,72	4,44	0,52	99,46
Sigma Copace	0,92	6,05	0,84	99,12
BET	1,25	11,69	1,57	98,25
Oswin	0,90	5,37	0,80	99,16

Os modelos Halsey Modificado, Sigma Copace e Oswin apresentaram o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) superior a 99%, sendo que o modelo de Halsey Modificado foi o modelo que apresentou o maior coeficiente de determinação. Já o modelo de Chung-Pfost apresentou o menor coeficiente de determinação. Com relação ao erro médio relativo (P), nota-se que os modelos Copace, Halsey Modificado e Oswin apresentaram os menores valores, já os modelos Chung-Pfost e BET apresentaram valores superiores a 10% que de acordo com Mohapatra e Rao (2005) são inapropriados para representação do fenômeno. Analisando o erro médio estimado (SE), verifica-se que o modelo de Halsey Modificado apresentou o menor valor, sendo que a capacidade de um modelo representar adequadamente um determinado processo físico é inversamente proporcional ao valor do erro médio estimado. Em relação ao teste de *Qui*-quadrado ( $\chi^2$ ), verificam-se que os modelos de Halsey Modificado, Oswin e Sigma Copace, respectivamente, apresentaram os menores valores. Günhan et al. (2005), ressaltam que quanto menor o valor de  $\chi^2$  melhor será o ajuste do modelo aos dados experimentais. Desta forma, dentre os modelos avaliados apenas os modelos de Chung-Pfost e BET não foram recomendados para determinar a higroscopicidade dos frutos de baru. O modelo de Halsey Modificado apresentou maior coeficiente de determinação e menores valores dos erros médios relativo e estimado, bem como menor magnitude no teste de *Qui*-quadrado sendo selecionado para predição do teor de água de equilíbrio dos frutos de baru indicado pela Equação 7.

$$X_e = \left[ \exp(2,8707^{**} - 0,0084^{**} \cdot T) / -\ln(a_w) \right]_{1,2483^{**}}^1 \quad (7)$$

\*\*Significativo a 1% pelo teste de t.

Caetano et al. (2012) e Costa et al. (2015), avaliando as isotermas de sorção de sementes de caju-de-arvoré-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.) e boca boa (*Buchenavia capitata* (Vahl) Eichler), espécies do cerrado, verificaram que os modelos de Chung-Pfost e Copace, respectivamente, foram os modelos que melhor ajustaram aos dados experimentais. Na Figura 1, são apresentados os valores experimentais da atividade de água dos frutos de baru, obtidas por dessecção, bem como as isotermas de dessecção estimadas por meio do modelo de Halsey Modificado.

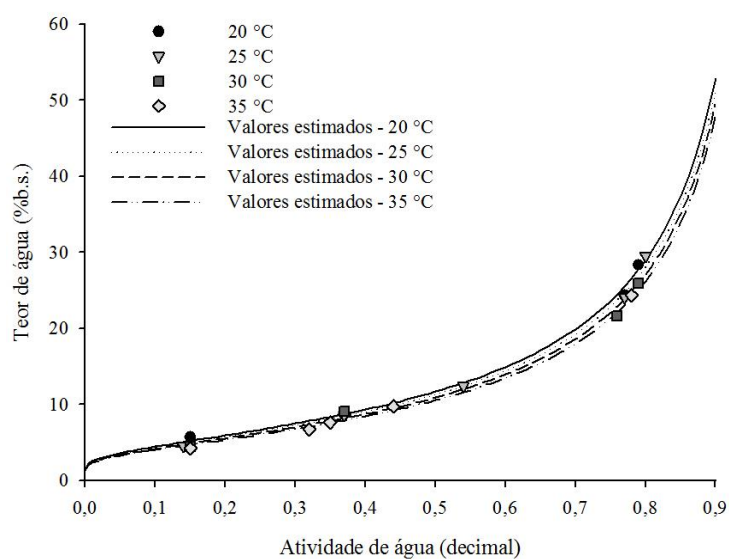


Figura 1. Isotermas de dessecamento de água para os frutos de baru (*Dypterix alata* Vog.), estimadas pelo modelo de Halsey Modificado, para diferentes condições de temperatura e atividade de água.

As isotermas de dessecamento obtidas para os frutos de baru apresentaram-se no formato sigmoidal, típico de diversos produtos agrícolas (Resende et al., 2006; Caetano et al., 2012). Nota-se que o aumento da temperatura, para um teor de água de equilíbrio constante, tem-se uma pequena elevação na atividade de água, seguindo a mesma tendência da maioria dos produtos agrícolas já estudados (Caetano et al., 2012; Costa et al., 2015).

**CONCLUSÕES:** Os modelos Copace, Halsey Modificado, Sigma Copace, Oswin representam adequadamente as isotermas de dessecamento dos frutos de baru. Dentre estes, o modelo Halsey Modificado foi selecionado para predição do equilíbrio higroscópico dos frutos de baru.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. **Regras ara análise de sementes**. Brasília, 2009. 398p.
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: van Nostrand Reinhold, 1992. 450p.
- CAETANO, G. S.; SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; SALES, J. F.; COSTA, L. M. Higroscopicidade de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 437-445, 2012.
- 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.
- COSTA, L. M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; SOUSA, K. A. Isotermas e calor isostérico de sementes de *Buchenavia capitata* (Vahl) Eichler. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 516-523, 2015.
- GÜNHAN, T.; DEMIR, V.; HANCIOGLU, E.; HEPBASLI, A. Mathematical modelling of drying of bay leaves. **Energy Conversion and Management**, v. 46, n. 11-12, p. 1667-1679, 2005.
- MAGAN, N.; ALDRED, D. Post-harvest control strategies: Minimizing in the food chain. **International Journal of Food Microbiology**, v. 119, n. 1-2, p. 131-139, 2007.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005.
- RESENDE, O.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; MARTINAZZO, A.P.; RIBEIRO, R.M. Isotermas e calor isostérico de dessecamento do arroz em casca. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.31, n.1, p.86-94, 2006.