

**COEFICIENTE DE DIFUSÃO EFETIVO DE EPICARPO DE BATATA DOCE
(*Ipomea batatas L.*) BIOFORTIFICADA****LÍGIA C. DE MOURA SILVA¹, OSVALDO RESENDE², DANIEL E. CABRAL DE
OLIVEIRA³, DIENE GONÇALVES SOUSA⁴**

¹ Doutoranda em Ciências Agrárias - Agronomia, Doutor em Ciências Agrárias – Agronomia, Mestre em Zootecnia, IF Goiano, Rio Verde – GO, (64) 3620 5636, ligialirios@hotmail.com;

² Eng^o Agrícola, Prof. Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Câmpus Rio Verde -GO

³ Eng^o Agrícola, Prof. Ph, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Câmpus Iporá- GO

⁴ Doutoranda em Ciências Agrárias - Agronomia, Doutor em Ciências Agrárias – Agronomia, Mestre em Zootecnia, IF Goiano, Rio Verde – GO

Apresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: O acesso a cultivares biofortificados constitui uma alternativa para o fornecimento de alimentos mais nutritivos, que podem ajudar a reverter à carência de nutrientes, e, assim, reduzir o número de casos de desnutrição infantil no Brasil. Considerando os benefícios da utilização de *Ipomea batatas L.* objetivou-se com este trabalho determinar o coeficiente de difusão efetivo para a secagem do epicarpo de batata doce biofortificada, e obter a energia de ativação. A secagem foi realizada em diferentes condições de secagem 45; 55; 65 e 75 °C. Para obter o coeficiente de difusão utilizou-se o modelo da difusão líquida para a forma geométrica de placa plana, com aproximação de oito termos. As batatas apresentavam teor de água inicial de 3,796±0,018 base seca. Com base nos resultados obtidos o coeficiente de difusão efetivo diminuiu com a elevação da temperatura com valores de 1,14 x10⁻¹⁰; 1,19 x10⁻¹⁰; 1,58 x10⁻¹⁰ e 2,17x10⁻¹⁰ m²s⁻¹ dentro da faixa para materiais alimentícios. Este comportamento indicou maior magnitude do transporte de água do interior para o exterior do produto. A relação do coeficiente de difusão com a temperatura de secagem foi descrita pela equação de Arrhenius, com energia de ativação para a difusão líquida na secagem foi de 20,26 kJ mol⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: Equação de Arrhenius, difusão efetivo, energia de ativação.

**EFFECTIVE DIFFUSION COEFFICIENT OF BIOFORTIFIED SWEET POTATO
(*Ipomea batatas L.*) EPICARP**

ABSTRACT: Access to biofortified cultivars is an alternative for the provision more nutritious foods, which may help to reduce nutrient deficiency, and number of cases child bad nutrition in Brazil. Considering the benefits of *Ipomea batatas L.*, the purpose of this work was to determine the effective diffusion coefficient for the drying of the biophoric sweet potato epicarp and to obtain activation energy. Drying was performed under different drying conditions 45; 55; 65 and 75 ° C. To obtain the diffusion coefficient, the diffusion model was used for the flat plate geometry, with an approximation of eight terms. The potatoes had an initial moisture of 3,796 ± 0,018 dry basis. Based on the results the effective diffusion coefficient decreased with elevation of the temperature with values 1.14 x 10⁻¹⁰; 1.19 x 10⁻¹⁰; 1.58 x10⁻¹⁰ and 2.17x10⁻¹⁰ m²s⁻¹ within the range for food materials. This behavior indicated a greater magnitude of water transport from the interior to exterior of the product. The ratio of diffusion coefficient to the drying temperature was described by Arrhenius equation, with activation energy for diffusion on drying was 20.26 kJ mol⁻¹.

KEYWORDS: Arrhenius equation, effective diffusion, activation energy.

INTRODUÇÃO: Produtos biofortificados como a batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) estão sendo desenvolvidos no Brasil e em países da América Central, da África e da Ásia para combater o que é denominado “fome oculta”, que é a carência de micronutrientes (vitamina A, ferro e zinco), que são essenciais para a saúde (NESTEL et al., 2006). Com o processamento desses produtos são gerados resíduos que podem ser utilizados, minimizando o desperdício de alimentos e gerando nova fonte alimentar (SOUSA et al., 2011a). No entanto, tais resíduos apresentam alto teor de água, sendo necessário passar pelo processo de secagem para preservar sua qualidade, pois seu principal objetivo é a redução do teor de água até níveis seguros, permitindo longos períodos de armazenamento, sem que ocorram perdas significativas durante o processo (MARTINAZZO et al., 2010). Segundo Brooker et al. (1992), na teoria da difusão líquida a segunda lei de Fick tem sido utilizada para estabelecer a difusão da água em função do gradiente de concentração. O coeficiente de difusão é uma difusividade efetiva que engloba os efeitos de todos os fenômenos, podendo intervir sobre a migração da água, e o seu valor é sempre obtido pelo ajuste das curvas experimentais (MARTINAZZO et al., 2007). Como a difusividade pode ter variações conforme a mudança de temperatura, teor de água e velocidade do ar, ela não é uma particularidade do material. Sendo assim, objetivou-se com este estudo ajustar o modelo da difusão líquida às curvas de secagem do epicarpo de batata doce biofortificada, e obter a energia de ativação.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal Goiano - *Campus* Rio Verde. Foram utilizados resíduos da batata doce biofortificada, com o teor de água inicial de $3,796 \pm 0,018$ base seca. A secagem foi realizada nas condições de temperatura: 45, 55, 65 e 75 °C. Os teores de água determinados em estufa a 105 ± 1 °C, durante 24 h, em três repetições. Para a determinação das razões de teor de água do epicarpo da batata doce biofortificada durante a secagem utilizou-se a seguinte expressão:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} = \quad (1)$$

em que: RX: razão de teor de água, adimensional; X: teor de água (b.s.); Xi: teor de água inicial (b.s.); e Xe: teor de água de equilíbrio (b.s.), do produto.

O modelo da difusão líquida para a forma geométrica de placa plana, com aproximação de oito termos (Equação 2), foi ajustado aos dados experimentais de secagem de epicarpo da batata doce biofortificada, considerando a área superficial e o volume, de acordo com a seguinte expressão:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n_t=0}^{\infty} \frac{1}{(2n_t+1)^2} \exp \left[-\frac{(2n_t+1)^2 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot t}{4} \cdot \left(\frac{S}{V} \right)^2 \right] \quad (2)$$

em que: RX: razão de umidade do produto, adimensional; n_t : número de termos; S: área da superfície do produto, m^2 ; e V: volume do produto, m^3 .

Para o cálculo da área superficial utilizaram-se imagens das amostras com auxílio do software IMAGEJ e para determinação do volume foram aferidas as medidas de espessura por meio de paquímetro digital e calculou-se conforme a Equação 3.

$$V = S \cdot E \quad (3)$$

em que, V: volume (m^3); S: área da superfície (m^2); E: espessura (mm), de epicarpo de batata doce biofortificada.

A relação entre o coeficiente de difusão efetivo e a elevação da temperatura do ar de secagem foi descrita por meio da equação de Arrhenius.

$$D = D_0 \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{R \cdot T_{ab}}\right) \quad (4)$$

em que: D_0 : fator pré-exponencial; E_a : energia de ativação, kJmol^{-1} ; R : constante universal dos gases, $8,134 \text{ kJkmol}^{-1}\text{K}^{-1}$; e T_{ab} : temperatura absoluta, K.

Os coeficientes da expressão de Arrhenius foram linearizados com a aplicação do logaritmo na seguinte forma:

$$\text{Ln}D = \text{Ln}D_0 - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T_{ab}} \quad (5)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Observa-se na Figura 3 os valores do coeficiente de difusão efetivo para as condições de secagem estudadas.

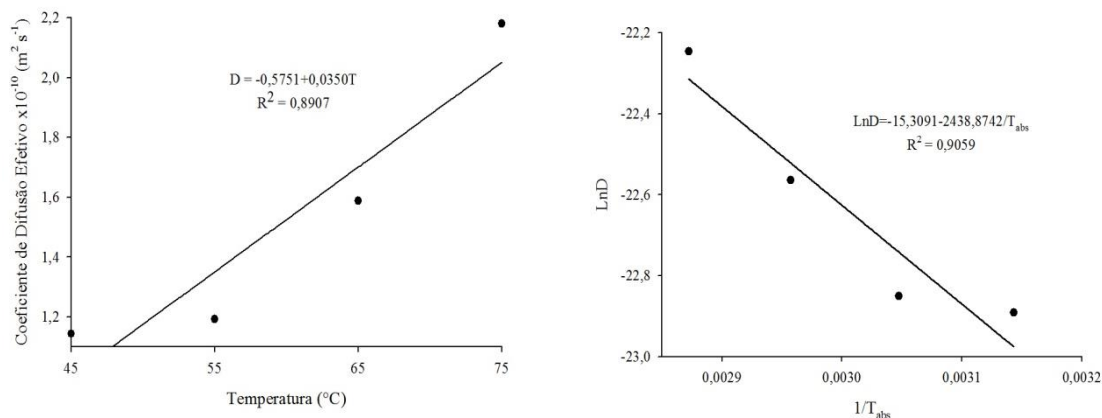


FIGURA 1. Coeficiente de difusão efetivo e a representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo, para a secagem de epicarpo de batata doce biofortificada nas temperaturas de 45, 55, 65 e 75 °C.

O coeficiente aumentou com o acréscimo da temperatura, sendo os valores de $1,14 \times 10^{-10}$; $1,19 \times 10^{-10}$; $1,58 \times 10^{-10}$ e $2,17 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para as temperaturas de 45; 55; 65 e 75 °C, respectivamente. Menezes et al. (2013) indicaram que os coeficientes de difusão efetivo apresentaram-se na ordem de 10^{-10} a $10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para a secagem do bagaço do maracujá amarelo. Segundo Madamba et al. (1996), os valores da difusividade efetiva para secagem de produtos agrícolas apresentam magnitudes na ordem de 10^{-9} a 10^{-11} . A energia de ativação para a difusão líquida de epicarpo de batata doce biofortificada foi de $20,26 \text{ kJ mol}^{-1}$, para a faixa de temperatura entre 45 e 75 °C. Valores semelhantes aos encontrados por Corrêa et al. (2006) para frutos de café de $22,619 \text{ J mol}^{-1}$ para as temperaturas de 40, 50 e 60 °C. Doymaz, (2005) estudando secagem de cenoura obteve energia de ativação de $28,36 \text{ kJ mol}$. Sacilik, (2007) obteve valor de $33,15 \text{ kJ mol}^{-1}$ para secagem de semente de abobora. Segundo Kashaninejad et al., (2007) a energia de ativação é considerada uma barreira a ser atravessada para que o processo de difusão no produto possa ocorrer, quanto menor a energia de ativação, maior será a difusividade de água no produto por unidade de tempo. De acordo com Rizvi (1995), o coeficiente de difusão efetivo é dependente da temperatura do ar de secagem, além da variedade e composição dos materiais, dentre outros, o que justifica o seu aumento, com incrementos da temperatura do ar de secagem. Goneli (2008) explica com o aumento da temperatura, aumenta-se o nível de vibração das moléculas de água e diminui a viscosidade da mesma, sendo a viscosidade uma medida da resistência do fluído ao escoamento. As variações desta propriedade implicam em alterações na difusão da água nos capilares dos produtos agrícolas, que juntamente com a vibração mais intensa das moléculas de água, contribuem para uma difusão mais rápida.

CONCLUSÕES: O coeficiente de difusão efetivo aumenta sua magnitude com a elevação da temperatura. A relação do coeficiente de difusão com a temperatura pode ser descrita pela de Arrhenius com energia de ativação para a difusão líquida durante a secagem de 20,26 kJ.mol⁻¹.

AGRADECIMENTOS: Ao IFGoiano - Campus Rio Verde, à CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

BROOKER, D. B.; BAKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oil seeds**. New York: AVI Book Publisher, 450p. 1992.

CORRÊA, P. C. RESENDE, O, RIBEIRO, D.M. Drying characteristics and kinetics of coffee berry. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.8 p.1-10, (2006).

DOYMAZ, I. Drying behaviour of green beans. **Journal of Food Engineering**, v. 69, n. 2, p. 161-165, 2005.

KASHANI-NEJAD, M. A.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI A. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v.78, p. 98-108, 2007.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The Thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v. 29, p. 75-97, 1996.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. C. Análise e descrição matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim limão *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. **Revista Brasileira Plantas Medicinai**s, Botucatu, v.12, p.488-498, 2010.

MARTINAZZO, A. P.; MELO, E. C.; CORRÊA, P. C.; SANTOS R. H. S. Modelagem matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p.301-306, 2007.

MENEZES, M. L.; STRÖHER, A. P.; PEREIRA, N. C.; BARROS, S. T. D. Análise da cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá-amarelo. **Engevista**, v. 15, p. 176-186, 2013.

NESTEL, P.; BOUIS, H. E.; MEENAKSHI, J. V.; PFEIFFER, W. Biofortification of staple food crops. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 136, p.1064-1067, 2006.

SACILIK, K. Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 23-30, 2007.

SOUSA, M. S. B.; VIEIRA, L. M.; SILVA, M. J. M.; LIMA, A. Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.554-559, 2011a.