

COEFICIENTE DE DIFUSÃO EFETIVO DA CASCA DE MANDIOCA DURANTE A SECAGEM

MARCOS ANTONIO ALMEIDA ROCHA¹, DANIEL EMANUEL CABRAL DE OLIVEIRA², ALEXANDRE BESERRA DOS SANTOS³, DANIHANNE BORGES E SILVA⁴, FERNANDO FELIPE LIMA⁵, WELBER BARBOSA PAES⁶

¹ Graduando em Agronomia, IF Goiano – Campus Iporá, marcos.rocha@estudante.ifgoiano.edu.br

² Doutorado em Ciências Agrárias – Agronomia, IF Goiano – Campus Rio Verde, daniel.oliveira@ifgoiano.edu.br

³ Graduando em Agronomia, IF Goiano – Campus Iporá, alexandre.beserra@estudante.ifgoiano.edu.br

⁴ Graduanda em Agronomia, IF Goiano – Campus Iporá, danihanne.silva@estudante.ifgoiano.edu.br

⁵ Graduando em Agronomia, IF Goiano – Campus Iporá, fernando.felipe@estudante.ifgoiano.edu.br

⁶ Graduando em Agronomia, IF Goiano – Campus Iporá, welber.paes@estudante.ifgoiano.edu.br

Apresentado no

LIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2024
6 a 8 de agosto de 2024 – Natal – RN, Brasil

RESUMO: Objetivou-se determinar o coeficiente de difusão efetivo e obter a energia de ativação para o processo de secagem de casca de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), submetidas à secagem em diversas condições de ar. O experimento foi desenvolvido no Instituto Federal Goiano – Campus Iporá. As cascas de mandioca foram obtidas na feira municipal de Iporá, Goiás. Os resíduos foram cortados em pedaços e o teor de água inicial foi $2,421 \pm 0,195$ base seca (decimal, b.s.) foram submetidas a secagem nas temperaturas de 40; 50; 60 e 70 °C e umidade relativa de 23,32; 14,12; 9,12 e 5,99% respectivamente. A secagem foi realizada em uma estufa de circulação forçada em recipientes metálicos usando aproximadamente 100 g. A secagem foi monitorada pela perda de massa, pesagens periódicas até atingir o teor de água final de $0,12 \pm 0,029$ b.s.. O coeficiente de difusão efetivo aumentou com a elevação da temperatura apresentando valores de $3,996 \times 10^{-11}$; $6,814 \times 10^{-11}$; $8,752 \times 10^{-11}$ e $16,250 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente, durante a secagem. A relação entre o coeficiente de difusão efetivo e a temperatura de secagem pode ser descrita pela equação de arrhenius, que apresenta uma energia de ativação para a difusão líquida na secagem de $39,771 \text{ kJ mol}^{-1}$.

PALAVRAS-CHAVE: *Manihot esculenta* Crantz, Arrhenius, energia de ativação.

EFFECTIVE DIFFUSION COEFFICIENT OF CASSAVA PEEL DURING DRYING

ABSTRACT: The objective was to determine the effective diffusion coefficient and obtain the activation energy for the drying process of cassava peel (*Manihot esculenta* Crantz), subjected to drying in different air conditions. The experiment was developed at the Instituto Federal Goiano – Campus Iporá. The cassava peels were obtained from the municipal fair in Iporá, Goiás. The residues were cut into pieces and the initial moisture content was 2.421 ± 0.195 dry basis (decimal, db) and were subjected to drying at temperatures of 40; 50; 60 and 70 °C and relative humidity of 23.32; 14.12; 9.12 and 5.99% respectively. Drying was carried out in a forced circulation oven in metal containers using approximately 100 g. Drying was monitored by mass loss, periodic weighing until reaching the final moisture content of 0.12 ± 0.029 db. The effective diffusion coefficient increased with increasing temperature, presenting values of 3.996×10^{-11} ; 6.814×10^{-11} ; 8.752×10^{-11} and $16.250 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, for temperatures of 40, 50, 60 and 70 °C, respectively, during drying. The relationship between the effective diffusion coefficient and the drying temperature can be described by the

Arrhenius equation, which presents an activation energy for net diffusion during drying of 39.771 kJ mol⁻¹.

KEYWORDS: *Manihot esculenta* Crantz, Arrhenius, activation energy.

INTRODUÇÃO: A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma das culturas mais difundidas no Brasil, e hoje um alimento básico amplamente cultivado em regiões tropicais e subtropicais da África, Ásia e Américas, sendo uma cultura principalmente de pequenos agricultores, muitas vezes de subsistência (CONNOR, 2019). A secagem dos produtos agrícolas é o processo mais utilizado para assegurar sua qualidade e estabilidade considerando que a diminuição da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento (RESENDE et al., 2008). Desta forma, objetivou-se determinar o coeficiente de difusão efetivo e obter a energia de ativação para o processo de secagem de casca de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), submetidas à secagem em diversas condições de ar.

MATERIAL E MÉTODOS: As cascas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) foram obtidas na feira municipal de Iporá, Goiás. Os resíduos foram cortados em pedaços e o teor de água inicial foi 2,421±0,195 base seca (decimal, b.s.) foram submetidas a secagem nas temperaturas de 40; 50; 60 e 70 °C e umidade relativa de 23,32; 14,12; 9,12 e 5,99% respectivamente. A secagem foi realizada em uma estufa de circulação forçada em recipientes metálicos usando aproximadamente 100 g. A secagem foi monitorada pela perda de massa, pesagens periódicas até atingir o teor de água final de 0,12±0,029 b.s.. Com os dados do teor de água, foram determinados os valores da razão de teor de água (RX).

O coeficiente de difusão efetivo para as diversas condições de secagem foi determinado conforme modelo baseado na teoria de difusão líquida, segundo lei de Fick, com a solução analítica para a forma geométrica de placa do produto, com aproximação de oito termos (Equação 1):

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

Em que: RX: razão de teor de água do produto (adimensional); n: número de termos; D: coeficiente de difusão efetivo (m² s⁻¹); L: espessura do produto (m); e t: tempo de secagem (s).

Para determinação da espessura das cascas, foram realizadas 20 repetições por dia de coleta de material, utilizando-se paquímetro digital com resolução de 0,01 mm. Para cada folha medida, eram feitas três medições, em diferentes locais. 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.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Figura 1 estão apresentados os valores da difusividade efetiva da secagem de casca de mandioca. Verifica-se que durante a secagem o coeficiente de difusão efetivo aumenta significativamente, com a elevação da temperatura, apresentando valores de 3,996 x 10⁻¹¹; 6,814 x 10⁻¹¹; 8,752 x 10⁻¹¹ e 16,250 x 10⁻¹¹ m² s⁻¹, para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

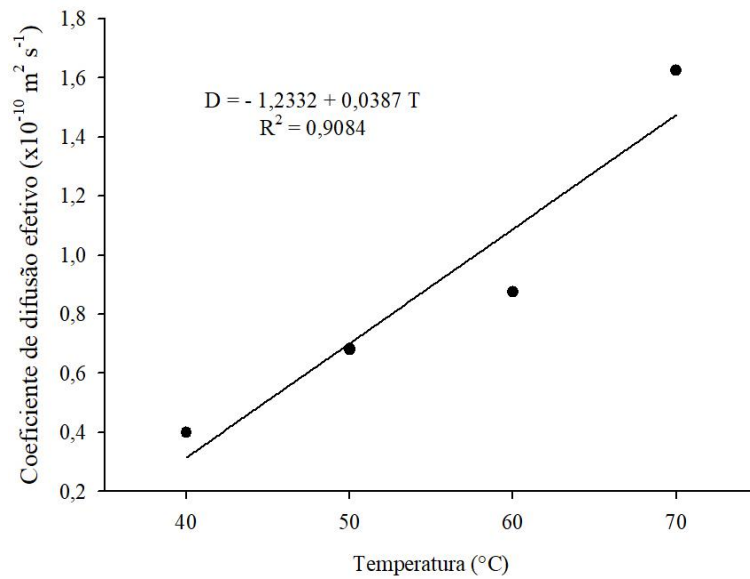


FIGURA 1. Valores médios do coeficiente de difusão ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$) obtidos para a secagem de casca de mandioca cortado em pedaços nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 $^{\circ}\text{C}$.

Os valores do coeficiente de difusão obtidos para a casca de mandioca estão coerentes com os relatados na literatura para secagem de produtos agrícolas, de acordo com MADAMBA et al. (1996). Os valores do coeficiente de difusão efetivo aumentaram linearmente com a elevação da temperatura corroborando aos resultados relatados por RESENDE et al. (2007) e sua dependência com relação à temperatura do ar de secagem foi descrita pela equação de Arrhenius. Na Figura 2, verifica-se a representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão, em função da temperatura do ar de secagem.

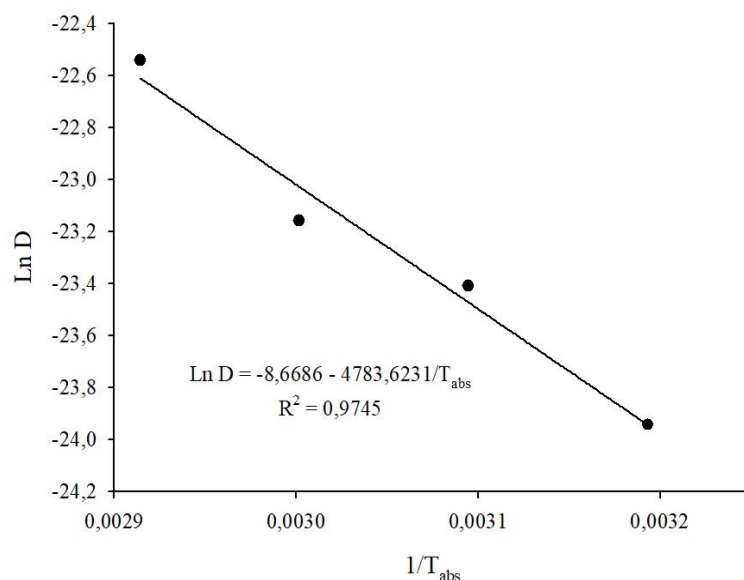


FIGURA 2. Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão, em função da temperatura do ar de secagem obtido durante a secagem de casca de mandioca cortado em pedaços.

A energia de ativação para a difusão líquida no processo de secagem de casca de mandioca foi de $39,771 \text{ kJ mol}^{-1}$. A energia de ativação encontrada neste trabalho foi maior que a encontrada por foi maior que as encontradas por COSTA et al. (2011), o qual obteve o valor

da energia de ativação do crambe que foi de 37,07 kJ mol⁻¹ em condições controladas de temperatura de 30, 40, 50, 60 e 70 °C e no nabo forrageiro de 24,78 kJ mol⁻¹ para a faixa de temperatura de 30 a 70 °C (SOUSA et al., 2011). O ajuste linear obtido indica que houve uniformidade de variação da difusividade com a temperatura. Para GONELI (2007), a variação do coeficiente de difusão efetivo se dá com a elevação da temperatura, o que aumenta o nível de vibração molecular das moléculas de água e contribui para uma difusão mais rápida. Pode-se dizer, portanto, que houve uma difusão maior na temperatura de 70 °C.

CONCLUSÕES: O coeficiente de difusão efetivo aumentou com a elevação da temperatura apresentando valores de $3,996 \times 10^{-11}$; $6,814 \times 10^{-11}$; $8,752 \times 10^{-11}$ e $16,250 \times 10^{-11}$ m² s⁻¹, para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente, durante a secagem. A relação entre o coeficiente de difusão efetivo e a temperatura de secagem pode ser descrita pela equação de arrhenius, que apresenta uma energia de ativação para a difusão líquida na secagem de 39,771 kJ mol⁻¹.

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

REFERÊNCIAS:

- CONNOR, D. An experimentally-calibrated model of photosynthesis, assimilate partitioning and tuber yield in cassava in response to water supply to assist crop management and improvemen. **Field Crops Research**, v. 242, p. 1-12, 2019.
- COSTA, L. M.; RESENDE, O.; GONÇALVES, D. N.; SOUSA, K. A. Coeficiente de difusão efetivo para a secagem de sementes de crambe (*Crambe abyssinica*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n. 10, p.1089-1096, 2011.
- GONELI, A. L. D. **Dinâmica da variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade das sementes de mamona (*Ricinus communis* L.) durante a secagem e o armazenamento sob condições controladas**. Viçosa: UFV, 2007. 192p. Tese Doutorado.
- MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v. 29, n.1, p. 75-97, 1996.
- RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; JAREN, C.; MOURE, A. J. Bean moisture diffusivity and drying kinetics: a comparison of the liquid diffusion model when taking into account and neglecting grain shrinkage. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 05, n. 1, p. 51-58, 2007.
- RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 1, p. 17-26, 2008.
- SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; COSTA, L. M. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 4, p. 883-892, 2011.