

## **CINÉTICA DE SECAGEM DO FEIJÃO BRANCO (*Phaseolus vulgaris L.*)**

VICTOR HERBERT DE ALCÂNTARA RIBEIRO<sup>1</sup>, NEWTON CARLOS SANTOS<sup>2</sup>, VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA<sup>3</sup>, SÂMELA LEAL BARROS<sup>4</sup> e AMANDA PRISCILA SILVA NASCIMENTO<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Mestrando em Ciências Agrárias, UFPB, Bananeiras – PB, victor\_herbert@hotmail.com;

<sup>2</sup>Mestrando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, newtonquimicoindustrial@gmail.com

<sup>3</sup>Doutoranda em Recursos Naturais, UFCG, Campina Grande-PB, virginia.mirtes2015@gmail.com;

<sup>4</sup>Mestranda em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, samelaleal7@gmail.com;

<sup>5</sup>Mestre em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, amandapricila@yahoo.com.br.

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC

Palmas/TO – Brasil

17 a 19 de setembro de 2019

**RESUMO:** Atualmente o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de feijão e o estado do Mato Grosso tem se demonstrado um produtor em potencial, pois apresenta a terceira maior produção nacional. Apresentando grande variedade nas cores de grãos, grupos específicos são selecionados para a comercialização de acordo com a região. Os feijões, especialmente o branco, possuem alta quantidade de proteínas, considerados fonte de proteína vegetal, além de fibras solúveis e insolúveis. É rico em ácido fólico, ferro, magnésio, zinco e antioxidantes. A secagem dos produtos é o processo mais utilizado para assegurar a 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. Assim o presente trabalho teve por objetivo realizar a cinética de secagem do feijão branco, em diferentes temperaturas de ar de secagem e realizar a análise do melhor modelo matemático. De acordo com os dados obtidos, constatou-se que o tempo de secagem diminuiu em função do aumento da temperatura de secagem e teve uma variação de 450 a 630 min. As constantes “k” de secagem, ajustadas pelos modelos de Newton e exponencial de dois termos, variaram linearmente com a temperatura do ar de secagem. Com base na análise do coeficiente de correção e no DQM, nota-se que o modelo Exponencial de dois termos apresentou melhor ajuste aos dados experimentais.

**PALAVRAS-CHAVE:** qualidade, modelo matemático, armazenamento.

## **DRY KINETICS OF WHITE BEAN (*Phaseolus vulgaris L.*)**

**ABSTRACT:** Currently Brazil is the third largest producer of beans in the world and the state of Mato Grosso has demonstrated a potential producer, since it presents the third largest national production. Presenting great variety in grain colors, specific groups are selected for commercialization according to the region. Beans, especially white, have high amounts of protein, considered a source of vegetable protein, in addition to soluble and insoluble fibers. It is rich in folic acid, iron, magnesium, zinc and antioxidants. The drying of the products is the most used process to assure its quality and stability, considering that the decrease of the amount of water of the material reduces the biological activity and the chemical and physical changes that occur during the storage. to perform the drying kinetics of the white bean in different drying air temperatures and to perform the analysis of the best mathematical model. According to the data obtained, it was verified that the drying time decreased as a function of the increase of the drying temperature and had a variation of 450 to 630 min. The drying constants "k", adjusted by Newton's models and exponential of two terms, varied linearly with the drying air temperature. Based on the analysis of the correction coefficient and the DQM, it is noticed that the Exponential model of two terms presented better adjustment to the experimental data.

**KEYWORDS:** quality, mathematical model, storage.

## INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) é uma cultura com alta importância social, econômica e nutricional no Brasil, representando a principal fonte de proteína vegetal de grande parte da população. Além de sua importância econômica, o feijão se constitui em um dos alimentos básicos da população brasileira e é uma das alternativas de exploração agrícola em pequenas propriedades, de ocupação de mão-de-obra menos qualificada e um dos principais produtos fornecedores de proteína na dieta alimentar dos estratos sociais economicamente menos favorecidos. (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2004).

Atualmente o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de feijão e o estado do Mato Grosso tem se demonstrado um produtor em potencial, pois apresenta a terceira maior produção nacional (CONAB, 2018). Apresentando grande variedade nas cores de grãos, grupos específicos são selecionados para a comercialização de acordo com a região. Entre os grupos de mercado de grande interesse internacional é o grupo de grãos brancos de origem andina, com Peso de 100 grãos entre 55 e 65 g, vendido e consumido na Europa, Ásia e Estados Unidos (GONZALES et al. 2009).

Os feijões, especialmente o branco, possuem alta quantidade de proteínas, considerados fonte de proteína vegetal, além de fibras solúveis e insolúveis. É rico em ácido fólico, ferro, magnésio, zinco e antioxidantes (CAMPOS-VEJA et al., 2013). Comparado a outras fontes de carboidratos, o feijão tem um baixo índice glicêmico, então a incorporação desse alimento na dieta pode ajudar a controlar o nível de glicose no sangue em pessoas com diabetes e outras doenças degenerativas crônicas (ATKINSON, 2008; SILVA-CRISTÓBAL 2010). A secagem de grãos consiste de um método amplamente utilizado para conservação de sementes ou grãos destinados ao armazenamento através da retirada de líquidos natural ou mecanicamente com vaporização térmica (SILVA, 2010).

Pesquisas estão sendo desenvolvidas para os próximos anos, buscando aprimorar os estudos de secagem em grãos para uma melhor eficiência de armazenamento. Nesse sentido o presente trabalho teve por objetivo realizar a cinética de secagem do feijão branco, em diferentes temperaturas de ar de secagem e realizar a análise do melhor modelo matemático.

## MATERIAL E MÉTODOS

O feijão branco (*Phaseolus vulgaris L.*) foi adquirido no comércio local da cidade de Campina Grande–PB. As amostras foram encaminhadas e os experimentos foram realizados no Laboratório de Secagem, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Alimentos, da Universidade Federal de Campina Grande, PB. As amostras foram colocadas em telas de aço inoxidável, e uniformemente espalhadas, formando uma camada fina. Para iniciar o experimento, as bandejas foram colocadas em um secador com circulação de ar com velocidade de ar de 1,5 m/s, para a realização das cinéticas de secagem nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C, no início e no final das secagens foram determinadas as massas secas e calculados os teores de água de acordo com IAL (2008).

Através dos dados experimentais, foi possível calcular os valores da razão do teor de água (Equação 1).

$$RX = \frac{X_{bs} - X_e}{X_{bs(\text{inicial})} - X_e} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde: RX=Razão de umidade (Adimensional);  $X_e$ = Teor de água de equilíbrio em base seca;  $X_{bs}$ = Teor de água em base seca;  $X_{bs(\text{inicial})}$  = Teor de água inicial em base seca.

Com o cálculo da razão de teor de água do feijão branco, traçaram-se as curvas da cinética de secagem, representada pela razão do teor de água em função do tempo de secagem em minutos, aplicando os modelos matemáticos (Tabela 1) de Newton, Exponencial de dois termos e Wang Sing para ajustar os dados experimentais.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para descrever o processo de secagem.

Modelo	Equação
Newton	$RX = \exp(-k \cdot t)$ (Eq.2)
Exponencial de dois termos	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot a \cdot t)$ (Eq.3)
Wang Sing	$RX = 1 + (a \cdot t) + (b \cdot t^2)$ (Eq.4)

RX: Razão de umidade (adimensional); k: constante de secagem; “a”, “b”: parâmetros dos modelos; t: tempo de secagem.

#### Análise estatística

Para análise dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados experimentais, foi utilizado o programa computacional STATISTICA, versão 7, utilizando-se a análise de regressão não-linear, pelo método Quasi-Newton. Os modelos foram selecionados tomando-se como parâmetro a magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do desvio quadrático médio (DQM) (Equação 5).

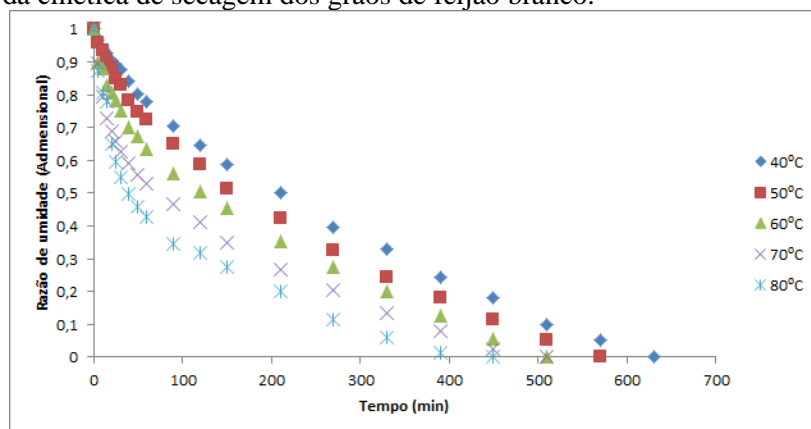
$$DQM = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(RX_{exp} - RX_{pred})^2}{N}} \quad (Eq.5)$$

Em que:  $RX_{exp}$  = Razão de teor de água obtida experimentalmente;  $RX_{pre}$  = Razão de teor de água predita pelo modelo matemático; N = número de observações ao longo da cinética de secagem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na figura 1, as curvas de secagem para cada temperatura estudadas, onde maiores temperaturas aplicadas consequentemente reduziram o tempo de secagem dos grãos de feijão branco, havendo uma variação de 450 a 630 minutos.

Figura 1. Curva da cinética de secagem dos grãos de feijão branco.



Na Tabela 2 se encontra expresso os valores dos parâmetros obtidos para os modelos matemáticos Newton, Exponencial de dois termos e Wang Sing, ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem do feijão branco, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvio quadrático médio (DQM), para a temperatura de 40, 50, 60, 70 e 80°C.

Tabela 2. Parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos utilizados na predição da cinética de secagem do feijão branco nas temperaturas de 40, 50 60, 70 e 80°C

Modelos	Parâmetro de ajuste				
<b>Newton</b>	-	<b>K</b>	-	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DQM</b>
40°C	-	0,003810	-	0,99442	0,03452
50°C	-	0,004697	-	0,99416	0,03469
60°C	-	0,006077	-	0,97855	0,04262
70°C	-	0,009419	-	0,94547	0,09400
80°C	-	0,013971	-	0,9583	0,08424
<b>Exponencial de dois termos</b>	<b>a</b>	<b>K</b>	-	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DQM</b>
40°C	0,018344	0,043478	-	0,99487	0,03310
50°C	0,052862	0,047567	-	0,99465	0,02707
60°C	0,117008	0,052952	-	0,99171	0,03838

70°C	0,155097	0,081565	-	0,98379	0,06565
80°C	0,194317	0,201736	-	0,98008	0,05854
<b>Wang Sing</b>	<b>a</b>	<b>-</b>	<b>b</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DQM</b>
40°C	-0,002888	-	0,000002	0,99350	0,03722
50°C	-0,003575	-	0,000003	0,98712	0,05144
60°C	-0,004466	-	0,000005	0,95562	0,08801
70°C	-0,005528	-	0,000008	0,86949	0,14256
80°C	-0,007042	-	0,000012	0,83783	0,16092

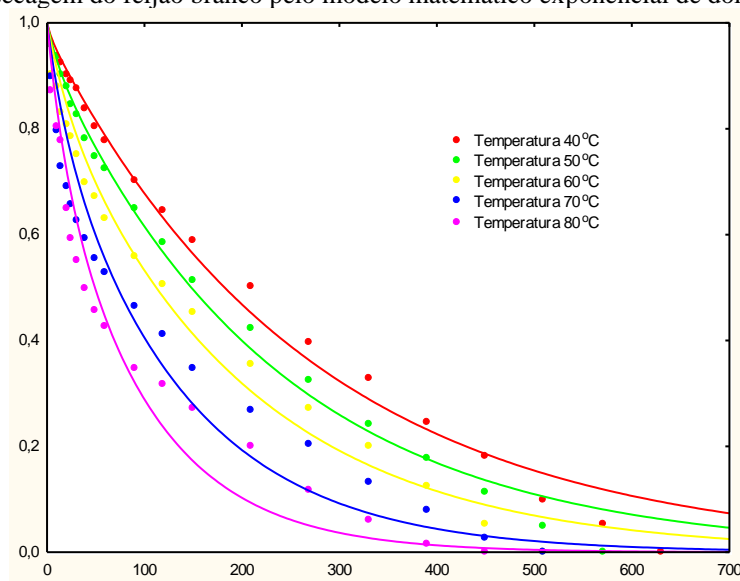
R<sup>2</sup>: coeficientes de determinação; DQM: desvios quadráticos médios; k: constante de secagem; “a”, “b”: parâmetros dos modelos matemáticos.

Através da Tabela 2 pode-se afirmar que os dados se adequaram a todos os modelos matemáticos propostos no presente estudo, apresentando coeficientes de determinação superiores a 99% na temperatura de 40 °C. Entretanto, ao avaliar as demais temperaturas observou-se que o modelo de Wang Sing apresentou coeficientes de determinação inferiores a 90%, podendo indicar que o modelo apresentou menor eficiência na descrição do processo de secagem quando comparado aos demais modelos estudados. O modelo Exponencial de dois termos apresentou coeficientes de determinação superiores a 98%, indicando bom ajuste aos dados experimentais obtidos. De acordo com Martins et al. (2014) os valores de R<sup>2</sup> de forma isolada não representam um bom critério para a seleção de modelos não lineares, mas deve-se considerar também os dados de DQM. Os modelos de Newton e exponencial de dois termos, apresentaram valores inferiores a 0,1 (10%) para as todas as temperaturas estudadas, onde a partir destes valores, segundo Moscon et al., (2017), estes resultados indicam que os modelos se apresentam adequados à descrição do processo de secagem. se que o modelo exponencial de dois termos.

A partir da Tabela 2, observou-se a correlação entra a temperatura empregada no processo de secagem e o parâmetro “k” que por sua vez representa a constante da taxa de secagem nos modelos matemáticos empregados. Essa constante, como esperado, aumentou devido a elevação da temperatura.

As figuras 2 representa as curvas de secagens para o modelo exponencial de dois termos, que apresentou melhor ajuste aos dados experimentais.

Figura 2. Curvas de secagem do feijão branco pelo modelo matemático exponencial de dois termos.



Analisando a Figura 1, percebe-se que o tempo de secagem diminui com o aumento da temperatura, pois este aumento provoca consequentemente maior taxa de remoção de água do

feijão, devido ao gradiente de temperatura gerado entre o produto e o ar de secagem, diminuindo assim o tempo do processo. Morais et al., (2013) ao estudarem a cinética de secagem de feijão caupi, relataram um bom ajuste do modelo Exponencial de Dois termos aos dados experimentais, utilizando as temperaturas de 25, 35, 45 e 55°C, obtendo um coeficiente de determinação maior que 99% e erro relativo médio menor que 1% para todas as temperaturas.

## CONCLUSÃO

De acordo com os dados obtidos, constatou-se que o tempo de secagem diminuiu em função do aumento da temperatura de secagem e teve uma variação de 450 a 630 min. As constantes “k” de secagem, ajustadas pelos modelos de Newton e exponencial de dois termos, variaram linearmente com a temperatura do ar de secagem. Com base na análise do coeficiente de correção e no DQM, nota-se que o modelo Exponencial de dois termos apresentou melhor ajuste aos dados experimentais.

## REFERÊNCIAS

- ATKINSON F.S.; FOSTER-POWELL K.; BRAND-MILLER J. C. Tabelas internacionais de índice glicêmico e valores de carga glicêmica: Diabetes Care, v.31, p.2281-3. 2008.
- CAMPOS-VEJA, R.; LOARCA-PINA, G.; OOMAH, B. D. Minor components of pulses and their potential impact on human health. Food Research International, v.43, n.2, p.461-482, 2010.
- CAMPOS-VEJA, R.; OOMAH, B. D.; LOARCAPIÑA, G.; VERGARA-CASTAÑEDA. H. A. Common beans and their non-digestible fraction: Cancer Inhibitory Activity-an overview. Foods, v.2, n.3, p.374-392, 2013.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. A cultura do feijão. (Org.), Brasília: CONAB, 2018. Disponível em:<<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 14/07/2018.
- CORRÊA, P. C. et al. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. Revista de Engenharia Agrícola, v.27, n. 2, p. 501-510, 2007.
- EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. <https://www.embrapa.br/arroz-e-feijao>. Disponível em: Acesso em: 14/07/2018.
- LUTHRIA, D. L. & PASTOR-CORRALES, M. A. Phenolic acids content of fifteen dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. Journal of Food Composition and Analysis, v.19, n.2-3, p.205-211, 2006.
- MARTINS, J. J. A.; MARQUES, J. I.; SANTOS, D. C.; ROCHA, A. P. T. Modelagem matemática da secagem de cascas de mulungu. Biosci., J. v.30, n.6 p. 1652-1660, 2014.
- MORAIS, S. J. S.; DEVILLA, I. A.; FERREIRA, D. A.; TEIXEIRA, I. R. Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Revista Ciência Agronômica, v.44, n.3, p.455-463, 2013.
- MOSCON, E. S.; MARTIN, S., SPEHAR, C.R.; DEVILLA, I. A.; JUNIOR, F. R. CINÉTICA DE SECAGEM DE GRÃOS DE QUINOA (*Chenopodium quinoa* W.). Engenharia na Agricultura, v.25, n.4, p. 318-325, 2017.
- ROCHFORT S.; PANOZZO J. Phytochemicals para a saúde, o papel dos pulsos. J. Agric. Food Chem., v. 55, p.7981-94, 2007.
- SILVA, J. M. Secagem de pedaços cúbico de goiaba em leite de jorro. Campina Grande, (Tese de Doutorado) - Universidade Federal de Campina Grande, 2010. 110p.
- SILVA-CRISTÓBAL L.; OSÓRIO-DÍAZ P.; TOVAR J, BELLO-PÉREZ L. A. Composição química, digestibilidade de carboidratos e capacidade antioxidante de variedades mexicanas cozidas de feijão preto, grão de bico e lentilha. Cyta-J. Food, v. 8, p.7-14, 2010.