

## MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DE SEMENTES DE FEIJÃO GUANDU

BRUNNO MACIEL COSTA SILVA<sup>1</sup>, DANIEL EMANUEL CABRAL DE OLIVEIRA<sup>2</sup>,  
VINICIUS SOARES COSTA<sup>3</sup>, VALDENICE BATISTA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, IF Goiano, *Campus* Iporá, GO, Brasil. (055 64) 99280-2515 E-mail: brunnocpa123@hotmail.com

<sup>2</sup> Engenheiro Agrícola, Prof., Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, IF Goiano, *Campus* Iporá, GO, Brasil. (055 64) 99225-6136 E-mail: oliveira.d.e.c@gmail.com

<sup>3</sup> Graduando em Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, IF Goiano, *Campus* Iporá, GO, Brasil. (055 64) 98121-7822 E-mail: vinicius0409@hotmail.com

<sup>4</sup> Graduanda em Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, IF Goiano, *Campus* Iporá, GO, Brasil. (055 77) 99871-8047 E-mail: valdenicebatista2015@gmail.com

Apresentado no

XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020

23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

**RESUMO:** O feijão guandu (*Cajanus cajan*) é uma leguminosa arbustiva semiperene, bastante utilizada como adubo verde. O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Fitotecnia do IF-Goiano - *Campus* Iporá. As sementes foram submetidas à secagem em estufa com ventilação de ar forçada em quatro condições de temperatura: 40, 50, 60 e 70 °C. A secagem prosseguiu até as sementes atingirem um teor de água de 0,12 (b.s.). A redução do teor de água ao longo da secagem foi acompanhada pelo método gravimétrico (perda de massa), conhecendo-se o teor de água inicial do produto até atingir o teor de água desejado. Os modelos matemáticos foram ajustados por meio de análise de regressão não linear pelo método Gauss-Newton e para o grau de ajuste considerando a magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), do teste de qui-quadrado ( $\chi^2$ ) e o erro médio estimado (SE). O modelo de Midilli é o que melhor descreve o fenômeno de secagem das sementes de feijão guandu.

**PALAVRAS-CHAVE:** Método gravimétrico; Midilli; Teor de água.

## MATHEMATICAL MODELING OF DRYING GUANDU BEAN SEEDS

**ABSTRACT:** Pigeon pea (*Cajanus cajan*) is a semi-perennial shrub legume, widely used as green manure. The experiment was developed at the Fitotecnia Laboratory of IF Goiano - *Campus* Iporá. As seeds, they were to drying in an oven with air ventilation in four temperature conditions: 40, 50, 60 and 70° C. The drying continued until the seeds reached a moisture content of 0.12 (db). The reduction of the moisture content during drying was accompanied by the gravimetric method (loss of mass), knowing the initial moisture content of the product until reaching the moisture content used. The mathematical models were adjusted by the method of nonlinear regression analysis by the Gauss-Newton method and by the degree of adjustment, considering the magnitude of the coefficient of determination ( $R^2$ ),

the chi-square test ( $\chi^2$ ) and standard deviation of the estimate (SE). The Midilli model was the one that best described the drying phenomenon of pigeon pea seeds.

**KEYWORDS:** Gravimetric method; Midilli; Moisture content.

**INTRODUÇÃO:** O feijão guandu (*Cajanus cajan*) é uma leguminosa arbustiva anual ou semiperene é uma cultura importante para diversos países, principalmente os países asiáticos e africanos, conhecido como guandu e andu no Brasil (Azevedo et al., 2007).

As sementes são o principal insumo para a produção de alimentos de origem vegetal. Desta forma, são necessários estudos científicos para adquirir técnicas que proporcionem a obtenção de sementes de qualidade e que seja possível armazená-las por longos períodos, mantendo suas características e qualidades.

Durante a fase de pós-colheita, a realização de um manejo inadequado pode conduzir a uma rápida deterioração da qualidade. A atividade microbiana pode causar efeitos indesejáveis como perdas de matéria seca por meio da utilização de nutrientes como fonte de energia durante a respiração (MAGAN e ALDRED, 2007).

Objetiva-se, no presente projeto, ajustar modelos matemáticos ao processo de secagem das sementes de feijão guandu (*Cajanus cajan*) em diversas condições de temperatura e determinar qual modelo matemático pode predizer melhor esse acontecimento.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Fitotecnia do Instituto Federal Goiano - *Campus* Iporá. Utilizando sementes de feijão guandu (*Cajanus cajan*) produzidos e colhidos manualmente na Fazenda Escola do IF Goiano – *Campus* Iporá, com o teor de água inicial de aproximadamente de 0,78 base seca (base seca, b.s.). As sementes foram submetidas à secagem em estufa com ventilação de ar forçada em quatro condições de temperatura: 40, 50, 60 e 70 °C. A secagem prosseguiu até que as sementes atingirem teor de água de 0,12 (b.s.), determinado em estufa a  $105 \pm 3$  °C, durante 24 h.

A redução do teor de água ao longo da secagem foi acompanhada pelo método gravimétrico (perda de massa), conhecendo-se o teor de água inicial do produto até atingir o teor de água desejado. O acompanhamento da redução da massa foi realizado com auxílio de uma balança com resolução de 0,01 g. O teor de água de equilíbrio foi determinado colocando as amostras em estufas de circulação forçada para todas as temperaturas, realizando pesagens todos os dias no mesmo horário até que obter pesos constantes (equilíbrio). Após obter o equilíbrio nas pesagens, realizou-se a determinação do teor de água.

Para a determinação das razões de teor de água das sementes de feijão guandu durante a secagem, foi utilizado a seguinte expressão:

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

Em que: RX: razão de teor de água do produto, adimensional; X: teor de água do produto (b.s.);  $X_i$ : teor de água inicial do produto (b.s.); e  $X_e$ : teor de água de equilíbrio do produto (b.s.).

Os modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da secagem de produtos vegetais (Tabela 1) foram ajustados aos dados experimentais da secagem das sementes de feijão guandu.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para predizer a secagem de produtos vegetais.

Designação do modelo	Modelo	
$RX = 1 + a t + b t^2$	Wang e Sing	(1)
$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	Page	(2)
$RX = \exp(-k \cdot t)$	Newton	(3)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	Midilli	(4)

Em que:

t : tempo de secagem, h; k : constantes de secagem  $h^{-1}$ ; e a, b : coeficientes dos modelos.

Os modelos matemáticos foram ajustados por meio de análise de regressão não linear pelo método Gauss-Newton e para o grau de ajuste considerando a magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), do teste de qui-quadrado ( $\chi^2$ ), do erro médio estimado (SE).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Em relação ao erro médio estimado (SE), que descreve o valor do desvio padrão da estimativa, os modelos de Wang e Singh (1) e Midilli (4), foram os que apresentaram menores valores de SE para a maioria das condições de secagem. RESENDE et al. (2011), salienta que, quanto menor for o SE, melhor será a qualidade do ajuste do modelo em relação aos dados experimentais.

Tabela 2. Teste de *Qui*-quadrado ( $\chi^2$ ), coeficiente de determinação ( $R^2$ , %) e erro médio estimado (SE, decimal) para os modelos analisados, durante a secagem das sementes de feijão guandu (*Cajanus cajan*s).

Modelo	Temperatura (°C)					
	40 °C			50 °C		
	$\chi^2$	$R^2$	SE	$\chi^2$	$R^2$	SE
Wang e Singh	0,00017	99,79	0,0130	0,00011	99,86	0,0107
Page	0,00028	99,65	0,0168	0,00010	99,87	0,0102
Newton	0,00062	99,20	0,0250	0,00079	98,96	0,0281
Midilli	0,00009	99,90	0,0094	0,00010	99,88	0,0102
Modelo	Temperatura (°C)					
	60 °C			70 °C		
	$\chi^2$	$R^2$	SE	$\chi^2$	$R^2$	SE
Wang e Singh	0,00006	99,93	0,0078	0,00009	99,89	0,0097
Page	0,00025	99,71	0,0159	0,00057	99,37	0,0239
Newton	0,00218	97,31	0,0467	0,00262	96,82	0,0512
Midilli	0,00003	99,98	0,0051	0,00012	99,89	0,0111

No teste de  $\chi^2$ , os melhores valores também foram encontrados no modelo Midilli (4) que, de acordo com DRAPER & SMITH (1998), quanto menor o valor de  $\chi^2$ , melhor é o ajuste do modelo. Em relação aos valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), nota-se que, com exceção do modelo de Newton para as temperaturas de 60 °C e 70 °C, os demais valores foram superiores a 98%, que, segundo MADAMBA et al. (1996), é uma representação satisfatória do processo de secagem.

Na Figura 1, estão apresentadas as curvas de secagem das sementes de feijão guandu estimadas pelos modelos de Midilli (5), para as temperaturas de 40, 50 e 60 °C e Wang e Singh (2) para a temperatura de 70 °C.

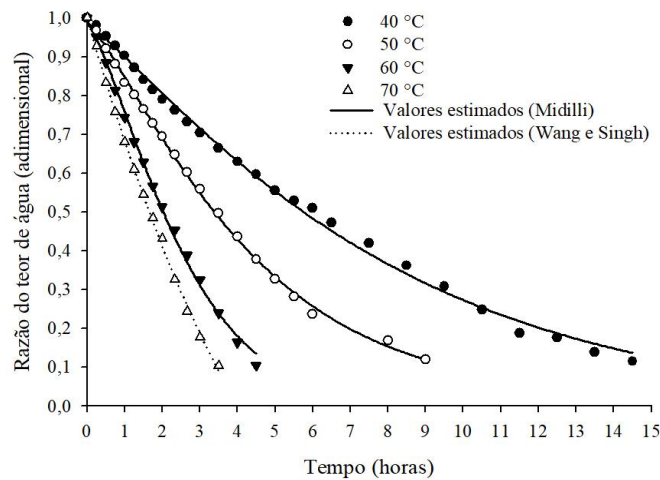


Figura 1. Razão de teor de água (RX, decimal) experimentais e estimados das sementes de feijão guandu (*Cajanus cajan*s) para diversas temperaturas de secagem ao longo do tempo.

Ainda na Figura 1 é possível observar a influência da temperatura do ar no comportamento de secagem das curvas, onde o aumento da temperatura do ar reduziu o tempo de secagem, sendo: 3,5 h (70 °C); 4,5 h (60 °C); 9 h (50 °C) e 14,5 h (40 °C). Esse fenômeno se dá devido ao aumento na diferença entre a pressão parcial do vapor do ar de secagem e a temperatura do produto durante a remoção de água (SIQUEIRA et al., 2012).

**CONCLUSÕES:** O aumento da temperatura do fluxo de ar causa uma redução no tempo de secagem das sementes. Os modelos Midilli, para as temperaturas de 40, 50 e 60 °C e Wang e Singh para a temperatura de 70 °C são adequados para representar o processo de secagem de sementes de feijão guandu.

## REFERÊNCIAS:

- AZEVEDO, R. L.; RIBEIRO, G. T.; AZEVEDO, C. L. L. Feijão Guandu: Uma Planta Multiuso. **Revista da Fapese**, v. 3, n. 2, p. 81-86, 2007.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. John Wiley & Sons, 1998.
- 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.
- 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.
- RESENDE, O.; ULLMANN, R.; SIQUEIRA, V. C.; CHAVES, T. H.; FERREIRA, L. U. Modelagem matemática e difusividade efetiva das sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas*L.) durante a secagem. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 6, p. 1123-1135, 2011.
- SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T.H. Drying kinetics of *Jatropha* seeds. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, p. 3-5, 2012.