

MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DE GRÃOS DE SOJA

TAÍSA L. L. PEREIRA¹, PAULO C. CORADI², CARLOS H. P. FERNANDES³, JEAN C. HELMICH³

¹ Estudante de Graduação em Engenharia Florestal, UFMS/CPCS-MS

² Eng^o Agrícola, Professor Adjunto II, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus Chapadão do Sul, UFMS - MS, Fone: (0XX67) 3562-6300, paulo.coradi@ufms.br

³ Estudante de Graduação em Agronomia, UFMS/CPCS-MG

Apresentado no
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014 - Campo Grande - MS, Brasil

RESUMO: No estudo de secagem para o desenvolvimento de equipamentos é de fundamental importância, a simulação e a obtenção de informações teóricas, a respeito do comportamento de cada produto durante a remoção de água. Assim, o presente trabalho teve como objetivo verificar qual o melhor modelo matemático que ajusta os dados experimentais da secagem de grãos de soja. Foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com esquema fatorial (4x2), quatro temperaturas de secagem (75, 90, 105 e 120 °C) e dois teores de água inicial (25 e 19% b.u.). Durante os testes de secagem foram realizadas pesagens periódicas do produto até atingir os teores de água de 11% (b.u.). Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais, realizaram-se análise de regressão não-linear, através do programa computacional Statística 7.0[®]. Os resultados mostraram que pequenos incrementos no valor da temperatura do ar de secagem promovem redução significativa no tempo de secagem. Concluiu-se que, o modelo de Wang e Sing se mostrou adequado para descrever o processo de secagem dos grãos de soja para a faixa de temperatura do ar de secagem e teores de água testados.

PALAVRAS-CHAVE: dimensionamento, processamento, qualidade.

MATHEMATICAL MODELING OF DRYING OF SOYBEAN

ABSTRACT: In the study of drying for the development of equipment is crucial, the theoretical simulation and obtain information about the behavior of each product for the removal of water. Thus, the present study aimed to determine what the best mathematical model that fits the experimental data of drying of soybeans. The completely randomized design (CRD) was adopted, with a factorial (3x2), three drying temperatures (75, 90, 105 and 120 °C) and two levels of initial water (25 and 19% w.b.). During testing drying periodic weighing of the product were carried out until the water content of 11% (w.b.). To adjust the mathematical model to the experimental data, analysis was performed nonlinear regression through software Statística 7.0[®]. The results showed small increases in the amount of drying air temperature promote a significant reduction in drying time. The model of Wang and Sing proved adequate to describe the drying process of soybeans for the temperature and water content analyzed.

KEYWORDS: design, equipment, quality.

INTRODUÇÃO: A soja é uma das culturas mais importantes produzidas no Brasil e responde por 40 % do total de grãos produzidos no país, é responsável por 27% do mercado mundial. O Brasil é o segundo maior produtor e o maior exportador (VERNETTI e VERNETTI JUNIOR, 2009). O estudo da secagem fornece informações sobre o comportamento do fenômeno de transferência de calor e massa entre o material biológico e o elemento de secagem, normalmente ar atmosférico aquecido ou

não, as quais são fundamentais para o projeto, operação e simulações de sistemas de secagem e secadores (CORREA et al., 2003). A utilização de modelos matemáticos, para simular o processo de secagem em secadores que operam em alta temperatura, tem se tornado uma ferramenta importante para os engenheiros que trabalham na área de secagem e armazenagem de grãos (QUEIROZ et al., 1999). Assim, o presente trabalho teve como objetivo verificar qual o melhor modelo matemático que ajusta os dados experimentais da secagem de grãos de soja.

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho experimental foi desenvolvido na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campus Chapadão do Sul (CPCS), localizado no município de Chapadão do Sul (MS). Os grãos de soja foram colhidos com teores de água de 25 e 19% (b.u.) e secos em estufa de convecção com ventilação forçada do ar, nas temperaturas de 75, 90, 105 e 120 °C. A secagem foi realizada até os grãos atingirem 11% b.u. O teor de água das sementes em (% b.u.) foram determinados a partir da pesagem de 15 g de amostra. Em seguida, as amostras foram colocadas em estufa com ventilação e aquecimento de ar, regulado a 103 °C ± 1 °C durante 24 h, segundo as recomendações de BRASIL (2009). Após, as amostras foram retiradas e colocadas em um dessecador para resfriamento. O teor de água em (% b.u.) foi determinado pela diferença de massa entre a amostra inicial e final. Os testes foram realizados em três repetições. As curvas de secagem foram ajustadas aos dados experimentais utilizando treze diferentes equações semi empíricas e empíricas discriminados abaixo:

Equação	Modelo	
$RU = \exp(-k \cdot t^n)$	Page	(1)
$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \exp(-k \cdot a \cdot t)$	Exponencial Dois Termos	(2)
$RU = 1 + a t + b t^2$	Wang e Singh	(3)
$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-k_o \cdot t) + c \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	Henderson e Pabis Modificado	(4)
$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	Midilli	(5)

em que,

- RU : razão de umidade, adimensional;
- t : tempo secagem, h;
- k, k_o, k₁ : constantes em secagem, h⁻¹;
- a, b, c, n : coeficientes;
- n : números de termos da equação.

Para determinar as proporções de umidade durante a secagem do ar em diferentes condições foi utilizada a seguinte expressão:

$$RU = \frac{U^* - U_e^*}{U_i^* - U_e^*} \quad (6)$$

em que,

- U* : teor de água do produto (% b.s.);
- U_i* : teor de água inicial do produto (% b.s.);
- U_e* : teor de água de equilíbrio do produto (% b.s.).

Para ajustar a análise foram realizados modelos matemáticos de regressão não linear, o método de Quasi-Newton, usando o programa Statistica 7,0®. Para verificar o grau de ajuste de cada modelo foi considerado o significado do coeficiente de regressão pelo teste “t”, adotando o nível de 5% de probabilidade, a magnitude do coeficiente de determinação (R²), os valores de erro médio relativo (P) e o erro médio estimado (SE) e verificado o comportamento da distribuição dos resíduos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Analisando os valores obtidos referentes ao erro médio estimado (SE), o modelo de Wang e Sing apresentou os valores mais baixos para todas as temperaturas de secagem e teores de água iniciais testados (Tabelas 1, 2, 3 e 4).

TABELA 1. Modelos matemático de Wang e Singh que descreve a secagem de grãos de soja com teor de água inicial de 19% (b.u.), seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erro médio estimado (SE) e relativo (P), e tendência de distribuição dos resíduos

Temperaturas do ar de secagem	75 °C	90 °C	105 °C	120 °C
R^2 (%)	97,47	99,57	88,59	99,30
SE (decimal)	0,0667	0,0303	0,1730	0,8260
P(%)	8,20	3,14	6,37	5,30
Distribuição dos resíduos	A	A	A	A

A - Aleatório.

TABELA 2. Parâmetros do modelo Wang e Sing utilizado para ajustar os dados experimentais de secagem dos grãos de soja com teor de água inicial de 19% (b.u.)

Temperatura (°C)	a	b
75	-0,71880	0,132126
90	-0,54480	0,028610
105	-2,82060	1,925448
120	-4,05082	4,181176

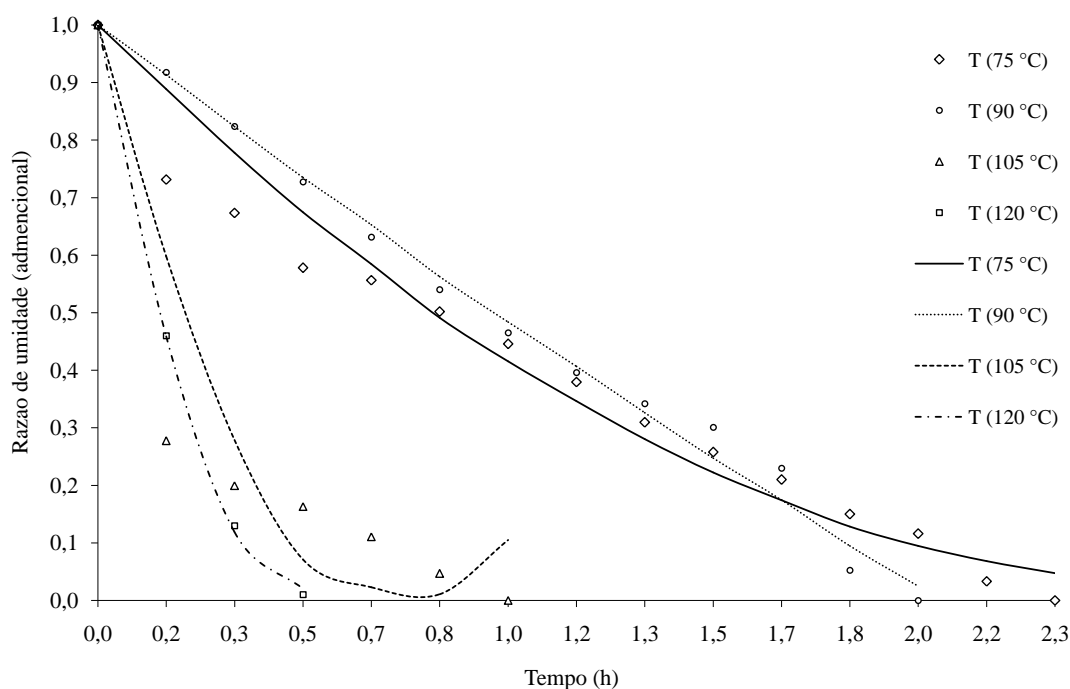


FIGURA 1. Razão de umidade de grãos de soja com teor de água inicial de 19% (b.u.).

TABELA 3. Modelos matemático de Wang e Singh que descreve a secagem de grãos de soja com teor de água inicial de 25% (b.u.), seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erro médio estimado (SE) e relativo (P), e tendência de distribuição dos resíduos

Temperaturas do ar de secagem	75 °C	90 °C	105 °C	120 °C
R^2 (%)	99,32	99,59	74,84	94,04
SE (decimal)	0,0361	0,0274	0,1854	0,15717
P(%)	5,01	5,45	7,78	4,52
Distribuição dos resíduos	A	A	A	A

A - Aleatório.

Verificou-se também que o modelo apresentou valores do erro médio relativo (P) inferiores a 10%, para todas as condições testadas (Tabelas 2 e 4), indicando, de acordo com MOHAPATRA e RAO (2005), serem adequados para representação do fenômeno de secagem.

TABELA 4. Parâmetros do modelo Wang e Sing utilizado para ajustar os dados experimentais de secagem dos grãos de soja com teor de água inicial de 25% (b.u.).

Temperatura (°C)	a	b
75	-0,28490	0,002680
90	-0,46210	0,039562
105	-1,58828	0,614766
120	-4,08922	4,080789

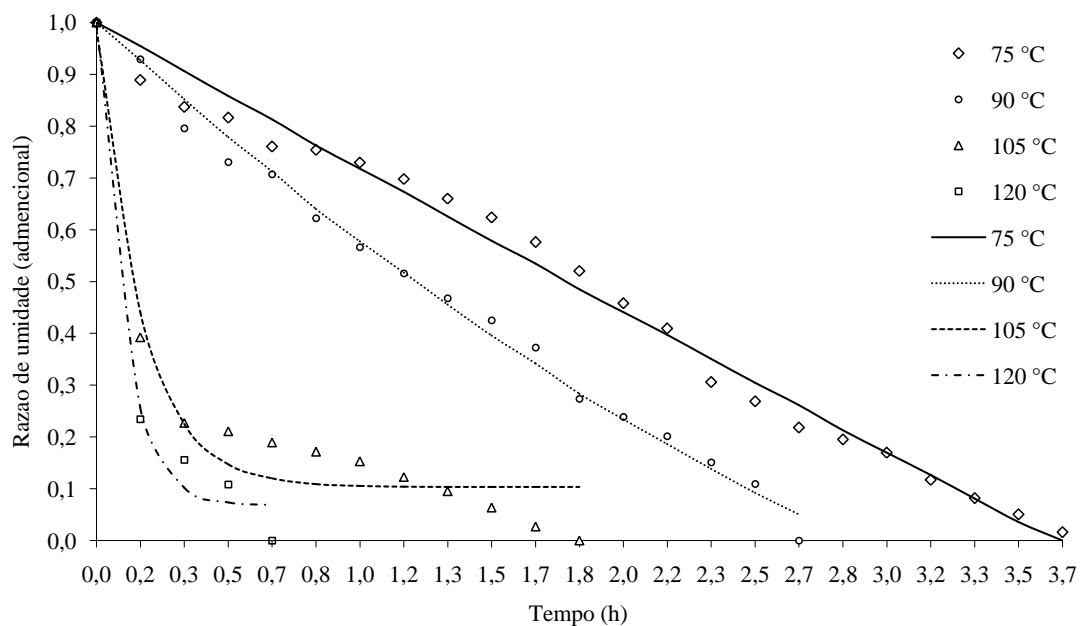


FIGURA 2. Razão de umidade de grãos de soja com teor de água inicial de 25% (b.u.).

CONCLUSÕES: Concluiu-se que, o modelo de Wang e Sing se mostrou adequado para descrever o processo de secagem dos grãos de soja para a faixa de temperatura do ar de secagem e teores de água testados.

AGRADECIMENTOS : Os autores agradecem a FUNDECT - MS de apoio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília, 2009. 395p.
- CORRÊA, P.C.; ARAÚJO, E.F.; AFONSO JÚNIOR, P.C. Determinação dos parâmetros de secagem em camada delgada de sementes de milho doce (*Zea mays* L.). **Revista brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.2, n.2, p.110-119, 2003.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A Thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n.04, p. 513-518, 2005.
- QUEIROZ, D.M.; CORRÊA, P.C.; SOUZA, C.M.A. SIMSEC – Um programa para simulação de secagem. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE PÓS-COLHEITA,1, Porto Alegre, 1999. Anais. Passo Fundo: Abrapos; Cesa; Embrapa Trigo, 1999, 248p.
- VERNETTI, F. DE J.; VERNETTI JUNIOR, F. DE J.; Genética da Soja: Caracteres Qualitativos e Diversidade Genética. **Embrapa Informação Tecnológica**, Brasília- DF, 2009, 221p.