

AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE SECAGEM DE SEMENTES DE GIRASSOL

JEAN C. HELMICH¹, PAULO C. CORADI², CARLOS H. P. FERANDES¹

¹ Estudante de Graduação em Agronomia, UFMS/CPCS-MG

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

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

RESUMO: Diversas plantas vêm sendo estudadas, com objetivo de fornecimento de óleo para produção de bicombustíveis, dentre estas, o girassol tem grande potencial e o seu óleo é utilizado para produção de bicombustíveis. Dentro desse contexto, é importante que haja qualidade no produto final, inclusive após passar pelo processo de secagem. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar a cinética de secagem das sementes de girassol em estufa com circulação forçada do ar, com diferentes temperaturas (45, 55, 65 e 75 °C) e ajustar os dados experimentais aos modelos matemáticos tradicionais. Durante os testes de secagem foram realizadas pesagens periódicas das sementes, até atingir os teores de água de 9% (b.u.). Verificou-se, nos resultados obtidos, que o tempo de secagem foi significativamente ($P < 0,05$) reduzido, com o aumento da temperatura do ar de secagem. Observou-se no começo da secagem uma redução gradiente dos teores de água das sementes de girassol. O modelo de Wang e Sing foi o que melhor ajustou os dados experimentais de secagem. Concluiu-se que, a secagem com diferentes temperatura alterou a velocidade de secagem das sementes, apresentando diferenças significativas no tempo de secagem e no ajuste dos dados experimentais com os modelos matemáticos.

PALAVRAS-CHAVE: otimização, pós-colheita, secador.

KINETIC EVALUATION OF DRYING OF SUNFLOWER SEEDS

ABSTRACT: Several plants have been studied, in order to supply oil for biofuel production, among these, the sunflower has great potential and its oil is used for biofuel production. Within this context, it is important that there is quality in the final product, even after going through the drying process. The objective of this work was to study the kinetics of drying of sunflower seeds in an oven with forced air circulation, with different temperatures (45, 55, 65 and 75 °C) and fit the experimental data to traditional mathematical models. During testing drying periodic weighing of seeds were carried out until the water content of 9 % (w.b.). It has been found, the results obtained that the drying time was significantly ($P < 0.05$) reduced with increasing temperature of the drying air. It was noted at the beginning of drying one gradient reduction of water content of sunflower seeds. The model of Wang and Sing was the best fit to the experimental data of drying. It was concluded that, with different drying temperature altered the drying of seeds, with significant differences in drying time and the fit of the experimental data with mathematical models.

KEYWORDS: dryer, optimization, post-harvest.

INTRODUÇÃO: O girassol se destaca como a quinta oleaginosa em produção de sementes e a quarta em produção de óleo no mundo (USDA, 2013). Além de ser alternativa econômica na rotação de outras culturas, o girassol se destaca pela excelente qualidade do óleo. A secagem dos produtos vegetais 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. O fenômeno de redução do teor de água de grãos e sementes envolve simultaneamente a transferência de calor e massa, que podem alterar de forma substancial a sua qualidade, dependendo do método e das condições de secagem (ALMEIDA et al., 2009). Para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de equipamentos utilizados para secagem de grãos, é de fundamental importância a simulação e a obtenção de informações teóricas a respeito do comportamento de cada produto durante a remoção de água. Para a simulação, cujo princípio se fundamenta na secagem de sucessivas camadas delgadas do produto, utiliza-se modelos matemáticos que representa, satisfatoriamente, sua perda de água durante o período de secagem. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar a cinética de secagem das sementes de girassol em estufa com circulação forçada do ar, com diferentes temperaturas (45, 55, 65 e 75 °C) e ajustar os dados experimentais aos modelos matemáticos tradicionais.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Câmpus de Chapadão do Sul (CPCS). As sementes de girassol foram colhidas, manualmente, com 46% (b.u.) de teor de água e em seguida foram encaminhadas para realização dos testes de secagem com temperaturas controladas de 45, 55, 65 e 75 °C. A secagem das sementes de girassol foi realizada em estufa de convecção com ar forçado. Nas condições naturais, amostras de 5 kg de sementes foram utilizadas para cada repetição de secagem. Durante o processo de secagem as amostras foram pesadas, periodicamente, até atingirem 9% (b.u.). A temperatura e a umidade relativa do ar de secagem foram monitoradas por meio de um psicrômetro instalado no local do experimento, enquanto que, o ar de secagem foi monitorado por um termômetro instalado na parte interna da estufa, o mesmo para o ar ambiente externo. Já o fluxo do ar de secagem foi monitorado com auxílio de um anemômetro de fio quente e mantido em torno de $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. O teor de água foi determinado pelo método padrão da estufa, $105^\circ \text{ C} \pm 5^\circ \text{ C}$, por 24 h, com três repetições, conforme recomendações (AOAC, 2000). As curvas de secagem foram ajustadas aos dados experimentais utilizando treze diferentes equações semi empíricas e empíricas discriminados abaixo:

Equação	Modelo	
$RU = \exp(-k \cdot t)$	Newton	(1)
$RU = \exp(-k \cdot t^n)$	Page	(2)
$RU = \exp(-(k \cdot t)^n)$	Page Modificado	(3)
$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	Henderson e Pabis	(6)
$RU = a \exp(-kt) + c$	Logarítmico	(7)
$RU = a \cdot \exp(-k_o \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	Dois Termos	(8)
$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \exp(-k \cdot a \cdot t)$	Exponencial Dois Termos	(9)
$RU = 1 + a t + b t^2$	Wang e Singh	(10)
$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-k_o \cdot t) + c \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	Henderson e Pabis Moficado	(11)
$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	Midilli	(12)
$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$	Aproximação Difusão	(13)

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:

$$RU = \frac{U^* - U_e^*}{U_i^* - U_e^*} \quad (14)$$

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.).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC), com três testes para cada temperatura do ar de secagem. 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 (R^2), os valores de erro médio relativo (P) e o erro médio estimado (SE) e verificado o comportamento da distribuição dos resíduos. O erro médio relativo e o erro médio estimado para cada modelo foram calculados de acordo com as seguintes expressões, respectivamente:

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (15)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (16)$$

em que,

- Y : valor observado experimentalmente;
- \hat{Y} : valor calculado pelo modelo;
- n : número de observações experimentais;
- GLR : graus de liberdade do modelo (o número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Dentre os modelos matemáticos avaliados e conforme os resultados obtidos para os coeficientes de determinação ajustados tanto para os erros médios relativos como para os erros médios estimados, demonstrados na Tabela 1 e 2, o modelo Wang e Singh apresentou ajuste adequado para descrever o processo de secagem das sementes de girassol para a faixa de temperatura estudada (45 a 75 °C).

TABELA 1. Parâmetros do modelo Wang e Sing utilizado para ajustar os dados experimentais de secagem das sementes de girassol

Temperatura (°C)	a	b
45	-0,238528	0,016447
55	-0,374451	0,038879
65	-0,432253	0,050702
75	-0,581200	0,089508

Observou-se, na Figura 1, a influência da temperatura do ar na cinética de secagem das sementes de girassol. Como previsto, o tempo de secagem diminuiu com o aumento da temperatura do ar, fazendo com que haja uma maior taxa de remoção de água da semente devido a uma maior gradiente de umidade entre a semente e o ar, decrescendo o tempo necessário para reduzir o teor de água até o valor

desejado, fator observado por diversos pesquisadores (RESENDE et al., 2008 e ALMEIDA et al., 2009).

TABELA 2. Modelo matemático de Wang e Singh que descreve a secagem de sementes de girassol com 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	45 °C	55 °C	65 °C	75 °C
R^2 (%)	97,800	98,510	98,750	98,550
SE (decimal)	0,0487	0,0745	0,0634	0,0661
P(%)	23,560	10,150	8,760	10,940
Distribuição dos resíduos	A	A	A	A

A – Aleatório.

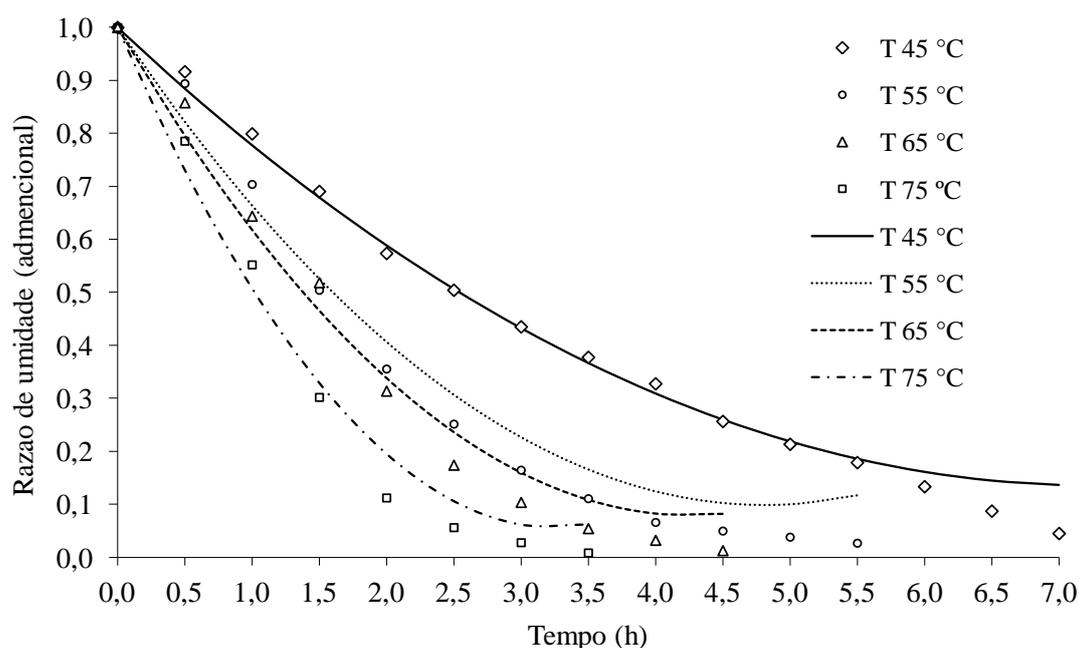


FIGURA 1. Razão de umidade de secagem ajustada ao modelo de Wang e Singh.

CONCLUSÕES: Concluiu-se que, a secagem com temperatura de 65 e 75 °C alterou a velocidade de secagem das sementes, apresentando diferenças significativas no tempo de secagem.

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

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D.P.; RESENDE, O.; COSTA, L.M.; MENDES, U.C.; SALES, J.F. Cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). **Global Science and Technology**, v. 2, n. 1, p. 72- 83, 2009.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 17. ed. Gaithersburg, Maryland: AOAC, 2000, v. 2. cap. 30, met. 968. n. 11, p. 4.
- 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**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 17-26, 2008.
- USDA. United States Department of Agriculture. **Handbook of the nutritional contents of foods**. New York: Dover Publications Inc., 2013, 190p.