

ALTERAÇÕES FÍSICAS EM GRÃOS DE GIRASSOL APÓS SECAGEM COM DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR

CORADI, Paulo Carteri¹
HELMICH, Jean Carlos¹
FERNANDES, Carlos Henrique Portela¹

Recebido em: 2015.06.12

Aprovado em: 2015.10.13

ISSUE DOI: 10.3738/1982.2278.1502

RESUMO: O conhecimento das propriedades físicas dos grãos é importante para otimização das operações de pós-colheita. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da secagem com diferentes temperaturas do ar (45, 55, 65 e 75 °C) nas propriedades físicas de grãos de girassol. A secagem dos grãos foi realizada em estufa de convecção com ar forçado. Amostras de 5 kg de grãos foram utilizadas em cada repetição. Durante o processo de secagem, as amostras foram pesadas, periodicamente até atingirem 10% (b.u.), em seguida foram submetidos às avaliações das propriedades físicas. As temperaturas do ar de secagem alteraram as propriedades físicas dos grãos de girassol. O comprimento, a espessura, a área projetada, o volume, o peso de mil grãos, o ângulo de repouso dos grãos de girassol foram reduzidos com o aumento da temperatura do ar de secagem. A porosidade, a massa específica aparente, o peso de mil grãos, o coeficiente de arraste, a circularidade, a esfericidade e a largura dos grãos de girassol não sofreram alterações em função da temperatura do ar de secagem.

Palavras-chave: Dimensionamento. Pós-colheita. Qualidade.

PHYSICAL ALTERATIONS IN SUNFLOWER GRAINS AFTER DRYING AT DIFFERENT TEMPERATURES OF THE AIR

SUMMARY: The knowledge of the physical properties of the grains is important for optimizing of the post-harvest operations. This work aimed to evaluate the effects of convective drying with different air temperatures (45, 55, 65 and 75 °C) the physical properties of sunflower grains. Drying of the sunflower grains was performed in convection oven with forced air. In natural conditions, samples of 5 kg of pellets were used for each repetition drying. During the drying process, the grain samples were weighed periodically until they reach 10% (w.b.), and then were subjected to evaluations of physical properties. The drying air temperatures alter the physical properties of sunflower grains. The length, thickness and projected area, volume, thousand kernel weights to the angle of repose of the sunflower grains were reduced with increased drying air temperature. The porosity, apparent specific gravity, the weight of a thousand grains, the coefficient of drag, roundness, sphericity, and the width of sunflower grains did not change in function of the drying air temperature.

Keywords: Design. Post-harvest. Quality.

INTRODUÇÃO

As propriedades físicas dos produtos agrícolas têm a sua utilização em estudos de aerodinâmica, na otimização industrial, desenho e dimensionamento de equipamentos utilizados nas operações de colheita e pós-colheita (KIBAR, 2008).

O conhecimento das propriedades físicas é essencial em relação à pesquisa, ele ajuda a estimar a secagem dos grãos, de composição variada e formas geométricas, quando sujeitos a diferentes condições de secagem, aquecimento e arrefecimento. Também é útil em problemas de fenômenos de transferência de calor e massa relacionados durante a secagem e armazenagem de produtos com alto teor de água (CORRÊA; RESENDE; RIBEIRO, 2002; ISIK; IZLI, 2007).

¹ Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campus de Chapadão do Sul (CPCS)

O processo de secagem proporciona a perda de água dos grãos fazendo com que ocorram mudanças físicas na estrutura celular do produto, provocando alterações na forma e nas dimensões dos grãos (MAYOR; SERENO, 2004). Para Prado; Alonso; Park (2000), a contração volumétrica é promovida pela redução da tensão no interior das células, devido à remoção de água durante a secagem. De acordo com Polat; Atay; Saglam (2006) e Matouk; Abd El-latif; Tharwat (2008) as variações volumétricas são a principal causa de alterações nas propriedades físicas de produtos agrícolas.

Entre as propriedades físicas, destaca-se a porosidade que está associada à resistência que a camada de produtos oferece à movimentação do ar, sendo largamente utilizada nos projetos de equipamentos para secagem e armazenamento de grãos e sementes. É necessário se conhecer o volume de ar no interior de um silo, pois tal informação é fundamental para os cálculos da concentração de fumigantes ou da quantidade de ar necessária para a completa troca de ar nesse recipiente (MAYOR; SERENO, 2004).

A aplicação do conceito de massa específica aparente é importante para a comercialização, dimensionamento de silos, secadores, depósitos e sistemas de transportes, podendo também ser utilizado para determinar teores de água, danos causados por insetos, bem como a deterioração fúngica nos produtos armazenados (MIR; BOSCO; SUNOOJ, 2013).

Desta forma, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de secagem convectiva com temperaturas do ar de 45, 55, 65 e 75 °C sobre as propriedades físicas de grãos de girassol.

MATERIAL E MÉTODO

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campus de Chapadão do Sul (CPCS), no ano de 2013. Os grãos de girassol foram coletados manualmente em 46% (b.u.) de teor de água, e encaminhados para realização de ensaios de secagem, com temperaturas controladas de 45, 55, 65 e 75 °C.

A secagem foi realizada em estufa de convecção com ar forçado. Sendo usadas amostras de 5 kg de grãos, para cada repetição de secagem. Durante a secagem, as amostras foram pesadas periodicamente até atingir teores de água de 10% (b.u.). A temperatura e umidade relativa do ar de secagem foram monitoradas por meio de um psicrômetro, instalado no local do experimento. O ar de secagem foi monitorado por um termômetro de mercúrio instalado no interior da estufa. A velocidade do ar de secagem foi medida por anemômetro de fio quente, com fluxo de ar constante de $4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$.

O teor de água foi determinado pelo método padrão da estufa, 105 ± 5 °C durante 24 h, conforme AOAC (2000). O tamanho dos grãos foi determinado através da medição dos eixos de comprimento, largura e espessura, antes e após a secagem, com o auxílio de um paquímetro de resolução de 0,01 mm (MOHSENIN, 1986).

A massa específica dos grãos foi determinada pelo método de volume suplementar. Sendo usados balões volumétricos ($10 \pm 0,04$ ml). O óleo de soja foi utilizado como volume de líquido adicional para determinar a porosidade dos grãos. A densidade do volume dos grãos foi determinada pela relação entre a massa e volume do grão, equação (1).

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V} \quad (1)$$

em que,

ρ_{ap} : massa específica aparente, (kg m^{-3})

m: massa de grãos, (kg)

V: volume, (mm^3)

Para calcular a área projetada dos grãos, utilizou-se a equação (2).

$$A_p = 3.14AB \quad (2)$$

em que,

A_p : área projetada, (mm²)

A: semi-eixo maior, (mm)

B: semi-eixo menor, (mm)

A esfericidade do grão de girassol foi calculada (MOHSENIN, 1986), com base na média geométrica dos três eixos do grão, em relação ao eixo principal, de acordo com a equação (3).

$$S = \frac{(\pi abc)^{1/3}}{a} \quad (3)$$

em que,

S: esfericidade, adimensional

a: eixo maior, (mm)

b: eixo médio, (mm)

c: eixo menor, (mm).

A circularidade do grão foi determinada, de acordo com a equação (4) (MOHSENIN, 1986).

$$C = A_p / A_c \quad (4)$$

em que,

C: circularidade

A_p : diâmetro do maior círculo inscrito na projeção do objeto em repouso, (mm²)

A_c : diâmetro do círculo circunscrito menor na projeção do objeto, (mm²)

A forma do grão foi determinada, levando em conta a esfericidade do grão e o arredondamento (MOHSENIN, 1986).

O coeficiente de arrasto dos grãos foi calculado com base na equação de Wadell *apud* Mohsenin (1986), que estabeleceu curvas de coeficiente de arrasto versus o número de Reynolds (Re) para diferentes esfericidades de grãos. O resultado foi uma equação empírica para valores de Re, que variam de 2000 a 20000, dependendo da esfericidade dos grãos, equação (5).

$$\xi = 5.31 - 4.88 f \quad (5)$$

em que,

ξ : coeficiente de arrasto

f: esfericidade

A porosidade da massa de grãos foi determinada pelo método direto (MOHSENIN, 1986), com a adição de um volume de líquido de óleo vegetal em uma massa conhecida granular. Utilizou-se para os testes um becker de 30 ml e uma bureta de 50 ml. A porosidade foi calculada pela equação (6).

$$\varepsilon = \left[1 - \left(\frac{\rho_{ap}}{\rho_{un}} \right) \right] \quad (6)$$

em que,

ξ : porosidade, decimal

ρ_{ap} : massa específica aparente

ρ_{un} : massa específica unitária

A massa específica unitária foi estimada em relação à porosidade e a massa específica aparente da massa de grãos, de acordo com a relação apresentada na equação (7) (MOHSENIN, 1986).

$$\rho_{\mu} = \rho_{ap} / (\xi - 1) \quad (7)$$

em que,

ρ_{μ} : massa específica unitária, (kgm^{-3})

ρ_{ap} : massa específica aparente, (kg m^{-3})

ξ : porosidade (decimal).

Para determinar o ângulo de repouso foi usado uma plataforma cilíndrica circular de diâmetro conhecido contendo em seu centro, uma haste graduada onde o produto foi depositado, proveniente de um funil de recepção de amostra de grãos a uma altura de 0,60 m. Em seguida, foi medida a altura do talude formado pelo produto e a plataforma calculando o ângulo de repouso (MOHSENIN, 1986).

O peso de mil grãos foi determinado pela contagem de oito repetições de cem grãos e subsequente pesagem em balança analítica (MOHSENIN, 1986). O volume (V_g) de cada grão foi obtido, durante o processo de secagem, com o auxílio de um paquímetro para medição da largura, espessura e comprimento dos grãos (MOHSENIN, 1986), equação (8).

$$V_g = \frac{\pi abc}{6} \quad (8)$$

em que,

a: eixo comprimento do grão, (mm)

b: eixo largura do grão, (mm)

c: eixo espessura do grão, (mm)

A contração volumétrica (Ψ_m) foi determinada pela razão entre o volume da massa de grãos para cada teor de água durante a secagem e o volume inicial da massa. Para monitorar a redução do volume da massa, foi utilizado um cilindro acrílico graduado. Os dados de contração volumétrica dos grãos foram ajustados pelos modelos matemáticos de regressão não-linear, pelo método de Quasi-Newton, no programa Statistica 7,0[®].

Referências dos modelos

Modelos

Bala e Woods $\Psi_m = a \{1 - \exp [b (U - U_0)]\}$ (9)

Rahman $\Psi_m = a + \beta_2 (U - U_0)$ (10)

Corrêa $\Psi_m = 1/[a + b \exp (U)]$ (11)

Exponencial $\Psi_m = a \exp (b U)$ (12)

em que,

Ψ_m : contração volumétrica, (decimal)

U: teor de água do produto, decimal (b.s.)

U_0 : teor de água inicial do produto, decimal (b.s.)

β_2 : coeficiente de contração volumétrica, (adimensional)

a, b : parâmetros que dependem do produto.

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:

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (13)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (14)$$

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).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) (4x3), com quatro temperaturas do ar de secagem (45, 55, 65 e 75 °C) e três repetições. Os dados foram analisados por análise de variância e para o teste F, regressão em 1 e 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1, 2, 3 e 4 estão os resultados das propriedades físicas de grãos de girassol após a secagem nas temperaturas de 45, 55, 65 e 75 °C. Observou-se que o coeficiente de variação dos resultados foram baixos e satisfatórios. Houve influência significativa ($p < 0,05$) da temperatura do ar de secagem no volume, comprimento, espessura, área projetada, peso de mil grãos e ângulo de repouso dos grãos e não sendo significativos os resultados de circularidade, esfericidade, largura, massa específica aparente, porosidade e coeficiente de arraste dos grãos.

Tabela 1: Determinação das propriedades físicas de grãos de girassol após secagem. **(Continua)**

Temperatura ar de secagem (°C)	¹ Circularidade (mm) ^{ns}	² Esfericidade (cm) ^{ns}	³ Área projetada (mm ²)*
45	5,266 a	0,546 a	30,28 a
55	5,080 a	0,548 a	31,68 a b
65	4,976 a	0,549 a	30,38 a
75	4,873 a	0,556 a	33,23b
Temperatura ar de secagem (°C)	⁴ Comprimento (mm)*	⁵ Largura (mm) ^{ns}	⁶ Espessura (mm)*
45	10,95 a b	5,60 a	3,50 a
55	11,01 a b	5,53 a	3,65 a b
65	10,85 a	5,50 a	3,55 a b
75	11,23b	5,83 a	3,76b

Tabela 1: Determinação das propriedades físicas de grãos de girassol após secagem. **(Conclusão)**

Temperatura ar de secagem (°C)	⁷ Massa específica aparente (kg m ⁻³) ^{ns}	⁸ Volume (mm ³)*	⁹ Porosidade (%) ^{ns}
45	642,73 a	130,91b	52,49 a
55	656,67 a	118,75 a b	52,62 a
65	648,98 a	115,26 a	53,10 a
75	619,34 a	112,65 a	53,39 a
Temperatura ar de secagem (°C)	¹⁰ Peso de mil grãos (g)*	¹¹ Coefficiente de arraste ^{ns}	¹² Ângulo de repouso (°)*
45	49,20 c	0,233333 a	23,28 a b
55	46,36 b	0,233333 a	21,20 a b
65	43,90 a	0,236667 a	19,37 a
75	44,13 a	0,240000 a	24,83 b

¹CV (%) = 5,51 ²CV (%) = 5,51 ³CV (%) = 3,46 ⁴CV (%) = 1,22 ⁵CV (%) = 1,27 ⁶CV (%) = 2,30 ⁸CV (%) = 2,89 ⁹CV (%) = 4,77 ¹⁰CV (%) = 2,94 ¹¹CV (%) = 1,97 ¹²CV (%) = 2,12 ¹³CV (%) = 7,30 CV = Coeficiente de variação, ns = não significativo, *Significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com Sirisomboon et al (2007), é essencial conhecer o tamanho dos grãos para o processo de beneficiamento, estes dados podem ser usados para determinar o limite inferior dos transportadores, como a correia transportadora, os elevadores de caçamba e o transportador helicoidal. Resultados similares aos encontrados no presente estudo foram obtidos por outros autores (AYDIN, 2007; YALÇIN; ÖZARSLAN; AKBAŞ, 2007; DURSUN; TUDRUL; DRUSUS, 2007), em que observaram que as temperaturas do ar de secagem não influenciaram na circularidade, esfericidade, no coeficiente de arrasto, na porosidade, e na massa específica de grãos de milho, ervilhaca e beterraba, respectivamente.

Resende et al. (2005) observaram que, a porosidade da massa de grãos tem maior influência com a redução do teor de água do que com as variações de temperatura do ar de secagem. Karababa (2006) observaram uma redução de 40,16% da área dos grãos de milho pipoca com redução do teor de água de 0,20 para 0,098 (kg de H₂O kg MS⁻¹), enquanto não foi observada redução da área de superfície dos grãos em função da temperatura do ar de secagem.

Goneli et al (2008) observaram redução de aproximadamente 496 x 10⁻⁶ da área superficial com a redução do teor de água de 2,5 a 0,13 (kg de água por kg de matéria seca), em frutos de mamona, não observando diferenças significativas na área dos grãos, em função das condições do ar de secagem.

Vários autores observaram aumento da massa específica aparente dos grãos com a redução dos teores de água, entre eles, estão Corrêa et al (2002) avaliando grãos de café, Ribeiro et al. (2005) avaliando grãos de feijão e soja. No entanto, os mesmos autores avaliando os efeitos da temperatura do ar de secagem não verificaram alteração significativa na massa específica dos grãos, concordando com os resultados obtidos neste trabalho com grãos de girassol (Tabela 1).

Observou-se na Tabela 1, que o aumento da temperatura do ar de secagem não afetou a porosidade da massa de grãos, concordando com Ribeiro et al. (2005) que avaliaram grãos de soja colhidas com teor de água de 45% (b.u.). Porém, analisando a redução do teor de água dos grãos de 0,31 para 0,15 (b.s.), independente da temperatura do ar de secagem, verificou-se redução da porosidade de 44,7 para 41,1% de forma linear.

Na avaliação do peso de mil grãos, a temperatura do ar de secagem de 45 °C não alterou os resultados iniciais, enquanto que, as temperaturas de 65 e 75 °C foi a que mais influenciaram na redução do peso. O comprimento e a espessura foram significativamente influenciados pelos testes de secagem

($P < 0,05$), principalmente pelas temperaturas de 65 e 75 °C. Resultados semelhantes foram obtidos por Corrêa; Resende; Ribeiro, (2006) trabalhando com grãos de café *Coffea arabica* e *Coffea canephora*. No entanto, Goneli et al. (2011) analisando as propriedades físicas dos frutos de mamona observaram que, através da redução do teor de água de 2,492 para 0,132 (kg de H₂O. kg MS), a circularidade e a esfericidade é reduzida de 96,17 e 91,84% de 95,02 para 92,77%, respectivamente, independentemente da temperatura do ar de secagem.

De acordo com Mayor; Sereno (2004) o processo de secagem proporciona a perda de água, causando danos das estruturas celulares do produto, isto leva a alterações na forma e diminuição nas suas dimensões. No início da secagem a forma dos grãos de girassol era semelhante a uma elipse, e com a secagem, o volume do grão acabou diminuindo, aproximando-se do formato oval (Tabela 1) para todas as temperaturas do ar de secagem. Este comportamento tem sido observado por muitos pesquisadores, em vários produtos (YALÇIN; OZARSHAN, 2004; KARABABA, 2006).

O volume de grãos de girassol foi afetado, quando secos a temperaturas mais elevadas, isto ocorreu em função da alta taxa de remoção de água. Na avaliação da contração volumétrica dos grãos de girassol, observou-se que o modelo de Corrêa foi o mais adequado para ajuste dos dados do fenômeno, com um alto coeficiente de determinação e baixos valores de erros relativos médios e estimados. Os modelos mostraram uma distribuição aleatória dos resíduos (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2: Parâmetros, coeficiente de determinação (R^2) e a distribuição dos resíduos para as diferentes temperaturas do ar de secagem.

Temperatura do ar de secagem (°C)	Parâmetros estimados	R^2	Distribuição dos resíduos
45	a= 1,77125 b= -0,4918	98,86	A
55	a= 1,6682 b= -0,41392	90,75	A
65	a= 1,79890 b= -0,4999	98,03	A
75	a= 1,84398 b= -0,52740	98,13	A

A – distribuição aleatória

Fonte: Elaborado pelos autores.

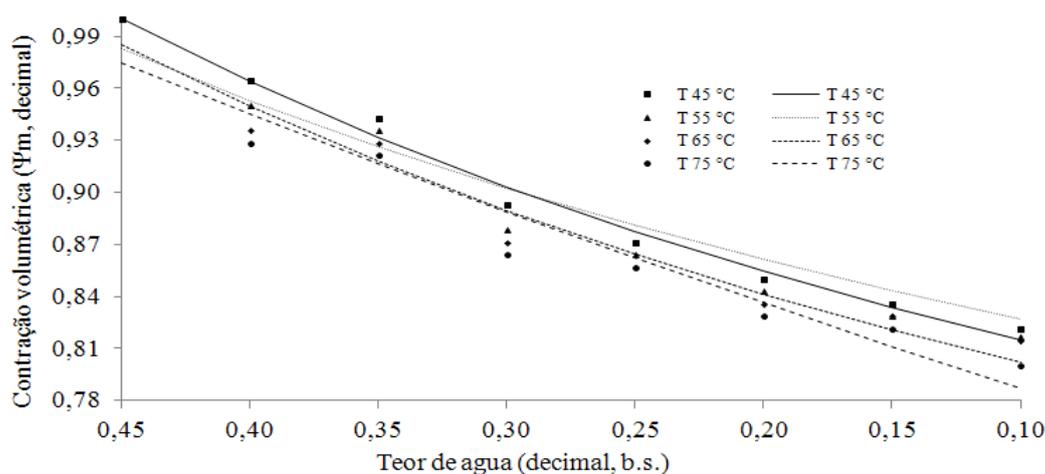
Observou-se, na Figura 1, que a redução do teor de água de 0,45 para 0,10 (kg kg⁻¹ de peso seco) reduziu o volume dos grãos, em relação ao volume inicial, sendo este processo acelerado nas temperaturas do ar de secagem mais elevadas. A temperatura de secagem de 45 °C foi a que menos influenciou estatisticamente na redução do volume dos grãos, possivelmente pela baixa taxa de remoção de água, causando o endurecimento do tegumento, o que dificultaria a contração dos grãos e, conseqüentemente, redução de menor grau do volume do grão. Para Siqueira; Resende; Chaves (2012), o estudo da redução volumétrica durante o processo de secagem permite estimar o volume ocupado pela massa de grãos.

Tabela 3. Determinação do erro médio estimado (SE) e relativo (P) para modelar a contração volumétrica de grãos de girassol submetidos a diferentes temperaturas do ar de secagem, utilizando o modelo de Corrêa.

Temperaturas do ar de secagem (°C)	45	55	65	75
SE (decimal)	0,007480	0,026750	0,0137760	0,013976
P (%)	0,324630	0,653270	0,4535350	0,414200

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 1: Valores de contração volumétrica de grãos de girassol, experimental e estimado pelo modelo de Correa et al., em função da redução do teor em água e aumento da temperatura do ar de secagem.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Goneli et al. (2011) estudaram frutos de mamona e observaram que, o processo de secagem proporcionou a redução de todas as dimensões do fruto, incluindo o diâmetro geométrico médio. Siqueira; Resende e Chaves (2012) verificaram que, a redução do diâmetro geométrico é proporcional ao conteúdo de água, que também depende das condições de secagem, ou a temperatura do ar de secagem. De acordo com Siqueira; Resende e Chaves (2012), a diminuição do diâmetro geométrico é proporcional à redução do teor de água, que também depende das condições de secagem.

CONCLUSÃO

O comprimento, a espessura, a área projetada, o volume, o peso de mil grãos, o ângulo de repouso dos grãos de girassol foram reduzidos com o aumento da temperatura do ar de secagem.

A porosidade, a massa específica aparente, o peso de mil grãos, o coeficiente de arraste, a circularidade, a esfericidade e a largura dos grãos de girassol não sofreram alterações em função da temperatura do ar de secagem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UFMS e a FUNDECT - MS pelo apoio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 17. ed. Gaithersburg, Maryland, USA. 2000, 968p.
http://www.aoac.org/imis15_prod/AOAC_Member/PUBSCF/OMACF/OMAP_M.aspx
- AYDIN, C. Some engineering properties of peanut and kernel. **Journal of Food Engineering**, v.79, p.810-816, 2007. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026087740600238X>
- CORRÊA, P.C. et al. Variação das dimensões características e da forma dos frutos de café durante o processo de secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.6, p.466-470, 2002. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662002000300014
- CORRÊA, P.C.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D.M. Drying characteristics and kinetics of coffee berry. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.8, p.1-10, 2006. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1807-86212011000300006
- DURSUM, I.; TUDRUL, K.M.; DRUSUS, E. Some physical properties of sugar beet seed. **Journal of Stored Products Research**, v.43, p.149-155, 2007. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022474X06000282>
- GONELI, A. L. D. et al. Propriedades físicas dos frutos de mamona durante a secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.33, p.148-155, 2008. http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/publicacoes/trabalhos_cbm2/143.pdf
- GONELI, A.L.D., CORRÊA, P.C., MAGALHÃES, F.E.A., BAPTESTINI, F.M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33, p.1-8, 2011. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1807-86212011000100001&script=sci_arttext
- ISIK, E.; IZLI, N. Moisture physical and mechanic properties of dent corn (*Zea mays* var. *indentata* Sturt) seeds (Ada-523). **American Journal of Food Technology**, v.2, p.342-353, 2007. <http://connection.ebscohost.com/c/articles/28746248/moisture-dependent-physical-mechanical-properties-dent-corn-zea-mays-var-indentata-sturt-seeds-ada-523>
- KARABABA, E. Physical properties of popcorn kernels. **Journal of Food Engineering**, v.72, p.100-107, 2006. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877404006016>
- KIBAR, H. Physical and mechanical properties of soybean. **International Agrophysics**, v.22, p.239-244, 2008. http://www.old.international-agrophysics.org/artykuly/international_agrophysics/IntAgr_2008_22_3_239.pdf
- MATOUK, A.M.; ABD EL-LATIF, S.M.; THARWAT, A. Physical properties of some oil producing crops. **Journal Agricultural scientific**, v.33, p.4213-4233, 2008. <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02545489>
- MAYOR, L.; SERENO, A.M. Modeling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v.61, p.373-386, 2004. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877403001444>
- MIR, S.A.; BOSCO, S.J.D.; SUNOOJ, K.V. Evaluation of physical properties of rice cultivars grown in the temperate region of India. **International Food Research Journal**, v.20, p.1521-1527, 2013. [http://www.ifrj.upm.edu.my/20%20\(04\)%202013/2%20IFRJ%2020%20\(04\)%202013%20Bosco%20\(438\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/20%20(04)%202013/2%20IFRJ%2020%20(04)%202013%20Bosco%20(438).pdf)

MOSHENIN, N.N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York, USA. 1986, 841p.
<http://www.cabdirect.org/abstracts/19720401916.html;jsessionid=387CC8F7BDE2DC455FF8CF7E2A4A9FF9?freeview=true>

POLAT, R.; ATAY, U.; SAGLAM, C. Some physical and aerodynamic properties of soybean. **Journal of Agronomy**, v.5, p.74-78, 2006. <http://scialert.net/fulltext/?doi=ja.2006.74.78&org=11>

PRADO, M.E.T.; ALONSO, L.F.T.; PARK, K.J. Shrinkage of dates (*Phoenix Dacyilyfera* L.) during drying. **Drying Technology**, v.18, p.295-310, 2000.
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373930008917705>

RESENDE, O. et al. Forma, tamanho e contração volumétrica do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.7, p.15-24, 2005.
<http://www.sitepmw.com/calcnun/artigo-feijao.pdf>

RIBEIRO, D.M. et al. Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, p.611-617, 2005.
<http://www.scielo.br/pdf/cta/v25n3/27035.pdf>

SIQUEIRA, V.C.; RESENDE, O.; CHAVES, T.H. Determination of the volumetric shrinkage in jatropha seeds during drying. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 34, p. 231-238, 2012.
http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1807-86212012000300001&script=sci_arttext

SIRISOMBOON, P. et al. Physical and mechanical properties of *Jatropha curcas* L. fruits, nuts and kernels. **Biosystems Engineering**, v.97, p.201-207, 2007.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511007000475>

YALÇIN, Y.; ÖZARSLAN, C. Physical properties of vetch seed. **Biosystems Engineering**, v.8, p.507-512, 2004. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S153751100400087X>

YALÇIN, Y.; ÖZARSLAN, C.; AKBAP, T. Physical properties of pea (*Pisum sativum*) seed. **Journal of Food Engineering**, v.79, p.731-735, 2007.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877406002305>