



Propriedades físicas de grãos de girassol após secagem

Paulo Carteri Coradi¹, Jean Carlos Helmich², Carlos Henrique Portela Fernandes² & Clayton Cerqueira Peralta²

¹Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, RS. E-mail: paulo.coradi@ufsm.br.

²Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, MS.

Palavras-chave:

dimensionamento
pós-colheita
qualidade

RESUMO

O conhecimento das propriedades físicas de grãos é importante para otimização das operações de pós-colheita. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da secagem convectiva com diferentes temperaturas do ar (45, 55, 65 e 75 °C) nas propriedades físicas de grãos de girassol. A secagem dos grãos de girassol foi realizada em estufa de convecção com ar forçado. Nas condições naturais, amostras de 5 kg de grãos foram utilizadas para cada repetição de secagem. Durante o processo de secagem, as amostras de grãos foram pesadas, periodicamente até atingirem 10% (base úmida, b.u.), em seguida foram submetidos às avaliações das propriedades físicas. De acordo com os resultados obtidos observou-se que 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 com o aumento da temperatura do ar de secagem. Concluiu-se que as temperaturas do ar de secagem de 45 e 55 °C conservaram as características físicas iniciais dos grãos de girassol. A temperatura do ar de secagem de 75 °C teve maior influência nas alterações da contração volumétrica dos grãos.

Key words:

design
post-harvest
quality

Physical properties of sunflower grains after drying

ABSTRACT

The knowledge of the physical properties of the grains is important for the optimization of post-harvest operations. This study aimed to evaluate the effects of convective drying with different air temperatures (45, 55, 65 and 75 °C) the physical properties of sunflower seeds. The drying 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 grains samples were weighed periodically until they reach 10% (wet basis, w.b.), then were subjected to evaluations of physical properties. According to the results it was observed that the porosity, apparent density, thousand kernel weight to the drag coefficient, roundness, sphericity and width of sunflower seed did not change with increasing temperature drying air. It was concluded that the drying air temperatures of 45 °C and 55 retained the initial physical characteristics of sunflower seeds. The temperature of the drying air of 75 °C had greater influence on changes in volumetric shrinkage of the grains.

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). Corrêa et al. (2002) e Isik et al. (2007) apontam que o conhecimento das características físicas dos materiais granulares é de grande importância em estudos de transferência de calor e de massa e movimentação de ar. O processo de secagem proporciona a perda de água dos grãos, fazendo com que ocorram mudanças físicas na

estrutura do produto, provando alterações na forma e nas dimensões dos grãos (Mayor & Sereno, 2004). Para Prado et al. (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 et al. (2006) e Matouk et al. (2008) as variações volumétricas são as principais causas de alterações nas propriedades físicas de produtos agrícolas.

O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas dos produtos agrícolas é de fundamental importância para a conservação adequada dos grãos e para a elaboração de projeto, construção e operação

de diversos equipamentos utilizados nas principais operações de pós-colheita (Mir et al. 2013). Para a maioria dos produtos agrícolas, tal como os grãos de girassol, quando o equipamento de pós-colheita é mal dimensionado pode levar a rachaduras e a outros danos físicos nos grãos, conseqüentemente, ocasionando redução dos preços de comercialização (Mayor & Sereno, 2004).

A fim de melhorar o retorno econômico e aumentar a competitividade de comercialização dos grãos é necessário melhorar a qualidade física dos grãos nas etapas de pós-colheita, e para isto, torna-se necessário utilizar devidamente os equipamentos de pós-colheita, o que torna o conhecimento das propriedades físicas dos grãos relevante. O conhecimento das propriedades físicas é essencial, pois ele ajuda a estimar a secagem de grãos de composição e formas geométricas variadas, quando expostas a diferentes condições de secagem, aquecimento e arrefecimento. Além disso, esses conhecimentos são fundamentais em projetos de engenharia, que envolvem máquinas e equipamentos para plantio, colheita, manipulação, armazenagem, secagem e aeração. Também é útil para a solução de problemas sobre fenômenos de transferência de calor e massa durante a secagem e armazenagem de produtos com alto nível de umidade (Sirisomboon et al., 2007; Coradi et al., 2015).

Desta forma, teve-se como objetivo no presente trabalho avaliar os efeitos de secagem convectiva em diferentes temperaturas do ar (45, 55, 65 e 75 °C) sobre as propriedades físicas dos grãos de girassol.

Material e Métodos

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% (base úmida, b.u.) de teor de água e foram encaminhados para realização de ensaios de secagem, com temperaturas controladas de 45, 55, 65 e 75 °C.

A secagem dos grãos de girassol foi realizada em estufa de convecção com ar forçado. Em condições naturais foram coletadas amostras de 5 kg de grãos,

para as três repetições de secagem para cada temperatura. Durante o processo de secagem, as amostras foram pesadas periodicamente até atingir teores de água de 10% (b.u.). A umidade relativa do ar de secagem foi monitorada por meio de psicrômetro, instalado no local do experimento, e a temperatura do ar de secagem foi monitorada por termômetro de mercúrio instalado no interior da estufa. O fluxo de ar de secagem foi monitorado com auxílio de anemômetro de fio quente e mantido a cerca de 4 m³ s⁻¹ m⁻². A temperatura da massa de grãos durante a secagem não foi determinada, uma vez que, o estudo não teve como objetivo avaliar a qualidade fisiológica e físico-química dos grãos.

O teor de água dos grãos foi determinado pelo método padrão da estufa, 105 ± 5 °C durante 24 h, com três repetições, conforme recomendado pela AOAC (2000).

O tamanho dos grãos foi determinado através da medição dos eixos de comprimento, largura e espessura, após a secagem, com o auxílio de paquímetro de 0,01 mm de precisão (Mohsenin, 1986). Foram medidos 200 grãos de girassol, para cada temperatura do ar de secagem.

A massa específica dos grãos de girassol foi determinada pelo método de volume suplementar. Foram utilizados balões volumétricos (10 ± 0,04 mL) e uma balança analítica (precisão de 0,0001 g). Óleo de soja foi utilizado como volume de líquido adicional para determinar a porosidade dos grãos. Foram utilizadas cinco amostras de grãos para cada uma das temperaturas do ar de secagem, contendo em cada amostra, trinta grãos de girassol. A massa específica foi determinada pela relação entre a massa e volume dos grãos. Para calcular a área projetada dos grãos, utilizou-se a Equação 1.

$$A_p = \pi.A.B \quad (1)$$

em que,

A_p : área projetada, (mm²)

A: semi-eixo maior, (mm)

B: semi-eixo menor, (mm)

A esfericidade dos grãos 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 2.

$$\phi = \frac{(a \cdot b \cdot c)^{\frac{1}{3}}}{a} \quad (2)$$

em que,

Φ : esfericidade, adimensional

a: eixo maior, (mm)

b: eixo médio, (mm)

c: eixo menor, (mm).

A circularidade dos grãos foi determinada, de acordo com a Equação 3 (Mohsenin, 1986).

$$C = \frac{A_p}{A_c} \quad (3)$$

em que,

C: circularidade

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

A_c : área círculo circunscrito 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, citado pelo Mohsenin (1986), que estabeleceu curvas de coeficiente de arrasto versus o número de Reynolds (Re) para diferentes esfericidades dos grãos. O resultado foi uma equação empírica para valores de Re, que variam de 2000 a 20000, dependendo da esfericidade dos grãos (Equação 4).

$$f = 5,31 - 4,88.f \quad (4)$$

em que,

f : 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 5.

$$\varepsilon = \left[1 - \left(\frac{\rho_{ap}}{\rho_{um}} \right) \right] \quad (5)$$

em que,

ξ : porosidade, decimal;

ρ_{ap} : massa específica aparente;

ρ_{um} : 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 6 (Mohsenin, 1986).

$$\rho_{\mu} = \frac{\rho_{ap}}{(\xi - 1)} \quad (6)$$

em que,

ρ_{μ} : massa específica unitária, (kg m⁻³);

ρ_{ap} : massa específica aparente, (kg m⁻³);

ξ : porosidade (decimal).

Para determinar o ângulo de repouso foi utilizada 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. De posse destas informações, foi calculado 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). Os resultados foram multiplicados por dez e expressos em gramas.

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), calculadas pela Equação 7.

$$V_g = \frac{\pi \cdot a \cdot b \cdot c}{6} \quad (7)$$

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[®] (Equações 8, 9, 10 e 11).

Referências dos modelos	Modelos	
Bala e Woods	$\Psi_m = a \cdot \{1 - \exp[b \cdot (U - U_0)]\}$	(8)
Rahman	$\Psi_m = a + \beta_2 \cdot (U - U_0)$	(9)
Corrêa	$\Psi_m = 1 / [a + b \cdot \exp(U)]$	(10)
Exponencial	$\Psi_m = a \cdot \exp(b \cdot U)$	(11)

em que, Ψ_m : contração volumétrica, (decimal); U : teor de água do produto, decimal em base seca (b.s.); U_0 : teor de água inicial do produto, decimal em base seca (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 Equações 12 e 13, respectivamente:

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (12)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (13)$$

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), com os tratamentos compostos por quatro temperatura do ar de secagem (45, 55, 65 e 75 °C) e três repetições de secagem cada temperatura. Os dados foram submetidos à análise de variância, e quando significativos a, as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Para avaliação da contração volumétrica dos grãos foi utilizada a análise de regressão.

Resultados e Discussão

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. Nas Tabelas 1, 2 e 3 estão apresentados 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 abaixo de 7,3%. Verificou-se, que 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. Não foram significativos os resultados de circularidade, esfericidade, largura, massa específica aparente, porosidade e coeficiente de arraste dos grãos.

Tabela 1. Propriedades físicas de grãos de girassol após secagem.

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	33,23 b
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	11,23 b	5,83 a	3,76 b
Temperatura ar de secagem (°C)	⁷ Massa específica aparente (kg m ⁻³) ^{ns}	⁸ Volume (mm ³)*	⁹ Porosidade (%) ^{ns}
45	642,73 a	130,91 b	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.

Tabela 2. Parâmetros, coeficiente de determinação (R²) 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.

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

Resultados similares aos verificados no presente estudo foram obtidos por outros autores (Aydin, 2007; Yalçın et al., 2007; Dursun et al., 2007), em que

observaram que as temperaturas do ar de secagem não influenciaram na circularidade, na esfericidade, no coeficiente de arrasto, na porosidade, e na massa

específica dos grãos de milho, ervilhaca e beterraba, respectivamente.

Resende et al. (2005), observaram que a porosidade da massa dos grãos teve maior influência com a diminuição do teor de água do que das variações de temperatura do ar de secagem. Karababa (2006) observaram uma diminuição de 40,16% da área dos grãos de milho pipoca com a redução do teor de água de 0,20 para 0,098 (kg de água por kg de matéria seca), enquanto que não foi observada nenhuma redução da área de superfície em função da temperatura do ar de secagem. Goneli et al. (2008) observaram uma diminuição de aproximadamente 496×10^{-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.

Quanto à massa específica aparente, 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 verificaram que a temperatura do ar de secagem não alterou significativamente a massa específica aparente dos grãos, concordando com os resultados obtidos com grãos de girassol neste trabalho (Tabela 1).

A porosidade da massa de grãos de girassol não foi alterada com o aumento da temperatura do ar de secagem. Estes resultados foram semelhantes com os obtidos por Ribeiro et al. (2005), em que avaliaram uma variedade de soja UFV 20, colhidas com teor de água de aproximadamente 45% (b.u.), observando redução da porosidade linearmente de 44,7 para 41,1% com a redução do teor de água na gama 0,31-0,15 (b.s.), no entanto, aos autores verificaram que não existiu diferença da porosidade em função da temperatura do ar de secagem.

A não alteração significativa das propriedades físicas (circularidade, esfericidade, coeficiente de arrasto, porosidade, massa específica e área superficial), principalmente pela mudança da temperatura do ar de secagem, ou seja, pela velocidade de remoção da água dos grãos na

secagem, justifica-se pela grande quantidade de água removida estar localizada na periferia da estrutura do grão de girassol, considerada água livre, acrescida pela grande quantidade de óleo que os grãos de girassol possui. A movimentação de água com a secagem próxima as paredes externas dos grãos diminuíram o impacto e reduz possíveis alterações físicas dos grãos (Mcminn & Magee, 1997).

Verificou-se que as três dimensões dos grãos de girassol reduziram proporcionalmente com a diminuição do teor de água, opondo-se à maioria dos produtos biológicos porosos que, durante a secagem, se contraem irregularmente nas direções longitudinal, tangencial e radial (Karababa, 2006; Matouk et al., 2008). Assim, os valores de esfericidade e circularidade não apresentaram diferenças significativas a nível de 5% de probabilidade para os teores de água estudados, fato que indica que os grãos de girassol, para a faixa de umidade estudada, apresentam contração uniforme, de acordo com seus eixos principais, resultando na invariabilidade de sua forma durante o processo de dessecção.

Na avaliação do peso de mil grãos, a temperatura do ar de secagem de 45 °C foi a que menos afetou os grãos, enquanto que, as temperaturas de 65 e 75 °C foi a que mais influenciaram na redução do peso.

O comprimento e a espessura foram também significativamente influenciados pelos testes de secagem ($p < 0,05$), principalmente pelas temperaturas do ar de secagem de 65 e 75 °C. Resultados semelhantes foram observados por Corrêa et al. (2006) trabalhando com grãos de café. No entanto, Goneli et al. (2011) analisando as propriedades físicas dos frutos de mamona descobriram que através da redução do teor de água de 2,492 para 0,132 (kg de água por kg de matéria seca), a circularidade e a esfericidade foi reduzido 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 do processo de secagem o formato dos grãos de girassol resumia-se a forma semelhante a

uma elipse, e com a secagem, o volume do grão acabou diminuindo (Tabela 1) para todas as temperaturas do ar testadas neste trabalho. Este comportamento tem sido observado por muitos pesquisadores, em vários produtos (Yalçin et al., 2004; Karababa, 2006). No processo de secagem foi evidente que o volume de grãos de girassol foi mais afetado, quando eles foram secos a temperaturas mais elevadas, isto se deve a 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 ajustar os dados do fenômeno de contração dos grãos, 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). Observou-se, na Figura 1, que a redução do teor de água de 0,46 para 0,10 (kg kg^{-1} de peso seco) reduziu o volume dos grãos, em relação ao volume inicial, sendo que este processo foi acelerado e influenciado nas temperaturas do ar de secagem mais elevadas. A temperatura de secagem de 45 °C, foi a que menos influenciou 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, reduziu com menor grau o volume do grão.

As temperaturas do ar de secagem de 65 e 75 °C apresentaram maior influência na redução do volume dos grãos, uma vez que, a água neste processo, foi removida mais rapidamente e os grãos contraíram os eixos ortogonais, de acordo com a redução do teor de água. Para Siqueira et al. (2012) o estudo da redução volumétrica durante o processo de secagem permite prever o volume ocupado pela massa de grãos, como ocorre com a redução do teor de água. Portanto, é essencial o conhecimento do processo de contração dos grãos para o desenvolvimento e projeto de equipamento de secagem.

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 et al. (2012), descobriram que a diminuição 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 et al. (2012), verificaram que a diminuição do diâmetro geométrico é proporcional à redução do teor de água, que também depende das condições de secagem, ou a temperatura do ar de secagem.

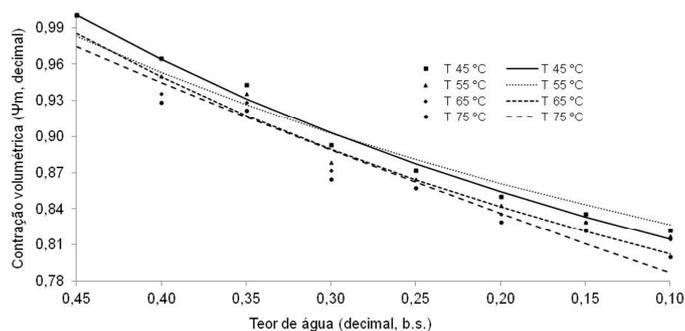


Figura 1. Valores de contração volumétrica de grãos de girassol, experimental e estimado pelo modelo de Correa et al., em função da redução do teor em água e aumento da temperatura do ar de secagem. (b.s.) – base seca.

Conclusões

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 com o aumento da temperatura do ar de secagem;

As temperaturas de secagem de 45 e 55 °C conservaram as características físicas iniciais dos grãos de girassol;

A temperatura do ar de secagem de 75 °C teve maior influência na contração volumétrica dos grãos.

Agradecimentos

Os autores agradecem FUNDECT - MS de apoio financeiro para o desenvolvimento de pesquisas e Chapadão do Sul Fundação para fornecer a matéria-prima para realizar o experimento.

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.
- AYDIN, C. Some engineering properties of peanut and kernel. **Journal of Food Engineering**, v.79, p.810-816, 2007.
- CORADI, P.C.; HELMICH, J.C.; FERNANDES, C.H.P.; PERALTA, C.C. Drying kinetics, mathematical modeling and volumetric shrinkage of sunflower seeds (*Helianthus Annuus* L.). **Energia na Agricultura (UNESP. Botucatu. CD-Rom)**, v.30, p.319-330, 2015.
- CORRÊA, P.C.; AFONSO JÚNIOR, P.C.; QUEIROZ, D.M., SAMPAIO, C.P., CARDOSO, J.B. 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.
- 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.
- DURUN, I.; TUDRUL, K.M.; DRUSUS, E. Some physical properties of sugar beet seed. **Journal of Stored Products Research**, v.43, p.149-155, 2007.
- GONELI, A.L.D.; CORRÊA, P.C.; BOTELHO, F.M.; OLIVEIRA, G.H.H., SANTOS, E.S. Propriedades físicas dos frutos de mamona durante a secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento** v.33, p.148-155. 2008.
- 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.
- 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.
- KARABABA, E. Physical properties of popcorn kernels. **Journal of Food Engineering**, v.72, p.100-107, 2006.
- KIBAR, H. Physical and mechanical properties of soybean. **International Agrophysics**, v.22, p.239-244, 2008.
- 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.
- MAYOR, L.; SERENO, A.M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v.61, p.373-386, 2004.
- MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Physical characteristics of dehydrated potatoes part I. **Journal of Food Engineering**, v. 33, n. 1, p.37-48, 1997.
- 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.
- MOSHENIN, N.N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York, USA. 1986, 841p.
- POLAT, R., ATAY, U., SAGLAM, C. 2006. Some physical and aerodynamic properties of soybean. **Journal of Agronomy**, v.5, p.74-78.
- PRADO, M.E.T.; ALONSO, L.F.T.; PARK, K.J. Shrinkage of dates (*Phoenix Dactylifera* L.) during drying. **Drying Technology**, v.18, p.295-310, 2000.
- RESENDE, O.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; CECON, P.R. Forma, tamanho e contração volumétrica do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.7, p.15-24, 2005.
- RIBEIRO, D.M.; CORRÊA, P.C.; RODRIGUES, D.H.; GONELI, A.L.D. 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.
- 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.
- SIRISOMBOON, P.; KITCHAIYA, P.; PHOLPHO, T.; MAHUTTANYAVANITCH, W. Physical and mechanical properties of *Jatropha curcas* L. fruits, nuts and kernels. **Biosystems Engineering**, v.97, p.201-207, 2007.
- YALÇIN, Y.; ÖZARSLAN, C. Physical properties of vetch seed. **Biosystems Engineering**, v.8, p.507-512, 2004.
- YALÇIN, Y.; ÖZARSLAN, C.; AKBAŞ, T. Physical properties of pea (*Pisum sativum*) seed. **Journal of Food Engineering**, v.79, p.731-735, 2007.