



## FORMA E TAMANHO DOS GRÃOS DE MILHO DA CULTIVAR P3646 SUBMETIDOS A DIFERENTES CONDIÇÕES DE AR DE SECAGEM

Daniel Emanuel Cabral de OLIVEIRA\*, Maria Nalbaline Sampaio dos SANTOS, Solenir RUFATTO

Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal do Mato Grosso, Sinop, Mato Grosso, Brasil.

\*E-mail: [oliveira.d.e.c@gmail.com](mailto:oliveira.d.e.c@gmail.com)

Recebido em março/2014; Aceito em setembro/2014.

**RESUMO:** Considerando a necessidade de construção e aperfeiçoamento dos equipamentos utilizados nas fases de colheita e pós-colheita desta de grãos e sementes, objetivou-se com o presente trabalho, determinar a esfericidade, circularidade, área superficial e projetada dos grãos de milho da cultivar P3646 durante a secagem em quatro condições de ar. Os grãos de milho foram colhidos mecanicamente com o teor de água de 26% b.u. e posteriormente foram submetidos à secagem em estufa com circulação de ar forçada nas temperaturas, 40, 60, 80 e 100 °C, e umidades relativas de 19,9; 9,8; 2,7 e 1,3%, respectivamente, até atingirem teor de água de 14% b.u.. Foram determinadas a circularidade, esfericidade, área superficial e área projetada, ao longo da secagem. Conclui-se que a redução do teor de água e as condições de secagem proporcionam a redução da esfericidade, circularidade, área superficial e projetada dos grãos de milho.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L., teor de água, propriedades físicas.

### *SHAPE AND SIZE OF CULTIVAR P3646 CORN GRAIN UNDER DIFFERENT AIR DRYING CONDITIONS*

**ABSTRACT:** Considering the need for construction and improvement of used equipment during harvest and post-harvest of corn grains and seeds, the aim of this work was to determine the sphericity, roundness, and projected surface area of P3646 corn cultivar during drying with four air conditions. The corn grains were mechanically harvested with moisture content of 26% wb were dried in an oven with forced air circulation at four temperature conditions, 40, 60, 80 and 100 °C, and humidity about 19.9; 9.8; 2.7 and 1.3%, respectively, until moisture content of 14% wb. Were determined the circularity, roundness, surface area and projected along the drying area. We conclude that the reduction of moisture content and drying conditions provides reduction of sphericity, roundness, surface area and designed by the corn grain.

**Keywords:** *Zea mays* L., moisture content, physical properties.

#### 1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) consiste em um dos cereais mais importantes e mais produzidos no mundo, sendo uma cultura de variada aplicação tanto para alimentação humana como na alimentação animal. É considerada ainda uma gramínea anual com ampla adaptação a diferentes condições ambientais, com composição rica em carboidratos, principalmente na forma de amido, assim como em proteínas, lipídios, além de minerais e vitaminas (FANCELLI; LIMA, 1982).

No Brasil é o segundo grão mais produzido, ficando apenas atrás da soja. A estimativa para colheita de grãos da safra 2013/14 no Brasil é de cerca de 193,87 milhões de toneladas, 2,8% superior à safra 2012/13, que foi de 186,66 milhões de toneladas. A produção estimada de milho é de cerca de 78,20 milhões de toneladas na safra de 2013/14, o que representa um déficit na produção de

4,1% em relação à safra anterior. Desse montante a produção estimada do Estado de Mato Grosso na safra de 2013/14 é de 16,9 milhões de toneladas, um decréscimo de 14,8% em relação à safra anterior. O Brasil é responsável por 7 % de toda produção mundial de grãos de milho, ficando atrás apenas dos Estados Unidos e China (DEMARCHI, 2011).

A secagem dos produtos agrícolas é o processo mais utilizado para garantir sua qualidade e duração após a colheita minimizando, assim, a quantidade de água do grão e por consequência a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento. A redução do teor de água dos grãos, além de provocar a contração dos grãos, influencia, diretamente, nas suas propriedades físicas, durante o processo de secagem. Assim, a determinação adequada das propriedades físicas é de fundamental importância na

otimização dos processos industriais e dimensionamento de equipamentos utilizados nas operações de colheita e pós-colheita. As mudanças volumétricas dos produtos, devido a sua redução do teor de água, são relatadas como sendo as principais causas das alterações das propriedades físicas de grãos agrícolas. Este mesmo comportamento foi observado por diversos autores para a secagem de diversos produtos: milho pipoca (RUFFATO et al., 1999), milho (BARYEH, 2002) e lentilha (AMIN et al., 2004).

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a esfericidade, circularidade, a área superficial e a área projetada dos grãos de milho ao longo do processo de secagem.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Pós-colheita da Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Sinop, com grãos de milho cultivar Pioneer P3646, procedentes do município de Sinop - MT, com teor de água inicial de aproximadamente 26 % base úmida (b.u.), sendo submetidos à secagem em estufa com ventilação de ar forçada em quatro condições de temperatura: 40, 60, 80 e 100 °C, que promoveram as umidades relativas dentro da estufa de 19,9; 9,8; 2,7 e 1,3%, respectivamente. A secagem prosseguiu até que os grãos atingissem o teor de água de aproximadamente 14% b.u., determinado em estufa a  $103 \pm 1$  °C, durante 72 h, em três repetições (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE, 2000).

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. A temperatura e umidade relativa do ar ambiente foram monitoradas por meio de um psicrômetro digital instalado no exterior da estufa e a temperatura do ar de secagem foi monitorada por um termômetro digital instalado no interior da estufa, sendo a umidade relativa no interior da estufa obtida por meio dos princípios básicos de psicrometria, utilizando o programa computacional GRAPSI.

Foram utilizados 15 grãos de milho individualizados em cápsulas de alumínio, e periodicamente os grãos foram medidos nas três posições (comprimento, largura e espessura) com o auxílio de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm. A redução do teor de água foi acompanhada por meio da pesagem de três bandejas com 300 g de produto mantido nas mesmas condições de secagem, às quais os 15 grãos foram submetidos.

A esfericidade ( $E_s$ ) e a circularidade ( $C_c$ ) dos grãos de milho na posição natural de repouso foram obtidas por meio das Equações 1 e 2, conforme sugerido por Moshenin (1986).

$$E_s = \left[ \frac{(A \cdot B \cdot C)^{\frac{1}{3}}}{A} \right] \cdot 100 \quad (\text{Equação 1})$$

$$C_c = \frac{B}{A} \cdot 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Em que: A: maior eixo do grão em mm; B: eixo médio do grão em mm; e C: menor eixo do grão em mm.

A área superficial (S), em mm<sup>2</sup>, foi calculada pelo modelo de Mohsenin (1986), realizando ajustes nas dimensões características do produto (Equações 3, 4 e 5). A área projetada ( $A_p$ ), em mm<sup>2</sup>, dos grãos de milho foi determinada pela Equação 6 (GONELI, 2008).

$$S = \frac{\pi \cdot b^2}{2} + \frac{\pi \cdot A \cdot b}{2 \cdot E} \cdot \text{sen}^{-1} E \quad (\text{Equação 3})$$

$$b = (B \cdot C)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Equação 4})$$

$$E = \sqrt{1 - \left( \frac{b}{A} \right)^2} \quad (\text{Equação 5})$$

$$A_p = \frac{\pi \cdot A \cdot B}{4} \quad (\text{Equação 6})$$

Em que: b: média geométrica entre o comprimento e a largura; E: excentricidade.

O experimento foi montado em esquema fatorial, 4x6, tendo como fatores as diferentes temperaturas (40, 60, 80 e 100 °C) e os teores de água (26, 23, 21, 19, 16 e 14% b.u.). Os dados foram analisados por meio de análise de variância e regressão, sendo os modelos selecionados de acordo com o coeficiente de determinação e pela significância da equação pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 estão apresentados os valores de teor de água dos grãos de milho submetidos às quatro condições de temperatura de secagem. Verifica-se que o tempo necessário para que os grãos de milho da cultivar P3646 atingissem o teor de água de  $14 \pm 0,35$  (% b.u.) foi de 6,92; 3,25; 2,25 e 1,17 h para as temperaturas de secagem de 40, 60, 80 e 100 °C, respectivamente. Desta forma, observa-se que o aumento da temperatura causa redução no tempo de secagem dos grãos de milho, evidenciando o aumento da taxa de secagem, fato observado por diversos pesquisadores para inúmeros produtos agrícolas (SIQUEIRA et al., 2012).

Os valores da esfericidade dos grãos submetidos a quatro condições de secagem podem ser observados na Figura 2. Nota-se que ocorre uma leve redução na esfericidade ao longo do processo de secagem, para todas as temperaturas estudadas. Jesus et al. (2013), avaliando a esfericidade de sementes de feijão da cultivar BRS Valente - Preto e BRS Pontal – Carioca ao longo da secagem, verificaram comportamento similar para a cultivar BRS Pontal. Este comportamento pode ser explicado pela menor contração do eixo maior (A), já que este parâmetro é inversamente proporcional à esfericidade. Verifica-se ainda que a esfericidade dos grãos de milho esteja entre 66 e 61%. Guedes et al. (2011), estudando as propriedades físicas dos grãos de soja utilizando o processamento digital de imagens,

observaram um comportamento diferente, pois com a redução do teor de água tem-se um aumento nos valores da esfericidade nos grãos de soja.

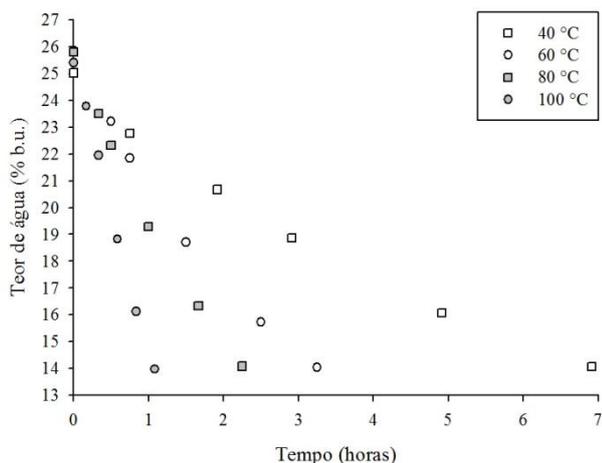


Figura 1. Teores de água dos grãos de milho da cultivar Pioneer P3646 ao longo do tempo de secagem para as diversas condições de temperatura.

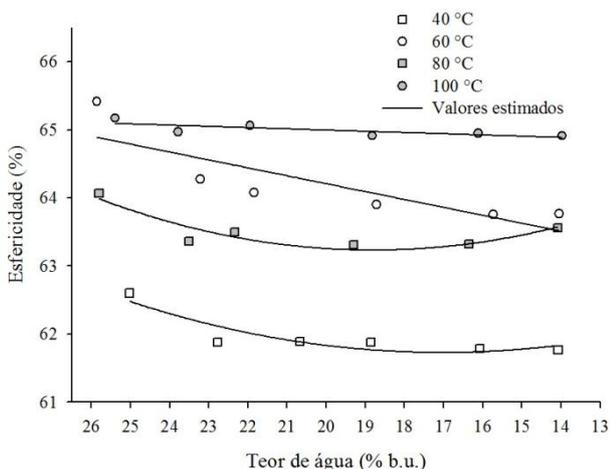


Figura 2. Esfericidade dos grãos de milho da cultivar Pioneer P3646 em função do teor de água para as diversas condições de secagem.

Na Figura 3 estão apresentados os valores da circularidade (%) dos grãos de milho da cultivar Pioneer P3646 ao longo da secagem em diversas temperaturas. Nota-se que a circularidade apresentou comportamento semelhante à esfericidade, ou seja, diminui com a redução do teor de água para todas as temperaturas estudadas. Resultados semelhantes foram observados por Siqueira et al. (2012), estudando a circularidade dos frutos de pinhão-manso submetidos a secagem em cinco temperatura (45, 60, 75, 90 e 105 °C). Este comportamento está relacionado com a maior redução no eixo médio (B) em relação ao eixo maior (A).

Na Figura 4 estão apresentados os valores da área superficial dos grãos de milho em diferentes teores de água. A área superficial dos grãos de milho da cultivar Pioneer P3646 diminuiu com a redução do teor de água. Nota-se que a área superficial dos grãos de milho foi influenciada pela temperatura do ar de secagem e que está diretamente relacionada com o teor de água. Siqueira et al. (2012) verificaram que a área superficial dos frutos de pinhão-manso diminuiu com a secagem e que seu

comportamento esta fortemente ligado ao do volume sendo influenciados, principalmente, pelo teor de água.

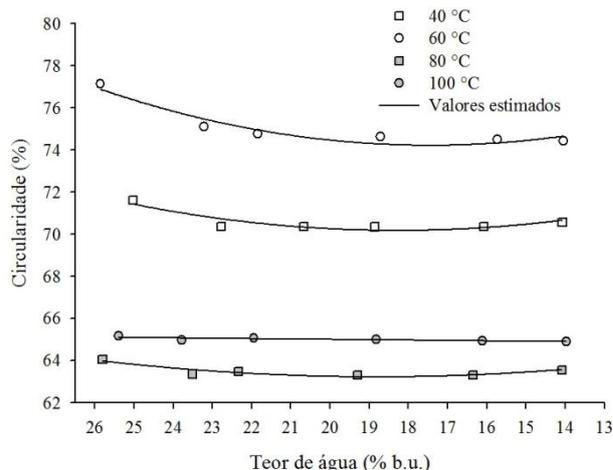


Figura 3. Circularidade dos grãos de milho da cultivar Pioneer P3646 em função do teor de água para as diversas condições de secagem.

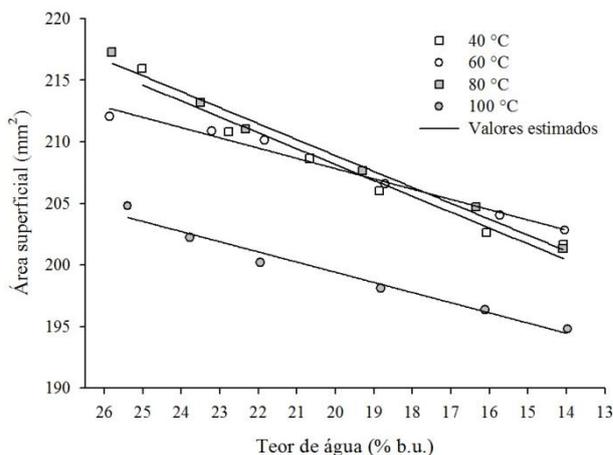


Figura 4. Área superficial dos grãos de milho da cultivar Pioneer P3646 em função do teor de água para as diversas condições de secagem.

Observa-se ainda na Figura 4, que os valores de área superficial dos grãos de milho estão entre 217,3 e 194,8 mm<sup>2</sup>. A área projetada dos grãos dos grãos de milho da cultivar P3646 submetidos a diferentes condições de ar é apresentada na Figura 5. Verifica-se que a área projetada dos grãos de milho da cultivar P3646 diminui com a redução do teor de água. Este fenômeno está relacionado com contração volumétrica que ocorre durante o processo de secagem, reduzindo as dimensões dos grãos de milho. Resultados semelhantes foram observados por Araujo et al. (2014), estudando a área projetada em grãos de amendoim submetidos a secagem.

Na Tabela 1, são apresentados os modelos ajustados aos dados experimentais da circularidade, esfericidade, áreas projetada e superficial dos grãos de milho da cultivar Pioneer P3646 em função do teor de água. Avaliando as equações para os dados de circularidade e esfericidade, verifica-se que apenas a temperatura de 60 °C foi significativo pelo teste de F. Já as equações para os dados de área projetada e superficial verifica-se que os modelos apresentaram alto grau de significância de

acordo com o teste F e apresentaram elevado valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), superior a 95%. Desta forma, os modelos utilizados descrevem de forma satisfatória o comportamento da área superficial e projetada analisadas em função do teor de água. O ajuste de modelos a essas avaliações vem sendo observado por diversos pesquisadores (GUEDES et al., 2011; SIQUEIRA et al., 2012; ARAUJO et al., 2014). Para a esfericidade e circularidade dos grãos de milho da cultivar P3646 ao longo da secagem, os modelos não foram significativos.

#### 4. CONCLUSÕES

A redução do teor de água e as condições de secagem alteraram a forma e o tamanho dos grãos de milho da cultivar P3646. A secagem reduz a esfericidade, circularidade, área projetada e superficial dos grãos de milho, sendo possível determinar a área superficial e projetada por meio de equações lineares.

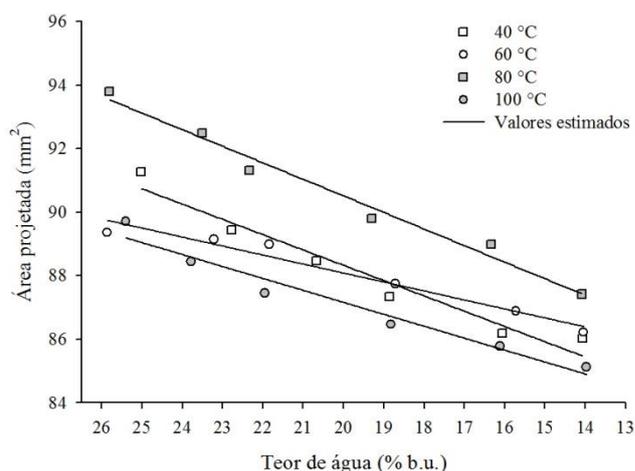


Figura 5. Área projetada dos grãos de milho da cultivar P3646 em função do teor de água para as diversas condições de secagem.

Tabela 1. Equações ajustadas aos valores da área projetada e área superficial em função do teor de água.

T (°C)	Esfericidade		Circularidade	
	Modelo	R <sup>2</sup> (%)	Modelo	R <sup>2</sup> (%)
40	$E_s=65,13-0,40T_a-0,02T_a^2$	82,0 <sup>ns</sup>	$C_c=79,41-1,01T_a+0,03T_a^2$	84,2 <sup>ns</sup>
60	$E_s=61,88+0,11T_a$	70,5*	$C_c=85,69-1,31T_a+0,04T_a^2$	91,7*
80	$E_s=68,66-0,58T_a-0,02T_a^2$	85,2 <sup>ns</sup>	$C_c=64,67+0,02T_a$	64,2 <sup>ns</sup>
100	$E_s=64,63+0,02T_a$	60,8 <sup>ns</sup>	$C_c=68,66-0,58T_a+0,02T_a^2$	85,2 <sup>ns</sup>
T (°C)	Área Projetada		Área Superficial	
	Modelo	R <sup>2</sup> (%)	Modelo	R <sup>2</sup> (%)
40	$A_p=78,70+0,48T_a$	95,5**	$A_s=182,38+1,29T_a$	96,7**
60	$A_p=82,43+0,28T_a$	95,9**	$A_s=191,16+0,83T_a$	98,3**
80	$A_p=80,08+0,52T_a$	98,1**	$A_s=183,04+1,29T_a$	98,8**
100	$A_p=79,63+0,38T_a$	95,9**	$A_s=182,92+0,83T_a$	97,2**

\*\*Significativa a 1% de probabilidade, pelo teste de F. \*Significativa a 5% de probabilidade, pelo teste de F. <sup>ns</sup>Não Significativo, pelo teste de F

#### 5. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (ASAE). **Moisture measurement - Unground grain and seeds**. St. Joseph: ASAE, 2000. 563p.

AMIN, M. N. et al. Effects of moisture content on some physical properties of lentil seeds. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 65, n. 1, p. 83-87, jan. 2004.

ARAUJO, W. D. et al. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.3, p.279-286, set./dez. 2014.

BARYEH, E. A.; MANGOPE, B. K. Some physical properties of QP-38 variety pigeon pea. **Journal of Food Engineering**, Essex, v.51, n.1, p. 39-46, jan. 2002.

DEMARCHI, M. **Análise da conjuntura agropecuária, safra 2011/2012**. Paraná: SEAB, 2011. 14p.

FANCELLI, A. L.; LIMA, U. A. **Milho: produção, pré-processamento e transformação agroindustrial**. São Paulo: FEALQ, 1982. 112p.

GONELI, A. L. D. et al. Propriedades físicas dos frutos de mamona durante a secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.33, n.2, p.148-155, jul. 2008.

GUEDES, M. A. et al. Caracterização física de grãos de soja utilizando processamento digital de imagens. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.13, n.2, p.277-292, jul./dez. 2011.

JESUS, F. F. et al. Propriedades físicas de sementes de feijão em função de teores de água. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.21, n.1, p.09-18, jan./mar. 2013.

MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.

RUFFATO, S. et al. Influência do processo de secagem sobre a massa específica aparente, massa específica unitária e porosidade de milho pipoca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.45-48, jan./abr. 1999.

SIQUEIRA, V. C. et al. Forma e tamanho dos frutos de pinhão-mansão durante a secagem em cinco condições de ar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.8, p.864-870, ago. 2012.