

**Metodologias para determinação de massa específica de grãos****Methods for grains density determination****Fernando Mendes Botelho<sup>1</sup>, Bruna Maria Eziqiel Marques de Faria<sup>1</sup>, Sílvia de Carvalho Campos Botelho<sup>2</sup>, Solenir Ruffato, Roberta Nogueira Martins<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) – campus de Sinop. Av. Alexandre Ferronato, 1200 - St. Industrial, 78.557-267- Sinop, MT – Brasil. fernando\_eaa@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Embrapa Agrossilvipastoril

Recebido em:16/04/2018

Aceito em:22/05/2018

**Resumo:** A massa específica é um dos principais índices qualitativos dos grãos e essa propriedade é influenciada por fatores como teor de impurezas, variedade e teor de água. Assim, objetivou-se com este trabalho verificar se a metodologia empregada para determinar a massa específica pode ser apontada como uma fonte de variação dos resultados dessa propriedade. Foram utilizados grãos de: arroz (em casca e beneficiado), feijão, girassol, milho e soja. As metodologias utilizadas para a determinação da massa específica aparente foram: recipiente de 1 L com índice de esbeltez igual a 1, balança de peso hectolitro (¼ L) e complementação de volume em proveta. Para a massa específica unitária os métodos foram: complementação de volume em proveta, indireto, diferença de volume (bureta), atribuição de forma geométrica, empuxo, complementação de volume em balão volumétrico e teor dos constituintes. Verificou-se, de modo geral, que há diferenças no valor experimental tanto da massa específica aparente quanto para a massa específica unitária de acordo com a metodologia empregada. A forma e tamanho dos grãos aliado ao volume útil disponível do recipiente, para o caso da massa específica aparente, são fatores que influenciam o resultado.

**Palavras-chave:** propriedades físicas, volume de grãos, peso hectolitro, massa específica aparente, massa específica unitária

**Abstract:** The density is a major qualitative index of grains and this property is influenced by factors as impurity, variety and moisture content. Therefore, the aim of this work was verify if the methodology employed to determine the density can be pointed as a source of results variation of this property. Were used grains: rice (paddy and milled), bean, sunflower, maize and soybean. The methodologies used for the determination of bulk density were: container of 1 L with slenderness index equal to 1, hectoliter balance (¼ L) and beaker volume complementation. For true density the methods were: beaker volume complementation, indirect, volume difference (burette), assignment of geometric shape, buoyancy, volume complementation in a volumetric flask, and by the proximate composition. It was verified, generally, that there are differences in experimental values for both bulk density and true density according to employed methodology. The shape and size of grains, associate to the available useful volume of container, for the case of bulk density, are factors that have influence in results.

**Keywords:** Physical properties, grain volume, hectoliter weight, bulk density, real density

**INTRODUÇÃO**

Produtos agrícolas como arroz, milho, soja e feijão são produzidos e consumidos em larga escala em todo o mundo, principalmente em função de seu valor alimentício. A utilização desses grãos em grandes quantidades é possível desde que sejam empregados esforços para sua correta conservação, sendo necessário, para isso, que sejam conhecidas

suas peculiaridades químicas e físicas (Santos et al., 2012).

O estudo das propriedades físicas, aerodinâmicas e mecânicas são essenciais para o dimensionamento de máquinas de processamento e das estruturas de armazenamento (Khan et al., 2017) e para o estabelecimento de padrões de qualidade e comercialização. Além disso, o conhecimento das propriedades físicas e dos



fatores que as influenciam é indispensável para o entendimento dos fenômenos físicos relacionados à transferência de calor e massa, que frequentemente ocorrem nas operações de secagem, aeração, resfriamento e armazenamento (Botelho et al., 2016).

Dentre as propriedades físicas, uma das mais importantes é a massa específica. A massa específica é uma propriedade intensiva de grãos e sementes que por definição, é a razão entre a massa e o volume. Assim, se esta relação for estabelecida para apenas um grão, a massa específica determinada é dita unitária ou real. Se esta relação for estabelecida para uma parcela de grãos (massa de grãos) naturalmente arranjados, tem-se a massa específica aparente.

A massa específica é uma propriedade que assume elevada importância para efeito de comercialização de determinados tipos de grãos pois os preços praticados levam em conta esta característica como um indicativo de qualidade, como é o caso da cevada e do trigo (Corrêa et al., 2006).

Assim como a maioria das propriedades físicas de grãos e sementes, o teor de água é o fator que exerce maior influência na massa específica tanto unitária quanto aparente e é por isso a fonte de variação mais estudada dessa propriedade (Martins et al., 2017; Khan et al., 2017; Araújo et al., 2014). Todavia, por ser uma propriedade que frequente associada à qualidade de um lote de grãos variáveis como tratamentos fitotécnicos, fatores edafoclimáticos e varietais, ataque de insetos, presença de impurezas, dentre outros, que podem influenciar a massa específica também são importantes de serem estudados.

Várias são as metodologias utilizadas para se determinar as massas específicas aparente e unitária. Para a massa específica unitária, a diferença básica entre elas, é a forma como se determina o volume do grão, sendo utilizado, por exemplo: atribuição de uma forma geométrica de um sólido de volume conhecido, complementação de volume em recipiente de volume conhecido, uso do princípio do empuxo, interdependência entre massa específica e porosidade e deslocamento de fluido (Mohsenin, 1986, Ruffato et al., 1999, Figueiredo et al., 2011, Araújo et al., 2014), além daquelas em que a determinação é estimada (Resende et al., 2008). No caso da massa específica aparente, o diferencial básico é a forma e/ou tipo de recipiente utilizado para quantificar o volume da

massa de grãos, sendo usados desde vidrarias à recipientes, comerciais ou não, cujos volumes normalmente variam de 250 a 1000 mL (Figueiredo et al., 2011; Santos et al., 2012; Aviara et al., 2013; Araujo et al., 2014; Baraviera et al., 2014). Essa diversidade de propostas para se determinar o volume é compreensível, uma vez que produtos agrícolas tem formatos bastante variados.

Assim, objetivou-se determinar as massas específicas aparente e unitária de grãos de arroz (em casca e beneficiado), feijão, girassol, soja e milho por diferentes metodologias e verificar possíveis diferenças entre os valores experimentais obtidos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Qualidade e Pós-colheita da Universidade Federal do Mato Grosso, Campus Sinop, Sinop/MT.

Foram utilizadas amostras de cinco espécies de grãos: arroz (em casca e beneficiado), feijão (carioca), girassol, milho e soja, com teores de água em base úmida, de 10,96; 9,94; 11,49; 7,91; 10,93; 7,88%, respectivamente. A escolha destes produtos se deu pela diversidade de formas e composição química entre eles e pela viabilidade de execução dos experimentos. Todas as amostras utilizadas foram obtidas por meio de doações de unidades armazenadoras locais, sendo os produtos já processados (limpos e secos) coletados nos transportadores no momento do carregamento ou diretamente nos silos ou graneleiros. As amostras, foram submetidas à limpeza manual, retirando-se toda a impureza (ainda presente) e materiais estranhos, além de grãos quebrados, determinando-se, em seguida, o teor de água. O volume de grãos que foi utilizado no experimento correspondia, em média, a uma massa de 8 kg de grãos, independentemente da espécie.

O teor de água foi determinado por meio do método gravimétrico em estufa, a  $105 \pm 1$  °C, durante 24 h, com três repetições de 30 g (Brasil, 2009).

Após estes procedimentos, as massas específicas aparente e unitária foram determinadas por diferentes metodologias descritas na literatura que constituíram os tratamentos.

## **Métodos para Determinação da Massa Específica Aparente**

**Método (I) – Recipiente de 1 L com índice de esbeltez igual a 1**

Consiste na utilização de um recipiente cilíndrico com volume de 1 L, cujo índice de esbeltez (relação entre o diâmetro e a altura) é igual a 1 e uma balança analítica. Para garantir que os grãos se acomodassem naturalmente no cilindro e que ocorresse homogeneidade entre as repetições, utilizou-se um funil preso a um suporte metálico, cuja descarga foi posicionada no centro do recipiente. A altura de queda do produto da saída do funil até o recipiente foi de 25 cm. Após liberada a abertura do funil, os grãos preenchem o cilindro até transbordar, sendo o excedente retirado, nivelando-se o produto com a borda com uma régua. A massa de grãos contida no recipiente foi pesada em balança com resolução de 0,01 g. Para cada espécie, foram realizadas cinco repetições.

Para esta metodologia, é importante ressaltar que não existe padronização do recipiente utilizado para determinação desta propriedade quanto às suas dimensões e volume, existindo trabalhos com descrição similar (Araujo et al., 2014) e diferente (Jesus et al., 2013).

**Método (II) - Balança de Peso Hectolitro (¼ L)**

A massa específica aparente foi determinada por meio de uma balança comercial de peso hectolitro da marca Dalle Molle®, que se baseia na determinação da massa de grãos contida num recipiente de volume de ¼ L. Para cada espécie foram realizadas cinco repetições.

**Método (III) - Complementação de Volume em Proveta**

Amostras de grãos foram colocadas em proveta graduada de volume igual a 100 mL, sendo a massa específica aparente determinada pela relação da massa de grãos pelo volume da proveta. Este procedimento experimental possibilita determinar, além da massa específica aparente, a porosidade da massa de grãos, a qual é utilizada para determinar indiretamente a massa específica unitária.

Foi adicionado tolueno na massa de grãos, por meio de uma bureta digital, até a marca da proveta de 100 mL, determinando-se assim o volume do espaço intergranular da amostra. Sabendo-se que a porosidade é a relação entre o volume de vazios e o volume total ocupado por uma massa de grãos, determinou-se então a

porosidade intergranular pela Equação 1 (Santos et al., 2012).

$$\varepsilon (\%) = 100 \left[ \frac{V_t}{V_p} \right] \quad (1)$$

em que:

$\varepsilon$  - porosidade, adimensional;

$V_t$  - volume de tolueno inserido na massa de grãos, m<sup>3</sup>; e

$V_p$  - volume da massa de grãos lido na proveta, m<sup>3</sup>.

Para cada espécie avaliada, o procedimento descrito foi realizado cinco vezes.

**Métodos para Determinação da Massa Específica Unitária ou Real****Método (I) - Complementação de Volume em Proveta**

A metodologia utilizada para determinação da massa específica aparente e da porosidade da massa de grãos, também possibilita a determinação da massa específica unitária. Pela descrição do método, o volume dos grãos pode ser determinado pela diferença entre o volume da proveta e o volume de tolueno inserido na massa de grãos, conforme apresentado na Equação 2.

$$\rho_u = \frac{m_g}{V_g} = \frac{m_g}{V_p - V_t} \quad (2)$$

em que:

$\rho_u$  - massa específica unitária, kg m<sup>-3</sup>;

$m_g$  - massa de grãos, kg; e

$V_g$  - volume dos grãos; m<sup>3</sup>

**Método (II) - Indireto**

Relaciona a interdependência entre a porosidade, a massa específica aparente e a massa específica unitária, de acordo com a Equação 3 (Mohsenin, 1986).

$$\rho_u = \left[ \frac{\rho_{ap}}{\varepsilon} \right] \quad (3)$$

em que:

$\rho_{ap}$  - massa específica aparente, kg m<sup>-3</sup>.

**Método (III) - Diferença de Volume ou Método do Deslocamento de Fluido**

A massa específica unitária dos grãos foi determinada utilizando-se a metodologia de diferença de volume em uma bureta graduada de 50 mL. Para tanto um volume conhecido de óleo vegetal foi colocado na bureta. Em seguida, uma

amostra de 25 grãos previamente pesada, foi colocada dentro da bureta, sendo o volume destes grãos determinado pela diferença de volume de óleo deslocado. Utilizou-se óleo vegetal pela baixa absorção deste fluido pela amostra (Moreira et al., 1985) e pela sua atoxicidade. A massa específica unitária foi, então, obtida pela Equação 4, em cinco repetições.

$$\rho_u = \left[ \frac{m_g}{V_g} \right] = \left[ \frac{m_g}{V_i - V_f} \right] \quad (4)$$

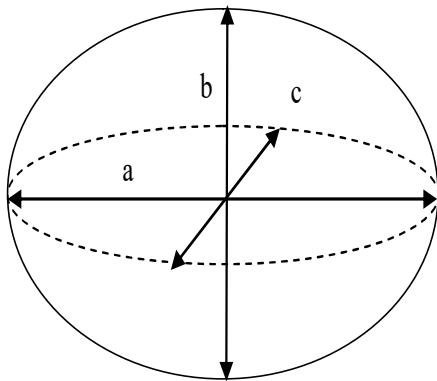
em que:

$V_i$  - volume de óleo inicial na bureta,  $m^3$ ; e

$V_f$  - volume de óleo final na bureta,  $m^3$ .

#### Método (IV) - Atribuição de Forma Geométrica

Este método consiste em aproximar a forma geométrica do grão a uma forma geométrica conhecida. Considerou-se, inicialmente, que as espécies de grãos analisados possuíam a forma geométrica de um esferoide tri-axial escaleno, possibilitando assim a obtenção do volume a partir da determinação das dimensões características, conforme esquematizado na Figura 1. Para obtenção das dimensões características utilizou-se um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm.



**Figura 1.** Desenho esquemático de um grão, em que: a, b, e c são a maior, a intermediária e a menor dimensão característica, respectivamente.

Após as medições calculou-se o volume dos grãos ( $V_g$ ) para cada espécie, baseando-se na Equação 5, proposta por Mohsenin (1986).

$$V_g = \frac{\pi (a b c)}{6} \quad (5)$$

em que:

a - maior dimensão característica dos grãos, m;

b - dimensão característica intermediária dos

grãos, m; e

c - menor dimensão característica dos grãos, m.

Após a determinação do volume, os grãos foram pesados utilizando-se uma balança com resolução de 0,001 g e a massa específica determinada. Foram realizadas cinco repetições (cada uma de 25 grãos) para cada espécie.

#### Método (V) - Empuxo

O método do empuxo baseia-se no princípio de Arquimedes, em que todo corpo imerso em um fluido, sofre a ação de uma força vertical, para cima. Essa força, chamada de empuxo, possui magnitude igual à do peso do fluido deslocado. Se a massa específica do fluido é conhecida, é possível determinar o volume deslocado pelo grão a partir da determinação da massa deslocada. Neste trabalho, mercúrio foi o fluido utilizado.

Assim, para determinar a massa de mercúrio deslocada, grãos de cada espécie foram completamente imersos em um Becker contendo mercúrio, posicionado sobre uma balança com resolução de 0,01 g.

Determinada a massa do grão e a variação de massa no fluido, a massa específica dos grãos foi determinada por meio da Equação 6. Foram realizadas dez repetições para cada espécie.

$$\rho_u = \frac{m_g \rho_{Hg}}{\Delta m_{Hg}} \quad (6)$$

em que:

$\rho_{Hg}$  - massa específica do mercúrio,  $kg\ m^{-3}$ ; e

$\Delta m_{Hg}$  - variação de massa de mercúrio após a imersão da amostra, kg.

#### Método (VI) - Complementação de volume em balão volumétrico

O método consiste em colocar uma determinada quantidade de produto em um balão volumétrico e medir, utilizando um fluido inerte (que não é absorvido pelo grão), a diferença necessária para preencher o volume do balão.

Previamente, foram pesados em uma balança analítica com resolução de 0,01 g, 50 grãos de arroz beneficiado, 10 grãos de feijão e de milho, e 30 grãos de soja, em cada repetição. O motivo de se usar quantidades diferentes de grãos foi o de ocupar volumes semelhantes no balão para cada espécie avaliada. Para a complementação de volume no balão volumétrico, utilizou-se como fluido o tolueno, que foi medido por meio de uma bureta digital, até a marca do balão volumétrico ( $10 \pm 0,04\ mL$ ).

O volume dos grãos foi então determinado pela diferença de volume do balão volumétrico e da quantidade de tolueno adicionada. Determinado o volume dos grãos, obteve-se a massa específica unitária de acordo com a Equação 7.

$$\rho_u = \left[ \frac{m_g}{V_g} \right] = \left[ \frac{m_g}{V_b - V_{tb}} \right] \quad (7)$$

em que:

$V_b$  - volume do balão volumétrico,  $m^3$ ; e

$V_{tb}$  - volume de tolueno utilizado para completar o volume do balão volumétrico,  $m^3$ .

Foram realizadas dez repetições para cada produto testado.

### Método (VII) - Determinação Indireta pelo Teor de Constituintes

A massa específica unitária ( $\rho_u$ ) foi obtida pelo cálculo de composição química média dos grãos, adaptando-se a metodologia descrita por Lewis (1993), de acordo com a Equação 8:

$$\rho_u = \frac{1 + U^*}{\left( \frac{U^*}{\rho_{ag}} \right) + \left( \frac{\omega_1}{\rho_1} \right) + \dots + \left( \frac{\omega_n}{\rho_n} \right)} \quad (8)$$

em que:

$\rho_{ag}$  - massa específica da água,  $1000 \text{ kg m}^{-3}$ ;

$U^*$  - teor de água do produto, decimal (b.s.);

$\rho_1 \dots \rho_n$  - massa específica dos constituintes de 1 a n,  $\text{kg m}^{-3}$ ; e

$\omega_1 \dots \omega_n$  - teores dos constituintes do produto de 1 a n, decimal (b.s).

Os teores médios dos constituintes dos grãos utilizados estão descritos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Teor médio de constituintes de grãos de arroz beneficiado, girassol, feijão, milho e soja

Espécies	Composição média (%)				
	Arroz beneficiado	Girassol	Feijão	Milho	Soja
Água	12	6,4	12	13	10
Matérias proteicas	8	16,7	22	10	35
Matérias graxas	2	38,2	1,5	5	20
Carboidratos	76	35,9	56	68,5	25
Fibras	1	-	4,5	2	5
Cinzas	1	2,8	4	1,5	5

Fonte: Puzzi (2000) e Oliveira et al. (2007), com adaptações.

### Análise Estatística

O experimento foi conduzido num delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, sendo avaliados três tratamentos para a massa específica aparente e sete para a massa específica unitária para cada produto. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância seguidos de teste de comparação de médias, utilizando-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Massa Específica Aparente ( $\rho_{ap}$ )

As médias de  $\rho_{ap}$  dos grãos de arroz em casca e beneficiado obtidas pelas metodologias

balança de peso hectolitro ( $\frac{1}{4}$  L) e recipiente de 1 L com índice de esbeltez igual a 1 não apresentaram diferenças significativas entre si, mas diferiram do valor obtido pelo método da complementação de volume em proveta (Tabela 2). Essa diferença possivelmente se deve à menor quantidade de produto utilizada na proveta em relação aos demais e à menor precisão em medir o volume dos grãos por este método.

Pelo método do recipiente de 1 L com índice de esbeltez igual a 1, os resultados obtidos  $518,2 \text{ kg m}^{-3}$  (arroz em casca) e  $811,0 \text{ kg m}^{-3}$  (arroz beneficiado) aproximam-se dos de Silva et al. (2003), que observaram  $\rho_{ap}$  de 805,12; 795,22 e  $780,53 \text{ kg m}^{-3}$  para o arroz beneficiado (com 12% de teor de água) e de 548,47; 518,06 e  $508,98 \text{ kg}$



m<sup>-3</sup> para o arroz em casca, para o mesmo teor de água, para três variedades. Jouki e Khazaei (2012) obtiveram valores de massa específica de arroz em

casca de 541,0 kg m<sup>-3</sup>, utilizando-se uma balança de peso hectolitro (¼ L), superior ao observado neste trabalho (525,8 kg m<sup>-3</sup>).

**Tabela 2.** Valores observados da massa específica aparente de grãos de arroz, em casca e beneficiado, girassol, feijão, milho e soja, obtidos por diferentes metodologias

Metodologias*	Massa específica aparente (kg m <sup>-3</sup> )					
	Arroz em casca	Arroz beneficiado	Girassol	Feijão	Milho	Soja
I	518,2 a	811,0 a	306,3 <sup>ns</sup>	886,8 b	807,2 b	744,4 c
II	525,8 a	811,3 a	300,2	820,5 a	751,6 a	713,8 a
III	551,0 b	839,0 b	-	814,4 a	745,9 a	723,7 b
CV (%)	2,7	1,7	2,0	0,7	0,5	0,5

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> - Não significativo; CV - coeficiente de variação.

(\*) I – Recipiente de 1L com índice de esbeltez igual a 1; II- Balança de peso hectolitro (¼ L); III- Complementação do volume em proveta.

Para o girassol não foram observadas diferenças significativas na  $\rho_{ap}$  obtidas pelos métodos balança de peso hectolitro (¼ L) e recipiente de 1 L com índice de esbeltez igual a 1, indicando que assim como ocorreu para o arroz, esses métodos são equivalentes para obtenção da massa específica aparente do girassol.

Uma vez que os grãos de girassol não imergiram no tolueno, não foi possível determinar a massa específica aparente pelo método da complementação de volume em proveta.

Para o feijão e o milho, as médias de massa específica aparente pelos métodos da complementação de volume em proveta e da balança de peso hectolitro (¼ L) não diferiram estatisticamente, mas foram inferiores àquela observada pelo método de recipiente de 1 L com índice de esbeltez igual a 1.

A balança de peso hectolitro utiliza um recipiente com elevado índice de esbeltez [comprimento (14,5 cm) e diâmetro (5,6 cm)], assim como a proveta. Desta forma, quanto menor o tamanho do grão, melhor eles se arranjam no recipiente, sofrendo efeito da superfície do recipiente (efeito parede) mais reduzido e apresentando resultados semelhantes de  $\rho_{ap}$ , o que não ocorre para grãos de maior tamanho, proporcionando diferenças significativas na magnitude da massa específica. Silva (2003) observou diferenças na massa específica aparente

de grãos de café ao comparar os resultados dessa propriedade obtidas por duas metodologias e também atribuiu às diferenças encontradas ao efeito da parede e às proporções dos recipientes no arranjo dos grãos.

Na literatura várias metodologias que se diferenciam principalmente pelo volume do recipiente, são utilizadas para determinar a massa específica aparente. Para o feijão vermelho, Resende et al. (2008) utilizaram o método do recipiente de 1 L com índice de esbeltez igual a 1. Cetin (2007) utilizou um recipiente cilíndrico de 500 mL para sementes de feijão. Jesus et al. (2013) utilizaram uma balança de massa específica comercial (Motomco®), com cilindro de 222,8 mL de volume, para feijão preto e carioca.

Notou-se que as médias da  $\rho_{ap}$  dos grãos de soja obtidas pelas metodologias utilizadas diferiram estatisticamente entre si. Os valores obtidos pela balança de peso hectolitro (¼ L) e recipiente de 1 L com índice de esbeltez igual a 1 foram a menor e maior média, respectivamente. Esse resultado corrobora os observados para milho e feijão, quanto ao tamanho do grão, ou seja, quanto maior o tamanho da partícula, maior deve ser o recipiente utilizado para a determinação da  $\rho_{ap}$ , favorecendo assim o arranjo natural entre os grãos e minimizando o efeito do arranjo entre o grão e a superfície do recipiente.

Diante dos resultados encontrados, verificou-se que a metodologia empregada para se



determinar a  $\rho_{ap}$ , constitui uma fonte importante de variação dessa propriedade e que este fator deve ser levado em consideração ao utilizar a massa específica aparente como índice em transações comerciais, como base de dimensionamento de estruturas ou mesmo para comparação qualitativa.

### Massa Específica Real ou Unitária ( $\rho_u$ )

Não foi possível determinar a  $\rho_u$  para o arroz em casca pelos métodos diferença de volume e complementação de volume em balão volumétrico, pois nem todos os grãos imergiram

naturalmente nos fluidos; além do método de teor dos constituintes, pois não foi possível a quantificação ou sua obtenção experimental. Para as demais metodologias, notou-se que não houve diferenças significativas entre os valores da massa  $\rho_u$  (Tabela 3). Os resultados encontrados evidenciaram que, as metodologias se equivaleram, ou seja, que a forma de obtenção da  $\rho_u$  não constitui uma fonte de variação importante para o arroz em casca. Neste caso, a variabilidade da propriedade depende de outros fatores, como a variedade (Silva et al., 2003) ou o teor de água (Kibar et al., 2010).

**Tabela 3.** Valores observados da massa específica unitária de grãos de arroz, em casca e beneficiado, girassol, feijão, milho e soja, obtidos por diferentes metodologias

Metodologias*	Massa específica unitária (kg m <sup>-3</sup> )					
	Arroz em casca	Arroz beneficiado	Girassol	Feijão	Milho	Soja
I	1.034,3 <sup>ns</sup>	1.426,8 cd	—	1.275,9 abc	1.242,3 b	1.182,6 bc
II	1.088,8 <sup>-</sup>	1.369,6 c	—	1.389,3 abc	1.344,4 bc	1.216,4 c
III	—	1.499,9 d	—	1.286,9 abc	1.245,5b	1.204,4c
IV	1.135,8 <sup>-</sup>	1.676,2 e	470,7 a	1.483,0 c	1.719,2 d	1.180,6 bc
V	1.157,4	1.090,4 a	531,1 a	1.240,8 ab	1.234,3 b	1.072,6 a
VI	—	1.227,4 b	—	1.163,0 a	1.036,2 a	1.080,2 ab
VII	—	1.446,6 cd	1173,9 b	1.424,2 bc	1.406,6 c	1.405,6 d
CV (%)	9,0	4,3	5,9	9,4	6,2	4,8

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> - Não significativo; CV - coeficiente de variação.

\*Metodologias - I- Complementação de volume em Proveta; II- Indireto; III- Diferença de volume; IV- Atribuição de forma geométrica; V- Empuxo; VI- Complementação de volume em Balão Volumétrico; VII- Determinação indireta pelo teor de constituintes.

Para o arroz beneficiado notou-se que os resultados encontrados pelos métodos empuxo, complementação de volume em balão volumétrico e atribuição de forma geométrica diferiram estatisticamente dos demais. Os métodos do empuxo e da atribuição de forma geométrica apresentaram a menor (1.090,4 kg m<sup>-3</sup>) e a maior (1.676,2 kg m<sup>-3</sup>) média de  $\rho_u$ , respectivamente, dentre todos os testados. Esta diferença deve ser considerada pelo fato de a  $\rho_u$  ser uma propriedade

utilizada, principalmente, para avaliação qualitativa. A diferença entre os valores de  $\rho_u$  encontrados para esse e os demais produtos é atribuída, basicamente, à capacidade ou facilidade de cada método para se obter o volume dos grãos de cada espécie, já que a obtenção da massa é facilmente obtida. A formação de pequenas bolhas de ar na superfície dos grãos quando imergidos no óleo ou tolueno, capacidade de leitura de volume do operador em utensílios laboratoriais assim como a resolução dos mesmos, aproximações



inadequadas de forma, composição química pouco detalhada, tamanho da partícula e presença de grãos fisiologicamente danificados são alguns dos erros experimentais associados aos métodos em questão que podem contribuir para divergências nas leituras do volume dos grãos e conseqüentemente na massa específica unitária.

Observou-se, ainda, que a metodologia utilizada para a determinação da  $\rho_u$  de arroz beneficiado pode ser considerada uma fonte de variabilidade importante entre os dados encontrados na literatura, uma vez que foi possível agrupar no máximo três metodologias que se mostraram estatisticamente semelhantes para a determinação da massa específica unitária.

Comparativamente, pode-se dizer ainda que as metodologias foram coerentes em determinar a  $\rho_u$  do arroz, sendo sempre maiores quando este produto se encontra beneficiado. Durante a secagem, o grão e a casca de arroz se contraem em proporções diferenciadas, ou seja, ocorre uma variação de massa maior que volume (Pandiselvam et al., 2015, Pandiselvam e Venkatachalam, 2014, Zareiforoush et al., 2009), e, conseqüentemente, fazendo com que a massa específica seja menor para o produto não beneficiado (Razavi e Farahmandfar, 2008; Corrêa et al., 2007).

Não foi possível determinar a  $\rho_u$  para o girassol por nenhum dos métodos que envolvem imersão natural em fluido (tolueno e óleo vegetal), pois os grãos não imergiram. Dentre os métodos que possibilitaram a determinação da  $\rho_u$ , o do empuxo e da atribuição de forma geométrica não diferiram entre si.

Salienta-se que os métodos por imersão podem ser utilizados para se determinar a  $\rho_u$  de qualquer partícula, desde que se utilize um fluido de menor massa específica que o produto avaliado. Além disso, fatores como teor de água do produto ou variedade podem possibilitar o uso desta metodologia com os fluidos utilizados neste trabalho (Bhise et al., 2013; Seifi e Alimardani, 2010).

O método que se baseia na determinação da  $\rho_u$  por meio do teor de constituintes apresentou a maior média, sendo diferente estatisticamente quando comparado às demais metodologias. Este resultado, entretanto, não apresenta confiabilidade, visto que a massa  $\rho_u$  do girassol assume, de fato, valores próximos àquelas encontradas pelos métodos do empuxo e atribuição de forma

geométrica, do contrário, os grãos teriam imergido no óleo ou no tolueno, que possuem massas específicas em torno de  $890 \text{ kg m}^{-3}$  e  $870 \text{ kg m}^{-3}$ , respectivamente. Para Resende et al. (2008), esse método incorpora valores da composição química média do produto podendo ocorrer assim discrepâncias nos resultados.

Verificou-se que, de modo geral os resultados de  $\rho_u$  para o feijão foram homogêneos entre os métodos testados. Notou-se que para qualquer método houve resultado igual, estatisticamente, a pelo menos outros quatro métodos, dentre os avaliados. Isso evidencia que, para o feijão, houve coerência entre os valores das  $\rho_u$  obtidas pelas diferentes metodologias. Ainda assim, o método de determinação da massa específica unitária constitui uma fonte de variação importante e que deve ser considerada na comparação de resultados. Considerando, por exemplo, os valores extremos de  $\rho_u$  obtidos por atribuição de forma geométrica (maior valor) ou pela complementação de volume em balão volumétrico (menor valor), verificou-se uma variação total da  $\rho_u$  de  $320 \text{ kg m}^{-3}$ .

Resende et al. (2008) utilizaram o método indireto e de teor de constituinte para a determinação da massa específica unitária e verificaram que, independentemente do método utilizado, houve um aumento da massa específica unitária dos grãos de feijão com a redução do teor de água. Os valores encontrados por esses autores por meio do método indireto variaram de 1.468 a  $1.361 \text{ kg m}^{-3}$ , para teores de água entre 0,42 a 0,11 (decimal b.s). Os valores obtidos em função da composição química foram superiores àqueles obtidos pelo método indireto até o teor de água de, aproximadamente, 0,22 (decimal b.s), sendo que acima desse limite os valores das massas específicas foram subestimados.

O milho foi o produto em que se observou maior amplitude de valores de  $\rho_u$  (Tabela 3). As médias de massa específica unitária obtidas pelos métodos do empuxo, complementação de volume em proveta, diferença de volume (bureta) e indireto não diferiram entre si. Além disso, as médias obtidas pelos métodos de complementação de volume em balão volumétrico ( $1.036,2 \text{ kg m}^{-3}$ ) e atribuição de forma geométrica ( $1.719,2 \text{ kg m}^{-3}$ ) diferiram entre si e das demais, resultando em uma amplitude total de  $683,0 \text{ kg m}^{-3}$ .

Ficou evidente, comparando os resultados encontrados do método da atribuição de forma





geométrica com aqueles obtidos pelas demais metodologias testadas, e com resultados de outros trabalhos, como o de Sobukola et al. (2013), que essa metodologia não se mostrou adequada e confiável, para a determinação da massa específica unitária de grãos de milho. De modo geral, grãos de milho apresentam forma bastante variada, o que torna difícil atribuir uma forma geométrica que atenda a todos os grãos de uma amostra resultando em um erro considerável.

Salienta-se que o fato de os resultados encontrados para a massa específica unitária de milho pelo método da atribuição de forma não ser confiável não inviabiliza o método para o milho. Neste caso, a separação prévia da amostra pela sua forma utilizando peneiras ou pelo uso de imagens em programas computacionais específicos pode ser usada para melhor caracterização física dos grãos e, conseqüentemente, obtenção de resultados mais precisos para essa propriedade física.

Notou-se que, devido à homogeneidade dos grãos de soja quanto à forma e tamanho, as médias de  $\rho_u$  obtidas pelos métodos da atribuição de forma geométrica e complementação de volume em proveta, diferiram apenas daquelas obtidas pelos métodos do empuxo e pelo teor de água dos constituintes (Tabela 3).

O método que se baseia no teor dos constituintes foi o que apresentou os maiores valores de  $\rho_u$ . Todavia, Corrêa et al. (2006) obtiveram valores em função do teor do constituinte inferiores aos observados pelo método indireto, para maiores teores de água. Isso indica que os resultados obtidos ainda podem ser influenciados por alterações de acordo com a variedade, tratamentos fitotécnicos ou teor de água, por exemplo.

Diante disso, e baseando-se principalmente nos resultados observados para grãos de soja e de feijão, pode-se afirmar que quanto mais homogênea a amostra em relação às suas características físicas, maior é a similaridade entre os resultados de massa específica unitária, quando utilizadas metodologias diferentes. Entretanto, independentemente do produto estudado, a metodologia empregada para a obtenção da massa específica (unitária e aparente) se mostrou um fator importante a ser considerado devido à restrição de uso para alguns produtos e a variabilidade apresentada nos resultados. Essa observação é, certamente, um dos principais fatores para se considerar quando se deseja fazer uso desta

propriedade como critérios comerciais ou de comparação de resultados científicos.

## CONCLUSÕES

A metodologia utilizada para a obtenção da massa específica, aparente e unitária, pode ser considerada uma forma de variação experimental ou comercial dos valores dessa propriedade.

A forma e tamanho dos grãos, aliado ao volume útil disponível do recipiente, são fatores que influenciam a determinação da massa específica aparente.

Quanto mais homogêneo o produto em relação à sua forma e tamanho, mais homogêneos são os resultados encontrados para a determinação da massa específica unitária.

Métodos como complementação de volume em proveta, diferença de volume (bureta) e complementação de volume em balão volumétrico somente são recomendados para arroz em casca e girassol se for possível utilizar fluidos menos densos que esses grãos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; SOUZA, C. M. A.; GONÇALVES, A. A.; VILHASANTI, H. C. B. Propriedades físicas do amendoim durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 279-286, 2014.
- AVIARA, N. A.; POWER, P. P.; ABBAS, T. Moisture-dependent physical properties of *Moringa oleifera* seed relevant in bulk handling and mechanical processing. **Industrial Crops and Products**, v. 42, p. 96-104, 2013.
- BARAVIERA, C. M. C.; CANEPPELE, C.; DOURADO, L. G. A.; AGUERO, N. F. Avaliação de propriedades físicas de grãos de híbridos de milho. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, p. 291-297, 2014.
- BHISE, S.; KAUR, A.; RAMARATHINAM, M. R. Moisture Dependant Physical Properties of Sunflower Seed (Psh 569). **International Journal of Engineering and Science**, v. 2, n. 8, p. 23-27, 2013.
- BOTELHO, F. M.; CORRÊA, P. C.; BOTELHO, S. C. C.; ELIAS, G. A. V.; DINIZ, M. D. M. S.; OLIVEIRA, G. H. H. Propriedades físicas de frutos de *Coffea canephora* durante a secagem: determinação e modelagem. **Coffee Science**. v.11, p. 65-75, 2016.



BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNAD/CLAV, 2009. 398p.

CETIN, M. Physical properties of barbungia bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. 'Barbungia') seed. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 1, p. 353-358, 2007.

CORRÊA, P. C.; RIBEIRO, D. M.; RESENDE, O.; BOTELHO, F. M. Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 665-670, 2006.

CORRÊA, P. C.; SILVA F. S.; JAREN C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; ARANA, I. Physical and mechanical properties in rice processing. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 1, p. 137-142, 2007.

FIGUEIREDO, A. K.; BAÜMLER, E.; RICCOBENE, I. C.; NOLASCO, S. M. Moisture-dependent engineering properties of sunflower seeds with different structural characteristics. **Journal of Food Engineering**, 102, n. 1, p. 58-65, 2011.

JESUS, F. F.; SOUZA, R. T. G.; TEIXEIRA, G. C. S.; TEIXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A. Propriedades físicas de sementes de feijão em função de teores de água. **Engenharia na Agricultura**, v. 21, n. 1 p. 09-18, 2013.

JOUKI, M.; KHAZAEI, N. Some physical properties of rice seed (*Oryza sativa*). **Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology**, v. 4, n. 13, p. 1846-1849, 2012.

KHAN, K.; MOSES, S. C.; KUMAR, A.; KUMAR, D.; UPADHYAY, A. Physical properties of pigeon pea grains at different moisture content. **International Journal of Pure and Applied Bioscience**, v. 5, n. 2, p. 556-562, 2017.

KIBAR, H.; ÖZTÜRK, T.; ESEN, B. The effect of moisture content on physical and mechanical properties of rice (*Oryza sativa* L.). **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 3, p. 741-749, 2010.

LEWIS, M. J. **Propriedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado**. Zaragoza: Acribia, 1993. 494 p.

MARTINS, E. A. S.; GONELI, A. L. D.; HARTMANN FILHO, C. P.; MAUADI, M.; SIQUEIRA, V. C.; GONÇALVES, A. A. Physical properties of safflower grains. Part I: Geometric and gravimetric characteristics. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 5, p. 344-349, 2017.

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

MOREIRA, S. M. C.; CHAVES, M. A.; OLIVEIRA, L. M. Comparação da eficiência de líquidos na determinação da massa específica aparente de grãos agrícolas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 9, n. 1, p. 22-24, 1985.

OLIVEIRA, M. D. S.; MOTA, D. A.; BARBOSA, J. C.; STEIN, M.; BORGONOVI, F. Composição bromatológica e digestibilidade ruminal in vitro de concentrados contendo diferentes níveis de torta de girassol. **Ciência Animal Brasileira**, v. 8, p. 629-638, 2007.

PANDISELVAM, R.; THIRUPATHI, V. Important engineering properties of paddy. **Scientific Journal of Agricultural Engineering**, v. 39, n. 4, p. 73-83, 2014.

PANDISELVAM, R., THIRUPATHI, V.; MOHAN, S. Engineering properties of rice. **Scientific Journal of Agricultural Engineering**, v. 40, n. 3, p. 69-78, 2015.

PUZZI, D. **Abastecimento e Armazenamento de Grãos**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2000. 666 p.

RAZAVI, S. M. A.; FARAHMANDFAR, R. Effect of hulling and milling on the physical properties of rice grains. **International Agrophysics**, v. 22, n. 4, p. 353-359, 2008.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, D. M. Propriedades físicas do feijão durante a secagem: Determinação e modelagem. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 1, p. 225-230, 2008.

RUFFATO, S.; CORRÊA, P. C.; MARTINS, J. H.; MANTOVANI, B. H. M.; SILVA, J. N. 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**, v. 3, n. 1, p. 45-48, 1999.



SANTOS, C. C.; CANEPPELE, C.; BONFIM-SILVA, E. M.; CORDOVA, N. R. M. Massa específica e porosidade de grãos pelo método de complementação de líquidos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 1178-1184, 2012.

SEIFI, M. R.; ALIMARDANI, R. Moisture-Dependent Physical Properties of Sunflower Seed (SHF8190). **Modern Applied Science**, v. 4, n. 7, p. 135-143, 2010.

SILVA, F. S. **Propriedades físicas dos grãos de café como subsídio em projetos de equipamentos e de silos utilizando a metodologia de Jenike**. 2003. 117 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2003.

SILVA, F. S.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, R. M.; AFONSO JÚNIOR, P. C. Efeito do beneficiamento nas propriedades físicas e mecânicas dos grãos de arroz de distintas variedades. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 5, n. 1, p. 33-41, 2003.

SOBUKOLA, O. P.; KAJIHAUSA, O. E.; ONWUKA, V. I.; ESAN, T. A. Physical properties of high quality maize (Swam 1 variety) seeds (*Zea mays*) as affected by moisture levels. **African Journal of Food Science**, v. 7, n.1, p. 1-8, 2013.

ZAREIFOROUGH, H.; KOMARIZADEH, M. H.; ALIZADEH, M. R. Effect of moisture content on some physical properties of paddy grains. **Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology**, v. 1, n. 3, p. 132-139, 2009.