

EFEITO DA UMIDADE NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE SEMENTES DE CEVADA BRASILEIRA

T. C. POLACHINI^{1*}, G. R. CARVALHO¹, LOPES-FILHO, J. F.¹, J. TELIS-ROMERO¹

¹Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos

* e-mail: tiagopolachini@terra.com.br

RESUMO

A determinação de propriedades físicas de sementes de cevada possui grande importância em diversas etapas do processo de maltagem, como o dimensionamento de equipamentos e sistemas para manuseio, transporte, secagem e armazenamento. Encontram-se na literatura pouquíssimos trabalhos com a determinação de propriedades físicas de cevada, porém nenhum realizado com a cevada brasileira. O presente trabalho determinou a variação destas propriedades em uma faixa de umidade comumente utilizado em processos de malteação. Os resultados obtidos contribuem com o conhecimento sobre o produto e projeto e dimensionamento de equipamentos e processos. Dentre estes resultados, encontram-se as dimensões características e diferentes diâmetros calculados (geométrico, aritmético e diâmetro equivalente de esfera), além de verificar o peso e volume de uma quantidade de 1000 partículas. Todas dimensões aumentaram com a umidade do produto. Com estes resultados, determinou-se a área específica da cevada e sua esfericidade. Todas as propriedades puderam ser ajustadas a modelos lineares em função da umidade (base seca) com $R^2 > 0,992$, exceto para a esfericidade que apresentou um valor constante de 51,92%.

1 INTRODUÇÃO

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) é uma das culturas agrícolas mais antigas na linha de produção de cereais em todo o mundo, sendo a Alemanha, França, Ucrânia e Rússia os principais produtores e exportadores. No Brasil, ano a ano vem aumentando a produção de este cereal.

O processo de maltagem dos grãos de cevada garante certas mudanças físicas e químicas nos grãos, que são estabilizadas posteriormente pela operação unitária de secagem. Três etapas são necessárias para garantir que essas mudanças ocorram: (A) imersão, ou maceração, para garantir uma boa absorção de água pelo grão (de 12% de umidade em base seca para cerca de 40-42%);

(B) germinação, para promover o crescimento do embrião, a síntese de enzimas e uma degradação limitada do endosperma, e (C) torrefacção, para garantir a estabilidade do produto (GUIGA et al., 2008).

A determinação de propriedades físicas da cevada possui relevância em diversas etapas do processo de maltagem, como o dimensionamento de equipamentos e sistemas para manuseio, transporte, secagem e armazenamento. O conhecimento dessas propriedades é essencial e necessário na elaboração de projetos econômicos e eficientes.

O conhecimento da distribuição e morfologia do tamanho das sementes de cevada faz-se necessário para o projeto adequado do equipamento para limpeza,

classificação e separação (KACHRU; GUPTA; ALAM, 1994). Ao mesmo tempo, as dimensões características permitem o cálculo da área de superfície e volume de grãos, aplicáveis na modelação da secagem e da aeração (AL-MAHASNEH; RABABAH, 2007). Trabalhos semelhantes estudaram a variação das propriedades de grãos em diferentes umidades (COŞKUNER; KARABABA, 2007; SOLOGUBIK et al., 2013).

A densidade aparente é propriedade utilizada para determinar a capacidade de armazenamento e transporte, enquanto a densidade real é útil para a concepção do equipamento de separação apropriado. Além disso, a porosidade bulk de grãos determina a resistência ao fluxo de ar durante a operação de arejamento e secagem (BROOKER; BAKKER-ARKEMA; HALL, 1992; KACHRU et al., 1994).

A revisão de literatura mostrou que há uma falta de informação sobre as propriedades físicas dos grãos de cevada brasileira para uma ampla faixa de umidade normalmente utilizada no processo de maltagem (processo de imersão, ou maceração). A necessidade deste estudo abrangente incentivou a determinação das seguintes propriedades físicas do grão de cevada brasileira: comprimento, largura, espessura e diferentes diâmetros, incluindo características como a esfericidade, a área de superfície, massa de mil grãos, volume da partícula na faixa de umidade entre 12,44 e 45,31% (base seca).

2 MATERIAL E MÉTODOS

A amostra de cevada utilizada neste trabalho foi produzida no sul do Brasil, no estado do Paraná. Os grãos foram limpos manualmente para remover corpos estranhos como poeira, sujeira, galhos e sementes imaturas. O teor de umidade foi determinada em triplicata, em estufa a 105°C

por aproximadamente 24h, utilizando-se balança analítica (modelo AUX220, Shimadzu, Japão). O teor de umidade inicial das sementes foi 12,44 % (base seca).

A partir do teor de água inicial, as sementes foram umidificadas para obtenção de outros níveis de teor de água. As sementes tiveram seus teores de água modificados adicionando-se água destilada com o auxílio de um borrifador. Feito isso, elas foram acondicionadas em sacos plásticos com propriedade de barreira ao vapor de água, sendo mantidas em refrigerador em temperatura de 5±1 °C por 6 dias. As umidades foram predeterminadas utilizando a Equação (1):

$$M_a = \frac{M_i (X_f - X_i)}{X_i + 100} \quad (1)$$

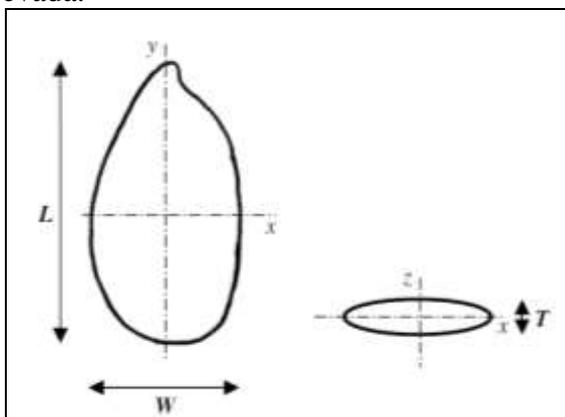
onde M_a é a massa de água adicionada (kg); M_i é a massa inicial da amostra; X_i é o teor de umidade da amostra em porcentagem (base seca) e X_f é o teor de umidade final da amostra em porcentagem (base seca).

2.1 Dimensões

Para cada teor de água avaliado, realizaram-se determinações das dimensões comprimento (L), largura (W) e espessura (T) como mostrado na Figura 1.

Foram escolhidas 6 sub-amostras de 1 kg de uma amostra de 120 kg. Uma quantidade de 500 sementes foi retirada de cada sub-amostra, misturada e finalmente, separadas 50 sementes aleatoriamente. A determinação foi realizada utilizando um paquímetro (precisão de 0,1mm, Mitutoyo, Japão).

Figura 1 – Dimensões características da cevada.



Fonte: COSKUNER e KARABABA (2007).

O diâmetro médio aritmético (D_a) e o diâmetro médio geométrico (D_g) das sementes foram calculados a partir das equações apresentadas por Mohsenin (1986).

$$D_a = \frac{L+W+T}{3} \quad (2)$$

$$D_g = \sqrt[3]{LWT} \quad (3)$$

2.2. Massa dos grãos e esfericidade

A esfericidade (ϕ) foi calculada segundo a Equação (4), descrita também por Mohsenin (1986).

$$\phi = \left(\frac{\sqrt[3]{LWT}}{L} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

A determinação da massa de sementes foi realizada através da pesagem de 100 unidades de sementes de cevada escolhidas aleatoriamente, utilizando-se uma balança analítica (modelo AUX220, Shimadzu, Japão) com precisão de 0,0001 g multiplicando por 10 para conseguir a massa de 1000 sementes (COŞKUNER; KARABABA, 2007).

2.2. Área específica e diâmetro equivalente de uma esfera

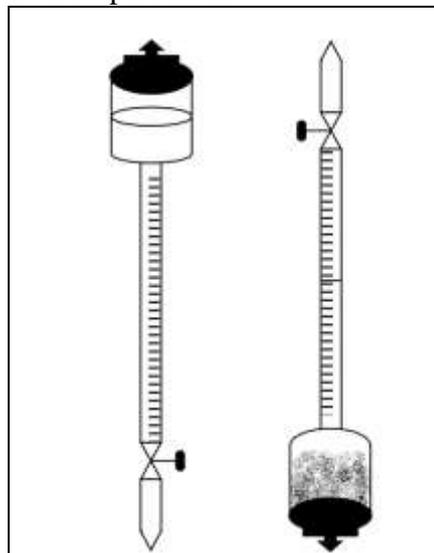
A área específica da semente de cevada foi realizada partindo da hipótese de que as

partículas de cevada não são esféricas, porém, utilizando como magnitude característica de tais partículas o diâmetro de uma esfera, cuja relação $(\text{Área}/\text{Volume})_{\text{esfera}}$ seja igual à relação $(\text{Área}/\text{Volume})_{\text{partícula}}$, isto é:

$$S_{\text{cevada}} = \left(\frac{A}{V} \right)_{\text{esf}} = \left(\frac{\pi D^2}{\pi D^3/6} \right)_{\text{esf}} = \frac{6}{D_{\text{esf}}} \quad (5)$$

Através do sistema apresentado na Figura 2 e descrito por Gabas et. al (2005), foi determinado o volume de 1000 sementes de cevada em cada unidade através do deslocamento em tolueno e, depois, dividido por 1000 para encontrar o volume de uma única partícula. Partindo da hipótese de que o volume de uma esfera é $V = \frac{\pi D_{\text{esf}}^3}{6}$, então obtemos o diâmetro equivalente de uma esfera.

Figura 2 – Aparato utilizado na determinação do volume da partícula.



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após selecionar as 50 partículas, as dimensões características L , W e T foram adquiridas para cada unidade. Para cada

conjunto de dimensões características, foram determinadas as médias e o desvio padrão destas dimensões, incluindo os valores médios do diâmetro geométrico, diâmetro aritmético e diâmetro equivalente de esfera para cada condição estabelecida.

Pelos dados encontrados, pôde-se perceber que todas as dimensões características aumentaram com o aumento da umidade de 12,44 a 45,31% (b.s.).

O comprimento (L) aumentou significativamente de 7,69 até 8,28 mm, a largura (W) teve aumento de 3,47 a 3,77 mm e a espessura (T) de 2,32 a 2,59 mm. De forma análoga, o diâmetro geométrico, diâmetro aritmético e diâmetro equivalente de esfera sofreram uma variação positiva de 3,96 a 4,32 mm, 4,94 a 4,88 mm e 4,08 e 4,54 mm, respectivamente.

De todas as dimensões características, a espessura apresentou maior variação (de 11,62%) com relação a sua dimensão na menor umidade. Por outro lado, o comprimento foi o menos afetado pelo teor de água, variando apenas 7,70%.

As médias foram plotadas em função da umidade e puderam ser ajustadas às equações de primeira ordem. A dependência das propriedades pode ser visualizada na Figura 3. A Tabela 1 indica o coeficiente angular (a), coeficiente linear (b) e coeficiente de determinação (R^2) de cada ajuste para cada propriedade encontrada.

Tabela 1 – Coeficientes do ajuste linear das propriedades físicas em função da umidade das partículas.

| Dimensão | a | b | R^2 |
|----------------|--------|--------|--------|
| L (mm) | 7,4423 | 0,0176 | 0,9273 |
| W (mm) | 3,3229 | 0,0094 | 0,9682 |
| T (mm) | 2,2495 | 0,0074 | 0,9406 |
| D_a (mm) | 4,3382 | 0,0115 | 0,9812 |
| D_g (mm) | 3,8168 | 0,0108 | 0,9893 |
| D_{esf} (mm) | 3,9067 | 0,0139 | 0,9998 |

A forma como cada parâmetro contido na Tabela 1 é influenciado pela umidade está demonstrado na Figura 2 através dos ajustes lineares.

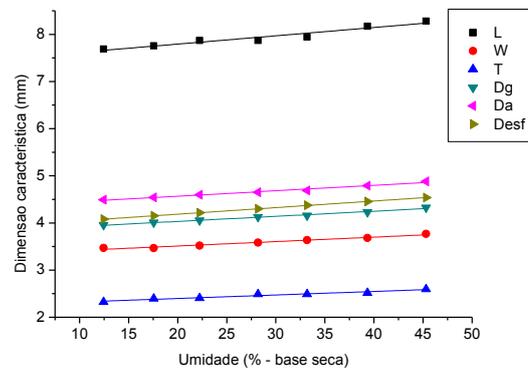


Figura 3 – Ajuste linear das dimensões características em função da umidade.

O aumento de tamanho evidenciado nos grãos pode ser atribuído à expansão do grão como resultado da adsorção de água nos espaços intracelulares dentro da semente (SOLOMON; ZEWDU, 2009).

A importância do conhecimento do diâmetro equivalente de uma esfera é válido para o cálculo de difusão de água no grão através de modelos, como os propostos pela segunda Lei de Fick (AGUERRE; GABITTO; CHIRIFE, 1985).

Utilizando os dados anteriormente encontrados e o peso e volume de 1000 partículas, foi calculada a esfericidade e a área específica do grão de cevada.

Os dados de peso e volume de 1000 estão demonstrados na Figura 4, enquanto que a tendência linear da área específica com relação à umidade está demonstrada na Figura 5.

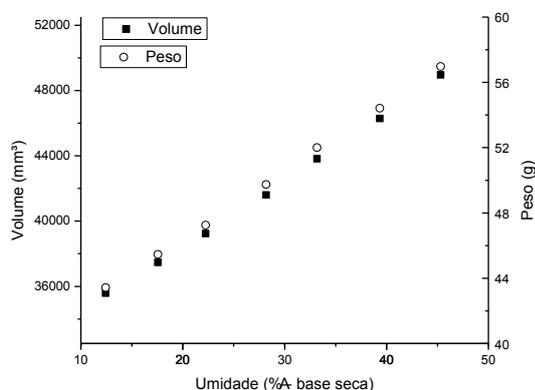


Figura 4 – Peso e volume referente a 1000 sementes de cevada.

O peso e o volume de 1000 partículas podem ser modelados. Assim, o peso ($R^2=0,9996$) e o volume ($R^2=0,9996$) podem ser escritos da seguinte forma:

$$P(g) = 38,1841 + 0,4135U \quad (6)$$

$$V(\text{mm}^3) = 30305,92 + 407,59U \quad (7)$$

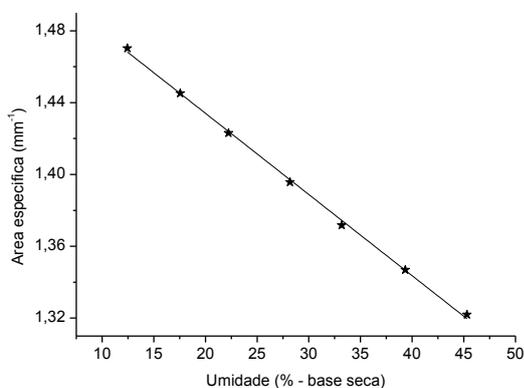


Figura 5 – Tendência da área específica com relação à umidade.

Observou-se que ao adicionar água no sistema, o peso e o volume das partículas aumentaram, como esperado. Visto que a área específica da partícula é dependente do diâmetro equivalente da esfera, ao aumentar a umidade da cevada, sua área específica diminui, o volume aumenta de forma mais

rápida do que a área superficial. Dessa forma, a área específica pode ser reescrita como uma função da umidade (com $R^2=0,9986$):

$$S(\text{mm}^{-1}) = 1,5244 - 0,0045U \quad (6)$$

Os valores de esfericidade mantiveram constantes ao longo da faixa de umidade trabalhada, sem diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey a 95% de confiança. Dessa forma, podemos assumir um valor constante para a esfericidade de 51,92%.

4 CONCLUSÃO

Pelo trabalho realizado, concluiu-se que as dimensões características da cevada brasileira aumentaram conforme o aumento em sua umidade, atingindo até 11,62% para a espessura. Diferentes diâmetros foram calculados a fim de suprir a necessidade de diferentes parâmetros para projetar diferentes processos, onde o diâmetro aritmético assumiu valores maiores (até 4,88 mm). O volume e o peso das partículas aumentaram com o aumento no teor de água contido nos grãos, levando a um decréscimo na área específica da partícula. Os valores de esfericidade se mantiveram constantes em aproximadamente 51,92%.

NOMENCLATURA

| | |
|-----------|---|
| D_a | Diâmetro aritmético (mm) |
| D_g | Diâmetro geométrico (mm) |
| D_{esf} | Diâmetro equivalente de uma esfera (mm) |
| L | Comprimento (mm) |
| P | Peso de 1000 partículas (g) |
| R^2 | Coefficiente de determinação (adimensional) |
| S | Área específica (mm^{-1}) |
| T | Espessura (mm) |
| U | Umidade (% - base seca) |
| V | Volume de 1000 partículas (mm^3) |
| W | Largura (mm) |

ϕ Esfericidade (%)

REFERÊNCIAS

AGUERRE, R. J.; GABITTO, J. F.; CHIRIFE, J. Utilization of Fick's second law for the evaluation of diffusion coefficients in food processes controlled by internal diffusion. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 20, n. 5, p. 623-629, 1985.

AL-MAHASNEH, M. A.; RABABAH, T. M. Effect of moisture content on some physical properties of green wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 4, p. 1467-1473, 2007.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Springer Science & Business Media, 1992.

COŞKUNER, Y.; KARABABA, E. Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 3, p. 1067-1073, 2007.

GABAS, A. L. et al. Changes of Density, Thermal Conductivity, Thermal Diffusivity, and Specific Heat of Plums During Drying. **International Journal of Food Properties**, v. 8, n. 2, p. 233-242, 2005.

GUIGA, W. et al. Quantification of the inhibitory effect of steep effluents on barley germination. **Process Biochemistry**, v. 43, n. 3, p. 311-319, 2008.

KACHRU, R. P.; GUPTA, R. K.; ALAM, A. **Physico-chemical constituents and engineering properties of food crops**. Scientific Publishers, 1994.

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

SOLOGUBIK, C. A. et al. Effect of moisture content on some physical properties of barley. **Industrial Crops and Products**, v. 43, n. 0, p. 762-767, 2013.

SOLOMON, W. K.; ZEWDU, A. D. Moisture-dependent physical properties of niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) seed. **Industrial Crops and Products**, v. 29, n. 1, p. 165-170, 2009.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro prestado.