

## INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE NA VELOCIDADE TERMINAL DE GRÃOS DE SORGO E MILHETO

FABRÍCIO SCHWANZ DA SILVA<sup>1</sup>, PAULO CESAR CORRÊA<sup>2</sup>, PAULO CESAR AFONSO JÚNIOR<sup>3</sup>, ANDRÉ L. D. GONELI<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agrícola, M.S., Doutorando no DEA - Universidade Federal de Viçosa. CEP. 36571-000 Viçosa, MG. E-mail: [fabricao.silva@vicoso.ufv.br](mailto:fabricao.silva@vicoso.ufv.br) (autor para correspondência).

<sup>2</sup>Eng. Agrônomo, D.S., Professor Adjunto no DEA - Universidade Federal de Viçosa. CEP. 36571-000 Viçosa, MG. E-mail: [copace@ufv.br](mailto:copace@ufv.br)

<sup>3</sup>Eng. Agrícola, D.S., Pesquisador Embrapa. E-mail: [paulo.junior@embrapa.br](mailto:paulo.junior@embrapa.br)

<sup>4</sup>Eng. Agrônomo, Mestrando no DEA - Universidade Federal de Viçosa. CEP. 36571-000 Viçosa, MG. E-mail: [andregoneli@vicoso.ufv.br](mailto:andregoneli@vicoso.ufv.br)

---

*Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.2, n.3, p.143-147, 2003*

**RESUMO** - Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de determinar e avaliar o comportamento da velocidade terminal dos grãos de sorgo e milheto, em função do teor de umidade. Nos testes, foram utilizados produtos com teores de umidade na faixa de 9,05 a 29,53% b.s. e 8,58 a 32,45% b.s., respectivamente, para os grãos de sorgo e milheto. A análise dos resultados permitiu concluir que o comportamento da velocidade terminal, em relação ao teor de umidade, para ambos os produtos estudados, apresentou tendência semelhante à observada para a maioria dos grãos agrícolas, ou seja, para a faixa de umidade analisada, a velocidade terminal aumenta com a elevação do teor de umidade dos grãos. Os valores desta propriedade física, para os grãos de sorgo, foram superiores aos encontrados para os grãos de milheto e, ainda, o modelo linear ajustou-se adequadamente aos dados experimentais, apresentando coeficientes de determinação ( $r^2$ ) superiores a 0,85 e valores de erro médio (P) inferiores a 5%.

**Palavras-chave:** velocidade terminal, *Pennisetum glaucum*, *Sorghum bicolor*.

## INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT IN THE TERMINAL VELOCITY OF SORGHUM AND MILLET

**ABSTRACT** - The aim of this work was to determine and evaluate the terminal velocity behavior of sorghum and millet grains in relation to their moisture content. Grains with moisture content within 9.05 to 31.06% d.b. range and from 8.58 to 32.45% d.b. for sorghum and millet grains were used, respectively. The terminal velocity behavior, in relation to their moisture content, for both grains, showed similar tendency for most agricultural grains, that is, for the analyzed moisture content range, the terminal velocity increases with the moisture content. The values of this physical property for the sorghum grains were higher than for the millet grains and, still, the linear model was appropriately adjusted to the experimental data, showing correlation coefficients ( $r^2$ ) higher than 0,85 and the medium error value (P) lower than 5%.

**Key words:** terminal velocity, *Pennisetum glaucum*, *Sorghum bicolor*.

---

O conhecimento das propriedades aerodinâmicas dos produtos agrícolas, e entre elas da velocidade terminal, é de fundamental importância no projeto e dimensionamento de equipamentos e estruturas utilizados, principalmente, nas operações de colheita e pós-colheita desses produtos. Grande parte desses equipamentos utiliza ar ou água para transportar ou separar o produto desejável e de qualidade das impurezas ou materiais de qualidade inferior, principalmente nas operações de colheita, seleção, limpeza, secagem, armazenamento, beneficiamento e classificação do produto. Essas informações podem ser, ainda, amplamente empregadas no aprimoramento das operações relacionadas com o manuseio e as várias etapas do pré-processamento do material.

Para a avaliação das operações que envolvem o uso de fluxos de ar, torna-se necessária a determinação da velocidade terminal do produto. Um objeto em queda livre, imerso em uma corrente de ar ascendente e com densidade inferior à do material, está sujeito à ação de três tipos de força: a força gravitacional, a força devido ao empuxo do fluido e a força de resistência ao arraste do material. No momento em que essas grandezas vetoriais se equilibram, o objeto passa a deslocar-se com velocidade constante, denominada velocidade terminal (Mohsenin, 1986).

Diversos pesquisadores realizaram testes aerodinâmicos com diferentes produtos agrícolas e relataram ser a velocidade terminal função do teor de umidade (Joshi *et al.*, 1993; Suthar & Das, 1996; Gupta & Das, 1997; Nimkar & Chattopadhyay, 2001; Baryeh, 2002).

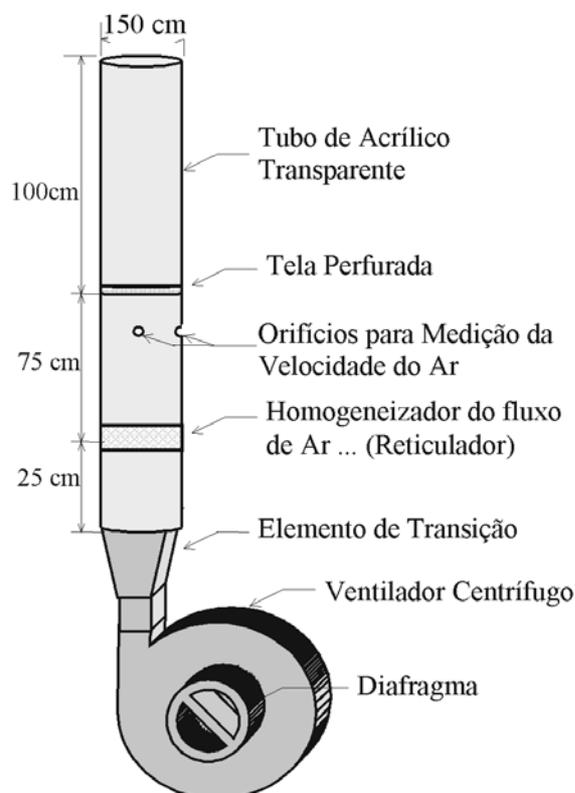
Tendo em vista a velocidade a ser uma propriedade aerodinâmica, importante característica para o projeto e operação de equipamentos, e a disponibilidade de poucas informações para grãos de milho e de sorgo, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de determinar e analisar o comportamento

da velocidade terminal para grãos destas espécies, em função de diferentes teores de umidade.

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Armazenamento e Pré-processamento de Produtos Vegetais do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa e no laboratório de Propriedades Físicas e Avaliação de Qualidade de Produtos Agrícolas, localizado no Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem - CENTREINAR, Viçosa, MG.

Foram utilizados grãos de sorgo, variedade BR 304, e de milho, variedade BRS 1501, com diferentes teores de umidade, na faixa de 9,05 a 29,53% b.s. e 8,58 a 32,45% b.s., respectivamente. Depois de colhidos, os grãos foram homogeneizados e, posteriormente, submetidos à secagem em estufa com ventilação forçada de ar, à temperatura de  $35 \pm 1^\circ\text{C}$ , para a obtenção dos diferentes níveis de teor de umidade. O monitoramento da redução do teor de umidade, com o decorrer do tempo de secagem, foi realizado pelo método gravimétrico (perda de peso), a partir da determinação do teor de umidade inicial dos grãos, realizada pelo método da estufa,  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ , por 24 horas (Brasil, 1992).

Para a determinação experimental da velocidade terminal desses grãos, foi utilizado equipamento composto por um ventilador centrífugo, conectado a um tubo de acrílico transparente, com diâmetro de 150 mm e 2 m de comprimento, sendo introduzida, a 1 m da parte superior, uma tela perfurada, para colocação do produto. Para promover maior uniformidade da distribuição da velocidade do ar na seção transversal do tubo, foi instalado um reticulador, para homogeneização do fluxo de ar. O ventilador era acionado por motor trifásico de 0,735 kW e o controle da vazão do fluxo de ar realizado por meio de diafragma adaptado à entrada de ar no ventilador (Figura 1).



**FIGURA 1.** Desenho esquemático do equipamento utilizado para a determinação da velocidade terminal dos grãos de sorgo e milho.

A massa de produto era depositada na parte central da tela perfurada e, a partir desse instante, era realizada a regulação do fluxo de ar até o início do processo de flutuação do produto, quando seu movimento de rotação era o menor possível. Nesse momento, foram realizadas as leituras da velocidade do ar, por meio de anemômetro de fio quente, devidamente calibrado e com resolução de  $(500 \pm 3) \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$ . A velocidade do ar foi determinada pela média dos valores obtidos no centro do tubo de acrílico e de quatro determinações em pontos distribuídos de forma equidistante, e sobre dois diâmetros ortogonais situados no plano da seção transversal do duto de ar. Para todos os tratamentos, a obtenção dos valores de velocidade terminal foi realizada em massa de grãos de aproximadamente 15

gramas e em cinco repetições, para cada teor de umidade analisado.

Os dados foram submetidos à análise de regressão, com a finalidade de selecionar o modelo matemático mais adequado para expressar a relação entre o teor de umidade e a variável estudada. Para o ajuste dos modelos aos dados experimentais, utilizou-se o programa computacional STATISTICA® (versão 5.0). O erro na predição dos valores de velocidade terminal foi calculado como:

$$P \% = \frac{|\text{Valor Estimado} - \text{Valor Experimental}|}{\text{Valor Experimental}} \times 100 \quad (\text{equação 1})$$

em que:

P = erro médio; n = número de observações.

Na tabela 1, observa-se, alteração significativa dos valores da velocidade terminal com a mudança dos teores de umidade, independentemente do produto. Verifica-se relação direta de proporcionalidade entre o aumento dos valores de velocidade terminal, de ambos os grãos, com a elevação do teor de umidade do produto, pelo sinal positivo do coeficiente de inclinação da reta.

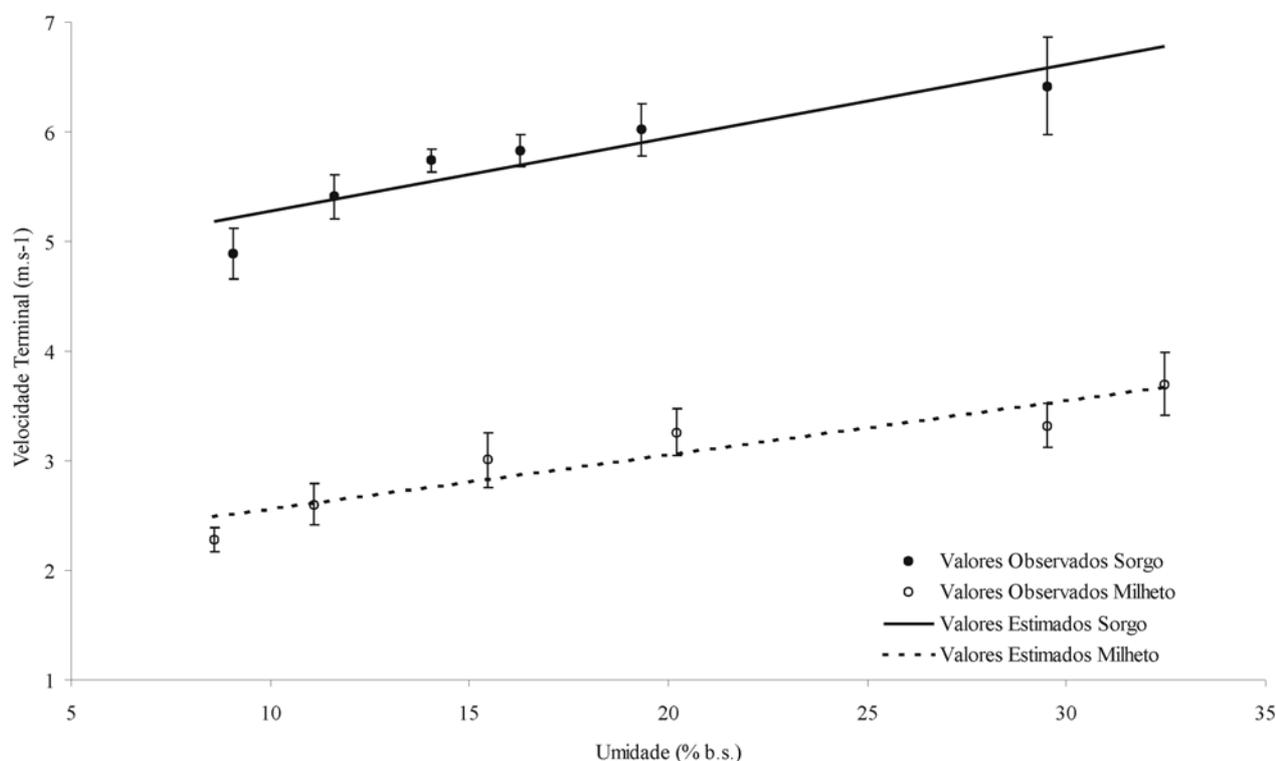
Na Figura 2, são apresentados os valores experimentais e estimados da velocidade terminal dos grãos de sorgo e milho, em função do teor de umidade.

Verifica-se, na Figura 2, tendência de aumento dos valores da variável dependente velocidade terminal com a elevação do teor de umidade, para ambos os produtos analisados, sendo este comportamento o mesmo encontrado para outros produtos agrícolas (Çarman, 1996; Singh & Goswami, 1996; Nimkar & Chattopadhyay, 2001). Possivelmente, este aumento deve-se às alterações das características físicas do produto, principalmente massa, área e volume, com a perda de água, confirmando a expectativa de que a maior presença de água na composição do produto contribui de forma decisiva para a alteração direta da relação entre a massa e o

**TABELA 1.** Equações de regressão ajustadas para predição da velocidade terminal ( $V_t$ ) dos grãos de sorgo e milho, em função do teor de umidade ( $U$ ), com os respectivos coeficientes de determinação ( $r^2$ ) e erro médio ( $P$ ).

Produto	Equação de Regressão	$r^2$ (%)	P (%)
Sorgo	$V_t = 4,6063 + 0,0668.U$	85,39**	2,84
Milho	$V_t = 2,0551 + 0,0498.U$	88,16**	4,74

\*\*Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.



**FIGURA 2.** Valores observados e estimados da velocidade terminal dos grãos de sorgo e milho, com seus respectivos desvios padrões, em função do teor de umidade.

volume dos grãos, aumentando os valores da velocidade terminal. Os valores da velocidade terminal apresentaram-se mais elevados para os grãos de sorgo, o que, provavelmente, deve-se à superioridade das características dimensionais e de massa desses grãos, quando comparados com os de milho, oferecendo maior resistência ao deslocamento quando imerso em fluxo de ar. Por fim, constatou-se que o modelo linear ajustou-se adequadamente aos dados experimentais, apresentando elevado

coeficiente de correlação ( $r^2$ ), superiores a 0,85, e reduzidos valores de erro médio ( $P$ ), inferiores a 5%.

A análise dos resultados obtidos neste trabalho permitiu concluir que: para a faixa de umidade analisada, a velocidade terminal aumenta, com a elevação do teor de umidade da massa de grãos; os valores dessa propriedade física para os grãos de sorgo foram superiores aos encontrados para os de milho; o modelo linear ajustou-se adequadamente aos dados experimentais.

### **Agradecimentos**

À FINEP/RECOPE o auxílio financeiro concedido para a realização deste trabalho.

### **Literatura Citada**

BARYEH, E.A. Physical properties of millet. **Journal of Food Engineering**, London, v.51, n.1, p. 39 - 46, 2002.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. **Regras para análise de sementes**. Brasília: DNDV/CLAV, 1992. 365p.

ÇARMAN, K. Some physical properties of lentil seeds. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 63, n. 1, p.87 - 92, 1996.

GUPTA, R. K.; DAS, S. K. Physical properties of sunflower seeds. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.66, n. 1, p. 1 - 8, 1997.

JOSHI, D. C.; DAS, S. K.; MUKHERJEE, R. K. Physical properties of pumpkin seeds. **Journal of**

**Agricultural Engineering Research**, London, v. 54, n. 3, p. 219 - 229, 1993.

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

NIMKAR, P. M.; CHATTOPADHYAY, P. K. Some physical properties of green gram. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 80, n. 2, p.183 - 189, 2001.

SINGH, K. K.; GOSWAMI, T. K. Physical properties of cumim seed. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 64, n. 2, p. 96 - 98, 1996.

SUTHAR, S. H.; DAS, S. K. Some physical properties of karingda [*Citrullus lanatus* (Thumb) Mansf] seeds. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 65, n. 1, p.15 - 22, 1996.