

# PROPRIEDADES DIELÉTRICAS DO TRIGO (*Triticum aestivum* L.) NO INTERVALO DE 1 kHz A 1 MHz<sup>1</sup>

Pedro Amorim BERBERT<sup>2</sup>, Brian C. STENNING<sup>3</sup>

**RESUMO:** O presente trabalho teve como objetivo a determinação da constante dielétrica,  $\epsilon'$ , e do fator de perda dielétrica,  $\epsilon''$ , de grãos de trigo no intervalo entre 1 kHz e 1 MHz. Analisou-se, também, a possibilidade de utilizar estas propriedades na obtenção de uma equação para determinar o teor de umidade do trigo entre 11 e 20% b.u., independentemente da massa específica da amostra. O valor de  $\epsilon'$  decresceu de 80 (19,8% b.u. e 1 kHz) para 3,5 (10,7% b.u. e 1 MHz). Para valores similares de teor de umidade e frequência, os valores correspondentes de  $\epsilon''$  variaram no intervalo entre  $0,26 \leq \epsilon'' \leq 117,09$ .

**PALAVRAS-CHAVE:** Teor de umidade, trigo, propriedades dielétricas

**ABSTRACT:** This work reports measurements of dielectric properties of hard winter wheat in the frequency range from 1 kHz to 1 MHz, and an effort is made to derive a bulk-density independent function for the determination of moisture content in the range from about 11% to 20% w.b. Values of the dielectric constant varied from 80 (for a sample with 19.8% moisture at 1 kHz) to 3.5 (for a sample with 10.7% moisture at 1 MHz). For similar values of moisture content and frequency, values of the dielectric loss factor varied within the range  $0.26 \leq \epsilon'' \leq 117.09$ .

**KEYWORDS:** Moisture content, wheat, dielectric properties

**INTRODUÇÃO:** No Brasil, a operação de controle da maioria dos secadores de fluxo contínuo é feita de forma manual, geralmente através do ajuste do fluxo de grãos na saída do secador. No entanto, observações feitas sobre o desempenho operacional nas instalações convencionais de pré-processamento de grãos demonstram que o controle da secagem é normalmente ineficiente quando os ajustes necessários para compensar as variações no teor de umidade inicial do produto são baseados apenas na experiência do operador. Para a adoção de sistemas eficientes de controle automático de secagem é necessário o desenvolvimento de medidores em linha do teor de umidade do produto. Porém, um maior ou menor grau de compactação dos grãos nas células eletricamente ativas dos sensores terá uma grande influência no resultado final indicado. Várias metodologias têm sido propostas para a determinação

<sup>1</sup>Parte da dissertação de doutorado apresentada pelo primeiro autor à Cranfield University, Inglaterra

<sup>2</sup>PhD em Pré-processamento de Produtos Agrícolas, Recém-Doutor (CNPq), Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, CEP 36571-000, Viçosa- MG, Fone (031) 899-1919, Fax (031) 899-2735, E-mail pberbert@mail.ufv.br

<sup>3</sup>Professor do Postharvest Technology Department, Cranfield University, Silsoe, Bedford MK45 4DT, UK

de para reduzir ou eliminar a influência da massa específica aparente na determinação em linha do teor de umidade de produtos agrícolas. As soluções encontradas baseiam-se, geralmente, na equações empíricas envolvendo parâmetros dielétricos do produto que sejam independentes da massa específica, uma vez que seria muito difícil, senão impossível, controlar a massa específica aparente de uma coluna de grãos em movimento (Meyer e Schilz, 1980; Kraszewski e Nelson, 1991; Bruce e McFarlane, 1993). As propriedades dielétricas de grãos e sementes em frequências superiores a 1 MHz têm sido amplamente estudadas. Porém, ainda existe pouca informação a respeito de tais propriedades para valores de frequência entre 1 kHz e 1 MHz. Desta forma, o potencial para a utilização de propriedades dielétricas medidas em baixas frequências na determinação do teor de umidade de produtos de origem vegetal permanece praticamente inexplorado.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Todas as medições de propriedades dielétricas foram realizadas utilizando-se sementes certificadas de trigo, *Triticum aestivum* L., variedade Hussar, com teores de umidade no intervalo entre 10,7 e 19,8% b.u. A medição dos parâmetros elétricos das amostras foi feita mediante utilização de um medidor LCR de precisão, modelo 4284A, fabricado pela Hewlett-Packard. Este equipamento é capaz de medir 12 parâmetros de impedância,  $|Z|e^{j\theta}$ , em frequências de teste de 20 Hz a 1 MHz. As propriedades dielétricas foram determinadas em incrementos de 1 kHz no intervalo entre 1 kHz e 10 kHz; em incrementos de 10 kHz no intervalo entre 10 kHz e 100 kHz e em incrementos de 100 kHz no intervalo entre 100 kHz e 1 MHz. Utilizou-se o método da medição simultânea da constante dielétrica em duas frequências distintas para a determinação do teor de umidade do trigo independentemente da massa específica aparente da amostra. Os valores da constante dielétrica e do fator de perda dielétrica foram obtidos indiretamente utilizando-se os valores medidos de capacitância e fator de dissipação de energia, D, do capacitor com e sem a amostra.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os valores de  $\epsilon'$ , para todos os teores de umidade, diminuíram à medida que a frequência era aumentada, embora a taxa de variação tenha sido bem mais acentuada na faixa de menores frequências do que em frequências mais elevadas. No entanto, as constantes dielétricas de amostras com elevado teor de umidade, sob baixas frequências, foram superiores aos valores esperados. A constante dielétrica de uma amostra de trigo com teor de umidade de 19,8% b.u. e massa específica aparente de  $824,7 \text{ kg m}^{-3}$ , a 1 kHz, foi de 79, ao passo que a constante dielétrica da água, na mesma frequência, é de cerca de 80. Este valor comparativamente alto obtido para a constante dielétrica do trigo não pode ser explicado levando-se em conta apenas a quantidade de água livre presente nos grãos a 19,8% b.u. A razão para que tenha-se obtido um valor relativamente tão elevado deve-se, provavelmente, à condutividade iônica da amostra. Dependendo do teor de umidade da amostra, o valor de  $\epsilon''$  aumentou, diminuiu ou permaneceu quase constante com o aumento da frequência. À medida que eleva-se o teor de umidade do trigo, os valores máximos de  $\epsilon''$  passam a ocorrer sob frequências cada vez mais elevadas de oscilação do campo. Os valores extremamente elevados de  $\epsilon''$  para amostras com alto teor de umidade sob a influência de campos elétricos de baixa frequência, também podem ser explicados pelo efeito conjunto da condutividade iônica e da polarização dos eletrodos. Lawrence (1987) afirma que nos casos em que o dielétrico possui condutividade iônica muito

elevada, haverá tempo suficiente, sob baixa frequência de oscilação do campo, para que os elétrons acumulem-se nos eletrodos antes que a voltagem mude de sinal a cada ciclo, resultando em valores extremamente elevados de capacitância. Obteve-se a seguinte equação [ $r^2 = 0,87$ ] para o teor de umidade em função das constantes dielétricas medidas a 100 kHz e 1 MHz:  $M = 2,874\varepsilon'_{100\text{ kHz}} - 3,811\varepsilon'_{1\text{ MHz}} + 16,156$ .

**CONCLUSÕES:** Os resultados permitem concluir que, em frequências até 100 kHz, tanto a condutividade iônica quanto a polarização dos eletrodos tiveram um efeito significativo sobre as propriedades dielétricas de amostras de trigo com elevado teor de umidade. O valor da constante dielétrica no extremo das baixas frequências, 1 kHz, decresceu de cerca de 80, para uma amostra com teor de umidade de 19,8% b.u., para um valor aproximadamente igual a 3,5 para a frequência mais elevada, 1 MHz, e amostra com o menor teor de umidade, 10,7% b.u. Para valores similares de frequência e teor de umidade, os valores correspondentes do fator de perda dielétrica variou na faixa de  $0,26 \leq \varepsilon'' \leq 117,09$ . Não foi possível, usando-se o método da medição simultânea de  $\varepsilon'$  em duas frequências, obter uma equação para o cálculo do teor de umidade do trigo em frequências no intervalo de 100 kHz a 1 MHz, e que fosse independente da massa específica da amostra. Conclui-se que os valores de frequência mais apropriados para atingir-se os objetivos propostos neste trabalho devam estar nas faixas de frequência de rádio ou microondas.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

BRUCE, D.M.; McFARLANE, N.J.B. **An in-line moisture sensor for grain dryer control.** Journal of Agricultural Engineering Research, v. 56, p. 211-224, 1993

KRASZEWSKI, A.W.; NELSON, S.O. **Density-independent moisture determination in wheat by microwave measurement.** Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, vol. 34, n. 4, p. 1776-1783, 1991

LAWRENCE, K.C. **Automatic system for dielectric properties measurements on agricultural products from 100 kHz to 1 GHz.** The University of Georgia: Athens, Georgia, 1987. 119 p. Tese de Mestrado

MEYER, W.; SCHILZ, W. **A microwave method for density independent determination of the moisture content of solids.** Journal of Physics D: Applied Physics, v. 13, p. 1823-1830, 1980