

METODOLOGIA E PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE GRÃOS ATRAVÉS DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO INSTALADO EM COLHEDORA

Moisés Luiz Lagares Júnior

Faculdade de Engenharia Mecânica – Femec, Universidade Federal de Uberlândia - Campus Santa Mônica – CEP: 38405-246 Uberlândia- Minas Gerais – Brasil
mllagares@mecanica.ufu.br

Marcos Moraes de Sousa

mmsousa@mecanica.ufu.br

Resumo: *O Brasil tem-se destacado internacionalmente como grande produtor e exportador de grãos. Essa posição tem-se firmado a cada ano pela alta competitividade do país nessa área, atraindo grandes empresas de pesquisa de sementes como Monsanto, Syngenta, Bayer, Dow Agrosiences entre outras. Considerando a necessidade de tais empresas de um medidor de umidade instalado em colhedora, a ausência de um sistema adequado no país e seu alto custo de aquisição no exterior, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de medição de umidade (S.M.U.) com características próprias para ser embarcado em colhedora a fim de automatização da coleta de dados de parcelas. Alguns requisitos para instalação em uma colhedora foram propostos a fim de que o sistema desenvolvido fosse capaz de trabalhar nas condições próprias de uma colhedora de grãos. Um S.M.U. com princípio capacitivo foi construído obedecendo a tais requisitos. Sua calibração foi feita através de construção de um modelo não-linear obtido pela regressão através do método dos mínimos quadrados de nove níveis diferentes de umidade de grãos de milho. Concluiu-se que o S.M.U. desenvolvido atendeu aos requisitos de construção propostos e apresentou um modelo adequado de calibração para valores de umidade entre 10 e 26%..*

Palavras-chave: *sensor capacitivo, medidor umidade, colhedora*

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem-se destacado internacionalmente como grande produtor e exportador de grãos. Essa posição tem-se firmado a cada ano pela alta competitividade do país nesta área. Todas essas vantagens aliadas ao bom potencial para crescimento da agricultura (principalmente pela disponibilidade de terras cultiváveis) têm atraído grandes empresas de pesquisa de sementes. Monsanto do Brasil, Syngenta Seeds, Pioneer, Nidera, Dow Agrosiences são alguns exemplos de multinacionais instaladas no país.

Todas estas empresas realizam pesquisa na área de desenvolvimento de novos híbridos de milho, sorgo, melhoramentos de variedades de soja e outras grandes culturas. Durante o processo de pesquisa e desenvolvimento de produto (que pode durar vários anos), grande número de equipamentos e implementos agrícolas especialmente desenvolvidos para este ramo de atividade são empregados. Pode-se destacar contadores de sementes, plantadoras para plantio de parcelas, debulhadores especiais de grãos e colhedoras de parcelas.

Parcela é uma pequena área plantada (em geral de três a cinco metros de comprimento) contendo uma, duas ou quatro linhas de plantas (soja, milho, sorgo e outras) espaçadas na largura. Centenas e até milhares de parcelas são plantadas, cada uma tendo um material genético diferente destinado a estudos. As empresas de pesquisa necessitam, na época da colheita, extrair informações de cada uma destas parcelas de forma rápida e confiável para desenvolverem novos híbridos ou aperfeiçoarem certas características de um grão.

A princípio, as parcelas eram colhidas manualmente e levadas ao laboratório para análise. Com o constante aumento dos programas de pesquisa (o que elevou o patamar de plantio de centenas para milhares de parcelas), o trabalho manual tornou-se praticamente inviável. A saída passa pela automatização de tarefas através de instrumentos instalados na própria colhedora. As informações são obtidas durante a colheita de cada parcela e armazenadas em memória digital (via Controlador Lógico Programável), racionalizando o trabalho de laboratório.

Este sistema já existe para aplicação comercial, porém tem que ser importado. As principais fornecedoras de equipamentos para análise de grãos embarcados em colhedora são norte-americanas. O custo destes equipamentos é elevado, o que torna proibitivo sua aquisição por empresas de pesquisa de menor porte. Sem acesso a esta tecnologia, tais empresas acabam tendo limitações no processo de desenvolvimento de novos produtos.

A ausência de um sistema adequado no país e seu alto custo de aquisição no exterior são fatores que motivaram a realização deste trabalho e denotam sua importância. O objetivo aqui é o desenvolvimento de um sistema de medição de umidade (S.M.U.) com características próprias para ser embarcado em colhedora a fim de automatização da coleta de dados de parcelas.

2. REQUISITOS DE CONSTRUÇÃO UTILIZADOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DE UMIDADE

Dentre as informações importantes a se obter durante a colheita, uma delas é a umidade dos grãos. Verificou-se que existe uma grande variedade de Medidores de Umidade de grãos no mercado nacional (tanto nacionais como importados). No entanto, são medidores que não se prestam às condições de uma colhedora. A fragilidade (condições do campo como choques mecânicos, excesso de temperatura e umidade do ar etc), tempo de leitura de umidade e dificuldade de adaptação às necessidades de uma colhedora (alimentação elétrica de 12 V, sistema de armazenamento de dados, condições para recepção dos grãos após a trilha etc) são condições impeditivas de instalação dos mesmos em uma colhedora.

Sendo assim, desenvolvemos um sistema de medição adaptado para as condições encontradas em uma colhedora convencional de grãos, para isto, foram selecionados os seguintes requisitos de construção que o Sistema de Medição de Umidade (S.M.U.) terá que atender:

1. Robustez (capacidade de resistir a vibrações mecânicas e eventuais choques mecânicos);
2. Rapidez de leitura (aproximadamente 30 segundos para que se torne viável comercialmente);
3. Resistência às intempéries (altas temperaturas com exposição ao sol, alta umidade do ar em dias chuvosos e exposição à poeira);
4. Simples operação (operado pelo próprio condutor de colhedora);
5. Compatibilidade com um Controlador Lógico Programável (responsável pela automatização de todo o processo);
6. Possibilidade de alimentação elétrica 12 V (única fonte de energia presente em uma colhedora);
7. Baixo custo (visando às empresas de menor porte).

Deste modo um S.M.U. foi desenvolvido tendo como direção o atendimento aos sete requisitos anteriores e seguindo a metodologia seguinte.

3. CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DE UMIDADE

3.1. Construção Mecânica do Sensor e Método de Medição Utilizado

Com relação aos métodos de medição de umidade, Carvalho (1994) divide tais métodos em primários ou diretos, pelos quais se remove e se quantifica (por peso ou volume) a água contida na semente, e secundários ou indiretos nos quais se mede alguma característica da semente que, de alguma forma, se relaciona com seu teor de água. Na primeira categoria tem-se a secagem em estufa

e cálculo do peso perdido, remoção de água por destilação e medida do volume representado pela água, extração de água com um solvente e determinação da quantidade de água através de processos titrimétricos, cromatográficos ou espectrofotométricos. Dentre os métodos secundários como higrometria, espectroscopia de luz infravermelha ou de microondas, ressonância nuclear magnética e reações químicas, destacam-se os baseados em propriedades elétricas das sementes.

Knöchel, Daschner e Tautel (2001) enumeram alguns métodos indiretos e suas características para medição de umidade em alimentos com aplicação *on-line*: Medidor de umidade radiométrico, sensores resistivos (que trabalham com a condutividade do material), sensores capacitivos, sensor de ressonância magnética nuclear e sensores óticos.

Dentre estes, o sensor que mais se adequou aos requisitos para atender a necessidade de projeto do S.M.U. foi o sensor capacitivo. Sua escolha deveu-se a possibilidade de robustez de construção, resistência às intempéries, simplicidade de operação e baixo custo de aquisição de componentes.

Os capacitores caracterizam-se pela existência de duas placas paralelas condutoras de eletricidade separadas por um material isolante denominado dielétrico. Como o sensor em questão deve medir a presença de umidade em grãos, tais grãos serão o meio dielétrico. Assim, em tese, a capacitância do sensor irá variar em função da umidade presente na amostra dentro do sensor (visto que se espera a mudança da constante dielétrica em função da presença de maior ou menor porcentagem de água nos grãos).

A fim de acondicionar os grãos de maneira adequada, foi construído um reservatório cúbico de chapas de aço de 3,2 mm de espessura com uma placa isolada de aço inoxidável de 2 mm de espessura posicionada no interior do reservatório. Assim tem-se um recipiente com característica capacitiva capaz de receber os grãos que funcionarão como dielétrico do mesmo. O isolamento entre as duas placas foi conseguido com a fabricação de um suporte em *nylon*. Foi escolhido o aço inoxidável devido suas características de alta resistência à corrosão enquanto o reservatório cúbico recebeu tratamento de pintura. As dimensões são 109 mm de comprimento, 109 mm de largura e 94 mm de altura, perfazendo um volume aproximado de 1,1 litro. A parte inferior é articulada para facilidade de retirada dos grãos durante os ensaios e possibilitar a posterior automatização na colhedora (através de um sistema pneumático, por exemplo). A Figura (1) mostra o sensor na sua concepção final.



Figura 1. Sensor capacitivo construído.

3.2. Circuito Elétrico Utilizado

O circuito elétrico utilizado para o sensor mostrado acima é semelhante ao descrito por Pinto (1997). Este foi escolhido devido sua simplicidade além de ter sido utilizado com sucesso no desenvolvimento de um sistema de monitoramento de umidade de solo (Pinto, 1997).

Tal circuito baseia-se na presença de uma fonte alternada de tensão U_e , um resistor divisor de tensão R e um capacitor C . Tal capacitor é o sensor construído conforme a Fig. (1). A queda de tensão observada no resistor R será utilizada para calibração do sensor. Não foi tomada a queda de tensão no sensor capacitivo C pois, com o aumento da umidade dos grãos, ocorre uma diminuição da queda de tensão no sensor (e conseqüente aumento da queda de tensão no resistor). Desta forma,

espera-se maior facilidade de leitura da tensão de saída com o aumento na queda de tensão em R . A Figura (2) ilustra o esquema elétrico utilizado.

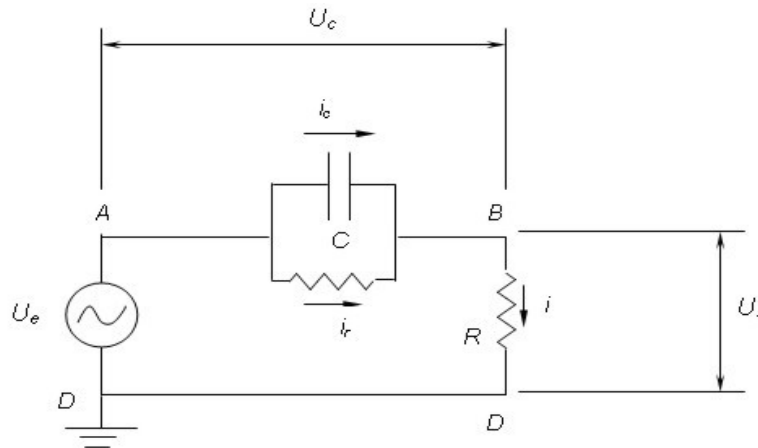


Figura 2. Circuito elétrico utilizado no S.M.U.

Como gerador de onda senoidal foi utilizado o circuito integrado XR2206 da Exar. O circuito eletrônico completo do S.M.U foi construído com a utilização de um Amplificador Operacional LM 741 para retificação de meia onda e, associado a um capacitor eletrolítico de 1 μF , para obter um sinal DC apropriado para leitura.

A fim de se determinar qual frequência utilizar no gerador de onda, foi feito o levantamento da curva Queda de Tensão de Saída U_s em função da frequência f . A Figura (3) mostra que o circuito tem o comportamento de um filtro passa alta. Para frequências acima de 500 kHz tem-se o valor mínimo de atenuação do sinal de saída.

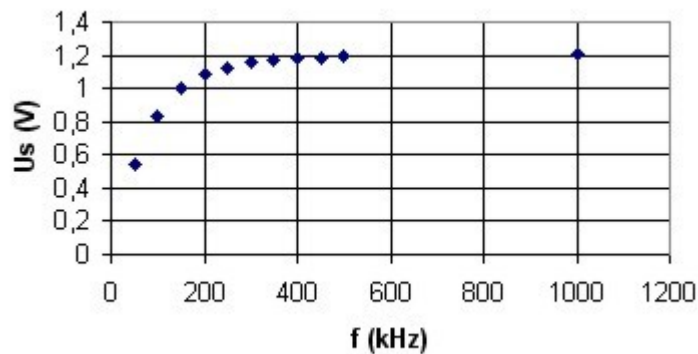


Figura 3. Curva da Tensão de Saída U_s em função da Frequência f .

Para calibração escolheu-se a frequência de 9,0 kHz (onda senoidal com 8,2 Vpp, tensão máxima do gerador) que apesar de ser um valor que está no campo de atenuação, foi a máxima frequência possível sem que houvesse distorções na retificação do sinal de saída.

3.3. Procedimento para Determinação da Calibração do Sensor

A calibração do sensor foi feita observando a relação existente entre os valores de tensão de saída do circuito (U_s) com os valores de umidade fornecidos por um medidor de umidade marca Multi-Grain da Dikey-John (usado aqui como instrumento para levantamento da curva de calibração).

Para tanto, uma amostra de milho comercial (suficiente para encher o recipiente do sensor) foi umedecida até aproximadamente 26%. O valor de umidade foi conseguido com o medidor Dikey-John. Fez-se quatro leituras de umidade e tirada a média. A amostra de milho foi então colocada no sensor e a tensão de saída (U_s) lida pelo sistema de aquisição de dados. A leitura U_s correspondente foi tirada da média de 10 medidas obtidas em intervalos de 0,5 segundo. Tal processo foi feito com três repetições para cada nível de umidade. Nove níveis de umidade foram ensaiados, à medida que os grãos iam secando naturalmente. O mínimo valor conseguido foi de 10%. A Tabela (1) mostra os resultados dos ensaios.

Os valores da Tab. (1) permitiram a construção de um modelo que será usado como curva de calibração do sensor de umidade proposto. A Figura (4) mostra os valores dispostos em gráfico e a curva de regressão dos pontos. O método utilizado para obtenção da curva é o ajuste por mínimos quadrados. Como os pontos possuem uma tendência não-linear, o ajuste foi feito para um modelo quadrático.

O ajuste forneceu o seguinte modelo:

$$\hat{U}_s = 207,08 - 32,37\% + 1,51\%^2 \quad (1)$$

onde,

$\hat{U}_s$ – Queda estimada da tensão de saída;

% - Umidade do milho (valor de entrada).

Tabela 1. Resultados experimentais para a construção da curva de calibração.

Umidade (%) (Valor médio de quatro leituras)			Tensão de saída U_s (V) (Valor médio de 10 leituras feitas em intervalos de 0,5 segundo)		
Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3
26,0	25,6	25,8	0,394	0,384	0,341
24,6	24,5	24,5	0,358	0,355	0,351
21,9	22,0	21,7	0,239	0,235	0,238
20,8	20,7	20,6	0,188	0,188	0,205
18,8	18,8	19,1	0,118	0,122	0,123
16,2	16,3	16,4	0,077	0,073	0,070
14,4	14,5	14,5	0,062	0,061	0,060
13,4	13,3	13,5	0,051	0,052	0,052
10,1	10,0	9,8	0,031	0,031	0,031

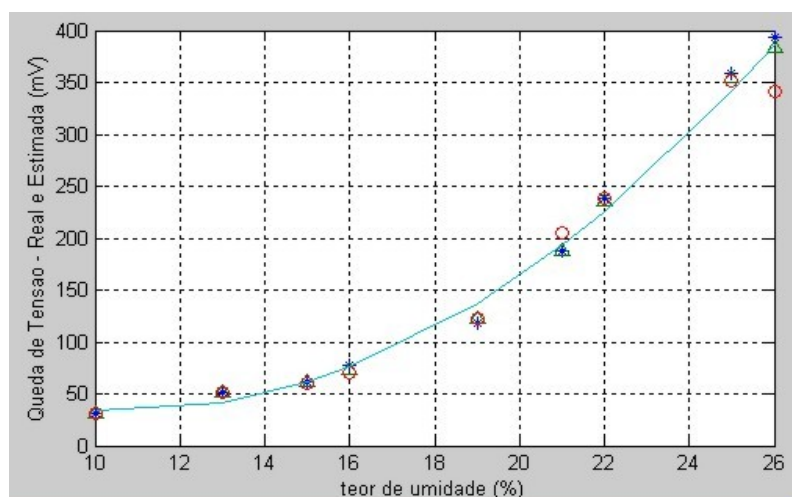


Figura 4. Variação de U_s com o teor de umidade para o milho, 26-30°C, (+) Repetição 1, (Δ) Repetição 2, (o) Repetição 3.

A qualidade do ajuste do modelo proposto foi avaliado pelo método de Análise de Variância (Tab. (2)).

Pela Análise de Variância, observa-se que não existem evidências de falta de ajuste do modelo visto que tanto a porcentagem de variação explicada como a porcentagem de variação explicável são altas. Esta constatação é comprovada pela distribuição aleatória dos resíduos mostrada na Fig. (5).

O erro padrão dos parâmetros (estimado pela matriz de covariância e a média quadrática dos resíduos) é mostrado entre parênteses na Eq. (2). Vê-se que, pelos baixos valores comparados aos parâmetros, os três parâmetros estimados são estatisticamente significativos.

$$\hat{U}_s = 207,08 - 32,37\% + 1,51\%^2$$

$(\pm 35,23)$ $(\pm 4,05)$ $(\pm 0,11)$

(2)

Tabela 2. Análise de Variância para o modelo proposto.

<i>Fonte de variação</i>	<i>Soma Quadrática</i>	<i>No de graus de lib.</i>	<i>Média Quadrática</i>
Regressão	409.110,0	2	204.550,0
Resíduos	4.440,0	24	185,0
Falta de Ajuste	2.586,7	6	431,1
Erro puro	1.853,3	18	103,0
Total	413.550	26	
% de variação explicada	98,93		
% máxima de variação explicável	99,55		

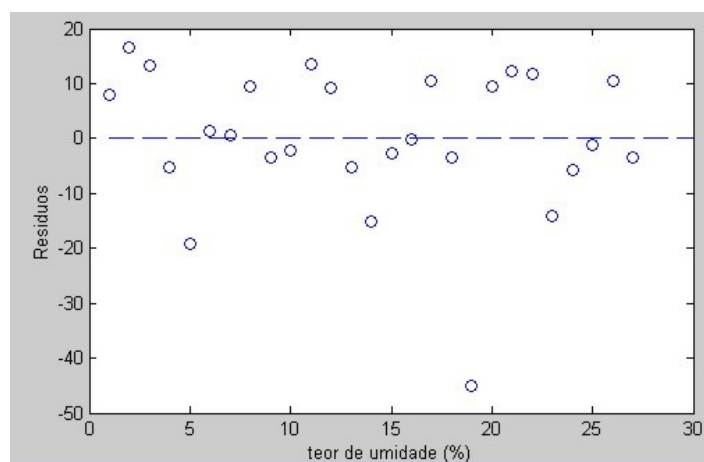


Figura 5. Gráfico dos resíduos.

4. DISCUSSÃO

O modelo estimado na Eq. (2), mostrou-se adequado para ser usado como curva de calibração do sensor construído. Apesar de adequado, o modelo não é linear, o que traz alguns inconvenientes como não permitir uma sensibilidade constante do S.M.U.

Berbert e Stenning (1997), em seu estudo sobre a influência do teor de umidade nas propriedades dielétricas de sementes de trigo no intervalo de 500 kHz a 5 MHz, encontraram uma variação linear da constante dielétrica ϵ' (também chamada de permissividade relativa) com o teor de umidade do trigo quando submetido a uma frequência de 5,0 MHz. Para frequências mais baixas

(0,5 e 1,0 MHz), existe um valor crítico de umidade (14%) acima do qual a taxa de variação de ε' eleva-se acentuadamente, mostrando um comportamento não-linear (Fig. (6)).

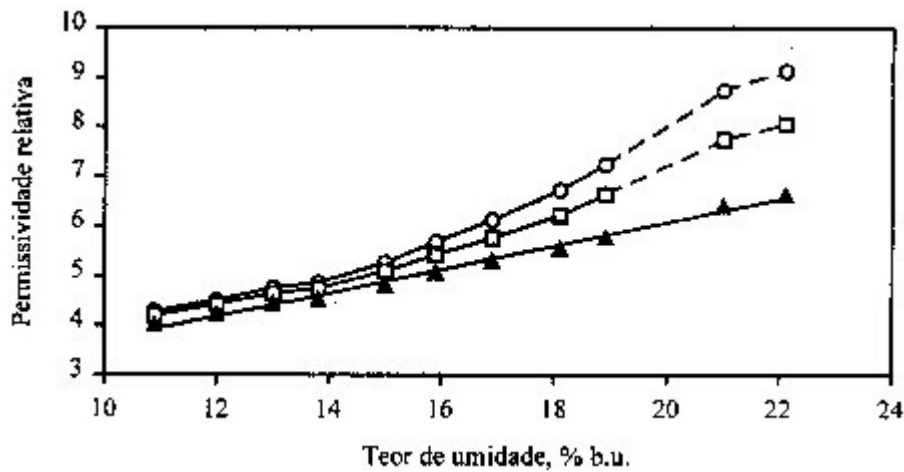


Figura 6. Variação de ε' com o teor de umidade para o trigo, 21-24°C, (o) - 0,5 MHz, (□) - 1,0 MHz, (Δ) - 5,0 MHz.

Esta constatação mostra que há possibilidade de se encontrar uma relação linear (ou pelo menos estatisticamente aceitável) entre U_s e % para valores acima de 9,0 kHz. No entanto, o problema de distorções do sinal retificado para valores maiores que 9,0 kHz tem que ser solucionado. Ainda assim, mesmo o modelo não-linear continua a ser aplicável. Os Controladores Lógico Programáveis (C.L.P.) atuais permitem o uso de curvas não-lineares como ponte de ligação entre a entrada A/D do mesmo e sua interface de saída (visor).

Com relação à construção mecânica do sensor, esta atende perfeitamente aos requisitos Robustez, Resistência à Intempéries e Baixo Custo. Feito de materiais de fácil aquisição no mercado e com dimensões que lhe conferem rigidez, são perfeitamente adaptáveis ao ambiente de uma colhedora.

O circuito elétrico proposto atende aos requisitos de Rápida Leitura (quase imediata quando colocado o grão no sensor); Simples Operação, dispensando qualquer tipo de ajuste prévio; Compatibilidade com um C.L.P., sinais de saída entre 0 e 1Vdc apropriados para entrada A/D e Baixo Custo, com circuitos integrados facilmente encontrados no mercado nacional e de baixo custo.

Os requisitos Robustez e Resistência à Intempéries para o circuito podem ser atingidos com a montagem dos componentes em uma placa de circuito impresso que ficará anexada na parte posterior do sensor e protegida por uma tampa metálica vedada com borracha (impedindo a entrada de poeira).

5. CONCLUSÕES

Tanto as características construtivas do sensor como o circuito elétrico utilizado permitiram o levantamento de um modelo (não-linear) para calibração do sensor capacitivo;

Mesmo o modelo não sendo linear, ele continua aplicável visto que é possível programá-lo nos Controladores Lógico Programáveis atuais;

Os Requisitos de Construção enumerados foram observados durante a construção do S.M.U. o que culminou em um sistema adaptável para trabalho embarcado em uma colhedora.

6. REFERÊNCIAS

BERBERT, P. A.; STENNING, B. C., 1997, Influência do Teor de Umidade nas Propriedades Dielétricas de Sementes de Trigo no Intervalo de 500 kHz a 5 MHz, Revista Engenharia Agrícola, vol. 16, n. 4, pp. 47-58.

CARVALHO, N. M., 1994, A Secagem de Sementes, FUNEP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Campus de Jaboticabal, 165 pp.

KNÖCHEL, R.; DASCHNER, F; TAUTE, W., 2001, Resonant Microwave Sensors for Instantaneous Determination of Moisture in Foodstuffs, Food Control 12 - Elsevier Ltd., pp. 447-458.

PINTO, C. A. R., 1997, Desenvolvimento de Um Sistema de Monitoramento a Distância de Umidade de Solo, Tese de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Mecânica, 102 pp.

METHODOLOGY AND PROCEDURE FOR DETERMINATION OF THE MOISTURE GRAINS THROUGH A MEASUREMENT SYSTEM INSTALLED IN A COMBINE

Moisés Luiz Lagares Júnior

Faculdade de Engenharia Mecânica – Femec, Universidade Federal de Uberlândia - Campus Santa Mônica – CEP: 38405-246 Uberlândia- Minas Gerais – Brasil
mllagares@mecanica.ufu.br

Marcos Morais de Sousa

mmsousa@mecanica.ufu.br

Abstract: Brazil has been distinguished internationally as great grain producer and exporter. This position has been confirmed year by year by its high competitiveness in the sector, attracting great companies of seed research such as: Monsanto, Syngenta, Bayer, Dow Agrosiences, among others. Such companies need to measure the moisture of grains with an embedded system in a combine. Nevertheless, the costs to import a M.M.S. – Moisture Measurement System – are high and there are no such systems available in Brazil. Then, this paper has the purpose to develop a M.M.S. with proper characteristic to be embedded in a combine. Some requirements to install such a system in a combine were proposed in order to satisfy the environment and conditions that a combine works. A M.M.S. with a capacitive principle was made attending such requirements. The calibration was made through a prototype nonlinear mathematical model obtained from the regressive minimum squared method for nine different moisture levels of corn grains. It can be concluded that the developed M.M.S. satisfied the construction requirements and have an adequate calibrated model for moisture level between 10 to 26%.

Keywords. *Capacitive sensor, moisture measurement, combine*