

## CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DE CÉLULAS DE CARGA HIDRÁULICA PARA ESTUDOS LISIMÉTRICOS

ALLAN V. P. SALGADO<sup>1</sup>, TONNY J. A. SILVA<sup>2</sup>, JEREMIAS C. SILVA<sup>3</sup>, EDNA M. BONFIM-SILVA<sup>2</sup>, RHEIDER A. F. SANTOS<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental da UFMT – Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis - MT, (66) 34104104, allanvinnicius@hotmail.com

<sup>2</sup> Professor (a) Dr. (a) Adjunto do Depto. de Engenharia Agrícola e Ambiental, ICAT/UFMT, Rondonópolis - MT.

<sup>3</sup> Engenheiro Agrícola, Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis - MT.

<sup>4</sup> Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental da UFMT – Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis - MT.

Apresentado no  
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014  
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

**RESUMO:** O presente estudo descreve a construção, instalação e calibração de três células de carga hidráulicas para uso em lisímetro, confeccionadas com mangueira do tipo auto extingüível. Para a determinação do volume ideal de fluido nas células de carga, utilizou-se 13 litros de água destilada em repouso, em que foram liberados volumes iguais de 50 ml, sendo as diferenças das leituras no manômetro de mercúrio (leitura visual) anotadas até que os volumes retirados resultassem em registro de leituras proporcionais e estáveis. A calibração foi dividida em duas etapas. Na primeira etapa foi realizada a calibração central do lisímetro, em que foram adicionados e posteriormente retirados 100 sacos de areia de 1 kg, totalizando um incremento de 100 kg. Na segunda etapa, aplicou-se uma carga pontual de 36 pesos de 1 kg na parte central de cada célula de carga hidráulica, bem como nos vértices do triângulo equilátero formado pelas mesmas, totalizando um acréscimo de 36 kg. Os resultados no que tange a calibração das células de carga foram satisfatórios com coeficientes de determinação de 0,99 tanto para a calibração central do lisímetro, quanto para os vértices e na parte central de cada uma células de carga hidráulica.

**PALAVRAS-CHAVE:** fluido, manômetro, volume ideal

## CONSTRUCTION AND CALIBRATION OF HYDRAULIC LOAD CELLS FOR LYSIMETER STUDIES

**ABSTRACT:** The present study describes the construction, installation and calibration of three hydraulic load cells for use in lysimeter, made with self-extinguishing type hoses. To determine the ideal volume of fluid in the load cells used contained 13 liters of distilled water at rest, that equal volumes of 50 ml were released. The differences in readings of the mercury manometer (visual reading) annotated until the volumes withdrawn resulted in record proportionate and stable readings. Calibration was divided into two stages. In the first stage the central lysimeter calibration was performed. At this stage were added and subsequently removed 100 sandbags 1 kg, totaling an increase of 100 kg. In the second stage, it was applied a point load of 36 weights of 1 kg in the central part of each hydraulic load cell, as well as in the vertices of the equilateral triangle formed by the same, amounting to an increase of 36 kg. The results concerning the calibration of the load cells were satisfactory with correlation coefficients of 0.99 for both the central calibration lysimeter, as for the vertices and the central part of each hydraulic load cells.

**KEYWORDS:** fluid, ideal volume, manometer

**INTRODUÇÃO:** As informações agrometeorológicas oferecem subsídios e alternativas para o desenvolvimento de práticas sustentáveis para uma agricultura de melhor qualidade e lucratividade, oferecendo menores riscos, custos e impactos negativos ao ambiente. A utilização de dados meteorológicos para fins de aplicação na agricultura requer precisão, confiabilidade e representatividade (CARLESSO et al., 2007). Os lisímetros de pesagem, quando bem desenhados, calibrados e manejados, medem precisamente e representativamente a evapotranspiração das culturas, integrando fatores ambientais que regem tal processo (CAMPECHE, 2002).

Para SILVA (2013) a calibração é um dos principais procedimentos para que se tenham dados confiáveis de evapotranspiração, sendo que ela deve ser realizada in situ, nas condições climáticas de seu funcionamento, adicionando e removendo pesos conhecidos estabelecendo relação entre a coluna manométrica e a massa do sistema. Para CAMPECHE (2002), a calibração de lisímetros é uma das etapas mais importantes durante a implantação do equipamento, pois procedimentos incorretos de calibração levam a interpretações inconsistentes dos valores de evapotranspiração, principalmente quando se trabalha em curtos períodos de tempo. O objetivo desse estudo é descrever a construção, instalação e calibração de três células hidráulicas para uso em lisímetro.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi conduzido na estação meteorológica da Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, Campus Rondonópolis. Para o sistema de pesagem hidráulica confeccionou-se três células de carga hidráulica, com mangueiras do tipo auto extingüível fabricadas com butil-propileno, reforçado com nylon com as seguintes dimensões: 850 mm de comprimento e 101,60 mm de diâmetro interno. As mangueiras tiveram as suas extremidades fechadas por pressão, utilizando-se dois pares de tubos galvanizados com 0,2m de comprimento, usando-se um par por extremidade. Os tubos foram perfurados transversalmente para colocação de parafusos sextavados com 6,35 x 63,5 mm. Não houve a necessidade de adicionar cola nas extremidades da mangueira, porque a vedação foi realizada apenas com a pressão exercida pelos tubos com parafusos. Também foram construídas três bases para apoio das células hidráulicas feitas de concreto armado no traço 3:3:1 com as seguintes dimensões: 0,60 x 0,15 x 0,20 m, sendo que o topo da base foi cuidadosamente nivelado. Após a construção das bases esperou-se 28 dias para o procedimento de montagem do sistema de pesagem.

O enchimento das células de carga hidráulica foi realizado com 13 litros de água destilada em repouso. Depois de cheios e fechados, procedeu-se a determinação do volume ideal, pois a superfície de contato entre os travessieiros e as bases tem que permanecer o mais constante possível, evitando-se erros na resposta da pressão transmitida ao sistema de leitura (SILVA, 2000). Foi utilizada água destilada no enchimento das células de carga, pois se houver presença do ar dentro das células ou dos tubos de transmissão de pressão, podem ocorrer erros de medições, prejudicando todo o sistema hidráulico de pesagem (SILVA, 2005). Por intermédio do registro de saída, foram liberados volumes iguais de 50 ml, sendo que a diferença de cada leitura, feita no manômetro de mercúrio e também no datalogger por meio de um transdutor de pressão, até que os volumes retirados resultassem em registro de leituras proporcionais e estáveis (SILVA, 2000), foram devidamente anotados para serem posteriormente correlacionadas com os valores acumulados de volume retirado. Na determinação do volume ideal de água para as células de carga hidráulica, seguiu-se a recomendação de SILVA et al. (2003), sendo este procedimento fundamental na construção dos lisímetros de pesagem hidráulica. O volume ideal de água para as células de carga é aquele correspondente ao ponto mínimo da (equação 1) encontrado na curva de regressão.

$$\Delta L = 0,0000003 * V_a^2 - 0,0038 V_a + 12,33 \quad (1)$$

em que,

$\Delta L$  - variação das leituras em mm;

$V_a$  - volume de água acumulado em ml

Este volume foi obtido através da derivada primeira da função que corresponde a:

$$\partial y / \partial x = 0,0000006 V_a - 0,0038 \quad (2)$$

Resolvendo a equação 1, após a definição da tangente igual a zero (ponto de mínimo), encontra-se um volume ideal de 6333 ml, como segue:

$$\partial y/\partial x = 0,0000006Va - 0,0038 = 0 \quad (3)$$

$$Va = 6333 \text{ ml}$$

A calibração foi dividida em duas etapas. Na primeira etapa foi feita a calibração central do lisímetro, onde foram adicionados e posteriormente retirados 100 sacos de areia hermeticamente fechados de 1 kg, representando 1,0 mm de lâmina evapotranspirada, totalizando um incremento de 100 kg ou 100 mm de lâmina, sendo que a cada adição e retirada de pesos, esperou-se 1 minuto para a devida estabilização do sistema de leitura. Na segunda etapa foi feito o mesmo procedimento aplicando-se carga pontual em cada célula de carga individualmente e nos vértices do triângulo equilátero formado pelas células de carga, adicionando-se 36 pesos de 1 kg, totalizando um acréscimo de 36 kg ou 36 mm de lâmina. O objetivo dessa última etapa foi verificar a estabilidade do lisímetro, desta forma, foram obtidos 100 pares de pontos no setor central (adição e subtração dos pesos), 36 pares de pontos em cada vértice e em cada uma das células de carga hidráulica para a construção da curva de calibração por meio de regressão linear.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A variação de pressão registrada no manômetro apresentou tendências a leituras constantes, com retirada de fluido (água) em volumes iguais 50 ml. A partir do volume acumulado de 6333 ml observa-se, inicialmente, que as diferenças medidas no manômetro para extrações de 50 ml de água foram maiores, diminuindo gradativamente na medida em que a área de contato entre a mangueira auto extingüível (célula de pesagem) e a base foi se tornando praticamente invariável com as extrações subsequentes. Resultado semelhante foi observado por SILVA (2005) trabalhando com lisímetros de pesagem hidráulica.

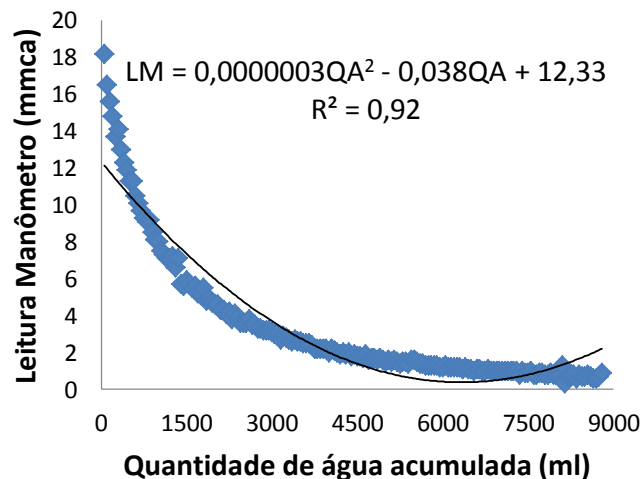


FIGURA 1. Variação das diferenças de Leituras no Manômetro (LM) em razão das extrações de água sucessivas (QA) de volumes constantes de 50 ml de fluido (água) em três células de carga de pesagem hidráulica.

Nas análises das calibrações realizadas com cargas pontuais em cada uma das três células de carga hidráulica e em seus vértices, o lisímetro apresentou boa estabilidade, sendo que a relação entre o acréscimo de massa, leitura do manômetro de mercúrio e o transdutor de pressão, apresentaram coeficientes de determinação satisfatórios. LIMA (2012), ao trabalhar com células de carga hidráulica em estudos com lisímetro de pesagem hidráulica, na região litorânea de Pernambuco, encontrou alto coeficiente de determinação tanto para calibração central do lisímetro quanto em qualquer um dos quatro quadrantes avaliados.

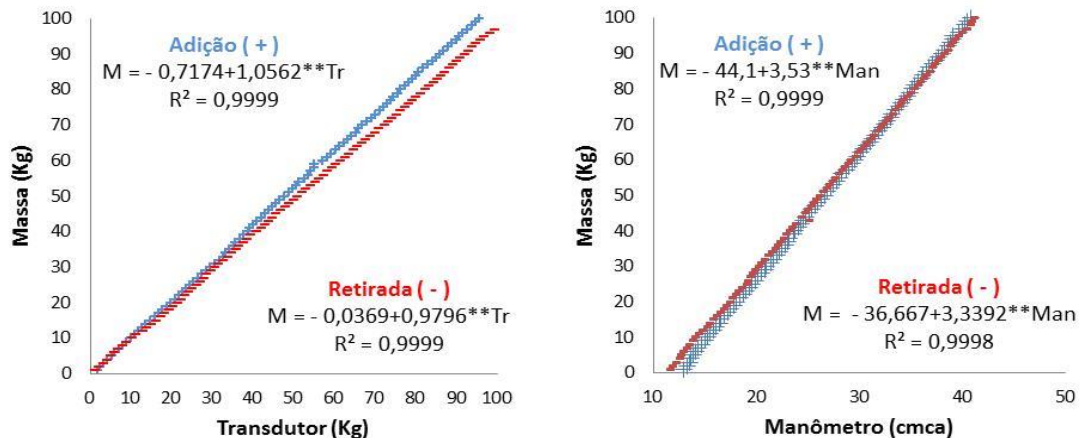


FIGURA 2. Análise de regressão entre leituras observadas no transdutor (Tr) e manômetro de mercúrio (Man) em função da adição (+) e retirada (-) dos pesos com massa de 1 kg (M).

\*\* Significativo a 1% de probabilidade

**CONCLUSÕES:** A determinação exata do volume ideal do fluido nas células de carga hidráulica permite leituras confiáveis das variações de pesos padrão em lisímetros de pesagem hidráulica. A diferença de pesos padrão de 1 kg e a leitura registrada tanto no manômetro quanto no sensor, foram altamente lineares (coeficiente de determinação acima de 0,99), tanto na calibração central quanto na calibração com carga pontual nas células de carga ou vértices das mesmas, resultando em alta estabilidade das leituras.

**AGRADECIMENTO:** À CAPES/FAPEMAT por apoio em bolsa de mestrado do terceiro autor.

## REFERÊNCIAS

CAMPECHE, L.F.S.M. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da cultura da lima ácida “Tahiti” (Citrus Latifolia Tan.)**. Piracicaba, SP, 2002. 67p. Tese (Doutorado) - Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

CARLESSO, R. et al. (Org.). **Usos e benefícios da coleta automática de dados meteorológicos na agricultura**. Santa Maria: EDUFMS, 2007. 165 p

SILVA, J. C. **Construção, Automação e Avaliação de um lisímetro de pesagem hidráulica**. Rondonópolis, MT, 2013. 61p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso

SILVA, T. J. A. **Aplicação de evapotranspirômetro de pesagem no estudo de relações entre a evapotranspiração de referência medida e estimada no semi-árido nordestino**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal rural de Pernambuco – 2000.

SILVA, T. J. A.; **Evapotranspiração e coeficiente de cultivo de maracujazeiros determinados pelo método de balanço de radiação e lisimetria de pesagem hidráulica**. São Paulo, SP, 2005. 99p. Tese (Doutorado) - Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SILVA, T. J. A.; MONTENEGRO, A.A.; RODRIGUES, J.J.V.; BONFIM, E.M.S. **Aplicação de lisímetro de pesagem hidráulica na determinação da evapotranspiração de referência em Petrolina – PE**. Engenharia Agrícola, v.23, n.3, 511 – 520p. 2003.

LIMA, N. S. **Construção, instalação e calibração de lisímetros para a determinação da evapotranspiração de referência na região do litoral de Pernambuco**. 43p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal Rural de Pernambuco. UFRB – PE. 2012.