

CONSTRUÇÃO E TESTE DE LISÍMETROS DE ALTA PRECISÃO

Rogério Teixeira de FARIA¹, Luís F. de S. M. CAMPECHE², Eduardo Yasuji CHIBANA³, Celso Jamil MARUR⁴

INTRODUÇÃO

A quantificação do fluxo de vapor d'água para a atmosfera proveniente de superfícies úmidas, como áreas cultivadas ou em pousio, é de grande interesse para determinação das necessidades hídricas de cultivos e da disponibilidade hídrica do solo. Dentre os vários métodos disponíveis, os lisímetros determinam a evaporação ou evapotranspiração pelo balanço de massa ou volume de água e são considerados padrões para aferição dos demais.

Os lisímetros vêm sendo desenvolvidos há mais de 60 anos, sendo os que usam mecanismos de pesagem os mais precisos e sensíveis para a determinação direta da evapotranspiração pelo balanço de massa de água. Nos últimos anos, o desenvolvimento da eletrônica disponibilizou sensores mais precisos, robustos e baratos, incluindo as células de carga que podem ser usadas para construção de lisímetros de pesagem de alta precisão, além de sistemas de aquisição e armazenamento de dados que facilitam consideravelmente a operação contínua dos lisímetros em trabalhos de monitoramento.

Lisímetros de pesagem devem ser preferencialmente calibrados *in situ*, nas mesmas condições climáticas do seu funcionamento, por adição e retirada de pesos previamente conhecidos, conforme realizado por Campeche (2002). A calibração dos lisímetros tem por finalidade estabelecer uma relação entre o sinal de saída da célula de carga (geralmente expresso em mV) e a massa do sistema, além da verificação da linearidade e histerese da célula de carga.

Este trabalho tem como objetivos a calibração em campo de dez lisímetros de pesagem baseados em célula de carga e avaliar o desempenho dos mesmos na estimativa do fluxo de vapor d'água para a atmosfera.

MATERIAL E MÉTODOS

a) Construção e instalação dos lisímetros

Dez lisímetros de pesagem com 1,4m de largura, 1,9m de comprimento e 1,3m de profundidade foram construídos e instalados no IAPAR, em Londrina, PR (Figura 1a). O material usado na construção dos tanques foi aço carbono de 5,1mm com vigas "U" nos contornos. As paredes dos tanques foram revestidas com massa plástica e pintadas para evitar corrosão. Cada tanque foi apoiado sobre uma balança constituída por uma célula de carga e um sistema de alavancas para redução de pesos, proporcionando uma redução aproximada de 45 vezes a massa total (Figura 1b). Todas as células de carga utilizadas foram da marca Alfa, modelo S-100, de capacidade de 100 kg. Segundo o fabricante, a acuracidade das células

de carga era 0,02% do fundo de escala, ou 0,007 mm de equivalente de evapotranspiração por célula de carga. A água drenada dos tanques era coletada em dois tubos de PVC de 0,3m de diâmetro e 1,9m de comprimento (Figura 1c). Como esses tubos eram apoiados sobre a balança, a água armazenada continuava sendo contabilizada até que fossem abertos os registros de saída. O sistema de aquisição de dados constituiu-se de um datalogger (CR10X Campbell Sci.) juntamente com um multiplexador de canais diferenciais (AM 416 Relay Multiplexer, Campbell Sci.). Os dados armazenados eram transferidos para um módulo de memória e depois descarregados um computador usando como interface o programa o PC208W.

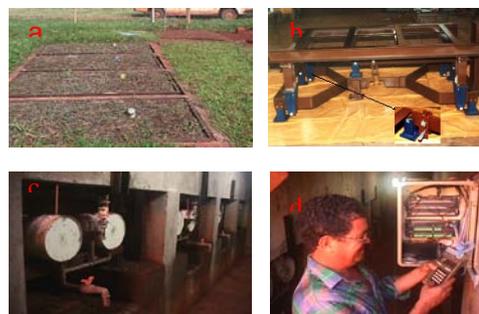


Figura 1. Vista geral dos lisímetros instalados (a), balança com sistema de redução de peso e coxim no detalhe (b), reservatório de água de drenagem e registros de saída (c) e sistema de aquisição de dados (d)

b) Calibração e teste dos lisímetros

Foram realizadas leituras a cada três segundos, com média a cada minuto. Utilizou-se a instrução (P6) do datalogger para armazenar os dados, a opção para alta resolução (P78) com "input range" de 7,5 mV e 2.500 mV como voltagem de excitação. Desenvolveu-se um programa para fazer a automação de leituras e armazenar os resultados no datalogger.

Os lisímetros foram cobertos com uma lona plástica para evitar a mudança de massa do sistema devido à evaporação da água do solo. Para minimizar o efeito do vento durante a calibração, foi utilizado quebra-vento ao redor de cada lisímetro.

Inicialmente, foi obtida a média de voltagem registrada em cada lisímetro sem os sacos de areia, teoricamente descarregado. A cada 2 minutos foram acrescentados aos lisímetros sacos de areia hermeticamente fechados, de diferentes massas e pesados em balança de acuracidade de 0,01g. O primeiro minuto da medida foi descartado para análise, já que inclui as oscilações provocadas pelo acréscimo e decréscimo de massa. Em seguida foram retirados

¹ PhD, Pesquisador da Área de Engenharia Agrícola, IAPAR, Rod. Celso Garcia Cid km 375, 86001 – Londrina – PR, E-mail rtfaria@pr.gov.br

² Dr, Eng. Agrônomo, Departamento de Engenharia Rural, Av. Pádua Dias, 11, Cx. Postal 9. Piracicaba, SP – CEP: 13418 – 900. E-mail lfsmcamp@carpa.ciagri.usp.br

³ Pos-graduando, Bolsista FUNAPE/Consortio Café/ IAPAR, Rod. Celso Garcia Cid km 375, 86001 – Londrina – PR, E-mail echibana@pr.gov.br

⁴ Doutor, Pesquisador da Área de Ecofisiologia do IAPAR, Londrina-PR – CEP 86001-970, E-mail: cjmarur@pr.gov.br

os recipientes com areia em intervalos de 2 minutos na mesma sequência da adição. Foram utilizados 80 sacos de 4,655 kg e 10 sacos de 2,66 kg, representando 7 e 1 mm, cada um, respectivamente. O total de massa acrescentada correspondeu a 399 kg, ou 150 mm de equivalente de água. Desta forma, foram obtidos 60 pares de pontos para confecção da curva de calibração (mV x mm).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A linearidade entre as variações de massa e voltagem foi excelente para todos os lisímetros testados e houve mínima histerese (Figura 2). Os valores dos coeficientes de determinação foram todos significativos e próximos da unidade (Tabela 1), indicando que as variações na quantidade de massa são estreitamente relacionadas com as variações da voltagem medidas nas células de carga.

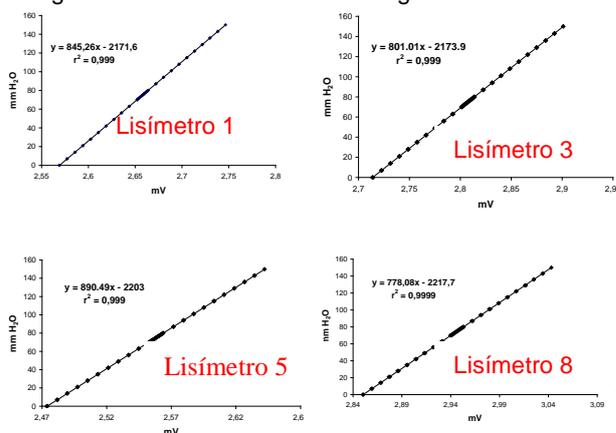


Figura 2. Relação entre variação de massa e voltagem em quatro lisímetros

Os valores do coeficiente a_1 da equação de regressão entre massa e voltagem para os diferentes aparelhos variaram entre 778,08 e 890,49 mm/mV (Tabela 1). Embora não tenha havido diferenças significativas entre os coeficiente de declividade na comparação de paralelidade entre pares de retas, as novas equações de regressão obtidas para representar cada par de lisímetros apresentou maior dispersão que as retas calibradas individualmente para cada aparelho. Os valores entre os coeficientes b_1 , obtidos na regressão, variaram entre 2117,74 a 2263,26, sendo as diferenças devidas à massa estática ("peso morto") de cada conjunto. A resposta específica de cada lisímetro à variação de massa introduzida resulta da desuniformidade do conjunto de pesagem, que pode ser atribuída, principalmente, às diferenças do extensômetro elétrico (strain gage) de cada célula de carga e das dimensões das alavancas de redução de peso. Isto, associado à inevitável diferença de "peso morto" entre cada aparelho, faz necessário o uso de equações diferentes para cada lisímetro durante os trabalhos de monitoramento.

A regressão entre os valores de massa estimados usando-se as equações de regressão calibradas para cada lisímetro e os valores de massa adicionados/retirados durante o processo de calibração resultou em coeficientes de determinação também significativos e próximos de 1 (tabela 2), com baixa dispersão da estimativa, evidenciada pela distribuição dos valores muito próximos à reta 1:1 ($a_2 \approx 1$) e

interceptação muito próxima da origem ($b_2 \approx 0$). Os erros absolutos variaram entre 0,07 e 0,43mm (Tabela 2), indicando que os dez lisímetros apresentam alta precisão para determinação de variações de massa de água.

Tabela 1. Coeficientes de regressão linear da reta $y = ax + b$ e coeficiente de determinação (r^2) entre massa e voltagem para os dez lisímetros testados

Lisímetro	a_1	b_1	r^2
Lis1	845,26	- 2171,61	1,0000
Lis2	876,97	- 2198,29	0,9998
Lis3	801,01	-2173,86	1,0000
Lis4	886,17	-2263,26	1,0000
Lis5	890,49	-2203,01	1,0000
Lis6	778,36	-2145,07	1,0000
Lis7	859,87	-2136,39	1,0000
Lis8	778,08	-2117,74	1,0000
Lis9	796,43	-2160,20	1,0000
Lis10	828,26	-2145,41	1,0000

O curso de variação diária da massa e evapotranspiração (Figura 3) mostra esse tipo de lisímetro é adequado para aplicações que requerem resolução horária e tem excelente sensibilidade para detecção de mudanças de massa, em geral menores que 0,1 mm.

Tabela 2. Coeficientes de regressão linear da reta $M_e = a_2 M_m + b_2$, coeficiente de determinação (r^2) entre massa estimada (M_e) e observada (M_m) e erro absoluto médio da estimativa para os dez lisímetros testados

Lisímetro	a_2	b_2	r^2	E
Lis1	0,99999	0,00080	0,99999	0,1014
Lis2	0,99985	0,01117	0,99992	0,4229
Lis3	0,99999	0,00099	0,99999	0,1222
Lis4	0,99999	0,00220	0,99997	0,1658
Lis5	0,99999	0,00101	0,99999	0,1165
Lis6	0,99998	0,00222	0,99997	0,1821
Lis7	0,99997	0,00221	0,99998	0,1874
Lis8	0,99992	0,00606	0,99996	0,3131
Lis9	0,99999	0,00044	1,00000	0,0744
Lis10	0,99999	0,00043	1,00000	0,0764

CONCLUSÕES

Os lisímetros apresentados são precisos e adequados para medidas de componentes do balanço de massa de água no sistema solo-planta-atmosfera.

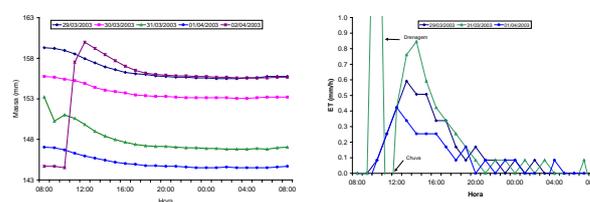


Figura 3. Variação de massa equivalente em mm (a) e evaporação de água no solo (b) de um dos lisímetros instalados

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPECHE, L.F.S.M. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida "Tahiti" (*Citrus latifolia* Tan.)**. Piracicaba, 2002. 67p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.