

ISSN 0104-1347

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DE UM LISÍMETRO DE PESAGEM COM CÉLULA DE CARGA

WEIGHING LYSIMETER WORKING ANALYSE WITH LOAD CELL

Fabiano Chaves da Silva¹, Marcos Vinícius Folegatti² e Selma Regina Maggiotto³

RESUMO

Atualmente com os avanços nos projetos de montagem e o baixo custo das células de carga e dos sistemas de aquisição de dados, tornou-se possível a construção de um lisímetro de pesagem baseado em célula de carga com boa precisão, fácil montagem e baixo custo. O objetivo do presente trabalho foi avaliar em condições de laboratório e de campo o funcionamento de um sistema de pesagem com células de carga para um lisímetro. O sistema de pesagem possui exatidão, apresentando distribuição homogênea da massa do sistema. Houve linearidade do sistema, não apresentando efeito de histerese entre as séries de acréscimo e decréscimo de peso. A resposta das células foi mais consistente na faixa de variação entre 0,1 a 1,0kg, ou seja, entre 0,1 a 1mm. Na comparação com os valores estimados pelo modelo de Penman-Monteith as medidas de evapotranspiração obtidas pelo lisímetro de pesagem apresentaram uma boa concordância. O lisímetro de pesagem possui capacidade de realizar mensurações num espaço de tempo inferior a uma hora, informação esta de grande importância quando pretende-se trabalhar com medidas de evapotranspiração em tempo real.

Palavras-Chave: evapotranspiração, lisímetro de pesagem, célula de carga.

SUMMARY

Nowadays with the the tecnology improvement as low cost load cells and datalogger systems to storage data, the construction of weighing lysimeter is becoming easy . The aim of this work was to evaluate the weighing lysimeter system with load cell in laboratory and field conditions. The weighing system had accuracy and the mass distribution in the tank were homogeneous. The linearity of the system did not show hysteresis effect when the weights were added

and subtracted. The load cells response was more consistent in the range of 0,1 to 1,0kg. The ET measurement obtained by the weighing lysimeter presented good agreement with the estimated values by Penman-Monteith model. The weighing lysimeter had capacity of taking measurements in intervals of 30 minutes.

Key words: evapotranspiration, weighing lysimeter, load cell

INTRODUÇÃO

Lisímetros de pesagem determinam diretamente a evapotranspiração (ET) pelo balanço de massa de água, ao contrário dos lisímetros não-pesáveis, que a determinam indiretamente, pelo balanço de volume. Existem vários tipos de lisímetros, sendo que o tamanho e o projeto de montagem de cada um depende do requerimento específico do estudo e das condições de construção e de custos envolvidos.

Os lisímetros utilizados em pesquisas de ET, usualmente podem ser agrupados em três categorias: (1) não-pesáveis com lençol freático de nível constante, mais utilizados em áreas onde o lençol freático é elevado; (2) não-pesáveis com drenagem livre, que são mais utilizados em áreas de alta precipitação; e (3) lisímetros pesáveis, onde a variação de massa do sistema é determinada por um mecanismo de pesagem. Além disso são também classificados, quanto ao tipo de perfil (reconstruído ou monolítico), e ao sistema de drenagem (a vácuo ou por gravidade).

Segundo HOWELL et al. (1985), os lisímetros de pesagem são os mais utilizados em pesquisas para mensurar de forma direta a evapotranspiração em períodos menores do que um dia. Outros métodos, como a razão de Bowen e o método de correlação dos turbilhões, apresentam bons resultados na mensuração da evapotranspiração nesses mesmos períodos. Contudo,

¹Eng. Agrônomo, MsC, Doutorando, Bolsista FAPESP, DER/ESALQ/USP, Caixa Postal 9, 13418-900, Piracicaba - SP, E-mail: fcdsilva@carpa.ciagri.usp.br

²Prof. Assoc., Dr. - DER/ESAL/USP, E-mail:mvfolega@carpa.ciagri.usp.br

³Mestre CPGID/ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo.

estes métodos não são utilizados para realizar medidas para um tempo superior a um ou dois dias. Existem vários mecanismos de pesagem; os mais modernos são as células de carga. A exatidão desse sistema vai depender das características da célula de carga e do sistema de armazenamento e processamento de dados. Embora os lisímetros de pesagem estejam sendo usados extensivamente há mais de vinte e cinco anos nos Estados Unidos e em outros países, o desenho estrutural destes apresenta-se o mais variado possível. A variabilidade do projeto de montagem está relacionada com os objetivos da pesquisa e melhorias e refinamentos dos sistemas de pesagem.

A sensibilidade da evapotranspiração medida em lisímetros de pesagem está diretamente relacionada com o período de tempo no qual será feita a integração da evapotranspiração. Evapotranspiração com intervalos de integração menores do que 10 a 15 min são geralmente impraticáveis. Muitos lisímetros possuem resolução, com aproximações de 0,01mm, contudo a interferência do vento limita essa sensibilidade em cerca de 0,02mm (RITCHIE & BURNETT, 1968). A resolução para um intervalo de integração diário (24h) é de 0,1mm. A sensibilidade desejada para o lisímetro pode ser obtida contrabalançando o peso "morto", ou seja, o peso do dispositivo e o solo seco, mensurando o peso "vivo", a água contida no solo com escalas de sensibilidade, podendo-se aumentar sua resolução aumentando a área da superfície em relação à profundidade média (PRUITT & ANGUS, 1960; BLACK *et al.*, 1968).

ALLEN *et al.* (1991) sugerem a utilização de equações mais complexas para determinação da evapotranspiração como a do modelo Penman-Monteith. Quando as mensurações realizadas pelo lisímetro diferem da estimativa realizada por modelos com uma forte base física é possível que o dispositivo lisimétrico não esteja representando as condições ambientais estudadas.

O estudo do consumo de água pelas culturas e dos diversos processos físicos que envolvem o sistema solo-planta-atmosfera numa condição de agricultura irrigada é de grande interesse, como base do desenvolvimento de estudos em eficiência do uso da água, hidrologia, agrometeorologia e modelagem do sistema agrícola. No caso da medida direta do consumo da água pelas culturas, em condições de campo, os lisímetros de pesagem são uma ferramenta indispensável.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar em condições de labo-

ratório e de campo o funcionamento de um sistema de pesagem com células de carga para um lisímetro.

MATERIAL E MÉTODOS

O esquema de montagem do lisímetro de pesagem pode ser observado na Figura 1. O sistema de pesagem consistiu de um tanque interno de cimento amianto (1,20 x 0,85 x 0,65m), sobre uma placa de compensado naval (1,25 x 0,90 x 0,03m). A placa de compensado naval está apoiada sobre três células de carga em disposição triangular. A disposição das células de carga sob a placa de compensado naval, foi calculada com o objetivo de se obter uma distribuição homogênea da massa. As células de carga são fixas em pontos de apoio, compostos por pilares (0,30 x 0,15m), e sob estes existe uma placa de concreto armado (1,20 x 0,90m). Este sistema de apoio das células visa evitar um deslocamento do sistema de pesagem devido às deformações do solo. As paredes do solo, são contidas por placas de compensado naval com 0,015m de espessura. A utilização do compensado naval é devido ao fato deste ser, ao mesmo tempo um material de alta resistência mecânica, e resistente às condições de umidade e de temperatura ambiente, além do seu baixo custo. No espaço inferior entre o tanque interno e o externo, existe uma camada de brita para favorecer a drenagem da chuva que vem se acomodar entre os dois tanques. Foi mantido um espaço entre o tanque interno e externo para permitir inspeções visuais e evitar impedimentos mecânicos ao funcionamento do sistema.

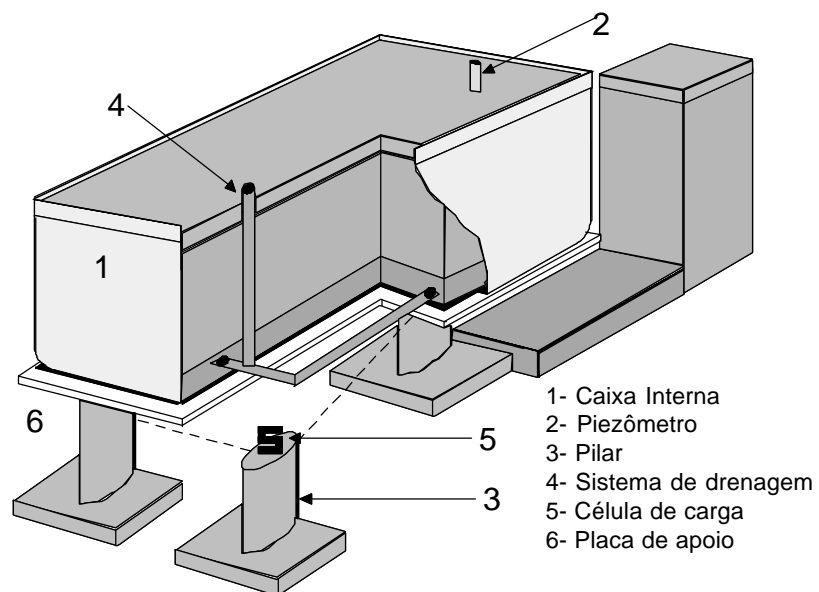


Figura 1. Projeto de montagem do lisímetro de pesagem baseado em célula de carga

As células de carga foram escolhidas de acordo com a massa total do sistema a ser mensurada (solo, tanque e água do solo). Cada célula possui uma capacidade de pesagem de 910kg, sendo resistentes à corrosão e hermeticamente seladas, para uso em ambiente aberto. As células possuem um extensômetro elétrico (strain gage) interno, ao longo do seu eixo longitudinal. Possuem também compensação automática, para reduzir a zero os erros devido à variação de temperatura. As células de carga utilizadas foram fabricadas pela Omega Engineering¹, modelo LCCA-2K, com uma precisão de 0,037% da sua capacidade total. O sistema de drenagem do lisímetro de pesagem constitui-se de um tubo em U com 0,05m de diâmetro localizado na parte inferior do tanque, sob uma camada de pedra britada e um tubo de acesso vertical, que permite a regulagem do lençol freático, pela remoção ou adição de água. Este sistema permitiu que o sistema de pesagem, não tivesse nenhum impedimento mecânico no seu funcionamento.

Inicialmente o sistema de pesagem foi montado em laboratório, onde foi preenchido com água. Numa primeira etapa, procedeu-se a determinação do valor do multiplicador que converte o sinal elétrico da célula em massa, de acordo com instruções do fabricante. A célula de carga utilizada possui uma escala nominal de saída do sinal no máximo de 3,007mV/V de excitação. Utilizou-se 1000mV de excitação para que a faixa de leitura do sinal fosse em torno de 2,5mV apresentando uma melhor performance, com maior sensibilidade. Assim tem-se uma saída de 3,007mV / 907,18kg (capacidade total), ou seja, 0,0015035mV / 0,4536kg. Invertendo esse sinal tem-se 301,691kg/mV, que é o multiplicador. Posteriormente, a variação de massa do sistema foi transformada em milímetros de lâmina evapotranspirada, multiplicando-se a mesma pela área do lisímetro, considerando a massa específica da água constante, e igual a 1g/cm³.

A evapotranspiração ocorrida foi calculada pe-

las informações de peso obtidas pelas três células de carga, coletadas por um "datalogger" (modelo: CR10 - Campbell), sendo armazenados valores de média da somatória do peso das três células de carga, calculados a cada intervalo de tempo.

Em uma segunda etapa procedeu-se a testes para verificar a exatidão do sistema de pesagem. Utilizando uma série de pesos conhecidos, com duas faixas de pesos: de 0,01 a 0,1kg (Faixa 1), e de 0,1 a 1 kg (Faixa 2). A linearidade e a exatidão do sistema de pesagem foi testada em campo, pelo acréscimo e decréscimo de uma série de pesos (1kg). O teste de campo foi realizado antes do amanhecer, para evitar variação da massa do sistema devido à evapotranspiração. A massa do lisímetro no início foi a mesma no final do teste. O lisímetro e a área vizinha foram vegetados com grama batatais (*Paspalum nonatum flugge*).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da calibração em laboratório são apresentados na Figura 2. Os valores dos coeficientes de determinação (r^2) das regressões entre os pesos aplicados e a resposta do sistema de pesagem, foram 0,909 para faixa 01 (0,01 a 0,1kg), e 0,997 para faixa 02 (0,1 a 1kg).

A resposta do sistema de pesagem foi mais consistente na faixa de 0,1 a 1 kg, apresentando uma melhor concordância entre os valores. Na faixa de 0,01 a 0,1 kg, o sistema de pesagem apresentou maior instabilidade do sinal, por essa faixa de variação de peso estar abaixo da resolução do modelo de célula de carga utilizado.

A Figura 3 apresenta o resultado do teste em campo de acréscimo e decréscimo de pesos no sistema de pesagem. Os valores do coeficiente de determinação (r^2) das regressões foram 0,9987 para o acréscimo

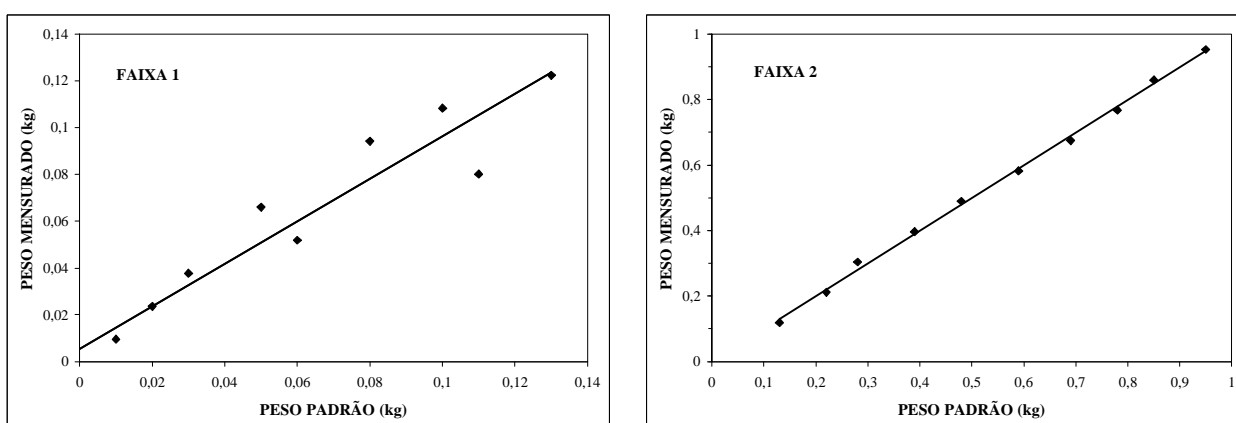


Figura 2. Peso mensurado versus peso padrão para duas faixas de peso: de 0,01 a 0,1 kg (Faixa 1), e de 0,1 a 1 kg (Faixa 2), Piracicaba - SP, 1996.

¹A apresentação do nome do fabricante é para benefício do leitor, não tendo a finalidade de divulgação comercial.

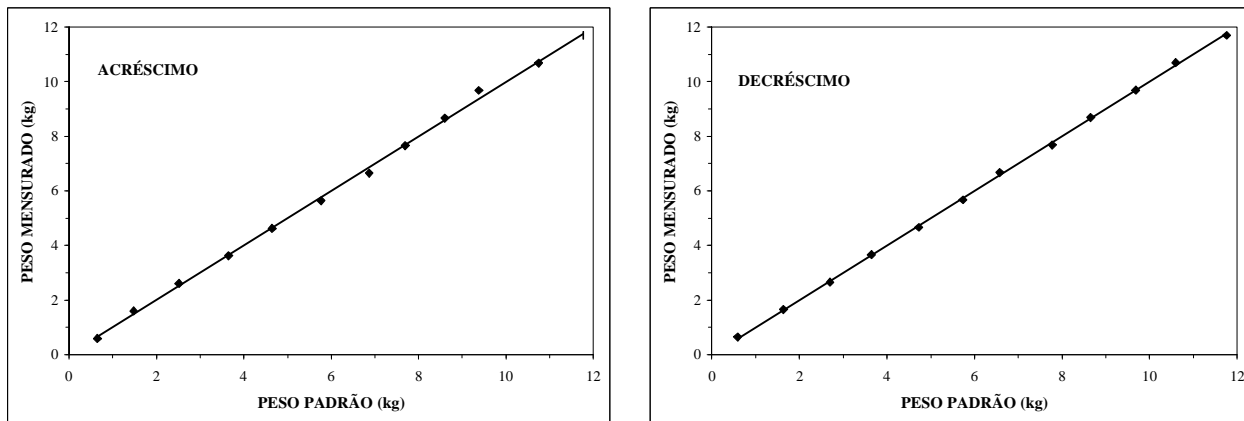


Figura 3. Peso mensurado versus peso padrão para duas faixas de peso : de 0,01 a 0,1 kg (Faixa 1), e de 0,1 a 1 kg (Faixa 2). Piracicaba - SP, 1996, (teste de campo).

mo de peso, e 0,9997 para o decréscimo de peso. De acordo com ALLEN & FISHER (1990), o lisímetro com sistema de pesagem trabalha com um erro de aproximadamente $\pm 0,05\text{mm}$ sobre uma faixa de peso de 140kg ou 140mm.

O teste foi realizado em condições de estabilidade atmosférica, não sendo afetado por processos de evaporação. A resposta do sistema de pesagem pode ser afetado pela flutuação da temperatura de operação da célula de carga; no entanto flutuações relativamente pequenas não são um fator significativo. Outra fonte de erro é o efeito de pressão do vento sobre a superfície do lisímetro conforme observou BERGAMASCHI *et al.* (1997). Esses mesmos autores verificaram que a pressão exercida por abalos físicos, sobretudo vento, provocam oscilações nas leituras do lisímetro de pesagem, as quais tendem a diminuir com o aumento do intervalo de registro.

Procurando observar a linearidade do sistema de pesagem, plotaram-se os valores de variação da massa do sistema devido ao acréscimo e ao decréscimo dos pesos. O resultado pode ser observado na Figura 4. ALLEN & FISHER (1991), utilizando um lisímetro de pesagem com características de montagem semelhantes ao utilizado neste trabalho encontraram resultados também satisfatórios para a série de variação de acréscimo e decréscimo de pesos, não observando, da mesma forma, nenhum efeito de histerese.

O "datalogger" permitiu mensurar com precisão todas as variações de massa que ocorreram, não sendo necessárias inspeções diárias do dispositivo. Na Figura 5, podem ser observadas três variações típicas da massa do lisímetro de pesagem, onde são verificados os componentes do balanço de massa do sistema (evapotranspiração, chuva e drenagem).

O dia 062 (Figura 5A) apresentou uma variação decrescente da massa do lisímetro; no caso do lisímetro de pesagem variações negativas são consideradas como evapotranspiração (Figura 5B). No dia 064

(Figura 5C) ocorreu uma chuva, o que aumentou a massa do lisímetro; neste caso ocorre uma variação positiva, sendo da mesma forma registrada. No dia seguinte, dia 065 (Figura 5E), devido à chuva do dia anterior ter causado uma elevação do lençol freático, foi necessário realizar a drenagem do sistema, sendo este componente considerado uma variação negativa; não obstante não deve ser considerada como evapotranspiração (Figura 5F).

Mensurações do lisímetro de pesagem para um período de integração de 30 min ao longo de um dia foram comparadas com os valores estimados pelo modelo Penman-Monteith (Figura 6). A estimativa da evapotranspiração seguiu a padronização proposta por SMITH (1991), não tendo sido feitas tentativas de variar os valores de resistência da cobertura no decorrer do período. Os resultados são apresentados para dois dias distintos, 23/02/96 e 02/03/96. As medidas de evapotranspiração para um período de integração de 30 min apresentaram uma boa concordância com os valores estimados pelo modelo de Penman-Monteith. Os coeficientes de determinação (r^2), foram de 0,69 e 0,80 para os dias 23/02/96 e 02/03/96, respectiva-

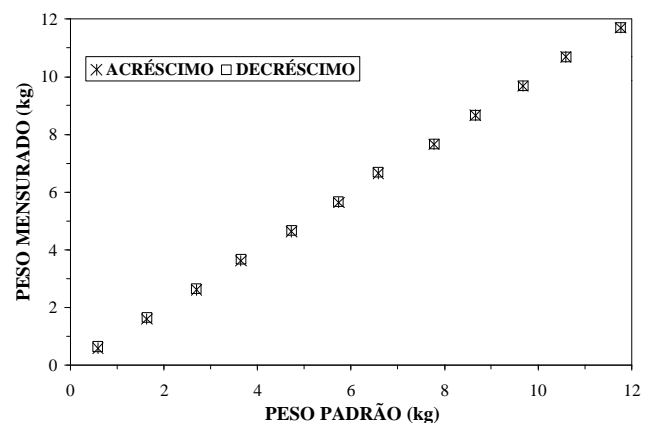


Figura 4. Linearidade do sistema de pesagem (Acréscimo x Decréscimo). Piracicaba - SP, 1996.

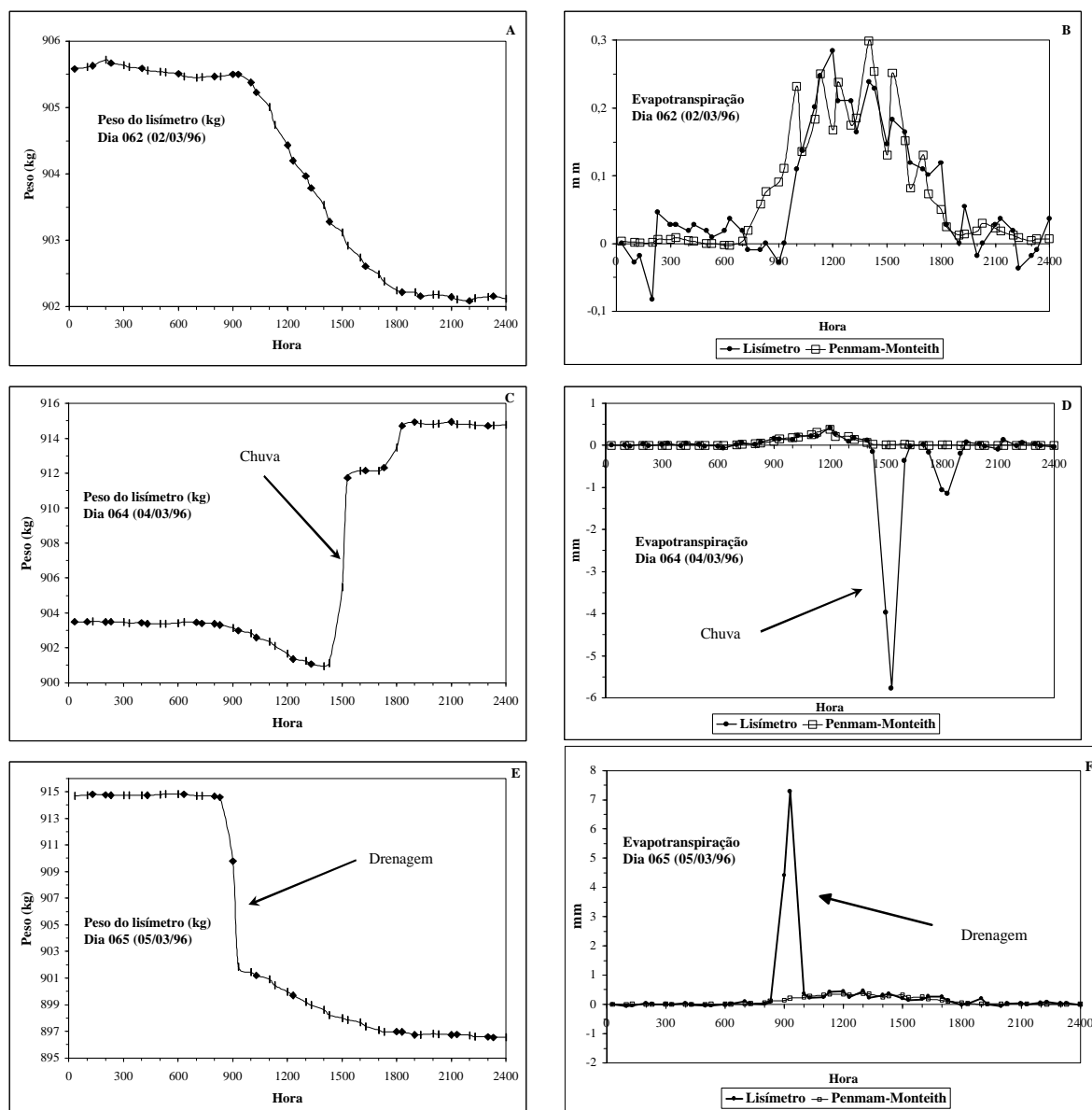


Figura 5. Variação da massa do lisímetro de pesagem em condições típicas de funcionamento, cultivado com grama batatais comparando-se sua medida com o modelo Penman-Monteith (PMFA0). Piracicaba - SP, 1996.

verificados os componentes do balanço de massa do sistema (evapotranspiração, chuva e drenagem).

O dia 062 (Figura 5A) apresentou uma variação decrescente da massa do lisímetro; no caso do lisímetro de pesagem variações negativas são consideradas como evapotranspiração (Figura 5B). No dia 064 (Figura 5C) ocorreu uma chuva, o que aumentou a massa do lisímetro; neste caso ocorre uma variação positiva, sendo da mesma forma registrada. No dia seguinte, dia 065 (Figura 5E), devido à chuva do dia anterior ter causado uma elevação do lençol freático, foi necessário realizar a drenagem do sistema, sendo este componente considerado uma variação negativa; não obstante não deve ser considerada como evapotranspiração (Figura 5F). ALLEN & FISHER (1991)

comparando os valores de ETo medidos por um lisímetro de pesagem com a estimativa através do modelo de Penman-Monteith para um intervalo de 30 min. durante o decorrer de um dia encontraram resultados semelhantes, o que sugere uma boa adequação do valor medido pelo lisímetro de pesagem à condição estudada.

CONCLUSÕES

Em função dos resultados encontrados, conclui-se que:

- O lisímetro de pesagem apresenta uma distribui-

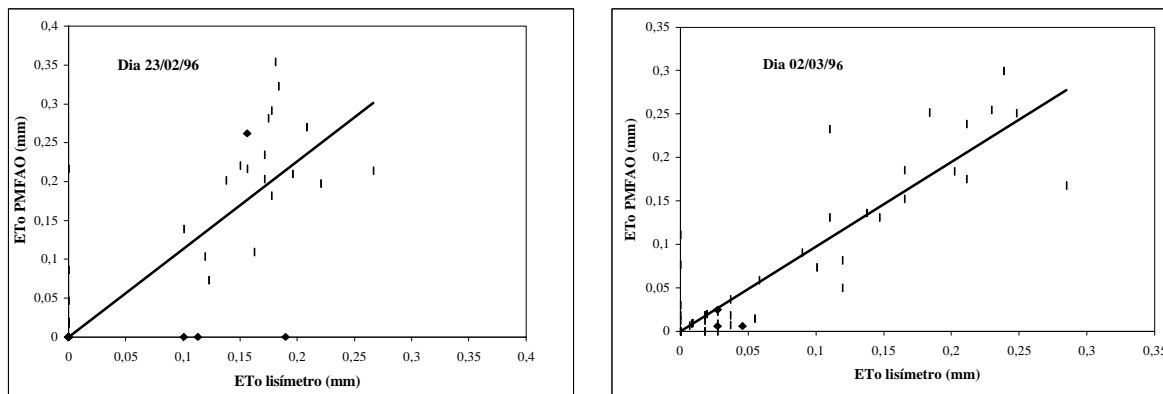


Figura 6. Evapotranspiração de referência (ETo) estimada pelo modelo Penman-Monteith (PMFAO) para um período de integração de 30 min versus a medida pelo lisímetro de pesagem cultivado com grama batatais. Piracicaba - SP, 1996.

ção homogênea da massa do sistema, sendo que a linearidade do sistema é adequada, não apresentando efeito de histerese entre as séries de acréscimo e decréscimo de peso.

- As mensurações de ET medida pelo lisímetro de pesagem apresentam concordância com os valores estimados pelo modelo de Penman-Monteith.
- O lisímetro de pesagem possui capacidade de realizar mensurações num espaço de tempo inferior a uma hora, informação esta de grande importância, quando se pretende trabalhar com medidas de evapotranspiração em tempo real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G., FISHER, D.K. Low-cost electronic weighing lysimeters. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v. 33, n. 6, p. 1823-33, 1990.
- ALLEN, R.G., FISHER, D.K. Direct load cell-based weighing lysimeter system. In: ALLEN, R.G., HOWELL, T. A., PRUITT, et al. **Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements**. New York : ASCE, 1991. p. 114-124.
- ALLEN, R.G., PRUITT, W.O., JENSEN, M.E. Environments requeriments of lysimeters. In: ALLEN, R.G., HOWELL, T.A., PRUITT, W.O., et al. **Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements**. New York : ASCE, 1991. p. 170-181.
- BERGAMASCHI, H., ROSA, L.M.G., SANTOS, A.O. et al. Automação de um lisímetro de pesagem através de estação meteorológica, a campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10. 1997, Piracicaba, SP. **Resumos** Piracicaba : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/ ESALQ/ Universidade de São Paulo, 1997. v. 1, 759 p. p. 262-264.
- BLACK, T.A.; THURTELL, G.W., TANNER, C.B. Hydraulic load-cell lysimeter, construction, calibration and tests. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v. 32, n. 5, p. 623-629, 1968.
- HOWELL, T.A., McCORMICK, R.L., PHENE, C.J. Design and installation of large weighing lysimeters. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v. 35, n. 4, p. 106-617, 1985.
- PRUITT, W.O., ANGUS, D.E. Large weighing lysimeter for measuring evapotranspiration. **Transactions of the ASAE**, St Joseph , v. 3, n. 2, p. 13-15, 1960.
- RITCHIE, J.T., BURNETT, E. A precision weighing lysimeter for row crop water use studies. **Agronomy Journal**, Madison, v. 60, p. 545-549, 1968.
- SMITH, M. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for predictions of crop water requirements**. Rome : FAO, 1991. 45 p.