

Calibração de um lisímetro de pesagem após dois anos de utilização¹

Calibration of a weighting lysimeter after two years of use

Guilherme Vieira do Bomfim², Benito Moreira de Azevedo³, Thales Vinícius de Araújo Viana³,
Ronaldo Lima Moreira Borges⁴, John Jackie Gonçalves Oliveira⁵

RESUMO

O presente experimento foi realizado na Fazenda Frutacor, localizada no município de Limoeiro do Norte, Estado do Ceará, e teve como objetivo promover a avaliação dos resultados obtidos no processo de calibração de um lisímetro de pesagem, através da comparação dos resultados de regressão linear, alcançados com o acréscimo e a retirada de massa no mesmo equipamento, em 2001 e 2003. O lisímetro em questão é semelhante aos utilizados por Azevedo (1999) e por Viana (2000). Os resultados do ensaio de calibração do lisímetro de pesagem, obtidos com a adição e a subtração de massa nos dois períodos, apresentaram coeficientes de determinação (r^2) semelhantes, com valores de 1,000 para aquele realizado em 2001 e de 0,9926, para o realizado neste trabalho (2003). Dessa forma, nos dois momentos o erro-padrão de estimativa da regressão linear foi inferior a 1%.

Termos para indexação: Célula de carga, regressão linear, evapotranspiração.

ABSTRACT

The field experiment was carried out at the Frutacor Farm, in Limoeiro do Norte, State of Ceará, Brazil. The goal was to evaluate the results obtained from the calibration process of a weighing lysimeter, by comparison with the calibration curves obtained from calibration processes in years 2001 and 2003. A linear regression analysis was performed. The calibration process of a weighing lysimeter is based on the readings of a series of sequenced measurements of weights at an incremental ascending rate followed by measurements with a descending rate. The lysimeter used in this study was similar to the ones used by Azevedo (1999) and Viana (2000). Results from the linear regression analysis showed close values to the coefficients of determination (r^2) for years 2001 and 2003, $r^2 = 1.0000$ and $r^2 = 0.9926$ respectively. Therefore, the lysimeter continues to work properly.

Index terms: Load cell, linear regression, evapotranspiration.

¹ Recebido para publicação em 22/10/2003. Aprovado em 17/05/2004.

Parte da monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, em 12 de agosto de 2003, pelo primeiro autor.

² Eng. Agrônomo, Mestrando em Irrigação e Drenagem, Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, 60.455-760. E-mail: guile01@ig.com.br

³ Eng. Agrônomo, Doutor em Irrigação e Drenagem, Professor Adjunto do DENA/UFC, 60.455-760. E-mail: benito@ufc.br ; thales@ufc.br

⁴ Eng. Agrônomo, Mestrando em Irrigação e Drenagem, DENA/UFC, 60.455-760. E-mail: rlmborges@terra.com.br

⁵ Eng. Agrônomo, Mestre em Irrigação e Drenagem, Professor do CENTEC. E-mail: john@centec.org.br

Introdução

As regiões semi-áridas do Brasil e em especial do Ceará, são caracterizadas por um período de escassez de chuvas durante, pelo menos, seis meses ao longo do ano. Essas condições, aliadas à carência de recursos hídricos promovem uma redução significativa na produção de gêneros agrícolas durante esses períodos. A irrigação, portanto, torna-se uma necessidade, pois é uma técnica que, corretamente manejada, é capaz de proporcionar a maximização da produção agrícola, além de possibilitar um aproveitamento racional dos recursos hídricos. Para manejá-la corretamente é de fundamental importância saber, de maneira precisa, a quantidade de água que deve ser reposta ao solo para atender as necessidades das culturas, pois, dessa forma, se evitaria uma sub ou superutilização desse bem (água), o que acabaria por acarretar problemas diversos.

A variável climatológica utilizada na estimativa das necessidades hídricas das culturas é justamente a evapotranspiração. Doorenbos e Pruitt (1990) elucidam que a evapotranspiração é um termo utilizado para retratar a remoção de umidade para a atmosfera através do efeito conjunto dos processos de evaporação da água nas superfícies do solo e da planta, e da transpiração da água pela planta.

Viana e Azevedo (2003) destacam, dentre os principais fatores que influenciam a evapotranspiração, o balanço de energia, a tensão de vapor d'água na superfície evaporante, a temperatura do ar e o vento, afirmando que, quanto maiores forem esses fatores, mais elevada será a evapotranspiração. Outro parâmetro meteorológico que interfere na obtenção de evapotranspiração é a advecção, pois o movimento lateral de calor sensível é capaz de somar-se ao balanço vertical de energia, provocando um aumento excessivo nos valores observados da evapotranspiração (Pereira et al., 1997). Tubelis e Nascimento (1992), também afirmam que quanto maior a superfície de abertura dos estômatos, mais elevada será a perda de água pelo processo de transpiração, ou seja, maiores serão as taxas de evapotranspiração.

Considerando que diversos são os fatores que podem influenciar a evapotranspiração, é de grande valia que sua estimativa seja realizada de maneira precisa. Pereira et al. (1997) afirmam que a utilização de métodos empíricos de estimativa de evapotranspiração, quando devidamente desenvolvidos e calibrados, são capazes de fornecer resulta-

dos confiáveis. Esses métodos são alcançados a partir de correlações entre a evapotranspiração medida em condições padronizadas e a evapotranspiração estimada através de elementos meteorológicos medidos em condições também uniformizadas.

A maneira utilizada para se medir a evapotranspiração em condições padronizadas é através do uso de equipamentos lisimétricos. Para Pereira et al. (1997), lisímetro é um equipamento constituído por uma caixa impermeável no qual se encontra um determinado volume de solo, o que permite conhecer com detalhes alguns termos do balanço hídrico desse volume. Quaglia e Barbieri (2003) asseguram que as observações lisimétricas servem para calibração dos métodos empíricos de estimativas da evapotranspiração, desde que os valores medidos e os estimados sejam confrontados por meio do coeficiente de determinação (r^2), e dos índices de erro e de ajustamento. Mendonça et al. (2003), ao sugerir coeficientes de ajustes regionais entre um lisímetro de pesagem e equações empíricas, verificaram que os métodos empíricos atenderam satisfatoriamente a estimativa da evapotranspiração naquela região.

Bernardo (1989) afirma que o método lisimétrico é bastante preciso na determinação da evapotranspiração, desde que os equipamentos sejam instalados de maneira correta. Da mesma forma, Pereira et al. (1997) concordam que, independente do tipo de lisímetro disponível, é de fundamental importância que as condições internas do equipamento se assemelhem ao máximo das condições externas do ambiente, tanto no que se refere ao tipo de solo e de planta, como nas condições de umidade desse solo.

Para Silva (1996), os lisímetros existentes podem ser organizados em dois grupos: os lisímetros de pesagem e os lisímetros que empregam outros princípios físicos na estimativa do uso da água na área estudada. Os primeiros quantificam a evapotranspiração diretamente através do balanço de massa de água, enquanto que os últimos quantificam a evapotranspiração indiretamente, por meio do balanço volumétrico. Faria et al. (2003) afirmam que os lisímetros que utilizam mecanismos de pesagem são os mais precisos e sensíveis para a determinação direta da evapotranspiração pelo balanço de massa de água.

A aquisição desses equipamentos era, até pouco tempo, muito restrita, principalmente em virtude de seu elevado custo. Porém, com o advento

e o progresso da tecnologia de pesagem e de armazenamento de dados, tem-se tornado mais simples a construção desses instrumentos, com boa precisão e a preços cada vez mais acessíveis. Já se encontram disponíveis no mercado diversos tipos de lisímetros, mas na atualidade, os lisímetros de pesagem são os dispositivos mais utilizados para a medição direta da evapotranspiração, pois são capazes de fornecer dados precisos em curtos intervalos de tempo, desde que adequadamente projetados, instalados, manejados e mantidos. Para Howell et al. (1991), esses dispositivos são comumente utilizados em períodos de tempo inferiores a um dia.

Segundo Viana (2000), o lisímetro de pesagem é um equipamento composto por uma caixa com paredes impermeáveis, preenchido por solo, onde uma balança ou célula de carga realiza medições relativas à variação de peso.

Suas medições podem ser afetadas por fatores do ambiente, tais como o efeito da advecção (oásis), as dimensões do lisímetro, a umidade do solo em seu interior, a espessura de suas paredes e a distância entre elas, a altura de suas bordas e diferenças de densidade entre a vegetação de dentro e de fora do lisímetro (Miranda et al., 1999). Dessa maneira, a evapotranspiração obtida com a utilização deste equipamento está sujeita a imperfeições. Portanto, certos cuidados devem ser adotados, desde o seu projeto até sua manutenção, para que os mesmos sejam capazes de fornecer dados condizentes com a realidade.

De acordo com Howell et al. (1985), os lisímetros de pesagem quase sempre são calibrados no próprio local e após sua instalação, realizando-se a cobertura do seu solo para minimizar as perdas por evaporação, e colocando-se sobre sua balança, quantidades conhecidas de massas na medida em que vão sendo realizadas as leituras. Para Campeche et al. (2002), os lisímetros de pesagem devem ser preferencialmente calibrados no próprio local de instalação e nas mesmas condições climáticas do seu funcionamento, através da adição e retirada de pesos antecipadamente conhecidos.

A calibração de lisimétricos é uma prática de muita relevância, devendo ser realizada não somente durante a instalação desses equipamentos, mas a cada nova pesquisa em utilizando-os.

Em janeiro de 2001, no município de Limoeiro do Norte-CE, Oliveira et al. (2001) realizaram a instalação de um lisímetro de pesagem cuja calibração foi atingida através da adição e sub-

tração de massas-padrão sobre a sua superfície. Da mesma forma, o presente trabalho (2003) teve como objetivo, promover novamente a calibração deste equipamento, avaliando os resultados obtidos nos dois processos sucessivos, a partir de uma análise estatística de regressão linear.

Material e Métodos

O presente experimento foi realizado na Fazenda Frutacor, situada no município de Limoeiro do Norte-CE, cujas coordenadas geográficas são 5°06'38" de latitude sul e 37°52'21" de longitude a oeste de Greenwich. O equipamento em questão (Figura 1), descrito por Miranda et al. (1999), é semelhante àqueles utilizados por Azevedo (1999) e por Viana (2000)



Figura 1 - Lisímetro de Pesagem, instalado no município de Limoeiro do Norte-CE.

O lisímetro possui duas caixas metálicas, uma interna sob a qual uma balança eletrônica está apoiada, e uma outra externa, onde, juntamente com a caixa interna, encontram-se apoiadas sobre as células de carga, cujas dimensões são 2,00 m por 2,00 m e espessura de 0,15 m. A caixa interna foi dimensionada com as medidas de 1,50 m por 1,50 m e profundidade de 1,00 m, e suas paredes foram formadas por chapas de aço com 0,006 m de espessura e reforçadas com barras soldadas na porção interna.

A caixa externa possui duas partes, uma localizada na porção inferior e a outra localizada na por-

ção superior. A porção de baixo possui duas paredes distanciadas da caixa interna por 0,075 m, e a parte de cima encontra-se distanciada da caixa interna por apenas 0,025 m. O topo de ambas as caixas encontra-se 0,050 m acima da superfície do solo. Três tubos para drenagem do tipo PVC estão sendo utilizados. O primeiro tubo, possuindo 0,10 m de diâmetro e 0,60 m de profundidade está situado no centro da laje de concreto para possibilitar a drenagem no interior da caixa externa. O segundo tubo (perfurado), com 0,50 m de diâmetro e 1,60 m de comprimento está localizado sobre o fundo da caixa interna para realizar a drenagem do solo e, o terceiro tubo, de 0,50 m, se eleva até a superfície do solo para retirar a água drenada, cujo processo é realizado com o auxílio de uma pequena bomba manual a vácuo.

A balança eletrônica é do tipo plataforma, modelo DS 6060-10 (Weigh Tronix), e está constituída por quatro células de carga do tipo (Weigh Bar), cada uma com uma capacidade de pesagem de 4.540 kg. Um microprocessador eletrônico do tipo “datalogger”, modelo CR23X (Campbell Scientific, Inc., Logan EUA), foi empregado na coleta dos dados provenientes da balança eletrônica (Figura 2).

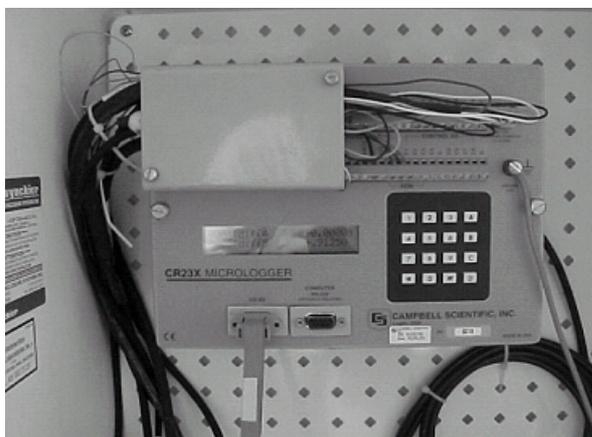


Figura 2 - Sistema de aquisição de dados (“datalogger”) empregado na calibração lisimétrica, em Limoeiro do Norte-CE, 2003.

Também foi adquirido um módulo de memória, modelo SM4M (Storage Module), encarregado do armazenamento dos dados coletados, de maneira que proporcionasse a posterior transferência desses dados para um microcomputador, onde foram processados e analisados.

Pouco antes da realização do processo de calibração, lonas passaram a cobrir toda a superfície lisimétrica, de modo a evitar ao máximo a incidência direta da radiação solar, que aumentaria o processo de evaporação, e conseqüentemente, interferiria nos resultados obtidos. Esse procedimento também foi efetuado por Miranda et al. (1999), Oliveira et al. (2001), Campeche et al. (2002), Fietz et al. (2003) e Faria et al. (2003). A calibração lisimétrica iniciou-se com a confecção e aferição das massas-padrão, que ficaram organizadas em séries de 0,4 kg (5 unidades), 1,0 kg (6 unidades), 2,0 kg (5 unidades) e 4,0 kg (6 unidades), totalizando um valor correspondente a 42,0 kg.

O “datalogger” foi programado para realizar a leitura dos dados lisimétricos a cada segundo e sua coleta a cada 60 segundos, fazendo o descarte dos 30 segundos iniciais, com o intuito de permitir que a balança estivesse em estado de estabilidade no momento em que os dados fossem adquiridos.

Considerando essa condição, foi realizada a adição unitária e sucessiva das massas-padrão sobre a superfície do lisímetro obedecendo-se à seqüência de cinco unidades de 0,4 kg, seis unidades de 1,0 kg, cinco unidades de 2,0 kg e seis unidades de 4,0 kg, até um valor total correspondente a 42,0 kg. Em um segundo momento, procedeu-se à operação inversa, ou seja, a partir do total de massas-padrão aplicadas sobre a superfície lisimétrica, realizou-se a subtração unitária e sucessiva, a cada minuto, até a sua completa retirada. Nesse sentido, semelhante ao experimento realizado por Fietz et al. (2003), a calibração lisimétrica consistiu na conversão das leituras da célula de carga (mV) em valores concretos de massa e, na correlação entre esses respectivos valores.

Depois de adquirir os dados resultantes do processo de calibração, fez-se o uso do aplicativo Excel 2000 para a confecção do gráfico de regressão linear, visando à obtenção do coeficiente de determinação (r^2) e da equação de regressão correspondente. Dessa forma, de posse dos resultados da calibração realizada por Oliveira et al. (2001), pôde-se fazer uma comparação entre as calibrações para verificar se o equipamento continua fornecendo dados de evapotranspiração precisos.

Na avaliação do lisímetro, quanto à sensibilidade das células de carga, foram utilizadas massas-padrão de 0,05 kg, 0,10 kg, 0,20 kg, 0,30 kg e 0,40 kg, quando foi observada modificação nas leituras realizadas. Ou seja, somente a partir da massa-padrão de 0,40 kg é que foi verificada a sensibilização

Resultados e Discussão

Os resultados dos ensaios de calibração realizados no mesmo lisímetro de pesagem demonstraram que a correlação das massas-padrão utilizadas com as leituras das células de carga, em ambos os experimentos, apresentou uma resposta linear, onde os coeficientes de determinação (r^2) encontrados foram semelhantes, com valores de 1,000 e 0,9926 para os trabalhos de 2001 e 2003, respectivamente. Esses resultados sugerem que as variações das massas encontram-se estreitamente relacionadas com as variações das voltagens, medidas nas células de carga do lisímetro.

Ao realizarem calibrações semelhantes em lisímetros de pesagem (adição e subtração de massas-padrão), Faria et al. (2003) encontraram uma linearidade excelente entre as variações de massa e de voltagem, pois os valores de coeficiente de determinação (r^2) encontrados aproximaram-se da unidade. As diferenças entre as condições climáticas não foram computadas em virtude do reduzido intervalo de tempo pelo qual se deu a realização do experimento.

A equação representativa obtida no ensaio de calibração de 2001 foi igual a: $y = 2.393,3.x - 4.649,4$, enquanto que a equação representativa obtida através do atual ensaio (Figura 3) correspondeu a: $y = 2.392,3.x - 4.876$, em que y representa a massa (kg) e x a leitura (mV). Esses resultados alcançados permitem afirmar que o erro-padrão de estimativa da regressão linear foi inferior a 1%.

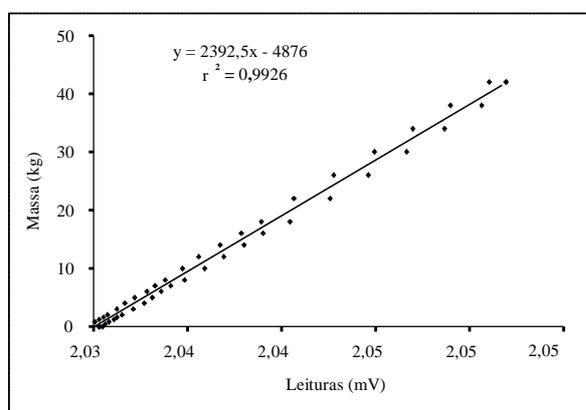


Figura 3 - Resultados do ensaio de calibração de um lisímetro de pesagem obtidos com adição e subtração das massas-padrão, em Limoeiro do Norte-CE, 2003.

Os coeficientes de determinação (r^2) encontrados no presente trabalho (2003), referentes ao carregamento e ao descarregamento das massas-padrão sobre a superfície lisimétrica, foram de 0,9988 e 0,9993, respectivamente. A proximidade desses valores evidencia que não existiu uma diferença significativa entre os resultados alcançados em cada situação. A equação representativa obtida com a adição das massas-padrão (Figura 4) foi: $y = 2.352.x - 4.794,3$, enquanto que a equação: $y = 2.435,2x - 4.962,2$, foi obtida com a subtração das massas-padrão (Figura 5).

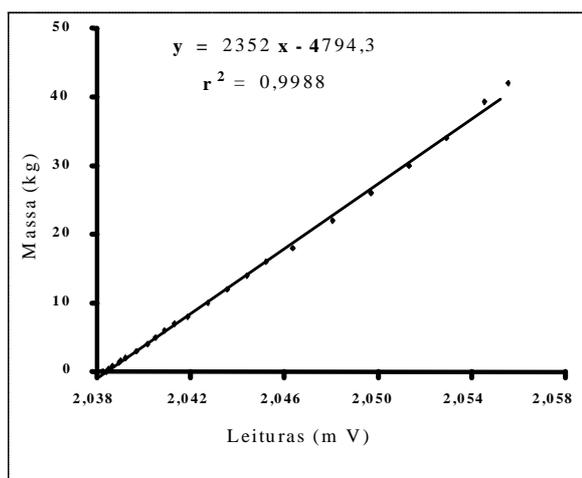


Figura 4 - Resultados do ensaio de calibração de um lisímetro de pesagem obtidos com a adição das massas-padrão, em Limoeiro do Norte-CE, 2003.

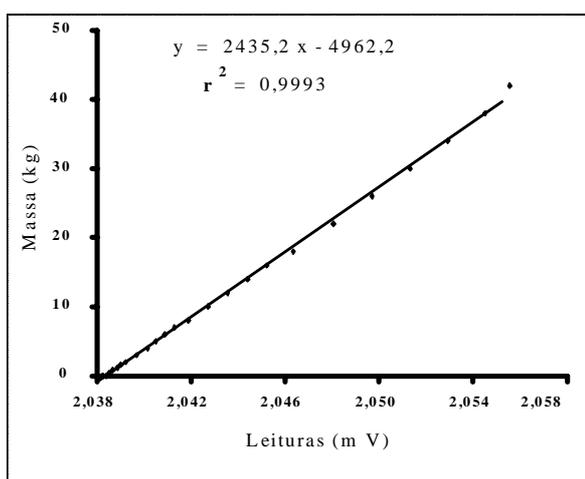


Figura 5 - Resultados do ensaio de calibração de um lisímetro de pesagem obtidos com a subtração das massas-padrão, em Limoeiro do Norte-CE, 2003.

Na avaliação do lisímetro, quanto à sensibilidade das células de carga, foram utilizadas massas-padrão de 0,05 kg, 0,10 kg, 0,20 kg, 0,30 kg e 0,40

kg, quando foi observada modificação nas leituras realizadas. Ou seja, somente a partir da massa-padrão de 0,40 kg é que foi verificada a sensibilização do equipamento, conseqüentemente o início do processo de calibração do lisímetro. Constatou-se que a menor massa empregada, 0,40 kg, representou uma lâmina d'água de 0,18 mm.

Conclusão

A atual calibração do lisímetro de pesagem, em comparação com àquela realizada em 2001, demonstrou que o equipamento em questão, continua preciso e seguro, visto que os coeficientes de determinação (r^2) obtidos foram próximos da unidade. Assim, conclui-se que esse equipamento encontra-se apto e capaz de fornecer dados de evapotranspiração condizentes com a realidade, o que representa uma importante fonte de informações para o desenvolvimento tecnológico da agricultura naquela região.

Referências Bibliográficas

- AZEVEDO, B. M. de. **Evapotranspiração de referência obtida com a razão de Bowen, lisímetro de pesagem e equação de Penman-Monteith utilizando sistemas automáticos**. 1999. 81 f. Tese (Doutorado em Agrometeorologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- BERNARDO, S. O. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1989, 596p.
- CAMPECHE, L. F. S. M.; FOLEGATTI, M. V. X.; NOVA, N. A. V.; FILHO, M. A. C.; PEREIRA, A. R. Calibração e análise do desempenho de quatro lisímetros de pesagem baseados em células de carga. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: 1 CD.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. 5. ed. Rome: FAO, 1990. 194p.
- FARIA, R. T.; CAMPECHE, L. F. S. M.; CHIBANA, E. Y.; MARUR, C. J. Construção e teste de lisímetros de alta precisão. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 23., 2003, Rio Grande do Sul. **Anais...** Rio Grande do Sul: 1 CD.
- SILVA, F. C. **Uso de dispositivos lisimétricos para determinação da evapotranspiração de referência**. 1996. 61 f. Dissertação (Mestrado em Anais... Rio Grande do Sul: 1 CD.
- FIETZ, C. R.; SILVA, F. C.; URCHER, M. A. Instalação e calibração de lisímetros de pesagem para medida da evapotranspiração de culturas anuais. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 23., 2003, Rio Grande do Sul. **Anais...** Rio Grande do Sul: 1 CD.
- HOWELL, T. A.; McCORMICK, R. L.; PHENE, C. J. Design and installation of large weighing lysimeters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.28, n.117, p.106-112, January-February. 1985.
- 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.1191-1198, nov.-dez. 1991.
- MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F. de; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região norte fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p275-279, maio-agosto. 2003.
- MIRANDA, F. R.; YODER, R. E.; SOUSA, F. Instalação e calibração de um lisímetro de pesagem no projeto de irrigação Curu-Paraipaba, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p107-110, janeiro-abril, 1999.
- OLIVEIRA, L. L. E.; SOUSA, F.; RÊGO, J. L.; BASTOS, F. G. C.; SARAIVA, K. R.; BARROS, V. S. Instalação e calibração de dois lisímetros de pesagem no projeto de irrigação Jaguaribe-Apodí em Limoeiro do Norte-CE. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: 1 CD.
- PEREIRA, A. R.; NOVA, N. A. V.; SEDYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. 1. ed. Piracicaba: FEALQ / USP, 1997. 183p.
- QUAGLIA, L.; BARBIERI, V. Construção de um lisímetro com célula de carga e dispositivo de drenagem. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 23., 2003, Rio Grande do Sul. **Anais...** Rio Grande do Sul: 1 CD.

Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. 1. ed. São Paulo: Nobel, 1992. 374p.

VIANA, T. V. de A.; AZEVEDO, B. M. de.

Meteorologia e climatologia agrícolas. Apostilas Didáticas. Fortaleza: UFC, 2003. 163p.

VIANA, T. V. de A. **Evapotranspiração obtida com o sistema razão de Bowen e um lisímetro de pesagem em ambiente protegido**. 2000. 138 f. Tese (Doutorado em Agrometeorologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.