

PROJETO, CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DE UM LISÍMETRO MÓVEL DE PESAGEM, COM CÉLULA DE CARGA HIDRÁULICA, PARA DETERMINAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA DE MUDAS CÍTRICAS EM CASA DE VEGETAÇÃO

Ronaldo Antonio dos Santos; Marcos Vinícius Folegatti; Tarlei Arriel Botrel; Roberto Terumi Atarassi; José Alves Júnior

*Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz",
Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, santosra@esalq.usp.br.*

1 RESUMO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver, construir e analisar a performance de um lisímetro móvel de pesagem, utilizando célula de carga hidráulica confeccionada com diafragma. A solução encontrada para viabilizar a lisimetria no atual sistema de produção de mudas cítricas em casa de vegetação, com grupos de plantas muito heterogêneos, foi o emprego de uma estrutura móvel, capaz de pesar, isoladamente, vários contentores de mudas. O número de contentores seria função do número de variedades e estágio de desenvolvimento, enquanto que o número de estruturas de pesagem seria função do número de contentores. Os resultados obtidos permitiram concluir que o lisímetro apresentou um bom desempenho, resultando na equação de calibração $V=0,018.LR$, onde V é o volume de água ($L.planta^{-1}$) e LR é a leitura piezométrica (mm). Esta equação apresentou um r^2 de 0,997, indicando a excelente precisão do equipamento. Com um r^2 de 0,997, originado da regressão entre o volume estimado e volume real, e um índice de Concordância (d) de 0,9993, o lisímetro apresentou excelente acurácia, com resolução de 0,45mm de lâmina de água. Sua mobilidade permitiu o livre deslocamento entre bancadas de mudas, exigindo um único operador. O custo total de construção do equipamento foi de US\$1.108,54.

UNITERMOS: lisimetria móvel, evapotranspiração, citros

SANTOS, R. A. dos; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A.; ATARASSI, R. T.; ALVES JÚNIOR, J. DESIGN, CONSTRUCTION AND EVALUATION OF A WEIGHING LYSIMETER WITH HYDRAULIC LOAD CELL TO DETERMINE WATER REQUIREMENTS OF CITRUS NURSERY TREES IN GREENHOUSE

2 ABSTRACT

The aim of the present work was to develop, build and evaluate the performance of a mobile weighing lysimeter using a hydraulic load cell with a diaphragm. In order to make the use of lysimeter feasible in the present citrus nursery production system in greenhouses with very heterogeneous group of plants, a mobile structure capable of weighing several containers of seedlings separately was used. The quantity of containers was the function of the number of varieties and their development stages and the number of weighing structure, a function of the number of containers. From the obtained results, it was concluded that the lysimeter presented a good performance, providing the calibration equation $V=0.018LR$, where V is the water volume ($L.plant^{-1}$) and LR is the piezometric reading (mm). The determination

coefficient (r^2) was 0.997, indicating an excellent equipment adjustment. A regression between estimated and actual volumes provided an r^2 of 0.998 and a concordance index (d) of 0.0003, indicating an excellent accuracy with 0.45mm depth resolution. The equipment mobility allowed free movement in nursery benches and just one operator was required. Total equipment assembly cost was about US\$ 1,108.54.

KEYWORDS: mobile lysimeter, evapotranspiration, Citrus.

3 INTRODUÇÃO

Visando a melhoria da sanidade do parque citrícola, a Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo determina que a produção de mudas deve ser realizada somente em ambiente protegido por tela à prova de insetos vetores e cultivadas em contêineres com substrato esterilizado.

O viveirista que não respeitar tais normas estará sujeito a sanções, que segundo Carvalho (2003), consistem na proibição da comercialização de produto, interdição do viveiro e do depósito, apreensão de produto, destruição de produto e multa.

Assim, inspeções realizadas em 568 viveiros em dezembro de 2005, verificaram 13.149.652 de mudas e 9.442.282 de porta-enxertos e constataram que, destes totais, somente 0,014 e 0,039% eram produzidos em viveiros abertos, respectivamente (FUNDECITRUS, 2006),

Segundo Martins et al. (1998), para se obter melhor resposta ao manejo da cultura em ambiente protegido, é imprescindível conhecer as condições necessárias para que a planta tenha um bom crescimento e desenvolvimento.

Neste ambiente, as mudas de citros tem um comportamento diferente daquelas que são cultivadas em condições de campo, devido a diversos fatores como a variação da incidência de radiação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. A alteração destes parâmetros micrometeorológicos em ambientes protegidos influencia diretamente a demanda hídrica das mudas cítricas.

O conhecimento sobre a demanda hídrica das plantas cultivadas é extremamente importante, principalmente em cultivos realizados em casa de vegetação, onde a reposição de água é realizada exclusivamente pela irrigação.

Não obstante, a escassez de informações técnicas adequadas a este ambiente de cultivo faz com que o manejo desta irrigação seja realizado geralmente de forma empírica, com base no conhecimento prático do viveirista. Assim, a probabilidade de se cometer erros neste manejo tende a ser maior, aumentando o dispêndio desnecessário com energia, água e nutriente, impedindo que a muda expresse todo o seu potencial produtivo, reduzindo a competitividade do viveirista e aumentando o impacto ambiental.

Atualmente, existem muitas metodologias para se determinar a evapotranspiração da cultura - Etc, utilizando-se modelos matemáticos de estimativa ou então leitura direta (Allen et al., 1998; Doorenbos & Pruitt, 1977). Portanto, deve-se encontrar aquela que melhor se ajusta à região e às disponibilidades de cada produtor de mudas.

De acordo com a literatura, o lisímetro de pesagem é o equipamento mais prático, preciso e confiável para se determinar diretamente a evapotranspiração em períodos menores que um dia (Howell et al., 1985) e em condições de campo (Ritchie; Burnett, 1968). Assim sendo, Howell et al. (1991) citam que a lisimetria têm sido considerada a metodologia padrão para determinação da evapotranspiração.

Devido às exigências de cada estudo, diferentes tipos de lisímetros têm sido desenvolvidos e várias soluções técnicas têm sido aplicadas para aumentar a precisão da mensuração da evapotranspiração e quantificar os demais componentes do balanço hídrico, como precipitação, drenagem e escoamento superficial. (Aboukhaled et al., 1982).

De acordo com Corwin e Lemert (1994), os lisímetros de pesagem têm sido muito utilizados na agricultura e em estudos científicos como ferramentas para se medir interações complexas entre solo, água, planta e íons.

Segundo Howell et al. (1991), o desempenho do lisímetro de pesagem na quantificação destas variáveis pode ser avaliado conhecendo-se a resolução do equipamento, que indica o menor incremento de massa detectado em escala de medição, a precisão, que se refere a repetibilidade e estabilidade da mensuração, e a exatidão, a qual representa a relação entre valor estimado e o valor real.

Para Kruse e Neale (1991), o lisímetro de pesagem hidráulica apresenta menor custo e são mais fáceis de construir do que aqueles que utilizam sistemas de pesagem eletrônicos e complexos, sendo utilizado na medição da evapotranspiração durante muitas décadas.

Neste equipamento, as variações de massa de um bloco do solo são convertidas em pressão, a qual é registrada em um piezômetro. A diferença entre duas leituras consecutivas, registradas neste sensor, é então convertida em precipitação pluviométrica, irrigação, evaporação, transpiração ou evapotranspiração.

Atualmente, há relatos na literatura sobre o emprego de lisímetros em estudos científicos realizados com sucesso no interior de casas de vegetação (Atarassi, 2004; Lanthaler, 2004). Todavia, o emprego deste equipamento em viveiros comerciais possui algumas peculiaridades que devem ser respeitadas para tornar viável a sua adoção.

Inicialmente, deve-se considerar que o estabelecimento de um ambiente protegido pode ser bastante dispendioso para o viveiristas, fazendo com que este utilize ao máximo a área interna para o cultivo, reduzindo-se o espaço ocioso, o qual é utilizado geralmente para o trânsito de equipamentos agrícolas, tratamentos culturais e condução da cultura. A utilização destes equipamentos para determinar a evapotranspiração pode ser então limitada pela redução da área de cultivo.

Outro fato que poderia limitar o seu emprego seria o custo do equipamento. No interior de uma casa de vegetação é comum encontrar diversas variedades de mudas cítricas, em vários estádios de desenvolvimento, cada qual com uma demanda hídrica distinta. Assim, a construção de um lisímetro, para cada um destes grupos de planta, seria economicamente inviável para o viveirista.

Desta forma, este trabalho teve como objetivo desenvolver, construir e calibrar um lisímetro móvel, de pesagem hidráulica, de baixo custo de construção, que pudesse ser utilizado para determinar a demanda hídrica de mudas cítricas, de distintas variedades e estádio de desenvolvimento, cultivadas sob condições de ambiente protegido.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O lisímetro foi construído e calibrado nas dependências da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP, em Piracicaba, SP.

Antes do início do projeto, foram estabelecidos alguns critérios que deveriam ser respeitados, como: a estrutura de pesagem deveria ser móvel; o mecanismo de pesagem seria hidráulico; deveria ser suficientemente manipulado por apenas um operador; ser capaz de monitorar 64 mudas cítricas cultivadas em sacolas com substrato; permitir a desinfestação e

desinfecção; não alterar a disposição das mudas na bancadas; determinar com precisão, exatidão e resolução aceitável a evapotranspiração da cultura; apresentar baixo custo de construção.

Para a construção da Estrutura de Pesagem Móvel, foram soldadas vigas de perfil "U", com 152,4 x 50,8 x 3,18mm de largura (L), profundidade (P) e espessura (E), respectivamente, formando-se uma secção retangular. Estas secções foram então utilizadas para construir uma Arquitrave e dois "T" invertidos (Figuras 1a e 1b), acoplados por União Parafusada (Figura 1c).

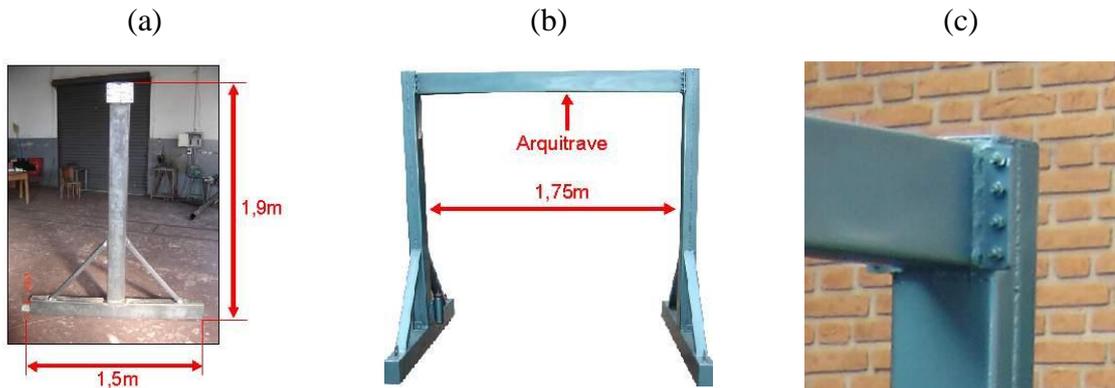


Figura 1. Estrutura metálica tipo "T" Invertido (a), Arquitrave (b) e União Parafusada (c)

Em seguida, foram confeccionados quatro Garfos que receberiam rodas maciças de 203,2 x 55,0mm de diâmetro e largura, respectivamente. Tais Garfos possuíam trava e eram semelhantes aos utilizados em "Roda Louca", como mostra as Figuras 2a e 2b.

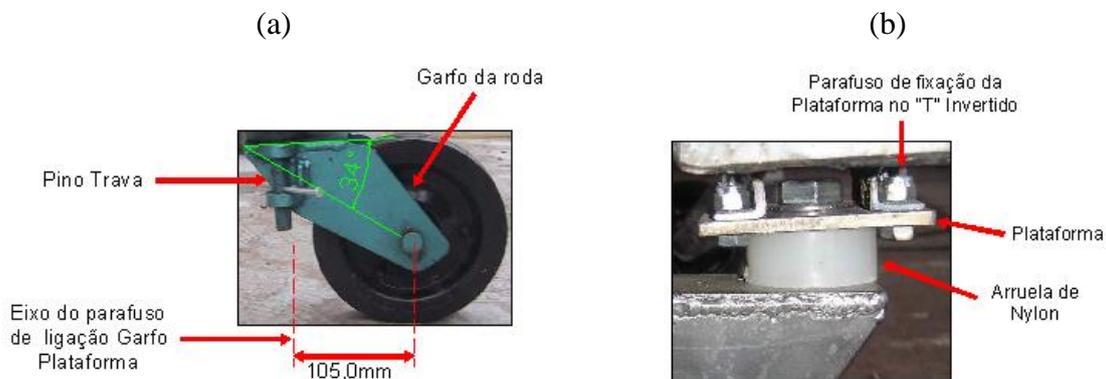


Figura 2. Características da estrutura da roda (a) e Junta de Articulação do Garfo (b)

Para facilitar a movimentação da Estrutura de Pesagem no interior da casa de vegetação foram soldadas arruelas dispostas na base do "T" invertido, em pontos indicados pelas setas vermelhas da Figura 3a. Confeccionou também duas Alavancas na forma de "T", com gancho na extremidade inferior, as quais conectariam nestas arruelas para o arraste manual da estrutura, (Figura 3b). Quando ociosas, estas alavancas seriam fixadas na extremidade superior do "T" Invertido, no local indicado pela seta azul da Figura 3a.

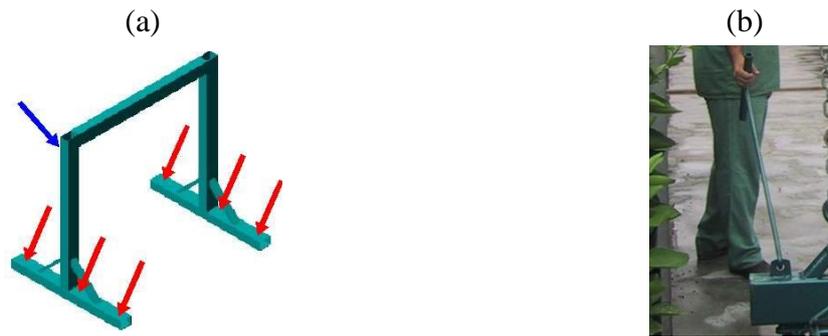


Figura 3. Pontos de arraste manual (a) e Alavanca “T” com gancho (b)

Com o objetivo de se conservar inalteradas as condições em que são cultivadas, mantendo assim a representatividade do grupo de plantas monitorado, foram mantidas as mudas em suas respectivas sacolas de cultivo, construindo-se uma estrutura para acomodá-las, com dimensões de 1,30 x 1,30 x 0,1m, comprimento (C), L e E, respectivamente. Instalou-se também nesta estrutura três pontos de ancoragem. Como esta estrutura, isoladamente, ou seja, sem mudas, não condiz com a definição de contêiner, ou lisímetro (ABOUKHALED et al., 1982), optou-se por nomeá-la Contendor de Mudanças (Figura 4).



Figura 4. Características do Contendor de Mudanças

Este Contendor de Mudanças possuía a mesma largura das bancadas de mudas, sendo capaz de abrigar 8 mudas no sentido da largura e do comprimento, totalizando 64 mudas monitoradas.

Para que as plantas estivessem posicionadas na altura que determina a legislação atual, foi necessário utilizar suportes fixo no solo, construídos em alvenaria, que funcionavam apenas como apoio, não participando da pesagem.

Estimando-se a massa total das estruturas metálicas envolvidas na pesagem e das mudas cítricas no estágio de comercialização, construiu-se um Sistema de Pesagem capaz de mensurar até 500 kg de massa total. Com margem de segurança, este total foi superestimado em 20%.

Construiu-se um Sistema de Alavanca com o objetivo de se reduzir à força peso que atuaria sobre a célula de carga hidráulica. Esta Alavanca foi construída utilizando-se viga “U”, com 76,2 x 38,1 x 2,65m de L, P e E, respectivamente, formando uma seção quadrada (Figura 5).



Figura 5 - Sistema de forças atuantes sobre a Alavanca

Este Sistema de Alavanca foi projetado considerando que, se um corpo está sob a ação de várias forças, o momento resultante deste sistema de forças em relação a um ponto é a soma algébrica dos momentos das forças componentes em relação ao mesmo ponto. Considerando o sistema de forças apresentados na Figura 5, o ponto A encontra-se sobre um apoio e submetido a uma força normal (F_n). No ponto B atua uma força F_1 , perpendicular e em direção ao solo, resultante da massa das mudas e estruturas metálicas envolvidas na pesagem. Na ausência da força F_2 , haveria a tendência da alavanca girar em torno do eixo do ponto A, no sentido horário da Figura 5. Para que isso não ocorra, no Ponto C existe uma força F_2 , resultante da pressão exercida por uma coluna de mercúrio, que mantêm a alavanca em equilíbrio na horizontal.

Para transferir a massa do Contentor de Mudanças ao ponto B (Figura 5), construiu-se uma estrutura denominada Estrela, soldando-se três braços de perfil em “U”, dispostos equidistantes em ângulo de 120° , em um cubo de aço. Na extremidade de cada braço foram instaladas correntes e ganchos para conectar a Estrela ao Contentor durante a pesagem (Figura 6).



Figura 6. Estrutura metálica Estrela, com correntes e ganchos de conexão

Para que a força F_2 resultante no ponto C (Figura 5) fosse convertida em pressão, utilizou-se um diafragma de borracha (Figura 7a), semelhante ao usado na cuíca de freio dianteiro do caminhão Volkswagen, construindo-se um Suporte para acomodá-lo (Figura 7b).

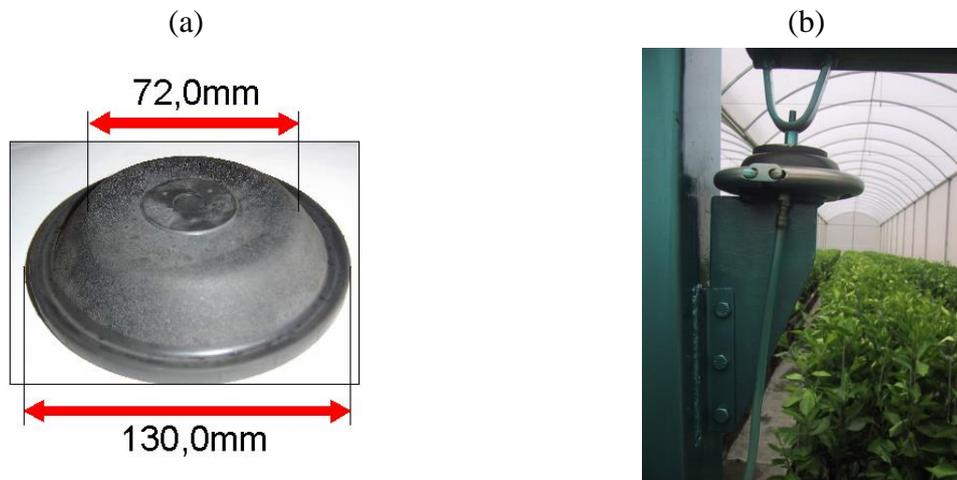


Figura 7. Características do diafragma de borracha (a) e Suporte de Diafragma (b)

Utilizou-se microtubo de polietileno transparente de 4,6mm de diâmetro interno para transferir a pressão interna do Diafragma para um reservatório de mercúrio. Este reservatório foi construído com um tubo de vidro de 30 x 120mm, diâmetro interno e comprimento, respectivamente, sendo suas extremidades lacradas com discos de Nylon (Figura 8a).

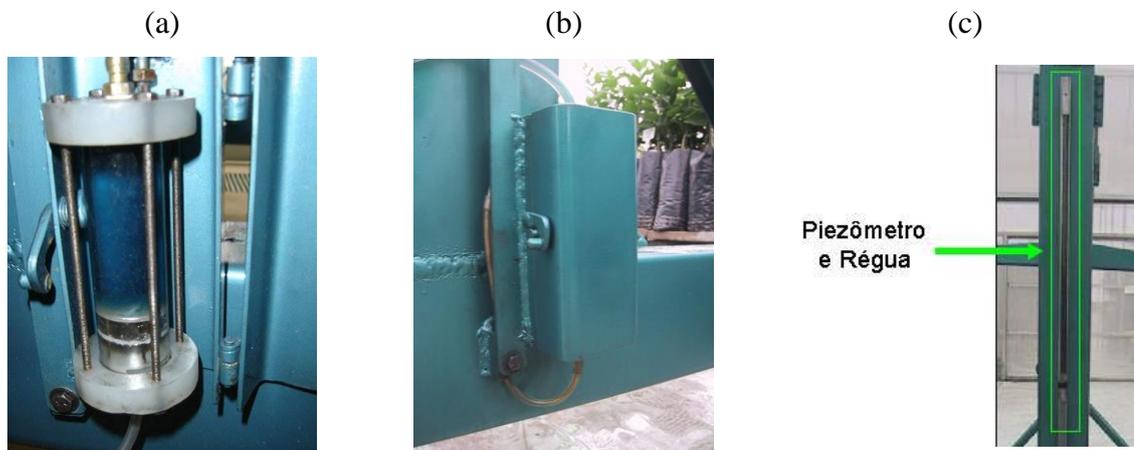


Figura 8. Reservatório de Mercúrio (a), Armadura (b) e Régua(c)

Este reservatório foi instalado na base do “T” invertido, reduzindo-se assim a altura da coluna líquida do piezômetro em relação ao solo. Para evitar que este recipiente fosse danificado acidentalmente, confeccionou-se uma Armadura de aço para protegê-lo (Figura 8b).

Instalou-se em um dos “T” Invertido uma Régua milimetrada com tubo de vidro transparente de 4,9 x 800mm, de diâmetro interno e comprimento, respectivamente (Figura 8c) para se mensurar a variação de altura da coluna líquida no piezômetro. Em uma das extremidades deste tubo foi conectado um microtubo, ligando-o ao reservatório de mercúrio.

Construiu-se um Carretel Enrolador (Figura 9a) de cabo de aço e um Sistema de Roldana para que os 400kg de massa, referentes as 64 mudas cítricas, Estrela e Contentor, pudessem ser erguidos, transferindo-se a força peso para o Sistema de Alavanca. No Suporte de Mancais foi instalada uma Trava de Catraca (Figura 9b), no formato de vírgula, que permitia travar o Contentor de Mudas na posição de pesagem.

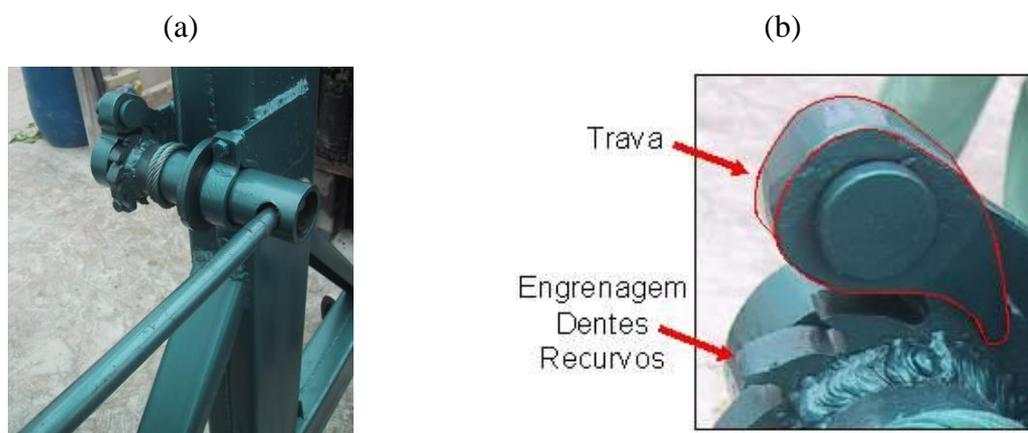


Figura 9. Características do Carretel Enrolador (a) e Trava da Catraca (b)

Utilizando-se cabo de aço 10mm, conduzido por um Sistema de Roldanas (Figura 10a), prendeu-se uma das extremidades no Carretel Enrolador e a outra em um suporte de secção em “H”. Este Suporte “H” (Figura 10b) foi confeccionado soldando-se dois perfis de aço de secção redonda, com 27,0mm de diâmetro por 290,0mm de comprimento, em uma chapa de aço de 15,0 x 77,0 x 180,0mm, E, L e C, respectivamente. Na face oposta desta chapa foram soldadas duas outras com 17,0 x 70,0 x 10,0mm, E, L e C, respectivamente, que receberiam o parafuso de apoio da Alavanca apresentada na Figura 5.

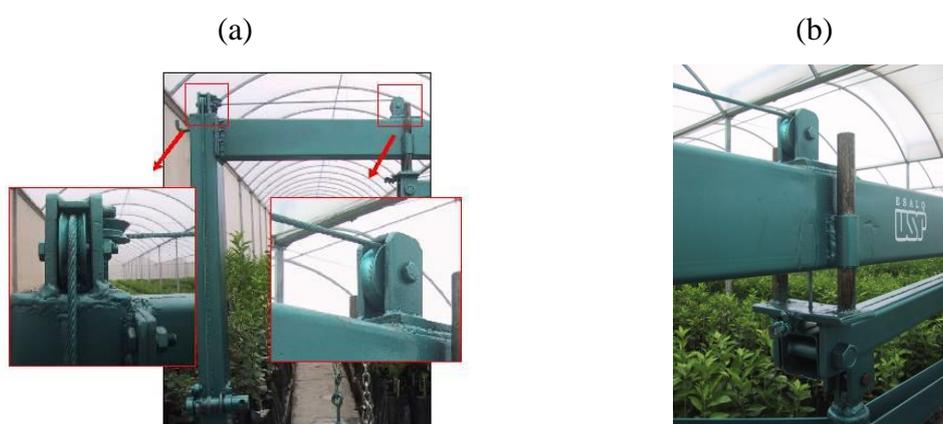


Figura 10. Características do Sistema de Roldanas (a) e Suporte “H” (b)

A calibração do lisímetro foi realizada em ambiente fechado, sem interferência de ventos, utilizando-se um reservatório de água de 500L, colocado sobre o Contentor de Mudas. Este reservatório foi preenchido com água até que a massa do Contentor, Estrela e reservatório, somados, atingissem aproximadamente 400kg.

Em seguida, foram retirados 35 volumes de água, que variaram aleatoriamente de 1 a 9L, caracterizando uma calibração dinâmica e totalizando 142L. Ao mesmo tempo, eram anotadas

as correspondentes leituras registradas na Régua. Da mesma forma, foram posteriormente acrescentados 30 volumes, até atingir a massa inicial.

Para simular a operação no interior da casa de vegetação, o Contentor de Mudas era depositado sobre seu suporte a cada pesagem, reduzindo a pressão hidráulica do sistema. Somente então se realizava a retirada, ou adição, de um volume de água conhecido. Em seguida, levantando-o, aguardava-se cerca de um minuto para a estabilização da coluna líquida e efetuava-se a leitura na Régua.

A avaliação da performance do lisímetro foi baseada nos resultados obtidos em Regressões Lineares e índice de Concordância. O coeficiente de determinação (r^2) foi empregado para se descrever à precisão do sistema de pesagem, indicando sua repetibilidade e estabilidade de mensuração. A exatidão foi determinada a partir do afastamento dos dados estimados em relação aos reais. Willmott et al. (1985) relatam que, matematicamente, essa aproximação poderia ser expressa por um índice denominado Concordância (d). Este índice possui uma magnitude que varia de 0 a 1, sendo que quanto maior for o seu valor, melhor é a concordância. A equação (1) descreve a forma de obtenção do índice de Concordância:

$$d = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - R_i)^2}{\sum_{i=1}^n [|E - \bar{M}| + |R - \bar{M}|]^2} \right) \quad (1)$$

em que:

d - Concordância, adimensional;

E - dado estimado;

R - dado real;

\bar{M} - média dos dados reais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A solução encontrada para se viabilizar a lisimetria em casa de vegetação, com grupos de plantas muito heterogêneos, foi o emprego de uma estrutura móvel, capaz de pesar, isoladamente, vários Contentores de Mudas, dispostos na mesma casa de vegetação e em outras. Deste modo, o número de contentores seria diretamente proporcional ao número de variedades cultivadas e estágio de desenvolvimento de cada uma, enquanto que o número de estruturas móveis de pesagem seria função do número de contentores a ser pesado por dia.

Considerando que a exatidão e a precisão da mensuração de um dado serão sempre limitadas pela capacidade do equipamento utilizado, além da habilidade do operador e noção do valor real, pode-se afirmar que o lisímetro apresentou um bom desempenho.

Neste equipamento, o tempo de resposta foi satisfatório, sendo que após o levantamento do Contentor de Mudas, era necessário aproximadamente um minuto para que a coluna líquida se estabilizasse na Régua. Conseqüentemente, este comportamento permitiu a calibração do lisímetro, gerando uma equação matemática de primeiro grau, por meio de regressão linear entre variação do volume de água e leitura da Régua, como apresentados na Figura 11a.

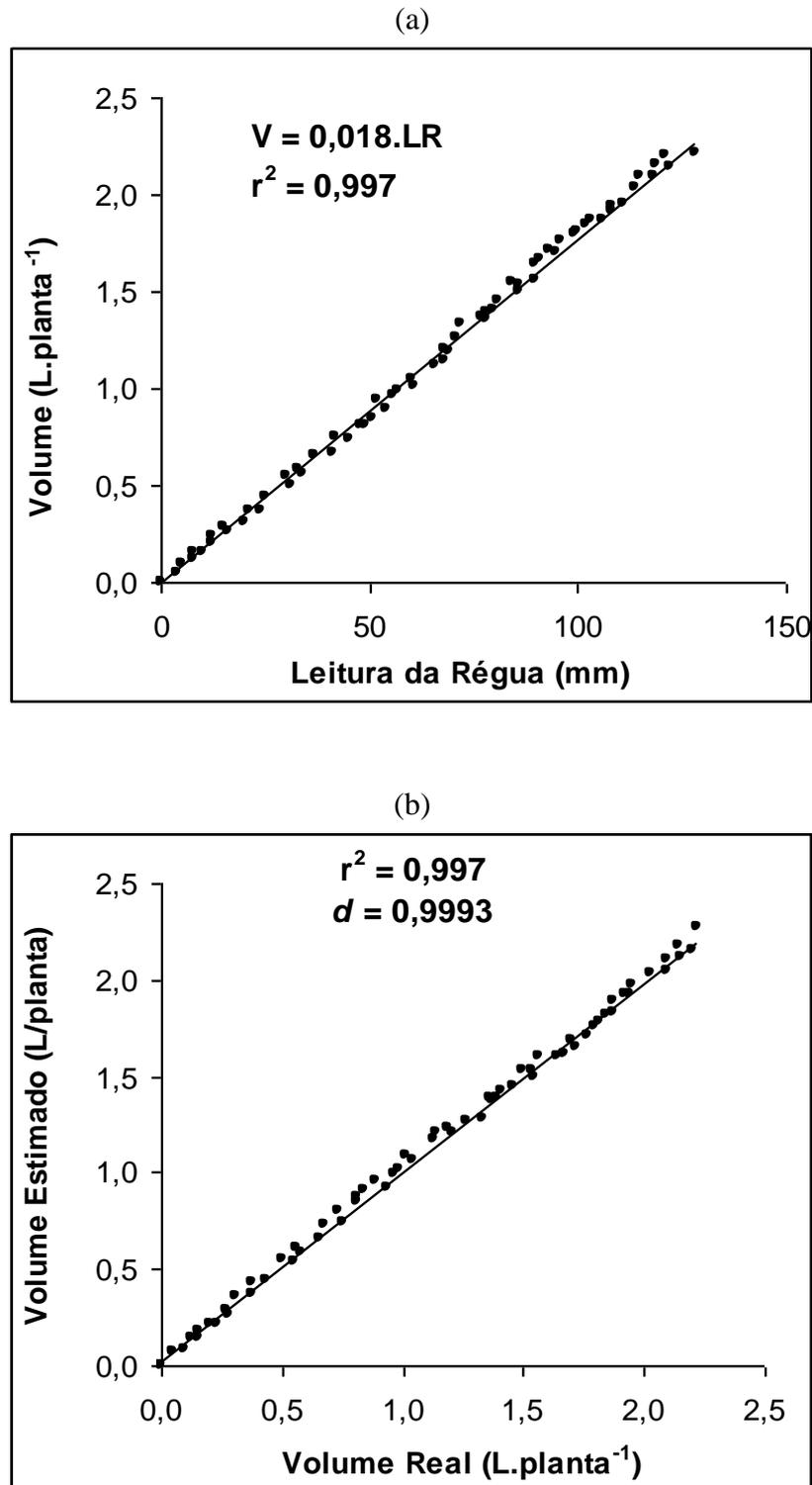


Figura 11. Regressão linear entre a variação do volume de água e leitura da Régua (a) e volume estimado versus o real (b)

Como pode ser observada na Figura 11a, a regressão linear apresentou alto coeficiente de determinação (r^2), indicando que o modelo linear descreveu adequadamente a relação volume de água versus leitura da Régua. Nota-se também nesta mesma figura que a linearidade foi

excelente e que o equipamento apresentou uma histerese praticamente desprezível. Estes resultados permitiram então validar a equação (2) que quantifica o volume de água a partir de dados de leitura da Régua do piezômetro:

$$V = 0,018.LR \quad (2)$$

em que:

V - volume de água, L.planta⁻¹;

LR - leitura realizada na Régua do piezômetro, mm;

Observando a Figura 11a, verifica-se que a calibração resultou em uma variação de massa que correspondeu a um volume de água de aproximadamente 2,2L.planta⁻¹, em incrementos crescentes e decrescentes. Tal variação abrangeu, em ambos os sentidos, a variação média de massa ocorrida normalmente entre o estádio logo após o transplântio da muda cítrica para a sacola até o estádio de comercialização. Assim, o r^2 de 0,997 aferido na equação (2) indicou que este lisímetro poderia determinar com excelente precisão a variação de umidade no substrato de cultivo, nesta fase de produção de mudas cítricas. Esta precisão se assemelha muito com as obtidas e validadas por Silva (2005), que construiu um lisímetro de pesagem com células de carga hidráulica, e Allen & Fisher (1990), Campeche (2002) e Young et al. (1996), que empregaram células de carga eletrônicas no sistema de pesagem.

A dispersão dos dados estimados através da equação (2) em relação aos reais, apresentada na Figura 11b, também sugere que o lisímetro com diafragma seria capaz de determinar com excelente exatidão a evapotranspiração de mudas cítricas, o que pode ser confirmado pelo coeficiente de determinação de 0,9975 e índice de Concordância (d) de Willmott et al. (1985), que resultou em 0,99926.

Desta forma, para se conhecer a demanda hídrica das mudas cítricas em um período de interesse, utilizando-se este lisímetro, determina-se à variação de volume ocorrido no mesmo, subtraindo-se o volume atual do registrado inicialmente.

Considerando que o olho humano seria capaz de detectar uma variação de 0,5 mm na leitura da Régua do piezômetro, a resolução desta mensuração corresponderia a um volume de 0,009L.planta⁻¹, ou uma evapotranspiração de 0,45mm. Esta resolução pode ser considerada relativamente baixa, quando comparada à resolução de 0,245 mm obtida por Silva (2005), que empregou em um lisímetro de pesagem células de carga hidráulica, confeccionadas em mangueira de butil-propileno e nylon. Contudo, pode-se considerar que esta resolução seja suficiente para realizar o manejo da irrigação em cultivos de mudas cítricas.

Com relação à mobilidade do Sistema de Pesagem, suas dimensões e o emprego do mecanismo de travamento e ângulo de inclinação do Garfo de roda possibilitaram a livre movimentação entre bancadas de mudas, sendo necessário um único operador para realizar o deslocamento bidirecional do equipamento.

Quanto ao custo do equipamento, o lisímetro exigiu um dispêndio de US\$609,68 (na ocasião, 05/12/2005, US\$1,00 = R\$2,20) para aquisição do material empregado na construção. Supondo-se que seriam necessários para a construção, aproximadamente, 10 dias de trabalho de 2 indivíduos. Sendo ainda o custo de uma diária equivalente a US\$25,00, o dispêndio total estimado para a construção seria de US\$1109,68.

Em escala industrial, este custo de produção certamente se reduziria, mas, mesmo este valor estimado pode ser considerado relativamente baixo, principalmente se forem considerados o custo do lisímetro por grupo de plantas monitorado e os benefícios que o manejo racional da irrigação poderia proporcionar.

A obtenção de resultados favoráveis com o lisímetro que utilizava diafragma, contudo, não significou que o equipamento não necessitava de melhorias. Assim, recomenda-se que futuramente sejam adicionados ao sistema de alavanca canais de lubrificação para que o mesmo não precise ser desmontado para manutenção. A substituição das rodas maciças por outras maiores e pneumáticas também seria muito importante, caso o piso de tráfego seja muito irregular e acidentado. Visando facilitar a coleta de lixiviados utilizados no monitoramento do substrato e nos estudos de percolação de solutos, deverá ser adicionado um coletor na base do Contentor de Mudanças.

Para que o lisímetro funcione adequadamente em condições de campo, um outro fator extremamente importante, que deve ser considerado, é o efeito da temperatura ambiente sobre o Sistema de Pesagem. De acordo com Aboukhaled et al. (1982), a dilatação térmica do fluido e tubos condutores encontra-se entre as principais causas da obtenção de dados inconsistentes em lisímetros de pesagem hidráulica.

Por conseguinte, recomenda-se que as pesagens sejam realizadas sempre no mesmo horário do dia, quando as variações de temperatura sejam mínimas, reduzindo-se assim os efeitos desta variável climática sobre os componentes do lisímetro, principalmente o piezômetro.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que o lisímetro móvel de pesagem, com célula de carga hidráulica, apresentou um bom desempenho, com a equação de calibração $V=0,0178.LR$, na qual V é o volume de água ($L.planta^{-1}$) e LR é a leitura piezométrica (mm). Esta equação apresentou um r^2 de 0,997, indicando a excelente precisão do equipamento.

Com um coeficiente de determinação de 0,9975, originado da regressão entre o volume estimado e volume real, e um índice de Concordância (d) de 0,9993, este lisímetro apresentou uma excelente exatidão, com resolução de 0,45mm de lâmina de água.

Sua mobilidade permite o livre deslocamento entre bancadas de mudas, exigindo um único operador.

O custo estimado de construção do equipamento é da ordem de US\$1100, incluindo materiais e mão-de-obra.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Roma: FAO, 1982. 68 p. (Irrigation and Drainage Paper, 39).

ALLEN, R.G.; FISHER, D.K. Low-cost electronic weighing lysimeters. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers ASAE**, St. Joseph, v. 33, n. 6, p. 1823-1833, 1990.

ALLEN, R.G., et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO. 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56)

ATARASSI, R.T. **Modelagem do balanço de energia do dossel da cultura do pimentão em casa de vegetação**. 2004. 70 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

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.)**. 2002. 67 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CARVALHO, S. A. Regulamentação atual da agência de defesa agropecuária para produção, estocagem, comércio, transporte e plantio de mudas cítricas no Estado de São Paulo. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 24, n. 1, p. 199-239, 2003.

CORWIN, D.L.; LEMERT, R.D. Construction and evaluation of an inexpensive weighing lysimeter for studying contaminant transport. **Journal of Contaminant Hydrology**, Amsterdam, v. 15, p. 107-123, 1994.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 144p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 24)

FUNDECITRUS. Disponível em: <www.fundecitrus.com.br>. Acesso em: 20 mar. 2006.

HOWELL, T.A.; McCORMICK, R.L.; PHENE, C.J.; Design and installation of large weighing lysimeters. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 1, p.106-112, 117, 1985.

HOWELL, T.A.; SCHNEIDER, A.D.; JENSEN, M.E. History of lysimeter design and use for evapotranspiration measurements. In: ALLEN, R.G., et al. (Ed.). **Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p.1-9.

KRUSE, E.G.; NEALE, C.M.U. Hydraulic weighing lysimeter measurement errors. In: ALLEN, R.G., et al. (Ed.). **Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p.113-141.

LANTHALER, C. **Lysimeter stations and soil hydrology measuring sites in Europe-purpose, equipment, research results, future developments**. 2004. Diploma thesis (Magistra der Naturwissenschaften) - School of Natural Sciences at the Karl-Franzens-University Graz, Graz, 2004. Disponível em: <<http://www.lysimeter.at>>. Acesso em: 18 out. 2005.

MARTINS, S.R., et al. Produção de melão em função de diferentes sistemas de condução de plantas em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 1, p. 24-30, 1998.

RITCHIE, J.T.; BURNETT, E. A precision weighing lysimeter for row crop water used studies. **Agronomy Journal**, Madison, v. 60, p. 545-549, 1968.

SILVA, T.J.A. **Evapotranspiração e coeficiente de cultivo de maracujazeiros determinados pelo método do balanço de radiação e lisimetria de pesagem hidráulica.** 2005. 99 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

YOUNG, M.H.; WIERENGA, P.J.; MANCINO, C.F. Large weighing lysimeters for water use and deep percolation studies. **Soil Science**, Baltimore, v. 161, n. 8, p. 491-501, Aug. 1996.