

SISTEMA DE MEDIDAS PARA SALDO DE RADIAÇÃO EM RENQUES DE ESPÉCIES ARBÓREAS: USO EM LIMA ÁCIDA

JONES SIMON¹, LUIZ ROBERTO ANGELOCCI², ANDREA I. IRIGOYEN³, FÁBIO VALE SCAPARE³

¹ Eng. Agrônomo, Pós-Graduando, PPG em Física do Ambiente Agrícola, Depto. de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba – SP. Fone (0xx19) 3429 – 4123, ramal 236, jsimon@esalq.usp.br

² Eng. Agrônomo, Prof Associado, Depto. de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba – SP. Fone (0xx19) 3429 – 4123, ramal 226.

³ Eng. Agrônomo, Pós-Graduando, PPG em Física do Ambiente Agrícola, Depto. de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba – SP.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de setembro de 2009 – Belo Horizonte – MG

RESUMO: O saldo de radiação (R_n) é o principal fator determinante da evapotranspiração e fotossíntese em plantas. Sua determinação em partes de plantas lenhosas, sob cultivo descontínuo, como pomares, é dificultada pelas complexas interações que ocorrem com o ambiente circundante. Além disso, depende de fatores como a geometria da copa, da área foliar e da geometria de plantio (espaçamento, direção das linhas). Existem poucos trabalhos voltados ao estudo de medidas diretas de R_n em renques. O objetivo deste estudo foi adaptar um sistema que permite a varredura de copas ao longo de um renque de lima ácida, formando uma geometria cilíndrica, com integração espaço-temporal das medidas. O equipamento foi construído com base em um modelo já existente, desenvolvido para cultura do cafeeiro, com adaptações que facilitam as medidas em espécies arbóreas de grande porte. O teste de balanceamento dos saldo-radiômetros foi satisfatório, com erros menores que 1% dos valores integrados para o dia. As medidas corresponderam às médias diárias de evapotranspiração obtidas por lisimetria, sendo em média 12% inferior. Conclui-se que os dados medidos são confiáveis e podem ser utilizados para testes de modelos de determinação de R_n dos renques.

PALAVRAS-CHAVE: instrumentação, saldo de radiação, balanço de energia

SYSTEM FOR MEASUREMENT OF ALL-WAVES RADIATION ABSORBED BY CANOPIES OF ARBORIAL PLANTS IN HEDGEROWS: USE IN ACID LIME

ABSTRACT: The radiation balance (R_n) is the main factor to determine the evapotranspiration and photosynthesis rates in plants. Its determination in parts of woody plants in hedgerows, like orchards, it is difficult due to the complex interactions that occur with the surrounding environment. Besides, it depends on factors like the geometry of the canopy, leaf area and planting geometry (spacing, direction of hedgerows). There are few studies of direct measurements of R_n in hedgerows. The objective of this study was to adapt a system which allows to scan a sequence of crowns along the hedgerow of acid lime plants, forming a cylindrical geometry and spatial and temporal integration of the measurements. The equipment was developed based on a model already used in coffee crops, with adaptations to facilitate the measurement in arboreal species with great canopies. Tests showed a satisfactory null balance of the net radiometers, with errors smaller than 1% of the integrated daily data. The observed values corresponded to the mean ones of daily transpiration obtained by lysimeters, being 12% smaller. It is concluded that the measured data are reliable and can be used to validate models of determination of R_n of hedgerows.

KEYWORDS: instrumental, net radiation, energy balance

INTRODUÇÃO: Um dos fatores determinantes da evapotranspiração e fotossíntese em plantas é o saldo de radiação da cobertura vegetal (R_n). Sua determinação em coberturas vegetais descontínuas é dificultada pelas complexas interações que ocorrem com o solo, a atmosfera e as plantas vizinhas. Além disso, o R_n depende de fatores como a geometria da copa, a área foliar e a geometria de plantio (espaçamento, direção das linhas). Há poucos trabalhos realizados com a determinação de R_n por medidas diretas em partes de interesse da planta, como a copa. O precursor na determinação direta de R_n da copa foi THORPE (1978), o qual utilizou 8 saldo-radiômetros lineares fixos, orientados ao longo da linha de plantio, em um pomar de macieira, para verificar o R_n integrado dentro do cilindro imaginário de 1m linear, formado pelos sensores. Outros estudos como de McNAUGHTON et. al (1992) em *Robinia pseudocacia*, ANGELOCCI & VILLA NOVA (1999) em lima ácida e PILAU (2005) em laranja, utilizaram-se de sistemas de medida similares, mas de amostragem esférica, o qual é direcionado para plantas isoladas e amostra o R_n integrado para a copa. As dificuldades na determinação de R_n por medidas diretas têm levado ao estudo de modelos de interceptação de radiação por renques e plantas isoladas. CHARLES EDWARDS e THORPE (1976); RIOU et. al (1989); PILAU (2005) trabalharam com a modelagem dessa variável em seus estudos. A validação desses modelos só é possível com dados medidos diretamente ao campo. O presente trabalho buscou adaptar a técnica de varredura de folhagem para um renque de plantas de grande porte, no caso lima ácida, formando uma geometria cilíndrica de medida, avaliando-se a confiabilidade das medidas.

MATERIAIS E MÉTODOS: O experimento foi conduzido na Fazenda Areão, área experimental do Campus “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP, (22° 42S; 47° 30W; 546m) em um pomar de lima ácida “Tahiti” com 6 anos de implantação, com espaçamento de 8,0m x 4,0m e altura média de plantas 4,5m, no sentido SE-NW. O sistema de medidas é móvel e é uma adaptação dos equipamentos utilizados anteriormente em Piracicaba (MARIN et. al, 2003; PILAU, 2005; ANGELOCCI et al, 2008) em plantios adensados de cafeeiros. O equipamento é composto basicamente por dois módulos, um trilho para o deslocamento e um arco com base fixa a um sistema de tração para amostragem da copa das árvores (Figura 1).

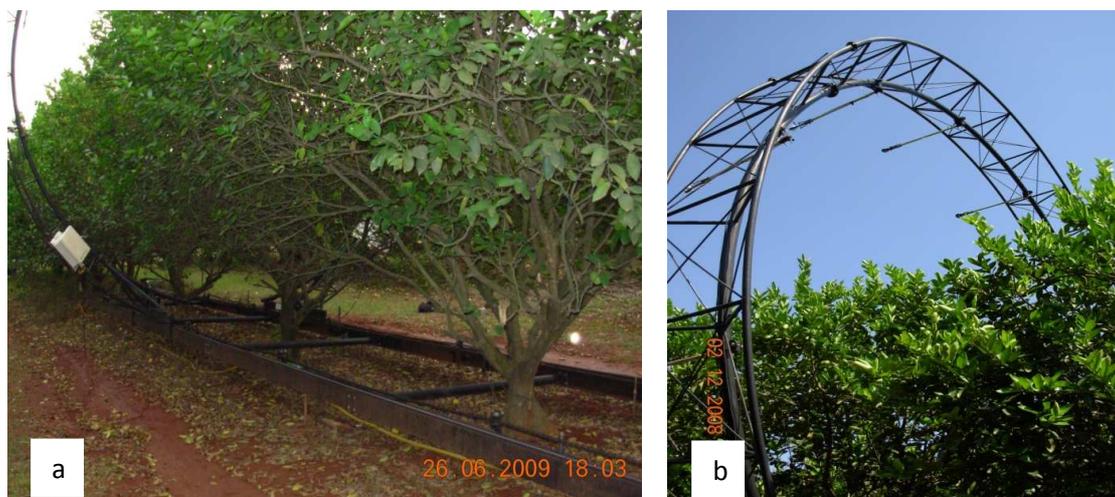


Figura 1 - Vista lateral do sistema de amostragem de R_n , composto de um arco de medida e um trilho para deslocamento(a) e detalhe dos radiômetros presos ao arco(b).

O trilho foi montado no sentido da linha de plantio, promovendo a centralização dos troncos em seu interior. O trilho é composto por 6 barras metálicas de 6 m de comprimento, montadas 3 a 3 e unidas por 7 barrotes de 2,40 m que sustentam o trilho e perfazem sua largura. O trilho foi montado sobre 2 linhas apoiadas em 7 bases de ferro, as quais servem tanto para seu suporte como para seu nivelamento, este realizado com o auxílio de um nível de mangueira. O arco foi montado no exterior do pomar, devido ao seu tamanho (6 m de diâmetro), e transportado sobre a linha de plantio até o local definitivo com a ajuda de dois andaimes e de um guindaste. O deslocamento do arco sobre os trilhos foi proporcionado por um sistema de engrenagens duplas que conduzem duas correias metálicas de tração, acionadas por um redutor acoplado a um motor elétrico de 1 HP. Os saldo-radiômetros foram instalados em intervalos de 30° entre si sobre o arco circular e posicionados em torno do renque para que suas placas sensoras tangenciassem uma superfície hipoteticamente curvilínea em torno das copas, formando uma geometria cilíndrica de amostragem. O trajeto percorrido e utilizado para as medidas foi de 16,0 m lineares (4 plantas). A inversão do movimento ocorre automaticamente nas extremidades do trilho de forma mecânica, conforme pode ser visto no trabalho de PILAU (2005), diferenciando-se deste pelas modificações realizadas no ponto de engate, que no atual sistema está situado no centro de um “carrinho” de deslocamento (Figura 2a), e pelo uso de duas correntes de tração. O Rn foi obtido pela integração da medida dos 12 saldo-radiômetros, representando a medida do total de radiação que alcança a área lateral do cilindro virtual formado pelo deslocamento do arco. Foi obtido pela seguinte equação (1):

$$Rn_r = \left(\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} Rn_i \right) d_h \cdot 2 \cdot R \cdot \pi \quad (1)$$

em que: Rn_i é a medida de saldo de radiação de cada um dos doze saldo radiômetros, d_h é a distância horizontal percorrida pelo sistema (16,0m) e R é o raio da base do cilindro sensor.

A escolha do local dentro do pomar para a instalação do equipamento levou em consideração a homogeneidade de plantas, a distribuição dos tratamentos de irrigação e uma bordadura considerável. Com os saldo-radiômetros devidamente nivelados e alinhados e com o sistema funcionando durante o período diurno, foram feitas medidas coletadas com frequência de 1 Hz por dois sistemas de aquisição de dados Campbell, modelos CR1000 e CR10, que se movem solidários com o sistema de amostragem, armazenando as médias a cada 15 minutos.

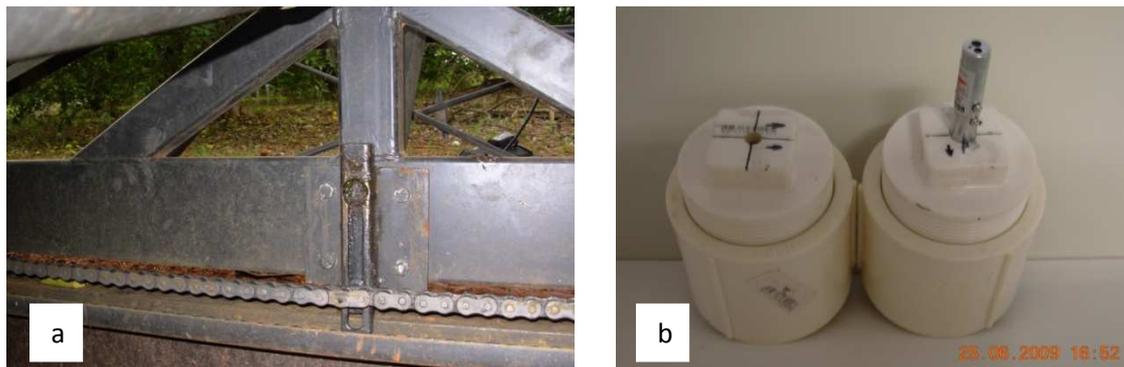


Figura 2 - Vista frontal do sistema de engate para o deslocamento do sistema de amostragem sobre os trilhos(a); sistema de mira desenvolvido para posicionar os saldo-radiômetros, de maneira a alinhá-los em pares(b).

Como a técnica de medida usada é baseada no balanço entre sensores opostos, que teoricamente devem apresentar valores nulos sem a presença da árvore no interior do arco, essa condição foi verificada anteriormente às medidas no renque, pela montagem do arco sobre um extenso gramado, com o auxílio de andaimes e cordas. Os saldo-radiômetros foram fixados sobre o arco, seguindo a orientação que teriam posteriormente quando da instalação

no renque. Os saldo-radiômetros foram identificados e montados nas bases fixas do arco, com o comprimento do braço de 90 cm, confrontados dois a dois. Segundo estudos de MaCNAUGHTON et. al (1992), o posicionamento das placas dos sensores fora do nível horizontal não afeta significativamente a calibração de cada um. Para o posicionamento adequado dos sensores, desenvolveu-se um sistema de mira construído a partir de dois caps de tubulação de água de 40 mm e um “laser point” fixado ao centro de um deles. No outro cap existe um guia para obtenção da medida no centro da placa sensora do seu par (Figura 2b).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Figura 3 apresenta-se o curso diário de variação do saldo de radiação para períodos de 15min sem a presença de plantas no interior do arco, no mês de setembro de 2008. São observados dois picos para cada dia, um de valores negativos, alcançando valores ao redor de -60 W.m^{-2} entre 7:00 e 8:00h da manhã e um de valores positivos atingindo 100 W.m^{-2} entre 11:00 e 12:00 horas. A média diária dos desvios observados foi em torno de 13 W.m^{-2} , o que integrando-se resulta numa média de $0,012 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, valor este que equivale a menos de 1% do valor diário de R_n , que para esta época do ano apresentou média de $7,8 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. O valor encontrado é bem abaixo dos 5% sugeridos no estudo realizado por MaCNAUGHTON et. al (1992). Grande parte do erro originado é devido ao desvio da direção leste-oeste, e com relação a própria estrutura do equipamento que, em alguns horários do dia, promove o sombreamento dos sensores localizados nas posições inferiores do arco de amostragem.

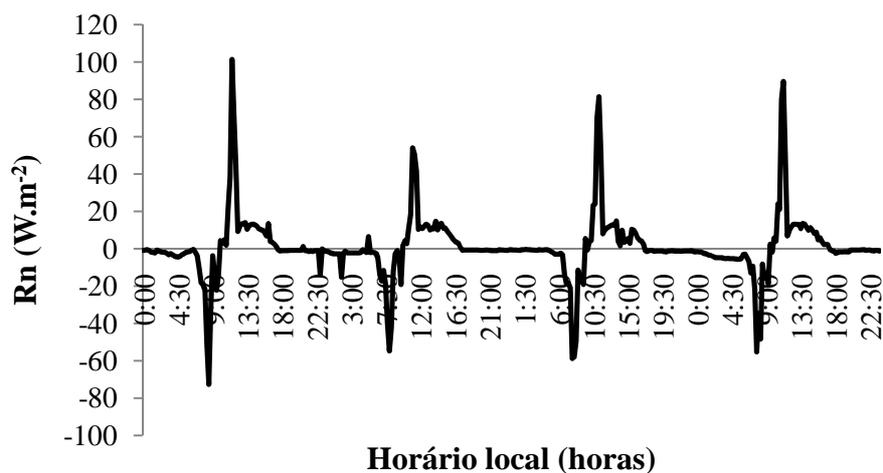


Figura 3 - Variação dos desvios de balanço nulo das medidas de R_n no interior do arco sem a presença de plantas, para 4 dias no mês de setembro de 2008, em Piracicaba, SP.

As medidas realizadas no pomar apresentaram valores médios de $R_{n_{\text{pomar}}}$ equivalentes a cerca de $4,9 \text{ mm.dia}^{-1}$. Dados de evapotranspiração medidos em lisímetro de pesagem para o mesmo período indicaram valores médios de $5,5 \text{ mm.dia}^{-1}$. Na figura 4, observa-se uma regressão entre os valores medidos pela lisimetria de pesagem e valores de R_n medidos convertidos para lâminas de água evapotranspirada. O resultado mostra que a evapotranspiração foi 12% superior ao dado de R_n obtido. O R_n obtido pelo equipamento diz respeito somente à copa, ou seja, sua transpiração, enquanto os dados do lisímetro consideram juntamente a evaporação do solo. Dados preliminares mostram que a evaporação do solo neste lisímetro chega a alcançar 20% do total de evapotranspiração, ou seja, subtraindo-se esse valor de evaporação, a relação entre as duas variáveis ficaria mais coerente com o esperado, ou seja, com valores de calor latente equivalentes a 80 a 85% do valor de R_n diário. Outro fator diferencial e muito importante para a transpiração de plantas é sua área foliar, cerca de 30% maior na planta que

ocupa o lisímetro, o que também justifica o aumento na relação entre os dados de lisimetria e os dados de Rn disponível.

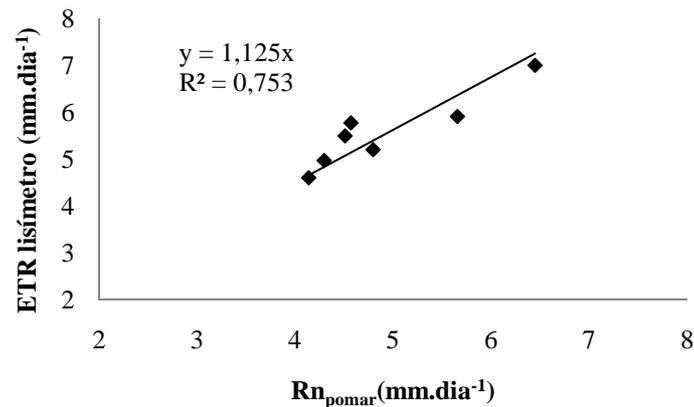


Figura 4 – Relação entre os valores diários de evapotranspiração medidos por lisimetria de pesagem e valores de transpiração relativos ao Rn do pomar, para alguns dias do mês de dezembro de 2008, em Piracicaba, SP.

CONCLUSÕES: O sistema, com as pequenas modificações mecânicas incrementadas em relação ao sistema usado nos cafezais, mostrou-se apto a realizar medidas confiáveis de Rn das copas de renques de plantas arbóreas de grande porte. As medidas diretas, quando confrontadas com medidas de calor latente (evapotranspiração) feitas em lisímetros de pesagem, mostraram-se confiáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ANGELOCCI, L.R.; VILLA NOVA, N.A. Medida de saldo de energia radiante na copa de lima ácida “Tahiti” e sua relação com a medida sobre gramado. In: XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia/ II Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia. Florianópolis. **Anais**, p. 2192 – 2198 (Cd-rom). 1999.
- ANGELOCCI, L. R. ; MARIN, F. R. ; PILAU, F. G. ; RIGHI, E. Z. ; FAVARIN, J. L. . Radiation balance of coffee hedgerows. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 274-281, 2008.
- CHARLES-EDWARDS, D.A., THORPE, M.R. Interception of diffuse and direct beam radiation by a hedgerow apple orchard. **Annals of Botany**, 40, 603-613, 1976.
- MARIN, F.R.; SANTIAGO, A.W.; RIGHI, E.Z.; SENTELHAS, P.C.; ANGELOCCI, L.R.; MAGGIOTTO, S.R.; PEZZOPANE, J.R.M. Solar radiation interception and its relation with transpiration in different coffee canopy layers. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.1, p.1 – 6, 2003.
- McNAUGHTON, K.G., GREEN, T.A., BLACK, B.R. et al. Direct measurement of net radiation and photosynthetically active radiation absorbed by a single plant. **Agricultural and Forest Meteorology**, 62, 87-107, 1992.
- PILAU, F.G. Saldo de radiação da copa de laranjeira num pomar e de renques de cafeeiros: medidas e estimativas, 2005, 92p. **Tese (Doutorado)** – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- RIOU, C., VALANCOGNE, PIERI, P. Un modèle simple d’interception du rayonnement solaire par la vigne – vérification expérimentale. **Agronomie**, v. 9, p. 441-450, 1989.
- THORPE, M.R., Net radiation and transpiration of apple trees in rows. **Agricultural Meteorology**. v.19, n.1, p.41 – 57, 1978.