

# MEDIDA DO SALDO DE ENERGIA RADIANTE NA COPA DE LIMA ÁCIDA "TAHITI" E SUA RELAÇÃO COM A MEDIDA SOBRE GRAMADO

Luiz R. ANGELOCCI<sup>1</sup>, Nilson A. VILLA NOVA<sup>1</sup>, Paulo C. SENTELHAS<sup>2</sup>

## RESUMO

Foi utilizado um sistema móvel com seis saldo-radiômetros girando em torno de uma árvore de lima ácida "Tahiti" em pomar localizado em Piracicaba, SP, com o objetivo de se ter um valor integrado do saldo diário de radiação ( $R_n$ ) da árvore, em vários meses do ano. São mostradas curvas de variação das medidas em cada saldo-radiômetro ao longo do dia, em comparação com as medidas do  $R_n$  sobre um gramado. Os valores integrados de saldo de radiação para a árvore, medidos em 65 dias entre dezembro de 1997 e julho de 1998, variaram entre 32,5 e 221,1 MJ para o período de 24 horas e entre 40,9 MJ e 230,6 MJ para o período de valores positivos do saldo de radiação ("diurno"). A comparação dos valores integrados para a árvore e sobre gramado nesses períodos do dia, indicou que o valor de saldo de radiação para a árvore equivale, em média, ao saldo de radiação de cerca 14,1 m<sup>2</sup> de gramado. Entretanto, foram encontrados valores distintos dessa relação no período de dezembro à março (valor médio de 13,5 m<sup>2</sup> de gramado) e de maio a julho (valor médio de 17,1 m<sup>2</sup>).

Palavras-chave: microclima, pomar, energia radiante.

## INTRODUÇÃO

O saldo de radiação de uma superfície vegetada é um dos grandes fatores determinantes da transpiração e da fotossíntese, tendo grande aplicação nos estudos que envolvem esses dois processos que governam o crescimento e a produtividade vegetal.

A determinação do saldo de radiação sobre superfícies vegetadas que cobrem totalmente o terreno, como um gramado, ou sobre coberturas com pequeno espaçamento entre as plantas, como as plantas anuais de interesse agrícola, tem recebido bastante atenção, mostrando a literatura inúmeros trabalhos envolvendo medidas e estimativas. Mas, em outras coberturas vegetais de interesse agrônomo, como os pomares, as plantas são separadas por grandes espaçamentos e esse tipo de vegetação pode ser representada, em termos de interceptação de radiação, como plantas isoladas, ainda que a interceptação possa estar sendo afetada por árvores ao seu redor. Nesse caso,

---

<sup>1</sup> Dr., Professor Associado. Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP. Caixa Postal 9, 13418-970, Piracicaba, SP. E-mail: lrangelo@carpa.ciagri.usp.br. Bolsista do CNPq.

<sup>2</sup> Dr., Professor Doutor. Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP. E-mail: pcsentel@carpa.ciagri.usp.br.

tanto a medida como a modelagem do saldo de energia radiante na folhagem (copa) são mais complicadas do que nos outros tipos de cobertura, devido ao efeito da geometria da copa.

A literatura mostra tentativas de desenvolvimento de modelos de interceptação de radiação em plantas isoladas em pomares (Charles-Edwards & Thornley, 1973, Charles-Edwards & Thorpe, 1976). Outros autores empregaram métodos experimentais de medidas, como uso de vários saldo-radiômetros lineares fixos em torno de macieiras plantadas em renque, em tentativa de realizar a integração espacial e temporal do saldo de radiação da copa (Landsberg et al., 1975, Thorpe, 1978).

McNaughton et al. (1992) desenvolveram um sistema móvel comportando vários radiômetros posicionados em torno de árvore de *Robinia pseudoacacia*, o qual girava em torno da planta para realizar a integração espaço-temporal do saldo de energia radiante e de radiação fotossinteticamente ativa incidente na copa. Esse sistema foi posteriormente utilizado por Green (1993) e por Green et al. (1995) em outras espécies, dentro de estudos mais abrangentes envolvendo esses parâmetros. Posteriormente, Green & McNaughton (1997) verificaram excelente concordância entre os valores de saldo de radiação e de interceptação de PAR medido pelo sistema giratório e os estimados por modelos desenvolvidos pelos autores, em copa de macieira em um pomar.

No presente trabalho são relatados resultados de medidas de saldo de radiação na copa de uma árvore de lima ácida “Tahiti” através de um sistema giratório de saldo radiômetros, os quais são comparados com as medidas sobre gramado, com exemplos em escala de 15 minutos integração dos valores integrados para a escala de 24 horas (diária) e do período diurno.

## MATERIAL E MÉTODOS

As medidas foram realizadas em uma árvore com idade de 6 anos, em pomar irrigado por microaspersores, em área experimental no Campus Luiz de Queiroz, em Piracicaba, SP (lat. 22° 42' S, long. 47° 38' W, alt. 540 m), com espaçamento de 7,0 X 8,0 m. Numa das bordas a oeste do pomar há uma linha de eucaliptos, a cerca de 50 m da árvore escolhida que se localizava aproximadamente no centro do pomar, o que interceptava radiação solar global a partir de cerca de um hora antes do final do período diurno.

A árvore escolhida foi podada antes da instalação do sistema móvel, com o objetivo de deixar sua copa com a geometria mostrada na Figura 1. A poda teve, também, o objetivo de eliminar galhos que interferiam com a rotação do sistema móvel. Podas muito pequenas foram sendo feitas subsequentemente, para que o crescimento dos ramos não interferissem com o giro do sistema e para que a geometria da copa fosse mantida. Em janeiro de 1998, foram realizadas determinações do maior comprimento e da maior largura de cerca de 15% das folhas da árvore,

permitindo a estimativa da área média das folhas que, multiplicada pelo seu número total possibilitou a estimativa da área foliar da árvore, obtendo-se o valor de 39,9 m<sup>2</sup>. Uma determinação posterior com o medidor de área foliar eletrônico não destrutivo Li-Cor, modelo LAI-2000, indicou 41,6 m<sup>2</sup>.



Figura 1. Vista das árvores utilizadas com o sistema móvel de medida do balanço de radiação. (a) árvore cujos resultados são apresentados neste trabalho. (b) árvore com o novo sistema móvel (ainda sem os saldo-radiômetros) a ser utilizado futuramente.

O sistema móvel utilizado neste trabalho (Figura 1a) foi modificado em relação ao de MacNaughton et al. (1992), constando de uma estrutura formada de 2 barras circulares de alumínio de 1/2", perpendiculares entre si no sentido vertical e uma no sentido horizontal, acionada por um motor elétrico com rotação regulável, localizado no topo da estrutura, a qual, por sua vez, era sustentada por um braço fixo a uma coluna de ferro. O sistema girava a três rotações por minuto.

Foram fixados sobre a barra de alumínio na vertical, seis saldo-radiômetros, de marca REBS, modelo Q7, de maneira a se ter inicialmente uma disposição equi-latitudinal, conforme proposto por MacNaughton et al. (1992). Ao contrário desses autores, que utilizaram 8 radiômetros, no presente estudo tinha-se disponibilidade de seis deles para a montagem, de modo que os intervalos equi-latitudinais foram de 30°. Por problemas a serem discutidos no próximo item, 15 dias após o início das medidas eles foram redistribuídos, com cinco deles posicionados em intervalos equi-latitudinais de 22° e um sexto com o sensor fixado na horizontal e a cerca de 0,10m abaixo da copa. Foram utilizados os coeficientes de calibração fornecidos pelo fabricante em razão dos sensores terem sido recém-adquiridos; segundo estudos de MacNaughton et al. (1992), o posicionamento das placas sensoras fora do nível horizontal não afeta significativamente a sua calibração. Os saldo-radiômetros foram fixados na barra vertical por braços de alumínio de 0,15 m de comprimento.

As superfícies dos sensores foram posicionadas perpendicularmente ao raio (igual a 1,65 m) da esfera imaginária em torno da copa, tangenciando a sua superfície de contorno, a cerca de 0,10 m

desta. No segundo posicionamento dos sensores, 5 deles foram fixados segundo essa disposição, sendo que o sexto girava na horizontal a cerca de 0,10 m abaixo da copa. O sinal dos sensores foram recebidos em datalogger Campbell CR 10 a cada segundo, sendo a média calculada e armazenada a intervalos de 15 minutos.

Como cada saldo-radiômetro amostra uma área lateral da copa específica, em função de sua posição, para a integração diária do saldo de radiação da árvore foram adotados fatores de ponderação para a medida de cada um. Tanto os dados na escala de 15 minutos como na escala diária, foram relacionados às medidas de saldo de radiação sobre um gramado, utilizando-se análise de regressão linear forçando a passagem pela origem dos eixos ( $y = bx$ ), com dados sobre gramado obtidos na estação meteorológica do Campus.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra exemplos da variação das medidas dos seis saldo-radiômetros e sobre o gramado, ao longo do dia. Nos dois primeiros dias (12 e 13/12/97) observa-se que o saldo-radiômetro inferior (n<sup>o</sup> 6) apresentou valores excessivamente negativos entre 8:00 e 10:30h, o que se deveu ao fato de que nesse intervalo de tempo a radiação solar direta incidia na placa desse radiômetro voltada para a copa, quando ele se posicionava em oposição à incidência da radiação, elevando portanto o valor negativo sem que tal fato fosse decorrente da interação de radiação solar com a copa. Embora isso ocasionasse um erro pequeno na integração do saldo de radiação para a copa, devido ao baixo fator de ponderação desse sensor, a partir de 28/12/97 foram alteradas as posições desse e de todos os sensores, como descrito em Material e Métodos, minimizando ainda mais essa fonte de erro, conforme é mostrado na Figura 2, para os dias 13 e 14/01/98.

Outro aspecto visualizado na Figura 2 é a boa aderência entre os valores de saldo de radiação medido pelo saldo-radiômetro superior (número 1), com sua placa sensora posicionada com ângulo de 22<sup>o</sup> em relação ao eixo vertical da árvore, com as medidas sobre gramado. A Figura 2 mostra, também, as curvas de saldo de radiação para o gramado e integrados para a árvore, elaboradas com valores obtidos a intervalos de 15 minutos.

Os valores integrados de saldo de radiação da árvore no período "diurno", delimitado pela ocorrência de valores positivos do saldo de radiação, e no período diário (24 horas) foram determinados em 65 dias entre dezembro de 1997 e julho de 1998, sendo que em fevereiro e em abril não foram realizadas medidas. Para o período diurno, os valores extremos foram 230,3 MJ em 20/01/98 e 40,9 MJ em 16/05/98, com valores para o período de 24 horas, respectivamente, de 221,1 MJ e 32,5 MJ. Os autores não encontraram na literatura dados desse tipo em citros que servissem de comparação para os dados obtidos. Utilizando um sistema de medida móvel para macieira em pomar (espaçamento 3,6 m X 5,0 m), com área foliar de 35,5 m<sup>2</sup> e porte muito próximo

da árvore utilizada neste estudo, Green (1995) encontrou, para 12 dias de medidas em março para a Nova Zelândia (latitude de 40° 12' S), valores entre 32,0 e 138, 6 MJ para o período de 24 horas. Nos 12 dias de medidas no mês de março no presente trabalho foram encontrados valores entre 184,0 MJ e 53,1 MJ para o mesmo período do dia, havendo-se de considerar que os maiores valores deste trabalho podem refletir as diferenças de latitude entre os locais

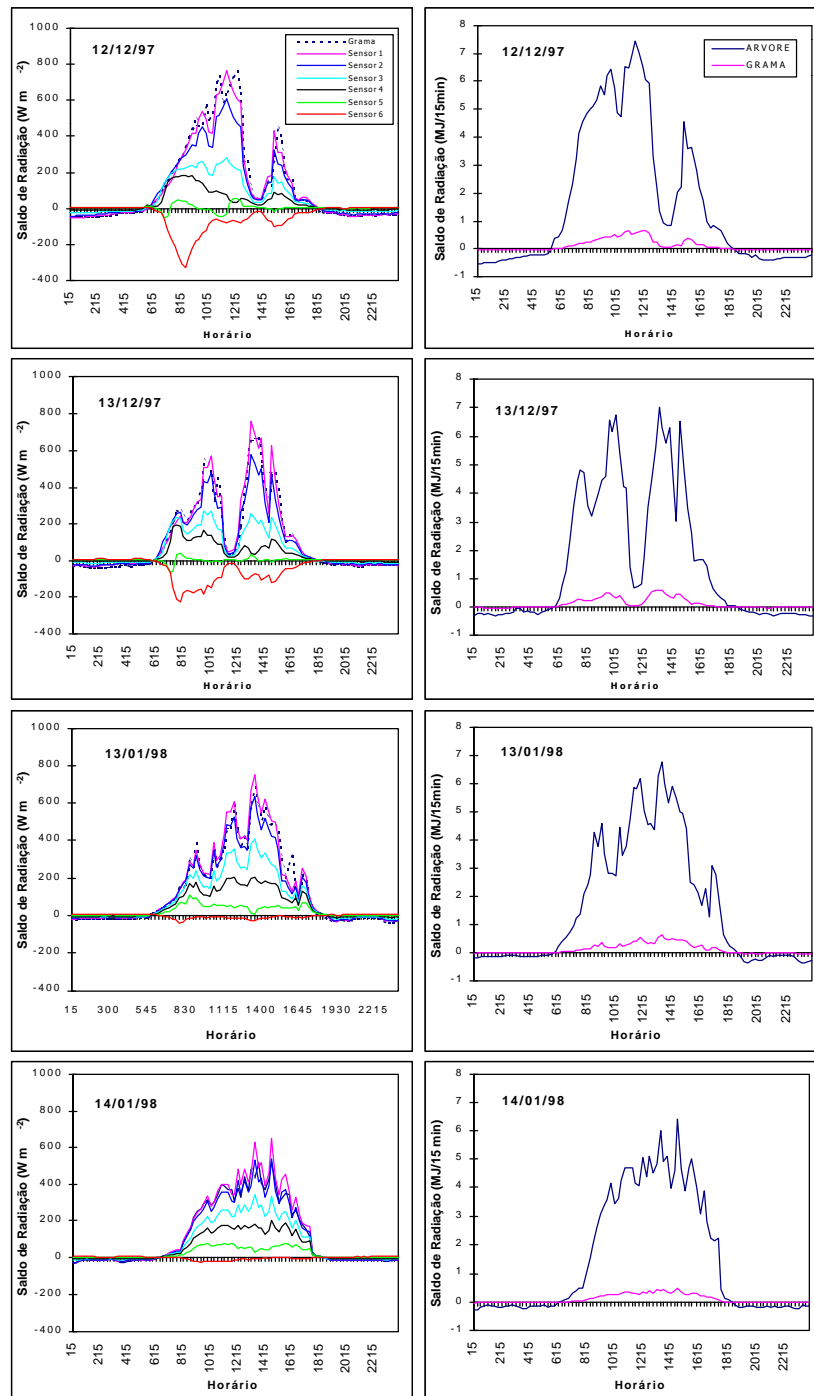


Figura 2. Variação horária do saldo de radiação nos diferentes sensores e sua integração para a árvore de lima ácida "Tahiti" e para o gramado.

A Figura 3 mostra as relações entre o saldo de radiação integrado para a árvore e sobre o gramado no período de 24h ("diário") e para o período de valores positivos ("diurno").

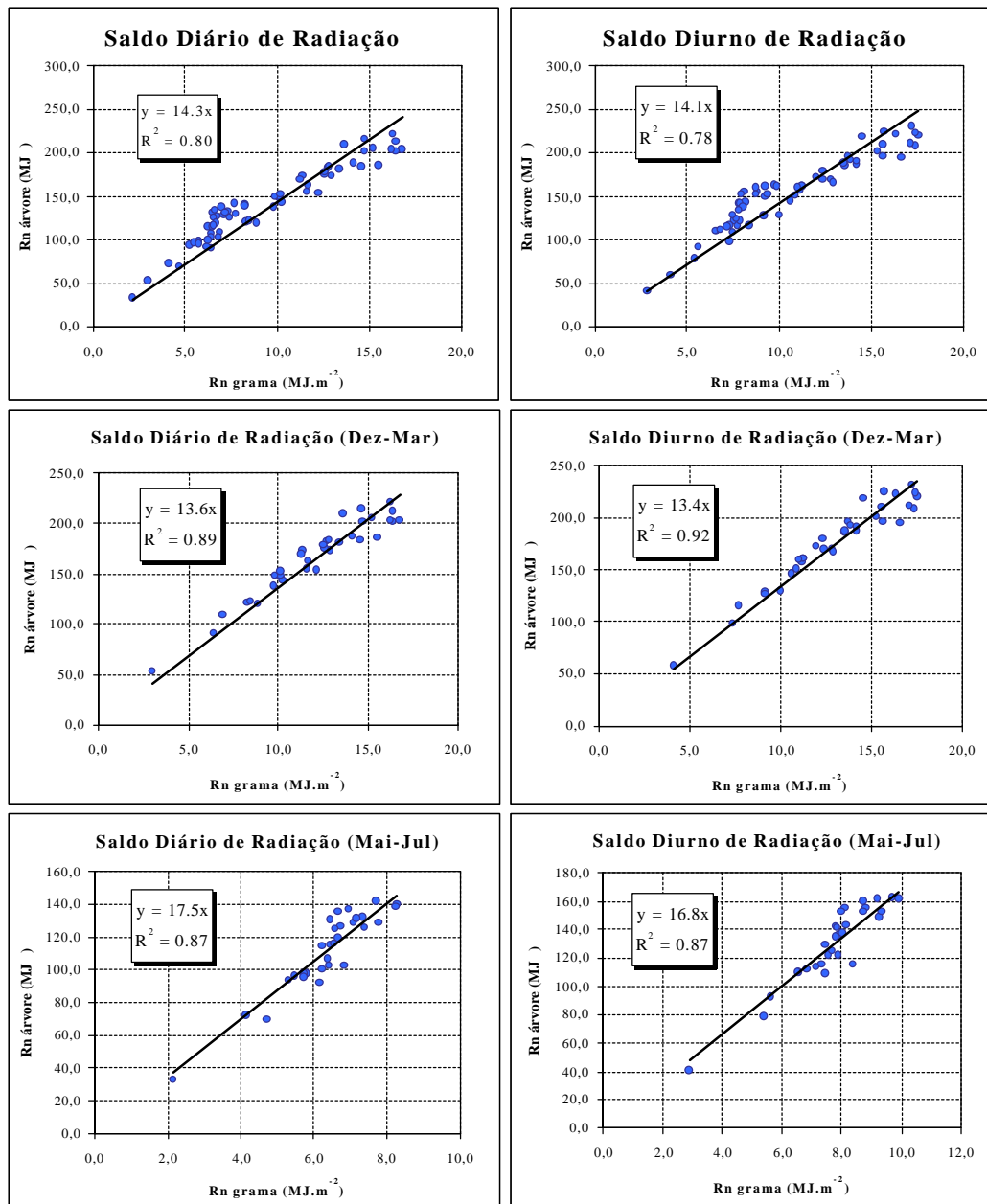


Figura 3. Relação entre o saldo de radiação na árvore de lima ácida "Tahiti" e o saldo de radiação no gramado, para o período de 24 horas e para o período de valores positivos do saldo de radiação, no período integral de medidas, de dezembro a março e de maio a julho.

Foram encontradas elevadas correlações entre os saldos de radiação na árvore e no gramado. Considerando o período de dezembro a julho, o saldo de radiação da árvore foi equivalente ao saldo de radiação de  $14,3\text{m}^2$  de gramado, no período diário, e de  $14,1\text{m}^2$  de gramado, no período diurno, podendo-se adotar a média de  $14,2\text{m}^2$ . Entretanto, quando avaliou-se essa relação para os períodos de dezembro a março e de maio a julho, observou-se diferenças entre eles. No primeiro período a relação foi de  $13,6\text{m}^2$  para o saldo diário e  $13,4\text{m}^2$  para o saldo diurno, enquanto que para o segundo

período foram obtidos, respectivamente, 17,5m<sup>2</sup> e 16,8m<sup>2</sup>. Essa variação sazonal está relacionada, provavelmente, às diferenças de interceptação da radiação de ondas curtas em função das relações geométricas entre a radiação solar e a superfícies da árvore (esférica) e do gramado (plana).

Os resultados mostram que o sistema de medida empregado teve bom desempenho na determinação do saldo de radiação de árvores, apresentando grande utilidade para o desenvolvimento de modelos e de relações com outros tipos de coberturas vegetais. Apesar disso, os autores instalaram um segundo sistema de medida (Figura 1b) similar ao de McNaughton et al. (1992), a ser utilizado futuramente, com o objetivo de tentar minimizar os erros decorrentes da influência da estrutura de suporte dos saldo-radiômetros sobre as medidas.

### BIBLIOGRAFIA

- CHARLES-EDWARDS, D.A.; THORNLEY, J.H.M. Light interception by an isolated plant: a simple model. **Annals of Botany**, v.37, p.919-928, 1973.
- CHARLES-EDWARDS, D.A.; THORPE, M.R. Interception of diffuse and direct-beam radiation by a hedgerow apple orchard. **Annals of Botany**, v. 40, p.603-613, 1976.
- GREEN, S.R. Radiation balance, transpiration and photosynthesis of an isolated tree. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.64, p.201-221, 1993.
- GREEN, S.R.; MCNAUGHTON, K.G.; GREER, D.H.; MACLEOD, D.J. Measurement of the increased PAR and net all-wave radiation absorption by an apple tree caused by applying a reflective ground covering. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.76, p.163-183, 1995.
- GREEN, S.R.; MCNAUGHTON, K.G. Modelling effective stomatal resistance for calculating transpiration from an apple tree. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.83, p.1-26, 1997.
- LANDSBERG, J.J.; BEADLE, C.L.; BISCOE, P.V.; et al. Diurnal energy, water and CO<sub>2</sub> exchanges in an apple (*Malus Pumila*) orchard. **Journal of Applied Ecology**, v.12, p.659-683, 1975.
- McNAUGHTON, K.G.; GREEN, S.R.; BLACK, T.A.; TYNAN, B.R.; EDWARDS, W.R.N. Direct measurement of net radiation and photosynthetically active radiation absorbed by a single tree. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 62, p. 87-107, 1992.
- THORPE, M.R. Net radiation and transpiration of apple trees in rows. **Agricultural Meteorology**, v.19, p.41-57, 1978.