

# SALDO DE RADIAÇÃO DE RENQUE DE LIMA ÁCIDA E SUA RELAÇÃO COM RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL E SALDO DE RADIAÇÃO DE GRAMADO

JONES SIMON<sup>1</sup>, LUIZ ROBERTO ANGELOCCI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 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](mailto:jsimon@esalq.usp.br)

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

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

**RESUMO:** A energia radiante absorvida por uma planta é o principal determinante de sua transpiração e taxa fotossintética. Vários estudos têm sido realizados sobre a interceptação de radiação solar pelas plantas, poucos voltados à dosséis descontínuos. Foi utilizado um sistema móvel com 12 saldo-radiômetros deslocando-se sobre um trilho de 16m lineares de um renque de lima ácida “Tahiti” em pomar localizado em Piracicaba, SP, integrando-se temporal e espacialmente o saldo de radiação da copa ( $Rn_{\text{pomar}}$ ), que foi relacionado com o  $Rn$  sobre um gramado e com a radiação solar global ao longo do dia. A frequência de coleta de dados foi de 1 Hz, com médias armazenadas a cada 15min e dividindo-se  $Rn_{\text{pomar}}$  pela área projetada (AP) da copa sobre o solo, para comparação. A curva de  $Rn$  integrado diário, mostra valores de pico de  $60\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot 15\text{min}^{-1}$ , que integralizando chega a  $1.475,2\text{MJ}\cdot\text{dia}^{-1}$  para o trecho de renque amostrado. As relações obtidas foram  $Rn_{\text{pomar}}/AP = 0,6759Rn_{\text{grama}} + 0,0517$  ( $R^2 = 0,67$ ) e entre  $Rn_{\text{pomar}}/AP$  e  $Rg$  igual  $0,5267Rg + 0,0202$  ( $R^2 = 0,68$ ).

**PALAVRAS-CHAVE:** saldo de radiação, pomar, balanço de energia

## RELATIONS OF NET RADIATION OF LIME ACID HEDGEROW WITH GRASS NET RADIATION AND GLOBAL SOLAR RADIATION

**ABSTRACT:** The radiant energy absorbed by a plant is the main determinant of its transpiration and photosynthetic rates. Although several studies have been carried out on the interception of solar radiation by canopies, few of them are concerned with hedgerow canopies. A movable system using with 12 net radiometers along of 16m of a hedgerow of acid lime “Tahiti” located in Piracicaba, SP, Brazil allowed the spatial and temporal integration of the all-wave radiation absorbed by the canopy  $Rn_{\text{pomar}}$ , which was related to the grass net radiation ( $Rn_{\text{grama}}$ ) and the global solar radiation ( $Rg$ ) through the day. Data were collected by a datalogger with a frequency of 1 Hz, with mean values registered every 15min periods, by normalizing data by the projected area AP of the canopy on the ground ( $Rn_{\text{pomar}}/AP$ ). Values of  $Rn$  integrated for 16 m of hedgerow attained  $60\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot 15\text{min}^{-1}$  and integration over the day arrived to 1475,2 MJ in the day. The relations found were  $Rn_{\text{pomar}}/AP = 0,6759Rn_{\text{grama}} + 0,0517$  with  $R^2 = 0,67$  and  $Rn_{\text{pomar}}/AP = 0,5267Rg + 0,0202$  with  $R^2 = 0,68$ .

**KEYWORDS:** net radiation, canopy, energy balance

**INTRODUÇÃO:** A energia radiante absorvida por uma planta é o principal determinante das taxas de transpiração e fotossintética. Para dosséis com distribuição homogênea ou contínua da vegetação, tem-se usado a geometria planar de medida, com sensores de radiação posicionados acima da cobertura vegetal (FONTANA et al., 1991). Em dosséis heterogêneos, com distribuição descontínua da vegetação de interesse agrícola, como pomares, muitas vezes é de interesse determinar a interceptação da radiação solar ou mesmo o saldo de radiação da copa das árvores, sendo essas “isoladas” ou em associação formando renques. Estudos desse último tipo são escassos, devido à dificuldade de determinação direta e as complexas interações da radiação com o solo, atmosfera e vegetação vizinha e, também, pelo fato do saldo de radiação ( $R_n$ ) depender de fatores como a geometria da copa e de plantio (espaçamento, direção das linhas), e da densidade de folhagem. Técnicas de medida de  $R_n$  tem sido usadas para árvores “isoladas” (McNAUGHTON et. al, 1992) ou em renques (ANGELOCCI et. al, 2008), com emprego de sistemas móveis com sensores que fazem a varredura da copa. Outra possibilidade é o uso de modelagem da interceptação de radiação (CAMPBELL, 1986; RIOU et. al, 1989; MARIN, 2003; GREEN et. al, 2003), sendo que em certos casos a validação dos modelos tem sido feita com os dados de medidas por técnica de varredura. Outro tipo de estudo é o estabelecimento de relações de  $R_n$  da copa com a irradiância solar global ( $R_g$ ) ou com o saldo de radiação ( $R_{n_{grama}}$ ) de gramado (ANGELOCCI et. al, 1999, PEREIRA et. al, 2001, PILAU et. al, 2007), que foi objeto deste trabalho ao analisar as relações de  $R_n$  de um trecho de renque de pomar de lima ácida com  $R_g$  e  $R_{n_{grama}}$ .

**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, espaçamento de 8,0m x 4,0m e altura média de plantas 4,5m, com linhas de plantio aproximadamente no sentido SE-NW. O sistema de medidas foi adaptado do equipamento descrito por PILAU (2005) e ANGELOCCI et al. (2008) usado em cultura de cafeeiro. É composto basicamente de dois módulos: um trilho para o deslocamento sobre a linha de plantio e um arco contendo saldo-radiômetros, com base fixada 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.

Em resumo, o sistema funciona com o deslocamento do arco com os sensores sobre trilhos, proporcionado por um sistema de engrenagens duplas com duas correias metálicas,

tracionadas por um redutor acoplado a um motor elétrico de 1HP. 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, para formar uma geometria cilíndrica de amostragem. O trajeto percorrido e utilizado para as medidas foi de 16,0m lineares (4 plantas). A inversão do movimento ocorria automaticamente quando o arco atingia uma das extremidades do trilho e foi proporcionada de forma mecânica, seguindo modelo utilizado para no cafezal acima citado, diferenciando-se deste pelo tamanho do arco (raio de 3,0m) e por modificações realizadas no ponto de engate, que no presente caso está situado no centro da base do arco de deslocamento, e pelo uso de duas correias de tração. O Rn integrado espacial e temporalmente pelas copas ( $Rn_{pomar}$ ) foi obtido a partir das medidas 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 calculado pela seguinte equação (1):

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

em que:  $Rn_i$  é a medida de saldo de radiação de cada um dos 12 saldo-radiômetros,  $d_h$  é a distância horizontal percorrida pelo sistema (16,0m) e,  $R$  é o raio da base do cilindro sensor, igual a 3,0m. A escolha do local para a instalação do equipamento levou em consideração a homogeneidade de plantas, a distribuição dos tratamentos de irrigação e uma bordadura suficiente para diminuir a influência da radiação direta incidente sobre os sensores em condições de ângulo solar baixo, próximo aos crepúsculos. Com os saldos radiômetros devidamente nivelados e alinhados e com o sistema funcionando durante o período diurno, realizou-se medidas com frequência de aquisição de 1 Hz e médias integradas a cada 15 minutos e armazenadas em dois sistemas de aquisição de dados Campbell, modelos CR1000 e CR10, que se movem solidários com o sistema de amostragem. Os dados de saldo de radiação do gramado ( $Rn_{grama}$ ) e de radiação solar global ( $Rg$ ) foram obtidos junto ao posto agrometeorológico da ESALQ, localizado dentro do “Campus Luiz de Queiroz”. Foram realizadas análises de regressão entre os valores de  $Rn_{pomar}$ ,  $Rn_{grama}$  e  $Rg$  e obtendo-se as suas relações.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A variação temporal de Rn para os sensores que compõem o sistema de medidas observada em um dia de céu limpo e com valores de radiação elevados, juntamente com o curso diário, para a mesma data, de  $Rn_{grama}$  pode ser observada na Figura 2a. Nota-se que o  $Rn_{grama}$  segue a tendência dos sensores 6 e 7, basicamente um valor médio entre eles (Figura 2a). Esses são os dois radiômetros mais elevados do sistema, os quais ficam distanciados igualmente do epicentro superior do arco de medidas. Esse comportamento também foi observado por PILAU (2005). Para esta orientação de plantio, observou-se que não houve uma diferenciação acentuada na resposta dos sensores no período de manhã e tarde, a não ser apenas naqueles que ficam na metade superior do arco em favor daqueles da metade inferior, que apresentaram medidas de Rn negativos durante a maior parte do dia. Isso ocorre devido ao posicionamento dos sensores que são opostos aos seus pares superiores e também devido a pouca influência do balanço de ondas longas (BOL) comparado ao balanço de ondas curtas (BOC), o qual devido ao porte, área foliar e espaçamento entre linhas das plantas praticamente se equivale ao primeiro, permanecendo nesses sensores, valores muito baixos e negativos. A curva de variação do Rn integrado para um dia de medidas e para um comprimento de renque de 16m lineares é apresentada na Figura 2b. A curva mostra picos de Rn de aproximadamente  $60MJ.15min^{-1}$  e valor diário integrado de  $1475,2MJ.16m^{-1}.dia^{-1}$ . Esse valor é equivalente a uma transpiração de 6,38mm, muito próximo do valor de gramado, que foi de 6,55mm para este dia. As relações entre  $Rn_{pomar}/AP$

e  $Rn_{grama}$  e  $Rg$  (Figura 2c e 2d) foram realizadas para períodos de 15min. Na comparação entre  $Rn_{pomar}/AP$  e  $Rn_{grama}$  existe uma boa relação, com  $R^2 = 0,676$ . A dispersão elevada se deve a grande variabilidade de  $Rn$  no decorrer do dia, principalmente quando se trabalha com vários sensores dispostos em torno da copa, contra apenas um sensor utilizado para a medida de  $Rn_{grama}$ , e na posição horizontal. A relação encontrada é 32% inferior a 1, diferentemente daquela encontrada por PEREIRA et al. (2001) que encontraram valores 30% superiores a 1. O índice de área foliar (IAF) encontrado foi de 2,67, bem menor que aqueles encontrados em estudos anteriores, como os de PEREIRA et al. (2001) e ANGELOCCI et al. (2004) que foram superiores a 3,9. A mesma situação é observada quando se relaciona o  $Rn_{pomar}/AP$  com o  $Rg$ , pois os valores encontrados no presente estudo (48% inferior a 1) são bem menores que os encontrados por PEREIRA et al. (2001), 13% maior que 1. Muitos fatores influenciam estas relações, como a altura das plantas, o espaçamento, a geometria da copa e a área foliar, os quais, juntamente com a orientação do pomar, podem provocar a alteração no regime radiativo das plantas. Tais valores servem apenas para ordem de grandeza, pois o presente estudo foi realizado num cultivo em renque, diferentemente dos trabalhos acima citados, com plantas isoladas.

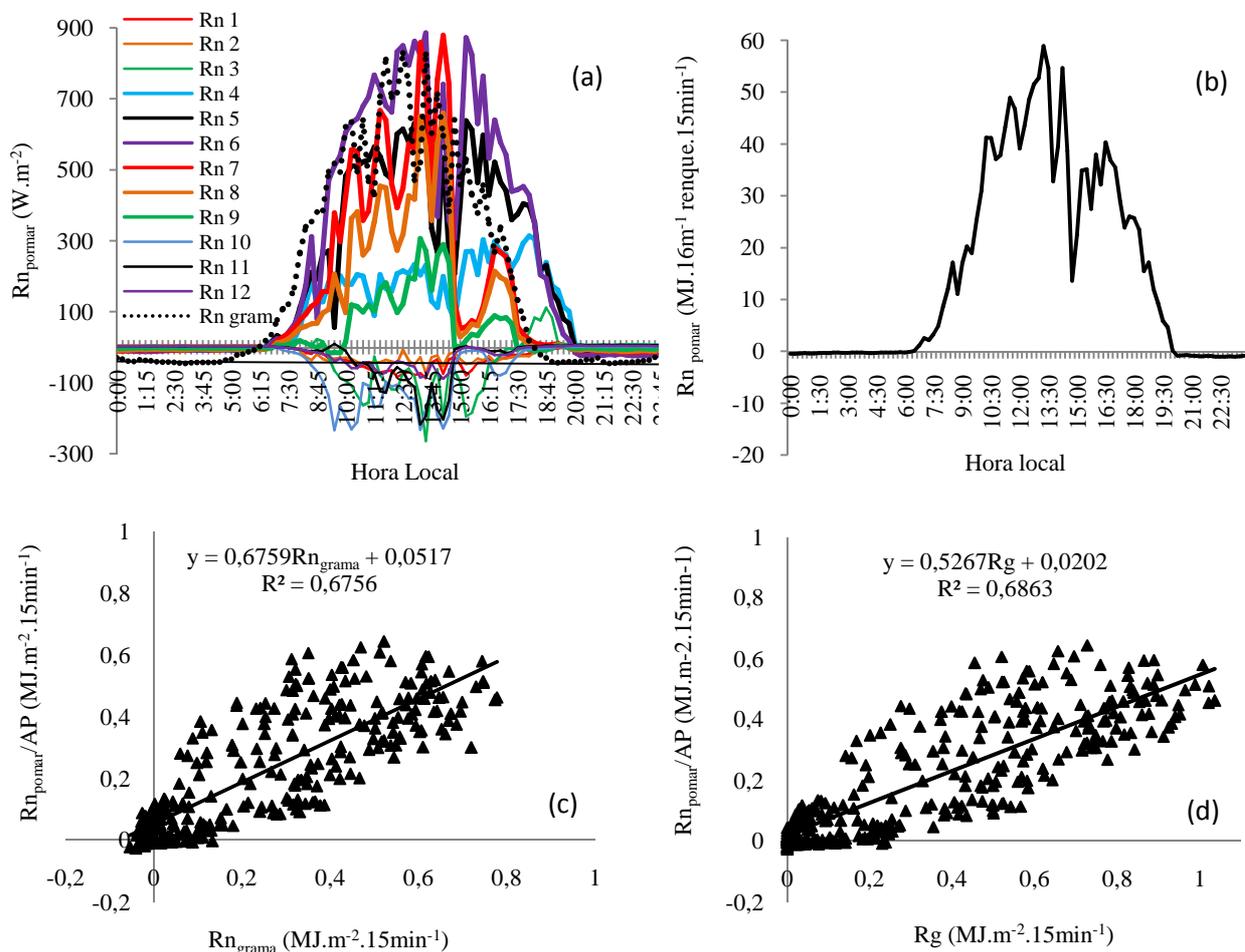


Figura 2 – Curso diário de medida do  $Rn$  para cada sensor nas diferentes posições de montagem (a); variação do  $Rn$  acumulado diário para 16,0m lineares de renque (b); relação entre os valores de  $Rn_{pomar}/AP$  e  $Rn_{grama}$  para períodos de 15min (c); e relação entre os valores de  $Rn_{pomar}/AP$  e  $Rg$  para períodos de 15min (d).

Para renques de cafeeiro, PILAU (2005) também encontrou valores menores que 1 para as relações entre o  $Rn_{cafe}$  e  $Rn_{grama}$  e  $Rg$  para períodos de 15min. Tais resultados comprovam a

necessidade de um número maior de trabalhos, avaliando as diferentes conformações de pomar, principalmente em coberturas vegetais que formam renques.

**CONCLUSÕES:** Embora a dispersão de dados tenha sido um pouco elevada para dados de 15min, espera-se que para dados diários aconteça uma menor dispersão no estabelecimento da relação. As relações obtidas servem para uso em pomares com porte elevado e com baixo índice de área foliar nas condições aqui estudadas. Um aspecto a ser estudado é a utilização de um número diferenciado de sensores, que pode modificar as relações encontradas pela modificação do esquema de amostragem.

#### **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. ; VILLA NOVA, N. A. ; Maurício A. Coelho Filho ; MARIN, F. R. . Measurements of net radiation absorbed by isolated acid lime trees (*Citrus latifolia Tanaka*). **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 79, n. 5, p. 699-703, 2004.
- 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.
- CAMPBELL, G.S. Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculated using an ellipsoidal inclination angle distribution. **Agricultural and Forest Meteorology**, 36, 317 – 321, 1986.
- FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H. Balanço de radiação da soja em região subtropical do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 3, p. 411 – 418. 1991.
- GREEN, S.; McNAUGHTON, K.; WÜNSCHE, J.N.; CLOTHIER, B. Modeling light interception and transpiration of apple tree canopies. **Agronomy Journal**, 95: 1380 – 1387. 2003.
- MARIN, F.R. **Evapotranspiração e transpiração máxima em cafezal adensado**. Piracicaba. 134p. **Tese (Doutorado)** - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 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.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; VILLA NOVA, N.A.; SENTELHAS, P.C. Estimating single tree net radiation using grass net radiation and tree leaf area. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 2, p. 187-192, 2001.
- PILAU, F.G. Saldo de radiação da copa de laranja 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.
- PILAU, F. G. ; ANGELOCCI, L. R. ; SCARPARI, J. A. . Radiation balance of an orange tree in orchard and its relation with global solar radiation and grass net radiation. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 15, p. 257-266, 2007.
- 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.