



## ESTIMATIVA DO BALANÇO DE RADIAÇÃO DA COPA DE LARANJEIRA

FELIPE GUSTAVO PILAU<sup>(1)</sup>, LUIZ ROBERTO ANGELOCCI<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto, Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. Av. Roraima nº 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, CEP 97105-900, - Santa Maria, RS. E-mail: fgpilau@smail.ufsm.br

<sup>(2)</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Aposentado, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade São Paulo. E-mail: lrangelo@esalq.usp.br

Apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 06 de Setembro de 2013 – Centro de Convenções e Eventos Benedito Silva Nunes, Universidade Federal do Pará, Belém, PA.

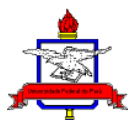
**RESUMO:** Uma laranjeira Pêra-Rio foi submetida a desfolhas, obtendo-se quatro índices de área foliar (IAF), para verificar o efeito de sua variação sobre o balanço de radiação. Para períodos de 15 minutos, os valores originários do modelo de estimativa da radiação absorvida pela copa, baseado na atenuação da radiação solar pela folhagem, apresentaram subestimativas de 3,21%, 7,16% e 9,57% em relação a medidas de um sistema de integração espaço-temporal, para valores de IAF de 4,33, de 2,13 e de 1,40, respectivamente. Valores superestimados em 13,74% foram obtidos para o IAF de 3,19. Para valores integrados no período diurno, considerando todos os IAF, resultados do modelo apresentaram superestimativa de 5,88%. O emprego de índices estatísticos mostrou que o modelo proposto apresentou desempenho ótimo, apesar das aproximações nele contidas e da sua grande simplicidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** radiação solar, área foliar, extinção exponencial da radiação

## ESTIMATING RADIATION BALANCE OF AN ORANGE TREE CANOPY

**ABSTRACT:** Four values of leaf area index (LAI) was obtained by sequential defoliating of an orange tree Pêra-Rio, in order to simulate the effect of leaf area on the radiation balance. In the daytime, estimated values from the model, based on the exponential extinction of solar energy crossing the canopy foliage, integrated over 15-min periods, underestimated the radiation balance by 3.22%, 7.18% and 9.55% for the LAI of 4.32, 2.12, and 1.40, respectively, and overestimated by 13.74% when LAI was 3.19, according to values by a system of 8 rotating net radiometers around the crown. Integrated values of canopy net radiation from 6:00 to 18:00h estimated by the model overestimated the measured data at 5.88%. Despite of its very approximate approach, which renders it very simple, it is concluded by the use of statistical parameters that the model based on the Beer's law showed good performance.

**KEYWORDS:** solar radiation, leaf area, exponential extinction of radiation.





## INTRODUÇÃO

Em estudos que envolvem a perda de água por uma cultura, o saldo de radiação da cobertura vegetal é uma variável fundamental, e sua medição direta ou estimativa são o objetivo de inúmeras pesquisas. Stanhill et al. (1965) realizaram um dos primeiros estudos do balanço de radiação de vegetação natural e agrícola, utilizando um dossel descontínuo, porém com metodologia similar à utilizada para cultivos homogêneos.

Mais recentemente houve avanços nos estudos do balanço de radiação de dosséis descontínuos, com desenvolvimento de sistemas móveis de medições (McNaughton et al., 1992; Angelocci et al., 2004).

Mas essa técnica de medida é indicada para a investigação científica, pelo custo e complexidade do sistema. Na prática, há a necessidade de modelos para estimativa, destacando aqueles embasados na extinção exponencial da radiação em função da área foliar (Annandale et al., 2004; Simon, 2010).

O trabalho tem por objetivo avaliar um modelo matemático simplificado baseado na lei de Beer, para estimar o balanço de radiação da copa de laranjeira em um pomar, comparando estimativas com mensurações.

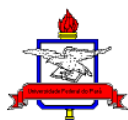
## MATERIAL E MÉTODOS

As medições do balanço de radiação e demais variáveis ambientais ocorreram entre outubro de 2004 e junho de 2005, em pomar de laranjeiras ‘Pêra Rio’, no Campus “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, em Piracicaba, SP (22°42’S, 47°30’O, 546m). O espaçamento entre árvores era de 8,0m x 4,0m, com altura média de 3,5m. As linhas de plantio tinham orientação noroeste-sudeste. A árvore escolhida para avaliação distava central na área experimental.

Assumiu-se uma geometria esférica para a copa da laranjeira, com diâmetro médio de 3,3m, dado pela média das medidas da altura e largura da copa. A área de projeção da copa na superfície horizontal (AP) era de 8,55m<sup>2</sup>. Para a determinação da área foliar (AF) da laranjeira, inicialmente foi utilizado um medidor portátil de área foliar (LAI-2000 Canopy Analyser, Li-Cor, Lincoln, NE, EUA). Com base na mensuração da AF foram realizadas três desfolhas manuais, sucessivas. A cada desfolha contava-se o número total de folhas (nf) retiradas, medindo-se o comprimento (C) e largura (L) de 100 folhas de tamanho mediano, características da copa. Tais valores médios  $\bar{C}$  e  $\bar{L}$  eram tomados como representativos da árvore. Após a retirada completa das folhas procedeu-se o cálculo da área foliar total da árvore pela equação (1), adotando-se um coeficiente de ajuste da área (f) igual a 0,7 (Coelho Filho et al., 2005). **Equação 1:**  $AF = \bar{C} \cdot \bar{L} \cdot f \cdot nf$ . Dessa forma, foram obtidas ao longo do período do experimento quatro áreas foliares diferentes.

Para medida do balanço de radiação da copa da laranjeira foi utilizado um sistema móvel de integração espaço-temporal do balanço de radiação (Pilau, 2005). A integração do balanço de radiação da laranjeira (Rnl\_med) foi dada pela soma das medidas de cada saldo-radiômetro, multiplicadas pelas respectivas áreas laterais de amostragem, conforme a **Equação 2:**

2





$Rn_{l\_med} = \sum_{i=1}^8 Rn_i \cdot Am_i$ , em que  $Rn_i$  é o saldo de radiação medido por cada saldo-radiômetro

em sua latitude de medida;  $Am_i$  é a área lateral de amostragem nessa latitude. Para coleta e armazenamento dos dados foi utilizado datalogger Campbell, modelo CR23X, medindo a cada segundo e armazenando médias de 15 minutos de cada saldo-radiômetro.

A estimativa do saldo de radiação por modelagem foi baseada na lei de Beer, estimando-se a energia radiante de onda curta absorvida pela copa da laranjeira ( $Rn_{l\_est}$ ), conforme a

**Equação 3:**  $Rn_{l\_est} = Q_g \cdot (1 - e^{-k \cdot IAF}) \cdot AP$ , onde  $Q_g$  é a radiação solar global,  $k$  o coeficiente de extinção de radiação da copa,  $IAF$  o índice de área foliar e  $AP$  a área projetada da copa da laranjeira no solo. O coeficiente de extinção ( $k$ ) foi obtido a partir de regressão não linear entre a fração de radiação solar global interceptada (FRI) pela copa da laranjeira e seu índice de área foliar (IAF). O cálculo da FRI utilizou da radiação solar global ( $Q_g$ ) e da radiação solar global incidente abaixo da copa da laranjeira ( $I$ ), medidas com piranômetros.

Na abordagem empregada no modelo, desconsideraram-se os fluxos de onda longa. A análise dos resultados foi fundamentada na relação entre os valores de  $Rn_{l\_med}$  e  $Rn_{l\_est}$ , com base nos indicadores estatísticos: coeficiente angular ( $a$ ), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), coeficiente de correlação ( $r$ ), no índice de concordância ( $d$ ) (Willmott et al., 1985) e no coeficiente de confiança ou desempenho ( $c$ ) (Camargo & Sentelhas, 1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

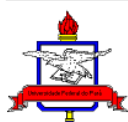
A área foliar da laranjeira inicialmente determinada com uso do medidor LAI-2000, e posteriormente confirmada com excelente aproximação pela contagem e amostragem de folhas após as desfolhas, era de  $37,0m^2$ , gerando um índice de área foliar (IAF) de 4,33, tendo como referência a AP. Com as sucessivas desfolhas manuais, o IAF foi progressivamente reduzido, para 3,20 pela remoção de 26,2% da AF, para IAF igual 2,13, quando quase 50% da AF inicial foi extraída, e finalmente um IAF de 1,40, com redução de 67,6% da área foliar total inicial.

O valor de  $k$ , obtido para as quatro diferentes áreas foliares, foi de 0,7486, próximo ao intervalo de valores de  $k$  de 0,77 e 0,89 para lima ácida Tahiti (Simon, 2010).

Na análise do desempenho do modelo, assumindo-se que, em um caso extremo, 95% da radiação solar global incidente seja extinta ao longo de sua passagem pelo dossel, verifica-se que ele se torna funcional para valores máximos de IAF ao redor de 5,5, aplicável para a laranjeira em estudo, já que o IAF inicial era de 4,33. Por fazer uso da radiação solar global, o modelo considera apenas a extinção de energia radiante de ondas curtas no período diurno. Para o período considerado de medidas e estimativas, entretanto, observam-se valores de  $Rn_{l\_est}$  positivos e no mínimo nulos, enquanto que próximo aos horários limites desse período (6:00 e 18:00 h) os valores medidos apontam para uma prevalência do balanço de ondas longas, com perdas radiativas de superfície superiores ao contrabalanço atmosférico, portanto com saldo de radiação negativo (Figura 1).

Para os demais horários do período considerado (6:00 às 18:00h), quando o balanço de ondas curtas em superfícies vegetadas é significamente superior ao balanço de ondas longas, já que

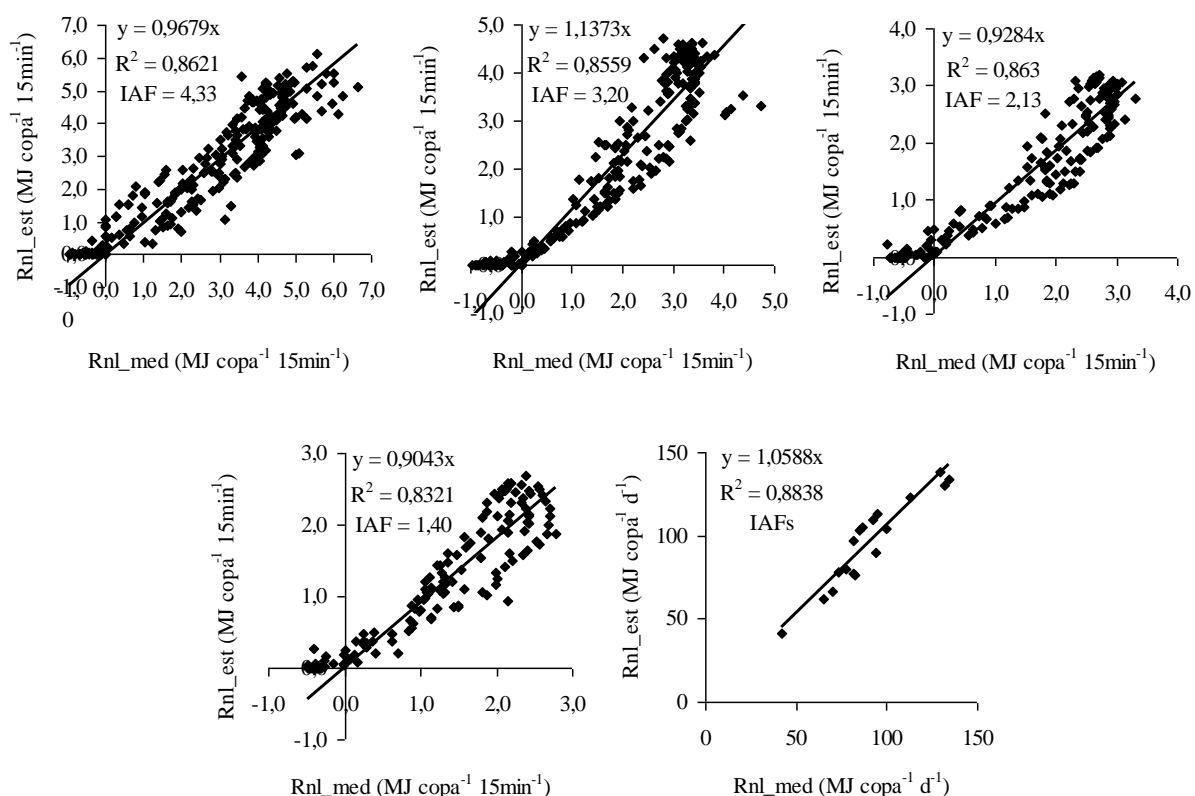
3



o montante de energia radiante de onda longa emitida pela superfície se aproxima do emitido pela atmosfera em sua direção (Souza Filho et al., 2006),  $Rn_{l\_est}$  apresentou bom ajuste aos dados medidos (Figura 1).

A partir das relações entre  $Rn_{l\_med}$  e  $Rn_{l\_est}$ , para o período diurno (6:00 às 18:00h), na escala temporal de 15 minutos, observa-se uma subestimativa de 3,21%, 7,16% e 9,57% quando os IAFs eram respectivamente de 4,33, de 2,13 e de 1,40 (Figura 1). Apenas para o IAF de 3,20 foram obtidos valores superestimados, em 13,73% (Figura 1). Os valores de  $Rn_{l\_est}$ , integrados para o período diurno (6:00 às 18:00h) superestimaram os dados medidos em 5,88%, em relação à todos os IAFs (Figura 1).

Conforme parâmetros estatísticos (Tabela 1), para a escala de 15 minutos e integração diurna, o modelo proposto apresentou desempenho ótimo segundo os critérios de Camargo & Sentelhas (1997). Para um modelo simples de transmissão e interceptação de radiação, contemplando a extinção exponencial da radiação na copa de macieiras, Jackson & Palmer (1979) observaram subestimativa de menos de 3%. Também, Simon (2010), usando um modelo embasado na lei de Beer, verificou ótima concordância dos valores estimados com os medidos, tanto para valores integrados na escala diurna como na horária, em todas as estações do ano, para cafeeiros.



**Figura 1.** Comparação da extinção da radiação solar ( $Rn_{l\_est}$ ) com as medições do balanço de radiação ( $Rn_{l\_med}$ ) da copa da laranja Pêra Rio, para valores de IAF de 4,33, 3,20, 2,13



e 1,40, para valores integrados em 15 minutos, e para todos os IAFs para valores integrados no período diurno.

**Tabela 1.** Índices estatísticos coeficientes de correlação (r), de Wilmott (d) e de Camargo & Sentelhas (c) e classificação do desempenho do modelo de estimativa do saldo de radiação baseado na lei de Beer comparado com os valores medidos, para valores integrados em 15 minutos (\*) e na escala diurna (6:00-18:00h) (\*\*).

AF (m <sup>2</sup> )	IAF	r	d	c	Desempenho
37,0*	4,33	0,937	0,964	0,902	Ótimo
27,3*	3,20	0,932	0,943	0,878	Ótimo
18,2*	2,13	0,940	0,956	0,907	Ótimo
12,0*	1,40	0,923	0,955	0,881	Ótimo
Todas**	Todos	0,940	0,956	0,898	Ótimo

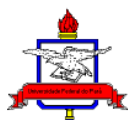
A equação proposta para estimativa do saldo de radiação da copa da laranjeira, ao considerar apenas a interceptação da radiação de ondas curtas e negligenciar o balanço de ondas longas, introduz uma primeira fonte de erro à estimativa, principalmente em momentos próximos ao nascer e pôr-do-sol (Souza Filho et al., 2006). Além disso, ressalvas pela desconsideração da geometria da copa, utilizada em modelos mais complexos pode ser outra fonte de erro (Oyarzun et al., 2007). Erros de estimativa decorrem, ao mesmo tempo, da não simetria da copa e/ou da distribuição não uniforme das folhas no volume de copa, tornando-a porosa e, por conseguinte um meio não homogêneo, além ainda de não considerar os efeitos devido à dispersão da radiação (Annandale et al., 2004).

## CONCLUSÕES

Apesar de todas essas ressalvas, o desempenho do modelo, nas escalas de integração de 15 min. e diurna, indicam a possibilidade de seu emprego na estimativa do saldo de radiação de copas de laranjeira em condições de plantio semelhantes às observadas neste experimento, com a vantagem da simplicidade que ele apresenta.

## REFERÊNCIAS

- ANGELOCCI, L.R.; VILLA NOVA, N.A.; COELHO, M.A.; MARIN, F.R. Measurements of net radiation absorbed by isolated acid lime trees (*Citrus latifolia* Tanaka). **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v.79, n.5, p.699-703, 2004.
- ANNANDALE, J.G.; JOVANOVIĆ, N.Z.; CAMPBELL, G.S.; DU SAUTOY, N.; LOBIT, P. Two-dimensional solar radiation interception model for hedgerow fruit trees. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.121, p.207–225, 2004.





- CAMARGO, A.P. de; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- COELHO FILHO, M.A.; ANGELOCCI, L.R.; VASCONCELOS, M.R.B.; COELHO, E.F. Estimativa da área foliar de plantas de lima ácida 'Tahiti' usando métodos não-destrutivos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.27, n.1, p.163-167, 2005.
- JACKSON, J.E.; PALMER, J.W. A simple model of light transmission and interception by discontinuous canopies. **Annals of Botany**, v.44, p.381-383, 1979.
- 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 plant. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.62, p.87-107, 1992.
- OYARZUN, R.A.; STÖCKLE, C.O.; WHITING, M.D. A simple approach to modeling radiation interception by fruit-tree orchards. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.142, p.2-24, 2007.
- PILAU, F.G. **Saldo de radiação da copa de laranjeira num pomar e de renques de cafeeiros: medidas e estimativas**. 2005. 92p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós Graduação em Física do Ambiente Agrícola, Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- SIMON, J. **Medições do saldo de radiação em copas de cafeeiros e limeiras ácidas por sistemas de integração espaço-temporal e estimativas por técnicas de modelagem**. 2010. 112p. Tese (Doutorado em Ciências) – Curso de Pós Graduação em Física do Ambiente Agrícola, Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- SOUZA FILHO, J.D. da C.; RIBEIRO, A.; COSTA, M.H.; COHEN, J.C.P.; ROCHA, E.J. P. da. Variação sazonal do balanço de radiação em uma floresta tropical no nordeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, p.318-330, 2006.
- STANHILL, G.; HOFSTEDE, G.J.; KALMA, J.D. Radiation balance and natural agricultural vegetation. **Quarterly Journal of Royal Meteorological Society**, v.92, p.128-140, 1965.
- WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, n.5, p.8995-9005, 1985.

