

# Relações do saldo de radiação em grama batatais e capim tanzânia com a radiação solar global em Piracicaba, SP<sup>1</sup>

Relationship of net radiation measurements over Bahia grass and Guinea grass with incoming solar radiation in Piracicaba, Sao Paulo State, Brazil

Leonardo Duarte Batista da Silva<sup>2</sup>, Marcos Vinicius Folegatti<sup>3</sup>, Nilson Augusto Villa Nova<sup>4</sup>, Daniel Fonseca de Carvalho<sup>5</sup>

**Resumo:** Diversos modelos agrometeorológicos utilizados para estimar a evapotranspiração de culturas requerem informações a respeito do saldo de radiação, o qual, em razão do custo e operacionalidade do sensor, muitas vezes não é medido diretamente. Por isso desenvolveu-se este trabalho com o objetivo de determinar as relações entre a radiação solar global e o saldo de radiação sobre superfícies vegetadas com capim tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) e com grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge). As medidas foram realizadas em Piracicaba, SP, entre maio de 2000 e junho de 2001. Equações de regressão entre saldo de radiação e a radiação solar global foram estimadas, obtendo-se para todo o período estudado a equação  $R_n = 0,5408.Q_g$  ( $R^2 = 0,84$ ), para a superfície gramada, e a equação  $R_n = 0,5284.Q_g$  ( $R^2 = 0,83$ ) para a superfície vegetada com o capim tanzânia. As relações apresentadas neste trabalho mostraram que o saldo de radiação em superfície gramada, assim como sobre o capim tanzânia, podem ser estimados satisfatoriamente a partir da radiação solar global, sendo necessário, para isso, considerar suas variações sazonais.

**Palavras-chaves:** radiação solar global, saldo de radiação, *Paspalum notatum*, *Panicum maximum*.

**Abstract:** The majority of agrometeorological methods used to estimate crop evapotranspiration requires net radiation as input. Instruments of measurements of net radiation are costly, therefore frequently it is estimated from weather variables. The objective of this study was to evaluate the relationships of net radiation over Bahia grass (*Paspalum notatum* Flugge) and Guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.) with incoming solar radiation. The measurements were carried out in Piracicaba, SP, Brazil, between May 2000 and June 2001. The regression between net radiation and global solar irradiance for these canopies were:  $R_n = 0.5408 Q_g$  ( $R^2 = 0.84$ ) for the Bahia grass, and  $R_n = 0.5284 Q_g$  ( $R^2 = 0.83$ ) for the Guinea grass. The available net radiation for the Bahia grass was lower than that for Guinea grass. The results presented in this study show that net radiation can be satisfactorily estimated from incoming solar radiation for both grasses. However, it is necessary to consider the seasonal variability of these relationships.

**Keywords:** solar radiation, net radiation, *Paspalum notatum*, *Panicum maximum*

## Introdução

A radiação solar é a fonte primária de energia, responsável por todos os processos físicos naturais, sendo a principal fonte de energia dos processos de transpiração das culturas e da evaporação da água do solo. O saldo de radiação ou radiação líquida ( $R_n$ )

sobre uma superfície vegetada é a integração de todos os fluxos radiantes de ondas curtas e longas que sobre ela incidem, sendo o elemento mais importante usado em modelos agrometeorológicos de estimativa da evapotranspiração como nos métodos de PENMAN (1948) e da razão de Bowen (TANNER, 1960; BERGAMASCHI et al., 1988).

<sup>1</sup> Trabalho extraído da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à ESALQ/USP.

<sup>2</sup> Depto. de Engenharia/Instituto de Tecnologia/UFRRJ. BR 465, km 7, Seropédica-RJ. CEP 23890-000. irriga@ufrj.br.

<sup>3</sup> Depto. de Engenharia Rural/ESALQ/USP. Piracicaba-SP. Bolsista do CNPq. mvfolega@esalq.usp.br.

<sup>4</sup> Depto. de Ciências Exatas/ESALQ/USP. Piracicaba-SP. navnova@esalq.usp.br. Bolsista do CNPq.

<sup>5</sup> Depto. de Engenharia/Instituto de Tecnologia/UFRRJ. BR 465, km 7, Seropédica-RJ. Bolsista do CNPq. carvalho@ufrj.br.

O saldo de radiação ( $R_n$ ) é fonte de energia para outros processos naturais, além da evapotranspiração, entre os quais: o aquecimento do ar (fluxo de calor sensível), o aquecimento do solo (fluxo de calor no solo), o aquecimento dos vegetais e também a fotossíntese. O saldo de radiação varia temporal e espacialmente, dependendo das características ópticas da superfície, de acordo com seu albedo, da radiação solar global e das condições de temperatura, nebulosidade e umidade do ar. Sua mensuração direta é obtida pelo saldo-radiômetro, sensor que integra os balanços de ondas curtas e longas. De acordo com LLASAT & ZINDER (1998), o sensor de saldo de radiação é talvez o mais delicado de todos os sensores utilizados em estações meteorológicas.

Devido ao alto custo do sensor e sua rápida deterioração em relação a outros equipamentos meteorológicos, esta medida é dificilmente realizada, tanto nas estações meteorológicas convencionais como nas automáticas. A estimativa da  $R_n$ , para superfícies planas, pode ser realizada a partir da associação das equações de Angström-Prezcott, para o balanço de ondas curtas, e de Brunt, para o balanço de ondas longas, sendo esse procedimento recomendado pela FAO, quando o objetivo é a estimativa da evapotranspiração de referência por Penman-Monteith, a partir de dados de estações meteorológicas convencionais (ALLEN et al., 1998; PEREIRA., 1998). Além disso, o  $R_n$  pode ser estimado a partir de outras relações empíricas, como as apresentadas por OMETTO (1968), LLOYD et al. (1988), PEREIRA et al. (1997) e SCHÖFFEL & VOLPE (2000).

A radiação solar global depende da turbidez atmosférica, da cobertura de nuvem e da topografia. Essa energia, ao atravessar a atmosfera, tem parte refletida pelas nuvens, parte espalhada pelas moléculas e partículas do ar e parte absorvida pelo vapor de água, dióxido de carbono, ozônio e compostos nitrosos. A porção absorvida aumenta a temperatura do ar e, por conseguinte aumenta a emissão de ondas longas para a superfície da terra e para o espaço. O balanço de radiação representa, em última análise, as fontes e sumidouros de energia que afetam as condições meteorológicas e o clima do planeta (SOUZA & ESCOBEDO, 1997). A radiação solar global ( $Q_g$ ) é medida nas estações meteorológicas de 1ª e 2ª classes. Segundo PEREIRA et al. (1997) a  $R_n$  pode ser expressa exclusivamente em função da radiação solar global com desvios insignificantes em relação aos outros métodos de estimativas recomendando a utilização da relação quando na ausência do saldo- radiômetro.

Comparando dados meteorológicos obtidos concomitantemente por uma estação meteorológica convencional e uma automática, SENTELHAS (1998) desenvolveu, testou e validou diversos modelos de regressão linear de estimativa do saldo de radiação a partir de diferentes elementos meteorológicos. Para dados da estação meteorológica automática, essa estimativa pode ser obtida a partir da radiação solar global, segundo a relação  $R_n = 0,574.Q_g$  ( $R^2 = 0,91$ ).

O saldo de radiação é extremamente correlacionado com a radiação solar global. SHAW (1956) relatou um coeficiente de correlação entre valores de saldo de radiação e radiação solar global para o período de luz sobre superfície gramada de aproximadamente 0,98 em dias claros e 0,97 em dias encobertos, no entanto esta correlação não pode ser aplicada para outras culturas. DECKER (1959) afirmou que o saldo de radiação aumenta com o incremento da altura da cultura da cobertura vegetal.

Existem poucos estudos sobre medidas e estimativas do saldo de radiação obtidas em superfícies cultivadas com pastagens, principalmente quando nesta atividade agrícola se utiliza a irrigação. Nos últimos anos, no Brasil, ocorreu um crescimento nas áreas de pastagens irrigadas, com conseqüente aumento de massa verde e ganho de peso para gado de corte. Com esse crescimento, tem-se uma demanda de informações técnicas no consumo diário de água no capim. A irrigação em pastagens vem sendo executada sem nenhum critério técnico, pois há escassez nas informações referentes ao consumo hídrico de pastagens, gerando problemas na produção.

Por isso, desenvolveu-se este estudo com o objetivo de determinar as relações entre o saldo de radiação e a radiação solar global sobre superfícies vegetadas com capim tânzania (*Panicum maximum* Jacq.) e com grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge).

## Material e Métodos

O trabalho foi conduzido na área experimental de irrigação do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", ESALQ/USP, situada na fazenda Areão, no município de Piracicaba, SP. O local apresenta como coordenadas geográficas  $22^{\circ} 42' 30''$  de latitude Sul,  $47^{\circ} 30' 00''$  de longitude Oeste; e aproximadamente 576 metros de altitude. O solo possui uma declividade aproximada de 2%, e é classificado como argissolo vermelho (EMBRAPA, 1999), com horizonte A de textura argilosa (média de 45% de argila) e profundidade média de 0,30 m.

O clima de Piracicaba é Cwa, ou seja, clima temperado quente conforme a classificação de Koeppen, com verão chuvoso e inverno seco, sendo 1250 mm a precipitação média anual. As temperaturas médias mensais variam de 24,8 °C no verão a 17,1 °C no inverno, com média anual de 21,4 °C.

O presente trabalho foi realizado no período de 10 de maio de 2000 a 09 de junho de 2001, totalizando 396 dias de coleta de dados. Foram obtidos dados de radiação solar global (Qg) e saldo de radiação no posto agrometeorológico, cultivado com grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge), na área experimental do Departamento de Engenharia Rural. O saldo de radiação foi obtida em uma superfície cultivada com capim tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.). O capim tanzânia foi instalado em uma área de 63.000 m<sup>2</sup>, distante 200 metros do posto agrometeorológico.

As medidas de radiação solar global foram obtidas por meio de um piranômetro, LICOR modelo LI-200X, e o saldo de radiação por meio de saldo radiômetros REBS modelo Q-7.1, posicionados a um metro de altura acima das superfícies vegetadas. Estas medidas foram coletadas e armazenadas por sistemas de aquisição de dados da Campbell Scientific modelo 21X. A varredura dos sensores foi realizada a cada segundo e as médias armazenadas a cada vinte minutos.

A área do posto agrometeorológico foi irrigada por um sistema de aspersão convencional, de modo que a umidade do solo se mantivesse próximo da capacidade de campo. A área cultivada com capim tanzânia foi irrigada por um sistema de aspersão tipo pivô-central. A irrigação foi realizada com um turno de rega mínimo de seis dias, sendo que o volume de água aplicado foi determinado pela diferença entre as leituras de evapotranspiração obtidas por um lisímetro de pesagem cultivado com capim tanzânia e a precipitação ocorrida no período. A precipitação foi obtida por meio de um pluviógrafo instalado no posto agrometeorológico.

A área cultivada com capim tanzânia foi dividida em trinta e seis parcelas e pastejada por gado da raça Nelore, sendo que o gado permanecia um dia em cada parcela, perfazendo um ciclo de 36 dias entre pastejos (SILVA 2003).

O pastejo resultava em uma cobertura residual de 0,40 m de altura. As mensurações da radiação solar global (Qg), saldo de radiação sobre superfície cultivada com grama batatais (Rn grama) e saldo de radiação sobre superfície cultivada com capim tanzânia (Rn capim) foram realizadas durante 11 ciclos de trinta e seis dias, totalizando 396 dias de coleta de dados. Esta divisão em ciclos teve a finalidade de caracterizar os intervalos entre pastejos. Na área cultivada com capim, na qual foi instalada o saldo radiômetro, o capim era cortado, a cada trinta e seis dias, a fim de simular o pastejo.

Com os dados de radiação solar global e saldo de radiação da grama e do capim tanzânia foram ajustadas equações de regressão lineares simples e, os valores de Rn estimados foram obtidos e correlacionados com os valores medidos conforme metodologia apresentada por SENTELHAS & NASCIMENTO (2001), sendo as equações de regressão:

$$Rn = b \cdot Qg \quad (1)$$

em que:

Rn = saldo de radiação, em MJ.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>;

b = coeficiente angular da reta obtida por meio da regressão linear simples; e

Qg = radiação solar global, em MJ.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>.

A avaliação das equações geradas foi realizada por meio do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), do erro padrão de estimativa (SEE), índice de concordância (d) e índice de desempenho (c), definido pelo produto entre o coeficiente de correlação (r) e o índice de concordância (d). O erro padrão da estimativa (SEE) foi calculado pela expressão:

$$SEE = \left( \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n - 1} \right)^{1/2} \quad (2)$$

em que:

SEE = erro padrão da estimativa, em MJ.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>;

y = Rn medida, em MJ.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>;

$\hat{y}$  = Rn estimada pelo modelo de regressão, em MJ.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>; e

n = número de observações.

## Resultados e Discussão

A Figura 1 apresenta as curvas de variação da radiação solar global e saldo de radiação para as superfícies vegetadas por grama e capim tanzânia, respectivamente, para os ciclos 8 (Figura 1a) e 11 (Figura 1b).

O ciclo 8 representa o período de verão (17/01/2001 a 21/02/2001) e o ciclo 11, uma condição de inverno (05/05/2001 a 09/06/2001). É possível constatar uma menor radiação solar no período de inverno, com a máxima  $Q_g$  atingindo  $18,45 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , no dia 06 de maio (Figura 1b). Para o período de verão,  $Q_g$  atingiu  $27,10 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  no dia 19 de janeiro (Figura 1a). Percebe-se ainda na Figura 1, que o saldo de radiação obedeceu a mesma proporção das medidas nas duas superfícies estudadas acompanhando as variações sazonais da radiação da global. Outra característica observada na Figura 1 diz respeito às amplitudes de variação da  $Q_g$  em relação à  $R_n$ , para as duas superfícies estudadas, ou seja, no período de verão (ciclo 8 - Figura 1a), em virtude da maior ocorrência de chuva, foi

observada uma maior variação entre  $Q_g$  e  $R_n$ , fato não observado com tanta magnitude no período de inverno (ciclo 11 - Figura 1b). Nos ciclos correspondentes à estação seca (ciclos 1, 2, 3, 4, 10 e 11) ocorreram chuvas que corresponderam a apenas 26,14% das precipitações registradas no período entre os ciclos 5 e 9 (período chuvoso).

Na Figura 2 são apresentadas as relações entre  $Q_g$  e  $R_n$  sobre as superfícies cultivadas com capim tanzânia (Figura 2a) e com grama (Figura 2b), levando-se em consideração todo o período de análise. Percebe-se uma dispersão semelhante dos dados para as duas superfícies, que apresentam coeficientes angulares semelhantes, ou seja, 0,53 para o capim e 0,54 para a grama.

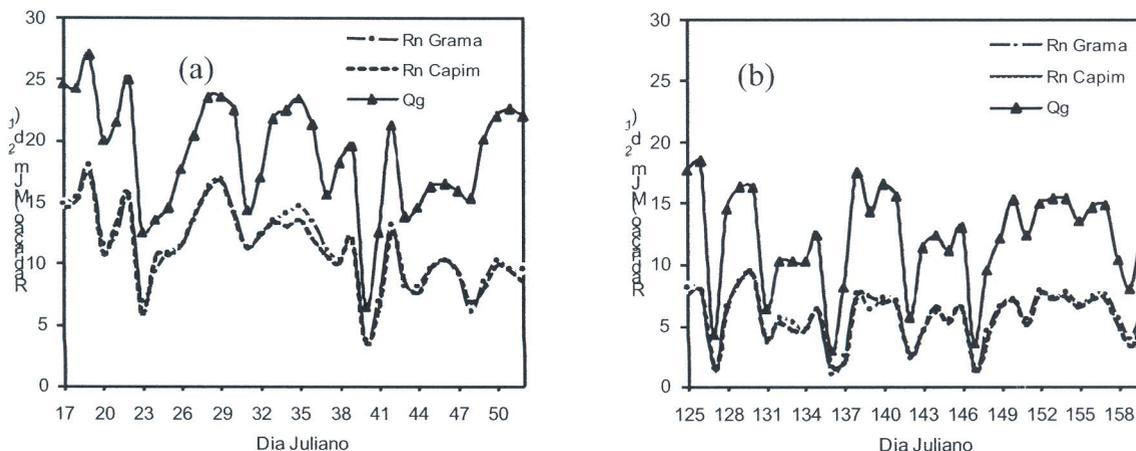


Figura 1. Variação de radiação solar global ( $Q_g$ ), saldo de radiação para superfície cultivada com capim tanzânia e grama, para o período de 17/01 a 21/02/ 2001 (a) e para o período de 05/05 a 09/06/2001 (b), Piracicaba, SP.

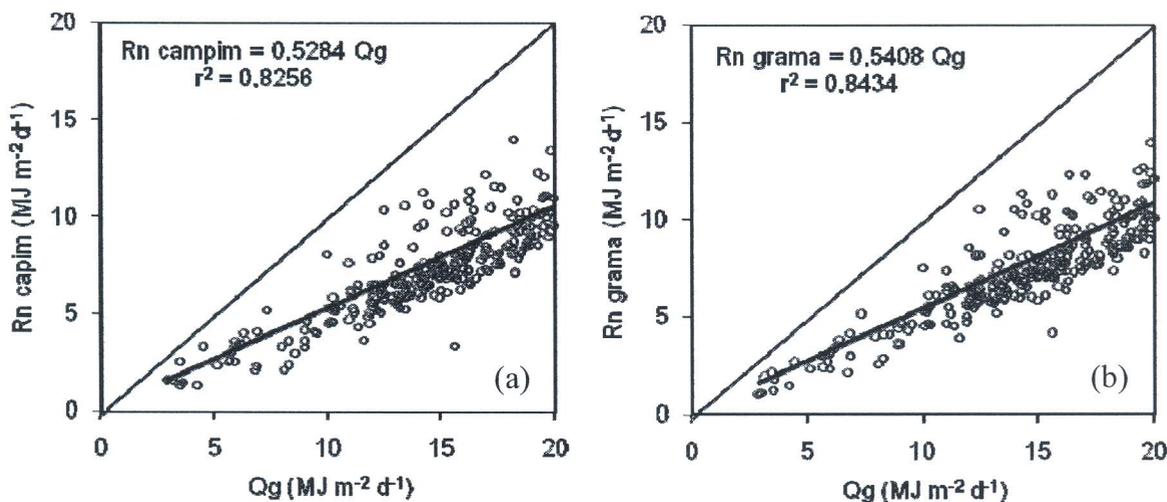
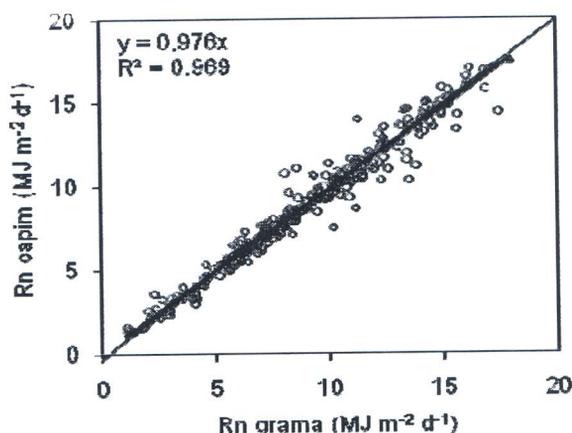


Figura 2. Relação entre o saldo de radiação obtida sobre o capim tanzânia ( $R_n$  capim) e a radiação solar global ( $Q_g$ ) (a), e relação entre o saldo de radiação obtida sobre a grama ( $R_n$  grama) e radiação solar global ( $Q_g$ ), para o período de 10 de maio de 2000 a 09 de junho de 2001 (b), em Piracicaba, SP.



**Figura 3.** Relação entre o saldo de radiação obtido sobre o capim tanzânia ( $Rn_{\text{capim}}$ ) e o saldo de radiação obtido sobre a grama ( $Rn_{\text{grama}}$ ), para o período de 10 de maio de 2000 a 09 de junho de 2001, em Piracicaba, SP.

**Tabela 1.** Parâmetros estatísticos calculados para as equações de regressão linear utilizadas na estimativa do saldo de radiação sobre superfície cultivada com capim tanzânia e superfície gramada, em função da radiação solar global para Piracicaba, SP.

Ciclo	Período	Coefficiente angular (b)	SEE ( $MJ m^{-2} d^{-1}$ )	r	D	c	Desempenho
<b>Capim</b>							
1	10/05/00 - 14/06/00	0,4633	0,4426	0,92	0,96	0,87	Ótimo
2	15/06/00 - 20/07/00	0,4544	0,6910	0,89	0,94	0,83	Muito bom
3	21/07/00 - 25/08/00	0,4705	0,5999	0,95	0,97	0,92	Ótimo
4	26/08/00 - 30/09/00	0,4846	0,7735	0,95	0,98	0,93	Ótimo
5	01/10/00 - 05/11/00	0,5407	1,4860	0,90	0,94	0,84	Muito bom
6	06/11/00 - 11/12/00	0,5916	1,2257	0,95	0,97	0,93	Ótimo
7	12/12/00 - 16/01/01	0,5853	1,3474	0,91	0,95	0,86	Ótimo
8	17/01/01 - 21/02/01	0,5895	1,8624	0,81	0,89	0,3	Ótimo
9	22/02/01 - 29/03/01	0,5076	1,3718	0,78	0,88	0,69	Ótimo
10	30/03/01 - 04/05/01	0,4816	0,6608	0,91	0,95	0,87	Ótimo
11	05/0/01 - 09/06/01	0,4669	0,6795	0,95	0,97	0,92	Ótimo
<b>1-11</b>	<b>10/05/00 - 09/06/01</b>	<b>0,5284</b>	<b>1,4222</b>	<b>0,92</b>	<b>0,95</b>	<b>0,87</b>	<b>Ótimo</b>
<b>Grama</b>							
1	10/05/00 - 14/06/00	0,4787	0,5282	0,88	0,94	0,83	Muito bom
2	15/06/00 - 20/07/00	0,4654	0,6334	0,90	0,95	0,86	
3	21/07/00 - 25/08/00	0,4853	0,5266	0,96	0,98	0,94	
4	26/08/00 - 30/09/00	0,4987	0,7631	0,96	0,98	0,93	Ótimo
5	01/10/00 - 05/11/00	0,5523	1,3159	0,91	0,95	0,86	
6	06/11/00 - 11/12/00	0,6064	1,0461	0,96	0,98	0,95	
7	12/12/00 - 16/01/01	0,6062	1,2326	0,93	0,96	0,89	
8	17/01/01 - 21/02/01	0,6028	1,7247	0,84	0,91	0,77	
9	22/02/01 - 29/03/01	0,5132	1,2528	0,83	0,91	0,76	Muito bom
10	30/03/01 - 04/05/01	0,4806	0,7022	0,89	0,94	0,84	
11	05/0/01 - 09/06/01	0,4807	0,5890	0,96	0,98	0,94	Ótimo
<b>1-11</b>	<b>10/05/00 - 09/06/01</b>	<b>0,5408</b>	<b>1,3902</b>	<b>0,92</b>	<b>0,95</b>	<b>0,88</b>	<b>Ótimo</b>
<b>Rn capim x Rn grama</b>							
1	10/05/00 - 14/06/00	0,9661	0,3055	0,96	0,98	0,94	
2	15/06/00 - 20/07/00	0,9772	0,2156	0,99	0,99	0,98	
3	21/07/00 - 25/08/00	0,9698	0,2819	0,99	0,99	0,98	
4	26/08/00 - 30/09/00	0,9718	0,2391	0,99	0,99	0,99	
5	01/10/00 - 05/11/00	0,9794	0,6580	0,98	0,99	0,97	Ótimo
6	06/11/00 - 11/12/00	0,9753	0,7384	0,98	0,99	0,97	
7	12/12/00 - 16/01/01	0,9638	0,9901	0,93	0,97	0,90	
8	17/01/01 - 21/02/01	0,9790	0,5646	0,98	0,99	0,98	
9	22/02/01 - 29/03/01	0,9882	0,7224	0,95	0,97	0,92	
10	30/03/01 - 04/05/01	0,9990	0,8874	0,84	0,91	0,77	Muito bom
11	05/0/01 - 09/06/01	0,9712	0,3781	0,98	0,99	0,98	Ótimo
<b>1-11</b>	<b>10/05/00 - 09/06/01</b>	<b>0,9765</b>	<b>0,6027</b>	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>	<b>0,98</b>	<b>Ótimo</b>

Os coeficientes angulares da regressão linear e demais parâmetros estatísticos calculados para cada ciclo, assim como para o período completo de observação são apresentados na Tabela 1.

Nota-se pelos dados da Tabela 1, que os valores de  $R_n$  nas duas superfícies foram semelhantes no período analisado. Percebe-se também que os parâmetros de desempenho na avaliação dos modelos apresentados indicam haver uma relação linear adequada entre os dois tipos de radiação para as duas superfícies estudadas.

O coeficiente angular da relação  $R_n$  capim/ $Q_g$  apresentou o menor valor no ciclo 1 (0,4633) e o maior no ciclo 6 (0,5916). De acordo com observações feitas durante o experimento (medição do índice de área foliar), foi possível verificar que o período de maior crescimento do capim ocorreu entre os ciclos 5 e 9, e a relação média neste período foi 0,5629, enquanto que no período de menor crescimento do capim, entre os ciclos 1 e 4, e ainda nos ciclos 10 e 11, essa relação cai para 0,4702, o que está relacionado ao maior coeficiente de reflexão da superfície com capim tanzânia, proporcionado pela variação da lâmina precipitada no período e menor cobertura do terreno. Para a superfície gramada, o menor coeficiente angular foi obtido para o ciclo 2 (0,4654) e o maior para o ciclo 6 (0,6064).

A variação sazonal entre o saldo de radiação e a radiação global para as duas superfícies esta próxima a encontrada por outros autores. SENTELHAS & NASCIMENTO (2003), estudando a relação entre o saldo de radiação sobre a grama e a radiação solar global, em Piracicaba, SP, obtiveram valor máximo de 0,595 para o mês de fevereiro e valor mínimo 0,473 para o mês de maio. Segundo esses autores, variáveis como nebulosidade e umidade do ar associados ao regime de chuvas interferem no balanço de ondas, promovendo redução da perda de radiação na faixa de infravermelho termal, resultando maior saldo de radiação diário, aumentando a relação de  $R_n/Q_g$ . O efeito da sazonalidade encontrada nesse trabalho está associado ao fato de que as gramíneas são susceptíveis ao efeito de dormência fisiológica proveniente de baixas temperaturas. Tal sazonalidade também foi constatada por PEZZOPANE et al. (2005), em cultivos de café a pleno sol e consorciado com banana Prata Anã. Ao contrário de MARIN et al. (2001), que, ao estimaram a relação entre  $R_n$  da lima ácida "Tahiti" e a  $Q_g$ , não verificaram o efeito da sazonalidade.

## Conclusões

O estabelecimento das relações apresentadas neste trabalho mostra que o saldo de radiação em superfície gramada e sobre o capim tanzânia, pode ser estimado satisfatoriamente a partir da radiação solar global na região de Piracicaba, com a necessidade de se considerar suas variações sazonais.

## Referências Bibliográficas

- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., **Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Roma, 1998.
- BERGAMASCHI, H.; OMETTO, J.C.; VIEIRA, H.J. Deficiência hídrica em feijoeiro, II Balanço de energia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 745-757, 1988.
- DECKER, W.L. Variations in the net exchange of radiation from vegetative of different heights. **Journal of Geophysical Research**. v. 64, p. 1617-1619, 1959.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 1999. 412p.
- LLOYD, C.R., GASH, J.H.C., SHUTTLEWORTH, W.J., The measurement and modelling of rainfall interception by Amazonian rain forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 43, p. 277-294, 1988.
- LLASAT, M.C.; ZINDER, R. L. Data error effects on net radiation and Evapotranspiration estimation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam v. 91, p. 209-221, 1998.
- MARIN. Relação entre o saldo de radiação de pomar de lima ácida "Tahiti", saldo de radiação de gramado e radiação solar global. **Revista Argentina de Agrometeorologia**, Rio Cuarto, Argentina v. 1, p. 59-62, 2001.
- OMETTO, J.C. **Estudo das relações entre radiação solar global, saldo de radiação e insolação**. Piracicaba, SP, 1968. 64p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1968.

PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society of London**, Serie A, v. 193, p. 120-45, 1948.

PEREIRA, A.R. **Introdução à Micrometeorologia**. Piracicaba, SP, ESALQ, Departamento de Física e Meteorologia. 1998. 70p.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba, SP: FEALQ, 1997. 183p.

PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; GALLO, P.B. Radiação solar e saldo de radiação em cultivo de café a pleno sol e consorciado com banana 'Prata Anã'. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 3, p. 487-499, 2005.

SCHÖFFEL, E.R., VOLPE, C.A. Parâmetros para a estimativa do saldo de radiação em superfície gramada em Jaboticabal, SP. In: Reunión Argentina de Agrometeorología, 8, 2000, Mendoza, Argentina. CDROM. Mendoza, 2000.

SENTELHAS, P. C. **Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática**. Piracicaba, 1998. 97p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1998.

SENTELHAS, P. C.; NASCIMENTO, A.L.C. Variação sazonal da relação entre o saldo de radiação e a radiação solar global. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 71-77, 2003.

SILVA, L.D.B. **Evapotranspiração do capim tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) e grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge) utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem**. Piracicaba, 2003. 93p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2003.

SHAW, R.H. A comparison of solar radiation and net radiation. **Bulletim of the American Meteorological Society**, Boston, v. 37, p. 205-206, 1956.

SOUZA, J. L.; ESCOBEDO, J. F. Balanço de radiação em cultivos de feijão-vagem com e sem cobertura de polietileno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 1-15, 1997.

TANNER, C.B. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. **Soil Science Society of America. Proceedings**, Madison, v. 24, n. 1, p. 1-9, 1960.