



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

## **Estimativa do saldo de radiação de onda longa pela razão de radiação e implicações na evapotranspiração**



*Astor Henrique Niedl<sup>1</sup>; Arno Bernardo Heldwein<sup>2</sup>; Genei Antonio Dalmago<sup>3</sup>; Gilberto Rocca da Cunha<sup>4</sup>; Homero Bergamaschi<sup>5</sup>; Luis Henrique Loose<sup>6</sup>*

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo, Dr., Professor, UNEMAT, Fone: (65) 3311-4922, e-mail: astornied@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Eng. Agrônomo, Dr., Professor, UFSM, e-mail: heldwein@ccr.ufsm.br

<sup>3</sup>Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, Embrapa Trigo, bolsista PQ2, CNPq, e-mail: genei.dalmago@embrapa.br

<sup>4</sup>Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, Embrapa Trigo, e-mail: gilberto.cunha@embrapa.br

<sup>5</sup>Eng. Agrônomo, Dr., Professor, UFRGS, e-mail: homerobe@ufrgs.br

<sup>6</sup>Eng. Agrônomo, Me., Doutorando, UFSM, e-mail: luisloose@yahoo.com.br

**RESUMO:** O trabalho objetivou avaliar métodos para substituir o uso da insolação no cálculo do saldo de radiação de onda longa (Rnl), segundo a equação Brunt-Penman, e suas implicações na estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) para Passo Fundo e Santa Maria. Pelas diferenças na altitude, foram utilizados dados meteorológicos diários de estações automáticas e convencionais de Santa Maria e Passo Fundo do Estado do Rio Grande do Sul de 2008 a 2011. Os métodos para a ponderação do termo da nebulosidade ( $0,1 + 0,9n/N$ ) de Brunt-Penman (padrão) usando os dados da radiação global (R<sub>g</sub>) medida na estação automática e da radiação no topo da atmosfera (R<sub>a</sub>) foram: S1 - uso de coeficientes da literatura ( $1,2250 R_{K,R} - 0,2614$ ), sendo  $R_{K,R}$  a razão  $R_g / (0,75 R_a)$  para a condição de contorno ( $0,3 \leq R_{K,R} \leq 1,0$ ); S2- manutenção dos coeficientes com uso do  $R_{K,R}$  ( $0,1 + 0,9 R_{K,R}$ ); S3- manutenção dos coeficientes com uso do  $R_{K,k}$  ( $0,1 + 0,9 R_{K,k}$ ), sendo  $R_{K,k}$  a razão  $R_g / R_a$ . Foram calculados o Rnl e a ET<sub>o</sub> de Penman-Monteith para cada condição, sendo os três métodos validados para a condição padrão por análise de regressão linear simples. No cálculo do saldo de radiação de ondas longas ocorreram subestimativas de 44% a 10%, sendo maiores em S3, sem ajustes nos coeficientes, e menores em S1, com coeficientes ajustados. Independentemente do método, para Santa Maria as estimativas do Rnl foram apenas maiores em 2% em relação para Passo Fundo. Na estimativa da evapotranspiração de referência houve superestimativas de 2 a 8% nos métodos S2 e S3, respectivamente, em relação ao uso da equação de Brunt-Penman. Os resultados indicaram para o uso do ajuste do termo da nebulosidade para a razão da radiação global para Passo Fundo e Santa Maria para fins de estimativa da evapotranspiração de referência.

**PALAVRAS-CHAVE:** ajuste, balanço de radiação, insolação

### **Estimated long-wave radiation balance by radiation reason and implications for evapotranspiration**

**ABSTRACT:** The study aimed to evaluate methods to replace the use of sunshine duration in the calculation of long-wave radiation balance (Rnl), according to Brunt-Penman equation, and its implications for the estimation of reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) for Passo Fundo and Santa Maria. By differences in altitude, were used daily weather data automatic and conventional stations of Santa Maria and Passo Fundo in the State of Rio Grande do Sul from year 2008 to 2011. Methods for weighting the cloudiness term ( $0.1 + 0.9n / N$ ) from Brunt-Penman (default) using the data of global radiation (R<sub>g</sub>) measuring automatic station and in the radiation at the top of the atmosphere (R<sub>a</sub>) were: S1 - use of literature coefficients ( $1.2250 R_{K,R} - 0.2614$ ), being  $R_{K,R}$  the reason  $R_g / (0.75 R_a)$  to the boundary condition ( $0.3 \leq R_{K,R} \leq 1.0$ ); S2- maintenance of the coefficients using the  $R_{K,R}$  ( $0.1 + 0.9 R_{K,R}$ ); S3- maintenance of the coefficients using the  $R_{K,k}$  ( $0.1 + 0.9 R_{K,k}$ ) being  $R_{K,k}$  a ratio  $R_g / R_a$ . The Rnl and

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

Penman-Monteith  $E_{To}$  were calculated for each condition, and the three methods validated for the default condition for analysis of simple linear regression. In calculating the longwave radiation balance occurred underestimation of 44% to 10%, being higher in S3, without adjustments in the coefficients, and smaller in S1, with adjusted coefficients. Regardless of the method, to Santa Maria estimates of  $R_{nl}$  were only higher by 2% compared to Passo Fundo. In the estimation of reference evapotranspiration was overestimates from 2 to 8% in S2 and S3 methods, respectively, compared to the use of Brunt-Penman equation. The results indicated for adjustment at the cloudiness term for the reason of global radiation to Passo Fundo and Santa Maria for estimation purposes of reference evapotranspiration.

**KEYWORDS:** adjustment, radiation balance, sunshine duration

## INTRODUÇÃO

A medida da radiação solar global ( $R_g$ ) em estações meteorológicas automáticas tem sido possível pela disponibilidade de sensores de alta precisão. Isso dispensa a estimativa da  $R_g$  por meio da equação de Ångström-PreScott que utiliza a insolação (duração do brilho solar) como variável de entrada. Entretanto, a insolação também é uma das variáveis necessárias para a estimativa do saldo de radiação de ondas longas.

A insolação é uma variável medida em heliógrafos de estações meteorológicas convencionais. Como as estações meteorológicas automáticas não mensuram a insolação há a necessidade de uma alternativa que permita a estimativa do saldo de radiação de ondas longas. Allen et al. (1998) propuseram uma alternativa para tal situação usando a razão de radiação em substituição à razão de insolação para a ponderação do termo da nebulosidade ( $0,1 + 0,9 n N^{-1} = -0,35 + 1,35 R_g R_{SO}^{-1}$ ), sendo  $R_{SO}^{-1}$  a radiação solar de onda curta na ausência de nebulosidade.

Para as condições de Santa Maria, Righiet al. (2015) verificaram que o ajuste proposto por Allen et al. (1998), substituindo a razão de insolação pela de radiação, ocasionou uma subestimativa no saldo de radiação de ondas longas de Brunt-Penman, o que, segundo os autores sugere a necessidade de ajustes locais. Assim, Righi et al. (2015) propuseram modelos para contornar a situação, usando razões de radiação no lugar da razão de insolação na estimativa do saldo de radiação de ondas longas. O melhor ajuste ao termo de nebulosidade verificado para Santa Maria foi o que utiliza a razão de radiação.

O saldo diário de radiação de ondas longas apresenta uma magnitude de variação bem inferior ao de ondas curtas. Em milheto, foram verificadas variações no saldo de ondas longas e curtas de -1,89 a 0,54 e de 9,03 a 21,63 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente (Medeiros et al., 1992). Conforme esses dados, o saldo de radiação de ondas longas representa apenas de 2 a 20% do verificado para o de ondas curtas.

O saldo de radiação é extremamente importante para estimativa da evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ) pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998). A temperatura e umidade relativa do ar e a velocidade do vento também são necessários, porém, o saldo de radiação apresenta maior peso na estimativa da  $E_{To}$ . Dessa forma, considerando as influências locais para a ponderação do termo da nebulosidade na estimativa do saldo de radiação de ondas longas, sua influência no saldo de radiação e na estimativa da  $E_{To}$ , há a necessidade de alternativas para o aproveitamento dos dados coletados em estações meteorológicas automáticas. Assim, o trabalho objetivou avaliar métodos para substituir o uso da insolação no cálculo do saldo de radiação de onda longa ( $R_{nl}$ ), segundo a equação Brunt-Penman, e suas implicações na estimativa da evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ) para Passo Fundo e Santa Maria, no Rio Grande do Sul.

## MATERIAL E MÉTODO

Os dados utilizados foram coletados nas estações meteorológicas automáticas e convencionais da rede do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET situadas em Santa Maria (29°43'23"S; 53°43'15"W; 95 m de altitude) e Passo Fundo (28°15'43"S; 52°24'24"W; 684 m de altitude) no Rio Grande do Sul-Brasil. Os dados utilizados foram diários de janeiro de 2008 a dezembro de 2011 para Santa Maria e de janeiro de 2009 a dezembro de 2011 para Passo Fundo.

A radiação solar global ( $R_g$ ) foi medida na estação automática. O saldo de radiação ( $R_n$ , MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) foi calculado pela equação de BruntPenman (Berlato&Molion, 1981) com as equações:

$$R_{nc} = R_g (1 - r) \quad (1)$$

$$R_{nl} = 0,95\sigma(T_m + 273,15)^4(0,56 - 0,0779\sqrt{e})(0,1 + 0,9 n N^{-1}) \quad (2)$$

$$R_n = R_{nc} + R_{nl} \quad (3)$$

sendo  $R_g$  a radiação global (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>),  $r$  o albedo da superfície gramada de 0,23,  $\sigma$  a constante de Stefan-Boltzman (4,98x10<sup>-9</sup> MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> K<sup>-4</sup>),  $T_m$  a temperatura média diária (°C),  $e$  a pressão parcial de vapor (kPa),  $n$  a insolação (h dia<sup>-1</sup>) e  $N$  o comprimento do dia (h dia<sup>-1</sup>).

Para a ponderação do termo da nebulosidade (0,1 + 0,9n N<sup>-1</sup>) de Brunt-Penman (padrão) foram empregados os dados da radiação global ( $R_g$ ) medida na estação automática e da radiação no topo da atmosfera ( $R_a$ ) pelos seguintes métodos:

S1 - uso de coeficientes de Righi et al. (2015) (1,2250 R<sub>K,R</sub> - 0,2614), sendo R<sub>K,R</sub> a razão  $R_g / (0,75 R_a)$  para a condição de contorno (0,3 ≤ R<sub>K,R</sub> ≤ 1,0);

S2- manutenção dos coeficientes com uso do R<sub>K,R</sub> (0,1 + 0,9 R<sub>K,R</sub>) sem a condição de contorno;

S3- manutenção dos coeficientes com uso do R<sub>K,k</sub> (0,1 + 0,9 R<sub>K,k</sub>), sendo R<sub>K,k</sub> a razão  $R_g / R_a$ , sem condição de contorno.

A evapotranspiração de referência ( $ET_o$ , mm dia<sup>-1</sup>) foi estimada pelo método de Penman-Monteith(Pereira *et al.*, 1997) usando dados da estação automática, exceto a insolação ( $n$ ) da convencional, desconsiderando o fluxo de calor no solo, conforme:

$$ET_o = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} \frac{R_n}{L} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} \frac{900 U_2 (e_s - e)}{(T_m + 275)} \quad (4)$$

sendo  $T_m$  a temperatura média diária do ar (°C),  $\Delta$  é a tangente à curva de pressão de saturação do vapor d'água para a  $T_m$  (kPa °C<sup>-1</sup>),  $\gamma$  a constante psicrométrica (0,0662 kPa °C<sup>-1</sup>),  $U_2$  a velocidade média diária do vento a 2 m acima do solo (m s<sup>-1</sup>) obtida a partir da velocidade registrada a 10 m de altura, usando o coeficiente de ajuste de 0,747368421 (Pereira *et al.*, 1997),  $e_s$  e  $e$  a pressão de saturação e a parcial de vapor d'água no ar (kPa), respectivamente, e  $L$  o calor latente de evaporação (MJ Kg<sup>-1</sup>).

A constante psicrométrica modificada ( $\gamma^*$ , em kPa °C<sup>-1</sup>) foi calculada em função de  $U_2$ . Para  $U_2$  de até 1,07 m s<sup>-1</sup> foi utilizado o valor de 0,0739 kPa °C<sup>-1</sup> e, em velocidades superiores:

$$\gamma^* = \gamma(1 + 0,33U_2) \quad (5)$$

A pressão de saturação de vapor do ar ( $e_s$ , em kPa) foi obtida pela equação:

$$e_s = 0,6107 e^{((17,2694T_m)/(237,3+T_m))} \quad (6)$$

A pressão parcial de vapor ( $e$ , em kPa) foi calculada pela equação:

$$e = e_s \frac{UR}{100} \quad (7)$$

sendo  $UR$  é a umidade relativa do ar média diária (%).

O calor latente de evaporação ( $L$ ) foi estimado pela equação:

$$L = 2,501 - 0,00236Tm$$

(8)

Os dados foram submetidos a análise de regressão linear, usando a ETo calculada conforme Rnl de Brunt-Penman como padrão para comparação do Rnl com S1, S2 e S3. As estatísticas do modelo de regressão utilizadas foram a da raiz do quadrado médio do erro (RQME), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e de correlação (R), o índice de concordância (d) conforme Willmott (1982) e o índice de confiança (c = R x d) (Camargo e Sentelhas, 1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A substituição da razão de insolação pela razão de radiação na estimativa do termo de nebulosidade ocasionou subestimativas de 10 a 43% do saldo de radiação de ondas longas (Tabela 1). Essa subestimativa contribuiu para elevar o saldo de radiação. Dessa forma, a estimativa da evapotranspiração, com o emprego da razão de radiação, resultou em valores de 0 a 8,5% maiores que com o uso da razão de insolação no termo da nebulosidade do saldo de radiação de ondas longas da equação de Brunt-Penman equação 2 (Figura 1).

**Tabela 1.** Modelos de verificação dos ajustes do termo de nebulosidade do saldo de radiação de ondas longas (Rnl) com a razão de radiação (S1, S2 e S3) em relação à de insolação de Brunt-Penman (BP) para Santa Maria e Passo Fundo-RS.

Modelos	RQME	R <sup>2</sup>	R	d	c
----- Santa Maria – RS -----					
Rnl <sub>S1</sub> = 0,9010 Rnl <sub>BP</sub> – 0,3624	0,54614	0,9284	0,964	0,979	0,943
Rnl <sub>S2</sub> = 0,8187 Rnl <sub>BP</sub> – 1,6780	0,59041	0,9269	0,963	0,945	0,910
Rnl <sub>S3</sub> = 0,5787 Rnl <sub>BP</sub> – 0,0383	0,39409	0,9343	0,967	0,777	0,751
----- Passo Fundo – RS -----					
Rnl <sub>S1</sub> = 0,8845 Rnl <sub>BP</sub> – 0,7501	0,73787	0,9117	0,955	0,975	0,931
Rnl <sub>S2</sub> = 0,8414 Rnl <sub>BP</sub> – 2,0688	0,74025	0,9151	0,957	0,935	0,894
Rnl <sub>S3</sub> = 0,5700 Rnl <sub>BP</sub> – 0,2117	0,51196	0,9193	0,959	0,800	0,767

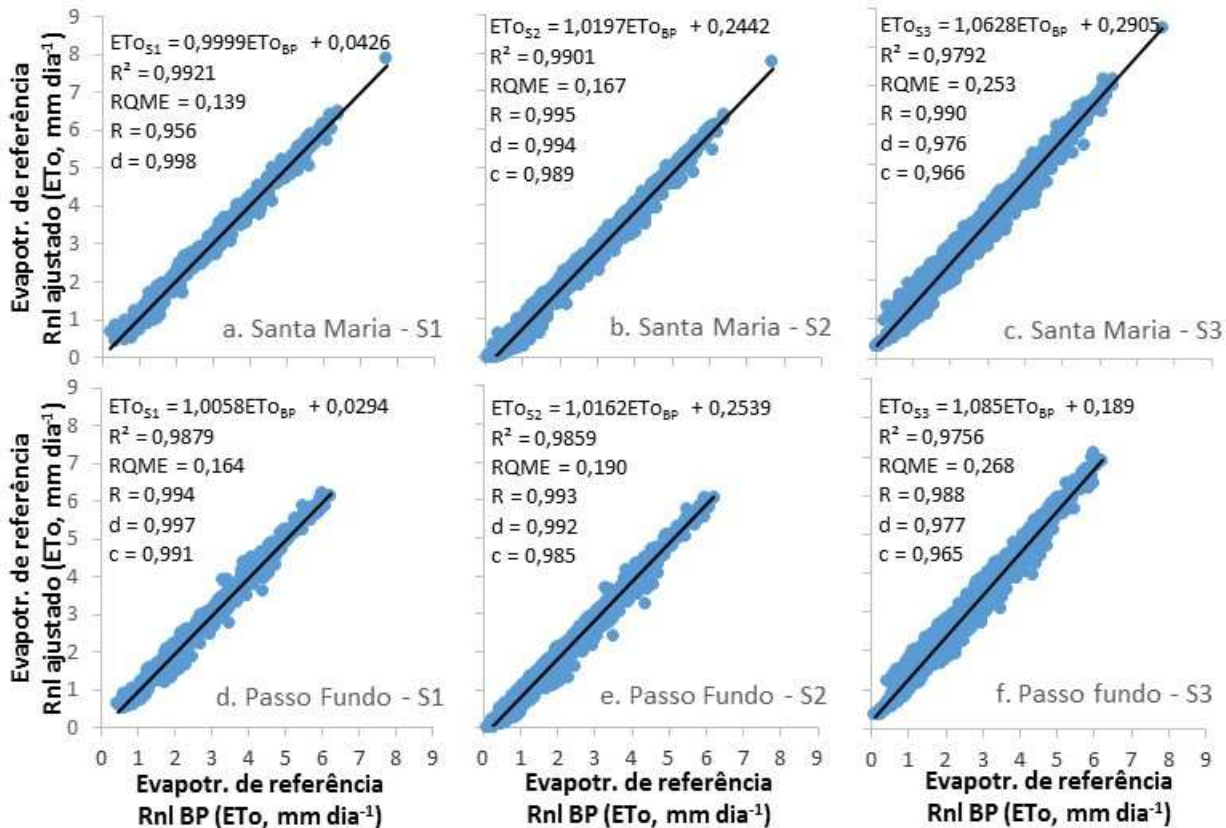
Os coeficientes propostos por Righi et al. (2015), método S1, apresentaram estimativas melhores que S2 e S3, tanto para o saldo de radiação de ondas longas como para a evapotranspiração. Contudo, os resultados indicam que o emprego da razão de insolação sem ajustes nos coeficientes do termo de nebulosidade (S2) pode ser utilizado quando o objetivo do trabalho for para a estimativa da evapotranspiração de referência (Figura 1b e 1e). Isso pode ser importante para localidades em que não são possíveis de serem ajustados os coeficientes do termo de nebulosidade, como propuseram Allen et al. (1998) e Righi et al. (2015), pela indisponibilidade de dados de insolação.

Apesar do ajuste no saldo de radiação de ondas longas ter sido realizado para Santa Maria por Righi et al. (2015), com o uso dos mesmos coeficientes, houve uma estimativa da evapotranspiração de referência muito próxima também em Passo Fundo. A região de Passo Fundo apresenta maior altitude que Santa Maria, estando exposta a menor camada atmosférica, o que permite maior transmissividade à radiação, tanto de ondas curtas quanto de ondas longas. A condição de nebulosidade também afeta a estimativa da radiação de onda longa (Aguiar et al., 2011). Essa situação sugere a possibilidade de ajuste do termo de nebulosidade para a região de Passo Fundo, o que poderia melhorar as estimativas do saldo de radiação de ondas longas e da evapotranspiração de referência.

Com esses resultados foi possível observar que, apesar das consideráveis subestimativas do saldo de radiação de ondas longas (Tabela 1), a estimativa da evapotranspiração de referência foi muito satisfatória com o emprego da razão de radiação. No uso da razão de radiação na estimativa do saldo de

*O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

radiação solar de ondas longas deve ser utilizada a radiação global na ausência de nebulosidade em detrimento da esperada no topo da atmosfera, conforme também observaram Allen et al. (1998) e Righi et al. (2014).



**Figura 1.** Implicações dos ajustes do termo de nebulosidade do saldo de radiação de ondas longas (Rnl) com a razão de radiação (S1, S2 e S3) em relação à de insolação de Brunt-Penman (BP) sobre a evapotranspiração de referência para Santa Maria e Passo Fundo-RS.

## CONCLUSÕES

A razão de insolação pode ser substituída pela de radiação para a estimativa do saldo radiação de ondas longas quando ajustados os coeficientes do termo de nebulosidade.

A substituição da razão de insolação pela razão de radiação apresenta maior implicação na estimativa do saldo de radiação de ondas longas do que na evapotranspiração de referência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration** - guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 297 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

RIGHI, E.Z. et al. Balance of longwave radiation employing the rate of solar radiation for Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 1, p. 29-37, 2015.



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*



AGUIAR, L.J.G. et al. Estimativa da radiação de onda longa atmosférica em áreas de floresta e de pastagem no sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.2, 215-224, 2011.

PEREIRA, A.R. et al. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, São Paulo, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

WILLMOTT, C.J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Lancaster, v.63, n.11, p.1309-1313, 1982.