

Boletim de Pesquisa 12 **e Desenvolvimento**

ISSN 1981-1004
Dezembro, 2006

**Estimativa diária da radiação solar
incidente com base no número de horas
de brilho solar para a região de Bento
Gonçalves, RS**





ISSN 1981-1004
Dezembro, 2006

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Uva e Vinho
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 12

**Estimativa diária da radiação solar incidente
com base no número de horas de brilho solar
para a região de Bento Gonçalves, RS**

**Marco Antônio Fonseca Conceição
Francisco Mandelli**

**Bento Gonçalves, RS
2006**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Uva e Vinho

Rua Livramento, 515
95700-000 Bento Gonçalves, RS, Brasil
Caixa Postal 130
Fone: (0xx)54 3455-8000
Fax: (0xx)54 3451-2792
<http://www.cnpuv.embrapa.br>
sac@cnpuv.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Lucas da Ressurreição Garrido*
Secretária-Executiva: *Sandra de Souza Sebben*
Membros: *Jair Costa Nachtigal, Osmar Nickel, Kátia Midori Hiwatashi e Viviane Maria Zanella Bello Fialho*

Normalização bibliográfica: *Kátia Midori Hiwatashi*
Foto da capa: *Acervo da Embrapa Uva e Vinho*

1ª edição
1ª impressão (2006): 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Uva e Vinho

Conceição, Marco Antônio Fonseca.

Estimativa diária da radiação solar incidente com base no número de horas de brilho solar para a região de Bento Gonçalves, RS / por Marco Antônio Fonseca Conceição e Francisco Mandelli. -- Bento Gonçalves : Embrapa Uva e Vinho, 2006.

12 p. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 12).

1. Meteorologia. 2. Radiação solar. 3. Estimativa. 4. Modelo meteorológico. 5. Bento Gonçalves I. Conceição, Marco Antônio Fonseca. II. Mandelli, Francisco.

CDD 630.2515 (21. ed.)

©Embrapa Uva e Vinho 2006

Sumário

Resumo.....	5
Abstract.....	6
Introdução	7
Material e Métodos.....	7
Resultados e Discussão.....	8
Referências Bibliográficas.....	11

Estimativa diária da radiação solar incidente com base no número de horas de brilho solar para a região de Bento Gonçalves, RS

Marco Antônio Fonseca Conceição¹
Francisco Mandelli²

Resumo

Informações sobre a radiação solar incidente (R_s) são importantes em diversos estudos meteorológicos. Nem todas as estações meteorológicas, contudo, possuem esses dados, sendo comum, por sua vez, a existência de registros do número de horas diários de brilho solar (n). O presente estudo teve como objetivo desenvolver e avaliar modelos para estimativas diárias da radiação solar incidente na região de Bento Gonçalves, RS, a partir de valores diários de " n ". Os dados meteorológicos foram obtidos na Embrapa Uva e Vinho, situada em Bento Gonçalves. Foram desenvolvidos modelos para cada mês do ano e um modelo geral, incluindo todos os dados do período. Os modelos foram desenvolvidos utilizando-se valores da série de 1985 a 1994 e foram testados empregando-se dados de 1995 a 2003. Os modelos mensais apresentaram desempenhos variando entre muito bom e ótimo. O modelo geral de estimativa apresentou a expressão $R_s = R_a(0,22 + 0,60n/N)$, em que " R_a " é a radiação incidente no topo da atmosfera e " N " é o número máximo possível de horas de sol diárias, sendo o seu desempenho classificado como ótimo.

Palavras-chave: modelos meteorológicos, radiação solar

¹ Eng. Civil, Dr., Pesquisador, Embrapa Uva e Vinho, Estação Experimental de Viticultura Tropical, Caixa Postal 241, CEP 15700-000 Jales, SP, marcoafc@cnpuv.embrapa.br.

² Eng. Agrôn., Dr., Pesquisador, Embrapa Uva e Vinho, Caixa Postal 130, CEP 95700-000 Bento Gonçalves, RS, mandelli@cnpuv.embrapa.br.

Estimating incident solar radiation based on the daily sunshine hours for the region of Bento Gonçalves, RS, Brazil

Abstract

Information about incident solar radiation (R_s) is important in several meteorological studies. Although there are no " R_s " data in many meteorological stations it is usual the existence of daily sunshine hours (n) records. The present study had the objective to develop and evaluate models to estimate the incident solar radiation (R_s) based on the daily " n " values for the region of Bento Gonçalves, RS, Brazil. The meteorological data were obtained at the Brazilian Grape and Wine National Research Center, situated in Bento Gonçalves. The models were developed including all the recorded data (general model) and for each month of the year (monthly models). To develop the models it was used meteorological daily values from 1985 to 1994. They were evaluated using the 1995-2003 daily data. The monthly models presented performances classified as very good and excellent. The general model presented the expression $R_s = R_a(0.22 + 0.60n/N)$, where " R_a " is the extraterrestrial radiation and " N " is the daylength and its performance was classified as excellent.

Keywords: meteorological models, solar radiation

Introdução

Informações sobre a radiação solar incidente (R_s) são importantes em diversos estudos meteorológicos como, por exemplo, na utilização de modelos de produção vegetal e em estimativas da evapotranspiração. Muitas estações meteorológicas não dispõem de valores diários de " R_s ", mas apresentam, todavia, registros do número diário de horas de brilho solar (n), obtidos com o uso de heliógrafos.

Vários trabalhos já foram desenvolvidos visando estabelecer relações entre " n " e " R_s ". Fontana e Oliveira (1996), empregando valores médios decendiais, obtiveram relações para várias regiões do Estado do Rio Grande do Sul. Pereira et al. (2002) apresentaram relações obtidas por diversos autores para diferentes condições climáticas. Podestá et al. (2004) determinaram estimativas de valores diários de " R_s " para duas localidades da Argentina. Dallacort et al. (2004) e Santana et al. (2004) estabeleceram equações de estimativa de " R_s " com base nos valores de " n " para a região noroeste do Estado do Paraná e para o município de Cruz das Almas, BA, respectivamente.

O presente estudo teve como objetivo desenvolver e avaliar modelos de estimativa diária da radiação solar incidente com base no número de horas de brilho solar, para a região de Bento Gonçalves, RS.

Material e Métodos

Os valores diários da radiação solar incidente (R_s) e do número de horas de brilho solar (n) foram obtidos na estação meteorológica da Embrapa Uva e Vinho, localizada no município de Bento Gonçalves, RS (29°09'S, 51°31'W e 640 m). Os modelos de estimativa foram desenvolvidos utilizando-se valores diários da série de 1985 a 1994, correspondendo a 3.652 dias, e foram avaliados empregando-se os valores diários de " R_s " medidos e estimados entre 1995 e 2003, correspondendo a 3.277 dias.

Foram desenvolvidos modelos para cada mês do ano e um modelo geral, incluindo todos os dados do período. A equação utilizada nos modelos foi a de Ångström-Prescott (PEREIRA et al., 2002) escrita da seguinte forma:

$$R_s = R_a (a + b n/N) \quad (1)$$

em que " R_s " é a radiação solar incidente (MJ m^{-2}), " R_a " a radiação incidente no topo da atmosfera (MJ m^{-2}), " n " o número de horas diárias de brilho solar (h), " N " o número máximo possível de horas de sol diárias (h) e " a " e " b " são coeficientes da equação de regressão linear. Os valores diários de " R_a " e " N " foram calculados com base na latitude do local e no dia do ano, que vai de 1 a 365 ou 366, se o ano for bissexto (ALLEN et al., 1998).

Os valores medidos de " R_s " foram comparados aos estimados utilizando-se o coeficiente de determinação (R^2) e o coeficiente de confiança (c) proposto por Camargo e Sentelhas (1997), que corresponde à multiplicação do coeficiente de correlação (r) pelo coeficiente de exatidão (d), descrito por Camargo e Sentelhas (1997). O desempenho foi classificado como ótimo para valores de " c " maiores que 0,85; como muito bom para valores entre 0,76 e 0,85; como bom para valores entre 0,66 e 0,75; como regular para valores entre 0,51 e 0,65; como ruim para valores entre 0,41 e 0,50; e como péssimo para valores inferiores a 0,40.

Resultados e Discussão

O modelo ajustado para as condições de Bento Gonçalves (Figura 1), considerando-se todos os valores diários entre 1985 e 1994, apresentou a expressão: $R_s = R_a(0,22 + 0,60n/N)$. O coeficiente angular (b) do modelo (0,60) apresentou valor igual ao determinado por Fontana e Oliveira (1996) para o município de Farroupilha (29°14'S, 51°26'W, 760 m), que está localizado próximo a Bento Gonçalves. Os valores de "b" estão relacionados à transmissividade atmosférica, que varia conforme a latitude e a altitude do local (FONTANA; OLIVEIRA, 1996). É de se esperar, assim, que locais próximos e de mesma altitude apresentem valores de "b" semelhantes.

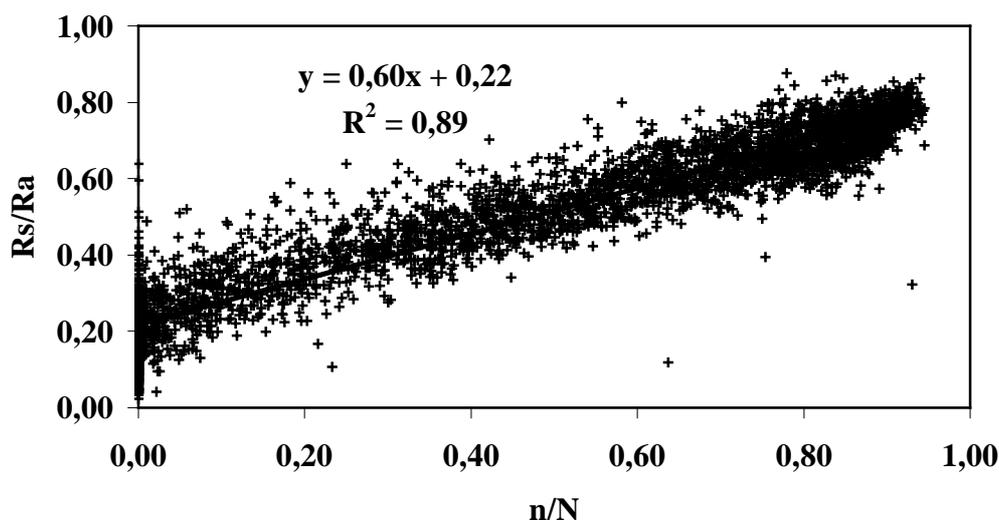


Fig. 1: Regressão linear entre os valores diários de n/N (número de horas diárias de brilho solar sobre o número máximo possível de horas de sol diárias) e R_s/R_a (radiação solar incidente e a radiação incidente no topo da atmosfera). Bento Gonçalves, 1985-1994.

Já o coeficiente linear (a) do modelo foi igual a 0,22, enquanto que o encontrado em Farroupilha por Fontana e Oliveira (1996) foi igual a 0,17. O coeficiente de determinação (R^2) obtido entre os valores diários de R_s/R_a e n/N foi igual a 0,89, superior ao observado por Fontana e Oliveira (1996) em Farroupilha, que foi igual a 0,53. Essa diferença nos valores de R^2 deve-se, provavelmente, ao número de observações utilizadas, que foi de 338 em Farroupilha (dados decendiais) e 3.652 em Bento Gonçalves (dados diários).

Na Tabela 1 estão apresentados os valores dos coeficientes da equação 1, considerando-se os períodos mensais. Os coeficientes lineares (a) em todos os meses, com exceção de setembro, apresentaram valores entre 0,21 e 0,24, próximos ao valor anual de 0,22. Os valores mensais do coeficiente de declividade da reta (b) variaram entre 0,52 e 0,69, apresentando maior variabilidade do que os valores de "a". Fontana e Oliveira (1996) encontraram, para a região da Serra do Nordeste do Rio Grande do Sul, valores de "b" entre 0,38 e 0,75, havendo uma tendência dos maiores valores ocorrerem nos meses mais frios do ano. Esse comportamento também foi observado no presente trabalho (Tabela 1) e é conseqüência do fato da transmissividade no inverno ser, normalmente, maior do que no verão, devido à menor quantidade de poeira no ar e à freqüente entrada de massas de ar polar, que apresentam menor turbulência em relação às massas tropicais (FONTANA; OLIVEIRA, 1996).

Tabela 1: Valores dos coeficientes lineares (a), de declividade (b) e de determinação (R^2) das retas de regressão mensais e anual entre os valores de n/N (número de horas diárias de brilho solar sobre o número máximo possível de horas de sol diárias) e R_s/R_a (radiação solar incidente e a radiação incidente no topo da atmosfera). Bento Gonçalves, RS, 1985-1994.

MÊS	a	b	R^2
JAN	0,23	0,52	0,90
FEV	0,24	0,52	0,91
MAR	0,24	0,55	0,90
ABR	0,23	0,58	0,88
MAI	0,22	0,62	0,86
JUN	0,22	0,66	0,91
JUL	0,21	0,65	0,91
AGO	0,22	0,61	0,89
SET	0,18	0,69	0,93
OUT	0,22	0,60	0,92
NOV	0,21	0,58	0,92
DEZ	0,23	0,54	0,91

Os coeficientes de determinação (R^2) mensais (Tabela 1) ficaram entre 0,86 e 0,93. Os valores mensais e anual de R^2 indicam que as equações de regressão apresentaram um ótimo ajustamento entre as variáveis (VANI, 1998). Dallacort et al. (2004) obtiveram, para dados diários no noroeste do Paraná, valores de R^2 semelhantes, variando entre 0,82 e 0,90, conforme o mês em análise.

Comparando-se os valores de "Rs" medidos com os estimados e forçando-se a reta de regressão a passar pela origem (Figura 2), verificou-se que o modelo geral apresentou uma superestimativa média de 12% em relação aos valores medidos e R^2 igual a 0,91. Podestá et al. (2004), obtiveram valores maiores de R^2 (0,96 e 0,97) para estimativas diárias de "Rs" em duas localidades na região dos pampas da Argentina.

Na Tabela 2 são mostrados os desempenhos dos modelos mensais e geral, para a estimativa de "Rs". Verifica-se que os modelos apresentaram desempenhos classificados como muito bom, nos meses de janeiro e março, e ótimo nos demais meses e no modelo geral. Os valores mensais de R^2 variaram entre 0,81 e 0,91. A utilização de modelos mensais não melhorou o desempenho das estimativas, tornando o modelo geral, $R_s=R_a(0,22+0,60n/N)$, adequado para ser utilizado em qualquer época do ano na região estudada.

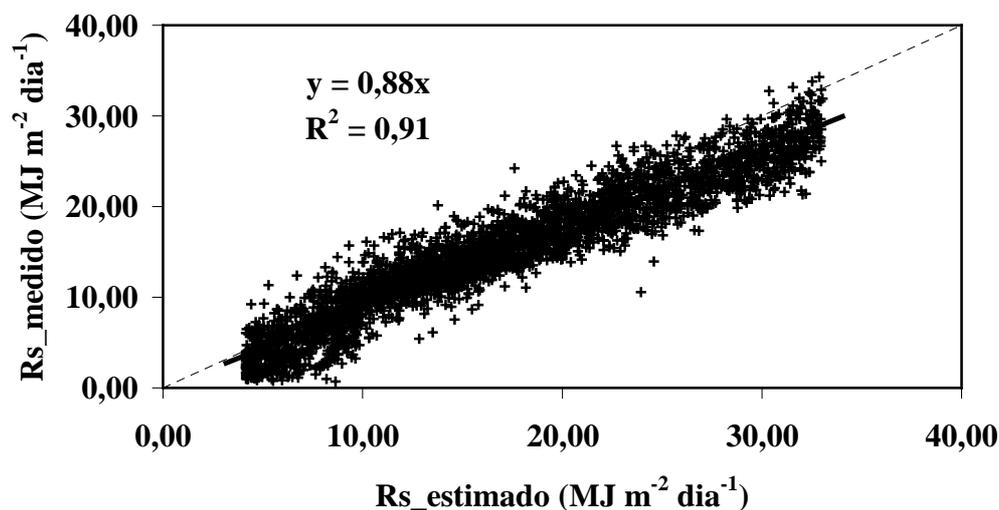


Figura 2: Regressão linear entre os valores diários da radiação solar incidente estimados e medidos. Bento Gonçalves, 1995-2003.

Tabela 2: Valores médios mensais e anual da radiação solar incidente (Rs) medida e estimada e dos coeficientes de determinação (R^2) e de desempenho (c). Bento Gonçalves, RS, 1995-2003.

MÊS	Rs medida (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	Rs estimada (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	R ²	c	Classificação do Desempenho
JAN	19,7	21,4	0,83	0,85	Muito Bom
FEV	18,0	20,0	0,86	0,87	Ótimo
MAR	16,8	18,7	0,81	0,82	Muito Bom
ABR	13,1	14,6	0,89	0,90	Ótimo
MAI	10,9	11,9	0,85	0,87	Ótimo
JUN	8,8	9,9	0,86	0,87	Ótimo
JUL	9,5	10,7	0,90	0,91	Ótimo
AGO	11,8	13,3	0,88	0,89	Ótimo
SET	13,7	15,4	0,89	0,90	Ótimo
OUT	16,0	18,5	0,89	0,90	Ótimo
NOV	20,4	22,3	0,91	0,91	Ótimo
DEZ	20,3	22,5	0,86	0,87	Ótimo
GERAL	14,9	16,8	0,91	0,91	Ótimo

Referências Bibliográficas

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- 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**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- DALLACORT, R.; FREITAS, P. S. L.; GONÇALVES, A. C. A.; REZENDE, R.; BERTONHA, A. Equações de estimativa da irradiação solar global, compartição mensal, para a região noroeste do Estado do Paraná. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14., 2004, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre: ABID, 2004. 1 CD-ROM.
- FONTANA, D. C.; OLIVEIRA, D. Relação entre radiação solar global e insolação para o Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 1, p. 87-91, 1996.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.
- PODESTÁ, G. P.; NÚÑEZ, L.; VILLANUEVA, C. A.; SKANSI, M. A. Estimating daily solar radiation in the Argentina Pampas. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 123, n. 1-2, p. 41-53, 2004.
- SANTANA, C. E.; PEREIRA, F. A. C.; PAZ, V. P. S.; OLIVEIRA, A. S.; OLIVEIRA, G. X. S. Determinação dos coeficientes de Angstrom-Prescott para o município de Cruz das Almas, BA. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14., 2004, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre: ABID, 2004. 1 CD-ROM.
- VANI, S. M. **Modelos de regressão: estatística aplicada**. São Paulo: Legnar, 1998, 177 p.



CGPE 6011

Uva e Vinho

**Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento**

