

# ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR EM FUNÇÃO DA AMPLITUDE TÉRMICA

ANGELO M. MASSIGNAM<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agrometeorologia, Ph.D em Fisiologia Vegetal da Produção. EPAGRI, EECN. CP.116, - Campos Novos – SC, Fone/Fax (049) 541-0748. 89.620-000, massigna@epagri.rct-sc.br

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007-  
Aracaju – SE

**RESUMO:** O objetivo geral deste trabalho foi estudar a estimativa da radiação solar diária usando temperatura máxima e mínima diária do ar. O objetivo específico foi comparar o desempenho de 3 diferentes modelos para estimar a radiação solar diária em função da amplitude térmica para o Estado de Santa Catarina. Foram utilizados valores diários de densidade de fluxo de radiação solar ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ) (Q) e de temperaturas máximas e mínimas do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) de quatorze locais do Estado de Santa Catarina (Tabela 1), provenientes de séries históricas de períodos não uniformes. Os três modelos (Richardson, Hargreaves e Bristow-Campbell) são ferramentas adequadas para a estimativa da radiação solar diária em função da temperatura máxima e mínima diária do ar.

**PALAVRAS CHAVES:** temperatura máxima e mínima, modelo.

## ESTIMATION OF DAIRY SOLAR GLOBAL RADIATION AS A FUNCTION OF EXTREME AIR TEMPERATURE DATA

**ABSTRACT:** The general objective of this paper was to estimate the dairy solar global radiation as a function of extreme air temperature data. The specific objective was to compare the performance of three model to estimate of dairy solar global radiation ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ) (Q) as a function of minimum and maximum air temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) in Santa Catarina State. Dairy solar global radiation, minimum and maximum air temperature were obtained from fourteen places in Santa Catarina. Empirical models (Richardson, Hargreaves e Bristow-Campbell) are a convenient tool to estimate dairy global solar radiation as a function of extreme air temperature data.

**KEYWORDS:** minimum and maximum air temperature, model.

**INTRODUÇÃO:** A radiação solar é um dos elementos meteorológicos mais importantes na produção agrícola, pois é a fonte básica de energia no processo fotossintético das plantas. Além disto, a radiação solar é um elemento meteorológico utilizado para o cálculo da evapotranspiração, utilizada na realização de zoneamentos agrometeorológicos e utilizada em modelos de crescimento e de produção das culturas (Fontana & Oliveira, 1996). Para seis locais de Santa Catarina, Braga et al. (1987) determinaram os parâmetros “a” e “b” da equação de Angström para estimar a radiação solar global a partir da insolação. Entretanto, muitas estações meteorológicas convencionais ou automáticas não possuem o heliógrafo ou a

---

série do heliógrafo apresentam falhas. Sendo assim, há necessidade de estimar a radiação solar a partir de outras variáveis meteorológicas. O objetivo geral deste trabalho foi estudar a estimativa da radiação solar diária usando temperatura máxima e mínima diária do ar. O objetivo específico foi comparar o desempenho de 3 diferentes modelos para estimar a radiação solar diária em função da amplitude térmica para o Estado de Santa Catarina.

**MATERIAL E MÉTODO:** Foram utilizados valores diários de densidade de fluxo de radiação solar ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ) ( $Q$ ) e de temperaturas máximas e mínimas do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) de quatorze locais do Estado de Santa Catarina (Tabela 1), provenientes de séries históricas de períodos não uniformes. Os dados meteorológicos utilizados para a execução deste trabalho foram obtidos das estações meteorológicas automáticas da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A - Epagri. Os valores diários de densidade de fluxo de radiação solar no topo da atmosfera ( $Q_0$ ) ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ) foram estimados usando as equações propostas por Hammer & Wright (1994).

Tabela 1. Local, coordenadas geográficas das estações meteorológicas e número de dias utilizados.

Local	Alt	Lat	Long	Números de dias
Abdon Batista	740	27,6	51,0	74
Angelina	440	27,6	49,0	44
Anitápolis	802	27,8	49,1	481
Campos Novos	964	27,4	51,2	289
Celso Ramos	756	27,6	51,3	456
Florianópolis	2	27,6	48,5	232
Governador Celso Ramos	73	27,3	48,4	471
Itajaí	2	26,9	48,7	164
Pedras Grandes	368	28,5	49,2	106
São Francisco do Sul	12	26,2	48,5	191
São Joaquim	1408	28,3	49,9	465
Siderópolis	135	28,6	49,6	439
Urussanga (1022)	48	28,5	49,3	186
Urussanga (1033)	558	28,5	49,4	36

Três modelos não **lineares** foram utilizados para a estimativa da radiação solar diária em função da temperatura máxima e mínima diária do ar. O modelo 1 foi proposto por Richardson (1985):

$$Q = Q_0 [a \times (T_{\max} - T_{\min})^b]$$

O modelo 2 foi proposto por Hargreaves (Castellvi, 2001):

$$Q = a + b \times Q_0 \times (T_{\max} - T_{\min})^{0,5}$$

O modelo 3 foi proposto por Bristow-Campbell (Coops et al., 2000):

$$Q = Q_0 \{a [1,0 - \exp(-b(T_{\max} - T_{\min})^c)]\}$$

onde:  $Q$  é a radiação solar diária ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ),  $Q_0$  é a radiação solar extraterrestre ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ),  $T_{\max}$  e  $T_{\min}$  é a temperatura máxima e mínima diária do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $a$ ,  $b$  e  $c$  são os parâmetros da regressão não linear.

A performance dos modelos foi avaliada pelo teste F, coeficiente de determinação, a inclinação da reta da equação de regressão entre os valores medidos e a estimados, índice de

concordância “d” de Willmott e de confiança ou desempenho “c” apresentado por Camargo & Sentelhas (1997).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os três modelos de estimativa da radiação solar diária apresentaram uma variação de desempenho nos quatorze locais estudados (de mau a muito bom) (Tabelas 2, 3 e 4). De uma forma geral, os coeficientes de determinação variaram de 0,45 a 0,85, 0,47 a 0,79 e 0,51 a 0,87 para o modelo Richardson, Hargreaves e Bristow-Campbell. Resultados similares foram encontrados por Almeida & Landsberg (2003) para a estimativa da radiação solar global na costa dos estados da Bahia e Espírito Santos. A estimativa da radiação solar global usando o pacote MTCLIM explicou 75% ( $r^2=0,75$ ) da variação mensal e 62% ( $r^2=0,62$ ) dos valores diários. MTCLIM introduziu algum refinamento ao modelo de Bristow-Campbell para a correção dos dias úmidos. O coeficiente de determinação para o modelo de Richardson foi de 0,63 para a localidade de Tifton -US (Hook & McClendon, 1992) e de 0,67 para Oklahoma US (Richardson, 1985). Em Santa Catarina, Braga et al. (1987) relataram maiores valores do coeficiente de determinação da estimativa da radiação solar global em função da insolação para Itajaí e São Joaquim ( $r^2$  superior 0,75 e 0,78, respectivamente). Os baixos desempenhos dos modelos em algumas estações meteorológicas provavelmente podem estar relacionados com o baixo volume de dados utilizados neste estudo (Tabela 1).

Tabela 2. Parâmetros “a” e “b”, coeficiente de determinação, inclinação da reta da regressão linear entre o medido e o estimado, índice de Willmott “d” e de desempenho “c” para o modelo Richardson.

Município	a	b	$r^2$	Inclin.	d	c	Desempenho
Itajaí	0,1909	0,5238	0,45	1,22	0,60	0,41	Mau
São Francisco do Sul	0,1269	0,6532	0,50	1,21	0,65	0,47	Mau
Florianópolis	0,0680	0,7919	0,52	1,03	0,70	0,50	Sofrível
Pedras Grandes	0,0810	0,8223	0,53	1,00	0,72	0,52	Sofrível
Angelina	0,0516	0,8658	0,55	0,99	0,72	0,53	Sofrível
Gov. Celso Ramos	0,2454	0,4219	0,57	1,10	0,71	0,54	Sofrível
Anitápolis	0,0874	0,6954	0,62	1,01	0,76	0,60	Sofrível
São Joaquim	0,0751	0,8262	0,70	1,00	0,81	0,67	Bom
Urussanga (1022)	0,0536	0,8947	0,72	1,12	0,79	0,68	Bom
Siderópolis	0,0526	0,9430	0,71	0,98	0,82	0,69	Bom
Abdon Batista	0,0479	0,8982	0,76	1,14	0,82	0,72	Bom
Campos Novos	0,0887	0,7679	0,76	0,97	0,85	0,74	Bom
Celso Ramos	0,0513	0,9245	0,78	0,99	0,86	0,76	Muito bom
Urussanga (1033)	0,0397	1,0497	0,85	1,00	0,89	0,82	Muito bom

Os três modelos estudados tiveram desempenho melhor no interior quando comparado com o litoral do Estado de Santa Catarina. Mahmood & Hubbard (2002) concluiu que os desempenhos dos modelos de estimativa da radiação foram melhores em locais com menor nebulosidade. Os três métodos de estimativa da radiação solar global diária em função da amplitude térmica apresentaram desempenhos muito semelhantes. Resultados similares foram encontrados por Castellvi (2001) quando comparou os métodos Hargreaves e Bristow-Campbell. Entretanto, o método Bristow-Campbell apresentou um desempenho levemente superior aos outros dois métodos nas condições de Santa Catarina (Tabela 1, 2 e 3). O modelo de Bristow-Campbell tem sido aplicado em outros estudos em uma diversidade de ambientes, incluindo a parte continental dos Estados Unidos, Austrália, Escócia (Coops et al., 2000),

Espanha (Castellvi, 2001) e Chile (Meza & Varas, 2000). O parâmetro “a” do modelo Bristow-Campbell variou de 0,60 a 0,82. Este parâmetro representa a radiação solar máxima que um dia claro (sem nuvem) pode ter, em relação à radiação extra-terrestre. Valores mais freqüentes determinados deste parâmetro são 0,70 (Meza & Varas, 2000). Entretanto, a transmitância global não pode ultrapassar o valor de 0,80 (Western, 1990). A faixa de valores do parâmetro “b” e “c” ficaram entre 0,002 a 0,087 e 1,42 a 2,76 o que ficou muito próximo da faixa de 0,004 a 0,01 e do valor 2,4 apresentado por Meza & Varas (2000).

Tabela 3. Parâmetros “a” e “b”, coeficiente de determinação, inclinação da reta da regressão linear entre o medido e o estimado, índice de Willmott “d” e de desempenho “c” para o modelo Hargreaves.

Município	a	b	r <sup>2</sup>	Inclin.	d	c	Desempenho
Itajaí	-5,156	0,254	0,47	1,00	0,67	0,46	Mau
Pedras Grandes	-6,149	0,220	0,48	1,00	0,69	0,47	Mau
Florianópolis	-4,231	0,173	0,49	1,00	0,69	0,48	Mau
Angelina	-11,796	0,212	0,55	1,00	0,72	0,53	Sofrível
São Francisco do Sul	-9,905	0,270	0,55	1,00	0,72	0,54	Sofrível
Gov. Celso Ramos	-0,465	0,216	0,56	1,00	0,74	0,55	Sofrível
Anitápolis	-2,914	0,165	0,60	1,00	0,75	0,59	Sofrível
Siderópolis	-3,562	0,184	0,64	1,00	0,77	0,62	Mediano
São Joaquim	-3,174	0,186	0,66	1,00	0,79	0,64	Mediano
Campos Novos	-2,206	0,188	0,72	1,00	0,82	0,70	Bom
Celso Ramos	-3,472	0,180	0,73	1,00	0,83	0,71	Bom
Abdon Batista	-7,110	0,193	0,74	1,00	0,83	0,71	Bom
Urussanga (1022)	-14,424	0,254	0,76	1,00	0,84	0,73	Bom
Urussanga (1033)	-11,309	0,242	0,79	1,00	0,86	0,76	Muito bom

Tabela 4. Parâmetros “a” e “b”, coeficiente de determinação, inclinação da reta da regressão linear entre o medido e o estimado, índice de Willmott “d” e de desempenho “c” para o Bristow-Campbell.

Município	a	b	c	r <sup>2</sup>	Inclin.	d	c	Desemp.
Itajaí	0,653	0,087	1,646	0,51	1,08	0,66	0,47	Mau
Florianópolis	0,656	0,023	1,680	0,53	0,99	0,72	0,53	Sofrível
São Francisco do Sul	0,602	0,040	1,953	0,58	1,05	0,72	0,55	Sofrível
Pedras Grandes	0,652	0,004	2,762	0,60	0,91	0,79	0,61	Mediano
Gov. Celso Ramos	0,621	0,065	2,095	0,65	1,01	0,78	0,63	Mediano
Anitápolis	0,644	0,024	1,725	0,67	0,97	0,80	0,66	Bom
São Joaquim	0,618	0,018	2,038	0,73	0,97	0,83	0,71	Bom
Siderópolis	0,702	0,014	1,949	0,74	0,95	0,84	0,72	Bom
Urussanga	0,665	0,009	2,079	0,78	1,00	0,85	0,75	Bom
Campos Novos	0,822	0,040	1,423	0,77	0,94	0,86	0,76	Muito bom
Abdon Batista	0,652	0,002	2,613	0,81	1,04	0,87	0,78	Muito bom
Celso Ramos	0,739	0,010	1,958	0,80	0,96	0,87	0,78	Muito bom
Urussanga	0,755	0,016	1,797	0,87	0,96	0,91	0,85	Muito bom
Angelina	Não convergiu							

**CONCLUSÕES:** Os três modelos (Richardson, Hargreaves e Bristow-Campbell) são ferramentas adequadas para a estimativa da radiação solar diária em função da temperatura máxima e mínima diária do ar.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

- ALMEIDA, A.C.; LANDSBERG, J.J. Evaluating methods of estimating global radiation and vapor pressure deficit using a dense network of automatic weather stations in coastal Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 118, p. 237-250, 2003.
- BRAGA, H.J.; LEITE, G.B.; SILVA, L.M.D. *Determinação preliminar dos parâmetros a e b da equação de Angström para seis localidades de Santa Catarina*. Florianópolis: EMPASC, 1987. 24p. (EMPASC. Documento, 89).
- CAMARGO, Â.P.D.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 5, n.1, p., 1997.
- CASTELLVI, F. A new simple method for estimating monthly and daily solar radiation. Performance and comparison with other methods at Lleida (NE Spain): a semiarid climate. *Theoretical and Applied Climatology*, Austria, v. 69, p. 213-238, 2001.
- COOPS, N.C.; WARING, R.H.; MONCRIEFF, J.B. Estimating mean monthly incident solar radiation on horizontal and inclined slopes from mean monthly temperatures extremes. *International Journal of Biometeorology*, v. 44, p. 204-211, 2000.
- FONTANA, D.C.; OLIVEIRA, D. Relação entre radiação solar global e insolação para o Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 4, n.1, p. 87-91, 1996.
- HAMMER, G.L.; WRIGHT, G.C. A theoretical analysis of nitrogen and radiation effects on radiation use efficiency in peanut. *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 45, n.3, p. 575-589, 1994.
- HOOK, J.E.; MCCLENDON, R.W. Estimation of solar radiation data missing from long-term meteorological records. *Agronomy Journal*, Madison, v. 84, p. 739-742, 1992.
- MAHMOOD, R.; HUBBARD, K.G. Effect of time of temperature observation and estimation of daily solar radiation for the Northern Great Plains, USA. *Agronomy Journal*, Madison, v. 94, n.4, p. 723-733, 2002.
- MEZA, F.; VARAS, E. Estimation of mean monthly solar global radiation as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 100, n.2-3, p. 231-241, 2000.
- RICHARDSON, C.W. Weather simulation for crop management models. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, v. 28, n.5, p. 1602-1606, 1985.
- WESTERN, B.E. The estimation of solar radiation in New Zealand. *Solar Energy*, v. 45, n.3, p. 121-129, 1990.