

# RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL PARA CAMPOS DO JORDÃO ATRAVÉS DE MODELOS COM TEMPERATURA - PRECIPITAÇÃO

João Gabriel Martins Ribeiro<sup>1</sup>, Paula Sayeko Souza Oda<sup>1</sup>, Filipe Pereira da Silva<sup>1</sup>, Kelvem Rodrigo de Oliveira<sup>1</sup>,  
Joaquim Augusto Cortez Moraes<sup>1</sup>, Fabrina Bolzan Martins<sup>2</sup>, Ana Flavia Martins Monteiro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduando de Ciências Atmosféricas, IRN, UNIFEI, Itajubá – MG;

filipe\_silva@hotmail.com; joao11gabrielmrribeiro@gmail.com; cortez.moraes@gmail.com;

kelvemgolden@gmail.com; psayeko@gmail.com. <sup>2</sup>Prof. Adjunto, IRN, UNIFEI, Itajubá – MG;

fabrinabm@gmail.com; <sup>3</sup>Mestranda de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, IRN, UNIFEI, Itajubá – MG;  
martiinsanaa@gmail.com.

## RESUMO:

A radiação solar global é um dado de entrada em modelos de produtividade agrícola, devido a influência no processo da fotossíntese e estreita relação com os estágios de crescimento e desenvolvimento das plantas. Porém, devido à falta de dados observacionais disponíveis, faz-se necessária sua estimativa por meio de modelos empíricos. O presente trabalho tem como objetivo ajustar e validar 7 modelos de estimativa da radiação solar global para de Campos do Jordão (SP) em duas épocas do ano: Primavera/Verão e Outono/Inverno, no período de 2000 a 2014. Utilizaram-se dados diários de temperatura máxima e mínima do ar, precipitação pertencente a estação meteorológica convencional e de radiação solar global pertencente a estação meteorológica automática. O modelo que obteve melhor desempenho no ajuste e validação foi o proposto por BRISTOW e CAMPBELL (BRC) para Primavera/Verão, enquanto que para Outono/Inverno os modelos não conseguiram representar a radiação solar global.

**PALAVRAS-CHAVE:** agrometeorologia, modelos empíricos.

## ABSTRACT:

Global solar radiation is an important variable data in yield models, mainly due to influence in the photosynthesis and the relationship with the growth and development stages. However, due to the lack of available observable data, it is necessary to use empirical models. This study aimed to validate 7 models of global solar radiation in Campos do Jordão (SP) in two seasons: Spring/Summer and Autumn/Winter, from 2000 to 2014. Were used data from maximum and minimum temperature and global solar radiation by the automatic weather station. The model that presented the best performance was BRISTOW and CAMPBELL (BRC) for Spring/Summer, while for autumn / winter the models not presented good performance.

**KEY WORDS:** agrometeorology, empirical models.

## INTRODUÇÃO

A radiação solar global ( $H_g$ ) é uma variável importante para a quantificação da produtividade das culturas agrícolas e florestais e do balanço de radiação (FERNANDES; et al., 2018). Entretanto, há uma lacuna nos dados disponíveis, devido ao alto custo de manutenção e calibração dos instrumentos de registro de  $H_g$ , os quais são restritos às estações automáticas, (BURIOL et al., 2012; SOUZA; et al., 2017). Para preencher essa lacuna, geralmente utilizam-se modelos de estimativa da  $H_g$ , os quais apresentam diferentes relações funcionais e variáveis de entrada como: temperaturas máxima e mínima, amplitude térmica e precipitação. Opta-se pela inclusão de dados comumente disponíveis nas estações meteorológicas, inclusive as de terceira classe (WMO, 2008; BURIOL et al., 2012). Devido a variação temporal, espacial e sazonal de  $H_g$ , é necessário que estimativas sejam realizados para cada região e época do ano (BURIOL et al., 2012).

O presente trabalho tem como objetivo validar sete modelos empíricos baseados na temperatura-precipitação para a estimativa da  $H_g$  para a Campos do Jordão (SP) em duas épocas do ano: Primavera/Verão e Outono/Inverno.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizaram-se dados diários de temperatura do ar máxima ( $T_{máx}$ ; °C), mínima ( $T_{min}$ ; °C), precipitação (P; mm) obtidos da estação meteorológica convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e dados horários de radiação solar global ( $H_g$ ; MJ.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>), provenientes automática do Sistema Integrado de Dados Ambientais (SINDA) e disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) localizadas na cidade de Campos do Jordão (22° 43' 04" S; 45° 34' 04" W; 1590 m) para o período de fevereiro de 2000 a dezembro 2014. A série de dados possuía falhas nos campos de  $T_{máx}$  e  $T_{min}$ , que foram preenchidas pelos modelos de regressão linear:  $T_{máx} = 0,4653 * T_{min} + 16,060$  e  $T_{min} = 0,4463 * T_{máx} + 0,7190$ , os quais foram previamente ajustados para Campos do Jordão.

Primeiramente, os valores horários de  $H_g$  foram acumulados diariamente (MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>) e os valores menores que 1,5 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> foram excluídos, por não serem realísticos (Monteiro, 2017). Posteriormente, foi realizada uma análise de consistência, levando em consideração os critérios de Liu et al. (2009), onde desconsidera-se:

- 1) Dados faltantes para quaisquer uma das variáveis;
- 2)  $T_{máx} < T_{min}$ ;
- 3) Quando  $H_g$  eram inconsistentes ( $H_g >$  radiação no topo da atmosfera).

Os dados foram divididos em dois conjuntos independentes, sendo o primeiro utilizado para o ajuste (2000 – 2008) dos modelos (Tabela 1) e o segundo para a validação do desempenho (2009 – 2014). O ajuste foi realizado sazonalmente para dois períodos: Primavera/Verão (PV - 23/09 a 20/03) e Outono/Inverno (OI - 21/03 a 22/09), considerando o período de 2000 a 2008. Para o ajuste utilizou o software Statistica (versão 8), através do procedimento *nonlinear estimation* pelos métodos dos Mínimos Quadrados e Perda de Função, segundo Gauss-Newton (STATSOFT, 2008).

Tabela 1: Modelos empíricos utilizados na estimativa da radiação solar global para campos do Jordão (2000-2008).

|   | Sigla do modelo (Autor)       | Modelo   |
|---|-------------------------------|--|
| 1 | BRC (BRISTOW; CAMPBELL, 1984) | $H_g = b_0(1 - \exp(-b_1 \Delta T^{b_2}))H_0$  |
| 2 | HU1 (HUNT et al., 1998)       | $H_g = b_0(\sqrt{\Delta T})H_0 + b_1$  |
| 3 | HU2 (HUNT et al., 1998)       | $H_g = b_0(\sqrt{\Delta T})H_0 + b_1 T_{max} + b_2 P + b_3 P^2 + b_4$                  |
| 4 | HAR (HARGREAVES, 1981)        | $H_g = b_0(\sqrt{\Delta T})H_0$  |
| 5 | GO (GOODIN et al., 1999)      | $H_g = b_0 \left( 1 - \exp \left( -b_1 \frac{\Delta T^{b_2}}{H_0} \right) \right) H_0$ |
| 6 | DJS (DE JONG; STEWART, 1993)  | $H_g = b_0 \Delta T^{b_1} (1 + b_2 P + b_3 P^2) H_0$                                   |
| 7 | CHEN (CHEN et al., 2004)      | $H_g = (b_0 \sqrt{\Delta T} + b_1) H_0$  |

$H_g$  - radiação solar global (MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>);  $H_0$  - radiação solar no topo da atmosfera (MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>), dado por:  $H_0 = 0,0864 * \pi * 1367 * (d/D)^2 * [(H * \sin \phi * \sin \delta) + (\cos \phi * \cos \delta * \sin H)]$ ; em que  $(d/D)^2$  é a distância média Terra-Sol (km), dado por:  $(d/D)^2 = 1 + 0,033 * \cos(NDA * 360/365)$ ;  $NDA$  - número do dia do ano;  $H$  - ângulo horário do nascer

do Sol (graus), dado por:  $H = \cos(-\tan\phi * \tan\delta)$ ;  $\phi$  - latitude (graus);  $\delta$  - declinação solar (radianos), dado por:  $\delta = 23,45 * \sin(360 * (284 + NDA) / 365)$ ;  $T_{max}$  - temperatura máxima do dia (°C);  $T_{min}$  - temperatura mínima do dia (°C);  $P$  - precipitação diária (mm);  $\Delta T$  - amplitude térmica (°C), dado por:  $\Delta T = T_{max} - T_{min}$ ;  $b_0, b_1, b_2, b_3$  e  $b_4$  - coeficientes de calibração dos modelos (adimensional).

A qualidade do ajuste foi avaliada pelas estatísticas:

1) Raiz do quadrado médio do erro (RQME), que representa o erro médio do modelo, sendo que, quanto menor o seu valor, melhor foi o desempenho do modelo (Equação 1) (STRECK et al., 2008).

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_i^{nd} (e_i - o_i)^2}{nd}} \quad (1)$$

2) BIAS, que fornece a tendência do modelo em superestimar (valores positivos) e subestimar (valores negativos), por isso, quanto mais próximo de zero, melhor será a performance do modelo (Equação 2) (MARTINS et al., 2014).

$$BIAS = \frac{\sum_i^{nd} e_i - \sum_i^{nd} o_i}{\sum_i^{nd} o_i} \quad (2)$$

3) coeficiente de correlação ( $r$ ), que determina o grau de associação entre os dados observados e estimados e, assim, quanto mais próximo de 1, melhor o desempenho do modelo (Equação 3) (MARTINS; STRECK, 2007).

$$r = \frac{\sum_i^{nd} (e_i - \bar{e})(o_i - \bar{o})^2}{\sum_i^{nd} (e_i - \bar{e})^2 \sum_i^{nd} (o_i - \bar{o})^2} \quad (3)$$

4) Índice de concordância de Willmott ( $d$ ) representa a concordância entre estimado e observado, quanto mais próximo de 1, melhor o modelo (Equação 4) (WILLMOTT, 1981).

$$d = 1 - \frac{\sum_i^{nd} (e_i - o_i)^2}{\sum_i^{nd} (|e_i - \bar{o}| + |o_i - \bar{o}|)^2} \quad (4)$$

Em que:  $e_i$  representa o dado estimado por cada s modelo;  $\bar{e}$  corresponde à média dos valores estimados;  $o_i$  representa o dado observado;  $\bar{o}$  é a média dos valores observados e  $nd$  representa a quantidade de dados da série analisada.

Além das estatísticas, foi verificada a significância dos coeficientes pelo teste t ( $\alpha=0,05$ ). E para a escolha do melhor modelo foi utilizado o valor ponderado (VP) dos escores estatísticos, no qual é dado pesos em cada estatística (1 a 7 do melhor para o pior modelo) e define a eficiência de cada modelo (MARTINS et al., 2014; TEKE et al., 2015). Quanto menor o valor de VP, melhor o modelo.

Por brevidade, os 3 modelos que apresentaram melhores ajustes (menor valor de VP) foram selecionados para proceder a validação, que foi realizada considerando um conjunto independente (2009 a 2014). A validação foi realizada pelas estatísticas BIAS, RQME,  $d$  e  $r$  e por análise visual dos gráficos dos valores estimados e observados de  $H_g$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A porcentagem de omissões dos dados observados de  $H_g$  foi maior na PV (47,26%) comparado ao OI (9,67%). Essas perdas, majoritariamente, se deram pela ausência de dados observados de  $T_{max}$  e  $T_{min}$  simultaneamente, e portanto, foram retirados da série de dados do ajuste e validação.

Houve variabilidade sazonal das variáveis de entrada (Tabela 2), os quais são coerentes devido ao deslocamento da Alta Subtropical do Atlântico Sul que altera o padrão sazonal da nebulosidade influenciando nos valores das variáveis  $T_{máx}$ ,  $T_{mín}$ ,  $P$ , e, conseqüentemente,  $H_g$  (ADARAMOLA et al., 2012). A nebulosidade altera a absorvância da atmosfera para onda longa e onda curta, influenciando diretamente na amplitude térmica diária (YAMASOE e CORRÊA, 2016). Isso pode ser observado na

PV, período com maior cobertura de nuvens (REBOITA, et al., 2009), justamente o qual apresenta menor amplitude térmica (~6,9 °C).

Tabela 2: Médias Sazonais da radiação solar global ( $H_g$ ), radiação solar no topo da atmosfera ( $H_0$ ), Temperaturas máximas ( $T_{máx}$ ) e mínimas ( $T_{min}$ ) e precipitação (P) para Campos do Jordão 2000-2014.

|                 | $H_g$<br>[MJ.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> ] | $H_0$<br>[MJ.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> ] | $T_{máx}$<br>[°C] | $T_{min}$<br>[°C] | P<br>[mm] |
|-----------------|---|---|-------------------|-------------------|-----------|
| Primavera/Verão | 15,3  | 40,2  | 22,3              | 15,4              | 836,8     |
| Outono/Inverno  | 12,8  | 27,2  | 19,3              | 11,9              | 320,8     |

A qualidade do ajuste foi considerada fraca ( $d < 0,65$ ) para todos os modelos, com valores de r variando de 0,0677 a 0,2648; d de 0,4154 a 0,6365; RQME de 4,0069 a 8,4488 MJ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>; BIAS de 0 a 0,3719 (Tabela 3). De modo geral, os índices obtidos foram inferiores ao observado por Borges et al. (2010) para a cidade de Cruz das Almas (BA) e por Souza et al. (2017) para o estado do Mato Grosso. Ademais, houve diferença na qualidade do ajuste dos modelos entre os dois períodos analisados (PV – OI). Os menores valores de VP e consequentemente os melhores modelos para PV foram: GO, BRC e DJS e para o OI foram: HU2, GO e DJS.

Tabela 3: Estatísticas dos sete modelos de estimativa de radiação solar global, coeficientes de calibração e significâncias utilizadas no ajuste para Primavera/Verão e Outono/Inverno de Campos do Jordão (2000 -2008)

| Primavera/Verão |             |            |            |            |    |                       |                         |                        |                       |                        |
|-----------------|-------------|------------|------------|------------|----|-----------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
|                 | BIAS        | RQME       | r          | d          | VP | b0                    | b1                      | b2                     | b3                    | b4                     |
| BRC             | -0,0554 (6) | 5,6173 (3) | 0,1903 (2) | 0,6054 (2) | 13 | 0,5023*               | 0,0106*                 | 2,8081*                | -                     | -                      |
| HU1             | 0,0013 (1)  | 5,8158 (6) | 0,1208 (6) | 0,4164 (6) | 19 | 0,1730 <sup>(s)</sup> | -1,4865 <sup>(ns)</sup> | -                      | -                     | -                      |
| HU2             | 0,0013 (1)  | 5,7861 (5) | 0,1289 (5) | 0,4503 (5) | 16 | 0,0098 <sup>(s)</sup> | 0,9179 <sup>(s)</sup>   | -0,1647 <sup>(s)</sup> | 0,0020 <sup>(s)</sup> | -5,1524 <sup>(s)</sup> |
| HAR             | 0,0015 (2)  | 5,8173 (7) | 0,1204 (7) | 0,4154 (7) | 23 | 0,1580 <sup>(s)</sup> | -                       | -                      | -                     | -                      |
| GO              | -0,0070 (5) | 5,5678 (1) | 0,2002 (1) | 0,6065 (1) | 8  | 0,5140*               | 0,4902*                 | 2,6950*                | -                     | -                      |
| DJS             | -0,0017 (3) | 5,6095 (2) | 0,1818 (3) | 0,5505 (3) | 11 | 0,1521 <sup>(s)</sup> | 0,5587 <sup>(s)</sup>   | -0,0151 <sup>(s)</sup> | 0,0002 <sup>(s)</sup> | -                      |
| CHEN            | -0,0032 (4) | 5,7810 (4) | 0,1327 (4) | 0,4862 (4) | 16 | 0,2163 <sup>(s)</sup> | -0,1439 <sup>(s)</sup>  | -                      | -                     | -                      |
| Outono/Inverno  |             |            |            |            |    |                       |                         |                        |                       |                        |
|                 | BIAS        | RQME       | r          | d          | VP | b0                    | b1                      | b2                     | b3                    | b4                     |
| BRC             | -0,0074 (4) | 4,5672 (6) | 0,0677 (6) | 0,4539 (7) | 23 | 0,4930 <sup>(s)</sup> | 2,7019 <sup>(s)</sup>   | 8,7226 <sup>(s)</sup>  | -                     | -                      |
| HU1             | 0,0000 (1)  | 4,3514 (4) | 0,1329 (4) | 0,4628 (6) | 15 | 0,1108 <sup>(s)</sup> | 6,4732 <sup>(s)</sup>   | -                      | -                     | -                      |
| HU2             | 0,0000 (1)  | 4,0069 (1) | 0,2648 (1) | 0,6365 (1) | 4  | 0,0304 <sup>(s)</sup> | 0,5519 <sup>(s)</sup>   | -0,2286 <sup>(s)</sup> | 0,0034 <sup>(s)</sup> | 1,1323 <sup>(ns)</sup> |
| HAR             | -0,0262 (6) | 4,6081 (7) | 0,1329 (4) | 0,5910 (4) | 21 | 0,2068 <sup>(s)</sup> | -                       | -                      | -                     | -                      |
| GO              | -0,0058 (2) | 4,1706 (2) | 0,2116 (2) | 0,6235 (2) | 8  | 0,5836*               | 2,7136*                 | 1,8324*                | -                     | -                      |
| DJS             | -0,0061 (3) | 4,2122 (3) | 0,1967 (3) | 0,6100 (3) | 12 | 0,3718 <sup>(s)</sup> | 0,1921 <sup>(s)</sup>   | -0,0269 <sup>(s)</sup> | 0,0004 <sup>(s)</sup> | -                      |
| CHEN            | -0,0090 (5) | 4,4377 (5) | 0,1214 (5) | 0,5391 (5) | 20 | 0,0969 <sup>(s)</sup> | 0,2655 <sup>(s)</sup>   | -                      | -                     | -                      |

(s) Valores significativos pelo teste t ( $\alpha=0,05$ ). (ns) Valores não significativos pelo teste t ( $\alpha=0,05$ ). - Não foi possível estimar a significância. Os valores entre parênteses, ao lado das estatísticas, representam o valor ponderado dos escores estatísticos (VP), em que 1 representa o melhor modelo e 7 representa o pior modelo. Modelos: BRC – Bristow & Campbell (1984); HU1 – Hunt et al. (1998); HU2 – Hunt et al. (1998); HAR – Hargreaves et al. (1981); GO – Goodin et al. (1999); DJS – De Jong e Stewart (1993); CHEN – Chen et al. (2004).

Em teoria, os modelos dependentes da P deveriam ser mais eficientes no PV quando comparado ao OI, principalmente para as cidades da região Sudeste. Essa justificativa é esperada em função da característica de monção da região de estudo (VERA, et al., 2006; REBOITA et al., 2009). Entretanto, ocorreu justamente o oposto, ou seja, os modelos com a inclusão da P obtiveram os piores ajustes, semelhantes ao observado por Liu et al. (2009), Silva et al. (2012), Monteiro (2017) e Souza et al. (2017), em que os modelos HU2 e DJS (dependentes da P) não obtiveram boas estimativas de  $H_g$ . O pior desempenho desses modelos para PV, que representa a estação chuvosa, pode estar atrelado aos erros de calibração dos equipamentos de P, especialmente em regiões com alta variabilidade temporal e espacial em eventos de P de origem convectiva (Souza et al., 2013; Souza et al., 2017), justamente o que ocorre em grande parte da região sudeste, inclusive em Campos do Jordão.

Neste estudo, não foi possível escolher um modelo adequado para estimativa de  $H_g$ , visto que nenhum dos modelos representou bem os valores observados (Tabela 3), principalmente por obterem valores de  $d < 0,65$ , o qual é considerado o limiar desejável (Martins et al., 2014). Além disso, há grande quantidade de falhas na série de dados para o período, fato que pode ter corroborado para este resultado. Mesmo assim, optou-se por realizar a validação dos modelos BRC, GO e DJS para o PV e HU2, GO e DJS para o OI (Figura 1 e Tabela 4).

Tabela 4: Validação dos três melhores modelos para estimativa de radiação solar global para Primavera/Verão e Outono/Inverno de Campos do Jordão (2009 – 2014).

|     | Primavera/Verão |            |            |            |    |
|-----|-----------------|------------|------------|------------|----|
|     | BIAS            | RQME       | r          | d          | VP |
| BRC | 0,2261 (1)      | 6,7629 (1) | 0,0847 (3) | 0,5383 (1) | 6  |
| GO  | 0,2414 (2)      | 6,9012 (2) | 0,0868 (2) | 0,5383 (1) | 7  |
| DJS | 0,3719 (3)      | 8,4488 (3) | 0,1361 (1) | 0,5156 (2) | 9  |
|     | Outono/Inverno  |            |            |            |    |
|     | BIAS            | RQME       | r          | d          | VP |
| HU2 | 0,1621 (1)      | 5,0171 (1) | 0,1609 (2) | 0,5592 (2) | 6  |
| GO  | 0,2719 (3)      | 5,7779 (3) | 0,1241 (3) | 0,5407 (3) | 12 |
| DJS | 0,2572 (2)      | 5,5153 (2) | 0,1909 (1) | 0,5846 (1) | 6  |

Já para o PV, o modelo que apresentou melhor validação do desempenho foi BRC (Tabela 4), similar ao observado por Silva et al. (2012) para o noroeste de Minas Gerais e por Souza et al. (2017) para os diferentes biomas do estado do Mato Grosso. De maneira geral, os modelos subestimam para valores acima de  $20 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  e superestimam para valores abaixo de  $10 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , similar ao observado por Monteiro (2017) em várias localidades de Minas Gerais.

Isto se deve a limitação dos modelos em estimar a  $H_g$  abaixo e acima destes patamares, devido a concentração majoritária dos dados de  $H_g$  entre  $10$  a  $20 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , ou seja, em torno da média, favorecendo a redução de valores extremos (Monteiro, 2017). Apesar dos autores (Souza et al., 2017; Silva et al., 2012; Borges et al., 2010; Liu et al., 2009) não encontrarem justificativa para isso, a porcentagem de dados que estão dentro desses limiares é alta. Além disso, justifica a necessidade de melhorias nas formulações dos modelos (correções nas relações funcionais e inclusão de novas variáveis) na tentativa de obter melhor desempenho nas estimativas, assim como a necessidade de equipar melhor as estações meteorológicas existentes e calibrar constantemente os sensores presentes nas estações meteorológicas automáticas, melhorando a qualidade dos dados observacionais.

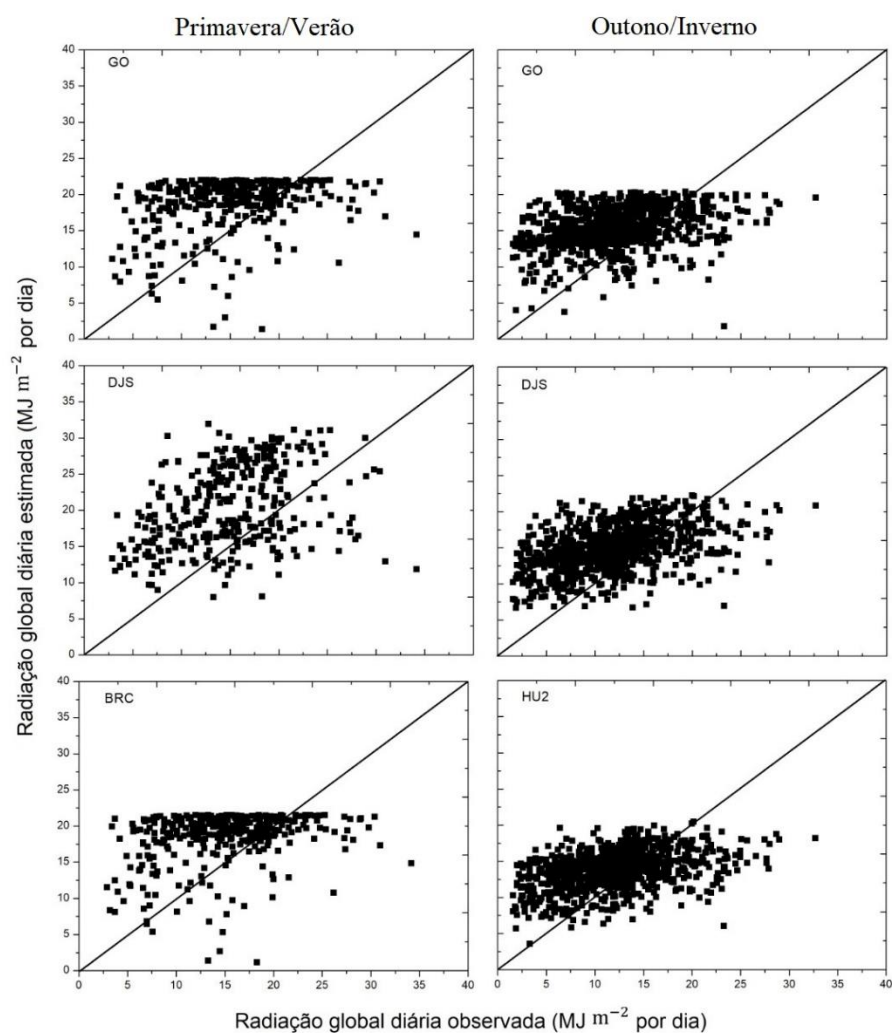


Figura 1: Radiação solar global estimada versus observada ( $\text{MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ) para Campos do Jordão, SP, durante Primavera/Verão e Outono/Inverno (2009 – 2014).

Dessa forma, para o PV o modelo de melhor ajuste e validação foi o BRC (Tabela 4), porém visualmente, o melhor modelo foi o DJS, que consideram temperatura e precipitação como variáveis de entrada para a estimativa da radiação solar global, corroborando para a conclusão de que há uma relação funcional entre as variáveis em questão.

## CONCLUSÕES

É necessário calibrar os coeficientes dos modelos de estimativa de radiação solar global sazonalmente para a mesma região, visto haver diferenças da radiação solar global para Primavera/Verão e Outono/Inverno em Campos do Jordão. O modelo que obteve melhor desempenho para Primavera/Verão foi DJS, enquanto que no Outono/Inverno não foi possível a escolha de um modelo.

## REFERÊNCIAS

- ADARAMOLA, M. S. Estimating Global Solar Radiation Using Common Meteorological Data In Akuri, Nigeria. **Renewable Energy**. v.47, p.38-44, 2012.
- ANDRADE, W. M.; LIMA, E. A.; RODAL, M. J. N.; ENCARNAÇÃO, C. R. F.; PIMENTEL, R. M. M. Influência Da Precipitação Na Abundância De Populações De Plantas Da Caatinga. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 26, n. 2, ago. 2009.
- BRISTOW, K. L.; CAMPBELL, G. S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.31, p.159- 166, 1984.
- BORGES, V. P.; DE OLIVEIRA, A. S.; COELHO FILHO, M. A.; DA SILVA, T S. M.; PAMPONET, B. M. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grandev. 14, n. 1, p. 74–80, 2010.
- ESTEFANE, V.; HELDWEIN, A. B.; PRESTES, S. D.; HORN, J. F. C. Estimativa da radiação solar global a partir dos dados de insolação, para Santa Maria - RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1563-1567, set. 2012.
- CHEN, R.; ERSI, K.; YANG, J.; LU, S.; ZHAO, W. Validation of five global radiation models with measured daily data in China. **Energy Conversion and Management**, v.45, p.1759-1769, 2004. DOI: 10.1016/j.enconman.2003.09.019.
- DALMAGO, G. A.; DA CUNHA, G. R.; SANTI, A.; PIRES, J. L. F.; MÜLLER, A. L.; BOLIS, L. M. Aclimação ao frio e dano por geada em canola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, p. 933-943, set. 2010.
- DE JONG, R.; STEWART, D.W. Estimating global solar radiation from common meteorological observations in western Canada. **Canadian Journal of Plant Science**, v.73, p.509-518, 1993.
- FERNANDES, D. S.; FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; AMORIM, A. O.; DA PAZ, R. L. Estimativa da Radiação Solar Global com Base em Observações de Temperatura para o Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 558-566 2018.
- GOODIN, D. G.; HUTCHINSON, J. M. S.; VANDERLIP, R. L.; KNAPP, M. C. Estimating solar irradiance for crop modelling using daily air temperature data. **Agronomy Journal**, v.91, p.845- 851, 1999.
- HARGREAVES, G. H. Responding to tropical climates. In: SLATER, L.E. (Ed.). **Food and Climate Review 1980–81**. Boulder: Aspen Institute for Humanistic Studies, 1981. p. 29-32.
- HARTMANN, D. L. **Global physical climatology**. San Diego: Academic Press, 1994. 411p.
- HUNT L, A.; KUCHAR, L.; SWANTON, C. J. Estimation of solar radiation for use in crop modelling. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.91, p.293-300, 1998.
- INMET: **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 28 ago. 2018.
- INPE: **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em: <<http://sinda.cm2.inpe.br/PCD/SITE/novo/site/historico/index.php>>. Acesso em: 28 ago. 2018.



- LEMOS FILHO, L. C. A.; CARVALHO, L. G.; EVANGELISTA, A. W. P.; JÚNIOR, J. A. Análise espacial da influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1294–1303, 2010.
- LIU, X.; XU, Y.; ZHONG, X.; ZHANG, W.; PORTER, J.R.; LIU, W. Calibration of the Angström-Prescott coeficientes (a,b) under diferente time scales and their impacts in estimating global solar radiation in the Yellow River basin. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.149, p.1433-1446, 2009.
- MARTINS, F. B.; PEREIRA, R. A. A.; PINHEIRO, M. V. M.; ABREU, M. C. Desenvolvimento foliar em duas cultivares de oliveira estimada por duas categorias de modelos. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.29, p.505-514, 2014.
- MARTINS, F. B.; STRECK, N. A. Aparecimento de folhas em mudas de eucalipto estimado por dois modelos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.42, p.1091-1100, 2007.
- MATOS, F. S.; GAMBOA, I.; RIBEIRO, R. P.; MAYER, M. L.; NEVES, T. G.; LEONARDO, B. R. L.; DE SOUZA, A. C. Influência da intensidade luminosa no desenvolvimento de mudas de *Jatropha curcas* L. **Agrarian**, Dourados, v. 4, n. 14, p. 265-272, 2011.
- MONTEIRO, A. F. M. **Estimativa Da Radiação Solar Global Para O Estado De Minas Gerais**. 2017. 55 f. Monografia (Graduação em Ciências Atmosféricas) - Universidade Federal De Itajubá, Itajubá, 2017.
- MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos Cultivos**: O fator meteorológico na produção agrícola. Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, Brasília, DF., 1 ed., 530 p., 2009.
- PACIULLO, D. S. C.; CAMPOS, N. R.; GOMIDE, C. A. M. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 917-923, 2008.
- PAIVA, L. C.; GUIMARAES, R. J.; SOUZA, C. A. S. Influência de diferentes níveis de sombreamento sobre o crescimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Ciência agrotecnologia**., Lavras, v. 27, n. 1, p. 134-140, 2003.
- PILLAR, V.D. Clima e vegetação. UFRGS, **Departamento de Botânica**, 1995.
- GAN, M. A.; DA ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, p.185-204, 2010.
- SCORIZA, R. N.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. Influência Da Precipitação E Temperatura Do Ar Na Produção De Serapilheira Em Trecho De Floresta Estacional Em Sorocaba, SP. **Floresta**, s. l., v. 44, n. 4, p. 687-696, dez. 2014. ISSN 1982-4688.
- SILVA, L. L. da; Costa, R. F.; Campos, J. H. B. C.; Dantas, R. T. Influência das precipitações na produtividade agrícola no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 454-461, 2009.
- SILVA, V. J.; CARVALHO, H. P.; DA SILVA, C. R.; CAMARGO, R.; TEODORO, R. E. F. Métodos para estimar radiação solar na região noroeste de Minas Gerais, **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 42, n. 2, p. 276-282, fev. 2012.

SOUZA, A. P. DE; SILVA, A. C.; TANAKA, A. A.; ULIANA, E. M.; ALMEIDA, F. T.; KLAR, A. E.; GOMES, A. W. A. Global radiation by simplified models for state of Mato Grosso, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.7, n. 52, p.215-227, 2017.

SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIN, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, v. 1, p. 34-43, 2013. DOI: 10.14583/2318-7670.v01n01a07.

STATSOFT, INC. **Statistica for windows (data analyses softwares system)**. Version 8.0 2008.

STRECK, N. A.; LAGO, I.; GABRIEL, L. F.; SAMBORANHA, F. K. Simulating maize phenology as a function of air temperature with linear and nonlinear model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.43, p.449-455, 2008.

STRAHLER, A. N.; STRAHLER, A. H. **Geografia Física**, Barcelona: Omega, 3. ed., p. 767, 1997.

TEKE, A.; YILDIRIM, H.B.; ÇELIK, Ö. Evaluation and performance comparison of different models for the estimation of solar radiation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.50, p.1097-1107, 2015.

VERA, C.; AMADOR, J.; AMBRIZZI, T.; GARREAUD, R.; GOCHIS, D.; GUTZLER, D.; LETTENMAIER, D.; MARENGO, J.; MECHOSO, C. R.; NOGUES-PAEGLE, J.; SILVA DIAS, P. L.; ZHANG, C. Toward a Unified View of the American Monsoon Systems. **Journal of Climate**, v. 19, p. 4977-5000, 2006.

WILLMOTT, C. J. On the validation models. **Physical Geography**. v.2, p.184-194, 1981.

YAMASOE, M. A.; CORRÊA, M. P. **Processos radiativos na atmosfera: Fundamentos**. São Paulo: Oficina de Textos, 1 ed., 2016.

YNOUE, R. Y.; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S.; DA SILVA, G. A. M. **Meteorologia: Noções Básicas**. São Paulo: Editora oficina de textos, 1 ed. 2017.