



# CBAGRO 2019

## XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA

12 a 16 de Agosto de 2019 | Universidade Federal de Goiás / Regional Catalão

# ANAIS 2019

### Promoção / Realização / Apoio



### Fomento



### Patrocínio



# FICHA CATALOGRÁFICA

**ANAIS DO XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**  
CATALÃO-GO | 12 A 16 DE AGOSTO DE 2019

## **Edição Técnica**

Rafael de Ávila Rodrigues, Idelvone Mendes Ferreira e Thieres George Freire da Silva

## **Revisão Técnica**

Rafael de Ávila Rodrigues, Idelvone Mendes Ferreira e Thieres George Freire da Silva

*Todos os resumos neste livro foram reproduzidos de cópias fornecidas pelos autores e o conteúdo dos textos é de exclusiva responsabilidade dos mesmos. A organização do referente evento não se responsabiliza por consequências decorrentes do uso de quaisquer dados, afirmações e/ou opiniões inexatas ou que conduzam a erros publicados neste livro de trabalhos. É de inteira responsabilidade dos autores o registro dos trabalhos no conselhos de ética, de pesquisa ou SisGen.*

**Copyright © 2019 - XXI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia | CBAGRO 2019**

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida, arquivada ou transmitida, em qualquer forma ou por qualquer meio, sem permissão escrita da organização do evento.

ALGUNS TRABALHOS ESTÃO SEM AS FIGURAS, POIS O AUTORES NÃO CONSEGUIRAM FAZER O UPLOAD CORRETERANTE,



# ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA COM BASE NA RADIAÇÃO GLOBAL NA TRANSIÇÃO CERRADO-AMAZÔNIA

Mariana Pizzatto<sup>1</sup>; Tamara Zamadei<sup>1</sup>; Soneize Auxiliadora de Miranda<sup>1</sup>; Adilson Pacheco de Souza<sup>2</sup>; Cornélio Alberto Zolin<sup>3</sup>

*Autor para correspondência: marianapizzatto23@gmial.com*

<sup>1</sup>Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT; <sup>2</sup>Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT; <sup>3</sup>Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

## RESUMO

O conhecimento dos níveis da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) é de extrema importância para aplicações biológicas e agrônomicas. O monitoramento desta fração da radiação global ( $H_G$ ) ocorre por meio de sensores que, em geral, apresentam altos custos de aquisição e dificuldades na aferição (calibração). Objetivou-se gerar e validar modelos estatísticos (correlações) para estimativas diárias simplificadas da radiação PAR em função de  $H_G$ , para diferentes condições de cobertura de céu (índice de claridade –  $K_T$ ), no município de Sinop-MT (transição Cerrado-Amazônia). As medidas de  $H_G$  e PAR, entre 08/2013 e 07/2017, foram obtidas da base de dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Agrossilvipastoril. As classes do coeficiente de transmissividade atmosférica ( $K_T$ ) avaliadas foram:  $K_T \leq 0,35$ , nublado;  $0,35 < K_T \leq 0,55$ , céu parcialmente nublado;  $0,55 < K_T \leq 0,65$ , céu parcialmente aberto; e  $K_T > 0,65$ , céu aberto. Para avaliação do desempenho estatístico dos modelos gerados foram empregados os indicativos do erro absoluto médio (MBE), da raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE) e índices de ajustamento (d). O valor diário médio observado para PAR foi de  $7,06 \text{ MJ m}^{-2}$ , com mínimo e máximo de  $0,72$  e  $10,78 \text{ MJ m}^{-2}$ , respectivamente, com média 37% de  $H_G$ . As maiores frações PAR/ $H_G$  ocorreram no período chuvoso, devido às alterações nos processos de absorção e de espalhamento da radiação pelo vapor d'água nas distintas faixas do espectro. Os modelos lineares apresentaram propiciam boas estimativas da PAR, com  $R^2$  acima de 0,9 e bons indicativos estatísticos. Independentemente da cobertura de céu, ocorreram superestimativas da PAR, com menores desvios para céu nublado e parcialmente nublado.

**PALAVRAS-CHAVE:** índice de claridade; coeficiente de transmissividade atmosférica; indicativos estatísticos

## ESTIMATION OF PAR RADIATION BASED ON GLOBAL RADIATION IN THE CERRADO-AMAZON TRANSITION

### ABSTRACT

The knowledge of the levels of photosynthetically active radiation (PAR) is extremely important for biological and agronomic applications. The monitoring of this fraction of the global radiation ( $H_G$ ) occurs through sensors that, in general, present high acquisition costs and difficulties in calibration. Thus, the objective of this study was to obtain and validate statistical models (correlations) for simplified daily estimates of PAR radiation as a function of  $H_G$ , for different sky cover conditions in the municipality of Sinop-MT (Cerrado- Amazon). The measures of  $H_G$  and PAR, between 08/2013 and 07/2017, were obtained from the database of the Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA) Agrosilvopastoral. The classes of the coefficient of atmospheric transmissivity ( $K_T$ ) evaluated were:  $K_T \leq 0.35$ , cloudy;  $0.35 < K_T \leq 0.55$ , partly cloudy sky;  $0.55 < K_T \leq 0.65$ , partly open sky; and  $K_T > 0.65$ , open sky. To evaluate the statistical performance of the models generated, the mean absolute error (MBE), square root mean square error (RMSE) and the adjustment indice (d) were used. The mean daily value observed for PAR was  $7.06 \text{ MJ m}^{-2}$ , with minimum and maximum of  $0.72$  and  $10.78 \text{ MJ m}^{-2}$ , respectively, representing on average 37%

of  $H_G$ . The values of the PAR/ $H_G$  fraction are observed during the rainy season due to changes in the absorption and scattering processes of the water vapor in the different bands of the spectrum. Linear models presented good adjustments, with  $R^2$  above 0.9 and good statistical performance. Independently of the sky cover, it is tended to overestimate the PAR, with smaller deviations for the coverings of cloudy and partially cloudy sky.

**KEY-WORDS:** clearness index; atmospheric transmissivity coefficient; statistical indicators

## INTRODUÇÃO

O conhecimento dos níveis da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) é de extrema importância para estudos biológicos e agrônômicos que envolvem o crescimento e desenvolvimento das plantas (WOODWARD, 1983; RAO, 1984). Compreendida entre 400 e 700nm na faixa espectral, esta fração da radiação global é amplamente utilizada no processo fotossintético, podendo ser expressa em termos de irradiância solar ( $W m^{-2}$ ) ou densidade de fluxo de fótons fotossintéticos ( $\mu mol m^{-2} s^{-1}$ ) (KATHILANKAL et al., 2014).

Apesar de sua relevância, as medidas in situ da PAR são escassas devido as dificuldades e altos custos envolvidos na aquisição e manutenção de sensores, o que leva pesquisadores e profissionais a obterem seu valor por meio de métodos de estimativa (WANG et al., 2016). Tais modelos podem ser classificados em três categorias: físicos, empíricos e baseados em imagens de satélite. Uma série de modelos empíricos com base na relação entre a PAR e a radiação global ( $H_G$ ) foram desenvolvidos e, em geral, apresentam as vantagens de serem simples e de fácil utilização. A desvantagem é que geralmente são restritos às condições climáticas locais e não podem ser utilizados em áreas onde não há medidas disponíveis (NYAMSI et al., 2015; SUN et al., 2017; WENJUN, et al., 2017).

A proporção real PAR/ $H_G$  depende da cobertura do céu e das propriedades ópticas da atmosfera, sendo fortemente afetada pela presença de nuvens. Suas partículas são responsáveis por processos de dispersão que afetam mais acentuadamente os comprimentos de onda mais curtos, que incluem a faixa espectral da PAR (ALADOS et al., 2000; HU et al., 2016). Portanto, o coeficiente de transmissividade atmosférica ( $K_T$ ), razão entre  $H_G$  e a radiação no topo da atmosfera ( $H_0$ ), tem sido amplamente empregado como parâmetro de estimativa (AL-SHOOSHAN, 1997; TSUBO & WALKER, 2005).

O Estado de Mato Grosso, em especial a região Médio-Norte, destaca-se a nível nacional pela produção de grãos. A ciência dos níveis da PAR incidente nos locais de plantio gera informações que permitem o manejo adequado das culturas, proporcionando maior qualidade no uso dessa radiação e, conseqüentemente, maior produtividade, dada a correlação direta dessa característica com a eficiência fotossintética (PETTER et al., 2016).

## OBJETIVOS DO TRABALHO

O presente estudo objetivou estimar a radiação solar fotossinteticamente ativa em função da radiação global para diferentes coberturas de céu no município de Sinop-MT, região de transição Cerrado-Amazônia do Mato Grosso.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados de radiação solar global ( $H_G$ ) e fotossinteticamente ativa (PAR) foram obtidos junto à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Agrossilvipastoril, provenientes de estação meteorológica automática localizada no município de Sinop-MT (latitude:  $-11^{\circ}51'42.6''$ , longitude:  $-55^{\circ}36'45.1''$ , altitude 370m). A série de dados estudada compreende de 13/08/2013 a 30/06/2017, sendo que a estação ficou inoperante no período de 28/10/2014 a 07/01/2015.

O clima da região segundo a classificação climática de Köppen é do tipo tropical quente e úmido Aw, caracterizado pela presença de duas estações bem definidas: chuvosa (outubro a abril) e seca (maio a setembro).

Para estimativa da PAR nas diferentes coberturas de céu foram calculados os valores de transmissividade atmosférica ( $K_T$ ) diários, razão entre  $H_G$  e a irradiação no topo da atmosfera ( $H_0$ ). Posteriormente, estabeleceu-se a classificação da cobertura de céu em função de  $K_T$  proposta por Escobedo et al. (2009), a qual dispensa o uso de dados de radiação direta e/ou difusa, e considera os tipos de condição de céu expostos na Tabela 1.

**Tabela 1:** Classificação da cobertura de céu em função de  $K_T$ .

Classe	Intervalo de $K_T$	Cobertura de céu
1	$0 \leq K_T < 0,35$	Nublado
2	$0,35 \leq K_T < 0,55$	Parcialmente nublado
3	$0,55 \leq K_T < 0,65$	Parcialmente aberto
4	$K_T \geq 0,65$	Aberto

Foram avaliadas as correlações entre  $H_G$  e PAR, e geradas equações de estimativa para os agrupamentos de dados anual e nas classes de  $K_T$ , com suas respectivas validações; sendo a equação anual também validada dentro de cada agrupamento de cobertura de céu. Para tanto, na geração das equações foram empregados dados referentes aos anos de 2013, 2014, 2015 e 2017 (contabilizando 973 dias com medidas), enquanto que para a validação foram utilizados os dados do ano de 2016 (365 dias sem falhas).

Na avaliação do desempenho estatístico das equações foram empregados os indicativos MBE, RMSE e índice de ajustamento “d” de Willmott (Eqs. 1, 2 e 3).

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{N} \quad (\text{eq. 1})$$

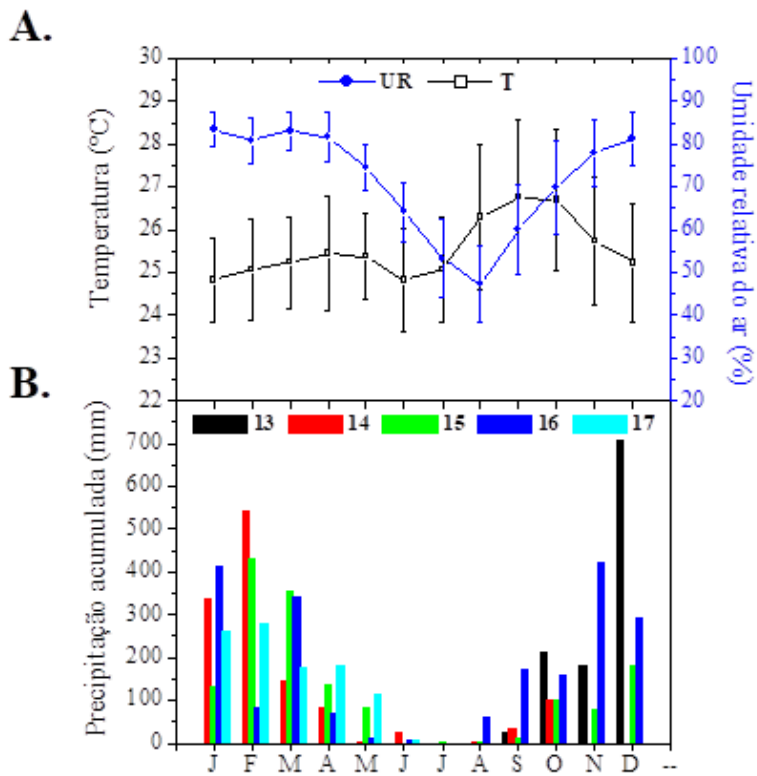
$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{eq. 2})$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i| + |O_i|)^2} \quad (\text{eq. 3})$$

em que:  $P_i$  - valores estimados;  $O_i$  - valores medidos;  $N$  - número de observações; - valor absoluto da diferença ; - valor absoluto da diferença .

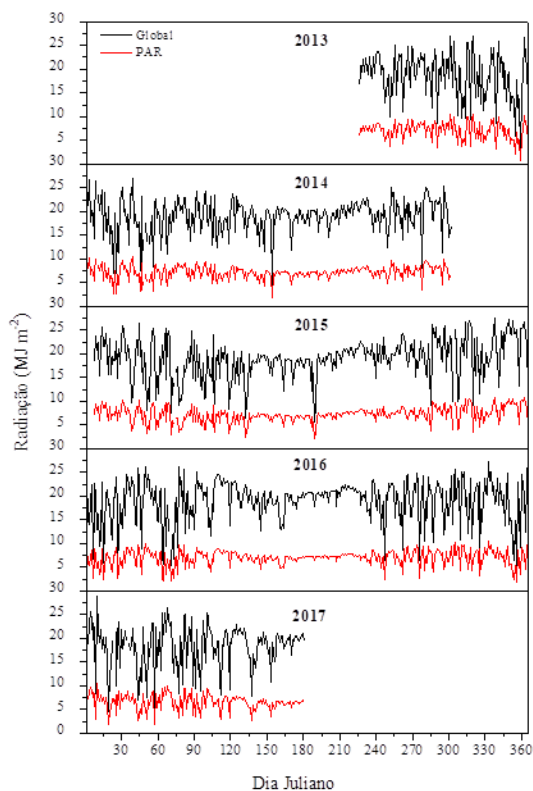
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias mensais da temperatura e umidade relativa do ar, e os totais de precipitação observados no local de estudo são expostos na Figura 1. As temperaturas médias mensais oscilaram entre 24,8°C e 26,8°C, com valor médio anual de 25,6°C, e a umidade relativa do ar atingiu médias mínimas e máximas mensais de 47,2 e 83,5% em agosto e janeiro, respectivamente.



**Figura 1:** Evolução média anual da temperatura e umidade relativa do ar (A), e da precipitação acumulada (B) para a região de Sinop-MT, entre 13/08/2013 e 30/06/2017.

A Figura 2 apresenta os valores diários de  $H_G$  e PAR ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) ao longo dos anos de 2013 a 2017. Os valores diários médios observados para  $H_G$  e PAR foram de 18,88 e  $7,06 \text{ MJ m}^{-2}$ , sendo os mínimos de 2,00 e  $0,72 \text{ MJ m}^{-2}$  e máximos de 28,82 e  $10,78 \text{ MJ m}^{-2}$ , respectivamente.

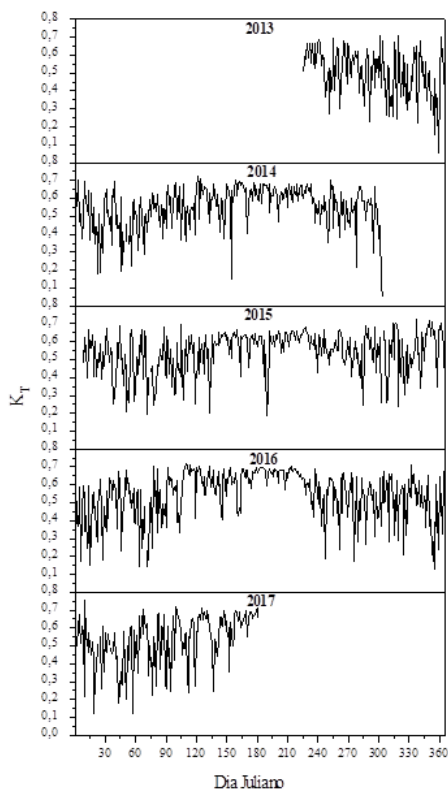


**Figura 2:** Valores diários de  $H_G$  e PAR ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) na região de Sinop-MT, entre 12/08/2013 a 30/06/2017.



Através do cálculo de  $K_T$  é possível observar como a composição atmosférica interfere na transmissão da radiação global (Figura 3). Os maiores valores predominam durante o período de seca (outono/inverno), quando há baixos índices pluviométricos.

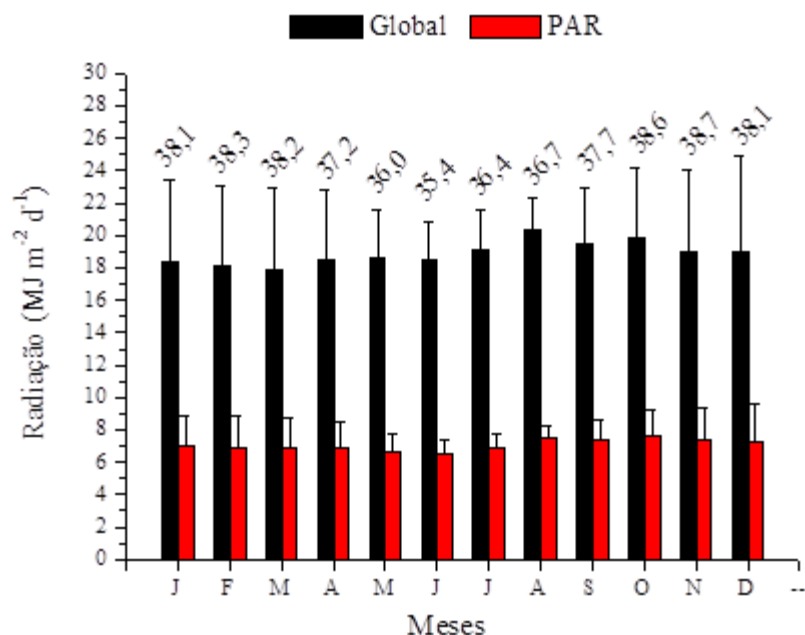
O comportamento das radiações global e fotossinteticamente ativa ao longo do ano, assim como as porcentagens médias mensais da razão  $PAR/H_G$  são exibidos na Figura 4. Os maiores valores de  $H_G$  ocorrem no período seco, enquanto que da PAR podem ser observados no período chuvoso. Tais valores podem ser explicados pelo fato da PAR corresponder à maiores frações de  $H_G$  durante as chuvas. A radiação fotossinteticamente ativa atinge média mensal diária mínima no mês de junho ( $6,52 \text{ MJ m}^{-2}$ ) e máxima em outubro ( $7,65 \text{ MJ m}^{-2}$ ).



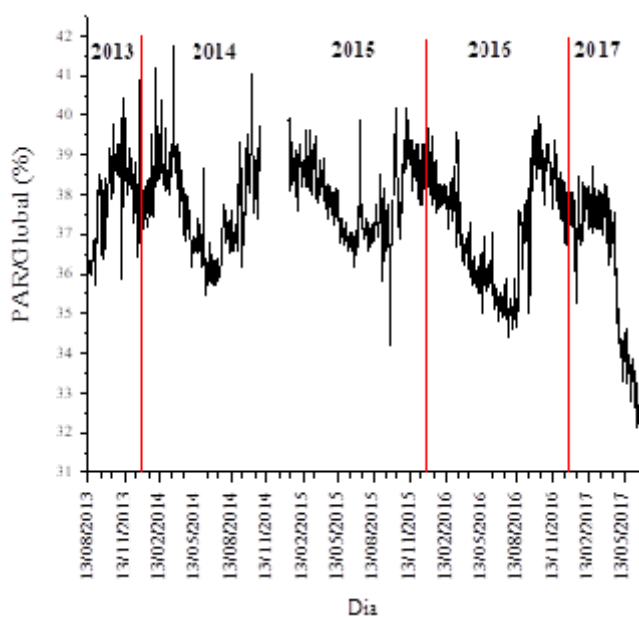
**Figura 3:** Coeficiente de transmissividade atmosférica ( $K_T$ ) na região de Sinop-MT, entre 12/08/2013 a 30/06/2017.

Os maiores desvios são observados no período chuvoso, com máximos em dezembro, devido a índices pluviométricos acima do normal no ano de 2013, como pode ser observado na Figura 1B, que afetam diretamente a quantidade de radiação solar que atinge a superfície terrestre. De acordo com Zamadei (2015), as médias mensais diárias de  $H_G$ , e consequentemente PAR, para o mês de setembro encontram-se abaixo da curva esperada pelas variações astronômicas devido ao fato de a região apresentar intensa atividade de queimadas neste mês, e, portanto, maior concentração de aerossóis na atmosfera.

A radiação fotossinteticamente ativa representa de 32,1 a 41,7% da radiação que atinge a superfície terrestre, sendo que as maiores porcentagens são observadas durante o período chuvoso (Figura 5).



**Figura 4:** Valores médios mensais diários de  $H_G$  e PAR ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) e porcentagem média mensal da razão PAR/ $H_G$ , na região de Sinop-MT, entre 12/08/2013 a 30/06/2017.



**Figura 5:** Fração diária da radiação PAR/Global (%) na região de Sinop-MT, entre 12/08/2013 a 31/12/2016.

Observa-se dependência da fração PAR/Global em função da sazonalidade ao longo do ano. Demais autores também chegaram a tal constatação, e atribuem este fato principalmente às alterações dos processos de absorção e de espalhamento da radiação solar global pelo vapor d'água nas distintas faixas do espectro. Além deste, o efeito dos aerossóis também apresenta grande influência, enquanto que a quantidade de ozônio e o albedo desempenham um papel menor na interação (RAO, 1984; JACOVIDES et al., 2003; STEIDLE NETO et al., 2006).

Percebe-se que a PAR representou em média 37% do total da irradiância global incidente em superfície. No Estado de São Paulo, em estudos realizados por Galvani (2009), e Gomes e Escobedo (2003), foram encontradas médias de 44,6 e 48% para São Paulo e Botucatu, respectivamente.



Com a classificação dos dias de acordo com a cobertura do céu pôde-se observar que as médias de  $H_G$  e PAR que atingem a superfície terrestre e a relação PAR/ $H_G$  aumentam conforme a elevação de  $K_T$ , com menores desvios para céu parcialmente aberto ( $0,55 \leq K_T < 0,65$ ). Os valores encontrados em cada classe são exibidos na Tabela 2.

**Tabela 2:** Médias diárias e os respectivos desvios observados para  $H_G$  e PAR no período de estudo, na região de Sinop-MT.

Classe	$H_G$ ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ )	PAR ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ )	PAR/ $H_G$ (%)
1	9,62 ± 2,52	3,69 ± 0,96	38,3
2	17,19 ± 2,26	6,51 ± 0,92	37,8
3	20,86 ± 1,97	7,80 ± 0,92	37,3
4	22,59 ± 2,26	8,25 ± 1,17	36,4

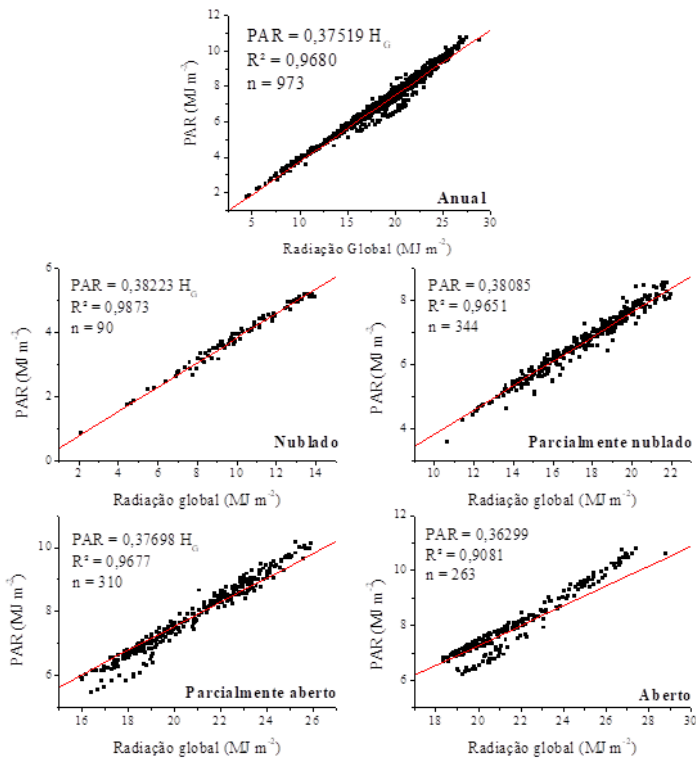
Na correlação  $H_G$  x PAR os pontos dos gráficos foram ajustados a curvas lineares; tal ajuste foi escolhido por ter maior representatividade na literatura (ASSIS & MENDEZ, 1989; TEIXEIRA et al., 1998; STEIDLE NETO et al., 2008; MANICOBA et al., 2014). Efetuou-se a partição dos dados nos agrupamentos anual e em função da cobertura do céu ( $K_T$ ), sendo assim foram determinadas equações de estimativa para dias de céu aberto, parcialmente aberto, parcialmente nublado e nublado, obtendo-se os coeficientes apresentados na Figura 6.

Os modelos apresentaram ótimos ajustes, com  $R^2$  acima de 0,9 ( $p < 0,0001$ ). As equações foram validadas utilizando-se a base de dados referente ao ano de 2016, nos agrupamentos anual e diferentes índices de cobertura de céu ( $K_T$ ). Nas Tabelas 3 e 4 são descritos os valores médios diários observados e estimados da PAR para cada período, e os valores dos indicativos estatísticos das equações geradas a partir da correlação  $H_G$  x PAR nos diferentes agrupamentos, respectivamente.

Os modelos propostos apresentaram bom desempenho nos indicativos estatísticos. Através da análise do MBE, que representa o desvio das médias, pode-se afirmar que as correlações tenderam a superestimar os valores da PAR. Os menores desvios foram observados para as coberturas de céu nublado e parcialmente nublado.

Foram constatados pequenos valores de espalhamento (RMSE) e valores elevados e próximos a 1 para “d”, os quais reforçam o ótimo desempenho dos modelos.

De maneira geral, as equações geradas para as diferentes coberturas de céu apresentaram melhor estimativa da PAR em relação à equação anual, quando aplicadas nas respectivas classes de  $K_T$ .



**Figura 6:** Equações de estimativa da radiação fotossinteticamente ativa na equipartição diária para a região de Sinop-MT, geradas através da correlação PAR x  $H_G$ .

**Tabela 3:** Valores observados e estimados da PAR para a região de Sinop-MT, a partir de equações geradas através da correlação  $H_G$  x PAR, para o período de 01/01/2016 a 31/12/2016.

Intervalo	Média observada	Média estimada	
		Eq. Anual	Eqs. Classes de KT
$0 \leq KT < 0,35$	3,82	3,76	3,83
$0,35 \leq KT < 0,55$	6,61	6,56	6,66
$0,55 \leq KT < 0,65$	8,02	8,04	8,08
$KT \geq 0,65$	7,74	8,11	7,93
Anual	7,02	7,11	-

**Tabela 4:** Indicativos estatísticos obtidos para as equações geradas a partir da correlação  $H_G$  x PAR, na região de Sinop-MT

Intervalo	Classes			Anual		
	MBE	RMSE	d	MBE	RMSE	d
	(MJ m <sup>-2</sup> )	(MJ m <sup>-2</sup> )		(MJ m <sup>-2</sup> )	(MJ m <sup>-2</sup> )	
$0 \leq KT < 0,35$	0,0137	0,0017	0,9981	-0,0565	0,0121	0,9975
$0,35 \leq KT < 0,55$	0,0498	0,0013	0,9940	-0,0482	0,0062	0,9935

0,55 ≤ KT < 0,65	0,0597	0,0205	0,9831	0,0211	0,0244	0,9834
KT ≥ 0,65	0,1846	0,0267	0,9644	0,3683	0,0047	0,9271
Anual				0,0879	0,0040	0,9996

## CONCLUSÃO / CONCLUSION

A razão PAR/H<sub>G</sub> apresenta variabilidade sazonal, com valores mais elevados durante o período chuvoso devido à interação do vapor d'água com as diferentes faixas do espectro solar.

A radiação fotossinteticamente ativa apresentou ótima correlação com a radiação global, permitindo a obtenção de valores estimados através de modelos lineares e simplificados. Tais modelos podem ser aplicados em localidades com características climáticas semelhantes, em que não há disponibilidade de dados.

## APOIO / ACKNOWLEDGMENT

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro concedido com bolsas de estudos aos alunos de pós-graduação. A Embrapa Agrossilvipastoril pela disponibilidade dos dados utilizados neste trabalho.

## REFERÊNCIAS / REFERENCES

- AL-SHOOSHAN, A. A. Estimation of Photosynthetically Active Radiation under an Arid Climate. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 66, p. 9–13, 1997.
- ALADOS, I.; OLMO, F. J.; FOYO-MORENO, I.; ALADOS-ARBOLEDAS, L. Estimation of photosynthetically active radiation under cloudy conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 102, p. 39–50, 2000.
- ASSIS, F. N. de; MENDEZ, M. E. G. Relação entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 24(7), p. 797-800, 1989.
- ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. **Applied Energy**, London, v. 86, n. 3, p. 299-309, 2009.
- GALVANI, E. Avaliação da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) em São Paulo, SP. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 25, p. 155-164, 2009.
- GOMES, E. N.; ESCOBEDO, J. F. Estimativa horária da radiação fotossinteticamente ativa global, direta e difusa. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 13, 2003, Santa Maria, RS.
- HU, B., LIU, H.; WANG, Y. Investigation of the variability of photosynthetically active radiation in the Tibetan Plateau, China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 240–248, 2016.
- JACOVIDES, C. P.; TYMVIOS, F. S.; ASIMAKOPOULOS, D. N.; THEOFILOU, K. M.; PASHIARDES, S. Global photosynthetically active radiation and its relationship with global solar radiation in the Eastern Mediterranean basin. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 74, Issue 3–4, p. 227–233, 2003.

- KATHILANKAL, J. C.; O'HALLORAN, T. L.; SCHMIDT, A.; HANSON, C. V.; LAW, B. E. Development of a semi-parametric PAR (Photosynthetically Active Radiation) partitioning model for the United States, version 1.0. **Geoscientific Model Development**, Göttingen, v. 7, p. 2477–2484, 2014.
- MANICOBA, R. M.; NUNES, R. L. C.; LIMA, J. G. A.; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; ESPINOLA SOBRINHO, J. RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA VERSUS RADIAÇÃO GLOBAL NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE MACAIBA, RN. In: **INOVAGRI International meeting**, 2014, Fortaleza-CE. Instituto de Pesquisa e Inovação na Agricultura Irrigada, 2014.
- NYAMSI, W. W.; ESPINAR, B.; BLANC, P.; WALD, L. Estimating the photosynthetically active radiation under clear skies by means of a new approach. **Advances in Science & Research**, Lublin, v. 12, p. 5–10, 2015.
- PETTER, F. A.; SILVA, J. A. da; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R.; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A. de. Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 2, p. 173-183, 2016.
- RAO, C. R. N. Photosynthetically Active Components of Global Solar Radiation: Measurements and Model Computations. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, p. 353-364, 1984.
- STEIDLE NETO, A. J.; ZOLNIER, S.; MAROUELLI, W. A.; CARRIJO, O. A. Razão entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global no cultivo do tomateiro em casa-de-vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 626–631, 2008.
- SUN, Z.; HONG, L.; JINGMIAO, L.; GUOPING, S. Estimation of photosynthetically active radiation using solar radiation in the UV–visible spectral band. **Solar Energy**, n. 153, p. 611–622, 2017.
- TEIXEIRA, A. H. de C.; SILVA, B. B. da; AZEVEDO, P. V. de. Estimativa do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa, no município de Petrolina-PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., CONGRESSO DA FLISMET, 8., Brasília. **Anais...** [S.l. : s.n.], 1998. p.19-21.
- TSUBO, M.; WALKER S. Relationships between photosynthetically active radiation and clearness index at Bloemfontein, South Africa. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 80, p. 17–25, 2005.
- ZAMADEI, T. **Radiação global e difusa diária na região de transição Cerrado-Amazônia do Mato Grosso**. 2015. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), UFMT, Sinop, 2015.
- WANG, L.; KISI, O.; ZOUNEMAT-KERMANI, M.; HU, B.; GONG, W. Modeling and comparison of hourly photosynthetically active radiation in different ecosystems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 56, p. 436–453, 2016.
- WENJUN, T.; JUN, Q. KUN, Y.; XIAOLEI, N.; MIN, M.; SHUNLIN, L. An efficient algorithm for calculating photosynthetically active radiation with MODIS products. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 194, p. 146–154, 2017.
- WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Abingdon, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981.
- WOODWARD, F. I. Instruments for the measurement of photosynthetically active radiation and red, far-red and blue light. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v.20, p.103-115, 1983.