

## COEFICIENTES DE ANGSTROM-PRESCOTT PARA A REGIÃO NORTE DO MATO GROSSO: PRIMEIRA APROXIMAÇÃO

Charles Campoe Martim<sup>1</sup>; Adilson Pacheco de Souza<sup>2</sup>; Janaina Paulino<sup>2</sup>;  
Frederico Terra de Almeida<sup>2</sup>; Kelte Resende Arantes<sup>2</sup>;

<sup>1</sup>Bolsista do Programa Jovens Talentos para a Ciência/CAPES, Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, UFMT, Campus, Sinop, Av. Alexandre Ferronato 1200, Distrito Industrial, Cep: 78557-267, Sinop, MT, Brasil. E-mail: [charleschp2011@hotmail.com](mailto:charleschp2011@hotmail.com)

<sup>2</sup>Professor Adjunto, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, UFMT, Sinop – MT. E-mail: [adilsonpacheco@ufmt.br](mailto:adilsonpacheco@ufmt.br)

Apresentado no  
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014  
27 a 31 de julho de 2014 – Campo Grande - MS

**RESUMO:** Objetivou-se avaliar ajustar e avaliar os coeficientes lineares e angulares da correlação diária entre o coeficiente de transmissividade atmosférica e da razão de insolação (n/N), em agrupamentos de mensais, sazonais e anuais, para o município de Sinop (11,85° S; 55,56° W; 371m de altitude), Mato Grosso, no período de 10/2010 a 12/2013. Na avaliação do desempenho estatístico foram empregados os indicativos estatísticos: erro relativo médio, raiz quadrada do erro quadrático médio, índice de ajustamento (d) e o índice de desempenho (c). As médias anuais da radiação solar global ( $H_G$ ) e de n/N foram de 19,01 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e 0,57. As transmissividades máximas e mínimas de  $H_G$  ocorrem em agosto (76,36%) e janeiro (59,08%) respectivamente. Os menores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) ocorreram nas estações com elevada variação da nebulosidade. No agrupamento anual de dados foram observadas subestimativas de  $H_G$  (0,08 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), com espalhamentos de 1,99 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e índices de ajustamento, correlação e desempenho de 0,9247; 0,9187 e 0,8495, respectivamente, indicando que, os coeficientes angulares e lineares de 0,458 e 0,278 possibilitam boas estimativas de  $H_G$ . Nos agrupamentos menores, houve melhoria em todos os indicativos estatísticos avaliados.

**PALAVRAS-CHAVES:** transmissividade atmosférica, radiação global, indicativos estatísticos

### ANGSTROM-PRESCOTT COEFFICIENTS FOR NORTHERN MATO GROSSO STATE: FIRST APPROACH

**ABSTRACT:** Evaluated and obtained the linear and angular coefficients of correlation between daily atmospheric transmissivity coefficient and the sunshine duration ratio (n/N), in grouping databases of monthly, seasonal and annual, for the Sinop (11.85 ° S, 55.56 ° W, 371m asl), Mato Grosso State, Brazil, in the period from 10/2010 to 12/ 2013. In evaluating, the statistical performance statistical indicative employees were mean relative error, the square root of the mean squared error, adjustment index (d) and the performance index (c). The annual averages of global radiation ( $H_G$ ) and n/N were 19.01 MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup> and 0.57. The maximum and minimum transmissivity of  $H_G$  occurring in August (76.36 %) and January (59.08 %) respectively. The lower coefficients of determination ( $R^2$ ) occurred at stations with high variation of cloudiness. In the annual data clustering underestimates of  $H_G$  were observed (0.08 MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>), with scatterings of 1.99 MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup> and indices of adjustment, performance and correlation of 0.9247; 0.9187 and 0.8495, respectively, indicating that the angular and linear coefficients of 0.458 and 0.278 allow good estimates of  $H_G$ . In smaller groups, there was improvement in all evaluated statistical indicative.

**KEYWORDS:** atmospheric transmissivity, global radiation, statistical indicative

### INTRODUÇÃO

O Brasil encontra-se em pleno desenvolvimento tecnológico nas áreas de energias renováveis (conversão fototérmica e fotovoltaica, biomassa e biodiesel), agropecuária (aumento da eficiência baseada nas propriedades físicas e fisiológicas das culturas e/ou animais) e construção civil (materiais

construtivos, aspectos micrometeorológicos, entre outros). Todos esses avanços perfazem uma demanda crescente pelo conhecimento das variações sazonais dos níveis de radiação solar, considerando as componentes espectrais e por atenuação atmosférica (SOUZA & ESCOBEDO, 2013). Nas condições brasileiras, os monitoramentos de rotina das componentes de atenuação atmosférica da radiação solar estão vinculados as universidades e institutos de pesquisa, em função dos custos envolvidos na aquisição e na manutenção de instrumentos específicos para medidas (BORGES et al., 2010). Em função da grande dificuldade de obtenção de dados de radiação solar para aplicações agropecuárias, são fundamentais a avaliação de modelos de estimativa. Em Sinop, região Norte de Mato Grosso, no Campus Universitário da Universidade Federal de Mato Grosso, ocorrem as medidas da radiação solar global e da insolação desde outubro de 2010, perfazendo em uma base de dados com duração de 3 (três) anos. Contudo, a estação meteorológica supracitada é considerada como referência na região, pois praticamente não ocorrem medidas conjuntas dessas variáveis em outras estações no Norte do Mato Grosso. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a sazonalidade da radiação global e da razão de insolação, e ainda, gerar e validar os coeficientes lineares (a) e angulares (b) das correlações entre o coeficiente de transmissividade atmosférica da radiação global ( $H_G/H_0$ ) e a razão de insolação ( $n/N$ ), para a região de Sinop, Norte do Estado de Mato Grosso.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso em Sinop, Mato Grosso, (11,98° S, 55,56° W e altitude 371m), entre outubro de 2010 e dezembro de 2013. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo tropical quente e úmido (Aw), caracterizado pela presença de duas estações bem definidas: uma chuvosa (entre outubro e abril) e seca (de maio a setembro), com pequena amplitude térmica anual, com médias mensais variando entre 23,5° C e 25,5° C e máximas inferiores a 36 °C (setembro e outubro). Em média ocorrem 1974 mm ano<sup>-1</sup>, sendo acima de 50% entre os meses de dezembro e fevereiro e cerca de 1% ocorrem historicamente, entre junho e agosto (SOUZA et al., 2013).

A estação meteorológica apresenta os seguintes sensores: radiação solar global (piranômetro CS300) a 1,0 e 2,0 m de altura, radiação PAR (Licor) a 2,0m de altura, velocidade e direção do vento (anemômetro, 03002-L RM YOUNG) a 10 m de altura, psicrômetro com abrigo termométrico (Vaisala, mod. CS 215) a 2,0m de altura e pluviógrafo (TE 525) a 1,50m de altura. Todos esses sensores estão conectados a um sistema de aquisição de dados CR 1000 da Campbell Scientific programado para armazenamento de valores médios ou integrados em cinco minutos. Os dados foram agrupados em sua totalidade (anual) e posteriormente separados em agrupamentos sazonais (estações do ano) e mensais, sendo que os dados obtidos de outubro de 2010 a dezembro de 2012 foram empregados na geração dos coeficientes de Angstrom-Prescott, enquanto que o restante (2013) foram empregados na validação. Para avaliação do desempenho estatístico das estimativas foram utilizados os seguintes indicativos estatísticos: i) erro relativo médio (MBE – means bias error), a raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE – root means square error), índice de ajustamento (d) e o índice de desempenho (c), sendo este último indicativo obtido pelo produto entre o coeficiente de correlação (r) e o índice de ajustamento (SOUZA & ESCOBEDO, 2013).

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{N} \quad (01)$$

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (08)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (P'_i + O'_i)^2} \quad (09)$$

em que:  $P_i$  – valores estimados;  $O_i$  – valores medidos;  $N$  – número de observações;  $|P'_i|$  - valor absoluto da diferença  $P_i - O_i$ ;  $|O'_i|$  - valor absoluto da diferença  $O_i - \bar{O}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a distribuição anual dos valores de  $H_G/H_0$  em relação a razão de insolação ( $n/N$ ), considerando-se todos os dados disponíveis (agrupamento anual). Apesar da variabilidade, observa-se tendência de ajuste linear com relação à dependência entre essas grandezas, sendo obtido um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,8627. Fisicamente, nota-se duas possibilidades para variação da transmissividade atmosférica: i) quando  $n/N$  tende a zero, o coeficiente linear indica a

transmissividade mínima de 26,79%; ii) quando a n/N tende a um, ou seja, a insolação diária é próxima ou igual ao fotoperíodo, é obtida a transmissividade máxima da radiação global prevista por esse modelo (74,05%).

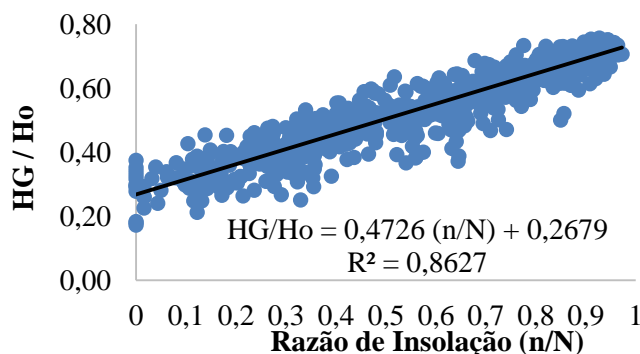


Figura 1. Correlação entre o coeficiente de transmissividade atmosférica (HG/H<sub>0</sub>) e a razão de insolação (n/N), para agrupamentos anuais de dados, na região de Sinop-MT (período de dados: 10/2010 a 12/2012).

A análise em agrupamentos de dados menores (sazonais e mensais) permite a avaliação da influência da dinâmica atmosférica na incidência da radiação global. Na Tabela 1 são apresentados os resultados das estimativas mensais e sazonais dos coeficientes “a” e “b” de Angström-PreScott, tendo-se encontrado, para todas as análises, coeficientes de determinação acima de 0,60, com piores ajustes nos meses com grande variação de nebulosidade e elevadas precipitações pluviais (fevereiro). Os valores médios mensais de “a” variaram de 0,2608 (fevereiro) a 0,3413 (julho) e os valores médios mensais de “b” variaram de 0,2860 (janeiro) a 0,4494 (março); os menores valores de “a” e “b” compreendem a época do período chuvoso, momento em que a transmissividade da atmosfera é maior em virtude da redução da concentração de partículas suspensas (Blanco & Sentelhas, 2002). Analisando os intervalos de confiança desses parâmetros e se considerando o nível de significância utilizado, é possível constatar que a variação observada na estimativa dos parâmetros foi relativamente pequena. Nos meses que compreendem a estação seca foram observados os maiores intervalos de confiança para os coeficientes “a” e “b”, pois nesses meses, é comum o aumento de partículas sólidas na atmosfera em razão da menor umidade e, conseqüentemente, menor ocorrência de precipitações, corroborando com Dornelas et al. (2006) e Carvalho et al. (2011).

Tabela 01. Coeficientes lineares e angulares da regressão [ H<sub>G</sub>/H<sub>0</sub> = a + b (n/N) ] para diferentes agrupamentos de dados, para Sinop – MT (período de dados: 10/2010 a 12/2012).

Período	Coeficiente linear (a)	Coeficiente angular (b)	Coeficiente de determinação (R <sup>2</sup> )	Transmissividade atmosférica	
				Mínima (%)	Máxima (%)
Jan	0,2822	0,2860	0,7026	28,22	56,82
Fev	0,2608	0,4111	0,6058	26,08	67,19
Mar	0,2790	0,4494	0,7719	27,9	72,84
Abr	0,2812	0,4339	0,7473	28,12	71,51
Mai	0,3089	0,4113	0,8822	30,89	72,02
Jun	0,3184	0,4252	0,7117	31,84	74,36
Jul	0,3413	0,4134	0,6941	34,13	75,47
Ago	0,3363	0,4152	0,7405	33,63	75,15
Set	0,3027	0,4316	0,7852	30,27	73,43
Out	0,2988	0,4277	0,8355	29,88	72,65
Nov	0,2815	0,4463	0,7784	28,15	72,78
Dez	0,2826	0,4104	0,6968	28,26	69,3
VERÃO	0,2731	0,402	0,6745	27,31	67,51
OUTONO	0,2858	0,4396	0,8386	28,58	72,54
INVERNO	0,2547	0,5066	0,8334	25,47	76,13
PRIMAVERA	0,2848	0,4418	0,7951	28,48	72,66
ANUAL	0,2679	0,4726	0,8627	26,79	74,05

A Tabela 2 apresenta o resultado dos indicativos estatísticos das estimativas da radiação global em diferentes agrupamentos de dados. Observa-se que nos agrupamentos mensais, os índices de desempenho (c) variaram de 0,693 a 0,872. Segundo a classificação de desempenho (c) proposta por Camargo & Sentelhas (1997), considera-se como: bom ( $0,66 < "c" < 0,75$ ), muito bom ( $0,76 < "c" < 0,85$ ) e ótimo ( $"c" > 0,75$ ). Nesse contexto, observa-se que independentemente da época do ano, a metodologia propicia boas estimativas de HG, com superestimativa apenas na primavera e erros médios relativos (MBE) inferiores a  $0,96 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , espalhamentos (RMSE) inferiores a  $3,19 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  e ajustamentos superiores a 82,8%.

Tabela 02. Indicativos estatísticos das estimativas da radiação global com base na razão de insolação, em diferentes agrupamentos de dados, para Sinop – MT (período de dados: 01/2013 a 12/2013).

Período	Radiação global diária ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )		MBE ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )	RMSE ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )	d	c
	Medida	Estimada				
Jan	15,13	14,64	-0,4916	3,1952	0,8526	0,715
Fev	18,15	17,18	-0,9681	2,1708	0,9589	0,746
Mar	18,17	17,87	-0,2966	1,8291	0,9551	0,839
Abr	15,94	16,03	0,0903	2,6461	0,8280	0,716
Mai	19,17	19,14	-0,0355	0,9453	0,9289	0,872
Jun	18,81	19,00	0,1910	0,7192	0,8217	0,693
Jul	19,64	20,18	0,5377	0,8936	0,9005	0,750
Ago	21,69	22,15	0,4566	1,1073	0,8507	0,732
Set	20,00	19,04	-0,9679	2,2854	0,9167	0,812
Out	19,84	19,80	-0,0349	1,4311	0,9530	0,871
Nov	16,22	16,70	0,4849	2,1345	0,8933	0,788
Dez	15,56	16,40	0,8365	2,2400	0,8993	0,751
Verão	17,16	16,84	-0,3162	2,1457	0,9494	0,780
Outono	17,42	17,29	-0,1266	1,9961	0,8950	0,820
Inverno	20,08	19,93	-0,1483	1,6549	0,9089	0,830
Primavera	18,43	18,56	0,1355	1,8347	0,9414	0,839
Anual	18,34	18,32	-0,0242	1,8529	0,9462	0,879

**CONCLUSÕES:** A radiação global média mensal na região de Sinop-MT varia de 15,13 a 20,00  $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , com maiores transmissividades atmosféricas no inverno e primavera. Os valores médios mensais do coeficiente linear (a) variaram de 0,2608 (fevereiro) a 0,3413 (julho) e do coeficiente angular (b) variaram de 0,2860 (janeiro) a 0,4494 (março), perfazendo em transmissividades atmosféricas que oscilam entre 26,08 e 75,47%.

## REFERÊNCIAS

- BLANCO, F. F.; SENTELHAS, P. C. Coeficientes da equação de Angström-PreScott para estimativa da insolação para Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, p.295-300, 2002.
- BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO FILHO, M. A.; SILVA, T. S. M.; PAMPONET, B. M. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.74-80, 2010.
- 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**, v.5, p.89-97, 1997.
- CARVALHO, D. F.; SILVA, D. G.; SOUZA, A. P.; GOMES, D. P.; ROCHA, H. S. Coeficientes da equação de Angström-PreScott e sua influência na evapotranspiração de referência em Seropédica, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.838-844, 2011.
- DORNELAS, K. D. S.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. S. Coeficientes médios da equação de Angström-PreScott, radiação solar e evapotranspiração de referência em Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1213-1219, 2006.
- SOUZA, A. P.; ESCOBEDO, J. F. Estimativas da radiação global incidente em superfícies inclinadas com base na razão de insolação. **Agrária**, v. 8, n. 3, p. 483-491, 2013.
- SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIM, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa – Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v.1, n.1, p.34-43, 2013.