

## SAZONALIDADE E DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADES DO COEFICIENTE DE TRANSMISSIVIDADE ATMOSFÉRICA DA RADIAÇÃO GLOBAL HORÁRIA PARA A REGIÃO DE SINOP, MT

Aline de Oliveira<sup>1</sup>; Brena Geliane Fernalda<sup>1</sup>; Matheus Frederico Back Koelln<sup>1</sup>; Janaina da Silva Schimitt<sup>1</sup>; Adilson Pacheco de Souza<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 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.

<sup>3</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:** A radiação solar apresenta grande importância no setor agropecuário e nos processos de conversão energética, sendo estudada por séries temporais e/ou modelos de estimativas. Objetivou-se analisar a evolução diurna e anual com base em médias mensais horárias e diárias do coeficiente de transmissividade atmosférica da radiação global ( $K_T$ ) para o município de Sinop, Mato Grosso. Foram utilizados os dados de temperatura do ar do período de 2006 a 2013, medidos pela estação meteorológica automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia - INMET localizada na latitude  $11^{\circ} 98' 22''$  S e longitude  $55^{\circ} 56' 58''$  W. A região apresentou em torno de 80% das horas com  $K_T$  abaixo de 55% no verão (céu nublado ou parcialmente nublado) e acima de 80% de horários com baixa nebulosidade ( $K_T > 0,55$ ) no inverno (maio a setembro). Ao meio dia local foram observados valores da radiação global, com desvios menores nos meses inverno. Nos meses de primavera e verão, a distribuição acumulada de  $K_T$  apresenta comportamento exponencial (com coeficientes de determinação superiores a 0,83), enquanto que outono e inverno, os melhores ajustes foram obtidos pelas distribuições normais e log-normal.

**PALAVRAS-CHAVES:** índice de claridade, radiação solar, nebulosidade

### SEASONALITY AND PROBABILITY DISTRIBUTIONS OF TRANSMISSIVITY ATMOSPHERIC RADIATION GLOBAL COEFFICIENT FOR SINOP, MT

**ABSTRACT:** Solar radiation is of great importance in the agricultural sector and the process of energy conversion, being studied by series and/or model estimates. This study aimed to analyze the diurnal and annual evolution based on hourly and daily average monthly coefficient of atmospheric transmissivity of global radiation ( $K_T$ ) for the city of Sinop, Mato Grosso. Were used data of air temperature for the period from 2006 to 2013, measured by automatic weather station belonging to the National Institute of Meteorology - INMET located at latitude  $11^{\circ} 98' 22''$  S and longitude  $55^{\circ} 56' 58''$  W. The region had around 80% of the time with  $K_T$  below 55% in summer (cloudy or partly cloudy) and above 80 % of schedules with low cloudiness ( $K_T > 0.55$ ) in winter (May to September). To the local daily values of global radiation, with minor deviations were observed in the winter months. In the spring and summer months, the cumulative distribution of  $K_T$  displays exponential behavior (with coefficients of determination greater than 0.83), while autumn and winter, the best adjustments were obtained by the normal and log-normal distributions.

**KEYWORDS:** clearness index, solar radiation, cloudiness

### INTRODUÇÃO

Em geral, grande parte dos estudos econômicos que utilizam a radiação solar como fonte energética dependem diretamente de equipamentos, dos custos de operação, da porcentagem de radiação que pode ser convertida em algum tipo de energia disponível para utilização e da disponibilidade temporal de informações. Os fluxos instantâneos de energia incidente no topo da atmosfera terrestre apresentam poucas oscilações em pequenas escalas de tempo. Entretanto, quando integrados em somas horárias ou diárias podem variar em função da latitude local, da época do ano e do ângulo solar, cujos valores são dependentes dos movimentos de rotação e translação da Terra e permitem a um local receber raios

solares com inclinação (ângulo zenital) diferenciada ao longo do mesmo dia (IQBAL, 1983). Ao atravessar a atmosfera, essa radiação sofre atenuações causadas por colisões com os gases constituintes da atmosfera, nuvens e/ou com partículas em suspensão momentaneamente presentes na atmosfera, por meio dos fenômenos da reflexão, absorção e difusão. Neste contexto, diferentemente do total de radiação que chega ao topo da atmosfera, cujos valores são iguais para os locais de mesma latitude na mesma partição temporal, a radiação global na superfície terrestre pode variar em locais de latitudes semelhantes. Essa situação ocorre devido a variação dos constituintes da atmosfera local em função principalmente do tipo de atividade antrópica desenvolvida. Por conseguinte, ocorre uma variação da transmissividade atmosférica para locais próximos. Em termos gerais, a transmissividade atmosférica ( $K_T$ ) é dada pela razão entre a radiação global e a radiação no topo da atmosfera e representa a quantidade de radiação efetiva que chega à superfície terrestre em relação à quantidade disponível no topo da atmosfera, eliminando os efeitos das variações astronômicas e geográficas que afetam a sazonalidade da radiação global e vem sendo bastante aplicada em estimativas da radiação solar incidente (SOUZA & ESCOBEDO, 2013). Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a variação das médias mensais horárias da radiação global e da transmissividade atmosférica global, nas condições climáticas do município de Sinop - MT.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido com a base de dados de radiação solar global (HG) obtida junto Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que possui uma estação meteorológica automática no município de Sinop – MT, localizada em 11,98° S, 55,56° W e altitude de 371 m, cujas medidas ocorreram entre 01/2007 e 12/2012. 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 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 obtenção da radiação no topo da atmosfera diária foi dada pela integração entre o nascer e o pôr-do-sol dos valores da radiação incidente no topo da atmosfera na partição horária ( $H_0$ ), que por sua vez, foi estimada pela equação 01 (IQBAL, 1983).

$$H_0^h = I_{sc} E_0 [\text{sen } \delta \text{ sen } \varphi + \text{cos } \delta \text{ cos } \varphi \text{ cos } \omega_s] \quad (01)$$

em que:  $I_{sc}$  é a constante solar (4921 kJ m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>);  $E_0$  é a fator de correção da excentricidade da órbita da Terra (adimensional), dado pela equação 02 proposta por Spencer (1971);  $\delta$  é a declinação solar, em graus (eq. 04);  $\varphi$  é a latitude local, em graus;  $\omega_s$  é o ângulo horário solar, em graus, que é formado pelo ângulo (medido no pólo celeste) entre o plano de meridiano do observador e o meridiano do Sol, valendo 0° ao meio-dia (Tempo Solar Verdadeiro) e com variação de 15° por hora, decorrentes da velocidade angular média da Terra (IQBAL, 1983).

$$E_0 = 1,000110 + 0,034221 \text{cos } \Gamma + 0,001280 \text{sin } \Gamma + 0,000719 \text{cos } 2\Gamma + 0,000077 \text{sin } 2\Gamma \quad (02)$$

$$\text{sendo: } \Gamma = 2\pi \frac{(DJ - 1)}{366} \quad (03)$$

$$\delta = 23,45 \text{sen} \left[ \frac{360}{365} (DJ - 80) \right] \quad (04)$$

A base de dados foi inspecionada e os valores discrepantes foram removidos das séries, entretanto os dias removidos retornaram a base de dados com os valores médios gerados pelos demais dados do respectivo mês. A transmissividade atmosférica foi dada pelos índices de claridade ( $K_T$ ) horários e diários, obtidos através das razões entre a radiação global ( $H_G$ ) e a radiação no topo da atmosfera ( $H_0$ ).

$$K_T^h = \frac{H_G^h}{H_0^h} \quad (05)$$

A classificação da cobertura de céu em função de  $K_T$  empregada neste trabalho seguiu a proposta de Escobedo et al. (2009), dada pela seguinte classificação de cobertura de céu para a partição diária: ( $K_T$ )  $\leq 0,35$ , a radiação direta é praticamente nula, sendo a radiação global igual à radiação difusa (céu nublado);  $0,35 \leq (K_T) \leq 0,55$ , a radiação global é composta principalmente pela fração difusa e em menor escala pela radiação direta (céu parcialmente difuso);  $0,55 \leq (K_T) \leq 0,65$ , é o inverso do segundo intervalo, visto que a radiação difusa diminui gradativamente (céu parcialmente aberto); ( $K_T$ )  $> 0,65$ , a radiação global possui a maior parcela composta pela radiação direta e mínima difusa, portanto, a cobertura do céu é considerada aberta.

Foram ajustadas equações estatísticas de estimativas de  $K_T$  em função da probabilidade de ocorrência com dados de 2007 a 2011, enquanto que os dados de 2012 foram usados nas suas respectivas validações, para os mesmos agrupamentos de dados.

$$P = a e^{b(K_T)} \quad (05)$$

em que: P – probabilidade de ocorrência; “a” e “b” são coeficientes ajustados a cada agrupamento de dados;  $K_T$  – coeficiente de transmissividade atmosférica da radiação global (adimensional).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os percentuais de ocorrências dos valores horários de  $K_T$  ao longo do ano. Observa-se a predominância de horários nublados e/ou parcialmente nublados entre setembro e março (estação chuvosa) e acima de 74,68; 76,09 e 73,60% de horários com transmissividade atmosférica acima de 55% para junho, julho e agosto, respectivamente.

Tabela 1. Percentuais de ocorrência de de  $K_T$  horário em diferentes classes de transmissividade atmosférica para Sinop-MT (período de dados: 01/2007 a 12/2012).

Mês	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
Jan	40,42	25,03	16,44	18,12
Fev	49,88	22,77	11,45	15,90
Mar	33,33	32,82	15,99	17,86
Abr	25,65	24,70	18,68	30,97
Mai	14,03	22,16	20,45	43,36
Jun	11,72	13,60	17,70	56,98
Jul	9,43	14,48	17,36	58,74
Ago	9,20	17,20	23,00	50,60
Set	23,29	35,03	23,84	17,83
Out	32,60	28,95	19,26	19,19
Nov	34,93	31,29	17,08	16,70
Dez	43,79	25,52	14,20	16,48

Classe I:  $K_t \leq 0,35$ ; Classe II:  $0,35 < K_t < 0,55$ ; Classe III:  $0,55 < K_t < 0,65$ ; Classe IV:  $K_t \geq 0,35$

Na Figura 1 observa-se o comportamento da probabilidade de ocorrência de  $K_T$  nas estações chuvosa e seca, sendo que, nos meses chuvosos a tendência exponencial decrescente é predominante e permite boas estimativas dos valores de  $K_T$ . Todavia, como ocorre baixas frequências de  $K_T$  horário nas condições de céu nublado e parcialmente nublado, têm-se que as distribuições exponenciais não possibilitam boas estimativas no período seco do ano (Tabela 2). Em geral, modelos de estimativas estatísticos da radiação global, são na grande maioria realizados com frações radiométricas e não com  $H_G$  propriamente dita, pois permite eliminar os efeitos astronômicos e geográficos que interferem na própria variação da radiação global ao longo dos meses. Nesse sentido, as aplicações das probabilidades de K se tornam fundamentais para a tomada de decisão em processos dependentes de transformações energéticas e/ou biofísicas (evapotranspiração potencial).

## CONCLUSÕES

As médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar apresentaram variação anual em dois períodos distintos, sendo o período mais quente de dezembro a fevereiro e o período menos quente de maio a julho, com menores e maiores amplitudes térmicas horárias ao longo do dia. As equações de

estimativas temporais mensais possibilitam bons resultados para aplicações em correções de falhas em base de dados de temperatura e umidade relativa do ar para a região.

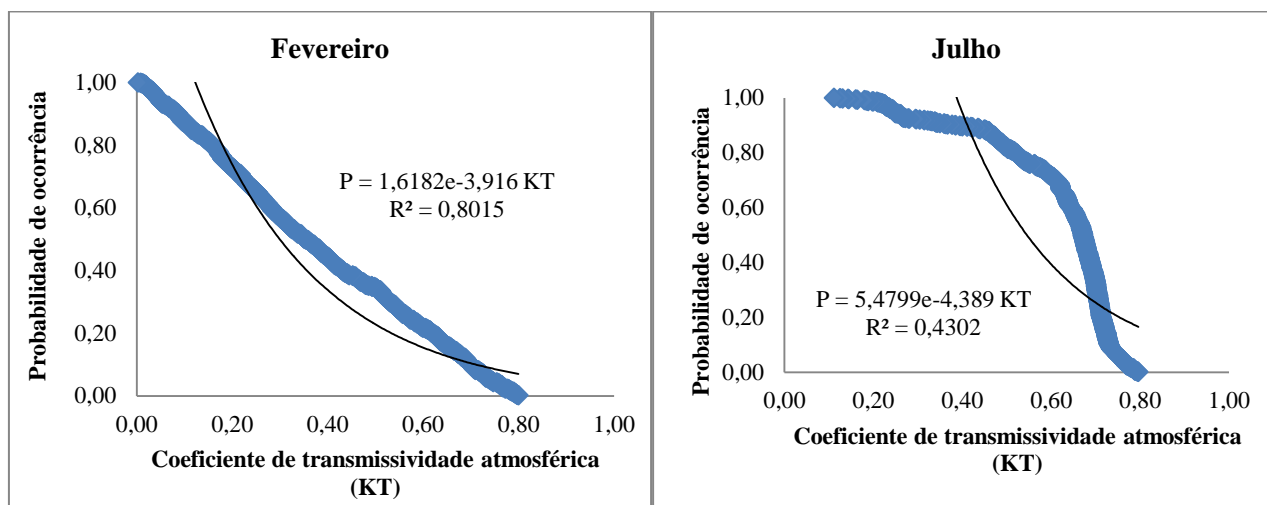


Figura 1. Estimativas dos níveis de probabilidade de ocorrência de  $K_T$  para Sinop-MT nos meses de fevereiro (estação chuvosa) e julho (estação seca).

Tabela 2. Funções exponenciais médias mensais ajustadas para estimativas da probabilidade de ocorrência dos coeficientes de transmissividade atmosférica da radiação global ( $K_T$ ) horária, para Sinop-MT (período de dados: 01/2007 a 12/2012).

Mês	$H_G$ máxima ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ )	$K_T$ máximo	N	Função Exponencial			$K_T$ a 50% de probabilidade	
				a	b	$R^2$	Medido	Estimado
Jan	4,02	0,7999	955	1,8349	-3,848	0,7481	0,4297	0,3379
Fev	3,95	0,8000	830	1,6182	-3,916	0,8015	0,3511	0,2999
Mar	3,79	0,7981	588	2,2902	-4,112	0,7338	0,4708	0,3701
Abr	3,75	0,7998	846	2,7713	-3,987	0,6489	0,5462	0,4295
Mai	3,34	0,7986	934	4,4367	-4,371	0,5608	0,6218	0,4994
Jun	3,03	0,7989	853	4,8457	-4,215	0,4537	0,6706	0,5388
Jul	3,17	0,7966	870	5,4799	-4,389	0,4302	0,6720	0,5455
Ago	3,36	0,7991	913	6,1791	-4,673	0,4837	0,6527	0,5381
Set	3,62	0,7788	1099	3,1195	-4,473	0,6569	0,5038	0,4093
Out	3,88	0,7927	1506	2,2468	-4,017	0,6802	0,4802	0,3741
Nov	3,94	0,7965	1042	2,1830	-4,099	0,7180	0,4538	0,3596
Dez	3,90	0,7938	1007	1,9373	-4,076	0,7722	0,4006	0,3323

## REFERÊNCIAS

ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAT and NIR to global solar radiation under various Sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy*, v.86, n.2, p.299-309, 2009.

IQBAL, M. *An introduction to solar radiation*. Toronto: Academic Press, 1983. 389p.

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.

WILLMOTT, C. J., 1981. On the validation of models. *Physical Geographic*, v. 2, p. 184–194, 1981.