

Artigo

## Transmissividade Atmosférica da Radiação Global na Região Amazônica de Mato Grosso

Adilson Pacheco de Souza<sup>1</sup>, Tamara Zamadei<sup>2</sup>, Emanoeli Borges Monteiro<sup>1</sup>,  
Bruno Henrique Casavecchia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso,  
Sinop, Mato Grosso, Brasil.*

<sup>2</sup>*Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso,  
Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.*

<sup>3</sup>*Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso,  
Sinop, Mato Grosso, Brasil.*

Recebido: 30/11/2015 - Aceito: 21/3/2016

### Resumo

Objetivou-se avaliar as variações das médias mensais da radiação global e as frequências do coeficiente de transmissividade atmosférica global (Kt) para 16 municípios da região amazônica do Estado de Mato Grosso. Os dados utilizados foram obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia, nos períodos de 2008 a 2014. O Kt foi obtido pela razão entre a radiação global e a radiação incidente no topo da atmosfera. Adotou-se a classificação de cobertura de céu em função de Kt para a partição diária em quatro classes: I - céu nublado ( $Kt \leq 0,35$ ), II - céu parcialmente nublado ( $0,35 \leq Kt \leq 0,55$ ), III - céu parcialmente aberto ( $0,55 < Kt \leq 0,65$ ) e IV - céu aberto ( $Kt > 0,65$ ). Entre abril e setembro (estação seca) ocorrem maiores índices de transmissividade atmosférica em função da baixa atenuação da radiação solar pela interação com os constituintes atmosféricos, com maiores frequências de condição de céu IV e II. As condições de cobertura de céu são dependentes do comportamento pluviométrico regional e apresentam percentuais médios diferenciados entre municípios do bioma amazônico.

**Palavras-chave:** absorção atmosférica, condições climáticas, índice de claridade, nebulosidade.

## Atmospheric Transmissivity of the Global Radiation in the Amazonic Region of Mato Grosso

### Abstract

It was aimed evaluate the variations of monthly average of global radiation and frequencies of global atmospheric transmissivity coefficient (Kt) in 16 municipalities of amazonic region of Mato Grosso State. The data used were obtained by the National Institute of Meteorology, in period between 2008 and 2014. The Kt was obtained by the ratio between global radiation and radiation incident on the top of the atmosphere. It was adopted the sky coverage classification in Kt function for daily partition into four classes: I - cloudy sky ( $Kt \leq 0.35$ ), II - partially cloudy sky ( $0.35 \leq Kt \leq 0.55$ ), III - partially open sky ( $0.55 \leq Kt \leq 0.65$ ) and IV - open sky ( $Kt > 0.65$ ). Between April to September (dry season) occurs higher indexes of atmospheric transmissivity due to the low attenuation of solar radiation by interaction with atmospheric constituents, with higher frequencies of sky condition IV and II. The sky coverage conditions are dependent on regional rainfall behavior and show differentiated average percentage between the municipalities in the amazonic biome.

**Keywords:** atmospheric absorption, climatic conditions, clearness index, nebulosity.

## 1. Introdução

A radiação solar constitui-se como uma fonte energética essencial para a existência e manutenção da vida na Terra, estando envolvida em diversos processos físicos, biofísicos e bioquímicos (Neto *et al.*, 2009). Nesse contexto, está relacionada com as áreas de produção agrícola, planejamento urbano, projetos arquitetônicos, análises de poluição atmosférica, estudos micrometeorológicos, energias renováveis, dentre outras (Préndez *et al.*, 1995; Arboit *et al.*, 2008; Stanhill e Cohen, 2001; Oliveira *et al.*, 2002).

Em geral, a radiação solar pode ser considerada como uma das mais importantes fontes de energia renovável (Tiba *et al.*, 2002; Ortega *et al.*, 2010; Varella *et al.*, 2009), pois gera menor impacto ambiental e constitui-se como uma fonte gratuita e abundante de energia, com baixos requisitos de manutenção (Furlan, *et al.*, 2012; Ehnberg e Bollen, 2005).

Por conseguinte, estudos a respeito da sazonalidade e disponibilidade da radiação solar são indispensáveis para o estabelecimento e planejamento estratégico nas áreas supracitadas (Mellit e Kalogirou, 2008; Jebaraj e Iniyamb, 2006; Souza *et al.*, 2010).

Embora tenha-se ciência da importância dos conhecimentos a respeito das variações espaciais e da evolução sazonal da radiação solar incidente na superfície, existem vários fatores que dificultam a obtenção direta das suas componentes espectrais e/ou de atenuação atmosférica (Oliveira *et al.*, 2002). Normalmente, o alto custo relacionado à aquisição e manutenção de equipamentos de medição limita e restringe as medidas de rotina em centros de pesquisa e universidades (Coppolino, 1994; Ampratwum e Dorvolo, 1999), afetando, conseqüentemente, a obtenção destas informações em extensão continental (Souza *et al.*, 2011).

De acordo com Oliveira *et al.* (2002), o Brasil possui uma rede solarimétrica muito esparsa, e neste caso, a cobertura limitada das redes de medição de radiação perfazem na necessidade do desenvolvimento e calibração de modelos de estimativa, ao invés dos estudos serem baseados em dados medidos *in situ* e em longo prazo (Wong e Chow, 2001).

A radiação solar incidente sobre a superfície terrestre varia temporalmente devido a fatores climáticos, geográficos e astronômicos (Codato *et al.*, 2008; Escobedo *et al.*, 2009; Furlan *et al.*, 2012; Teramoto *et al.*, 2012). Contudo, a transmissividade da radiação solar na atmosfera é dependente de fatores da dinâmica atmosférica, envolvendo fatores como pressão do ar, umidade e tipo de nuvem (Nielsen *et al.*, 1981; Albizzati *et al.*, 1997). As nuvens constituem-se como as principais atenuadoras da radiação solar, tendo em vista que absorvem comprimentos de onda específicos (infravermelho) e refletem e difundem (anisotropicamente) grande parte da radiação solar (Iqbal, 1983).

Neste contexto, o coeficiente de transmissividade atmosférica (Kt) refere-se à razão entre as irradiâncias

global e atmosférica e permite estabelecer a classificação da cobertura do céu quanto a sua nebulosidade (Iqbal, 1983; Wenxian *et al.*, 1995; Scola *et al.*, 2003; Codato *et al.*, 2008; Souza *et al.*, 2010).

De acordo com Souza *et al.* (2012), o Estado de Mato Grosso possui em 33 municípios uma rede de estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) com os objetivos de monitorar e avaliar as variações meteorológicas regionais. As regiões Norte e Noroeste do Estado geralmente apresentam um clima quente e úmido, com a estação de chuva definida entre os meses de outubro a abril, e a seca de maio a setembro e com temperaturas médias anuais se em torno de 24,0 °C. A precipitação anual varia de 1850 a 2400 mm, e a umidade relativa, de 35 a 80% para os períodos secos e chuvosos, respectivamente. Os padrões de vegetação das mencionadas regiões apresentam características concernentes à Floresta Amazônica, Cerrado e uma faixa de transição Cerrado-Amazônia.

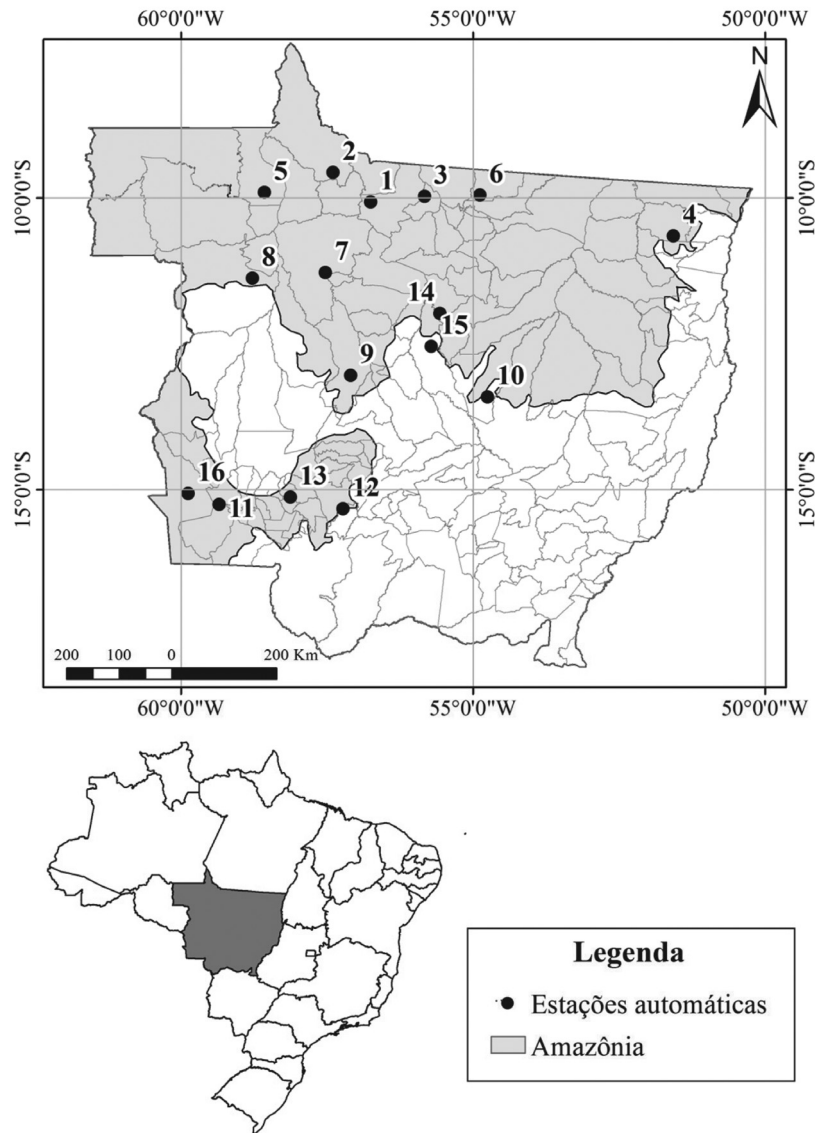
Tendo em vista a extrema importância dos estudos relacionados à radiação solar e a carência de informações deste cunho, o presente trabalho objetivou avaliar as variações das médias mensais da radiação solar e as frequências da transmissividade atmosférica global para 16 estações meteorológicas automáticas inseridas no bioma amazônico do estado de Mato Grosso.

## 2. Material e Métodos

Os dados de radiação solar utilizados foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o qual possui uma rede de estações meteorológicas automáticas cujos valores dos elementos meteorológicos são observados a cada minuto e armazenados em valores horários.

Analisou-se a base de dados de dezesseis estações automáticas localizadas na região amazônica do Estado de Mato Grosso (Fig. 1). Os valores discrepantes foram removidos das séries, assim como os valores de coeficiente de transmissividade atmosférica (Kt) acima de 0,81, pelo fato de não ocorrer uma sequência lógica de evolução das três radiações em função da transmissividade (Escobedo *et al.*, 2009). Na Tabela 1 encontram-se descritos os períodos de dados analisados e as porcentagens de perdas referentes aos valores de radiação solar para cada município.

A porcentagem de perdas decorreu da análise de consistência da base de dados e da eliminação dos dias com erros de medição. Foram obtidas as médias mensais diárias da radiação global e do coeficiente de transmissividade para cada município, assim como a média mensal diária de Kt para a região. A transmissividade atmosférica foi obtida através da razão entre a radiação global e a radiação incidente no topo da atmosfera, dada pela integração entre o nascer e o pôr do sol dos valores da radiação incidente no topo da atmosfera na partição horária, que por sua vez, foi estimada pela equação de Iqbal (1983).



**Figura 1** - Mapa de localização das estações meteorológicas automáticas da rede do INMET instaladas na região amazônica do estado de Mato Grosso.

Conforme os dados médios mensais diários de  $K_t$  estabeleceu-se a classificação da cobertura de céu para cada estação automática, em função do coeficiente de transmissividade proposto por Escobedo *et al.* (2009). Esta metodologia dispensa o uso de dados de radiação direta e/ou difusa, e considera os seguintes tipos de condição de céu para a partição diária: I, quando  $K_t \leq 0,35$ , a radiação direta é praticamente nula, sendo a radiação global igual à radiação difusa (céu nublado); II, se  $0,35 \leq K_t \leq 0,55$ , a radiação global é composta principalmente pela fração difusa e em menor escala pela radiação direta (céu parcialmente nublado); III, se  $0,55 \leq K_t \leq 0,65$ , é o inverso do segundo intervalo, visto que a radiação difusa diminui gradativamente (céu parcialmente aberto); e IV, quando  $K_t > 0,65$ , a radiação global possui a maior parcela composta pela radiação direta e mínima difusa, portanto, a cobertura do céu é

considerada aberta. Em seguida, realizou-se a distribuição de frequência da base de dados de cada município por condição de cobertura de céu.

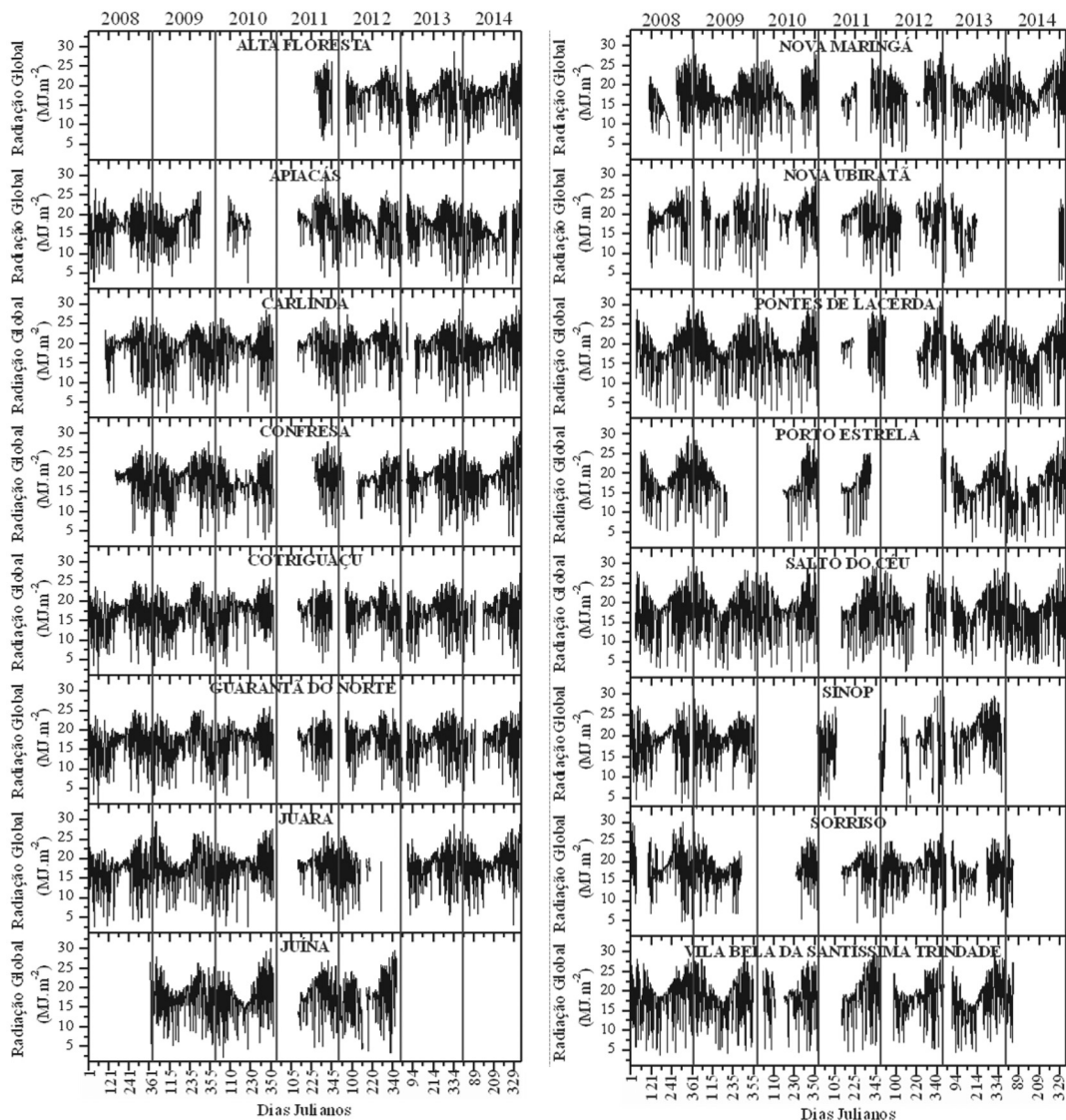
### 3. Resultados e Discussão

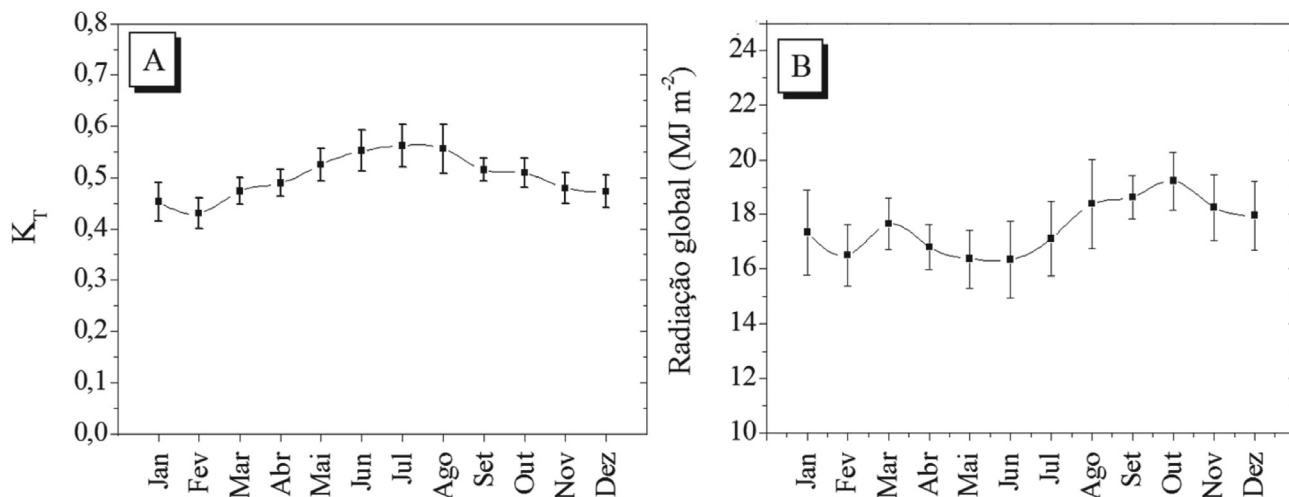
Nas Figs. 2 e 3 pode-se observar a evolução da radiação global ao longo do período estudado para cada município, respectivamente. Nas Tabelas 2 e 3 encontram-se descritos os valores médios mensais diários e desvios por município para a radiação global e  $K_t$ , respectivamente. Na Fig. 3 são apresentados os valores médios mensais diários e desvios de  $K_t$  para a região. Os desvios médios mensais de  $K_t$  para cada município em relação à média mensal da região são apresentados na Fig. 4.

Através da variação existente entre os valores médios mensais diários de  $K_t$  ao longo do ano é possível observar

**Tabela 1** - Informações das estações meteorológicas automáticas instaladas na região amazônica do Estado de Mato Grosso.

Cód.	Nome da Estação (Município)	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período de dados	Número de dados	Perdas (%)
A-924	1. Alta Floresta	-10,0672	-56,7522	294	09/2011 - 12/2014	1217	10,93
A-910	2. Apicás	-9,5639	-57,3936	220	01/2008 - 12/2014	2556	21,48
A-926	3. Carlinda	-9,9703	-55,8272	300	04/2008 - 12/2014	2465	10,43
A-918	4. Confresa	-10,6539	-51,5668	237	06/2008 - 12/2014	2404	15,60
A-919	5. Cotriguaçu	-9,9061	-58,5719	261	01/2008 - 12/2014	2556	12,75
A-906	6. Guarantã do Norte	-9,9500	-54,8833	320	01/2008 - 12/2014	2556	18,15
A-914	7. Juara	-11,2803	-57,5267	260	01/2008 - 12/2014	2556	16,78
A-920	8. Juína	-11,375	-58,775	374	01/2009 - 12/2012	2190	43,06
A-928	9. Nova Maringá	-13,0386	-57,0922	353	04/2008 - 12/2014	2465	18,66
A-929	10. Nova Ubiratã	-13,4111	-54,7522	518	04/2008 - 12/2014	2465	42,31
A-917	11. Pontes e Lacerda	-15,2511	-59,3467	256	01/2008 - 12/2014	2556	17,53
A-935	12. Porto Estrela	-15,3247	-57,2264	145	02/2008 - 12/2014	2525	41,50
A-936	13. Salto do Céu	-15,1247	-58,1275	303	01/2008 - 12/2014	2556	10,84
A-917	14. Sinop	-11,9822	-55,5658	371	01/2008 - 02/2014	2253	42,74
A-904	15. Sorriso	-12,5452	-55,7113	380	01/2008 - 02/2014	2253	26,90
A-922	16. Vila Bela da Santíssima Trindade	-15,0628	-59,8729	222	01/2008 - 02/2014	2253	18,69

**Figura 2** - Evolução diária da radiação global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) entre 01/2008 e 12/2014, para dezesseis estações meteorológicas automáticas instaladas na região amazônica do Estado de Mato Grosso.



**Figura 3** - Valores médios mensais da radiação global diária ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) e do coeficiente de transmissividade atmosférica ( $K_T$ ) para a região amazônica do Mato Grosso.

**Tabela 2** - Médias mensais e desvio padrão (entre parenteses) da radiação global diária ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) para dezesseis estações meteorológicas automáticas instaladas na região amazônica do Estado de Mato Grosso.

Estações meteorológicas automáticas (municípios)								
Mês	Alta Floresta	Apiacás	Carlinda	Confresa	Cotriguaçu	Guaranta do Norte	Juara	Juína
Jan	15,58 (1,85)	15,44 (1,69)	17,27 (1,65)	17,54 (0,79)	14,81 (0,80)	14,61 (1,68)	17,83 (2,09)	16,93 (1,33)
Fev	15,07 (0,03)	16,01 (2,55)	17,24 (0,17)	17,21 (0,95)	14,58 (1,73)	15,55 (3,33)	17,00 (1,46)	16,50 (1,51)
Mar	16,61 (0,60)	17,03 (1,37)	19,60 (1,74)	17,47 (0,60)	15,61 (1,24)	17,88 (1,73)	17,30 (0,93)	17,41 (1,06)
Abr	15,81 (1,38)	16,69 (1,83)	17,62 (1,60)	15,80 (1,28)	16,12 (1,35)	18,17 (1,14)	16,47 (0,88)	16,92 (0,87)
Mai	16,19 (0,47)	17,07 (1,74)	18,00 (0,98)	16,35 (0,94)	16,33 (1,75)	16,45 (1,84)	16,79 (1,24)	15,44 (1,43)
Jun	16,65 (0,90)	17,74 (1,08)	18,84 (0,72)	17,87 (0,72)	17,14 (0,78)	15,54 (1,20)	17,21 (0,87)	13,56 (4,00)
Jul	17,89 (0,66)	17,30 (1,48)	19,83 (0,69)	18,43 (1,12)	17,89 (0,53)	15,21 (1,24)	18,10 (0,48)	16,60 (1,68)
Ago	19,04 (0,51)	16,82 (1,83)	20,65 (0,97)	19,64 (1,78)	18,68 (0,90)	15,92 (2,91)	18,82 (1,07)	17,61 (1,30)
Set	19,20 (1,20)	17,95 (1,75)	19,86 (0,81)	18,29 (2,08)	18,21 (0,61)	17,36 (1,96)	18,13 (1,91)	18,42 (1,25)
Out	18,84 (1,25)	18,35 (1,65)	19,94 (0,82)	18,66 (0,60)	18,59 (0,87)	16,59 (1,37)	19,72 (1,16)	20,34 (0,85)
Nov	17,59 (1,50)	17,22 (2,29)	18,57 (1,33)	18,45 (0,85)	16,91 (0,62)	15,48 (1,39)	18,63 (1,06)	18,47 (1,37)
Dez	17,54 (0,86)	16,54 (1,23)	17,79 (1,57)	18,46 (2,17)	16,40 (1,49)	15,18 (1,94)	17,94 (1,38)	18,80 (3,14)
Mês	Nova Maringá	Nova Ubiratã	Pontes e Lacerda	Porto Estrela	Salto do Céu	Sinop	Sorriso	Vila Bela S. Trindade
Jan	17,83 (1,76)	17,58 (1,17)	19,25 (1,44)	19,29 (2,59)	17,59 (1,92)	18,34 (1,66)	17,73 (2,04)	19,81 (1,65)
Fev	16,03 (2,81)	18,97 (1,29)	16,96 (2,40)	15,51 (2,27)	16,33 (2,88)	16,56 (2,82)	16,41 (1,66)	18,23 (1,07)
Mar	17,38 (0,84)	18,61 (0,88)	17,88 (1,36)	17,04 (2,87)	17,28 (0,69)	18,30 (0,81)	18,69 (0,32)	18,32 (0,61)
Abr	17,23 (0,70)	17,95 (1,71)	17,22 (0,90)	15,08 (3,69)	16,65 (0,88)	17,27 (0,75)	16,98 (1,25)	17,07 (1,18)
Mai	16,02 (0,71)	17,31 (2,04)	15,79 (1,96)	14,59 (1,51)	15,10 (0,96)	18,56 (1,04)	16,91 (0,71)	15,17 (0,95)
Jun	15,13 (1,05)	16,92 (2,40)	15,41 (2,17)	14,72 (0,55)	14,97 (1,25)	17,39 (2,34)	16,62 (0,57)	15,73 (1,65)
Jul	15,46 (1,61)	18,88 (0,77)	16,38 (1,78)	15,21 (2,04)	15,86 (1,32)	16,36 (6,79)	17,70 (0,62)	16,79 (1,31)
Ago	15,88 (3,31)	20,63 (1,11)	18,10 (1,61)	16,43 (1,20)	18,06 (0,86)	21,26 (1,73)	18,55 (1,11)	18,22 (0,80)
Set	19,40 (1,39)	19,85 (0,52)	18,39 (0,77)	17,68 (1,11)	17,83 (0,93)	19,72 (1,20)	19,08 (2,00)	18,88 (0,82)
Out	19,36 (0,89)	19,57 (0,91)	19,62 (0,62)	19,04 (0,43)	18,50 (0,99)	21,17 (0,83)	18,97 (1,42)	20,40 (0,54)
Nov	18,14 (1,28)	17,81 (2,58)	19,91 (1,17)	20,13 (1,26)	18,67 (1,59)	18,13 (0,99)	17,88 (1,10)	20,17 (1,97)
Dez	18,23 (1,54)	18,10 (3,11)	20,27 (1,42)	19,16 (0,93)	17,96 (0,99)	18,18 (0,99)	17,11 (1,34)	19,77 (1,50)



**Tabela 3** - Médias mensais e desvio padrão (entre parênteses) dos valores diários do coeficiente de transmissividade atmosférica ( $K_T$ ) para dezesseis estações meteorológicas automáticas instaladas na região amazônica do Estado de Mato Grosso.

Mês	Estações meteorológicas automáticas (municípios)							
	Alta Floresta	Apiacás	Carlinda	Confresa	Cotriguaçu	Guarantã do Norte	Juara	Juína
Jan	0,41 (0,05)	0,41 (0,04)	0,45 (0,04)	0,46 (0,02)	0,39 (0,02)	0,38 (0,04)	0,47 (0,05)	0,44 (0,04)
Fev	0,39 (0,01)	0,42 (0,07)	0,45 (0,01)	0,45 (0,02)	0,38 (0,05)	0,41 (0,09)	0,44 (0,04)	0,43 (0,04)
Mar	0,44 (0,02)	0,45 (0,04)	0,52 (0,04)	0,47 (0,02)	0,42 (0,03)	0,48 (0,05)	0,46 (0,02)	0,47 (0,03)
Abr	0,45 (0,04)	0,48 (0,05)	0,51 (0,04)	0,45 (0,04)	0,46 (0,04)	0,52 (0,03)	0,48 (0,03)	0,49 (0,03)
Mai	0,51 (0,02)	0,53 (0,06)	0,56 (0,03)	0,52 (0,03)	0,51 (0,06)	0,51 (0,06)	0,53 (0,05)	0,47 (0,07)
Jun	0,55 (0,03)	0,58 (0,04)	0,62 (0,02)	0,59 (0,02)	0,56 (0,03)	0,51 (0,04)	0,58 (0,03)	0,45 (0,13)
Jul	0,57 (0,02)	0,55 (0,05)	0,64 (0,02)	0,60 (0,04)	0,57 (0,02)	0,49 (0,04)	0,59 (0,02)	0,54 (0,05)
Ago	0,56 (0,01)	0,50 (0,05)	0,61 (0,03)	0,58 (0,05)	0,55 (0,03)	0,47 (0,09)	0,57 (0,03)	0,53 (0,04)
Set	0,53 (0,03)	0,49 (0,05)	0,54 (0,02)	0,50 (0,06)	0,50 (0,02)	0,48 (0,05)	0,50 (0,06)	0,51 (0,03)
Out	0,50 (0,03)	0,49 (0,04)	0,53 (0,02)	0,49 (0,02)	0,49 (0,02)	0,44 (0,04)	0,52 (0,03)	0,54 (0,02)
Nov	0,46 (0,04)	0,46 (0,06)	0,49 (0,04)	0,49 (0,02)	0,45 (0,02)	0,41 (0,04)	0,49 (0,03)	0,49 (0,04)
Dez	0,47 (0,02)	0,44 (0,03)	0,47 (0,04)	0,49 (0,06)	0,44 (0,04)	0,40 (0,05)	0,47 (0,04)	0,50 (0,08)
Mês	Nova Maringá	Nova Ubitatã	Pontes e Lacerda	Porto Estrela	Salto do Céu	Sinop	Sorriso	Vila Bela S.Trindade
Jan	0,47 (0,05)	0,46 (0,03)	0,50 (0,04)	0,50 (0,07)	0,46 (0,05)	0,48 (0,04)	0,46 (0,05)	0,50 (0,06)
Fev	0,42 (0,07)	0,50 (0,03)	0,44 (0,06)	0,41 (0,06)	0,43 (0,07)	0,43 (0,07)	0,43 (0,04)	0,48 (0,03)
Mar	0,47 (0,02)	0,50 (0,02)	0,49 (0,04)	0,46 (0,08)	0,47 (0,02)	0,49 (0,02)	0,50 (0,01)	0,51 (0,01)
Abr	0,51 (0,02)	0,53 (0,06)	0,51 (0,03)	0,45 (0,11)	0,49 (0,03)	0,50 (0,02)	0,50 (0,03)	0,51 (0,03)
Mai	0,52 (0,02)	0,57 (0,07)	0,53 (0,07)	0,49 (0,05)	0,50 (0,03)	0,59 (0,03)	0,54 (0,02)	0,51 (0,04)
Jun	0,52 (0,04)	0,58 (0,08)	0,54 (0,08)	0,52 (0,02)	0,53 (0,04)	0,59 (0,08)	0,56 (0,02)	0,55 (0,06)
Jul	0,51 (0,05)	0,63 (0,02)	0,56 (0,06)	0,50 (0,03)	0,54 (0,05)	0,54 (0,22)	0,58 (0,02)	0,57 (0,04)
Ago	0,49 (0,10)	0,62 (0,03)	0,57 (0,06)	0,51 (0,04)	0,56 (0,02)	0,64 (0,05)	0,56 (0,04)	0,57 (0,02)
Set	0,53 (0,04)	0,55 (0,01)	0,52 (0,02)	0,50 (0,03)	0,50 (0,03)	0,54 (0,03)	0,53 (0,05)	0,53 (0,02)
Out	0,51 (0,02)	0,52 (0,02)	0,52 (0,02)	0,51 (0,01)	0,49 (0,03)	0,56 (0,02)	0,50 (0,04)	0,54 (0,02)
Nov	0,48 (0,03)	0,47 (0,07)	0,52 (0,03)	0,53 (0,03)	0,49 (0,04)	0,48 (0,05)	0,47 (0,03)	0,53 (0,05)
Dez	0,48 (0,04)	0,48 (0,08)	0,53 (0,04)	0,50 (0,02)	0,47 (0,03)	0,48 (0,03)	0,45 (0,04)	0,51 (0,04)

como a composição atmosférica (nuvens, vapor de água e aerossóis) interfere na transmissão da radiação global.

Os meses de abril a setembro, correspondentes à estação seca na região estudada, apresentam os maiores índices de transmissividade atmosférica para a região. Isso se deve à baixa atenuação da radiação solar pela interação com os constituintes atmosféricos. Já durante a estação chuvosa, em geral, os valores de  $K_T$  são menores, tendo em vista que nesta época a concentração de nuvens e vapor d'água na atmosfera é a maior do ano.

Porém, durante o período de seca alguns municípios apresentam valores baixos de transmissividade atmosférica em relação à média da região estudada, dados que podem ser explicados pela influência dos aerossóis presentes na atmosfera, devido principalmente às queimadas comuns nesta época do ano.

Os municípios de Confresa, Cotriguaçu, Juara, Juína, Nova Maringá e Nova Ubitatã fazem parte da Lista de Municípios Prioritários da Amazônia, nos quais são destacadas as medidas de integração e aperfeiçoamento das

ações de monitoramento e controle de órgãos federais, o ordenamento fundiário e territorial e o incentivo a atividades econômicas ambientalmente sustentáveis. Tais municípios integram a lista devido à grande área de floresta desmatada anualmente (MMA, 2013).

Nos meses de julho e agosto, os municípios de Guarantã do Norte e Nova Maringá apresentam médias mensais de  $K_T$  abaixo dos valores médios da região para a mesma época do ano. Através da análise do banco de dados de Nova Maringá, observam-se valores discrepantes de  $K_T$  para tais meses no ano de 2008, no qual o município apresentou 479 focos de calor, ocupando a terceira posição dentre os municípios do Estado com maior quantidade de registros, sendo que somente entre os meses de julho e outubro foram totalizados mais de 30.000 ha de área queimada (SEMA, 2010; Machado e Alves, 2011).

A estação de Guarantã do Norte apresenta os menores valores de  $K_T$  para os meses mencionados anteriormente, nos anos de 2013 e 2014, nos quais foram registrados 105 e 43 focos de calor dentre julho e agosto, respectivamente.

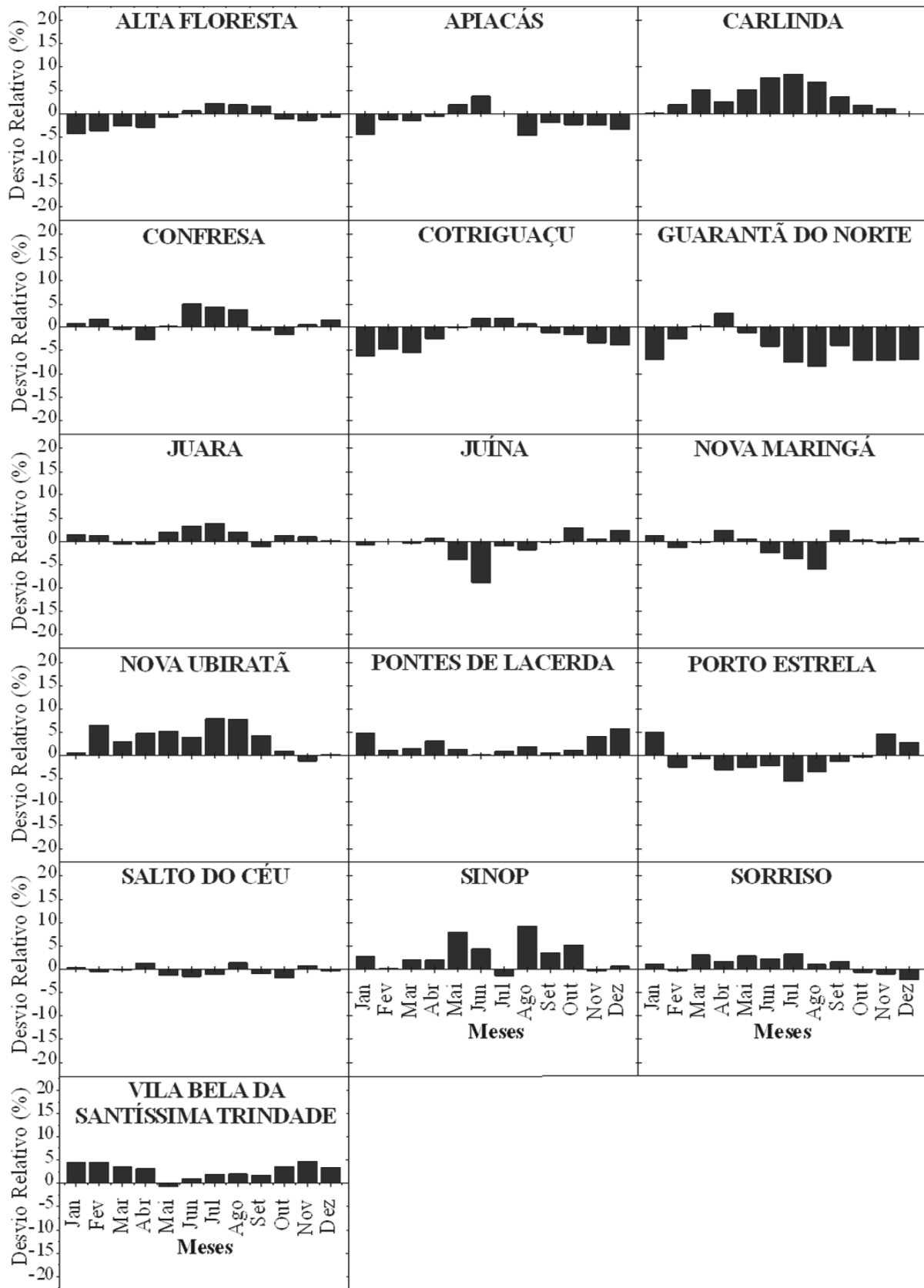
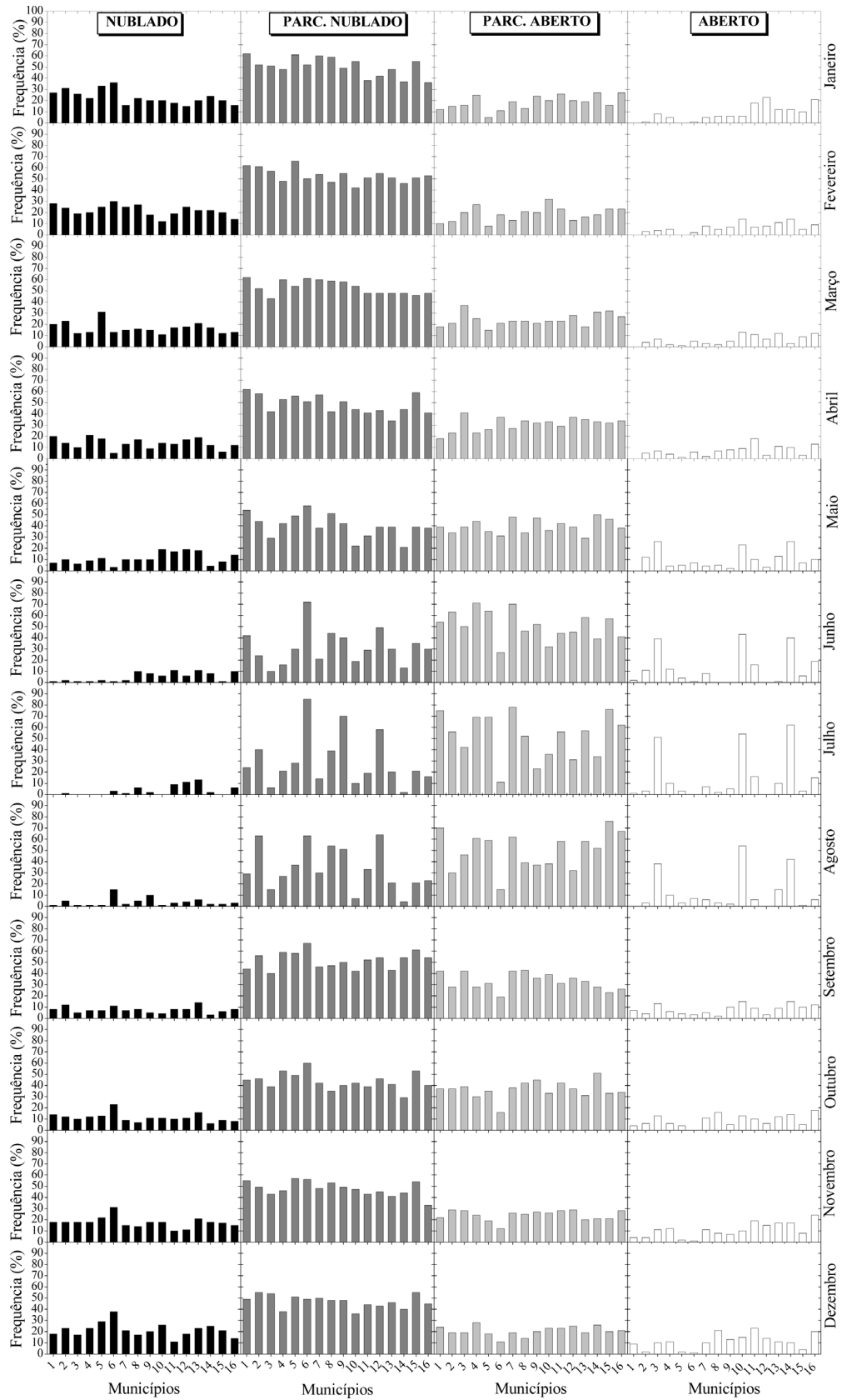


Figura 4 - Desvios médios mensais de  $K_T$  em relação à média mensal da região.



**Figura 5** - Evolução anual da frequência diária mensal das coberturas de céu (em função do  $K_T$ ) para cada município (Numeração do eixo “X”: 1. Alta Floresta; 2. Apiacás; 3. Carlinda; 4. Confresa; 5. Cotriguaçu; 6. Guarantã do Norte; 7. Juara; 8. Juína; 9. Nova Maringá; 10. Nova Ubitatã; 11. Pontes e Lacerda; 12. Porto Estrela; 13. Salto do Céu; 14. Sinop; 15. Sorriso; 16. Vila Bela da Santíssima Trindade).



Por fazer divisa com os municípios de Altamira e Novo Progresso - PA, que apresentam elevadas taxas de desmatamento (MMA, 2013), Guarantã também fica sujeita à recepção de aerossóis de queimadas provenientes desta região, visto que tais partículas podem ser transportadas por até milhares de quilômetros dos locais de emissões.

Os maiores valores médios mensais de Kt durante a estação seca são encontrados para o município de Sinop, enquanto que os menores valores médios mensais referentes à estação chuvosa são encontrados para Cotriguaçu. Esses dados podem ser relacionados ao índice pluviométrico dos municípios durante as estações do ano.

Na Fig. 5 são apresentadas as frequências de coberturas de céu ao longo do ano, sendo que no período seco ocorrem maiores frequência de condição de céu aberto, enquanto que no restante do ano predomina a condição de céu parcialmente nublado.

A frequência de dias com condição de céu I (céu nublado) para a região amazônica de Mato Grosso é maior durante o período chuvoso do ano, corroborando com Teramoto e Escobedo (2012) em análises de frequência de coberturas de céu para Botucatu-SP.

O mês de janeiro apresentou a maior frequência de dias com cobertura de céu I (24,84%) e julho a menor (0,44%). O oposto é observado para a cobertura de céu aberto (IV), para a qual a frequência é maior durante o período seco do ano, devido à predominância de condições atmosféricas de baixa nebulosidade e concentração de vapor d'água (Teramoto e Escobedo, 2012). A maior frequência de dias com cobertura de céu IV (aberto) foi observada em julho (38,16%) e a menor em janeiro (4,94%).

Em relação à cobertura de céu II (parcialmente nublado), os maiores valores de frequência são observados durante os meses chuvosos, similar à variação da cobertura de céu I. Para a cobertura de céu III, os valores de frequência variaram de 42,49% em junho a 15,84% em janeiro.

De acordo com Querino *et al.* (2010), o fenômeno de precipitação também deve ser levado em consideração durante a análise das condições de céu, pois além de influenciar vários processos na superfície da Terra é responsável também pela limpeza da atmosfera, visto que no ato da precipitação grande parte das partículas em suspensão retornam para a superfície deixando a atmosfera mais limpa.

#### 4. Conclusões

O comportamento das condições de cobertura de céu ao longo do ano e entre os municípios da região amazônica do estado de Mato Grosso é dependente do comportamento pluviométrico regional e das modificações na composição da atmosfera.

A radiação global média diária da região amazônica do estado de Mato Grosso varia de  $16,34 \pm 1,39$  (junho) a  $19,22 \pm 1,05$  MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> (outubro) e os coeficientes de

transmissividade atmosférica (Kt) variam de  $0,56 \pm 0,04$  (julho) a  $0,43 \pm 0,03$  (fevereiro).

#### Agradecimentos

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela disponibilização das bases de dados meteorológicos históricos inseridos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) pela concessão de bolsas de mestrado.

#### Referências

- ALBIZZATI, E.; ROSSETTI, G.; ALFANO, O. Measurements and predictions of solar radiation incident on horizontal surfaces at Santa Fe, Argentina (31°39'S, 60°43'W). **Renewable Energy**, v. 11, n. 4, p. 469-478, 1997.
- AMPRATWUM, D.B.; DORVLO, A.S.S. Estimation of solar radiation from the number of sunshine hours. **Applied Energy**, v. 63, p. 161-167, 1999.
- ARBOIT, M.; DIBLASI, A.; FERNANDEZ LLANO, J.C.; DE ROSA, C. Assessing the solar potential of low-density urban environments in Andean cities with desert climates: the case of the city of Mendoza, in Argentina. **Renewable Energy**, v. 33, p. 1733-1748, 2008.
- CODATO, G.; OLIVEIRA, A.P.; SOARES, J.; ESCOBEDO, J.F.; GOMES, E.N.; *et al.* Global and diffuse solar irradiance in urban and rural areas in Southeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 93, n. 1, p. 57-73, 2008.
- COPPOLINO, S. A new correlation between clearness index and relative sunshine. **Renewable Energy**, v. 4, n. 4, p. 417-23, 1994.
- EHNBERG, J.S.G.; BOLLEN, M.H.J. Simulation of global solar radiation based on cloud observations. **Solar Energy**, v. 78, p. 157-162, 2005.
- ESCOBEDO, J.F.; GOMES, E.N.; OLIVEIRA, A.P. de; 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. 3, p. 299-309, 2009.
- FURLAN, C.; OLIVEIRA, A.P. de; SOARES, J.; CODATO, G.; ESCOBEDO, J.F. The role of clouds in improving the regression model for hourly values of diffuse solar radiation. **Applied Energy**, v. 92, p. 240-254, 2012.
- IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. London: Academic Press. 390p., 1983.
- JEBARAJ, S.; INIYANB, S. A review of energy models. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 10, p. 281-311, 2006.
- MACHADO, A.T.; ALVES, M.C. Análise e quantificação de focos de calor utilizando satélites NOAA-12 e NOAA-15 no estado de Mato Grosso. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE: 2011. Artigos, p.7888. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1299.pdf> . Acesso em: 30 ago. 2012.

- MELLIT, A.; KALOGIROU, S.A. Artificial intelligence techniques for photovoltaic applications: a review. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 34, p. 574-632, 2008.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Lista de Municípios Prioritários da Amazônia. 2013. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/im-ages/arquivos/florestas/controle\\_e\\_prevencao/2014/lista\\_%20municipios\\_%20prioritarios\\_07.08.pdf](http://www.mma.gov.br/im-ages/arquivos/florestas/controle_e_prevencao/2014/lista_%20municipios_%20prioritarios_07.08.pdf). Acesso em: 30 nov. 2015.
- NETO, O.L.M.; COSTA, A.A.; RAMALHO, F.P. Estimativa de radiação solar via modelagem atmosférica de mesoescala aplicada à região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 3, p. 339-345, 2009.
- NIELSEN, L.; PRAHM, L.P.; BERKOWICZ, R.; CONRADSEN, K. Net incoming radiation estimated from hourly global radiation and/or cloud observations. **International Journal of Climatology**, v. 1, p. 255-272, 1981.
- OLIVEIRA, A.P.; ESCOBEDO, J.F.; MACHADO, A.J.; SOARES, J. Correlation models of diffuse solar-radiation applied to the city of São Paulo, Brazil. **Applied Energy**, v. 71, p. 59-73, 2002.
- ORTEGA, A.; ESCOBAR, R.; COLLE, S.; ABREU, S.L. de. The state of solar energy resource assessment in Chile. **Renewable Energy**, v. 35, p. 2514-24, 2010.
- PRENDÉZ, M.M.; EGIDO, M.; TOMAS, C.; SECO, J.; CALVO, A. Correlation between solar radiation and total suspended particulate matter in Santiago, Chile-Preliminary results. **Atmospheric Environment**, v. 29, n. 13, p. 1543-51, 1995.
- QUERINO, C.A.S.; MOURA, M.A.L.; QUERINO, J.K.A.S.; VON RADOW, C.; MARQUES FILHO, A.O. Estudo da radiação solar global e do índice de transmissividade ( $K_T$ ), externo e interno, em uma floresta de mangue em Alagoas - Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, p. 204-294, 2011.
- SCOLAR, J.; MARTINS, D.; ESCOBEDO, J.F. Estimativa da irradiação total sobre uma superfície inclinada a partir da irradiação global na horizontal. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 21, n. 3, p. 249-258, 2003.
- SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE - SEMA - MATO GROSSO, Superintendência de Monitoramento de Indicadores Ambientais. Relatório de Monitoramento de Queimadas - 2008 e 2009. Cuiabá: SEMA/MT, 2010.
- SOUZA, A.P.; CASAVECCHIA, B.H.; STANGERLIN, D.M. Avaliação dos riscos de incêndios florestais nas regiões Norte e Noroeste da Amazônia Matogrossense. **Scientia Plena**, v. 8, n. 5, p. 1-14, 2012.
- SOUZA, A.P.; ESCOBEDO, F.J.; DAL PAI, A.; GOMES, E.N. Estimativa da radiação global incidente em superfícies inclinadas por modelos isotrópicos e índice de claridade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, n. 4, p. 339-350, 2010.
- SOUZA, A.P.; ESCOBEDO, F.J.; DAL PAI, A.; GOMES, E.N. Estimativas das componentes da radiação solar incidente em superfícies inclinadas baseadas na radiação global horizontal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 277-288, 2011.
- STANHILL, G.; COHEN, S. Global dimming: a review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 107, p. 255-78, 2001.
- TERAMOTO, E.T.; ESCOBEDO, J.F. Analysis of the annual frequency of the sky conditions in Botucatu, São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 985-992, 2012.
- TERAMOTO, E.T.; ESCOBEDO, J.F. Evolução diurna e anual da frequência das coberturas de céu em Botucatu/SP. **Energia na agricultura**, v. 27, n. 1, p. 37-52, 2012.
- TIBA, C.; FRAIDENRAICH, N.; GALLEGOS, H.G.; LYRA, F.J.M. Solar energy resource assessment - Brazil. **Renewable Energy**, v. 27, p. 383-400, 2002.
- VARELLA, F.K.O.M.; CAVALIERO, C.K.N.; SILVA, E.P. A survey of the current photovoltaic equipment industry in Brazil. **Renewable Energy**, v. 34, p. 1801-1805, 2009.
- WENXIAN, L.; WENFENG, G.; SHAOXUAN, P.; ENRONG, L. Ratios of global radiation on a tilted to horizontal surface for Yunnan Province, China. **Energy**, v. 20, n. 8, p. 723-728, 1995.
- WONG, L.T.; CHOW, W.K. Solar radiation model. **Applied Energy**, v. 69, p. 191-224, 2001.