



# Estimativas das componentes do balanço de radiação com base no coeficiente de transmissividade atmosférica

Adilson Pacheco de Souza<sup>1(\*)</sup>, Bruno Henrique Casavecchia<sup>1</sup>, Frederico Terra de Almeida<sup>1</sup>, Cornélio Alberto Zolin<sup>2</sup>, Jorge Lulu<sup>2</sup> e Ciro Augusto de Souza Magalhães<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso. Av. Alexandre Ferronato 1200, Distrito Industrial, CEP 78550-728 Sinop, MT. E-mails: pachecoufnt@gmail.com, brunohcasavecchiaef@gmail.com e fredterr@gmail.com

<sup>2</sup>Embrapa Agrossilvipastoril. Rodovia dos Pioneiros MT-222, km 2,5, Zona Rural, Caixa Postal 343, CEP 78550-970 Sinop, MT.

E-mails: cornelio.zolin@embrapa.br, jorge.lulu@embrapa.br e ciro.magalhaes@embrapa.br

(\*)Autor para correspondência.

## INFORMAÇÕES

### História do artigo:

Recebido em 23 de setembro de 2019

Aceito em 4 de março de 2020

### Termos para indexação:

saldo de radiação

atenuação atmosférica

indicativos estatísticos

## RESUMO

As medidas radiométricas das radiações refletida ( $H_R$ ), ondas longas atmosféricas incidentes ( $H_{LI}$ ) e ondas longas emitidas pela superfície ( $H_{LE}$ ) nas estações meteorológicas automáticas brasileiras são escassas em função dos custos de aquisição e manutenção dos sensores. Objetivou-se gerar e validar modelos estatísticos para estimativas das componentes do saldo de radiação com base na radiação global ( $H_G$ ), em diferentes agrupamentos de dados, na região de Sinop-MT. As correlações foram estabelecidas com o coeficiente de transmissividade atmosférica ( $K_T$ ), dado pela razão entre  $H_G$  e a radiação solar incidente no topo da atmosfera ( $H_0$ ).  $H_0$ ,  $H_G$ ,  $H_R$ ,  $H_{LI}$ ,  $H_{LE}$  variaram de 28,12 a 40,04; 5,47 a 27,45; 0,96 a 5,42; 0,019 a 1,67 e 0,91 a 7,0  $W m^{-2}$ , respectivamente. Independente da componente da radiação, os melhores ajustes no agrupamento total de dados foram obtidos por polinômios de quarto grau, com coeficientes de determinação de 0,99579, 0,94485, 0,97792 e 0,99693, para estimativas de  $H_R$ ,  $H_{LI}$ ,  $H_{LE}$  e  $R_N$ , respectivamente. Nos agrupamentos mensais, as correlações apresentaram comportamento linear. As estimativas de  $H_{LI}$  e  $H_{LE}$  não apresentaram bons desempenhos estatísticos quando obtidas com base em  $K_T$ . O uso de correlações com  $K_T$ , demonstrou ser uma boa alternativa para estimativas de  $H_R$  e  $R_N$ .

© 2020 SBAgro. Todos os direitos reservados.

## Introdução

A radiação solar na forma de ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol controla os processos físicos, biofísicos e bioquímicos que ocorrem na superfície e na atmosfera,

que por sua vez, são dependentes das variações dos níveis de energia incidente, absorvida, refletida e emitida (Santos et al., 2010).

O conhecimento da disponibilidade de radiação solar na superfície é importante para aplicações em simulações

de crescimento de plantas (planejamento agropecuário), sistemas alternativos de produção de energia, conservação de alimentos, construções e ambiência e modelos de transferência solo-vegetação-atmosfera, dentre outros (Souza et al., 2013a; Demirhan et al., 2015; Pashiardis et al., 2016; Ramos et al., 2018).

O balanço de radiação na superfície (saldo de radiação ou radiação líquida) pode ser considerado como uma das principais formas de caracterização da interação física entre biosfera e atmosfera (Souza et al., 2015). O saldo de radiação é um componente do balanço de energia superficial, sendo constituído, predominantemente, pelas entradas e saídas de radiação em ondas curtas e em ondas longas (Fietz et al., 2009).

Ao longo do dia, o saldo de radiação é variável, tendendo a ser positivo nas horas de exposição solar, devido aos fluxos incidentes de radiação global e ondas longas atmosféricas serem superiores às frações refletidas e emitidas pela superfície. E comumente, tende a negativo no período noturno, pois os fluxos incidentes passam a ser apenas o atmosférico, enquanto, a energia emitida pela superfície é em geral, superior a este (Galvani et al., 2001). Outros parâmetros como a nebulosidade e as diferenças na ocupação do solo (Sallo et al., 2014) também podem interferir no balanço de radiação, todavia, apresentam maiores dificuldades na identificação de seus efeitos. Souza et al. (2015) reportam uma ampla variação sazonal da radiação solar global e do saldo de radiação, em decorrência da nebulosidade e mudanças na vegetação que afetam, os níveis de emitância e reflexão da superfície. O processo de interação radiativo existente entre a superfície e atmosfera é um dos principais controladores da precipitação regional, sendo também considerado como uma das principais forçantes de modelos climáticos (Berbet et al., 2003; Vourlitis et al., 2008).

A importância de cada componente dentro do balanço da radiação é resultado da geometria local, localização geográfica, estação do ano e parâmetros ambientais (Erell & Williamson, 2006). Biudes et al. (2015) comparando o saldo de radiação de três biomas no Estado de Mato Grosso (Amazônia, Cerrado e Pantanal), encontraram maiores valores médios anuais para o Pantanal ( $128,2 \text{ W m}^{-2}$ ), seguido da Amazônia ( $125,6 \text{ W m}^{-2}$ ) e Cerrado ( $119,2 \text{ W m}^{-2}$ ). Na região de Sinop, MT, o saldo de radiação médio anual encontrado foi de  $125,5 \text{ W m}^{-2}$ .

A obtenção de medidas diretas dos componentes do balanço de radiação é limitada em função dos custos dos sensores e de sua manutenção/calibração. A calibração dos saldoradiômetros depende da velocidade do vento e do ângulo de incidência da luz, assim, é necessário ajustá-lo ao longo do ano, e se isso não for feito de maneira correta, o equipamento pode gerar grandes incertezas nas medidas (Evelt et al., 2011; An et al., 2017). Outra dificuldade

encontrada é a obtenção da radiação em ondas longas, que mesmo existindo equipamentos recomendados para sua medição de rotina, em alguns momentos, a radiação emitida pelo equipamento se iguala ou é maior que a radiação registrada pelo sensor, gerando erros nas medidas (Brutsaert, 1982). Deste modo, pesquisadores tem buscado desenvolver modelos empíricos que consigam estimar com confiabilidade o saldo de radiação e seus componentes, a partir de dados meteorológicos de fácil obtenção (An et al., 2017).

Em geral, as estações meteorológicas automáticas instaladas no Brasil apresentam medidas de rotina apenas da radiação global incidente. Associado a isso, é crescente a demanda por modelos para estimativa da radiação solar e suas componentes para projetos e simulações de sistemas energéticos e em modelos hidro-agrícolas e ambientais, principalmente em locais com ausência de medidas de rotina (Aladenola et al., 2014; Souza et al., 2016a).

Diante do exposto, os objetivos desse trabalho foram ajustar e validar modelos de regressão para estimativa das componentes do balanço da radiação solar, baseados no coeficiente de transmissividade atmosférica ( $K_t$ ), na escala instantânea (15 minutos), em diferentes agrupamentos temporais (mensal, sazonal e anual), para a região de transição Cerrado-Amazônia do Mato Grosso.

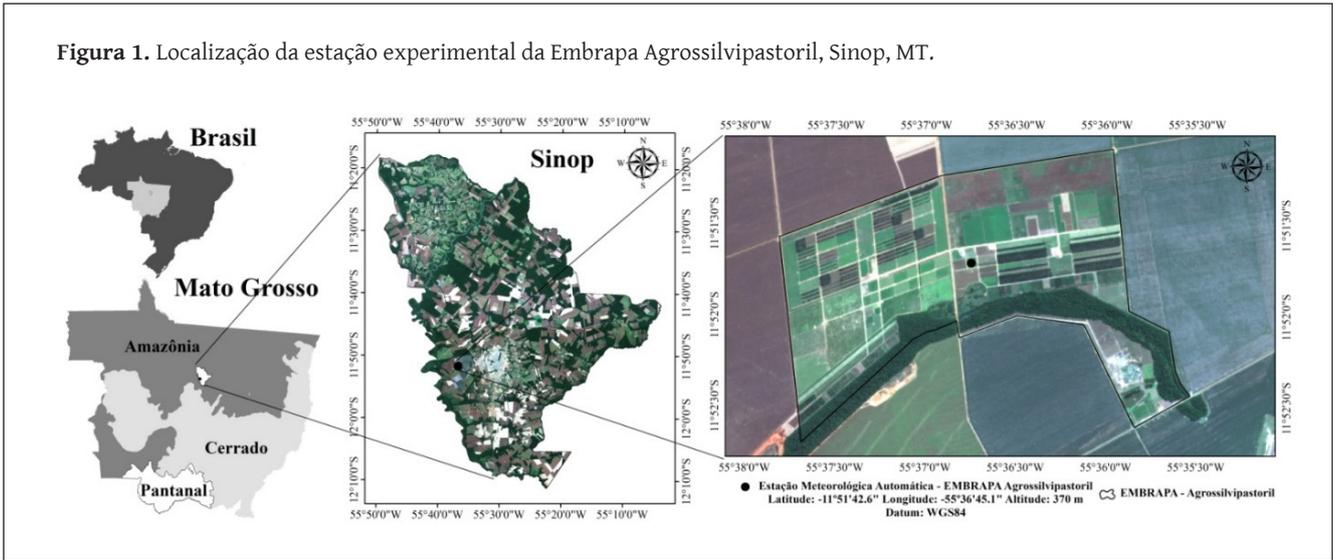
## Materiais e Métodos

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos na estação meteorológica automática da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) Agrossilvipastoril, sediada no município de Sinop, Mato Grosso, localizada na latitude  $11^{\circ}51'42.6'' \text{ S}$ , longitude  $55^{\circ}36'45.1'' \text{ W}$  e altitude média de 370m (Figura 1), distante aproximadamente 9 km do centro de Sinop.

Pelas classificações de Thornthwaite e Köppen, o clima da região é do tipo B2wA" a" e Aw, respectivamente, com chuvas concentradas no verão/outono (época chuvosa: outubro a abril) e deficiências hídricas no inverno/primavera (época seca: maio a setembro); com precipitação média anual de 1975 mm e temperaturas médias mensais oscilando entre  $23,2$  e  $25,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (média anual de  $24,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (Souza et al., 2013a).

A cobertura vegetal predominante da região é constituída por floresta tropical de transição, que ocupa o ecótono entre a floresta Amazônica e o Cerrado, sendo classificada como uma transição da ombrófila para a estacional (Vilani et al., 2010). O solo na região é classificado como Neossolo Quartzarênico com textura arenosa (84% de areia, 4% de Silte e 12% Argila) na camada de 50 cm superior do solo (Priante-Filho et al., 2004). Em consequência disso os solos apresentam restrições nutricionais e alta absorção de água (Vourlitis et al., 2002).

**Figura 1.** Localização da estação experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT.



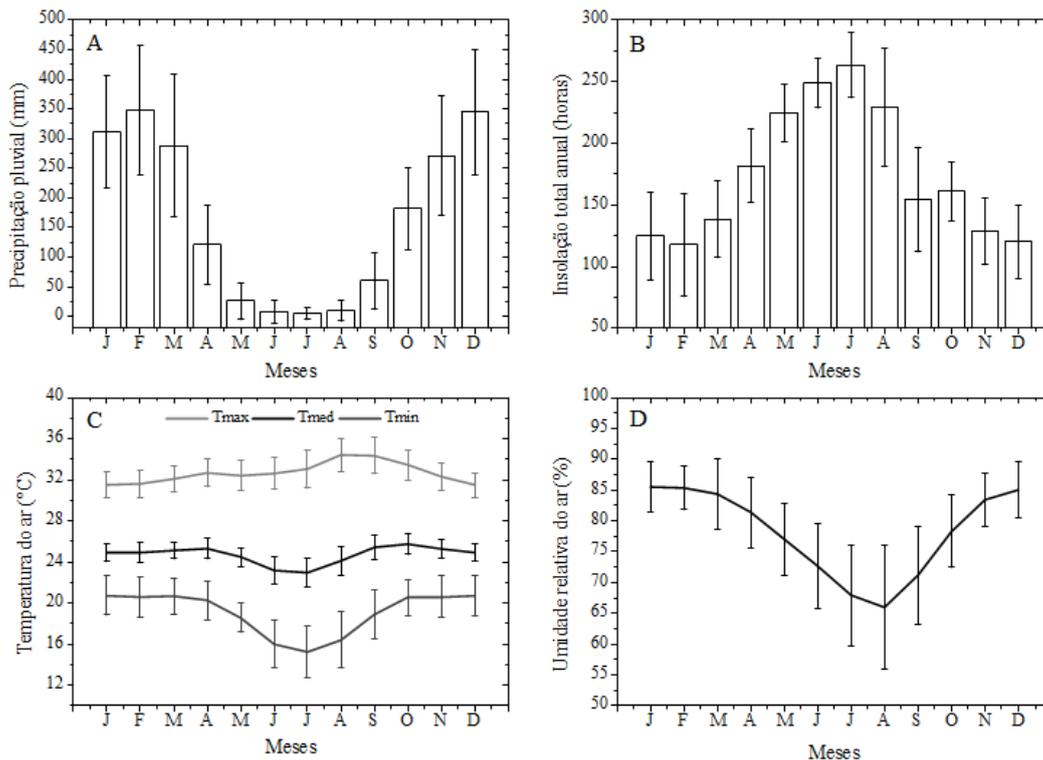
Na Figura 2 estão apresentados os dados climáticos coletados na estação convencional Gleba Celeste, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que localizava-se em Vera-MT (12°12' S, 55°30' W e altitude média de 415m), distante em torno de 80 km da EMA Embrapa Agrossilvipastoril, e por apresentar a maior série histórica da região (38 anos), permite maior detalhamento da caracterização climática regional.

Os dados da radiação global incidente “ $H_G$ ”, global refletida “ $H_R$ ”, ondas longas atmosférica incidente “ $H_{Li}$ ”, on-

das longas emitida pela superfície “ $H_{LE}$ ” e o saldo de radiação “ $R_N$ ” foram medidos com saldorradiômetro (CNR4 Net Radiometer da Kipp & Zonen) acoplado a um Microllogger (CR3000 da Campbell Scientific). As leituras dos sensores foram feitas a cada segundo e as médias armazenadas em intervalos correspondentes a 15 minutos.

As medidas foram feitas a partir do dia 09 de janeiro de 2015 e estenderam até o dia 22 de novembro de 2016, deste modo foi possível avaliar o comportamento da radiação nas quatro estações do ano (Primavera, Verão, Outono e

**Figura 2.** Médias e desvio padrão da precipitação pluvial (A), insolação (B), temperatura do ar (C) e umidade relativa do ar (D) da estação meteorológica Gleba Celeste, dos anos de 1972 a 2010.



Inverno) e nas épocas chuvosas e secas. Os sensores passaram por processo de calibração pelo laboratório de instrumentação da Embrapa Agrossilvipastoril antes de serem instalados em campo.

Os dados foram agrupados e processados com valores médios de 15 minutos e posteriormente integrados na escala diária, para análises mensais, sazonais e época chuvosa e seca. Os modelos de regressão utilizados para estimar os componentes do balanço de radiação foram ajustados em relação ao coeficiente de transmissividade da atmosfera ( $K_T$ ) (Escobedo et al., 2009), que representa a razão entre  $H_G$  e a radiação no topo da atmosfera ( $H_0$ ).

O valores de  $K_T$  foram distribuídos em quatro classes: i)  $K_T \leq 0,35$  (céu nublado), a radiação direta é praticamente nula, sendo a radiação global igual à radiação difusa; ii)  $0,35 < K_T \leq 0,55$  (céu parcialmente nublado), a radiação global é composta principalmente pela fração difusa e em menor escala pela radiação direta; iii)  $0,55 < K_T \leq 0,65$  (céu parcialmente aberto), é o inverso do segundo intervalo, visto que a radiação difusa diminui gradativamente; iv)  $K_T > 0,65$  (céu aberto), a radiação global possui a maior parcela composta pela radiação direta e mínima difusa, portanto, a cobertura do céu é considerada aberta (Escobedo et al., 2009). A radiação no topo da atmosfera foi calculada pelo método usado por Carmona et al. (2014).

Nos casos em que as radiações e as componentes do saldo de radiação foram analisadas na escala diária, acrescentou-se o subscrito “d” ( $H_{Gd}$  - para radiação global diária).

Os dados do ano de 2015 foram utilizados na calibração dos modelos de regressão, enquanto os dados de 2016 foram usados nas validações dos modelos, representando 16.289 e 13.086 valores de cada componente avaliado. Já na partição mensal foram ajustados com modelos lineares, utilizando os dados dos meses do ano de 2015, e os meses de 2016 para validação.

Na avaliação do desempenho estatístico dos modelos, foram empregados os seguintes indicativos: índice de eficiência de Nash-Sutcliffe, MBE (Mean Bias Error), RMSE (Root Mean Square Error), e “d” de Willmott (Krause et al., 2005; Souza et al., 2013a).

## Resultados e Discussão

### Comportamento da radiação solar

Os valores diários da radiação solar incidente no topo da atmosfera variaram de  $28,123 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  (22/06/2015) a  $40,041 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  (12/01/2016) (Figura 3), em função dos movimentos terrestres, que geram as datas astronômicas (solstícios e equinócios) e as culminações zenitais (Varejão-Silva, 2006).

A amplitude da  $H_{Gd}$  foi de  $21,98 \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , com valor máximo de  $27,45 \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  (02/12/2015) e mínimo de  $5,47 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  (10/03/2016). Isso indica que, mesmo

no verão, quando há alta incidência de radiação no topo da atmosfera pelos menores ângulos zenitais na aparente passagem solar no plano de meridiano, aumenta-se a probabilidade de dias com elevada nebulosidade, que por sua vez interfere diretamente na transmissividade atmosférica. O dia 02/12/2015 foi parcialmente aberto ( $K_T = 0,63$ ) proporcionando o maior valor de  $H_{Gd}$  (Escobedo et al., 2009), enquanto que no dia 10/03/2016, ocorreu uma precipitação de baixa intensidade e o período diurno foi nublado ( $K_T = 0,144$ ).

A  $H_{Rd}$  apresentou maior e menor valor no dia 30/01/2015 ( $5423,4 \text{ KJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) e 07/07/2015 ( $963,4 \text{ KJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ), respectivamente. A razão entre a  $H_{Rd}$  e a  $H_{Gd}$  determina o albedo da superfície, usado principalmente para cálculo de estimativas do balanço de radiação de ondas curtas (BOC). Segundo Monteith & Unsworth (2013) os principais fatores que interferem no albedo são a absorção, reflexão, transmissão e emissividade do objeto. Nos objetos, esses fatores são influenciados pelos constituintes químicos e características físicas como cor e tamanho. Na região de Sinop, os meses de janeiro apresenta elevados índices pluviométricos (Souza et al., 2013a), e conseqüentemente as características colorimétricas da vegetação faz com que ela tenha maior absorção e menor reflexão da radiação. Nesse caso, ressalta-se que a EMA Embrapa Agrossilvipastoril se encontra instalada acima de um gramado, cujo albedo varia de 0,20 a 0,30.

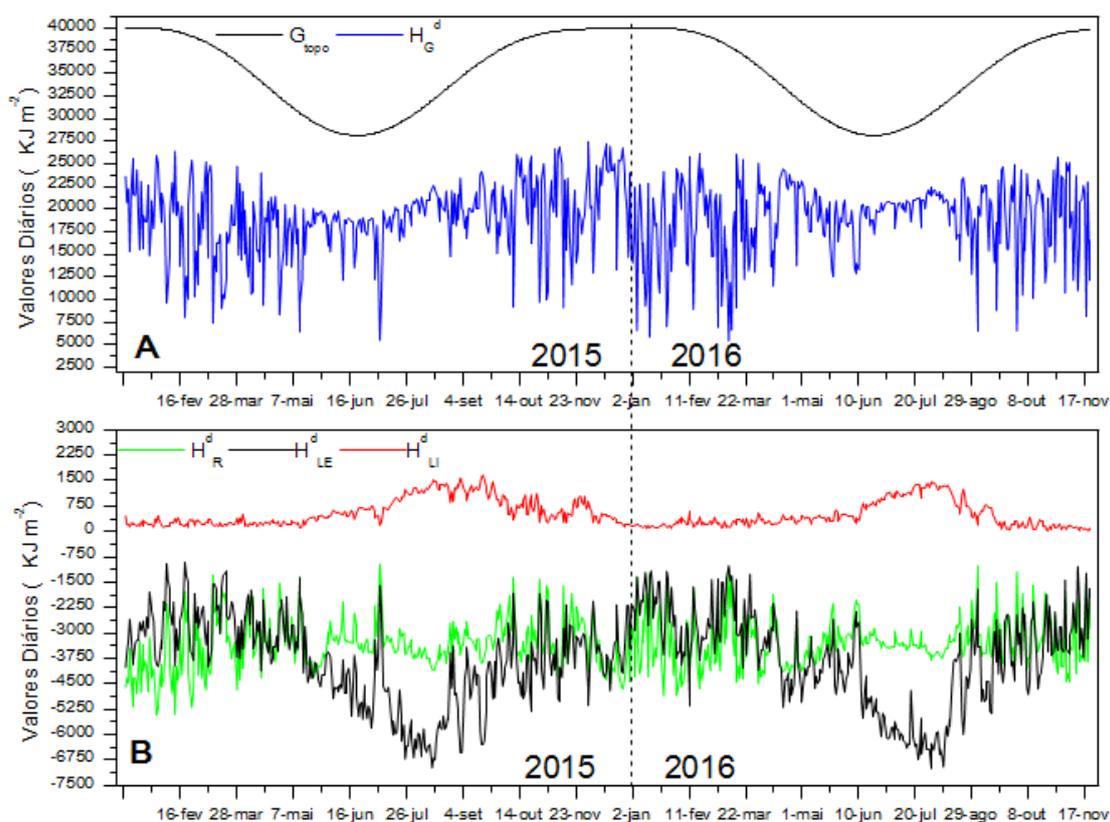
A  $H_{Lid}$  apresenta pouca contribuição para o saldo de radiação, tendo como valores máximo de  $1668,8 \text{ KJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  (18/09/2015) e mínimo de  $19,5 \text{ KJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  (13/11/2016). A radiação em ondas longas é emitida aproximadamente nos comprimentos de onda de 4,0-100,0  $\mu\text{m}$ , principalmente por moléculas atmosféricas como  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$  e nuvens (Idso & Jackson, 1969). Maiores valores da radiação em ondas longas incidente no período de baixa quantidade de  $\text{H}_2\text{O}$  na atmosfera, podem estar associados a emissão gerada pelos aerossóis provenientes de queimadas na região nesse período (Souza et al., 2012).

Os valores de  $H_{LEd}$  pela superfície foram superiores aos valores de  $H_{Lid}$ , tendo como valores máximo e mínimo de  $7002,46$  e  $906,02 \text{ KJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  (31/07/2016 e 19/02/2015), respectivamente. A emissividade da radiação em ondas longas pela superfície é o produto da constante de Stefan-Boltzmann com a sua temperatura à quarta potência. Deste modo, valores elevados em julho, são conseqüências da menor nebulosidade, que proporciona maior passagem de radiação pela atmosfera (Souza et al., 2016b), fornecendo maior quantidade de energia para aquecimento da superfície, e conseqüentemente, aumentando a emissão de radiação de ondas longas pela própria superfície.

### Coefficiente de transmissividade atmosférica ( $k_T$ )

Nas estações que coincidem com o período chuvoso

**Figura 3.** Radiação extraterrestre ( $H^{0d}$ ), global incidente ( $H_{Gd}$ ) (Figura A), global refletida ( $H_{Rd}$ ), ondas longa emitida ( $H_{LEd}$ ) e ondas longa incidente ( $H_{LId}$ ) (Figura B) no período de 09/01/2015 a 22/11/2016.



(primavera e verão), as distribuições das frequências de  $K_T$  foram homogêneas, pois na região Amazônica existe elevada formação de nuvens nesse período (SOUZA et al., 2016b), proporcionando uma redução da transmissividade atmosférica. No inverno, a distribuição das frequências de  $K_T$  apresentou comportamento exponencial crescente pois mesmo com a diminuição da radiação no topo da atmosfera, ocorre a redução da nebulosidade e da concentração de vapor d'água próxima a superfície terrestre, permitindo assim, maior incidência de radiação solar na superfície (Teramoto & Escobedo, 2012; Souza et al., 2016b).

#### Calibração anual e validação em diferentes partições

Os modelos de regressão ajustados com polinômios de quarto grau para estimativas instantâneas (15 minutos) de  $H_G$ ,  $H_{LE}$ ,  $H_{LI}$  e  $R_N$  (variáveis dependentes) em função de  $K_T$  (variável independente), agrupadas em base de dados total (anual) são apresentadas na Tabela 1. Nesse caso, os coeficientes de determinação pela aplicação da curva-média foram de 0,996, 0,945, 0,978 e 0,997 (figuras 4 e 5), respectivamente.

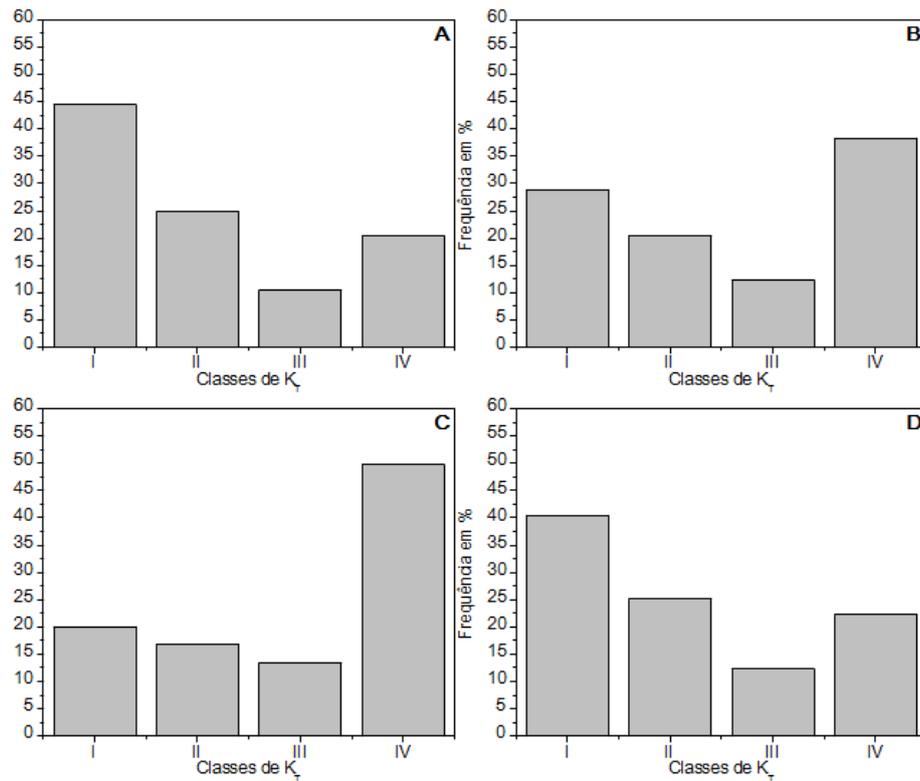
As curvas médias apresentaram valores máximos de  $H_R$ ,  $H_{LI}$ ,  $H_{LE}$  e  $R_N$  de  $116,939 \text{ W m}^{-2}$  ( $15,056$ ,  $47,805 \pm \text{ W m}^{-2}$

$(83,489 - (13,295 \pm \text{ W m}^{-2})$  ( $19,422 \pm \text{ W m}^{-2}$ ) e  $559,482 \text{ W m}^{-2}$  ( $229,824 \pm \text{ W m}^{-2}$ ), para os valores de  $K_T$  de 0,815, 0,765, 0,765 e 0,795; e valores mínimos de  $0,830 \text{ W m}^{-2}$  ( $1,133 \pm \text{ W m}^{-2}$ ),  $-4,093 \text{ W m}^{-2}$  ( $5,966 \pm \text{ W m}^{-2}$ ),  $-20,041 \text{ W m}^{-2}$ , ( $\pm 17,323 \text{ W m}^{-2}$ ),  $-23,662 \text{ W m}^{-2}$ , ( $\pm 18,932 \text{ W m}^{-2}$ ), para os valores de  $K_T$  de 0,005, 0,005, 0,055, 0,005. Em dias de céu aberto ( $K_T > 0,65$ ), ocorre maior contribuição das componentes na radiação líquida, com destaque para a similaridade entre as curvas da radiação refletida com a radiação líquida, e por conseguinte, mostrando a grande influência da radiação em ondas curtas no saldo de radiação (Escobedo et al., 2009).

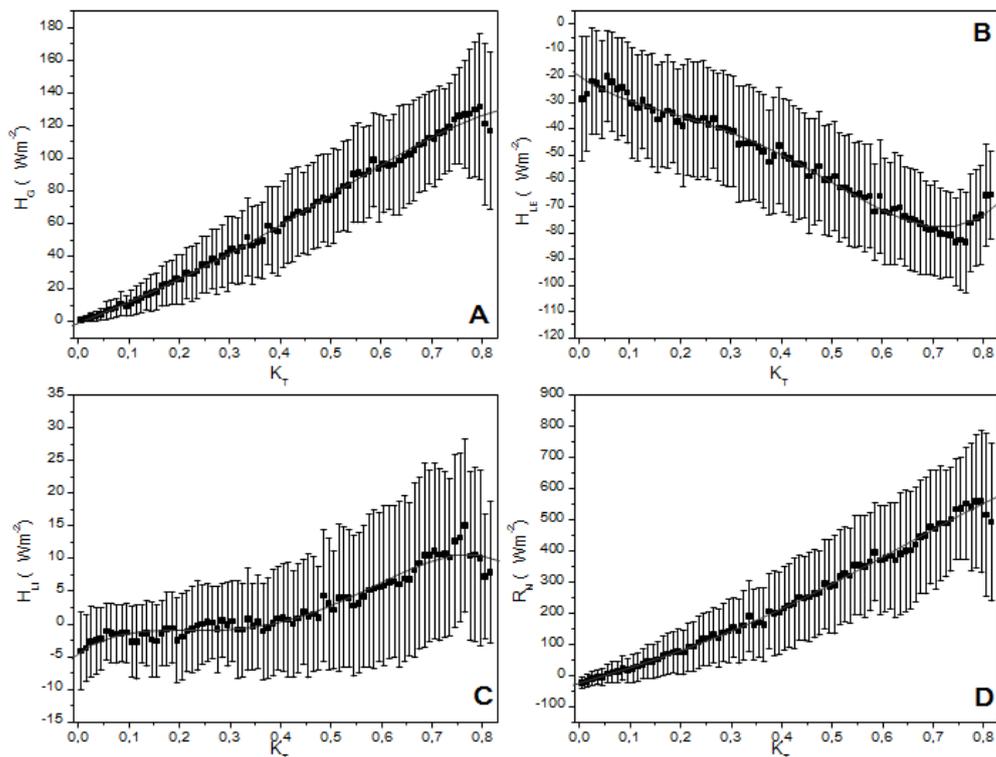
As curvas médias da  $H_R$ ,  $H_{LI}$  e  $R_N$ , apresentaram os menores desvios padrão para valores de  $K_T < 0,35$ , indicando que a nebulosidade minimiza os efeitos da massa óptica na superfície, homogeneizando a radiação incidente (Souza et al., 2011). Já  $H_{LE}$  apresentou pequena variação dos desvios padrão com a variação de  $K_T$ , demonstrando que a nebulosidade não interfere na variação desta componente.

Foram obtidos bons desempenhos estatísticos na validação das estimativas da radiação refletida e do saldo de radiação, em diferentes agrupamentos de dados (Tabela 2), pois em geral, a sazonalidade dessas duas componentes está relacionada com a variação da radiação no topo da

**Figura 4.** Frequência da distribuição horária das classes de  $K_T$  no verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D), em Sinop-MT, entre 09/01/2015 a 22/11/2016.



**Figura 5.** Correlações entre as radiações global refletida " $H_R$ " (A), ondas longas incidente " $H_{LI}$ " (B), ondas longas emitida " $H_{LE}$ " (C), saldo de radiação " $R_N$ " (D) e o coeficiente de transmissividade ( $K_T$ ), em Sinop-MT, considerando agrupamento total de dados, no período de 08/01/2015 a 31/12/2015.



**Tabela 1.** Coeficientes dos polinômios das correlações entre as componentes do saldo de radiação e  $K_T$ , em agrupamento total dos dados, no período de 08/01/2015 a 31/12/2016.

Radiações	a1	a2	a3	a4	a5	R2
HR	-0,986	126,374	9,305	209,129	-211,388	0,996
HLI	-20,055	-127,335	455,469	-1144,321	837,502	0,978
HLE	-4,403	52,346	-277,208	584,244	-362,926	0,945
Rn	-25,002	485,447	26,598	931,484	-741,396	0,997

**Tabela 2.** Indicativos estatísticos de desempenho das curvas médias das radiações refletida, ondas longas incidente, ondas longas emitida e radiação líquida em função de classes de  $K_T$ , em diferentes agrupamentos de dados.

Agrupamentos	Radiação	R2	E	MBE (Wm-2)	RMSE (Wm-2)	d
KT 1	HR	0,66	0,62	3,14	13,33	0,86
	HLI	0,09	0,08	-2,41	22,45	0,40
	HLE	0,02	-0,02	-1,16	5,64	0,30
	RN	0,51	0,48	11,27	70,73	0,78
KT 2	HR	0,14	0,11	4,45	25,24	0,50
	HLI	0,05	0,04	0,97	22,93	0,34
	HLE	0,02	-0,10	-1,83	6,07	0,35
	RN	0,12	0,08	26,32	132,53	0,46
KT 3	HR	0,03	0,02	3,15	28,53	0,26
	HLI	0,03	0,02	1,45	22,56	0,19
	HLE	0,02	-0,23	-3,92	8,81	0,40
	RN	0,02	-0,07	-63,30	213,36	0,35
KT 4	HR	0,01	-0,02	2,06	26,38	0,26
	HLI	0,00	-0,11	-6,24	20,67	0,30
	HLE	0,01	-0,01	-1,25	11,66	0,70
	RN	0,00	-0,04	-42,33	238,65	0,26
Verão	HR	0,75	0,68	12,39	29,31	0,90
	HLI	0,52	0,27	11,64	19,99	0,78
	HLE	0,10	-2,65	-4,11	8,32	0,24
	RN	0,67	0,62	49,71	146,71	0,87
Outono	HR	0,85	0,85	0,01	17,46	0,96
	HLI	0,42	0,36	-4,43	18,62	0,78
	HLE	0,20	-0,56	-5,53	8,39	0,58
	RN	0,82	0,79	25,38	111,09	0,93
Inverno	HR	0,82	0,78	-7,09	18,36	0,94
	HLI	0,33	-0,23	-18,99	28,39	0,63
	HLE	0,65	0,37	3,78	10,29	0,67
	RN	0,69	0,69	-11,89	122,79	0,90
Primavera	HR	0,78	0,76	7,68	24,25	0,92
	HLI	0,46	0,44	2,57	18,12	0,81
	HLE	0,27	0,23	-0,73	5,94	0,69
	RN	0,74	0,65	69,04	148,59	0,88
Anual	HR	0,76	0,76	3,07	22,93	0,93
	HLI	0,45	0,44	-2,49	21,99	0,77
	HLE	0,25	0,22	-1,67	8,55	0,63
	RN	0,71	0,69	30,48	132,55	0,90

HR = Radiação global refletida; HLE = Radiação de ondas longas emitida; HLI = Radiação de ondas longas incidente; RN = Saldo de radiação; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinação; E = Índice de Nash-Sutcliffe; MBE = Erro médio absoluto; RMSE = Raiz do erro médio ao quadrado; d = Índice de Willmott.

atmosfera, e este efeito influência de forma indireta nas variações de  $K_T$  e suas correlações.

O agrupamento dos dados da primavera apresentou melhor desempenho para as estimativas da componente  $H_{LE}$ , com valores de  $R^2 = 0,46$ ,  $E = 0,44$ ,  $MBE = 2,57 \text{ W m}^{-2}$ ,  $RMSE = 18,12 \text{ W m}^{-2}$  e  $d = 0,81$ . A primavera é marcada pelo início da fase chuvosa na região (Souza et al., 2013a), desta forma a radiação que chega na superfície não tem grande variação para o mesmo  $K_T$ , pois as condições de nebulosidade são estáveis durante o dia (Carmona et al., 2014), melhorando assim, o desempenho do modelo.

Nas validações das estimativas das  $H_R$  e  $R_N$ , o melhor desempenho estatístico foi obtido no outono, com valores de  $R^2 = 0,85$ ,  $E = 0,85$ ,  $MBE = 0,01 \text{ W m}^{-2}$ ,  $RMSE = 17,46 \text{ W m}^{-2}$  e  $d=0,96$  para a global refletida e  $R^2 = 0,82$ ,  $E = 0,79$ ,  $MBE = 25,38 \text{ W m}^{-2}$ ,  $RMSE = 111,09 \text{ Wm}^{-2}$  e  $d=0,93$  para a radiação líquida.

O agrupamento dos dados no inverno apresentou melhor desempenho para as estimativas da  $H_{LP}$ , com valores de  $R^2 = 0,65$ ,  $E = 0,37$ ,  $MBE = 3,78 \text{ W m}^{-2}$ ,  $RMSE = 10,29 \text{ W m}^{-2}$  e  $d=0,67$ . No inverno, as condições de nebulosidade na região são mais estáveis (Souza et al., 2016b), ao não ser que ocorra deslocamentos de massas de ar oriundas de frentes frias/quentes; nessas situações os valores da radiação em ondas longas incidente possuem menores desvios em relação ao mesmo valor de  $K_T$ , proporcionando maior acurácia das predições do modelo.

### Calibração e validação mensal

As estimativas de  $H_R$  em março, apresentou os melhores índices estatísticos de calibração da regressão para estimativa da (Tabela 3), sendo seguido pelos meses mais chuvosos da região (fevereiro e janeiro). Esses melhores ajustes na calibração no período chuvoso estão relacionados com a menor variação da quantidade de água do solo, pois segundo Pavão et al. (2015) essa variável é uma das mais influenciam na mudança do albedo da superfície. Outro fator que influência no melhor ajuste da calibração nesse período, é o menor desvio padrão da  $H_{gd}$  na região, principalmente em março, (Souza et al., 2016b), decorrentes de menores ângulos zenitais entre ângulos horários de  $45^\circ$ , que conseqüentemente, gera menores variações nas radiações em ondas curtas refletidas pela superfície (Querino et al., 2006).

Na validação, o mês de julho apresentou os melhores índices estatísticos, seguido de maio e junho (período seco), contudo, nos meses chuvosos pode ser considerada boa quando se avalia o índice de Nash-Sutcliffe (superior a 0,62).

A calibração das regressões de estimativa da  $H_{LP}$ , não apresentaram boas correlações com  $K_T$  (Tabela 4). Em fevereiro, foram observados os melhores índices estatísticos, porém o desempenho pode ser considerado mediano

quando comparado com os valores encontrados para a calibração das regressões da " $H_R$ ". Existe uma grande dificuldade em medir e estimar a  $H_{LP}$ , pois as condições de nebulosidade influenciam na emissão de  $H_{LP}$ , e os sensores utilizados para medição, às vezes captam a sua própria radiação emitida ao invés da  $H_{LP}$ , principalmente, quando as mesmas apresentam valores baixos (Aguiar et al., 2011).

As regressões para estimativa da  $H_{LE}$  com base em  $K_T$  também não apresentaram bons desempenhos estatísticos. Os valores de  $H_{LE}$  dependem principalmente da temperatura da superfície (elevada a quarta potência) pela equação física de Stefan-Boltzmann (Varejão-Silva, 2006). Mesmo havendo bloqueio da radiação solar pelas nuvens, o solo pode atingir temperatura semelhante ao que ocorre em dias de céu aberto, pois a radiação difusa que atinge o solo em dias de céu nublado pode gerar uma mesma quantidade de energia que a radiação direta em dias de céu limpo, o que depende da radiação incidente no topo da atmosfera. Com isso, um mesmo valor de  $H_{LE}$  pode ocorrer em diferentes valores de  $K_T$  (condição de nebulosidade), fazendo com que a calibração tenha baixo desempenho estatístico. No período de seca a variação do  $K_T$  é pequena devida a menor formação de nuvens (Souza et al., 2016), justificando o melhor desempenho das calibrações nos meses correspondente a este período (Tabela 5).

Nas validações das estimativas de  $H_{LE}$ , em setembro foram obtidos os melhores índices de desempenho estatístico, pois na região neste mês ocorre o início das precipitações, gerando uma condição de nebulosidade média (quando comparado com o restante do ano) (Souza et al., 2016).

As calibrações das regressões para estimativa do  $R_N$  apresentaram desempenhos semelhantes ao longo dos meses. Em geral,  $R_N$  varia conforme o tipo da cobertura do solo, condições climáticas e temperatura do solo (An et al., 2017). Nas condições de solo seco (solo descoberto), grande parte da radiação em ondas curtas são refletidas, pois nessas condições o solo passa a ter maior refletância e menor calor específico (Querino et al., 2017). Em março, a maior homogeneização de água no solo pelo acumulo de chuvas (Souza et al., 2013b), e a menor variação do  $K_T$  (Souza et al., 2016) faz com que ocorra menor variação do saldo de radiação para o mesmo valor de  $K_T$ , melhorando a acurácia nas estimativas de  $R_N$ . Na validação estatística, o desempenho dos modelos apresentou melhores índices nos meses de seca (Tabela 6).

### Conclusões

A utilização do coeficiente de transmissividade atmosférica ( $K_T$ ) para estimativas da radiação refletida ( $H_R$ ) e do saldo de radiação ( $R_N$ ) em partições instantâneas (15 minutos) propicia boas estimativas, independentemente da

**Tabela 3.** Coeficientes das regressões, desempenho estatístico (validação) dos modelos lineares para a estimativa de  $H_R$  em função de  $K_T$ , em agrupamento mensal de dados.

Mês	Coeficiente calibrados			Desempenho estatístico			
	a	b	R <sup>2</sup>	E	MBE (W m <sup>-2</sup> )	RMSE (W m <sup>-2</sup> )	d
Janeiro	-17,12	237,49	0,77	0,69	20,22	28,44	0,92
Fevereiro	-11,18	228,04	0,80	0,69	18,48	28,94	0,93
Março	-11,27	205,81	0,82	0,79	15,26	22,58	0,95
Abril	-7,70	176,56	0,74	0,87	11,41	17,28	0,96
Mai	-7,67	173,67	0,68	0,90	8,60	13,44	0,97
Junho	-19,84	167,22	0,69	0,89	8,53	12,84	0,97
Julho	-21,26	168,76	0,74	0,90	8,84	11,03	0,97
Agosto	-26,74	185,04	0,70	0,73	15,66	20,52	0,93
Setembro	-10,20	163,62	0,67	0,79	15,95	20,49	0,94
Outubro	-4,93	151,45	0,76	0,62	19,36	29,67	0,89
Novembro	-3,56	160,85	0,76	0,73	21,52	27,37	0,91
Dezembro	-11,71	185,40	0,73	0,77	18,50	23,20	0,93

a = coeficiente angular; b = coeficiente da reta; R<sup>2</sup> = Coeficiente de Determinação; E = Índice de Nash-Sutcliffe; MBE = Erro médio absoluto; RMSE = Raíz do erro médio ao quadrado; d = Índice de Willmott.

**Tabela 4.** Coeficientes das regressões, desempenho estatístico (validação) dos modelos lineares para a estimativa de  $H_{LI}$  em função de  $K_T$ , em agrupamento mensal de dados.

Mês	Coeficiente calibrados			Desempenho estatístico			
	a	b	R <sup>2</sup>	E	MBE (W m <sup>-2</sup> )	RMSE (W m <sup>-2</sup> )	d
Janeiro	-11,82	-82,00	0,59	0,29	13,56	16,89	0,80
Fevereiro	-5,18	-85,36	0,65	0,32	14,26	17,90	0,81
Março	-6,82	-82,14	0,59	0,54	13,83	17,22	0,84
Abril	-14,83	-73,70	0,44	0,26	16,75	19,56	0,76
Mai	-29,25	-53,26	0,32	0,04	15,62	18,07	0,69
Junho	-50,79	-37,60	0,16	0,27	14,82	18,03	0,60
Julho	-31,28	-82,05	0,40	-1,56	20,71	23,60	0,58
Agosto	-58,58	-50,23	0,22	0,16	18,00	22,61	0,58
Setembro	-43,23	-59,10	0,27	0,24	16,18	21,04	0,72
Outubro	-31,92	-60,40	0,40	0,33	14,42	19,45	0,75
Novembro	-25,50	-63,93	0,49	0,43	14,28	17,95	0,79
Dezembro	-17,34	-78,40	0,53	0,56	12,26	14,30	0,84

a = coeficiente angular; b = coeficiente da reta; R<sup>2</sup> = Coeficiente de Determinação; E = Índice de Nash-Sutcliffe; MBE = Erro médio absoluto; RMSE = Raíz do erro médio ao quadrado; d = Índice de Willmott.

época do ano.

As componentes da radiação em ondas longas emitida ( $H_{LE}$ ) e incidente ( $H_{LI}$ ) não podem ser estimadas apenas com base em  $K_T$ .

As equações geradas para estimativas das componentes do saldo de radiação no agrupamento anual apresentaram desempenhos estatísticos semelhantes a menores agrupamentos de dados, indicando que, essas equações podem ser aplicadas em qualquer época do ano.

Condições de céu nublado propiciam melhores estimativas das componentes do saldo de radiação.

O uso do  $K_T$  para estimar a radiação em ondas curtas refletidas e o saldo de radiação é um método fácil e eficiente, podendo ser utilizado em estações meteorológicas que

realizam apenas a medição da radiação global ( $H_G$ ), no entanto, para estimativas das componentes em ondas longas devem ser avaliadas a aplicação conjunta outras variáveis meteorológicas/atmosféricas.

### Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de doutorado cedida ao primeiro autor (Código de financiamento – 001). A Embrapa Agrossilvipastoril pela disponibilidade dos dados utilizados neste trabalho.

**Tabela 5.** Coeficientes das regressões, desempenho estatístico (validação) dos modelos lineares para a estimativa da  $H_{LE}$  em função de  $K_p$ , em agrupamento mensal de dados.

Mês	Coeficiente calibrados			Desempenho estatístico			
	a	b	R <sup>2</sup>	E	MBE (W m <sup>-2</sup> )	RMSE (W m <sup>-2</sup> )	d
Janeiro	-0,22	-3,14	0,04	-0,17	26,92	34,47	0,41
Fevereiro	0,71	-6,48	0,02	-0,80	3,72	4,60	0,38
Março	-0,51	-0,65	0,22	-0,09	4,19	5,25	0,35
Abril	-1,58	1,98	0,10	0,02	4,66	5,74	0,25
Mai	-6,21	7,48	0,41	0,30	3,99	4,83	0,56
Junho	-15,38	26,71	0,71	0,36	6,48	7,69	0,78
Julho	-14,69	35,06	0,82	0,47	8,96	10,38	0,78
Agosto	-21,51	58,89	0,63	0,60	7,01	8,53	0,89
Setembro	-11,98	57,83	0,42	-4,73	14,61	16,88	0,53
Outubro	-6,08	34,16	0,37	-0,29	6,80	9,31	0,72
Novembro	-3,15	26,58	0,30	-2,58	6,97	8,69	0,53
Dezembro	-3,38	15,68	0,23	0,26	4,10	5,89	0,65

a = coeficiente angular; b = coeficiente da reta; R<sup>2</sup> = Coeficiente de Determinação; E = Índice de Nash-Sutcliffe; MBE = Erro médio absoluto; RMSE = Raiz do erro médio ao quadrado; d = Índice de Willmott.

**Tabela 6.** Coeficientes das regressões, desempenho estatístico (validação) dos modelos lineares para a estimativa do  $R_N$  em função de  $K_p$ , em agrupamento mensal de dados.

Mês	Coeficiente calibrados			Desempenho estatístico			
	a	b	R <sup>2</sup>	E	MBE (W m <sup>-2</sup> )	RMSE (W m <sup>-2</sup> )	d
Janeiro	-109,86	908,08	0,65	0,62	107,82	133,76	0,89
Fevereiro	-68,47	842,79	0,63	0,63	117,85	152,33	0,88
Março	-66,90	869,37	0,73	0,73	95,17	123,86	0,92
Abril	-64,87	789,49	0,82	0,78	99,14	120,03	0,93
Mai	-60,95	684,23	0,85	0,76	94,61	114,64	0,92
Junho	-165,84	800,11	0,83	0,76	92,84	108,59	0,93
Julho	-150,22	750,06	0,83	0,74	93,24	107,42	0,91
Agosto	-202,29	849,57	0,63	0,53	124,08	147,73	0,86
Setembro	-110,89	811,44	0,73	0,66	118,71	145,79	0,89
Outubro	-72,59	869,57	0,64	0,59	101,59	162,60	0,89
Novembro	-54,87	843,78	0,77	0,76	93,60	124,60	0,93
Dezembro	-104,34	906,73	0,65	0,62	122,52	150,23	0,91

a = coeficiente angular; b = coeficiente da reta; R<sup>2</sup> = Coeficiente de Determinação; E = Índice de Nash-Sutcliffe; MBE = Erro médio absoluto; RMSE = Raiz do erro médio ao quadrado; d = Índice de Willmott.

## Referências

AGUIAR, L. J. G.; COSTA, J. M. N.; FISCHER, G. R.; AGUIAR, R. G.; COSTA, A. C. L.; FERRREIRA, W. P. M. Estimativa da radiação de onda longa atmosférica em áreas de floresta e de pastagem no sudoeste da Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v. 26, n. 2, p. 215-224, 2011.

ALADENOLA, O.; MADRAMOOTOO, C. Evaluation of solar radiation estimation methods for reference evapotranspiration estimation in Canada. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 118, p. 377-385, 2014.

AN, N.; SAHAR, H.; YU-JUN, C. Assessment of the methods for determining net radiation at different time-scales of meteorological variables. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, v. 9, p. 239-246, 2017.

BERBET, M. L. C.; COSTA, M. H. Climate change after tropical deforestation: seasonal variability of surface albedo and its effects on precipitation change. *Journal of Climate*, v. 16, p. 2099-2104, 2003.

BIUDES, M. S.; VOURLITIS, G. L.; MACHADO, N. G.; ARRUDA, P. H. Z.; NEVES, G. A. R.; LOBO, F. A.; NEALE, C. M. U.; NOGUEIRA, J. S. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 202, n. 1, p. 112-124, 2015.

BRUTSAERT, W. *Evaporation into the Atmosphere: theory, history and applications*, D. Reidel Publishing Company, 1982. 229 p.

CARMONA, F.; RIVAS, R.; CASELLES, V. Estimation of daytime downward longwave radiation under clear cloudy skies conditions over a sub-humid region. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 115, p. 281-295, 2014.

DEMIRHAN, H.; ATILGAN, Y. K. New horizontal global solar radiation estimation models for Turkey based on robust cop lot supported genetic programming technique. *Energy Conversion and Management*, v. 106, p. 1013-1023, 2015.

- ERELL, E. E WILLIAMSON, T. Simulating air temperature in an urban street canyon in all weather conditions using measured data from a reference meteorological station. **International Journal of Climatology**, v. 26, p. 1671-1694, 2006.
- 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, 2009.
- EVETT, S. R.; PRUEGER, J. H.; TOLK, J. A. Water and energy balances in the soil-plant-atmosphere continuum. In: **Handbook of soil sciences: properties and processes**. 2nd ed. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press; 2011.
- FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. Evaluation of models to estimate net radiation and the Priestley-Taylor method in the region of Dourados, MS, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, 2009.
- GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; PEREIRA, A. B. Balanço de radiação e fluxo de calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado com pepineiro. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 2, p. 139-147, 2001.
- IDSON, S. e JAKSON, R. D. Thermal radiation from the atmosphere. **Journal of Geophysical Research**, v. 74, p. 5397-5403, 1969.
- KRAUSE, P.; BOYLE, D. P.; BÄSE, F. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. **Advances in Geosciences**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 2005.
- MONTEITH, J. L. e UNSWORTH, M. H. **Principles of Environmental Physics**. 4 ed. Amsterdam, 2013, 401 p.
- PASHIARDIS, S. e KALOFIROU, S. A. Quality control of solar shortwave and terrestrial longwave radiation for surface radiation measurements at two sites in Cyprus. **Renewable Energy**, v. 96, p. 1015-1033, 2016.
- PAVÃO, V.M. et al. Temperatura e Albedo da Superfície por Imagens Tm Landsat 5 em diferentes usos do Solo no Sudoeste da Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 16, p. 169-183, 2015.
- PRIANTE-FILHO, N. et al. Comparison of the mass and energy exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the Southern Amazon Basin during a seasonal transition. **Global Change Biology**, v. 10, p. 863-876, 2004.
- QUERINO, C. A. S.; BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G.; QUERINO, J. K. A. S.; SANTOS NETO, L. A.; SILVA, M. J. G.; ARRUDA, P.; NOGUEIRA, J. S. Balanço de ondas curtas sobre floresta sazonalmente alagável do Pantanal Mato-grossense. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 20, p. 252-266, 2017.
- QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; LYRA, R. F. F.; MARIANO, G. L. Avaliação e Comparação de Radiação Solar Global e Albedo com Ângulo Zênital na Região Amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 21, n. 3a, p. 42-49, 2006.
- SALLO, F. S.; FRANÇA, M. S.; MORAIS, D. M.; RODRIGUES, R.; BIUDES, M. S. Estimation of components of the radiation balance of different types of land use and land cover. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 9, n. 2, p. 347-358, 2014.
- SANTOS, C. A. C.; SILVA, B. B.; RAO, T. V. R.; SATYAMURTY, P.; MANZI, A. O. Downward longwave radiation estimates for clear-sky conditions over northeast Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 26, n. 3, p. 443-450, 2011.
- SOUZA, A. P.; ESCOBEDO, J. F. Estimativas da radiação global incidente em superfícies inclinadas com base na razão de insolação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 3, p. 483-491, 2013a.
- 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**, Sinop, v. 1, n. 1, p. 34-43, 2013b.
- SOUZA, A. P.; ESCOBEDO, J. F.; 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**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 277-288, 2011.
- SOUZA, A. P.; TANAKA, A. A.; SILVA, A. C.; ULIANA, E. M.; ALMEIDA, F. T.; GOMES, A. W. A.; KLAR, A. E. Reference evapotranspiration by Penman-Monteith FAO 56 with missing data of global radiation. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v. 10, n. 2, p. 217-233, 2016a.
- SOUZA, A. P.; ZAMADEI, T.; MONTEIRO, E. B.; CASAVECCHIA, B. H. Transmissividade atmosférica da radiação global na região amazônica de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 31, n. 4, p. 639-648, 2016b.
- SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B. M.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Balanço de radiação em ecossistema de Caatinga preservada durante um ano de seca no semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. 3, p. 41-55, 2015.
- TERAMOTO, E. T. e ESCOBEDO, J. F. Analysis of the annual frequency of the sky conditions in Botucatu, São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 985-992, 2012.
- VAREJÃO SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: INMET, 2006. 463p.
- VILANI, M. T.; SANCHES, L.; PINHEIRO, M. R. O.; PINTO JUNIOR, O. B. Estimativa da radiação de onda longa incidente em uma floresta semidecídua tropical da Bacia Amazônica. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 65-81, 2010.
- VOURLITIS, G. L.; NOGUEIRA, J. S.; LOBO, F. A.; SENDALL, K. M.; DE FARIA, J. L. B.; DIAS, C. A. A.; ANDRADE, N. L. R. Energy balance and canopy conductance of a tropical semi-deciduous forest of the Southern Amazon Basin. **Water Resources Research**, v. 44, n. 3, 2008.
- VOURLITIS, G. L.; PRIANTE-FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. S.; CASEIRO, F. T.; CAMPELO JUNIOR, J. H. Seasonal variations in the evapotranspiration of a transitional tropical forest of Mato Grosso, Brazil. **Water Resources Research**, v. 38, n. 6, p. 1-11, 2002.
- WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin-American Meteorological Society**, v. 63, n. 11, p. 1309-1313, 1982.

## REFERENCIAÇÃO

SOUZA, A. P.; CASAVECCHIA, B. H.; ALMEIDA, F. T.; ZOLIN, C. A.; LULU, J.; MAGALHÃES, C. A. S. Estimativas das componentes do balanço de radiação com base no coeficiente de transmissividade atmosférica. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.27, n.1, p.111-122, set 2019.

Declaração: os trabalhos estão sendo publicados nesse número de AGROMETEOROS (v.27, n.1, set 2019) conforme foram aceitos pelo XXI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, realizado de 12 a 16 de agosto de 2019, em Catalão, Goiás, sem revisão editorial adicional da revista.



# Estimates of solar radiation balance components based on atmospheric transmissivity coefficient

Adilson Pacheco de Souza<sup>1(\*)</sup>, Bruno Henrique Casavecchia<sup>1</sup>, Frederico Terra de Almeida<sup>1</sup>, Cornélio Alberto Zolin<sup>2</sup>, Jorge Lulu<sup>2</sup> and Ciro Augusto de Souza Magalhães<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso. Av. Alexandre Ferronato 1200, Distrito Industrial, CEP 78550-728 Sinop, MT, Brazil. E-mails: pachecoufmont@gmail.com, brunohcasavecchiaef@gmail.com and fredterr@gmail.com

<sup>2</sup>Embrapa Agrossilvipastoril. Rodovia dos Pioneiros MT-222, km 2,5, Zona Rural, Caixa Postal 343, CEP 78550-970 Sinop, MT, Brazil. E-mails: cornelio.zolin@embrapa.br, jorge.lulu@embrapa.br and ciro.magalhaes@embrapa.br

(\*)Corresponding author.

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 23 September 2019

Accepted 4 March 2020

### Index terms:

radiation balance  
atmospheric attenuation  
statistical indicatives

## ABSTRACT

The balance of solar radiation ( $R_N$ ) on horizontal surfaces can be obtained by the differences between shortwave and longwave balances. The routine measurements of components (global incident " $H_G$ ", reflected " $H_R$ ", long atmospheric waves incident " $H_{LI}$ " and long waves emitted by the surface " $H_{LE}$ ") in Brazilian automatic meteorological stations (EMA's) are scarce due to the costs of acquisition and maintenance of sensors. The objective of this study was to generate and validate statistical models for the estimation of the components and of the radiation balance based on the  $H_G$ , in different databases grouping, in the region of Sinop, MT, Brazil. Correlations were established between components of radiation balance and the coefficient of atmospheric transmissivity, given by the ratio between  $H_G$  and extraterrestrial radiation ( $H_0$ ). The daily values of  $H_0$ ,  $H_G$ ,  $H_R$ ,  $H_{LI}$  and  $H_{LE}$  ranged from 28.12 to 40.04, 5.47 to 27.45, 0.96 to 5.42, 0.019 to 1.67 and 0.906 to 7.002  $W m^{-2}$ , respectively. Regardless of the radiation component  $t$ , the best adjustments in the total data grouping were obtained by fourth-degree polynomials, with determination coefficients of 0.99579, 0.94485, 0.97792 and 0.99693, for  $H_R$ ,  $H_{LI}$  and  $H_{LE}$  and  $R_N$ , respectively. In the monthly groupings the correlations showed a linear behavior. In different data groupings, the estimates of  $H_{LI}$  and  $H_{LE}$  did not present good statistical performances. The use of  $K_t$  correlations has proved to be a good alternative for  $H_R$  and  $R_N$ .

© 2020 SBAgro. All rights reserved.

## CITATION

SOUZA, A. P.; CASAVECCHIA, B. H.; ALMEIDA, F. T.; ZOLIN, C. A.; LULU, J.; MAGALHÃES, C. A. S. Estimativas das componentes do balanço de radiação com base no coeficiente de transmissividade atmosférica. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.27, n.1, p.111-122, set 2019.

Disclaimer: papers are published in this issue of AGROMETEOROS (v. 27, n.1, set 2019) as accepted by the XXI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, held August 12-16, 2019 in Catalão, Goiás State, Brazil, without further revision by editorial board.