

## INFLUÊNCIA DA ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO GLOBAL NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA POR MODELOS SIMPLIFICADOS

BRENA G. FERNEDA<sup>1</sup>, ADRIANA A. TANAKA<sup>2</sup>, MARLUS SABINO<sup>3</sup>, CATIA C. DA  
SILVA<sup>4</sup>, ADILSON P. DE SOUZA<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Graduanda(o) em Engenharia Agrícola e Ambiental, Bolsista PIBIC/CNPq, Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Sinop, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Sinop-MT, [brena\\_gfkl@hotmail.com](mailto:brena_gfkl@hotmail.com)

<sup>2</sup> Bolsista PNPd/CAPEs PPG Agronomia, ICAA/UFMT, Sinop-MT

<sup>3</sup> Graduanda(o) em Engenharia Florestal, ICAA/UFMT, Sinop-MT

<sup>4</sup> Pós-Graduanda em Ciências Ambientais, ICNHS/UFMT, Sinop-MT

<sup>5</sup> Prof. Adjunto, ICAA/UFMT, Sinop-MT, [adilsonpacheco@ufmt.br](mailto:adilsonpacheco@ufmt.br)

Apresentado no

XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016

24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

**RESUMO:** A região Amazônica em conjunto com a área de transição Cerrado-Amazônia do estado de Mato Grosso apresenta grande destaque na produção agrícola nacional, com elevados potenciais para expansão de áreas produtivas e/ou da produtividade. Dentre os principais entraves da produção regional, destaca-se os riscos climáticos associados a deficiências hídricas em fases fenológicas críticas e/ou os excedentes hídricos que inviabilizam a colheita e logística. Esse cenário demanda conhecimentos vinculados aos elementos meteorológicos e suas influências para o planejamento agropecuário. Nesse sentido, objetivou-se avaliar o efeito (erro produzido) de estimativas da radiação global ( $H_G$ ) com modelos simplificados na obtenção da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) pelo método de Penman-Montheit FAO 56 (PMF), para seis estações meteorológicas automáticas da região amazônica do estado de Mato Grosso. Foi realizada a calibração regional de quatro modelos de estimativa de  $H_G$ , com a ferramenta Solver objetivando a maximização dos coeficientes de determinação. Empregou  $H_G$  medida como referência para obtenção da  $ET_0$  por PMF. Foram observadas superestimativa de até 1,45 mm dia<sup>-1</sup>, espalhamentos inferiores a 0,70 mm dia<sup>-1</sup> e ajustamentos superiores a 0,70 para todas as estações meteorológicas e modelos de estimativa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Penman-Montheit FAO 56, temperatura do ar, indicativos estatísticos

## INFLUENCE OF THE ESTIMATES OF GLOBAL RADIATION IN REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION OBTAINED BY SIMPLIFIED MODELS

**ABSTRACT:** The Amazon and Cerrado-Amazon transition regions of Mato Grosso State, Brazil, have great prominence in national agricultural production, with high potential for expansion of production and/or productivity areas. Among the main obstacles of regional production, climate risks associated with water deficiencies in critical crop stages and/or water surplus that prevent harvest and logistics stands out. This scenario demands knowledge linked to meteorological elements and their influences for the agricultural planning. The objective was to evaluate the effect (produced error) of estimates the global radiation ( $H_G$ ) with simplified models in obtaining the reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) by Penman-Montheit FAO 56 (PMF) for six automatic weather stations on Amazon region of Mato Grosso. It was made the regional calibration four models estimation  $H_G$ , with the Excel Solver tool, aiming to maximize the coefficient of determination. The  $H_G$  measured by pyranometers employed as reference for obtaining the  $ET_0$  by PMF. Were observed overestimation up to 1.45 mm day<sup>-1</sup>, scattering less than 0.70 mm day<sup>-1</sup> and higher adjustments to 0.70, for all

weather stations and models evaluated.

**KEYWORDS:** Penman-Montheit FAO 56 model, air temperature, statistical indicative

## INTRODUÇÃO

A região Amazônica em conjunto com a área de transição Cerrado-Amazônia do estado de Mato Grosso apresenta grande destaque na produção agrícola nacional, com elevados potenciais para expansão de áreas produtivas e/ou da produtividade. Dentre os principais entraves da produção regional, destaca-se os riscos climáticos associados a deficiências hídricas em fases fenológicas críticas e/ou os excedentes hídricos que inviabilizam a colheita e logística. Esse cenário demanda conhecimentos vinculados aos elementos meteorológicos e suas influências para o planejamento agropecuário. A relação radiação global e evapotranspiração da cultura estão diretamente relacionadas, de modo que em diversos modelos de estimativa da evapotranspiração, utiliza-se os dados da radiação solar. Os aparelhos responsáveis pela medição direta desses dados são de custo elevado, e por vezes as séries históricas apresentam falhas, causadas pela falta de manutenção ou eventos climáticos não previstos que danificam os sensores. Desta maneira, as equações matemáticas devidamente calibradas, tornam-se uma ótima opção de estimativa da radiação solar e consequentemente da evapotranspiração. O modelo de Penman-Montheit, reconhecido pela FAO (Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação) em 56 é reconhecido como metodologia padrão para a determinação da evapotranspiração de referência, uma vez que considera componentes energéticos e aerodinâmicos. Nesse sentido, objetivou-se avaliar o efeito (erro produzido) de estimativas da radiação global ( $H_G$ ) com modelos simplificados na obtenção da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) pelo método de Penman-Montheit FAO 56 (PMF), para seis estações meteorológicas automáticas da região amazônica do estado de Mato Grosso.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados no trabalho foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia INMET, coletados através das estações meteorológicas automáticas (EMA's) localizadas nas respectivas cidades, como apresentado na Tabela 1. A base de dados, em geral, apresentou falhas para todas as cidades, por conseguinte, estes foram desconsiderados quando aplicados às equações. O período de coleta de dados, bem como o número de dados efetivos trabalhados variou para cada estação, visto que houve divergência entre o período de implantação e/ou desativação das mesmas.

TABELA 1. Estações meteorológicas da região amazônica do estado de Mato Grosso.

Código	Nome da Cidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Período de dados	Número de dados	Perdas (%)
A - 926	Carlinda	9,9703	55,8272	300	04/2008-01/2013	1768	14,20
A - 914	Juara	11,2803	57,5267	260	11/2006-02/2012	1947	35,03
A - 920	Juína	11,3750	58,7750	374	10/2007-02/2012	1949	35,40
A - 928	N. Maringá	13,0386	57,0922	353	04/2008-01/2013	1768	44,85
A - 917	Sinop	11,9822	55,5658	371	11/2006-06/2012	2284	59,28
A - 904	Sorriso	12,5452	55,7113	380	01/2009-01/2013	1493	35,83

As equações simplificadas para a estimativa da radiação global avaliadas são baseadas apenas na temperatura do ar, pois esta variável está presente nas bases de dados das estações meteorológicas convencionais (com normais climatológicas) instaladas no estado de Mato Grosso. Em geral, consideram a amplitude térmica foi obtida a partir da seguinte equação:  $\Delta T = T_{max} - T_{min}$  ( $T_{max}$  e  $T_{min}$  são as temperaturas máxima e mínima diária,

respectivamente). A radiação incidente no topo da atmosfera foi obtida a partir do proposto por IQBAL (1983). A evapotranspiração de referência foi determinada segundo Penman-Monteith FAO 56 (eq. 1), considerando nesse caso, que os modelos de estimativa de HG influenciam na obtenção de  $R_n$ , que por sua vez, é dependente dos balanços de ondas curtas e de ondas longas (BOC e BOL), e ainda, que o balanço de ondas curtas é dependente de HG e do albedo da superfície vegetada (gramado, considerado como 0,23) (Allen et al., 1998).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

em que:  $ET_o$  - evapotranspiração de referência,  $\text{mm d}^{-1}$ ;  $H$  - saldo de radiação,  $\text{MJ m}^2 \text{d}^{-1}$ ;  $G$  - fluxo de calor no solo,  $\text{MJ m}^2 \text{d}^{-1}$ ;  $T$  - média diária da temperatura do ar a 2 m de altura,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $u_2$  - velocidade do vento a 2 m de altura,  $\text{m s}^{-1}$ ;  $e_s$  - pressão da saturação de vapor, kPa;  $e_a$  - pressão de vapor atual, kPa;  $e_s - e_a$  - déficit de saturação de vapor, kPa;  $\Delta$  - inclinação da curva da pressão de vapor *versus* temperatura,  $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;  $\gamma$  - constante psicrométrica,  $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ , 0,408 corresponde a  $1/\lambda$ , sendo  $\lambda$  o calor latente de vaporização da água igual a 2,45  $\text{MJ Kg}^{-1}$ , 900 é um coeficiente para a cultura de referência.

Tabela 2. Equações de estimativa da radiação solar, parâmetros e referências.

Modelo	Equação	Parâmetros	Referência
BRC	$H = a[1 - \exp(-b\Delta T^c)] H_o$	a,b,c	Bristow e Campbell (1984)
DOC	$H = a \left( 1 - \exp \left( -b \frac{\Delta T^c}{\Delta T_{méd}} \right) \right) H_o$	a,b,c	Donatelli e Campbell (1998)
GOO	$H = a \left( 1 - \exp \left( -b \frac{\Delta T^c}{H_o} \right) \right) H_o$	a,b,c	Goodin et al (1999)
MAH	$H = a \Delta T^{0,69} H_o^{0,91}$	a	Mahmood e Hubbard (2002)

Na avaliação do desempenho dos modelos estatísticos gerados foram utilizados os indicativos estatísticos MBE (Mean Bias Error), RMSE (Root Mean Square Error), índice de ajustamento (d) de Willmott (1985) e índice de desempenho (c), obtido pelo produto entre o coeficiente de correlação (r) e o índice de ajustamento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os modelos apresentaram tendência a superestimar os valores da radiação global, quando comparado aos valores calculados segundo Penman-Monteith. Os modelos BRC e GOO apresentaram melhores desempenhos quando aplicados na estimativa da  $ET_o$  para quatro das seis cidades estudadas. Para a cidade de Sinop, recomenda-se a avaliação de outros modelos, visto que mesmo com as calibrações regionais, os ajustamentos podem ser considerados baixos (Tabela 4).

Tabela 3. Coeficiente de correlação e respectiva equação da relação entre valores de evapotranspiração de referência estimados pelo modelo de Penman Monteith e estimados por Penman Monteith com dados de radiação solar estimados por diferentes modelos para as cidades do estado de Mato Grosso, MT.

Modelo	BRC		GOO		DOC		MAH	
Cidade	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>

Carlinda	$y=0,7081x+1,0557$	0,59	$y=0,7712x+0,8288$	0,59	$y=0,6974x+1,113$	0,56	$y=0,7121x+1,0708$	0,53
Juara	$y=0,7161x+0,9926$	0,49	$y=0,7107x+1,0071$	0,47	$y=0,7117x+1,005$	0,48	$y=0,6657x+1,253$	0,41
Juína	$y=0,7995x+0,6623$	0,52	$y=0,8172x+0,5997$	0,51	$y=0,7896x+0,6973$	0,5	$y=0,7683x+0,8371$	0,41
N. Maringá	$y=0,6658x+1,2355$	0,43	$y=0,6917x+1,1681$	0,43	$y=0,6763x+1,2242$	0,43	$y=0,5959x+1,6359$	0,29
Sinop	$y = 0,4946x + 1,4118$	0,34	$y=0,7178x+0,6154$	0,54	$y=0,4963x+1,4157$	0,34	$y=0,6602x+1,1864$	0,65
Sorriso	$y = 0,7526x + 0,8517$	0,62	$y=0,8091x+0,6731$	0,61	$y=0,7534x+0,8841$	0,59	$y=0,7665x+0,8379$	0,55

Tabela 4. Índices de desempenho estatístico para a correlação entre os valores de evapotranspiração de referência estimados pelo modelo de Penman Monteith e estimados por Penman Monteith com dados de radiação solar estimados por diferentes modelos para as cidades do estado de Mato Grosso, MT.

Modelo	BRC			GOO			DOC			MAH		
	MBE	RMSE	d	MBE	RMSE	d	MBE	RMSE	d	MBE	RMSE	d
Carlinda	0,026	0,5539	0,872	0,0174	0,52601	0,874	0,00083	0,574	0,860	-0,0159	0,580	0,848
Juara	0,044	0,6343	0,833	0,05121	0,64859	0,821	0,04902	0,6437	0,826	-0,0706	0,69299	0,796
Juína	0,037	0,601	0,856	0,03871	0,60488	0,849	0,03652	0,6144	0,848	-0,0477	0,66539	0,807
N. Maringá	0,035	1,183	0,808	-0,0100	0,52352	0,809	-0,0071	0,5285	0,811	-0,191	0,62482	0,712
Sinop	1,251	0,838	0,728	1,0311	-0,32505	0,489	1,22734	-0,2894	0,701	0,45978	-0,7507	0,194
Sorriso	0,077	0,5714	0,887	0,036	0,55032	0,886	0,03088	0,5845	0,877	0,02764	0,60254	0,859

## CONCLUSÕES

A evapotranspiração de referência, calculada por PMF, com Hg obtido através dos modelos propostos, apresentaram tendência a superestimar os valores, Reproduzindo erro de 2 mm dia<sup>-1</sup> para as cidades da região amazônica de Mato Grosso.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage paper 56. Rome, 1998.
- BRISTOW, K. L.; CAMPBELL, G. S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 31, p. 159 – 166, 1984.
- DONATELLI, M.; CAMPBELL, G. S. A simple model to estimate global solar radiation. In: **Proceedings of Fifth ESA Congress**, vol. 2, Nitra, Slovak Republic, 28 June–2 July 1998, The Slovak Agriculture University, Nitra, Slovak Republic, p. 133–134. 1998.
- GOODIN, D. G.; HUTCHINSON, J. M. S.; VANDERLIP, R. L.; KNAPP, M. C. Estimating solar irradiance for crop modeling using daily air temperature data. **Agronomy Journal**, Wooster, v. 91, p. 845– 851, 1999.
- IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. Canadá: Academic Press, 1983. 390 p.
- MAHMOOD, R.; HUBBARD, K. G. Effect of time of temperature and estimation of daily solar radiation for the Northern Great Plains, USA. **Agronomy Journal**, Wooster, v. 94, p. 723–733, 2002.
- WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.