EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA COM DADOS MÍNIMOS PARA A REGIÃO DE CERRADO MATOGROSSENSE

SUZANA G. SILVA[1], ADILSON P.SOUZA[2], ADRIANA A. TANAKA[3], BRENA G. FERNEDA[4], CHARLES C. MARTIM[5]

[1]Graduanda (o) em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Sinop, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Sinop-MT, suzanagrassi@live.com
[2]Prof. Adjunto, ICAA/UFMT, Sinop-MT, adilsonpacheco@ufmt.br
[3]Bolsista PNPD/CAPES PPG Agronomia, UFMT – Campus Universitário de Sinop, Mato Grosso, Brasil
[4]Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Sinop, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Sinop-MT
[5]Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Sinop, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Sinop-MT

Apresentado no
XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

RESUMO: A evapotranspiração é um processo conjunto e dinâmico que engloba as perdas de água por evaporação do solo e por transpiração das plantas. Todavia, em muitos casos a falta de dados meteorológicos locais pode ser uma limitação para o seu emprego de maneira adequada em projetos e manejos em sistemas hídroagrícolas. Objetivou-se avaliar o desempenho de estimativas diárias da evapotranspiração de referência (ET0) por modelos dependentes da temperatura do ar, para dez estações meteorológicas localizadas na região de Cerrado do estado de Mato Grosso. Foram avaliados sete modelos de estimativa da ETo: Camargo (CA), Hargreaves-Samani (HS), Holdridge (HO), Jensen-Haise (JH), Linacre (LI), McGinnes-Bordnes (MB) e Turc (TU); adotou-se como referência o método de Penman-Montheit FAO 56. Foram avaliadas as correlações para agrupamentos de dados mensais e sazonais, com utilização dos seguintes indicativos estatísticos: coeficiente de determinação (R2), o erro médio relativo (MBE), raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) e o índice de ajustamento (d). Os modelos HS, JH, LI e TU superestimaram a ET0 em todas as estações, enquanto que MB propiciou subestimativas entre -0,20 e -0,80 mm.dia-1. Os menores espalhamentos (até 0,72 mm.dia-1) e maiores ajustamentos (entre 0,89 e 0,96) foram gerados por TU.
PALAVRAS-CHAVE: manejo de irrigação, temperatura do ar, indicativos estatísticos

REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION WITH MINIMUM DATA FOR CERRADO MATOGROSSENSE

ABSTRACT: The evaporation is a continuous and dynamic process that includes the water loss by soil evaporation and plant transpiration. However, in many cases the lack of local meteorological data can be a limitation for their job properly in projects and managements in hydro-agricultural systems. The objective was to evaluate the performance of daily reference evapotranspiration (ET0) estimates for models based on air temperature, for ten automatic weather stations, located in Cerrado region of Mato Grosso State, Brazil. Evaluated seven models estimate of ET0: Camargo (CA), Hargreaves-Samani (HS), Holdridge (HO), Jensen-Haise (JH), Linacre (LI), McGinnes-Bordnes (MB) and Turc (TU); was adopted as reference the Penman-FAO Montheit 56. Were evaluated correlations for monthly and seasonal data clusters, using the following statistical indicative: coefficient of determination (R2), the means beans error (MBE), root of mean square error (RMSE) and the adjustment index (d).

The models HS, JH, LI and TU overestimated ET0 in all weather stations, while MB model showing to underestimation between -0.20 and -0.80 mm.dia-1. The smaller scattering (up to 0.72 mm.dia-1) and higher adjustments (between 0.89 and 0.96) were generated by TU.
KEYWORDS: irrigation management, air temperature, statistical indicative

INTRODUÇÃO

O estado de Mato Grosso está localizado na região Centro-Oeste e é o terceiro maior estado do país, sendo responsável por 25% da produção nacional de grãos, e que portanto, demanda alta importância quanto a ciência dos fatores que afetam a produção, para um adequado planejamento agrícola. A radiação solar na superfície da Terra é a principal fonte de energia fundamental para muitos processos físicos, químicos e biológicos, tais como o crescimento das culturas e a fotossíntese das plantas, e é também uma variável essencial e importante para a simulação de muitos modelos de estudos, como a agricultura, o ambiente, hidrologia, meteorologia e ecologia. Assim, um registro preciso da radiação energia solar é de fundamental importância (Chen et al. 2011). A evapotranspiração é o processo de transferência de água para a atmosfera resultante da evaporação direta da água do solo e da transpiração dos tecidos vegetais. Pesquisas a respeito de evapotranspiração proporcionam informações referentes a quantidade de água utilizada pelas plantas, fornecendo referências para o manejo da água e para o dimensionamento dos sistemas de irrigação (Souza et al., 2009). O conceito de ETo foi inserido para estudar a demanda evaporativa da atmosfera independentemente tipo de cultura, fenologia e práticas de gestão. Modelos ETo são baseadas em princípios físicos normalmente, equações empíricas ou mesmo uma combinação de física e abordagens empírica. Métodos baseados empiricamente são determinados por observações fundamentada e análise estatística e geralmente, são adequado para uma região específica ou condição climática (Maeda et al., 2011). Os principais parâmetros climáticos que afetam a evapotranspiração são radiação, temperatura do ar, humidade do ar e velocidade do vento. Segundo ALLEN et al., 2006 têm sido desenvolvidos vários métodos para a determinação da evaporação a partir destes parâmetros. Em razão do grande número de métodos existentes para estimativa da ETo, a escolha do método mais apropriado resulta da disponibilidade de dados climatológicos, do nível de exatidão exigido, do objetivo, se manejo da irrigação ou pesquisa, bem como do custo de aquisição de equipamentos (TAGLIAFERRE et al., 2010). Este trabalho objetivou avaliar o desempenho de estimativas diárias da evapotranspiração de referência (ET0) por modelos dependentes da temperatura do ar, para dez estações meteorológicas localizadas na região de Cerrado do estado de Mato Grosso.

MATERIAL E MÉTODOS

No estado de Mato Grosso existem duas estações climáticas bem definidas: chuvosa (outubro a abril) e seca (maio a setembro). A classificação climática de Köppen: Aw (Clima Tropical de Savana) - clima tropical com temperaturas médias superiores a 18 °C em todos os meses. A estação seca ocorre no outono/inverno e a estação chuvosa, na primavera/verão e Cwa (Clima Temperado ou Tropical de Altitude) – clima chuvoso, com inverno seco, onde as temperaturas do mês mais quente são acima de 22 °C (SOUZA et al., 2013). Os dados utilizados neste trabalho foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) coletados pelas estações automáticas localizadas nas cidades do cerrado matogrossense e/ou transição cerrado-amazônia (Tabela 1), cuja distribuição espacial encontra-se na Figura 1.

Tabela 1. Estações meteorológicas automáticas do cerrado mato-grossense.

Código	Nome da Estação	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Período de dados	Número de dados	Perdas (%)
A-908	1. Água Boa	14,0161	52,2122	423	01/2008 - 01/2013	1858	12,22
A-912	2. Campo Verde	15,3139	55,0808	749	01/2008 - 01/2013	1858	51,67
A-918	3. Confresa	10,6539	51,5668	237	06/2008 - 01/2013	1707	25,13
A-930	4. Gaúcha do Norte	13,1847	53,2575	379	08/2008 - 01/2013	1646	16,40
A-929	5. Nova Ubiratã	13,4111	54,7522	518	04/2008 - 01/2013	1768	33,94
A-931	6. Sto Antonio Leste	14,9278	53,8836	648	08/2008 - 01/2013	1646	24,79
A-921	7. S. Félix Araguaia	11,6189	50,7278	218	08/2011 - 01/2013	550	17,09

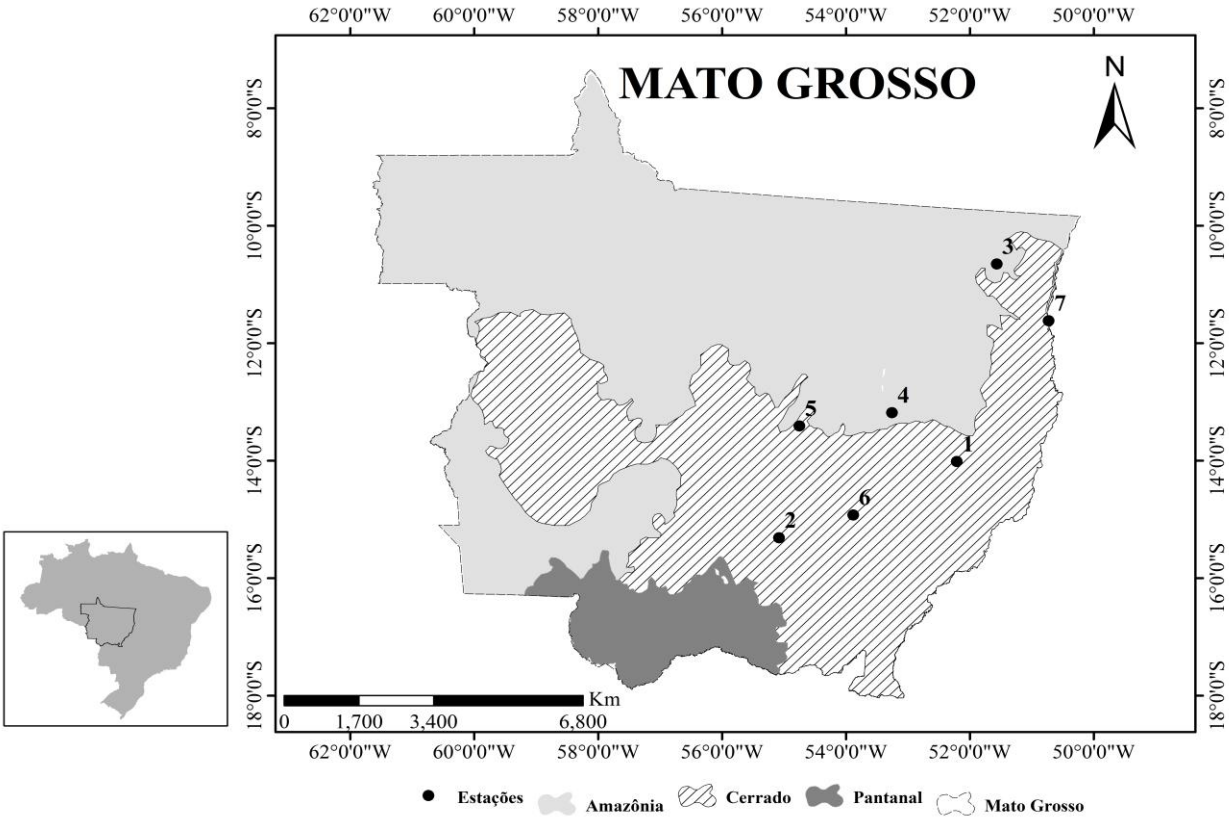

Figura 1. Mapa do estado do Mato Grosso, localização das cidades do cerrado mato-grossense.

A estimativa da evapotranspiração de referência diária (ETo) foi obtida por modelos simplificados baseados apenas na temperatura do ar: Camargo (CA), Hargreaves-Samani (HS), Holdridge (HO), Jensen-Haise (JH), Linacre (LI), McGinnes-Bordnes (MB) e Turc (TU); adotou-se como referência o método de Penman-Montheit FAO 56. A seguir são apresentadas os modelos avaliados:

Penman – Monteith FAO

$$ETo = \frac{0{,}408\Delta(H-G)+\gamma\frac{900}{T+273}u2(es-ea)}{\Delta+\gamma(1+0{,}34\,u2} \quad (1)$$

em que: ETo - evapotranspiração de referência, mm d^{-1}; H - radiação solar global, MJ m^2 d^{-1}; G - fluxo de calor no solo, MJ m^2 d^{-1}; T - média diária da temperatura do ar a 2 m de altura, ºC; u_2 - velocidade do vento a 2 m de altura, m s^{-1}; e_s - pressão da saturação de vapor, kPa; e_a - pressão de vapor atual, kPa; es - ea- - déficit de saturação de vapor, kPa; Δ - inclinação da curva da pressão de vapor *versus* temperatura, kPa ºC^{-1}; γ - constante psicrométrica, kPa ºC^{-1}, 0,408 corresponde a 1/ λ, sendo λ o calor latente de vaporização da água igual a 2,45 MJ Kg-1, 900 é um coeficiente para a cultura de referência.

Método de Camargo (Pereira et al., 1997)

$ETo = F\ H_0\ T\ ND$ (2)

em que: H_0 é a radiação extraterrestre (mm d^{-1}); T é a temperatura média (ºC); F é um fator de ajuste e varia de acordo a temperatura média anual do local (para T até 23 ºC, F=0,01; T = 24 ºC, F=0,0105; T=25 ºC, F=0,011; T=26 ºC, F=0,0115; T > 26 ºC, F=0,012); ND é o número de dias do período.

Método de Hargreaves e Samani (Pereira et al., 1997)

$ETo = 0{,}0023\ H_0\ (T_{max} - T_{min})^{0,5}(t + 17{,}8)$ (3)

em que: H_0 é a radiação extraterrestre (mm d^{-1}); Tmax é a temperatura máxima (ºC); Tmin é a temperatura mínima (ºC) e t é a temperatura média (ºC).

Método de Holdridge (Holdridge, 1959)

$ETo = C_{HO}\ T$ (4)

em que: $C_{HO} = 58{,}93\frac{Put}{Nut}$

em que: Tmed é a temperatura média diária (ºC); Put é o período por unidade de tempo (dias); Nut é o número de unidades de tempo em um ano (365 ou 366 dias).

Método de Jensen – Haise (Pereira et al., 1997)

$ETo = H\ (0{,}00252\ T + 0{,}078)$ (5)

em que: H é a radiação solar global média diária expressa em equivalente de evaporação (mm d^{-1}); T é a temperatura média diária (ºC);

Método de Linacre (Pereira et al., 1997)

$$ETo = \frac{\frac{J(T+0{,}006h)}{100-\emptyset} + 15(T-To)}{80-T} \quad (6)$$

em que: a constante J é igual a 500 no caso de vegetação (r = 0,25) e 700 no caso de água livre; T é a temperatura média (ºC); h é a altitude do local em metros; ∅ é a latitude local em graus (em módulo); To é a temperatura média diária do ponto de orvalho (ºC).

$(T - To) = 0{,}0023\ h + 0{,}37\ T + 0{,}53\ (Tmax - Tmin) + 0{,}35R - 10{,}9$ (7)

em que: R é a diferença entre a temperatura média dos meses mais quentes e frios.

Método de McGinness – Bordne (Oudin et al., 2005)

$$ETo = \left([\frac{(Tmed+5)}{68}\right] \quad (8)$$

em que: H0 é a radiação extraterrestre (MJ m^{-2} d^{-1}); λ é o calor latente de vaporização (MJ kg^{-1}); ρ é a densidade da água (kg m^{-3}); Tmed é a temperatura média diária (ºC).

Método de Turc (Lu et al., 2005)

Para umidade relativa do ar < 50%

$$ETo = 0{,}013 \left[\frac{Tmed}{(Tmed+15)}\right] (H\ 23{,}8846 + 50)\left(1 + \frac{50-UR}{70}\right) \quad (9)$$

Para umidade relativa > 50%

$$ETo = 0{,}013 \left[\frac{Tmed}{(Tmed+15)}\right] (H\ 23{,}8846 + 50) \quad (10)$$

em que: Tmed é a temperatura média diária (ºC); H é a radiação solar global média diária (MJ m^{-2} dia^{-1}).

Os índices estatísticos de desempenho utilizados neste trabalho foram: Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (RQME) e Erro Relativo Médio (ERM). Quanto menor o valor de RQME, melhor é o desempenho do modelo, foi utilizado o ERM em que valores positivos superestimam e valores negativos subestimam os valores estimados.

O índice de concordância (d) de Willmott et al. (1985) determina a exatidão do método e foi utilizado para indicar o grau de afastamento entre os valores de radiação solar estimados e os medidos (MJ m^{-2} d^{-1}).

$$RQME = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N}(Pi-Oi)^2}{N}\right]^{1/2} \quad (11)$$

$$ERM = \frac{\sum_{i}^{N}(Pi-Oi)}{N-1} \quad (12)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{N}(Pi-Oi)^2}{\sum_{i=1}^{N}(|Pi-O|+|Oi-O|)^2}\right] \quad (13)$$

Em que: Pi - valores estimados pelas equações empíricas (MJ m^{-2} d^{-1}); Oi - valores medidos nas estações (MJ m^{-2} d^{-1}); O - média dos valores observados (MJ m^{-2} d^{-1}); N - número de valores.

O uso dos indicativos estatísticos MBE, RMSE e o índice de ajustamento "d", em conjunto, podem ser considerados uma boa alternativa para validação de modelos estatísticos proporcionam a análise simultânea do desvio da média identificando a ocorrência de sub ou superestimativa, espalhamento e ajustamento do modelo, em relação às medidas (SOUZA:ESCOBEDO, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 2. Evapotranspiração de referência (ETo) média diária (mm dia^{-1}) obtida por diferentes modelos de estimativa, para sete estações meteorológicas automáticas no estado de Mato Grosso.

Cidades	CA	HS	HO	JH	LI	MB	TU
Água Boa	4,049	4,682	4,061	5,496	4,821	3,422	4,23
Campo Verde	3,697	3,793	3,754	5,264	4,468	3,292	4,203
Confresa	4,343	4,962	4,283	5,521	5,090	3,427	4,083
Gaúcha do Norte	4,210	4,852	4,136	5,614	4,720	3,492	4,083
Nova Ubiratã	4,070	4,776	4,031	5,543	4,650	3,452	4,183
Santo Antônio	3,984	4,728	3,899	5,653	4,654	3,527	4,379
São Felix	4,196	4,695	4,126	5,271	4,621	3,279	4,079

Na Figura 1 estão representadas as correlações entre os valores de evapotranspiração de referência estimados por Penman – Monteith utilizando-se da radiação estimada pelos

modelos já citados e os valores estimados por Penman – Monteith utilizando-se de dados medidos na estação meteorológica localizada em Campo Verde - MT. As correlações para as demais cidades estão em anexo (Tabela 2).

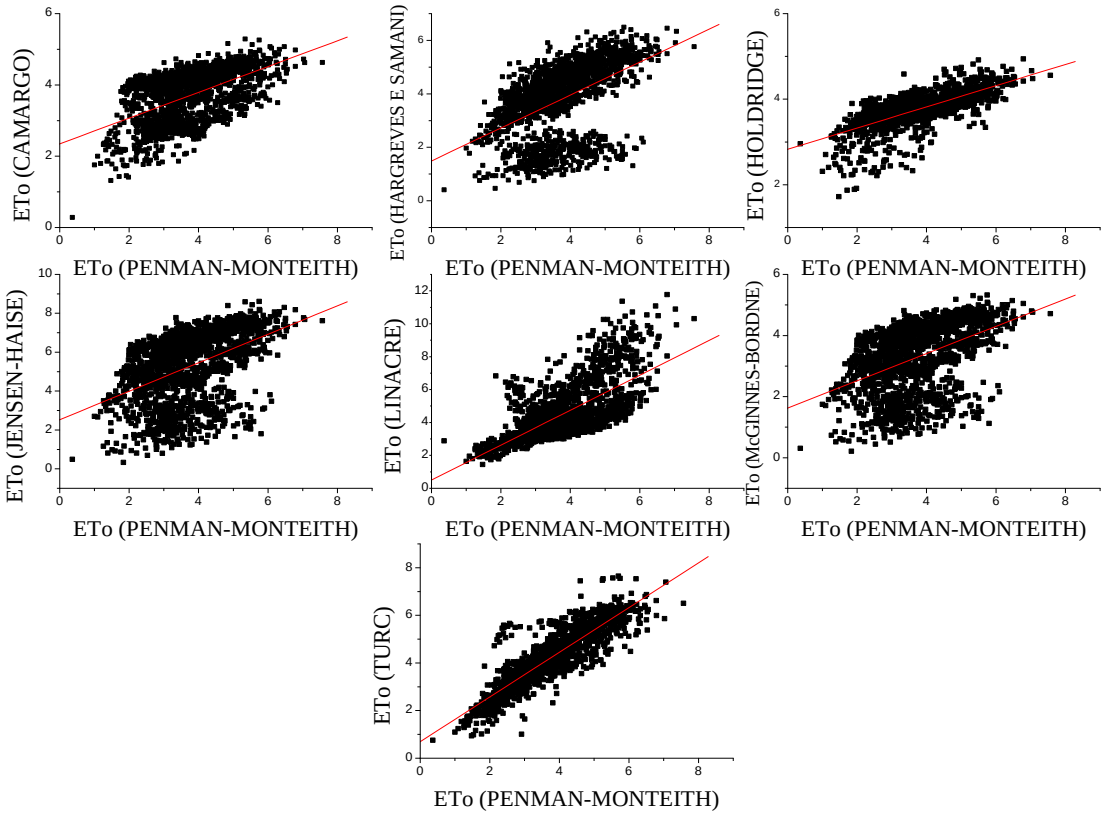

Figura 1. Correlação dos valores da evapotranspiração de referência estimadas por Penman – Monteith e valores estimados por Penman – Monteith utilizando-se diferentes modelos de estimativa da radiação solar global para a cidade de Campo Verde – MT.

Observa-se na Tabela 3 e 4 que os valores de R^2 variaram entre 0,12 a 0,92, o modelo de Turc apresentou um maior valor de R^2 e o modelo de Camargo um menor.

Tabela 3. Coeficiente de correlação entre valores de evapotranspiração de referência estimados pelo modelo de Penman Monteith e estimados pelos modelos estudados para as cidades do cerrado matogrossense.

Cidades	Água Boa			Campo Verde			Confresa			Gaúcha do Norte		
Modelos	a	b	R^2	a	b	R^2	a	b	R^2	a	b	R^2
CA	1,648	0,5705	0,13	0,7567	0,8087	0,29	0,6146	0,7173	0,22	0,5085	0,7557	0,28
HS	0,7537	1,0062	0,61	2,1703	0,4156	0,25	0,452	0,8425	0,66	-0,5122	0,8661	0,71
HO	-7,6857	2,8668	0,6	-3,963	2,0531	0,51	-5,8736	2,2422	0,5	-5,5369	2,2307	0,45
JH	0,498	0,6294	0,66	2,2692	0,2807	0,2	0,7786	0,5345	0,67	0,7045	0,5318	0,7
LI	1,3665	0,5375	0,63	1,7556	0,446	0,47	1,9391	0,352	0,38	1,7546	0,4101	0,29
MB	0,4671	1,02	0,66	2,2881	0,4431	0,2	0,7536	0,8683	0,67	0,6803	0,8619	0,7
TUR	0,2547	0,8749	0,87	0,2863	0,8235	0,77	0,6084	0,7645	0,89	0,5772	0,7624	0,88

Tabela 4. Coeficiente de correlação entre valores de evapotranspiração de referência estimados pelo modelo de Penman Monteith e estimados pelos modelos estudados para as cidades do cerrado matogrossense.

Cidades	Nova Ubiratã			Santo Antônio do Leste			São Félix do Araguaia		
Modelos	a	b	R^2	a	b	R^2	a	b	R^2
CA	1,688	0,5486	0,12	1,5085	0,6459	0,15	0,2161	0,8422	0,35
HS	-0,3518	0,8946	0,57	-0,6243	0,9953	0,57	0,1589	0,7648	0,62
HO	-6,2329	2,5183	0,48	-5,2912	2,4036	0,53	-5,8736	2,2422	0,5
JH	0,7133	0,5786	0,61	0,6218	0,6121	0,61	1,0336	0,5153	0,66
LI	1,4733	0,5263	0,48	1,7346	0,5043	0,57	1,9789	0,3833	0,33
MB	0,6855	0,937	0,6	0,5906	0,9897	0,61	1,0183	0,8331	0,66
TUR	0,4928	0,8193	0,77	0,3339	0,8559	0,85	0,416	0,8171	0,92

Com o intuito de se encontrar o melhor modelo para cada cidade, foi feito um ordenamento de acordo com os índices estatísticos avaliados neste estudo. A Tabela 5 é o resultado da soma do ordenamento destes índices por cidade e para o cerrado mato-grossense, assim, analisando-se na linha, o menor valor indica o melhor modelo e, o maior valor indica o pior modelo para a cidade em questão. Observa-se que as estimativas de evapotranspiração de referência obtidas por Penman – Monteith FAO aplicando–se dados de radiação solar, o modelo de Turc foi mais preciso pois os valores do ERM estão muito próximos de 0.

Tabela 5. Classificação e ordenamento dos índices de desempenho ERM, RQME e d.

Cidades	CAM	HAR	HO	JEN	LIN	McB	TUR	Modelo
Água Boa	22	25	22	32	27	17	7	TUR
Campo Verde	12	11	12	34	22	20	9	TUR
Confresa	24	25	23	32	31	9	8	TUR
Gaúcha do Norte	23	27	22	34	29	5	9	McB
Nova Ubiratã	22	27	19	32	26	17	7	TUR
Sto Antônio	21	26	20	32	34	17	7	TUR
São Felix	22	26	23	32	29	17	6	TUR

Observa-se que as estimativas de evapotranspiração de referência obtidas por Penman – Monteith FAO aplicando–se dados de radiação solar, o modelo de Turc foi mais preciso pois os valores do ERM estão muito próximos de 0.

CONCLUSÕES

O desempenho dos modelos simplificados de estimativa da evapotranspiração de referência variaram entre as cidades do cerrado mato-grossense. De acordo com o ordenamento dos índices estatísticos adotados, os melhores modelos simplificados de estimativa da evapotranspiração de referência para o estado foram os modelos de Turc**.** O pior desempenho na estimativa da evapotranspiração de referência foi apresentado pelo modelo de Camargo.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, J. Evapotranspiration del cultivo: guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO, 2006. 298 p. (Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).

CHEN, J. L.; LIU, H. B.; WU, W.; XIE, D. T. Estimation of montly solar radiation from measured temperatures using support vector machines – a case study. Renewable Energy, Oxford, v. 36, p. 413-420, 2011.

Maeda, E. E.; Wiber, D. A.; Pellikka, P. K. E. Estimating reference evapotranspiration using remote sensing and empirical models in a region with limited ground data availability in

Kenya. Applied Geography 31 (2011) 251e258.
SOUZA, M. do S. M. de et al. Evapotranspiração do Maracujá nas condições do Vale do Curu. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 2, p. 11-16, 2009.
SOUZA, A. P.; ESCOBEDO, J. F. Estimativas da radiação global incidente em superfícies inclinadas com base na razão de insolação. **Agrária**: Recife, v.8, n.3, p.483-491, 2013.
TAGLIAFERRE, C.; SILVA, R.; ROCHA, F.; SANTOS, L. Estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiraçao de referência em Eunapolis - BA. Revista Caatinga v.23, n.1. p.103-111, 2010.
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.