

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR
GLOBAL E DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O ESTADO
DE MATO GROSSO**

ADRIANA AKI TANAKA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU - SP
NOVEMBRO – 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR
GLOBAL E DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O ESTADO
DE MATO GROSSO**

ADRIANA AKI TANAKA

Orientador: Prof. Dr. Antonio Evaldo Klar

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU - SP
NOVEMBRO – 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

T161a Tanaka, Adriana Aki, 1983-
Avaliação de métodos de estimativa da radiação solar global e da evapotranspiração de referência para o estado de Mato Grosso / Adriana Aki Tanaka. - Botucatu : [s.n.], 2013
ix, 110 f. : tabs., grafs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2013
Orientador: Antonio Evaldo Klar
Inclui bibliografia

1. Energia solar. 2. Radiação solar. 3. Umidade. 4. Irrigação e drenagem. I. Klar, Antonio Evaldo. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

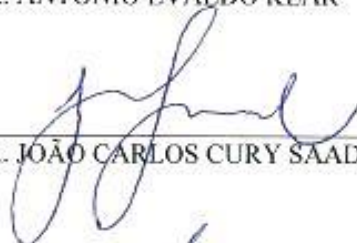
**TÍTULO: "AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO
SOLAR GLOBAL E DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA
PARA O ESTADO DE MATO GROSSO"**

ALUNA: ADRIANA AKI TANAKA

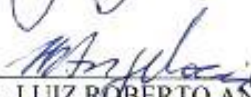
ORIENTADOR: PROF. DR. ANTONIO EVALDO KLAR



PROF. DR. ANTONIO EVALDO KLAR



PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD



PROF. DR. LUIZ ROBERTO ANGELOCCI



PROF. DR. ALTAIR BERTONHA



PROF. DR. ADILSON PACHECO DE SOUZA

Data da Realização: 08 de novembro de 2013.

*A Deus , por sempre estar ao meu lado,
por nunca me desamparar,
guiar meus passos e
iluminar meus caminhos.*

Ofereço

*À minha mãe Neusa, meus irmãos Marcelo e Edson, minha cunhada
Roseli e minha batchan Miyoko pelo apoio incondicional,
pela força, pela confiança, pelo incentivo
e pelas batalhas que juntos vencemos.*

Dedico

Agradecimentos

À Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista, campus de Botucatu pela estrutura concedida para a realização dos trabalhos.

Ao professor Dr. Antonio Evaldo Klar pelos conhecimentos, confiança, amizade, incentivo e pela disposição a mim concedidos.

Ao professor Dr. Adilson Pacheco de Souza pela oportunidade e pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Dr. Richard Snyder pela disposição, conhecimento, amizade e oportunidade a mim cedidos.

Aos professores do Departamento de Engenharia Rural por seus ensinamentos e pela contribuição à minha formação profissional.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural Dejour, Rafaela, Rita e Gilberto pela disposição e apoio.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos que permitiu a execução dessa pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado sanduíche.

Aos meus tios, tias e primos que sempre apoiaram e deram suporte à minha família.

Aos meus “pais” acadêmicos Adilson e Andréa pelo apoio e incentivo mesmo nas horas em que o objetivo parecia impossível, e aos quais nunca conseguirei retribuir tanta dedicação.

À minha irmã Rosilaine Araldi e toda sua família por me adotar, apoiar e torcer sempre pela minha vitória.

À toda minha família botucatuense Manoel Euzébio, Thaíse, Ana Carolina, Anthony, Hélio, Josué, Ilca, Nati, Marcelo Giroto, Juliana Campana, Tâmara, Elza, Sthefani, Natália, Raimundo e a todos os outros não citados mas que também fizeram e espero que façam parte da minha vida sempre e que proporcionaram muitas horas de alegria e felicidade e me apoiaram nas horas difíceis, muito obrigada!

Aos amigos de Davis-CA Manuela, Mariana, Christian, Eugênio, Alan, Leila, Daniel, Isadora, Christopher, Liza, Carlos, Sílvio, Juliana, Rafaela, Rafael,

Carol, Lynne, Sinèad, que me ajudaram na pior fase da minha vida, e me proporcionaram horas de alegria e me confortaram nas horas difíceis.

Gostaria de agradecer aos meus amigos de toda a vida pelos muitos anos de parceria, apoio, incentivo e amizade sincera Karen, Kinha, Juscelino, Alexandre, André, Igor, Humberto, Kátia, Miriam, Cristiane, Lucila, Yudi, Vicente, Elcio, Lilian, Laura, Kleber.

Às amigas distantes, mas que estão sempre presentes em minha vida torcendo pela minha felicidade e apoiando em cada etapa Graziela, Dione, Tatiana, Luciemy, Priscila, Bruna, Loraya, Simoni e Amanda.

Meus sinceros Agradecimentos!!!!

Enfim,

Por ser uma pessoa abençoada, pela vida, família e amigos que me deste, agradeço ao Senhor, Deus, pois sem eles este trabalho não seria possível.

SUMÁRIO

1. RESUMO	1
2. SUMMARY	4
3. INTRODUÇÃO	6
4. CAPÍTULO I – CALIBRAÇÃO DE MODELOS DE ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL BASEADOS NA TEMPERATURA DO AR E PRECIPITAÇÃO PARA O ESTADO DO MATO GROSSO, BRASIL.....	8
4.1. RESUMO	8
4.2. SUMMARY	9
4.3. REVISÃO DE LITERATURA	10
4.4. MATERIAL E MÉTODOS	14
4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.6. CONCLUSÕES.....	31
4.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
5. CAPÍTULO II – INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL ESTIMADA NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA OBTIDA PELO MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH FAO 56 PARA O ESTADO DE MATO GROSSO.....	38
5.1. RESUMO	38
5.2. SUMMARY	39
5.3. REVISÃO DE LITERATURA	41
5.4. MATERIAL E MÉTODOS	44
5.4.1. A equação de Penman – Monteith FAO.....	48
5.4.1.1. A declividade da curva de pressão de saturação de vapor d'água (Δ)-(Kpa °C ⁻¹).....	49
5.4.1.2. A pressão parcial de vapo d'água (ea)-(Kpa °C ⁻¹)	49
5.4.1.3. Pressão de saturação de vapor d'água (es) - (Kpa °C ⁻¹)	49
5.4.1.4. Calor latente de vaporização (λ).....	49
5.4.1.5. Coeficiente psicrométrico (γ) - kPa °C ⁻¹	49
5.4.1.6. Coeficiente psicrométrico modificado (γ^*) - kPa °C ⁻¹	49
5.4.1.7. Balanço de radiação diário	49

5.4.1.8. Saldo de radiação de ondas curtas (<i>H_{ns}</i>).....	50
5.4.1.9. A radiação solar no topo da atmosfera (<i>H_o</i>)	50
5.4.1.10. Distância relativa Terra-Sol média diária	50
5.4.1.11. Estimativa do ângulo horário do pôr do sol (ωs)	50
5.4.1.12. Declinação solar (δs) média diária	50
5.4.1.13. O número máximo possível de horas de fotoperíodo (N) para um dado local	50
5.4.1.14. Saldo de radiação de ondas longas <i>H_{nl}</i>	51
5.4.1.15. Velocidade do vento para 2 metros de altura (<i>U₂</i>).....	51
5.4.1.16. O calor armazenado no solo (G).....	51
5.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
5.6. CONCLUSÕES	59
5.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
6. CAPÍTULO III – AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O ESTADO DE MATO GROSSO.....	65
6.1. RESUMO	65
6.2. SUMMARY	66
6.3. REVISÃO DE LITERATURA	67
6.4. MATERIAL E MÉTODOS	73
6.4.1. Penman – Monteith FAO.....	76
6.4.1.1. A variação da declividade da curva de pressão de saturação de vapor d’água em função da temperatura (Δ) – (kPa °C ⁻¹).....	76
6.4.1.2. A pressão parcial de vapor d’água (<i>ea</i>) – (kPa).....	76
6.4.1.3. Pressão de saturação de vapor d’água (<i>es</i>) – (kPa).....	77
6.4.1.4. Calor latente de vaporização (λ) – (MJ Kg ⁻¹).....	77
6.4.1.5. Coeficiente psicrométrico (γ) – (kPa °C ⁻¹).....	77
6.4.1.6. Coeficiente psicrométrico modificado ($\gamma *$) – (kPa °C ⁻¹):	77
6.4.1.7. Saldo de radiação (H).....	77
6.4.1.8. Saldo de radiação de ondas curtas (<i>H_{ns}</i>).....	78
6.4.1.9. Radiação solar no topo da atmosfera (<i>H_o</i>).....	78
6.4.1.10. A distância relativa Terra-Sol.....	78

6.4.1.11. Estimativa do ângulo horário do pôr do sol (ω_s)	78
6.4.1.12. Declinação solar (δ_s)	78
6.4.1.13. Número máximo possível de horas de fotoperíodo (N) para um dado local	79
6.4.1.14. Saldo de radiação de ondas longas (H_{nl}).....	79
6.4.1.15. Velocidade do vento para 2 metros de altura (U_2).....	79
6.4.1.16. Calor armazenado no solo (G).....	79
6.4.2. Método de Hargreaves e Samani (Pereira et al., 1997) – modelo 2.....	80
6.4.3. Método de Camargo (Pereira et al., 1997) – modelo 3	80
6.4.4. Método de Makkink (Pereira et al., 1997) – modelo 4.....	80
6.4.5. Método de Linacre (Pereira et al., 1997) – modelo 5.....	81
6.4.6. Método de McGinness – Bordne (Oudin et al., 2005) – modelo 6.....	81
6.4.7. Método de Romanenko (Oudin et al., 2005) – modelo 7	81
6.4.8. Método de Turc (Lu et al., 2005) – modelo 8.....	81
6.4.9. Método de Holdridge (Holdridge, 1959) – modelo 9	82
6.4.10. Método de Radiação solar (Pereira et al., 1997) – modelo 10.....	82
6.4.11. Método de Jensen – Haise (Pereira et al., 1997) – modelo 11.....	82
6.4.12. Método de Hansen (Hansen, 1984)– modelo 12.....	83
6.4.13. Método de Caprio (Caprio, 1974) – modelo 13	83
6.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
6.6. CONCLUSÕES.....	92
6.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
ANEXOS.....	101

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Estações meteorológicas automáticas do estado de Mato Grosso.	16
Tabela 2. Equações de estimativa da radiação solar, parâmetros e referências.....	17
Tabela 3. Parâmetros calibrados das equações de estimativa da radiação solar para as cidades do estado de Mato Grosso.	21
Tabela 4. Parâmetros calibrados das equações de estimativa da radiação solar para as cidades do estado de Mato Grosso. (Continuação).....	22
Tabela 5. Parâmetros calibrados das equações de estimativa da radiação solar para as cidades do estado de Mato Grosso. (Continuação).....	23
Tabela 6. Ordenamento dos modelos segundo o VP (value position) para o melhor modelo para as cidades de Mato Grosso.	30

CAPÍTULO II

Tabela 7. Estações meteorológicas automáticas do estado de Mato Grosso.	45
Tabela 8. Equações de estimativa da radiação solar, parâmetros e referências.....	47
Tabela 9. Classificação dos modelos de estimativa da radiação solar global na estimativa da evapotranspiração de referência segundo ordenamento dos índices de desempenho ERM, RQME e d.....	58

CAPÍTULO III

Tabela 10. Estações meteorológicas automáticas do estado de Mato Grosso.	75
Tabela 11. Valores da constante c.	82
Tabela 12. Classificação dos modelos de estimativa da radiação solar global na estimativa da evapotranspiração de referência segundo ordenamento dos índices de desempenho ERM, RQME e d.....	91

ANEXOS

Tabela 13. Coeficiente de correlação e respectiva equação da relação entre valores de radiação solar medidos e estimados para as cidades do estado de Mato Grosso, MT.	101
Tabela 14. 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.	104
Tabela 15. Coeficiente de correlação e respectiva equação da relação entre valores de evapotranspiração de referência estimados pelo modelo de Penman Monteith e estimados pelos modelos estudados para as cidades do estado de Mato Grosso, MT.	107

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1. Localização das cidades estudadas e biomas do Estado de Mato Grosso. (Fonte: Secretaria de Estado de Meio Ambiente – SEMA-MT, 2013).....15
- Figura 2. Erro Relativo Médio (ERM) das estimativas da radiação global para modelos com coeficientes calibrados para diferentes estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso.24
- Figura 3. Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (RQME) das estimativas da radiação global para modelos com coeficientes calibrados para diferentes estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso.....25
- Figura 4. Índice de concordância (d) de Willmott para modelos de estimativa da radiação global calibrados para diferentes estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso.26
- Figura 5. Correlações entre a radiação solar global medida e a radiação global estimada por diferentes modelos calibrados a estação meteorológicas de Sinop, MT.28

CAPÍTULO II

- Figura 6. Erro relativo médio (ERM) da estimativa da evapotranspiração de referência com utilização de estimativas da radiação solar por diferentes modelos para as cidades do estado de Mato Grosso.53
- Figura 7. Raiz quadrada do quadrado médio do erro das estimativas da evapotranspiração de referência com dados de radiação solar estimados por diferentes modelos para o estado de Mato Grosso.....54
- Figura 8. Índice de Willmott (d) das estimativas da evapotranspiração de referência com dados de radiação solar estimados por diferentes modelos para as cidades do estado de Mato Grosso.55
- Figura 9. 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 Sinop – MT.....56

CAPÍTULO III

- Figura 10. Erro Relativo Médio (mm dia^{-1}) dos valores de estimativa da evapotranspiração de referência para o estado de Mato Grosso.....85
- Figura 11. Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (mm d^{-1}) dos valores das estimativas da evapotranspiração de referência para o estado de Mato Grosso.....86
- Figura 12. Índice d de Willmott dos valores de estimativa da evapotranspiração de referência para o estado de Mato Grosso.87
- Figura 13. Correlação entre os valores estimados por Penman – Monteith e os modelos de estimativa da evapotranspiração de referência estudados para a cidade de Sinop – MT.....89

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL E DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O ESTADO DE MATO GROSSO. Botucatu, 2013. 109 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade estadual Paulista.

Autora: ADRIANA AKI TANAKA

Orientador: ANTONIO EVALDO KLAR

1. RESUMO

A radiação solar é fonte de energia nos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na superfície terrestre e é o principal elemento climático que interfere na evapotranspiração das culturas, pois interfere no processo fotossintético destas. Por isso quando não se dispõe de dados medidos de evapotranspiração de referência, pode-se usar métodos de estimativa para tal quantificação. Este trabalho foi dividido em três capítulos e teve por objetivo geral avaliar o desempenho de modelos simplificados de estimativa da radiação solar e evapotranspiração para 28 cidades do estado de Mato Grosso. O primeiro capítulo objetivou a calibração regional e a avaliação do desempenho estatístico de quinze modelos simplificados de estimativa da radiação global baseados na temperatura do ar. Os dados foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), coletados por estações meteorológicas automáticas (EMA's) localizadas nas cidades de Água Boa, Alta Floresta, Apicás, Campo Novo do Parecis, Campo Verde, Carlinda, Comodoro, Confresa, Cotriguaçu, Cuiabá, Gaúcha do Norte, Guarantã, Guiratinga, Itiquira, Juara, Juína, Nova Maringá, Nova Ubiratã, Novo Mundo, Pontes e Lacerda, Porto Estrela, Rondonópolis, Salto do Céu, Santo Antônio do Leste, São Félix do Araguaia, Sinop, Sorriso e Vila Bela da Santíssima Trindade. Os modelos calibrados foram: Abraha e Savage; Abraha e Savage Weiss; Almorox; Annandele; Bristow e Campbell; Chen; De Jong e Stewart; Donatelli e Campbell; Goodin; Hargreaves; Hunt (dois coeficientes); Hunt (quatro coeficientes); Mahmood e Hubbard; Meza e Varas e Thorton e Running. Os índices de desempenho utilizados foram o coeficiente de determinação da regressão linear (R^2), o Erro Médio Relativo (EMR), a Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (RQME) e o índice d de Willmott. Os valores de R^2 variaram de 0,40 a 0,70 e a RQME foi, em média de $3,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para todas as equações. Os modelos de Abraha e Savage, Almorox, Annandele, Chen, De Jong e Stewart e Hunt com dois coeficientes apresentaram tendência a

superestimativas. O grau de exatidão (índice d) foi em torno de 0,85 a 0,90 para os modelos Abraha e Savage, Weiss, Almorox, Annadele, Bristow e Campbell, Chen, De Jong e Stewart, Donatelli e Campbell, Goodin, Hargreaves, Hunt com dois coeficientes e Hunt com quatro coeficientes. As equações simplificadas de estimativa da radiação solar com base em temperatura do ar e precipitação podem ser usadas no estado de Mato Grosso sendo o modelo de Bristow Campbell o de melhor desempenho para o estado. O segundo capítulo objetivou avaliar a influência da estimativa da radiação solar na estimativa da evapotranspiração de referência. As estimativas foram feitas para as cidades supracitadas. Foram utilizados os quinze modelos calibrados do primeiro capítulo e mais cinco modelos não calibrados: modelo de Hargreaves e Samani com K_r igual a 0,16; Hargreaves e Samani com K_r proposto por Allen; Hargreaves e Samani com K_r proposto por Samani, Bristow e Campbell e modelo de Weiss. A radiação solar global estimada pelas equações simplificadas foi aplicada na equação de Penman – Monteith FAO para a estimativa da evapotranspiração de referência (E_{To}) e, os resultados foram comparados com os dados de E_{To} obtidos pela equação de Penman – Monteith FAO utilizando-se de dados de radiação medidos nas estações (padrão para comparações). Os índices de desempenho utilizados foram: o Erro Médio Relativo (EMR), a Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (RQME) e o índice d de Willmott. A maioria dos modelos tendeu a superestimar, em média, $0,2 \text{ mm d}^{-1}$, apresentaram dispersão em relação aos valores estimados por Penman – Monteith da evapotranspiração de referência de $0,55 \text{ mm d}^{-1}$ em média e o grau de precisão foi em torno de 0,85. Os modelos sem calibração Hargreaves e Samani, Hargreaves e Samani Allen, Hargreaves Samani Samani e Bristow e Campbell superestimaram, em média, $0,6 \text{ mm d}^{-1}$ e apresentaram dispersão entre os valores de $0,75$ a 1 mm d^{-1} em média. Os modelos calibrados apresentaram bons resultados e os de melhor desempenho para o estado foram os modelos de Goodin, Bristow e Campbell e Almorox. O modelo de Weiss para a estimativa da radiação solar global apresentou o pior desempenho na estimativa da evapotranspiração de referência para todos os índices estudados, sendo não recomendado para o estado. O terceiro capítulo objetivou avaliar o desempenho de treze modelos simplificados de estimativa da evapotranspiração de referência para o estado de Mato Grosso. As estimativas foram feitas para as cidades supracitadas. As equações de estimativa da evapotranspiração de referência avaliadas foram: Penman – Monteith com dados de radiação solar estimados pelo modelo de Bristow e Campbell; Hargreaves e Samani; Camargo; Makkink; Linacre; McGinness – Bordne; Romanenko; Turc; Holdridge;

Radiação Solar; Jensen – Haise; Hansen e Caprio. Os índices de desempenho utilizados foram os mesmos do capítulo II. O modelo de Bristow e Campbell e o modelo de Turc foram os mais precisos com o ERM próximo de 0. Bristow e Campbell, Turc e Hansen diferiram, em média, $0,5 \text{ mm d}^{-1}$ e apresentaram grau exatidão entre 0,95 e 0,80. Os modelos de Turc, o modelo de Penman – Monteith utilizando-se dados de radiação solar estimados por Bristow e Campbell, modelo de Radiação Solar e modelo de Hansen apresentaram os melhores desempenhos e o pior foi apresentado por Romanenko e Makkink, sendo estes não recomendado para o estado de Mato Grosso.

Palavras – chave: modelos simplificados, Penman – Monteith, desempenho.

EVALUATION OF GLOBAL SOLAR RADIATION AND REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATE METHODS FOR MATO GROSSO STATE, BRAZIL. Botucatu, 2013. 109 p. Thesis (Ph. D. in Agronomy/Irrigation and Drainage) – Faculty of Agricultural Sciences, University of São Paulo State.

Author: ADRIANA AKI TANAKA

Advisor: ANTONIO EVALDO KLAR

2. SUMMARY

Solar radiation is the energy source in physical, chemical and biological processes that occur on Earth's surface and it is the major climatic element that interferes on crop evapotranspiration. When the measured data is not available, mathematical equations can be used for such quantification. This work was divided into three chapters and aimed to evaluating the simplified models performance for solar radiation and evapotranspiration estimating to 28 cities in Mato Grosso State. The first chapter aimed the regional calibration and statistical performance evaluation of fifteen simplified models to estimate global solar radiation based on air temperature and precipitation. The data were from automatic weather stations (AWS) of the National Institute of Meteorology (INMET) located in the cities of Água Boa, Alta Floresta, Apiacás, Campo Novo do Parecis, Campo Verde, Carlinda, Comodoro, Confresa, Cotriguaçu, Cuiabá, Gaúcha do Norte, Guarantã, Guiratinga, Itiquira, Juara, Juína, Nova Maringá, Nova Ubitatã, Novo Mundo, Pontes e Lacerda, Porto Estrela, Rondonópolis, Salto do Céu, Santo Antônio do Leste, São Félix do Araguaia, Sinop, Sorriso e Vila Bela da Santíssima Trindade. The equations were: Abraha and Savage; Abraha, Savage, Weiss; Almorox; Annandele; Bristow and Campbell; Chen; De Jong and Stewart; Donatelli and Campbell; Goodin; Hargreaves; Hunt (two coefficients); Hunt (four coefficients); Mahmood and Hubbard; Meza and Varas and Thorton and Running. The performance indexes used were the linear regression coefficient (R^2), Relative Mean Error (RME), Root Mean Square Error (RMSE) and the d Willmott's index. The R^2 ranged from 0.40 to 0.70 and RMSE was $3.5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ for all equations. Abraha and Savage, Almorox, Annandele, Chen, De Jong and Stewart and Hunt with two coefficients models tended to overestimate. The accuracy index (d) ranged to 0.85 to 0.90 for Abraha and Savage, Weiss, Almorox, Annadele, Bristow and Campbell, Chen, De Jong and Stewart, Donatelli and Campbell, Goodin, Hargreaves, Hunt with two coefficients and

four coefficients. Bristow Campbell model had the best performance in Mato Grosso State. The second chapter aimed to evaluate the solar radiation influence in the reference evapotranspiration estimation. Estimates were made for cities above. We used fifteen calibrated models of the first chapter and five uncalibrated models: Hargreaves and Samani model with Kr equal to 0.16; Hargreaves and Samani with Kr proposed by Allen; Hargreaves and Samani with Kr proposed by Samani, Bristow and Campbell and Weiss model. The solar radiation estimated data were applied in the Penman - Monteith FAO equation and these were compared with the data of reference evapotranspiration obtained by the Penman - Monteith FAO equation with solar radiation data measured at stations. The performance indexes used were: Relative Mean Error (RME), Root Mean Square Error (RMSE) and the d Willmott's index. Most of models tended to overestimate, on average, 0.2 mm d^{-1} , the scatter by Penman - Monteith reference evapotranspiration was 0.55 mm d^{-1} , on average, and the accuracy was 0.85. The uncalibrated models Hargreaves and Samani; Hargreaves, Samani, Allen; Hargreaves, Samani, Samani and Bristow and Campbell overestimated 0.6 mm d^{-1} and showed dispersion values between 0.75 to 1 mm d^{-1} on average. The local calibration models for global solar radiation estimating in the estimation of reference evapotranspiration improved their performance. The better performance to the state were the Goodin, Bristow and Campbell and Almorox models and the worst was the Weiss model and it is not recommended for the state. The third chapter aimed to evaluate the performance of thirteen simplified models for reference evapotranspiration estimating for Mato Grosso state. Estimates were made for cities above. The equations for estimating were: Penman - Monteith with solar radiation data estimated by Bristow and Campbell; Hargreaves and Samani; Camargo; Makkink; Linacre; McGinness - Bordne; Romanenko; Turc; Holdridge; Solar Radiation; Jensen - Haise; Hansen and Caprio. The performance indexes were the same in chapter II. The Bristow and Campbell and Turc model were more accurate with the RMSE close to 0. Bristow and Campbell, Turc and Hansen differ 0.5 mm d^{-1} and the accuracy was between 0.95 and 0.80. Turc; Penman - Monteith using solar radiation data estimated by Bristow and Campbell model; Solar Radiation and Hansen model showed the best performance and the worst was presented by Romanenko and Makkink method, which are not recommended for Mato Grosso state.

Keywords : simplified models , Penman - Monteith , performance.

3. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com grande potencial agrícola, devido à sua extensão territorial e clima favoráveis à agricultura e pecuária. Possui cinco regiões (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul), cada qual com distintas condições edafoclimáticas. A economia está baseada na agricultura e, no ano de 2013, foi o quinto maior produtor de grãos, segundo maior produtor de frutas cítricas do mundo e maior produtor de carne da América Latina (FAO, 2013).

O estado de Mato Grosso está localizado na região Centro-Oeste e é o terceiro maior estado do país. O Mato Grosso é responsável por 25% da produção de grãos do país, por isso o conhecimento dos fatores que afetam a produção agrícola é de extrema importância para um bom planejamento agrícola. Para que haja um fluxo contínuo de produção, é necessário que se faça uso da irrigação em determinados locais do estado.

O clima é um dos fatores que mais influenciam na produção agrícola e, dentre os elementos meteorológicos, a radiação solar e a temperatura (calor) são os mais importantes, pois afetam diretamente a evapotranspiração das culturas. A radiação solar é a fonte de energia para muitos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na superfície terrestre, sendo fundamental no processo fotossintético, como energia disponível para aquecimento do ambiente e para as mudanças do estado físico da água, e ainda na definição da necessidade hídrica das culturas. Em condições de clima quente e seco, a utilização da irrigação se torna necessária para suprir a demanda por água e não afetar de forma negativa a produção de alimentos.

A irrigação é uma das atividades que mais demanda água, sendo assim necessário manejar de forma adequada para que não se aplique água em excesso e,

em contrapartida, não comprometa a produção por escassez de água. O balanço hídrico refere-se à quantidade de água que entra (chuva, irrigação) e a quantidade de água que sai do solo (evaporação, transpiração, evapotranspiração), sendo uma importante ferramenta no planejamento agrícola. A chuva e a evapotranspiração são os elementos mais importantes do balanço hídrico pois são fundamentais no planejamento da irrigação para o suprimento de água para as plantas.

O conhecimento da quantidade de água que entra e sai do solo durante o ano, ou seja, o chamado balanço hídrico climatológico, permite um bom planejamento e implementação da atividade agrícola (CASTRO et al., 2010), sendo que os principais elementos são a chuva e a evapotranspiração (BORGES:MEDIONDO, 2007). E desempenham assim um papel vital no planejamento para o suprimento de água, tempo de rega, sistemas de drenagem, estudos sobre agricultura e hidrologia, dentre outros.

A evapotranspiração é um processo simultâneo de evaporação da água do solo e da transpiração das plantas e foi conceituada pela primeira vez por Thornthwaite em 1948. Após este trabalho vieram muitos outros afim de se definir um método padrão de medida e/ou estimativa, e permitir posterior comparação entre as pesquisas feitas em outras regiões. Existem métodos diretos e indiretos para sua quantificação, sendo os lisímetros considerados como métodos diretos de medida, enquanto que as equações matemáticas de estimativa como métodos indiretos (PEREIRA et al., 1997).

As equações matemáticas são ótimas ferramentas na ausência de dados disponíveis no local de interesse. Assim, como a evapotranspiração, a radiação solar incidente também pode ser estimada por equações matemáticas baseadas em outros elementos meteorológicos. Em geral, os modelos variam em grau de complexidade e nos coeficientes de ajuste e, estes devem ser calibrados para o local de interesse para obtenção do melhor desempenho.

Diante do exposto, este trabalho objetivou avaliar o desempenho de modelos simplificados de estimativa da radiação solar e da evapotranspiração de referência para o estado de Mato Grosso, Brasil.

4. CAPÍTULO I – CALIBRAÇÃO DE MODELOS DE ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL BASEADOS NA TEMPERATURA DO AR E PRECIPITAÇÃO PARA O ESTADO DO MATO GROSSO, BRASIL.

4.1. RESUMO

A radiação solar é importante fonte de energia para os processos físicos, químicos e biológicos, devido a isto, a quantificação da radiação solar que atinge a superfície se torna imprescindível. Quando não se dispõe de dados medidos, pode-se fazer uso de estimativas com a utilização de equações matemáticas. O presente trabalho objetivou a calibração regional e a avaliação do desempenho estatístico de quinze modelos simplificados de estimativa da radiação global baseados na temperatura do ar para 28 cidades do estado de Mato Grosso. Os dados foram adquiridos de estações meteorológicas automáticas (EMA's) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizadas nas cidades de Água Boa, Alta Floresta, Apiacás, Campo Novo do Parecis, Campo Verde, Carlinda, Comodoro, Confresa, Cotriguaçu, Cuiabá, Gaúcha do Norte, Guarantã, Guiratinga, Itiquira, Juara, Juína, Nova Maringá, Nova Ubitatã, Novo Mundo, Pontes e Lacerda, Porto Estrela, Rondonópolis, Salto do Céu, Santo Antônio do Leste, São Félix do Araguaia, Sinop, Sorriso e Vila Bela da Santíssima Trindade. As equações calibradas foram: Abraha e Savage; Abraha e Savage Weiss; Almorox; Annandele; Bristow e Campbell; Chen; De Jong e Stewart; Donatelli e Campbell; Goodin; Hargreaves; Hunt (dois coeficientes); Hunt (quatro coeficientes); Mahmood e Hubbard; Meza e Varas e Thorton e Running. Os índices de desempenho utilizados foram o coeficiente de determinação da regressão linear (R^2), o Erro Médio Relativo (EMR), a Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (RQME) e o índice d de Willmott. Os valores de R^2 variaram de 0,40 a 0,70 e a RQME foi, em média de 3,5 MJ m⁻²

d^{-1} para todas as equações. Os modelos de Abraha e Savage, Almorox, Annandele, Chen, De Jong e Stewart e Hunt com dois coeficientes apresentaram tendência a superestimativas. O grau de exatidão (índice d) foi em torno de 0,85 a 0,90 para os modelos Abraha e Savage, Weiss, Almorox, Annadele, Bristow e Campbell, Chen, De Jong e Stewart, Donatelli e Campbell, Goodin, Hargreaves, Hunt com dois coeficientes e Hunt com quatro coeficientes. Observou-se maior dispersão dos dados das estimativas feitas por De Jong e Stewart, Mahmood e Hubbard e Thorton e Running. As equações simplificadas de estimativa da radiação solar com base em temperatura do ar e precipitação podem ser usadas no estado de Mato Grosso sendo o modelo de Bristow Campbell o de melhor desempenho para o estado.

Palavras – chave: equações simplificadas, coeficientes, Bristow e Campbell.

ESTIMATING MODELS CALIBRATION OF GLOBAL SOLAR RADIATION BASED ON AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION FOR THE MATO GROSSO STATE, BRAZIL.

4.2. SUMMARY

The solar radiation is an important energy source for many physical, chemical and biological processes. Due to this, the solar radiation quantification has become essential. When there are not measured available data, we can use the estimates by mathematical equations. This study aimed to regional calibration and statistical performance evaluation of fifteen simplified models to estimate global solar radiation based on the air temperature to 28 cities in the Mato Grosso state. The data were from automatic weather stations (AWS) of the National Institute of Meteorology (INMET) located in the cities of Água Boa, Alta Floresta, Apicás, Campo Novo do Parecis, Campo Verde, Carlinda, Comodoro, Confresa, Cotriguaçu, Cuiabá, Gaúcha do Norte, Guarantã, Guiratinga, Itiquira, Juara, Juína, Nova Maringá, Nova Ubiratã, Novo Mundo, Pontes e Lacerda, Porto Estrela, Rondonópolis, Salto do Céu, Santo Antônio do Leste, São Félix do Araguaia, Sinop, Sorriso e Vila Bela da Santíssima Trindade. The equations were: Abraha and Savage; Abraha, Savage and Weiss; Almorox; Annandele; Bristow and Campbell; Chen; De Jong and Stewart; Donatelli and Campbell; Goodin; Hargreaves; Hunt (two coefficients); Hunt

(four coefficients); Mahmood and Hubbard; Meza and Varas and Thorton and Running. The performance indexes used were the linear regression coefficient (R^2), Relative Mean Error (RME), Root Mean Square Error (RMSE) and the Willmott's index d. The R^2 values ranged from 0.40 to 0.70 and RMSE was $3.5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ for all equations. Abraha and Savage, Almorox, Annandele, Chen, De Jong and Stewart and Hunt with two coefficients models tended to overestimate. The accuracy index (d) was around 0.85 to 0.90 for Abraha and Savage, Weiss, Almorox, Annadele, Bristow and Campbell, Chen, De Jong and Stewart, Donatelli and Campbell, Goodin, Hargreaves, Hunt with two coefficients and Hunt with four coefficients models. We observed higher scattering of the estimates by De Jong and Stewart, Mahmood and Hubbard and Thorton and Running. The simplified equations for solar radiation estimates based on air temperature and precipitation can be used in Mato Grosso state and the Bristow Campbell model had the best performance.

Keywords: simplified equations, coefficients, Bristow and Campbell

4.3. REVISÃO DE LITERATURA

Dentre os estados brasileiros, Mato Grosso destaca-se por sua grande extensão territorial e inserção na paisagem natural de ocorrência de três biomas principais: Floresta Amazônia, Cerrado e o Pantanal (Figura 1), que propiciam uma grande diversidade de situações ecológicas, sociais, econômicas, culturais e de processos de produção e desenvolvimento rural e agroindustrial. O Estado está localizado na região Centro-Oeste do Brasil, entre as coordenadas $06^{\circ}00' \text{ S}$ e $19^{\circ}45' \text{ S}$ e $50^{\circ}06' \text{ W}$ e $62^{\circ}45' \text{ W}$, perfazendo em uma área de $903.357,908 \text{ Km}^2$ - é a terceira maior unidade federativa do Brasil, representa 56,23% da Região Centro-Oeste e 10,61% de todo o território brasileiro. Conta com uma população estimada, pelo censo de 2010, de 3.035.122 com densidade populacional de $3,36 \text{ habitantes/km}^2$ e 141 municípios (IBGE, 2013).

Sua hidrografia destaca-se por representar um grande centro divisor de águas, onde nasce a maioria dos rios de três importantes bacias hidrográficas brasileiras: Amazônica, Paraguai (Rio Paraná) e a do Araguaia. A posição geográfica, associada a fatores climáticos, geológicos, pedológicos, fitoecológicos, geomorfológicos e hídricos, condiciona uma grande complexidade ambiental ao Estado, onde sucedem-se no eixo

espacial sul-norte o Complexo do Pantanal no Sul, as formações savânicas na região Centro-Sul, uma variedade de ambientes de transição ecológica na região central e, finalmente, as formações amazônicas no Norte. Associados às políticas públicas e às variáveis socio-econômicas, que dirigiram os processos de ocupação do Estado, estes vários ambientes condicionaram, historicamente, diferentes dinâmicas e características do uso e ocupação do solo, que por sua vez alteraram as repostas do ambiente quanto as variáveis climáticas (SEMA – MT, 2013).

A radiação solar está diretamente relacionada aos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na interação solo-planta-atmosfera (LIU:SCOTT, 2001), destacando-se como um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento das plantas, interações plantas/hospedeiros/patógenos e germinação de sementes, dentre outros (LINDQUIST, 2001; MILES et al., 2002; STECKEL et al., 2003; VAN DIJK et al., 2005). As suas variações alteram a temperatura e a circulação atmosférica e permitem estudos relacionados a análise de crescimento das plantas, mudanças climáticas, necessidade hídrica, dentre outros (SOUZA et al., 2008; BORGES et al., 2010).

A medida da radiação solar em um determinado local e período do ano permite o desenvolvimento de modelos de estimativas dos elementos meteorológicos, imprescindíveis para estudos ambientais e desenvolvimento de tecnologias (CARGNELUTTI FILHO et al., 2007), que por sua vez, possibilitam a utilização da radiação solar como fonte de energia renovável, limpa e sustentável (EVRENDILEK:ERTEKIN, 2003; HEPBASLI et al., 2004). A conscientização da utilização racional dos recursos naturais, mostra que a quantificação da radiação solar é fundamental para o dimensionamento nos sistemas geradores de energia térmica e fotovoltaica (KAPLANIS:KAPLANI, 2007; PRIETO et al., 2009; ALMOROX et al., 2011).

Os fatores que influenciam na quantidade de radiação solar que atinge a superfície terrestre e que normalmente são utilizadas como base nos modelos empíricos são os fatores geográficos (latitude, longitude, altitude), fatores astronômicos (constante solar, distância Terra-Sol, declinação solar, ângulo horário), fatores meteorológicos (radiação solar extraterrestre, fotoperíodo, temperatura do ar, precipitação, umidade relativa, efeito das nuvens, evaporação, etc), fatores geométricos (azimute terrestre, ângulo de elevação solar, ângulo do azimute solar), e fatores físicos (dispersão

das moléculas de ar, conteúdo de vapor de água na atmosfera, dispersão de poeira e outros constituintes atmosféricos como O₂, CO₂, N₂, dentre outros) (ERTEKIN:YALDIZ, 1999).

As medidas de rotina da radiação solar em estações meteorológicas brasileiras apresentam limitações devido ao alto custo de aquisição dos equipamentos, manutenção e calibração, (CURY – LUNARDI:CATANEO, 1994). Na falta de medidas de radiação solar, podem ser empregadas relações empíricas por meio de modelos de estimativa que utilizem outros elementos meteorológicos disponíveis (HARGREAVES, 1981; BRISTOW:CAMPBELL, 1984). Por conseguinte, existem várias alternativas de estimativa da radiação global, que podem ser baseados na umidade do ar (YANG:KOIKE, 2002), precipitação (HUNT et al., 1998; LIU:SCOTT, 2001; RIVINGTON et al., 2005), cobertura de céu (nuvens) (DAVIES:MCKAY, 1989; HUNT et al., 1998; MUNEER:GUL, 2000), fração do brilho solar (WONG:CHOW, 2001; ALMOROX:HONTORIA, 2004; TRNKA et al., 2005; CHEN et al., 2006), regressão linear, dados de satélite geoestacionário, modelos estocásticos, redes neurais artificiais, dentre outros (MELLIT et al., 2005; MENGES et al., 2006; RAICHIJK, 2008; BOCCO et al., 2010; KAPLANIS:KAPLANI, 2010).

Na ausência de medidas da radiação global, podem ser realizadas estimativas por métodos parametrizados, que em geral, mesmo para estações próximas não apresentam bons resultados (RIVINGTON et al., 2006), e conseqüentemente, quanto maior a distância entre as estações de monitoramento, menor será a precisão das estimativas (HUNT et al., 1998; TRNKA et al., 2005).

Angstron (1924) foi um dos primeiros pesquisadores a estudar de modelos para a quantificação da radiação solar através de equações com variados graus de complexidade baseados no brilho solar (ABRAHA:SAVAGE, 2008), e seus resultados geralmente tendem a apresentar-se mais precisos quando comparado com os baseados em outras variáveis meteorológicas (RIVINGTON et al., 2005; TRNKA et al., 2005), todavia as medidas do brilho solar não são comuns nas estações meteorológicas brasileiras. Em geral, praticamente todas as estações meteorológicas (automáticas e/ convencionais) apresentam medidas da temperatura do ar e da precipitação, permitindo assim maiores aplicações em escalas espaciais e temporais (ABRAHA:SAVAGE, 2008).

Os modelos baseados em temperatura mais conhecidos e utilizados são os modelos de Hargreaves (1981) e Bristow e Campbell (1984) por necessitarem de poucas variáveis meteorológicas para a estimativa da radiação solar, contudo estes modelos

foram modificados por muitos outros pesquisadores (LIU et al., 2009). Hargreaves e Samani (1982) e Richardson (1985) foram os pioneiros a sugerir que a radiação solar pode ser estimada através da amplitude térmica (diferença entre a temperatura máxima e temperatura mínima do ar) e a radiação extraterrestre. Hargreaves e Samani (1982) desenvolveram um modelo de um coeficiente de calibração adimensional (K_r) que varia acordo com a localização geográfica, com valores de 0,16 para regiões de “interior” ou continentais e 0,19 para regiões costeiras. Posteriormente este fator K_r foi modificado por Allen (1995) através da relação entre a pressão atmosférica local e a pressão atmosférica ao nível do mar, perfazendo assim em valores de 0,17 para regiões continentais e 0,20 para regiões costeiras.

A amplitude térmica proposta por Hargreaves e Samani (1982), baseia-se no fato de que esse fator promove um indicativo de nebulosidade, pois quando comparado com dias de céu limpo, os dias com céu nublado tendem a apresentar decréscimo na temperatura máxima do ar devido ao baixo nível de radiação solar, e aumento das medidas de temperatura mínima em consequência do aumento da emissão descendente de ondas longas pelas nuvens durante o período noturno.

Muitos outros fatores influenciam na quantificação da radiação solar na base diária, como a velocidade do vento, evaporação da água no solo e sistemas frontais, contudo, em longos períodos (agrupamentos de dados mensais e anuais), as medidas tendem a acompanhar os valores médios, permitindo assim a obtenção de estimativas consistentes quando utiliza-se a amplitude térmica, desde que sejam consideradas a escala temporal, fatores geográficos e a própria dinâmica climática local (ALLEN, 1997). Existem grandes diferenças na precisão dos modelos aplicados para diferentes locais, por isso é importante que sejam realizadas calibrações dos modelos parametrizados antes da sua utilização (LIU et al., 2009). Annandele et al. (2002) modificaram o modelo proposto por Hargreaves (1981) pela introdução do efeito da altitude local na forma multiplicativa. Dessa forma o modelo de Hargreaves (1981) foi um dos precursores e sofreu várias adaptações, como a inserção multiplicativa do efeito da precipitação (De JONG:STEWART, 1993), com a adição dos efeitos conjuntos da precipitação e da temperatura máxima (HUNT et al., 1998), contudo, mesmo após alterações estes modelos foram satisfatórios para determinados locais e descartados em outros. Outros exemplos de modificações para esse modelo foi a adição de um termo aditivo para correção da amplitude térmica (CHEN et al., 2004; LIU et al., 2009). E ainda,

Mahmood e Hubbard (2002) elevaram a amplitude térmica a 0,69 e o termo de radiação extraterrestre a 0,91 e observaram a diminuição da necessidade de muitos dados de entrada na estimativa da radiação global.

Outro modelo importante desenvolvido por Bristow e Campbell (1984) diferencia-se do anterior pois a radiação global seria uma função exponencial da diferença entre a temperatura máxima e mínima do ar, ajustadas por três coeficientes empíricos (“a”, “b” e “c”) que necessitam de calibrações numericamente complexas envolvendo um grande número de dados, incluindo a radiação global para validação regional (McVICAR:JUPP, 1999). Nesse caso, o coeficiente ‘a’ representa o máximo de radiação que pode ser esperado em um dia de céu limpo, sem nuvens e os coeficientes ‘b’ e ‘c’ representam o efeito do aumento da amplitude térmica no máximo valor da transmissividade atmosférica (BRISTOW:CAMPBELL, 1984). Estes coeficientes geralmente assumem valores de 0,7, entre 0,004 a 0,010 e 2,4 para a, b e c respectivamente (MEZA:VARAS, 2000). Posteriormente este modelo foi modificado por outros pesquisadores e avaliado em outros trabalhos (DONATELLI:CAMPBELL, 1998; GOODIN et al., 1999; WEISS et al., 2001), com tentativas de redução da necessidade de calibração local (ANTONIC, 1998) pela fixação de coeficientes (MEZA:VARAS, 2000; WEISS et al., 2001; ABRAHA:SAVAGE, 2008) ou incremento de outras variáveis como pressão de saturação de vapor mínima e máxima (ALMOROX et al., 2011).

Diante do exposto, este trabalho objetivou realizar a calibração regional e a avaliação do desempenho estatístico de quinze modelos simplificados de estimativa da radiação global baseados na temperatura do ar e precipitação para 28 cidades do estado de Mato Grosso.

4.4. MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 1 mostra a localização das cidades onde se encontram as estações no estado de Mato Grosso.

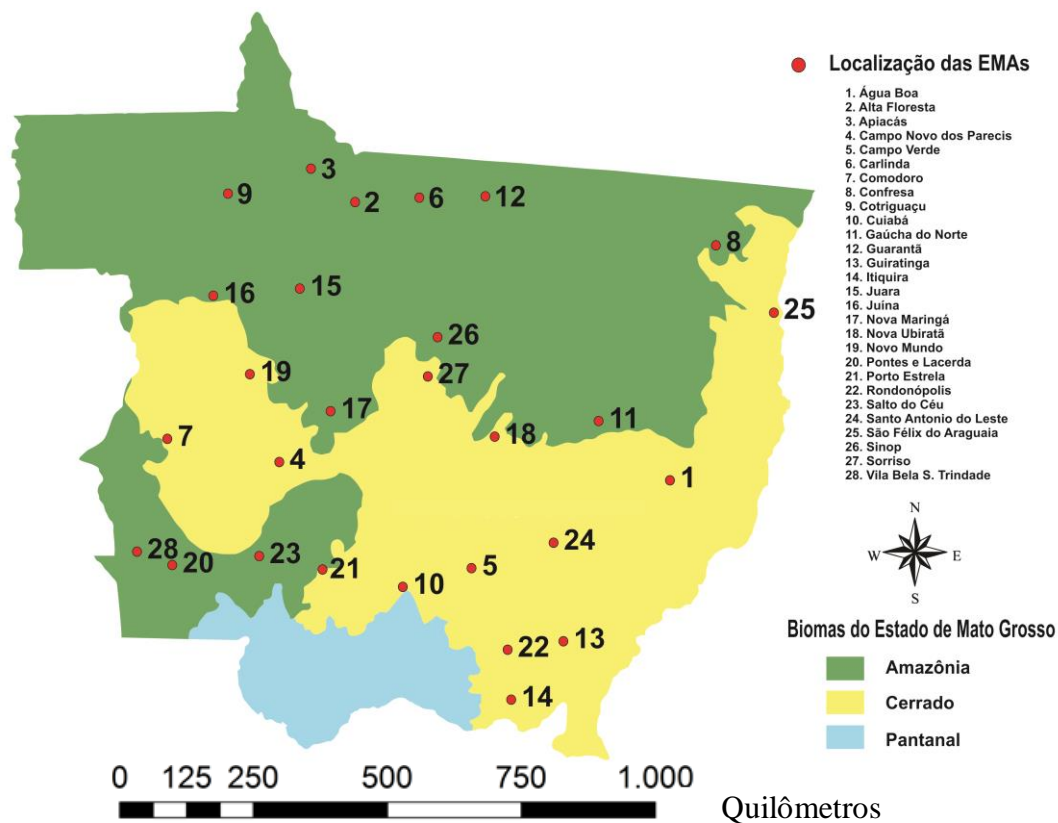


Figura 1. Localização das cidades estudadas e biomas do Estado de Mato Grosso. (Fonte: Secretaria de Estado de Meio Ambiente – SEMA-MT, 2013).

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 nas estações meteorológicas automáticas (EMA's), situadas no estado do Mato Grosso, conforme Tabela 1. Esta rede é composta por 35 EMA's em todo o estado, mas algumas delas apresentaram falhas e ausência de dados, caracterizados por falhas de equipamentos e calibração, épocas de manutenção ou mesmo desativadas, sendo assim desconsideradas neste estudo.

O período de coleta de dados variou entre as cidades devido ao fato de que as estações meteorológicas automáticas entraram em fun Quilômetros diferentes

datas, proporcionando assim quantidade de dados diferentes entre as cidades. O número de dados utilizados efetivamente no estudo, o período de coleta de dados, o número de dados coletados e a porcentagem de dados perdidos estão na Tabela 1. Os dados utilizados efetivamente neste trabalho são inferiores aos totais coletados, visto a porcentagem de perda de dados ocorridos devido a falhas do sistema de coleta, falhas dos instrumentos, erros de preenchimento de planilhas, problemas na captação dos dados, perda por problemas na bateria, problemas pela presença de animais, entre outros.

Tabela 1. Estações meteorológicas automáticas do estado de Mato Grosso.

Código	Nome da Cidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Período de dados	Número de dados	Dados efetivos	Perdas (%)
A-908	1. Água Boa	-14,0161	-52,2122	432	01/2008 - 01/2013	1858	1631	12,22
A-924	2. Alta Floresta	-10,0672	-56,7522	294	09/2011 - 01/2013	519	422	18,69
A-910	3. Apicás	-9,5639	-57,3936	220	10/2006 - 01/2013	2315	1364	41,08
A-905	4. Campo Novo dos Parecís	-13,7833	-57,8333	570	06/2010 - 01/2013	976	505	48,26
A-912	5. Campo Verde	-15,3139	-55,0808	749	01/2008 - 01/2013	1858	898	51,67
A-926	6. Carlinda	-9,9703	-55,8272	300	04/2008 - 01/2013	1768	1517	14,20
A-913	7. Comodoro	-13,4231	-59,4546	591	01/2008 - 01/2013	1858	1511	18,68
A-918	8. Confresa	-10,6539	-51,5668	237	06/2008 - 01/2013	1707	1278	25,13
A-919	9. Cotriguaçu	-9,9061	-58,5719	261	01/2008 - 01/2013	1858	1564	15,82
A-901	10. Cuiabá	-15,5594	-56,0628	240	05/2011 - 01/2013	642	463	27,88
A-930	11. Gaúcha do Norte	-13,1847	-53,2575	379	08/2008 - 01/2013	1646	1376	16,40
A-906	12. Guarantã	-9,9500	-54,8833	320	05/2007 - 01/2013	2102	1338	36,35
A-932	13. Guiratinga	-16,3417	-53,7661	526	01/2008 - 01/2013	1858	1201	35,36
A-933	14. Itiquira	-17,1750	-54,5014	585	08/2008 - 01/2013	1646	981	40,40
A-914	15. Juara	-11,2803	-57,5267	260	11/2006 - 02/2012	1947	1265	35,03
A-920	16. Juína	-11,3750	-58,7750	374	10/2007 - 01/2013	1949	1259	35,40
A-928	17. Nova Maringá	-13,0386	-57,0922	353	04/2008 - 01/2013	1768	975	44,85
A-929	18. Nova Ubiratã	-13,4111	-54,7522	518	04/2008 - 01/2013	1768	1168	33,94
A-927	19. Novo Mundo	-12,5219	-58,2314	431	03/2008 - 01/2013	1798	1373	23,64
A-917	20. Pontes de Lacerda	-15,2511	-59,3467	256	01/2008 - 01/2013	1858	1301	29,98
A-935	21. Porto Estrela	-15,3247	-57,2264	145	02/2008 - 01/2013	1827	767	58,02
A-907	22. Rondonópolis	-16,4500	-54,5666	284	01/2008 - 01/2013	1858	1377	25,89
A-936	23. Salto do Céu	-15,1247	-58,1275	303	01/2008 - 01/2013	1858	1462	21,31
A-931	24. Santo Antonio do Leste	-14,9278	-53,8836	648	08/2008 - 01/2013	1646	1238	24,79
A-921	25. São Félix do Araguaia	-11,6189	-50,7278	218	08/2011 - 01/2013	550	456	17,09
A-917	26. Sinop	-11,9822	-55,5658	371	11/2006 - 06/2012	2284	930	59,28
A-904	27. Sorriso	-12,5452	-55,7113	380	01/2009 - 01/2013	1493	958	35,83
A-922	28. Vila Bela S. Trindade	-15,0628	-59,8729	222	01/2008 - 01/2013	1858	1404	24,43

Os modelos de estimativa da radiação solar global avaliados, coeficientes com demanda para calibração e suas respectivas referências encontram-se na Tabela 2. As equações escolhidas para este estudo são baseadas em temperatura do ar e precipitação, pois estes dados são medidos em todas as estações supracitadas (Tabela 1) e

ainda, são os dados disponibilizados nas normais climáticas monitoradas nas estações meteorológicas convencionais (EMC's) da rede do INMET no Estado (12 estações distribuídas nas diferentes regiões). Por conseguinte, a avaliação desses modelos de estimativas permitirão aplicações diretas para obtenção da radiação global nas séries históricas das EMC's.

Os modelos foram ordenados de acordo com o nome do(s) autor(es), e em sua maioria, são modelos derivados das propostas de Hargreaves (1981) e Bristow e Campbell (1984), com diferentes demandas quanto a coeficientes parametrizados com necessidade de calibração.

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

Modelo	Equação	Parâmetros	Referência
1 - ABS	$H = 0,75 \left(1 - \exp \left(-b \frac{\Delta T^2}{\Delta T_{med}} \right) \right) H_0$	b	Abraha e Savage (2008)
2 - ASW	$H = 0,75 [1 - \exp(-b f(T_{med}) \Delta T^2 f(T_{min}))] H_0$ $f(T_{med}) = 0,017 \exp[\exp(-0,053 T_{medio})]$ $f(T_{min}) = \exp \left(\frac{T_{min}}{tnc} \right)$	b, tnc	Abraha e Savage (2008); Weiss et al (2001)
3 - ALM	$H = a \Delta T^b \left[1 - \exp \left(-c \left(\frac{e_{smin}}{e_{smax}} \right)^d \right) \right] H_0$	a, b, c, d	Almorox et al (2011)
4 - ANN	$H = a(1 + 2,7 \cdot 10^{-5} Alt) \sqrt{\Delta T} H_0$	a	Annandele et al (2002)
5 - BRC	$H = a [1 - \exp(-b \Delta T^c)] H_0$	a, b, c	Bristow e Campbell (1984)
6 - CHE	$H = (a \sqrt{\Delta T} + b) H_0$	a, b	Chen et al (2004)
7 - DJS	$H = a \Delta T^b (1 + cP + dP^2) H_0$	a, b, c, d	De Jong e Stewart (1993)
8 - DOC	$H = a(1 - \exp \left(-b \frac{\Delta T^c}{\Delta T_{med}} \right)) H_0$	a, b, c	Donatelli e Campbell (1998)
9 - GOO	$H = a(1 - \exp \left(-b \frac{\Delta T^c}{H_0} \right)) H_0$	a, b, c	Goodin et al (1999)
10 - HAR	$H = a(T_{max} - T_{min})^{0,5} H_0$	a	Hargreaves (1981)
11 - HU1	$H = a \sqrt{\Delta T} H_0 + b$	a, b	Hunt et al (1998)
12 - HU2	$H = a \sqrt{\Delta T} H_0 + b T_{max} + cP + dP^2 + e$	a, b, c, d, e	Hunt et al (1998)
13 - MAH	$H = a \Delta T^{0,69} H_0^{0,91}$	a	Mahmood e Hubbard (2002)
14 - MEV	$H = 0,75(1 - \exp(-b \Delta T^2)) H_0$	b	Meza e Varas (2000)
15 - THR	$H = H_0 [1 - 0,9 \exp(-b \Delta T^{1,5})]$	b	Thorton e Running (1999)

* ΔT – amplitude térmica; T_{med} – temperatura média do ar; T_{min} – temperatura mínima do ar; T_{max} – temperatura máxima; e_{smin} – pressão de saturação de vapor mínimo; e_{smax} – pressão de saturação máximo; Alt – altitude local; P – precipitação; tnc – fator de temperatura das noites de verão.

A amplitude térmica foi obtida de acordo com a equação 16:

$$\Delta T = T_{max} - T_{min} \quad (16)$$

A pressão de saturação do vapor de água da atmosfera foi obtida da seguinte forma (equação 17)

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{\left(\frac{7,5T}{237,5+T}\right)} \quad (17)$$

Sendo: e_s – pressão de saturação de vapor (kPa); T – temperatura do ar (°C).

Para obtenção de $e_{s_{min}}$ foram usados os valores de temperatura mínima do ar (T_{min}) e, para o cálculo de $e_{s_{max}}$ os dados de temperatura máxima do ar (T_{max}).

Os coeficientes das equações foram ajustadas com a utilização da ferramenta de otimização Solver do Microsoft Excel 2010.

A radiação incidente no topo da atmosfera (H_o) foi obtida em função da latitude do dia juliano (DJ).

$$H_o = (24/\pi) H_{SC} E_0 [(\pi/180) \omega_s (\sin \delta \sin \phi) + (\cos \delta \cos \phi \sin \omega_s)] \quad (18)$$

em que: H_{SC} é a constante solar horária ($4.921 \text{ KJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$); E_0 é o fator de correção da excentricidade da Terra (eq. 19); ϕ é a latitude do local (em graus); δ é a declinação solar (em graus) (eq. 21); ω_s é o ângulo horário para superfícies horizontais, que dependem da velocidade média angular de rotação da Terra (15° h^{-1}).

$$E_0 = 1,000110 + 0,034221 \cos \Gamma + 0,001280 \sin \Gamma + 0,000719 \cos 2\Gamma + 0,000077 \sin 2\Gamma \quad (19)$$

$$\text{Sendo: } \Gamma = 2 \pi [(DJ-1)/366] \quad (20)$$

$$\delta = 23,45 \sin [(360/365) (DJ - 80)] \quad (21)$$

$$\omega_s = \cos^{-1} (-\tan \phi \tan \delta) \quad (22)$$

em que: DJ: indica o ordenamento do dia ao longo do ano.

Os índices de desempenho estatísticos utilizados neste trabalho foram: Coeficiente de Determinação da Regressão Linear (R^2) (equação 23); Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (RQME) (equação 24) e Erro Relativo Médio (ERM) (equação 25). Quanto mais próximo de 1 for o valor de R^2 , melhor o ajuste dos valores estimados com os valores medidos e quanto menor o valor de RQME, melhor é o desempenho do modelo, mostrando pouca dispersão dos valores estimados, contudo não se sabe se o modelo subestima ou superestima os valores (JACOVIDES:KONTOYIANNIS, 1995), por isso foi utilizado o ERM em que valores positivos superestimam e valores negativos subestimam os valores estimados.

Ainda foi empregado o índice “d” de Willmott et al. (1985) (equação 26) determina a exatidão do método e foi utilizado para indicar o grau de afastamento entre os valores de radiação solar estimados e os medidos ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right] \quad (23)$$

$$RQME = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (24)$$

$$ERM = \frac{\sum_i^N (P_i - O_i)}{N-1} \quad (25)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (26)$$

Em que, P_i são os valores estimados ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); O_i os valores medidos ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); \bar{O} o valor médio dos valores observados e N o número de valores.

Posteriormente, propôs-se o emprego dos valores de posição (V_p) dos indicadores estatísticos para classificar e definir o melhor método para a estimativa da radiação global. Para a obtenção do valor de V_p atribuiu-se pesos de 1 a “n” para cada indicador estatístico, sendo “n” o número de modelos testados, sendo nesse caso, atribuído o peso 1 ao melhor modelo e o peso “n” ao pior, e conseqüentemente, o melhor modelo

será aquele com menor somatório dos pesos atribuídos ou seja menor valor de V_p acumulado em todos os indicativos estatísticos.

4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros das equações de estimativa da radiação solar global calibrados para todas as cidades estudadas estão apresentadas na Tabela 3, 4 e 5. Observa-se grande variação entre os valores de um mesmo modelo entre as cidades. Os valores de R^2 também variaram, mostrando que alguns modelos se ajustaram bem para algumas cidades enquanto que em outras não houve um bom ajuste do modelo. Segundo Hargreaves (1981) e Meza e Varas (2000), estas diferenças podem indicar que a calibração local para alguns modelos podem ser determinantes para o bom desempenho.

O coeficiente de determinação da regressão linear (R^2) é um dos primeiros indicativos do bom desempenho do modelo (YORUKOGLU:CELIK, 2006), contudo necessita de outros parâmetros de avaliação, como a análise do grau de dispersão entre os valores estimados, superestimativa e subestimativa do modelo e seu grau de precisão (JACOVIDES:KONTOYIANNIS, 1995).

Observa-se na Tabela 3, 4 e 5 que os valores de R^2 variaram entre 0,40 a 0,70. Estes resultados corroboram com os encontrados por Borges et al. (2010) para a cidade de Cruz das Almas – BA, mas inferior aos encontrados por Bristow e Campbell (1984), que oscilaram entre 0,92 e 0,95 e Donatelli e Campbell (1998) média de 0,88. Estes resultados são esperados, uma vez que os modelos destes autores foram desenvolvidos de acordo com as características climáticas locais.

Os modelos que apresentam coeficientes de calibração dos dados com a dependência da precipitação como ALM, DJS e HU2 em geral, mostraram que essa variável exerceu pouca influência na estimativa da radiação solar devido aos baixos valores de seus coeficientes de determinação, corroborando com os encontrados por Liu et al. (2009) e Silva et al. (2012).

Tabela 3. Parâmetros calibrados das equações de estimativa da radiação solar para as cidades do estado de Mato Grosso.

Nº	Modelo Parâmetros	1. ABS		2. ASW			3. ALM					4. ANN		5. BRC			
		b	R ²	b	tnc	R ²	a	b	c	d	R ²	a	R ²	a	b	c	R ²
1	Água Boa	0,292	0,615	0,253	28,784	0,613	0,071	1,417	0,730	1,346	0,662	0,159	0,552	0,686	0,026	1,760	0,687
2	Alta Floresta	0,277	0,645	0,217	25,257	0,626	0,153	0,622	1,457	0,011	0,645	0,153	0,612	0,621	0,016	2,062	0,761
3	Apiacás	0,285	0,386	0,066	10,799	0,497	0,189	0,532	1,529	0,020	0,515	0,153	0,518	0,623	0,025	1,860	0,650
4	Campo Novo dos Parecis	0,213	0,182	0,109	16,387	0,319	0,253	0,911	0,381	0,684	0,647	0,141	0,644	0,594	0,051	1,484	0,664
5	Campo Verde	0,350	0,550	0,328	26,091	0,580	0,711	0,264	0,782	0,289	0,776	0,179	0,611	0,662	0,336	0,966	0,785
6	Carlinda	0,327	0,545	0,122	13,823	0,571	0,154	1,582	0,248	1,615	0,653	0,163	0,550	0,666	0,028	1,781	0,670
7	Comodoro	0,215	0,462	0,126	15,740	0,565	0,185	1,197	0,289	0,834	0,643	0,145	0,584	0,702	0,045	1,396	0,650
8	Confresa	0,254	0,464	0,094	13,988	0,483	0,043	1,098	7,656	2,043	0,623	0,148	0,525	0,624	0,024	1,820	0,634
9	Cotriguaçu	0,240	0,477	0,056	10,370	0,563	0,034	1,204	6,424	1,978	0,682	0,144	0,548	0,614	0,020	1,877	0,686
10	Cuiabá	0,152	0,314	0,042	12,345	0,521	0,011	1,758	4,963	2,956	0,785	0,112	0,701	0,418	0,008	2,494	0,776
11	Gaúcha do Norte	0,276	0,541	0,105	13,579	0,575	0,045	1,185	3,418	1,556	0,666	0,154	0,562	0,669	0,030	1,692	0,675
12	Guarantã do Norte	0,215	0,164	0,024	7,954	0,472	0,028	1,317	4,267	1,878	0,626	0,131	0,492	0,558	0,017	1,976	0,632
13	Guiratinga	0,181	0,123	0,047	10,653	0,368	0,034	1,340	2,513	1,802	0,661	0,130	0,592	0,505	0,017	2,073	0,666
14	Itiquira	0,295	0,610	0,226	23,620	0,598	0,041	1,232	3,147	1,600	0,751	0,163	0,597	0,664	0,028	1,715	0,798
15	Juara	0,267	0,377	0,025	7,464	0,594	0,159	1,457	0,276	1,517	0,704	0,146	0,618	0,586	0,037	1,691	0,701
16	Juína	0,269	0,389	0,050	9,422	0,528	0,037	1,472	1,773	1,842	0,664	0,150	0,572	0,595	0,024	1,905	0,667
17	Nova Maringá	0,225	0,270	0,085	14,085	0,468	0,055	1,194	1,732	1,344	0,702	0,137	0,595	0,585	0,029	1,770	0,711
18	Nova Ubiratã	0,276	0,545	0,165	18,310	0,564	0,056	1,010	5,895	1,638	0,643	0,157	0,561	0,678	0,030	1,691	0,665
19	Novo Mundo	0,320	0,519	0,214	20,706	0,536	0,053	1,080	5,966	1,902	0,609	0,164	0,522	0,672	0,030	1,751	0,627
20	Pontes e Lacerda	0,250	0,591	0,239	33,583	0,623	0,053	0,996	6,710	1,601	0,680	0,152	0,612	0,671	0,026	1,717	0,691
21	Porto Estrela	0,252	0,261	0,117	18,753	0,633	0,153	0,622	1,457	0,013	0,683	0,144	0,575	0,590	0,020	2,016	0,745
22	Rondonópolis	0,218	0,495	0,080	14,516	0,452	0,039	1,244	3,470	1,800	0,482	0,138	0,541	0,586	0,017	1,948	0,776
23	Salto do Céu	0,214	0,587	0,260	48,757	0,603	0,045	1,026	8,375	1,711	0,681	0,143	0,591	0,651	0,019	1,810	0,697
24	Santo Antônio do Leste	0,294	0,555	0,282	29,422	0,567	0,058	1,003	6,847	1,749	0,610	0,162	0,518	0,689	0,024	1,817	0,630
25	São Félix do Araguaia	0,282	0,587	0,033	8,078	0,618	0,040	1,242	3,128	1,594	0,711	0,151	0,605	0,660	0,028	1,715	0,718
26	Sinop	0,420	0,510	0,051	7,493	0,491	0,327	0,928	0,461	1,029	0,625	0,178	0,488	0,665	0,099	8,568	0,576
27	Sorriso	0,255	0,306	0,089	13,018	0,402	0,039	1,244	3,780	1,843	0,565	0,150	0,481	0,605	0,017	2,032	0,588
28	Vila Bela da S. Trindade	0,256	0,611	0,186	23,355	0,666	0,039	1,208	4,070	1,621	0,718	0,153	0,629	0,657	0,020	1,873	0,729

Tabela 4. Parâmetros calibrados das equações de estimativa da radiação solar para as cidades do estado de Mato Grosso. (Continuação)

Nº	Modelo Parâmetros	6. CHE			7. DJS					8. DOC				9. GOO			
		a	b	R ²	a	B	C	D	R ²	a	b	c	R ²	a	b	c	R ²
1	Água Boa	0,209	-0,163	0,608	0,142	0,562	-0,010000	0,000120	0,619	0,688	0,566	1,796	0,675	0,679	1,484	1,565	0,696
2	Alta Floresta	0,165	-0,029	0,630	0,115	0,622	0,002200	-0,000012	0,626	0,603	0,154	2,517	0,743	0,603	0,366	2,323	0,750
3	Apiacás	0,164	-0,029	0,527	0,160	0,491	-0,000150	0,000011	0,514	0,601	0,399	2,112	0,621	0,608	0,921	1,868	0,669
4	Campo Novo dos Parecis	0,112	0,111	0,600	0,197	0,379	-0,000220	0,000025	0,600	0,539	0,368	2,263	0,528	0,545	1,082	1,918	0,652
5	Campo Verde	0,040	0,506	0,769	0,535	0,075	-0,000150	0,000012	0,767	0,643	25,960	1,359	0,765	0,644	42,335	1,160	0,764
6	Carlinda	0,174	-0,017	0,550	0,135	0,587	-0,004500	0,000014	0,598	0,651	0,522	1,951	0,648	0,656	1,271	1,703	0,693
7	Comodoro	0,149	0,002	0,584	0,134	0,565	-0,013000	0,000150	0,591	0,665	1,044	1,437	0,609	0,665	2,364	1,292	0,638
8	Confresa	0,149	-0,001	0,523	0,137	0,548	-0,000320	0,000012	0,541	0,588	0,363	2,122	0,607	0,585	0,779	1,958	0,619
9	Cotriguaçu	0,153	-0,021	0,562	0,118	0,605	-0,012000	0,000120	0,546	0,599	0,387	2,017	0,676	0,597	0,855	1,846	0,694
10	Cuiabá	0,105	0,028	0,695	0,135	0,431	-0,000420	0,000016	0,690	0,402	0,054	3,298	0,744	0,402	0,109	3,149	0,754
11	Gaúcha do Norte	0,157	-0,002	0,565	0,153	0,535	-0,005200	0,000013	0,565	0,642	0,495	1,919	0,655	0,639	1,189	1,721	0,666
12	Guarantã do Norte	0,149	-0,014	0,439	0,157	0,455	-0,002100	0,000055	0,481	0,665	1,044	1,437	0,521	0,665	2,364	1,292	0,418
13	Guiratinga	0,119	0,045	0,589	0,112	0,564	-0,002100	0,000012	0,585	0,497	0,153	2,594	0,649	0,493	0,280	2,544	0,643
14	Itiquira	0,171	-0,002	0,612	0,120	0,647	-0,002100	0,000012	0,638	0,670	0,447	1,942	0,640	0,669	1,309	1,667	0,647
15	Juara	0,142	0,023	0,613	0,281	0,237	0,000000	0,000025	0,426	0,579	0,684	1,866	0,679	0,573	1,220	1,794	0,680
16	Juína	0,159	-0,023	0,578	0,153	0,494	0,000120	0,000000	0,570	0,573	0,315	2,254	0,643	0,572	0,575	2,175	0,653
17	Nova Maringá	0,110	0,102	0,566	0,194	0,375	-0,000250	0,000022	0,567	0,551	0,324	2,228	0,673	0,552	0,672	2,067	0,680
18	Nova Ubiratã	0,159	0,003	0,562	0,161	0,494	0,000000	0,000008	0,552	0,663	0,572	1,823	0,648	0,658	1,485	1,597	0,662
19	Novo Mundo	0,161	0,011	0,511	0,134	0,591	-0,002100	0,000014	0,557	0,661	0,604	1,858	0,607	0,656	1,546	1,627	0,623
20	Pontes e Lacerda	0,158	-0,001	0,616	0,120	0,599	-0,001300	0,000014	0,634	0,637	0,310	2,081	0,662	0,634	0,692	1,907	0,672
21	Porto Estrela	0,094	0,186	0,604	0,138	0,537	0,000000	0,000002	0,545	0,563	0,132	2,721	0,705	0,566	0,330	2,453	0,732
22	Rondonópolis	0,097	0,162	0,478	0,218	0,335	-0,003100	0,000012	0,505	0,608	0,534	1,854	0,669	0,607	1,151	1,702	0,681
23	Salto do Céu	0,148	-0,002	0,597	0,117	0,596	-0,003100	0,000012	0,628	0,627	0,427	1,886	0,681	0,619	0,802	1,808	0,692
24	Santo Antônio do Leste	0,169	-0,006	0,524	0,143	0,564	0,000001	0,000012	0,525	0,686	0,608	1,779	0,609	0,681	1,694	1,541	0,622
25	São Félix do Araguaia	0,152	0,012	0,602	0,133	0,560	-0,002200	0,000013	0,633	0,645	0,516	1,884	0,689	0,639	1,113	1,737	0,705
26	Sinop	0,061	0,440	0,667	0,654	0,001	0,005400	0,000000	0,415	0,662	1,763	43,912	0,578	0,716	15,791	0,670	0,686
27	Sorriso	0,158	-0,002	0,482	0,158	0,488	0,002200	0,000012	0,442	0,575	0,243	2,358	0,538	0,584	0,873	1,923	0,590
28	Vila Bela da S. Trindade	0,169	-0,049	0,644	0,122	0,598	0,000240	0,000022	0,624	0,630	0,193	2,318	0,698	0,634	0,499	2,062	0,716

Tabela 5. Parâmetros calibrados das equações de estimativa da radiação solar para as cidades do estado de Mato Grosso. (Continuação)

Nº	Modelo Parâmetros	10. HAR		11. HU1			12. HU2						13. MAH		14. MEV		15. THR	
		a	R ²	a	b	R ²	a	b	c	D	e	R ²	a	R ²	b	R ²	b	R ²
1	Água Boa	0,161	0,552	0,170	-1,118	0,555	0,137	0,165	-0,224	0,003000	-1,932000	0,629	0,139	0,582	0,012	0,596	0,018	0,554
2	Alta Floresta	0,158	0,618	0,155	-0,095	0,609	0,175	-0,051	-0,045	0,002000	-0,651000	0,601	0,137	0,629	0,011	0,601	0,017	0,598
3	Apiacás	0,154	0,518	0,147	0,851	0,516	0,127	0,095	-0,001	0,000120	-0,012000	0,515	0,133	0,457	0,011	0,403	0,017	0,370
4	Campo Novo dos Parecis	0,143	0,643	0,131	1,476	0,639	0,111	0,090	-0,003	0,000130	0,989000	0,613	0,121	0,576	0,008	0,212	0,013	0,456
5	Campo Verde	0,176	0,560	0,175	0,015	0,556	0,183	0,012	0,015	-0,001000	0,015000	0,575	0,154	0,385	0,013	0,469	0,022	0,339
6	Carlinda	4,046	0,550	0,164	0,089	0,552	0,144	0,086	-0,081	0,001000	-0,000120	0,580	0,143	0,553	0,013	0,535	0,019	0,499
7	Comodoro	3,886	0,584	0,148	-0,011	0,584	0,155	-0,024	0,002	0,000110	0,000017	0,580	0,126	0,572	0,009	0,498	0,015	0,514
8	Confresa	5,050	0,525	0,149	0,015	0,525	0,145	0,024	-0,002	0,000150	0,000011	0,525	0,130	0,532	0,010	0,431	0,016	0,477
9	Cotriguaçu	3,908	0,548	0,145	-0,021	0,544	0,146	-0,002	0,003	0,000150	0,000012	0,544	0,127	0,564	0,010	0,465	0,015	0,505
10	Cuiabá	3,954	0,701	0,114	-0,013	0,701	0,120	-0,021	0,000	0,000210	0,000012	0,704	0,098	0,663	0,006	0,364	0,010	0,628
11	Gaúcha do Norte	5,802	0,562	0,156	-0,002	0,562	0,173	-0,040	0,000	0,000160	0,000001	0,547	0,135	0,528	0,011	0,528	0,017	0,477
12	Guarantã do Norte	5,222	0,492	0,126	0,805	0,485	0,110	0,100	-0,088	0,000130	0,000043	0,497	0,116	0,456	0,008	0,187	0,012	0,345
13	Guiratinga	0,132	0,592	0,132	-0,032	0,593	0,136	-0,022	0,003	0,000260	0,000021	0,592	0,111	0,497	0,007	0,127	0,012	0,397
14	Itiquira	0,165	0,597	0,165	-0,002	0,597	0,157	0,047	-0,029	0,002000	0,000015	0,566	0,142	0,882	0,012	0,630	0,018	0,738
15	Juara	0,148	0,618	0,148	-0,022	0,618	0,157	-0,028	0,002	0,000120	0,000022	0,622	0,128	0,534	0,010	0,383	0,015	0,441
16	Juína	0,151	0,600	0,152	-0,015	0,573	0,158	-0,022	0,005	0,000130	0,000013	0,569	0,131	0,511	0,011	0,398	0,016	0,443
17	Nova Maringá	0,138	0,595	0,117	2,618	0,567	0,159	-0,063	0,002	0,000120	0,000120	0,621	0,120	0,520	0,009	0,300	0,014	0,415
18	Nova Ubiratã	0,159	0,561	0,159	0,275	0,563	0,141	0,091	-0,189	0,001000	0,000025	0,574	0,136	0,544	0,011	0,527	0,017	0,489
19	Novo Mundo	4,023	0,522	0,167	-0,012	0,523	0,150	0,068	-0,025	0,000120	0,000014	0,545	0,145	0,530	0,013	0,509	0,019	0,484
20	Pontes e Lacerda	0,153	0,612	0,153	-0,025	0,611	0,161	-0,021	0,002	0,000120	0,000048	0,613	0,132	0,610	0,010	0,605	0,016	0,590
21	Porto Estrela	0,145	0,575	0,124	2,660	0,577	0,129	-0,013	0,001	0,002000	2,529000	0,571	0,120	0,882	0,010	0,284	0,012	0,718
22	Rondonópolis	0,139	0,541	0,091	6,503	0,497	0,149	-0,198	0,002	0,000120	6,375000	0,589	0,114	0,811	0,009	0,487	0,012	0,560
23	Salto do Céu	3,797	0,591	0,144	-0,012	0,591	0,162	-0,054	0,009	0,000210	0,000013	0,588	0,124	0,601	0,009	0,586	0,014	0,573
24	Santo Antônio do Leste	4,994	0,518	0,167	0,042	0,523	0,149	0,070	-0,002	0,000220	0,000025	0,520	0,142	0,478	0,012	0,550	0,019	0,457
25	São Félix do Araguaia	0,152	0,605	0,152	0,051	0,605	0,161	-0,032	0,002	0,000160	0,000016	0,601	0,132	0,551	0,011	0,575	0,016	0,485
26	Sinop	0,180	0,491	0,123	6,708	0,583	0,138	-0,284	0,026	-0,000390	14,000000	0,591	0,149	0,143	0,017	0,499	0,021	0,106
27	Sorriso	5,136	0,481	0,125	3,234	0,476	0,109	0,172	-0,022	0,000220	0,000016	0,503	0,132	0,444	0,010	0,306	0,016	0,348
28	Vila Bela da S. Trindade	0,154	0,629	0,157	-0,003	0,633	0,148	0,045	-0,002	0,000220	0,000024	0,617	0,133	0,613	0,010	0,639	0,016	0,591

Na Figura 2 observa-se a variação dos valores do Erro Relativo Médio dos modelos. Nota-se que houve uma tendência de superestimativa para a maioria dos modelos estudados. Existe uma grande desvantagem em se analisar o ERM de forma isolada onde a subestimativa de uma observação isolada pode anular uma superestimativa em outra (STONE, 1993).

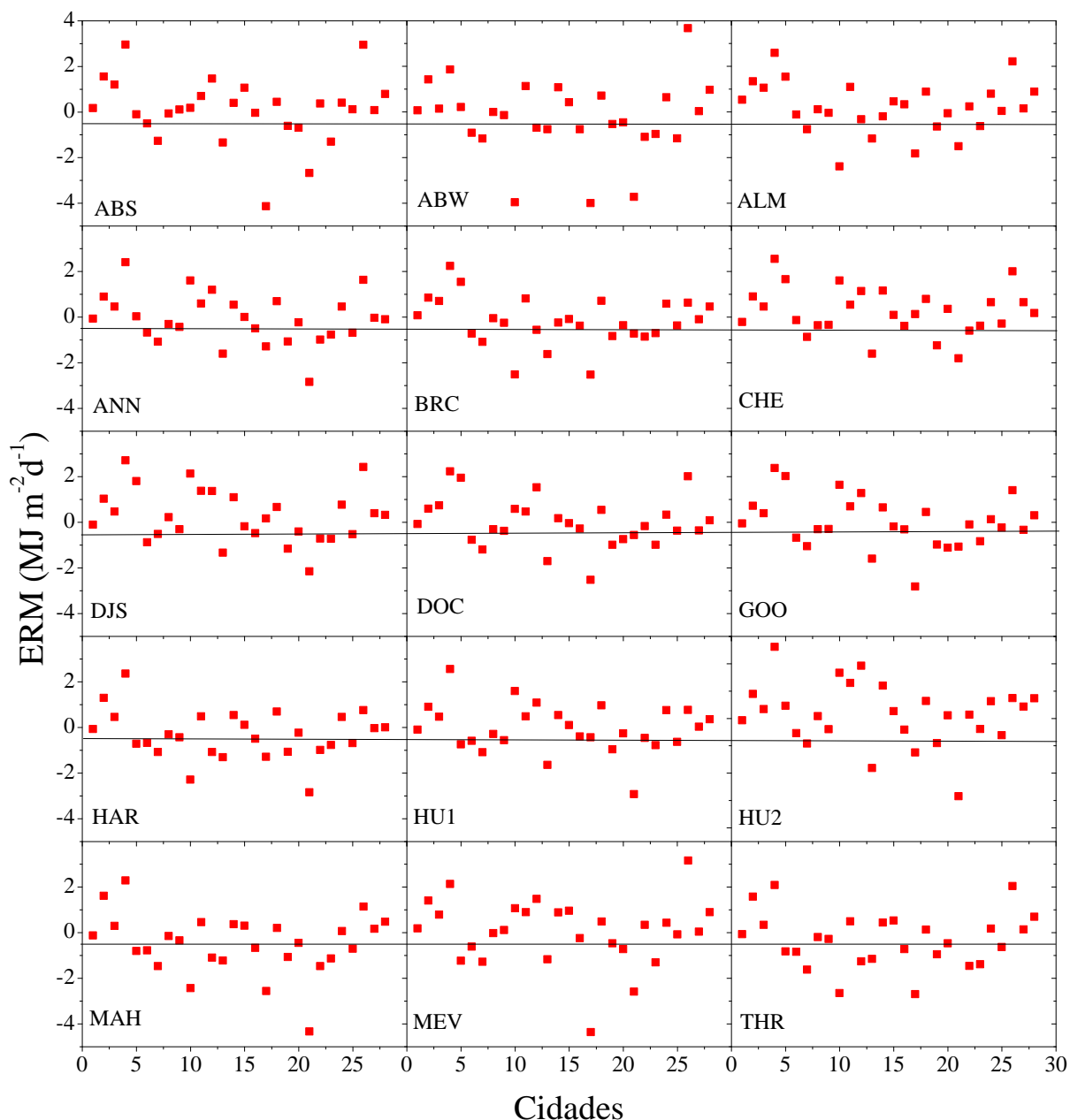


Figura 2. Erro Relativo Médio (ERM) das estimativas da radiação global para modelos com coeficientes calibrados para diferentes estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso.

Na Figura 3 encontram-se os valores da Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (RQME) dos coeficientes calibrados para as cidades do estado de Mato Grosso. A dispersão entre os valores medidos e os valores estimados está, em média, $3,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para todos os modelos estudados. Valores estes inferiores aos encontrados por Goodin (1999) em que a RQME foi entre $3,62$ a $5,81 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ nos Estados Unidos e por Silva et al. (2012) para as condições climáticas do noroeste de Minas Gerais, corroboram com o trabalho de Liu et al. (2009) para as condições climáticas da China, mas superiores aos encontrados por Almorox et al. (2011) para a Espanha.

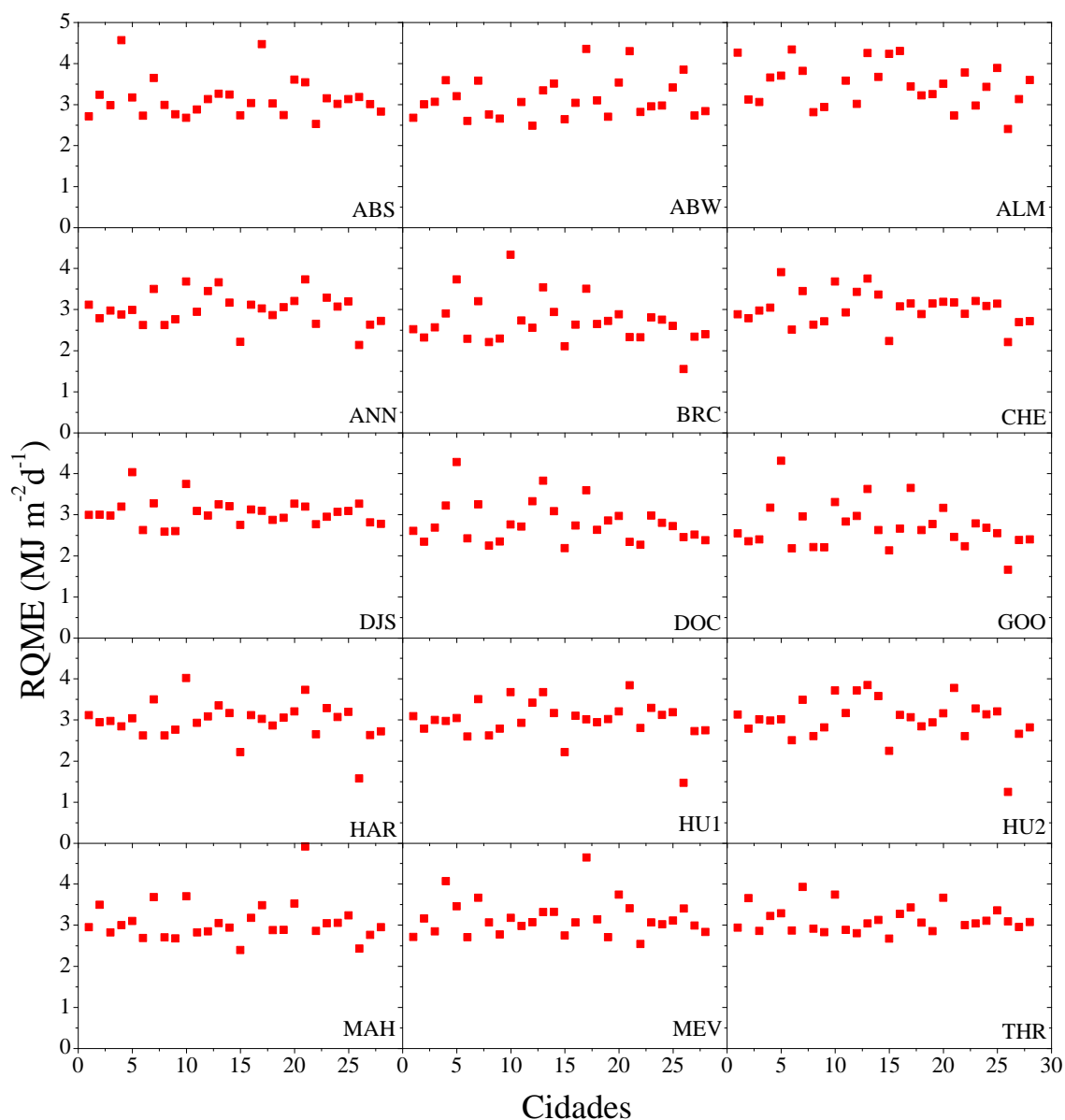


Figura 3. Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (RQME) das estimativas da radiação global para modelos com coeficientes calibrados para diferentes estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso.

O índice d de Willmott et al. (1985) demonstra o grau de exatidão entre os valores medidos e estimados e, está representado na Figura 4. Observa-se que a maioria dos modelos, ASW, ALM, ANN, BRC, CHE, DJS, DOC, GOO, HAR, HU1 e HU2, obtiveram resultados com boa precisão, com valores do índice d entre 0,80 a 0,90, com exceção de ABS. Estes resultados corroboram com os resultados encontrados por Silva et al. (2012) para o noroeste de Minas Gerais.

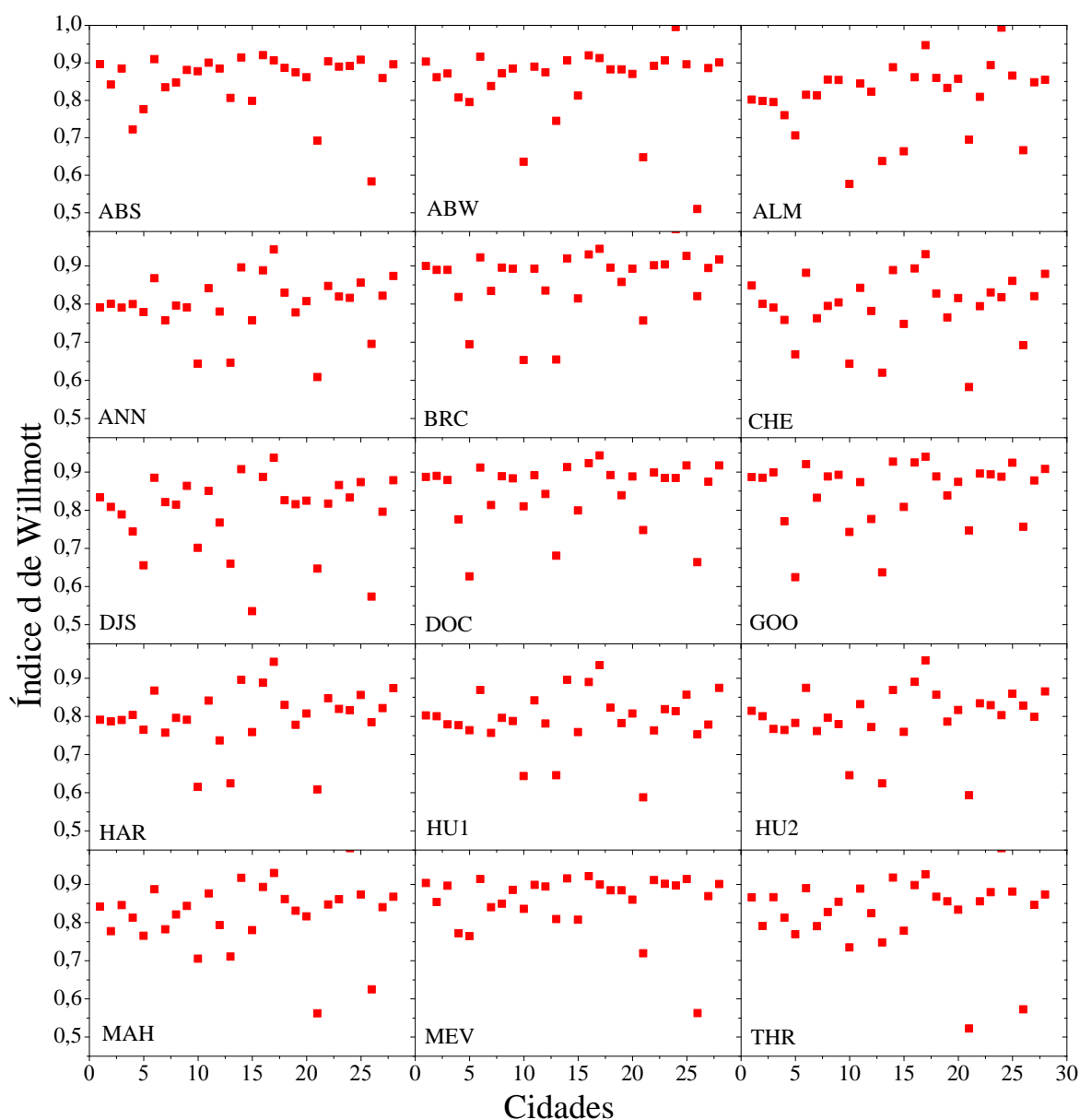


Figura 4. Índice de concordância (d) de Willmott para modelos de estimativa da radiação global calibrados para diferentes estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso.

A Figura 5 representa a correlação entre os valores de radiação solar observados e os estimados para a cidade de Sinop-MT. Para as demais cidades, as correlações e respectivos coeficientes de determinação se encontram em anexo (Tabela 13). Os modelos que apresentaram melhor desempenho para Sinop foram Bristow e Campbell, Hunt 2 e Hargreaves. Observa-se que a maioria dos modelos apresentou tendência à superestimativas. Silva et al. (2012), observaram superestimativas dos modelos estudados, propondo estudos para avaliar modelos mais adequados para a região noroeste de Minas Gerais.

Observa-se maior dispersão dos dados das estimativas feitas por DJS, MAH e THR, isto significa que os valores estimados não foram muito precisos.

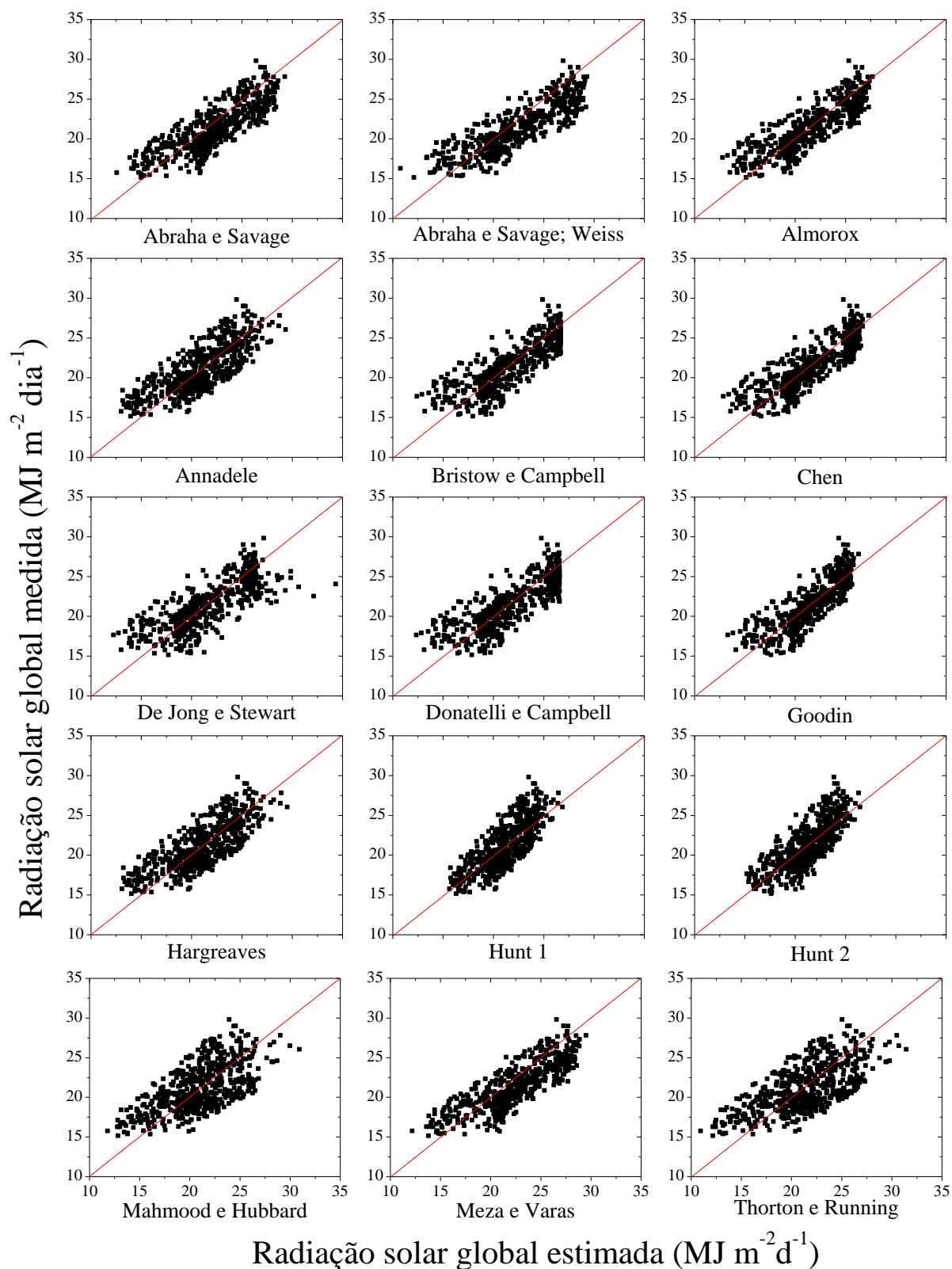


Figura 5. Correlações entre a radiação solar global medida e a radiação global estimada por diferentes modelos calibrados a estação meteorológicas de Sinop, MT.

Com o intuito de se encontrar o melhor modelo para cada cidade, foi feito um ordenamento de acordo com o índices estatísticos avaliados neste estudo. A Tabela 6 é o resultado da soma do ordenamento destes índices por cidade e para o estado, 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 o modelo BRC obteve o melhor desempenho em 50% das cidades do estado de Mato Grosso, seguido de GOO e DOC. Estes resultados corroboram com os encontrados por Silva et al. (2012), em que o modelo de Bristow e Campbell foi um dos modelos simplificados mais precisos para a região noroeste de Minas Gerais e para três regiões de Minas Gerais, respectivamente.

Tabela 6. Ordenamento dos modelos segundo o VP (value position) para o melhor modelo para as cidades de Mato Grosso.

Nº	Estação	ABS	ASW	ALM	ANN	BRC	CHE	DJS	DOC	GOO	HAR	HUN1	HUN2	MAH	MEV	THR	Melhor modelo
1	Água Boa	22	8	43	35	7	29	30	16	9	32	32	29	29	19	20	BRC
2	Alta Floresta	32	26	33	22	7	21	25	3	8	30	20	19	44	28	42	BRC
3	Apiacás	30	25	28	28	8	30	34	21	10	24	38	35	14	21	14	BRC
4	Campo Novo dos Parecis	40	22	33	32	8	32	36	17	23	17	9	34	11	29	17	BRI
5	Campo Verde	12	11	31	5	32	36	39	42	45	15	19	8	18	26	21	ANN
6	Carlinda	22	24	30	29	13	16	32	19	12	27	22	18	30	22	33	GOO
7	Comodoro	26	22	24	28	14	19	11	21	11	27	33	22	37	26	39	DJS; GOO
8	Confresa	25	16	23	35	5	39	23	19	16	32	28	21	26	23	29	BRC
9	Cotriguaçu	18	13	25	37	9	28	19	21	9	36	37	39	25	17	28	BRC; GOO
10	Cuiabá	3	42	41	26	34	23	28	7	16	31	19	27	26	8	29	ABS
11	Gaúcha do Norte	15	30	37	31	15	26	37	7	20	24	23	43	11	24	17	DOC
12	Guaratã do Norte	24	7	15	33	9	29	31	29	27	28	27	43	18	22	18	ASW
13	Guiratinga	14	11	29	30	28	37	17	33	30	26	34	43	12	10	6	THR
14	Itiquira	21	34	31	28	7	39	30	12	12	27	23	44	11	27	14	BRC
15	Juara	34	24	34	17	6	23	37	10	13	23	20	27	27	32	33	BRC
16	Juína	10	26	35	35	8	23	36	9	8	32	27	30	34	12	35	BRC; GOO
17	Nova Maringá	42	39	23	9	22	18	15	27	32	12	10	9	27	45	30	ANN; HUN2
18	Nova Ubiratã	18	31	38	28	15	35	29	10	8	25	40	21	18	24	20	GOO
19	Novo Mundo	10	5	27	39	12	44	33	23	21	36	31	27	30	4	18	MEV
20	Pontes e Lacerda	30	26	18	23	9	23	27	18	22	22	27	15	30	34	33	BRC
21	Porto Estrela	22	33	13	30	4	23	20	5	9	29	36	31	42	18	45	BRC
22	Rondonópolis	12	30	32	27	16	35	30	9	7	28	32	19	37	11	35	GOO
23	Salto do Céu	27	15	14	36	8	23	17	24	15	32	37	26	30	26	30	BRC
24	Santo Antônio do Leste	17	17	35	29	12	36	34	16	11	26	40	39	11	18	19	GOO; MAH
25	São Félix do Araguaia	14	35	26	37	9	23	20	13	7	36	32	32	35	11	30	GOO
26	Sinop	36	45	27	19	5	22	37	28	15	10	11	5	24	42	34	BRC
27	Sorriso	26	12	31	20	9	34	38	19	16	19	25	33	29	21	28	BRC
28	V.B. Santíssima Trindade	28	32	43	20	13	15	22	4	10	16	23	34	35	29	36	DOC
Total		23	24	29	27	12	28	28	17	16	26	27	28	26	22	27	BRC

4.6. CONCLUSÕES

Os resultados permitiram concluir que o desempenho dos métodos de estimativa da radiação solar global diferenciaram entre as cidades estudadas.

Os modelos simplificados com calibração de seus coeficientes apresentaram índice de concordância de Willmott de 0,8 – 0,9, indicando bom desempenho do modelo, sendo assim, recomendados para uso quando não houver disponibilidade de dados medidos nos locais estudados.

De acordo com o ordenamento dos índices estatísticos, ou seja, emprego dos valores de posição (V_p) dos indicativos estatísticos para classificar e definir o melhor método para a estimativa da radiação global, o modelo de melhor desempenho para o estado de Mato Grosso foi o de Bristow e Campbell

4.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHA, M. G.; SAVAGE, M. J. Comparison of estimates of daily solar radiation from air temperature range for application in crop simulations. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia – PA, USA, v. 148, p. 401-16, 2008.

ALLEN, R. G. **Evaluation of procedures for estimating mean monthly solar radiation from air temperature**. Rep. United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). Rome, Italy. 1995.

ALLEN, R. G. Self-calibrating method for estimating solar radiation from air temperature. **Journal of Hydrology Engineering**, Reston, VA, USA, v. 2, p. 56–67, 1997.

ALMOROX, J.; HONTORIA, C. Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 45, p. 1529–35, 2004.

ALMOROX, J.; HONTORIA, C.; BENITO, M. Models for obtaining daily global solar radiation with measured air temperature data in Madrid (Spain). **Applied Energy**, London, v.88, p.1703-1709, 2011.

ANGSTROM, A. Solar and terrestrial radiation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Oxford, v. 50, n. 4, p. 121-6, 1924.

ANNANDALE, J.G.; JOVANIC, N. Z.; BENADE, N.; ALLEN, R. G. Software for missing data error analysis of Penman-Monteith reference evapotranspiration. **Irrigation Science**, Cordoba, v. 21, p. 57 – 67, 2002.

BOCCO, M.; WILLINGTON, E.; ARIAS, M. Comparison of regression and neural networks models to estimate solar radiation. **The Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, v. 70, p. 428-435, 2010.

BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.3, p.293-300, 2007.

BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO FILHO, M. A.; SILVA, T. S. M.; PAMPONET, B. M. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, p.74-80, 2010.

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.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R.; MALUF, J. R. T.; SILVA, B. P. Tamanho de amostra para a estimativa das médias decendiais de radiação solar global no estado do Rio Grande do Sul. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, p.1402-1410, 2007.

CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; XAVIER, A. C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.8, p.871-880, 2010.

CHEN, R. S.; ERSI, K.; YANG, J. P.; LU, S. H.; ZHAO, W. Z. Validation of five global radiation models with measured daily data in China. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 45, p. 1759 – 1769, 2004.

CHEN R, LU S, KANG E, YANG J, JI X. Estimating daily global radiation using two types of revised models in China. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 47, p. 865–878, 2006.

CURY – LUNARDI, D. M.; CATANEO, A. Estimativa da radiação solar global diária para Botucatu, São Paulo. **Científica**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 117-121, 1994.

DAVIES, J. A.; MCKAY, D. C. Evaluation of selected models for estimating solar radiation on horizontal surfaces. **Solar Energy**, Kidlington, v. 43, n. 3, p. 153–168, 1989.

DE JONG, R.; STEWART, D. W. Estimating global solar radiation from common meteorological observations in western Canada. Can. **Journal of Plant Science**, Davis. v. 73, p. 509–518, 1993.

DONATELLI, M.; CAMPBELL, G. S. A simple model to estimate global solar radiation. In: **Proceedings**. ESA Congr., 5th, Nitra, Slovak Republic, 28 June–2 July 1998. The Slovak Agricultural University, Nitra, Slovak Republic, p. 133–134, 1998.

ERTEKIN C, YALDIZ O. Estimation of monthly average daily global radiation on horizontal surface for Antalya, Turkey. **Renewable Energy**, Oxford, v. 17, p. 95–102, 1999.

EVRENDILEK F, ERTEKIN C. Assessing the potential of renewable energy sources in Turkey. **Renewable Energy**, Oxford, v. 28, p. 2303–2315, 2003.

FAO. **FAO Statistical Yearbook 2013** – World Food and Agriculture. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e.PDF>>. Acessado em: 28 de agosto de 2013.

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.

HARGREAVES, G. H. Responding to tropical climates. In: **The 1980–81 Food and Climate Review**, The Food and Climate Forum, Aspen Institute for Humanistic Studies, Boulder, Colo, p. 29–32. 1981.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage**. ASCE; Delaware, v. 108, p. 225-30, 1982.

HEPBASLI, A.; ULGEN, K.; EKE, R. Solar energy applications in Turkey. **Energy Sources**, Oxfordshire, v. 26, p. 551–61, 2004.

HUNT, L. A.; KUCHAR, L.; SWANTON, C. J. Estimation of solar radiation for use in crop modeling. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 91, n. 3–4, p. 293–300, 1998.

IBGE. 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=mt>>. Acessado em: 27 de agosto de 2013.

JACOVIDES, C. P.; KONTOYIANNIS, H. Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models. **Agricultural Water Management**, Auckland, v.27, p.365-371, 1995.

KAPLANIS, S; KAPLANI, E. A model to predict expected mean and stochastic hourly global solar radiation $I(h;nj)$ values. **Renewable Energy**, Oxford, v.32, p.1414–1425, 2007.

KAPLANIS, S.; KAPLANI, E. Stochastic prediction of hourly global solar radiation for Patra, Greece. **Applied Energy**, London, v. 87, p. 3748-3758, 2010.

LINDQUIST, J. L. Mechanisms of crop loss due to weed competition. In: R. K. D. Peterson and L. G. Higley, eds. **Biotic Stress and Yield Loss**. Boca Raton, FL: CRC Press, p. 233-253, 2001.

LIU, D. L.; SCOTT, B. J. Estimation of solar radiation in Australia from rainfall and temperature observations. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 106, n. 1, p. 41–59, 2001.

LIU, X.; MEI, X.; LI, Y.; WANG, Q.; JENSEN, J. R.; ZHANG, Y.; PORTER, J. R. Evaluation of temperature-based global solar radiation models in China. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 149, p. 1433-1446, 2009.

MAHMOOD, R.; HUBBARD, K. G. Effect of time and temperature observation and estimation of daily solar irradiance for the northern Great Plains, USA. **Agronomy Journal**, Wooster, v. 94, p. 723–733, 2002.

McVICAR, T. R.; JUPP, D. L. B. Estimating one-time-of-day meteorological data as inputs to thermal remote sensing based energy balance models. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 96, p. 219-238, 1999.

MELLIT, A.; BENGHANEM, M.; BENDEKHIS, M. Artificial neural network model for prediction solar radiation data: application for sizing stand-alone photovoltaic power system. In: **Proceedings** of IEEE power engineering society. General meeting, USA, v. 1, p. 40-44, 2005.

MENGES, H. O.; ERTEKIN, C.; SONMETE, M. H. Evaluation of global solar radiation models for Konya, Turkey. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 47, p. 3149-3173, 2006.

MEZA, F.; VARAS, E. Estimation of mean monthly solar global radiation as a function of temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 100, p. 231-41, 2000.

MILES, J. E.; KAWABATA, O.; NISHIMOTO, R. K. Modeling purple nutsedge sprouting under soil solarization. **Weed Science**, Georgia, v. 50, p. 64-71, 2002.

MUNEER, T; GUL, M. S. Evaluation of sunshine and cloud cover based models for generating solar radiation data. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 41, n. 5, p. 461-82, 2000.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 183 p, 1997.

PRIETO, J. I.; MARTÍNEZ-GARCÍA, J. C.; GARCÍA, D. Correlation between global solar irradiation and air temperature in Asturias, Spain. **Solar Energy**, Kidlington, v.83, p.1076-1085, 2009.

RAICHIJK, C. Estimación de la irradiación solar global en Argentina mediante el uso de redes neuronales artificiales. **Energías Renovables y Medio Ambiente**, Salta, v. 22, p. 1-6, 2008.

RICHARDSON, C. W. Weather simulation for crop management models. Trans. **ASABE**, Michigan, v. 28, n. 5, p. 1602 – 1606, 1985.

RIVINGTON, M.; BELLOCCHI, G.; MATTHEWS, K. B.; BUCHAN, K. Evaluation of three model estimations of solar radiation at 24 UK stations. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 132, n. 3-4, p. 228-43, 2005.

RIVINGTON, M.; MATTHEWS, K. B.; BELLOCCHI, G.; BUCHAN, K. Evaluating uncertainty introduced to process-based simulation model estimates by alternative sources of meteorological data. **Agricultural Systems**, Wageningen, v. 88, p. 451–471, 2006.

SAMPAIO, M. S.; ALVES, M. C.; CARVALHO, L. G.; SANCHES, L. Uso de Sistema de Informação Geográfica para comparar a classificação climática de Koppen-Geiger e de Thornthwaite. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, p.8857, 2011.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Mapa**. Disponível em: <http://www.sema.mt.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=109&Itemid=200> . Acesso em: 10 de setembro de 2013.

SILVA, C. R.; SILVA, V. J.; ALVES JUNIOR, J.; CARVALHO, H. P. Radiação solar estimada com base na temperatura do ar para três regiões de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 3, p. 281-288, 2012.

SOUZA, J. D.; SILVA, B. B.; CEBALLOS, J. C. Estimativa da radiação solar global à superfície usando um modelo estocástico: caso sem nuvens. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 26, n. 1, 2008.

SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIM, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Nativa*, Sinop, v. 01, n. 01, p.34-43, out./dez., 2013.

STECKEL, L. E.; SPRAGUE, C. L.; HAGER, A. G.; SIMMONS, E. W.; BOLLERO, A. G. Effects of shading on common waterhemp (*Amaranthus rudis*) growth and development. **Weed Science**, Georgia, v. 51, p. 898-903, 2003.

STONE, R. J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. **Solar energy**, Kidlington, v.51, p.289- 291, 1993.

THORNTON, P. E.; RUNNING, S. W. An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity, and precipitation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v.93, p. 211–228, 1999.

TRNKA, M.; ZALUD, Z.; EITZINGER, J.; DUBROVSKY, M. Global solar radiation in Central European lowlands estimated by various empirical formulae. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 131, n. 1–2, p. 54–76, 2005.

VAN DIJK, A. I. J. M.; DOLMAN, A. J.; SCHULZE, E. D. Radiation, temperature, and leaf area explain ecosystem carbon fluxes in boreal and temperate European forests. **Global Geochemistry, Cycles**, v. 19, 2005.

WEISS, A.; HAYS, C. J.; HU, Q.; EASTERLING, W. E. Incorporating bias error in calculating solar irradiance: implications for crop yield simulations. **Agronomy. Journal**, Wooster, v. 93, p. 1321–1326, 2001.

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.

WONG, L. T.; CHOW, W. K. Solar radiation model. **Applied Energy**, London, v. 69, n. 3, p. 191–224, 2001.

YANG, K.; KOIKE, T. Estimating surface solar radiation from upper-air humidity. **Solar Energy**, Kidlington, v. 72, n. 2, p. 177–86, 2002.

YORUKOGLU M, CELIK AN. A critical review on the estimation of daily global solar radiation from sunshine duration. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 47, p. 2441–50, 2006.

5. CAPÍTULO II – INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL ESTIMADA NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA OBTIDA PELO MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH FAO 56 PARA O ESTADO DE MATO GROSSO.

5.1. RESUMO

A economia do estado de Mato Grosso é baseada na agricultura, devido a isto, o conhecimento dos fatores que afetam a produção agrícola são de extrema importância. A radiação solar é a mais importante fonte de energia da natureza e influencia no processo de evapotranspiração. Existem muitas formas de estimativas da radiação solar e da evapotranspiração, no entanto, necessitam de uma série de dados muitas vezes não disponíveis. Diante destes fatos, este trabalho objetivou avaliar a influência da radiação solar global estimada na estimativa da evapotranspiração de referência. Os dados foram adquiridos de estações meteorológicas automáticas (EMA's) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizadas nas cidades de Água Boa, Alta Floresta, Apicás, Campo Novo do Parecis, Campo Verde, Carlinda, Comodoro, Confresa, Cotriguaçu, Cuiabá, Gaúcha do Norte, Guarantã, Guiratinga, Itiquira, Juara, Juína, Nova Maringá, Nova Ubiratã, Novo Mundo, Pontes e Lacerda, Porto Estrela, Rondonópolis, Salto do Céu, Santo Antônio do Leste, São Félix do Araguaia, Sinop, Sorriso e Vila Bela da Santíssima Trindade. As equações calibradas foram: Abraha e Savage; Abraha e Savage Weiss; Almorox; Annandele; Bristow e Campbell; Chen; De Jong e Stewart; Donatelli e Campbell; Goodin; Hargreaves; Hunt (dois coeficientes); Hunt (quatro coeficientes); Mahmood e Hubbard; Meza e Varas e Thorton e Running, todos eles calibrados para as cidades e mais cinco modelos não calibrados: modelo de Hargreaves e Samani com K_r igual a 0,16; Hargreaves e Samani com K_r proposto por Allen; Hargreaves e Samani com

Kr proposto por Samani, Bristow e Campbell e modelo de Weiss. Os dados de radiação estimados foram aplicados na equação de Penman – Monteith FAO para estimativa da evapotranspiração de referência e estes resultados foram comparados com os dados de evapotranspiração de referência obtidos pela equação de Penman – Monteith FAO com dados de radiação medidos nas estações. Os índices de desempenho utilizados foram: o Erro Médio Relativo (EMR), a Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (RQME) e o índice d de Willmott. A maioria dos modelos tenderam a superestimar, em média, $0,2 \text{ mm d}^{-1}$, apresentaram dispersão em relação aos valores estimados por Penman – Monteith da evapotranspiração de referência de $0,55 \text{ mm d}^{-1}$ em média e o grau de precisão foi em torno de $0,85$. Os modelos sem calibração Hargreaves e Samani, Hargreaves e Samani Allen, Hargreaves Samani Samani e Bristow e Campbell superestimaram, em média, $0,6 \text{ mm d}^{-1}$ e apresentaram dispersão entre os valores de $0,75$ a 1 mm d^{-1} em média. A calibração local dos modelos de estimativa da radiação solar global na estimativa da evapotranspiração de referência influenciaram de forma positiva no desempenho. Os modelos de radiação solar calibrados de melhor desempenho para o estado foram os modelos de Goodin, Bristow e Campbell e Almorox. O modelo de Weiss para a estimativa da radiação solar global apresentou o pior desempenho na estimativa da evapotranspiração de referência para todos os índices estudados, sendo não recomendado para o estado.

Palavras – chave: calibração, desempenho, equações simplificadas.

GLOBAL SOLAR RADIATION ESTIMATE INFLUENCE ON REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATION OBTAINED BY PENMAN-MONTEITH FAO 56 METHOD FOR MATO GROSSO STATE, BRAZIL.

5.2. SUMMARY

The Mato Grosso state economy is based on agriculture and knowledge of the factors which are affecting the agricultural production are important. Solar radiation is the most important natural energy source and it influences in the evapotranspiration process. There are many ways to estimate the solar radiation and the evapotranspiration; however it requires a lot of data that are not often available. This study aimed to evaluate the influence of solar radiation in the reference evapotranspiration estimation. The data were from

automatic weather stations (AWS) of the National Institute of Meteorology (INMET) located in the cities of Água Boa, Alta Floresta, Apiacás, Campo Novo do Parecis, Campo Verde, Carlinda, Comodoro, Confresa, Cotriguaçu, Cuiabá, Gaúcha do Norte, Guarantã, Guiratinga, Itiquira, Juara, Juína, Nova Maringá, Nova Ubiratã, Novo Mundo, Pontes e Lacerda, Porto Estrela, Rondonópolis, Salto do Céu, Santo Antônio do Leste, São Félix do Araguaia, Sinop, Sorriso e Vila Bela da Santíssima Trindade. The equations were: Abraha and Savage; Abraha, Savage and Weiss; Almorox; Annandele; Bristow and Campbell; Chen; De Jong and Stewart; Donatelli and Campbell; Goodin; Hargreaves; Hunt (two coefficients); Hunt (four coefficients); Mahmood and Hubbard; Meza and Varas and Thorton and Running these were calibrated to the cities and five uncalibrated models: Hargreaves and Samani model with K_r equal to 0.16; Hargreaves and Samani with K_r proposed by Allen; Hargreaves and Samani with K_r proposed by Samani; Bristow and Campbell and Weiss model. The estimated solar radiation data were applied in the Penman - Monteith FAO equation to estimate the reference evapotranspiration and these results were compared with the reference evapotranspiration obtained by the equation of Penman - Monteith FAO with solar radiation data measured at stations. The performance indexes used were: Relative Mean Error (RME), Root Mean Square Error (RMSE) and the Willmott's index d . Most of models tended to overestimate 0.2 mm d^{-1} , on average, these results showed scatter values on estimated by Penman - Monteith reference evapotranspiration of 0.55 mm d^{-1} , on average, and the accuracy was 0.85. The models without calibration Hargreaves and Samani, Hargreaves and Samani and Allen, Hargreaves and Samani Samani; Bristow and Campbell overestimated, on average, 0.6 mm dia^{-1} and the scatter values ranged by 0.75 to 1 mm d^{-1} . The local calibration for global solar radiation models in the reference evapotranspiration estimation improved their performance. The better performances to the state were Goodin, Bristow and Campbell and Almorox models. The Weiss model showed the worst performance for all studied indexes, so is not recommended for the state.

Keywords: calibration, performance, simplified equations.

5.3. REVISÃO DE LITERATURA

O Brasil é o quinto maior país do mundo com área de 8,5 milhões de km² e cerca de 196 milhões de habitantes. A economia do país é baseada na agricultura, sendo o quinto país em produção de cereais, ficando atrás apenas da China, Estados Unidos, Índia e Indonésia; quarto maior produtor de oleaginosas, raízes e tubérculos, terceiro maior produtor de frutas, segundo maior produtor de frutas cítricas do mundo e maior produtor de carne da América Latina (FAO, 2013).

O estado de Mato Grosso está localizado na região Centro-Oeste do Brasil, sendo o terceiro maior estado do país com 141 municípios distribuídos em 903.366.192 km² e com população de 3.035.122 de habitantes (IBGE, 2010). Este estado se destaca pela criação de bovinos, produção de soja, algodão, milho de segunda safra e girassol (IMEA, 2013). A produção de grãos na safra de 2012/13 do país chegou a 186 milhões de toneladas, sendo o Mato Grosso considerado o maior produtor brasileiro, responsável por 25% da produção nacional (CONAB, 2013).

Por conseguinte, o conhecimento dos fatores que afetam a produção agrícola são de extrema importância para um bom planejamento das safras para essa região. O estudo das respostas da planta às condições edafoclimáticas são de extrema importância para seu devido manejo (PINHEIRO et al., 2002). As condições climáticas locais e solo ditam a produtividade das culturas e, dentre os elementos climáticos, principalmente por influência da radiação solar e temperatura (MOTA, 1994; STEINMETZ:BRAGA, 2001).

A radiação solar é fonte de energia renovável e natural, sendo assim, importante em vários processos físicos, químicos, biológicos e biofísicos que ocorrem na superfície terrestre, com aplicações em muitas áreas como agronomia, ecologia, sistemas de energia solar, meio ambiente, oceanografia, arquitetura, dentre outras (HUNT et al, 1998; ALMOROX:HONTORIA, 2004; WU et al., 2007; DAUT et al., 2011). Em sistemas agrícolas, a radiação solar é fundamental para os processos fotossintéticos e energias disponíveis para aquecimento do ar e do solo, além das mudanças de estado físico da água (evaporação, transpiração e evapotranspiração), definindo assim, a necessidade hídrica das culturas.

As medidas diretas e/ou estimativas da radiação solar são importantes em muitos modelos de estimativa da evapotranspiração (ALLEN, 1997), portanto, a confiabilidade no registro e/ou estimativas de dados predizem a precisão de

modelos de simulação hídrica (EL SEBAII:TRABEA, 2003). A medida da radiação solar foi, durante muito tempo, difícil e onerosa, em razão dos custos elevados limitarem as aquisições de radiômetros, restringindo seu uso aos centros de pesquisa.

No Brasil, assim como em muitos países, existem vários problemas no registro de informações meteorológicas para estabelecimento de redes de monitoramento. Especificamente para a radiação solar, muitas estações não dispõem de piranômetros e/ou sistemas de aquisição de dados, perfazendo assim, em bases de dados pouco consistentes e com grande número de falhas e/ou longos períodos de ausência de medidas (perda de dados, falhas do equipamento, erros de calibração, acúmulo de água e sujeita no sensor, entre outros), que por sua vez, não permitem avaliações das sazonalidades das radiações espectrais e/ou atenuações atmosféricas (HUNT et al., 1998; WU et al., 2007; ABRAHA:SAVAGE, 2008; ALMOROX et al., 2011). A carência de medidas de radiação solar, de maneira generalizada, pode ser considerado como um dos maiores limitantes de pesquisas e aplicações para modelos de simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade de culturas (HOOK:MCCLENDON, 1992).

Os problemas supracitados demandaram a necessidade do desenvolvimento de métodos alternativos de obtenção da radiação solar. Dessa forma, muitos modelos de estimativa da radiação solar foram desenvolvidos com base em outros elementos meteorológicos com dados disponíveis. Por conseguinte, destacam-se as estimativas baseadas na duração do brilho solar (ANGSTRON, 1924), temperatura do ar (HARGREAVES, 1981; BRISTOW:CAMPBELL, 1984; HUNT et al., 1998; LIU:SCOTT, 2001; ABRAHA:SAVAGE, 2008), utilização de dados de estações próximas ao local de estudo (HUNT et al., 1998; TRNKA et al., 2005; RIVINGTON et al., 2006), interpolação linear (SOLTANI et al., 2004), interpolação em redes neurais (ELIZONDO et al., 1994; REDDY:RANJAN, 2003), métodos baseados em satélites (PINKER et al., 1995), geração a partir de modelos de tempo estocásticos (RICHARDSON:WRIGHT, 1984; HANSEN, 1999), dentre outros.

Segundo Chen et al. (2011) a utilização de modelos para estimativa da radiação solar se tornou uma prática comum, principalmente quando vinculados a obtenção por outros elementos meteorológicos com dados disponíveis e mais facilmente encontrados, como temperatura do ar, umidade, precipitação e brilho solar. Os modelos de estimativa variam em grau de complexidade e geralmente apresentam índices parametrizados, que dependem de calibrações para propiciar melhores resultados e

aplicações. O registro de outros elementos meteorológicos deve ser feita de forma confiável, sendo que nem sempre o emprego de dados coletados próximos ao local de interesse são as melhores opções (RIVINGTON et al., 2006) e a precisão das estimativas decresce com o aumento da distância entre o local de monitoramento e o de interesse (HUNT et al., 1998; TRNKA et al., 2005).

Dentre as diversas aplicações da radiação solar, destacam os usos em estudos relacionados a hidrologia, ao clima e ao manejo dos recursos hídricos, e ainda nos modelos de crescimento de plantas e na estimativa da evapotranspiração em projetos de sistemas de irrigação (ALMOROX et al., 2011; LIU et al., 2009).

Segundo Allen et al. (1998), a evapotranspiração potencial (ETP) é dependente da quantidade de energia disponível no ambiente, sendo a radiação solar uma importante variável na sua estimativa. A disponibilidade de energia controla a taxa de evapotranspiração tanto pelo suprimento de água para as plantas no solo quanto pela demanda atmosférica (AMATYA et al., 1992; PEREIRA et al., 1997). As evoluções conceituais da evapotranspiração potencial referem-se a perda máxima de água de uma superfície vegetada, de porte baixo, em pleno desenvolvimento e sem restrições hídricas, de modo a diminuir o efeito da energia advectiva local (PENMAN, 1948; THORNTHWAITE, 1948).

De modo geral, na ausência de restrição hídrica, a evapotranspiração é diretamente proporcional à disponibilidade de energia solar e ao saldo de radiação. Segundo Chang (1968) a importância da radiação líquida, da umidade relativa do ar e da velocidade do vento sobre a evapotranspiração é de, aproximadamente, 80, 6 e 4%, respectivamente. A variação da quantidade de vapor d'água na atmosfera local normalmente está relacionada com a nebulosidade e influencia diretamente o balanço de ondas curtas e ondas longas que, por sua vez, altera o saldo de radiação, todavia, essas influências da atenuação atmosférica são inseridas nas medidas da radiação global. Assim, a forma de obtenção da radiação global incidente em uma determinada região pode afetar sensivelmente a determinação da evapotranspiração diária.

Segundo a Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID) e a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), quando a evapotranspiração e a radiação solar global não são monitoradas, podem ser empregadas estimativas por meio de modelos matemáticos. Por conseguinte, o método de Penman – Monteith, mais conhecido como Penman – Monteith FAO 56 (PMF) é reconhecido como a

metodologia padrão para a estimativa da evapotranspiração de referência por combinar componentes energéticos e aerodinâmicos (SMITH, 1991; ALLEN et al., 1998). Contudo, ressalta-se que a seleção do método a ser empregado depende de fatores como condições climáticas, acessibilidade aos dados meteorológicos necessários, complexidade do método, agrupamento dos dados considerados e custos (CARVALHO et al., 2007; ZANETTI et al., 2008). Desta forma, é recomendado que os diferentes modelos de estimativa sejam previamente avaliados e, se necessário, calibrados para as condições climáticas locais.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a influência da estimativa da radiação global na obtenção da evapotranspiração de referência diária pelo método de Penman – Monteith FAO 56, para o estado de Mato Grosso.

5.4. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) coletados pelas estações automáticas localizadas nas cidades do Mato Grosso apresentadas na Tabela 7, assim como os respectivos dados de latitude, longitude e altitude.

O período de coleta de dados variou entre as cidades devido ao fato de que as estações meteorológicas automáticas entraram em funcionamento em diferentes datas, proporcionando assim quantidade de dados diferentes entre as cidades. O número de dados utilizados efetivamente no estudo, o período de coleta de dados, o número de dados coletados e a porcentagem de dados perdidos estão na Tabela 7. Os dados utilizados efetivamente neste trabalho são inferiores aos totais coletados, visto a porcentagem de perda de dados ocorridos devido a falhas do sistema de coleta, falhas dos instrumentos, erros de preenchimento de planilhas, problemas na captação dos dados, perda por problemas na bateria, problemas pela presença de animais, entre outros.

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).

Tabela 7. Estações meteorológicas automáticas do estado de Mato Grosso.

Código	Nome da Estação	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Período de dados	Número de dados	Dados efetivos	Perdas (%)
A-908	1. Água Boa	-14,0161	-52,2122	432	01/2008 - 01/2013	1858	1631	12,22
A-924	2. Alta Floresta	-10,0672	-56,7522	294	09/2011 - 01/2013	519	422	18,69
A-910	3. Apiacás	-9,5639	-57,3936	220	10/2006 - 01/2013	2315	1364	41,08
A-905	4. Campo Novo dos Parecis	-13,7833	-57,8333	570	06/2010 - 01/2013	976	505	48,26
A-912	5. Campo Verde	-15,3139	-55,0808	749	01/2008 - 01/2013	1858	898	51,67
A-926	6. Carlinda	-9,9703	-55,8272	300	04/2008 - 01/2013	1768	1517	14,20
A-913	7. Comodoro	-13,4231	-59,4546	591	01/2008 - 01/2013	1858	1511	18,68
A-918	8. Confresa	-10,6539	-51,5668	237	06/2008 - 01/2013	1707	1278	25,13
A-919	9. Cotriguaçu	-9,9061	-58,5719	261	01/2008 - 01/2013	1858	1564	15,82
A-901	10. Cuiabá	-15,5594	-56,0628	240	05/2011 - 01/2013	642	463	27,88
A-930	11. Gaúcha do Norte	-13,1847	-53,2575	379	08/2008 - 01/2013	1646	1376	16,40
A-906	12. Guarantã	-9,9500	-54,8833	320	05/2007 - 01/2013	2102	1338	36,35
A-932	13. Guiratinga	-16,3417	-53,7661	526	01/2008 - 01/2013	1858	1201	35,36
A-933	14. Itiquira	-17,1750	-54,5014	585	08/2008 - 01/2013	1646	981	40,40
A-914	15. Juara	-11,2803	-57,5267	260	11/2006 - 02/2012	1947	1265	35,03
A-920	16. Juína	-11,3750	-58,7750	374	10/2007 - 01/2013	1949	1259	35,40
A-928	17. Nova Maringá	-13,0386	-57,0922	353	04/2008 - 01/2013	1768	975	44,85
A-929	18. Nova Ubiratã	-13,4111	-54,7522	518	04/2008 - 01/2013	1768	1168	33,94
A-927	19. Novo Mundo	-12,5219	-58,2314	431	03/2008 - 01/2013	1798	1373	23,64
A-917	20. Pontes de Lacerda	-15,2511	-59,3467	256	01/2008 - 01/2013	1858	1301	29,98
A-935	21. Porto Estrela	-15,3247	-57,2264	145	02/2008 - 01/2013	1827	767	58,02
A-907	22. Rondonópolis	-16,4500	-54,5666	284	01/2008 - 01/2013	1858	1377	25,89
A-936	23. Salto do Céu	-15,1247	-58,1275	303	01/2008 - 01/2013	1858	1462	21,31
A-931	24. Santo Antonio do Leste	-14,9278	-53,8836	648	08/2008 - 01/2013	1646	1238	24,79
A-921	25. São Félix do Araguaia	-11,6189	-50,7278	218	08/2011 - 01/2013	550	456	17,09
A-917	26. Sinop	-11,9822	-55,5658	371	11/2006 - 06/2012	2284	930	59,28
A-904	27. Sorriso	-12,5452	-55,7113	380	01/2009 - 01/2013	1493	958	35,83
A-922	28. Vila Bela S. Trindade	-15,0628	-59,8729	222	01/2008 - 01/2013	1858	1404	24,43

A radiação incidente no topo da atmosfera (H_0) foi obtida em função da latitude e dia Juliano (DJ).

$$H_0 = (24/\pi) H_{SC} E_0 [(\pi/180) \omega_s (\sin \delta \sin \phi) + (\cos \delta \cos \phi \sin \omega_s)] \quad (1)$$

em que: H_{SC} é a constante solar horária ($4,921 \text{ KJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$); E_0 é o fator de correção da excentricidade da Terra (eq. 2); ϕ é a latitude do local (em graus); δ é a declinação solar (em graus) (eq. 4); ω_s o ângulo horário para as superfícies horizontais, que dependem da velocidade média angular de rotação da Terra (15° h^{-1}).

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

$$\text{Sendo: } \Gamma = 2 \pi [(DJ-1)/366] \quad (3)$$

$$\delta = 23,45 \sin [(360/365) (DJ - 80)] \quad (4)$$

$$\omega_s = \cos^{-1} (-\tan \phi \tan \delta) \quad (5)$$

em que: DJ indica o ordenamento do dia ao longo do ano.

Os modelos de estimativa da radiação solar global avaliados e suas respectivas referências encontram-se na Tabela 8. As equações escolhidas para este estudo são baseadas em temperatura do ar e precipitação, pois estes dados são medidos em todas as estações supracitadas (Tabela 7) e ainda, são os dados disponibilizados nas normais climáticas monitoradas nas estações meteorológicas convencionais (EMC's) da rede do INMET no Estado (12 estações distribuídas nas diferentes regiões). Por conseguinte, a avaliação desses modelos de estimativas permitirão aplicações diretas para obtenção da radiação global nas séries históricas das EMC's.

Nas estimativas da radiação solar foram utilizadas equações com coeficientes calibrados (1 a 15), os coeficientes das equações foram ajustadas com a utilização da ferramenta de otimização Solver do Microsoft Excel 2010 e, para as equações de 16 a 20 foram utilizados os coeficientes propostos pelos autores.

Tabela 8. Equações de estimativa da radiação solar, parâmetros e referências.

Modelo N°	Equação	Parâmetros	Referência
1 - ABS	$H = 0,75 \left(1 - \exp \left(-b \frac{\Delta T^2}{\Delta T_{med}} \right) \right) H_0$	b	Abraha e Savage (2008)
2 - ASW	$H = 0,75 [1 - \exp(-b f(T_{med}) \Delta T^2 f(T_{min}))] H_0$ $f(T_{med}) = 0,017 \exp[\exp(-0,053 T_{medio})]$ $f(T_{min}) = \exp \left(\frac{T_{min}}{tnc} \right)$	b, tnc	Abraha e Savage (2008); Weiss et al (2001)
3 - ALM	$H = a \Delta T^b \left[1 - \exp \left(-c \left(\frac{e_{smin}}{e_{smax}} \right)^d \right) \right] H_0$	a, b, c, d	Almorox et al (2011)
4 - ANN	$H = a(1 + 2,7 \cdot 10^{-5} Alt) \sqrt{\Delta T} H_0$	a	Annandele et al (2002)
5 - BRC	$H = a [1 - \exp(-b \Delta T^c)] H_0$	a, b, c	Bristow e Campbell (1984)
6 - CHE	$H = (a\sqrt{\Delta T} + b) H_0$	a, b	Chen et al (2004)
7 - DJS	$H = a\Delta T^b (1 + cP + dP^2) H_0$	a, b, c, d	De Jong e Stewart (1993)
8 - DOC	$H = a(1 - \exp \left(-b \frac{\Delta T^c}{\Delta T_{med}} \right)) H_0$	a, b, c	Donatelli e Campbell (1998)
9 - GOO	$H = a(1 - \exp \left(-b \frac{\Delta T^c}{H_0} \right)) H_0$	a, b, c	Goodin et al (1999)
10 - HAR	$H = a(T_{max} - T_{min})^{0,5} H_0$	a	Hargreaves (1981)
11 - HU1	$H = a\sqrt{\Delta T} H_0 + b$	a, b	Hunt et al (1998)
12 - HU2	$H = a\sqrt{\Delta T} H_0 + bT_{max} + cP + dP^2 + e$	a, b, c, d, e	Hunt et al (1998)
13 - MAH	$H = a \Delta T^{0,69} H_0^{0,91}$	a	Mahmood e Hubbard (2002)
14 - MEV	$H = 0,75(1 - \exp(-b\Delta T^2)) H_0$	b	Meza e Varas (2000)
15 - THR	$H = H_0 [1 - 0,9 \exp(-b\Delta T^{1,5})]$	b	Thorton e Running (1999)
16 - HAS	$H = a(T_{max} - T_{min})^{0,5} H_0$	a, kr1=0,16	Hargreaves e Samani (1982)
17 - HSA	$a = a_i \left(\frac{P_{atm}}{P_0} \right)^{0,5}$ $H = a(T_{max} - T_{min})^{0,5} H_0$	a, kr2=0,17	Hargreaves e Samani (1982) Allen (1995)
18 - HSS	$a = 0,00185(T_{max} - T_{min})^2 - 0,0433(T_{max} - T_{min}) + 0,4023$ $H = a [\exp(-b \Delta T^c)] H_0$	kr3	Samani (2000)
19 - BCA	$b = 0,036 \exp(-0,154 \overline{\Delta T})$	a=0,7; c=2,4	Bristow e Campbell (1984)
20 - WEI	$H = 0,75 \left(1 - \exp \left(-b \frac{\Delta T^2}{H_0} \right) \right) H_0$	b	Weiss et al. (2001)

* ΔT – amplitude térmica; $\overline{\Delta T}$ – amplitude térmica média; T_{med} – temperatura média do ar; T_{min} – temperatura mínima do ar; T_{max} – temperatura máxima; e_{smin} – pressão de saturação de vapor mínimo; e_{smax} – pressão de saturação máximo; Alt – altitude local; P – precipitação; tnc – fator de temperatura das noites de verão; P_{atm} – pressão atmosférica local (kPa); P_0 – pressão atmosférica média ao nível do mar (101,33 kPa)

A amplitude térmica ($^{\circ}\text{C}$) foi calculada de acordo com a equação a seguir:

$$\Delta T = T_{max} - T_{min} \quad (6)$$

A pressão de saturação ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$) foi calculada da seguinte forma:

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{\left(\frac{7,5T}{237,5+T}\right)} \quad (7)$$

Onde, para o cálculo de $e_{s_{min}}$ utilizou-se T_{min} e, para o cálculo de $e_{s_{max}}$ os dados de T_{max} .

A comparação de desempenho dos modelos de estimativa da radiação solar global foram feitas utilizando-se do modelo de Penman- Monteith FAO (Allen et al, 1998). Os resultados da estimativa da evapotranspiração de referência com dados de radiação solar medidas nas estações foram consideradas como padrão e foram comparados com os resultados obtidos da estimativa da evapotranspiração de referência utilizando-se de dados de radiação solar estimados pelos modelos acima citados (Tabela 8).

5.4.1. A equação de Penman – Monteith FAO

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(H-G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (8)$$

em que: ET_o - evapotranspiração de referência, mm dia^{-1} ; H - radiação solar global, $\text{MJ m}^2 \text{d}^{-1}$; 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, 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 ; Δ - inclinação da curva da pressão de vapor *versus* temperatura, $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$; γ - constante psicrométrica, $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$, 0,408 corresponde a $\frac{1}{\lambda}$, sendo λ o calor latente de vaporização da água igual a $2,45 \text{ MJ Kg}^{-1}$, 900 é um coeficiente para a cultura de referência .

Em geral das estações automáticas da Rede do INMET, as variáveis temperatura do ar e umidade do ar foram monitoradas a 2,0m de altura por termohigrômetros e a velocidade do vento medida a 10,0m de altura por anemômetros de

canecas, enquanto que as demais variáveis foram estimadas segundo as recomendações de Pereira et al. (1997) e Allen et al. (1998).

5.4.1.1. A declividade da curva de pressão de saturação de vapor d'água (Δ)- (Kpa °C⁻¹)

$$\Delta = \frac{4098 e_s}{(T+237,3)^2} \quad (9)$$

5.4.1.2. A pressão parcial de vapo d'água (e_a)-(Kpa °C⁻¹)

$$e_a = \frac{e_s UR}{100} \quad (10)$$

5.4.1.3. Pressão de saturação de vapor d'água (e_s) - (Kpa °C⁻¹)

$$e_s = 0,6108 \exp \left[\frac{17,27T}{(237,3+T)} \right] \quad (11)$$

5.4.1.4. Calor latente de vaporização (λ)

$$\lambda = 2,501 - (2,361 \cdot 10^{-3}) T \quad (12)$$

5.4.1.5. Coeficiente psicrométrico (γ) - kPa °C⁻¹

$$\gamma = 0,0016286 \frac{P}{\lambda} \quad (13)$$

Em que P é a pressão atmosférica média diária (kPa).

5.4.1.6. Coeficiente psicrométrico modificado (γ^*) - kPa °C⁻¹

$$\gamma^* = \gamma(1 + 0,33 U_2) \quad (14)$$

Em que U_2 é a velocidade do vento a 2 metros de altura.

5.4.1.7. Balanço de radiação diário

Para a estimativa do saldo de radiação (H) são necessárias as estimativas da radiação global (ondas curtas) e radiação de ondas longas.

$$H = H_{ns} - H \quad (15)$$

Em que H_{ns} é o saldo de radiação de ondas curtas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); H_{nl} é o saldo de radiação de ondas longas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

5.4.1.8. Saldo de radiação de ondas curtas (H_{ns})

O saldo de radiação de ondas curtas (H_{ns}) é a radiação recebida pelo dossel da cultura, levando-se em consideração as perdas por reflexão.

$$H_{ns} = (1 - \alpha)H \quad (16)$$

Em que α é o coeficiente de reflexão da superfície do dossel para a radiação solar incidente de ondas curtas (albedo). O valor médio para a grama é de 0,23. H é a radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

5.4.1.9. A radiação solar no topo da atmosfera (H_o)

$$H_o = 37,586 d_r (\omega_s \sin \phi \sin \delta_s + \cos \phi \cos \delta_s \sin \omega_s) \quad (17)$$

Em que d_r é a distância relativa Terra-Sol (rad); ω_s é o ângulo horário do pôr do sol (rad); ϕ é a latitude local (rad); δ_s é a declinação solar.

5.4.1.10. Distância relativa Terra-Sol média diária

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right) \quad (18)$$

Em que J é o número do dia do ano, ou dia Juliano.

5.4.1.11. Estimativa do ângulo horário do pôr do sol (ω_s)

$$\omega_s = \arccos(-\tan\phi \tan\delta_s) \quad (19)$$

5.4.1.12. Declinação solar (δ_s) média diária

A declinação solar (δ_s) tem sinal positivo no Hemisfério Norte e negativo no Hemisfério Sul. Seu valor é estimado por:

$$\delta_s = 0,4093 \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{365}J - 1,405\right) \quad (20)$$

5.4.1.13. O número máximo possível de horas de fotoperíodo (N) para um dado local

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (21)$$

5.4.1.14. Saldo de radiação de ondas longas H_{nl}

Na ausência de medidas de radiação solar global, pode-se estimá-la por equações, algumas delas citadas neste trabalho anteriormente.

O saldo de radiação de ondas longas H_{nl} se refere a radiação térmica da vegetação e do solo para a atmosfera, bem como a refletida da atmosfera e da nuvem.

$$H_{nl} = \left(0,9 \frac{n}{N} + 0,1\right) (0,56 - 0,25\sqrt{e_a}) \sigma (T_{kx}^4 + T_{kn}^4) \frac{1}{2} \quad (22)$$

Em que σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ dia}^{-1}$); T_{kx} é a temperatura máxima diária (K); T_{kn} é a temperatura mínima diária (K).

5.4.1.15. Velocidade do vento para 2 metros de altura (U_2)

Para a utilização da equação de PM – FAO56 é necessário que se faça o ajuste dos valores de velocidade do vento para 2 metros de altura (U_2). Este ajuste é dado por:

$$U_2 = \frac{4,868}{LN(67,75z - 5,42)} U_z \quad (23)$$

Em que U_z é a velocidade do vento à altura z (m s^{-1}); U_2 é a velocidade do vento a 2 metros de altura (m s^{-1}); z é a altura da medida da velocidade do vento (m).

5.4.1.16. O calor armazenado no solo (G)

O calor armazenado no solo (G) causa fluxo de calor e este pode ser estimado para um dado período pela seguinte equação:

$$G = 0,38 (T_n - T_{n-1}) \quad (24)$$

Em que G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); T_n é a temperatura do dia n ($^{\circ}\text{C}$); T_{n-1} é a temperatura do dia $n-1$ ($^{\circ}\text{C}$).

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, contudo não se sabe se o modelo subestima ou superestima os valores (JACOVIDES e KONTOYIANNIS, 1995), por isso 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 ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

$$RQME = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (25)$$

$$ERM = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{N-1} \quad (26)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O_i| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (27)$$

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

A utilização dos indicativos estatísticos MBE, RMSE e o índice de ajustamento “d”, em conjunto, podem ser considerados uma boa alternativa para validação de modelos estatísticos por permitirem 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).

Posteriormente, propôs-se o emprego dos valores ponderados (V_p) dos indicativos estatísticos para classificar e definir o melhor método para a estimativa da radiação global. Para a obtenção do valor de V_p atribuiu-se pesos de 1 a “n” para cada indicador estatístico, sendo “n” o número de modelos testados, sendo nesse caso, atribuído o peso 1 ao melhor modelo e o peso “n” ao pior, e conseqüentemente, o melhor modelo será aquele com menor somatório dos pesos atribuídos ou seja menor valor de V_p acumulado.

5.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Erro Relativo Médio (ERM) refere-se às subestimativas e superestimativas da evapotranspiração de referência. Observa-se na Figura 6 que, para a estimativa da E_{To} , os valores de radiação solar utilizados, quando calibrados para o local

de estudo, apresentaram menores super e sub estimativas de ETo, e, a maioria tendeu a superestimar em $0,2 \text{ mm dia}^{-1}$ em média, os valores de evapotranspiração. Os modelos de radiação solar sem calibração local quando aplicados no modelo de Penman – Monteith para estimar a ETo, demonstraram uma dispersão maior de valores (HAS, HSA, HSS e BCA), superestimaram em média $0,6 \text{ mm dia}^{-1}$ e, os resultados de radiação solar obtidos pelo modelo WEI, quando aplicados na equação de Penman – Monteith, subestimaram os valores de ETo em 1 mm d^{-1} em média, indicando que, quando há calibração local dos modelos de estimativa da radiação solar global, a estimativa da ETo por Penman – Monteith tende a apresentar menores sub e/ou super estimativas.

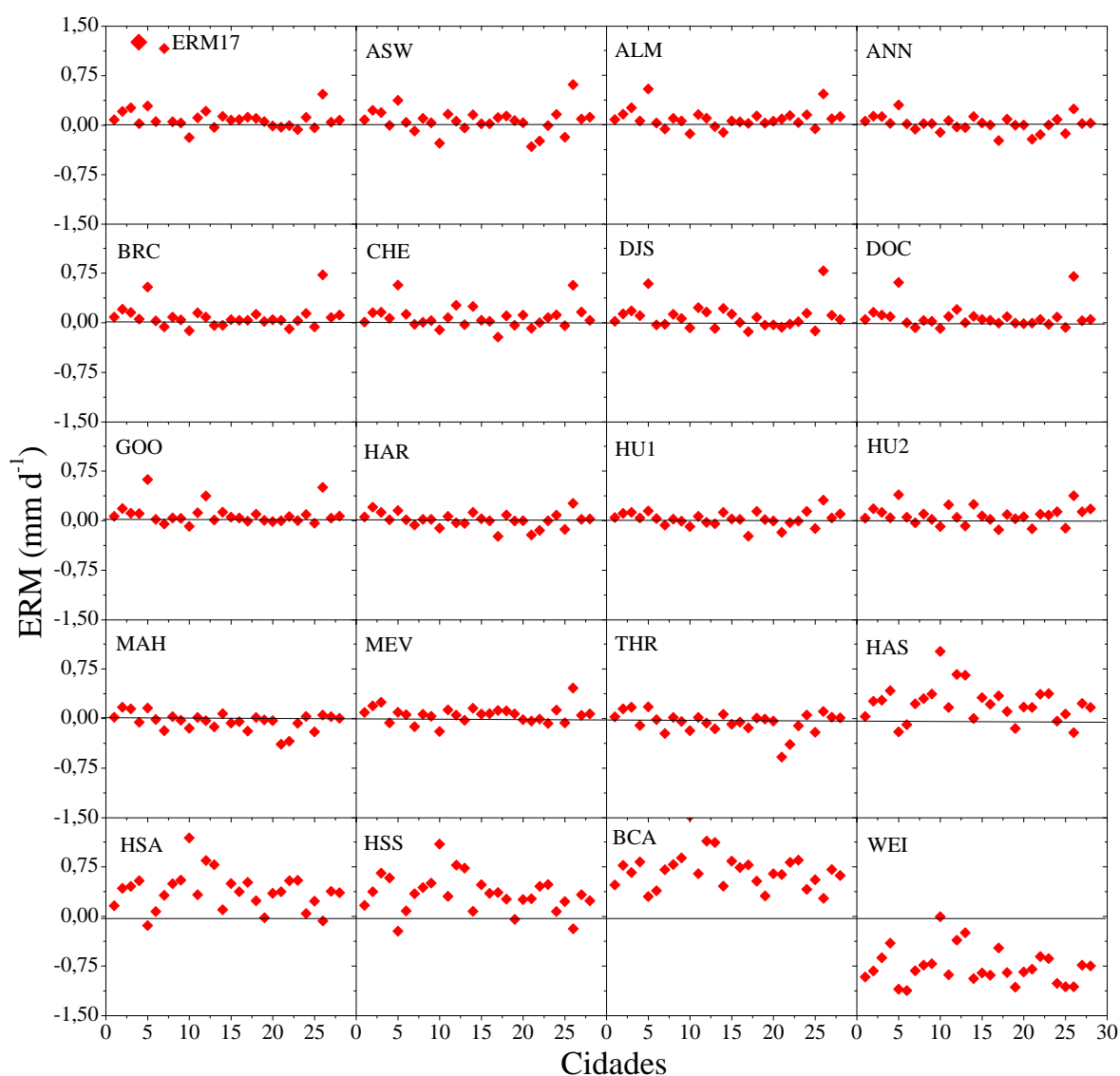


Figura 6. Erro relativo médio (ERM) da estimativa da evapotranspiração de referência com utilização de estimativas da radiação solar por diferentes modelos para as cidades do estado de Mato Grosso.

Os valores de evapotranspiração de referência estimados pelo modelo de Penman – Monteith utilizando-se de valores de radiação solar (estimados por modelos com calibração local de seus coeficientes), apresentaram dispersão de $0,55 \text{ mm d}^{-1}$ em média com relação ao padrão como pode ser observado na Figura 7. Já as estimativas de ETo utilizando-se de dados de radiação solar global estimado por modelos não calibrados, apresentaram dispersão $0,75$ a 1 mm d^{-1} em média.

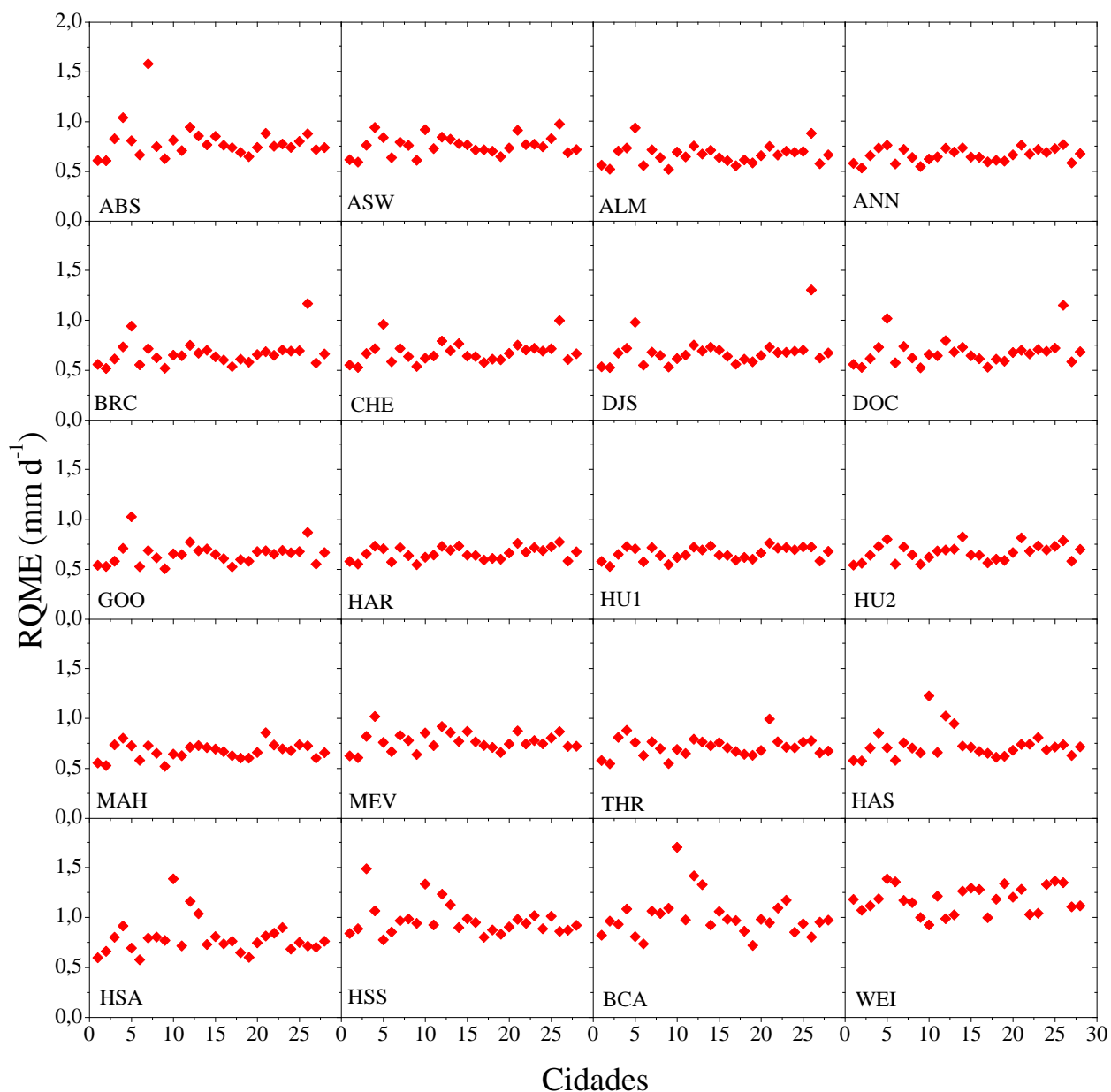


Figura 7. Raiz quadrada do quadrado médio do erro das estimativas da evapotranspiração de referência com dados de radiação solar estimados por diferentes modelos para o estado de Mato Grosso.

O índice d de Willmott é adimensional e indica o grau de precisão entre os valores estimados pelos modelos de estimativa da radiação solar na estimativa da evapotranspiração de referência e os valores estimados por Penman – Monteith. Na Figura 8 estão representados os valores de d e observa-se que o grau de precisão dos modelos calibrados está em torno de 0,85, porém, para o modelos não calibrados houve maior variabilidade de valores, estando estes em torno de 0,8 para os modelos HAS e HSA, 0,7 para os modelos HSS e BCA e, 0,65 para o modelo WEI. Observa-se ainda que o modelo WEI apresentou o pior desempenho de acordo com os três índices sendo não recomendado para o estado de Mato Grosso. Segundo Hargreaves (1981) e Meza e Varas (2000), a calibração local dos modelos de estimativa podem ser determinantes para seu bom desempenho.

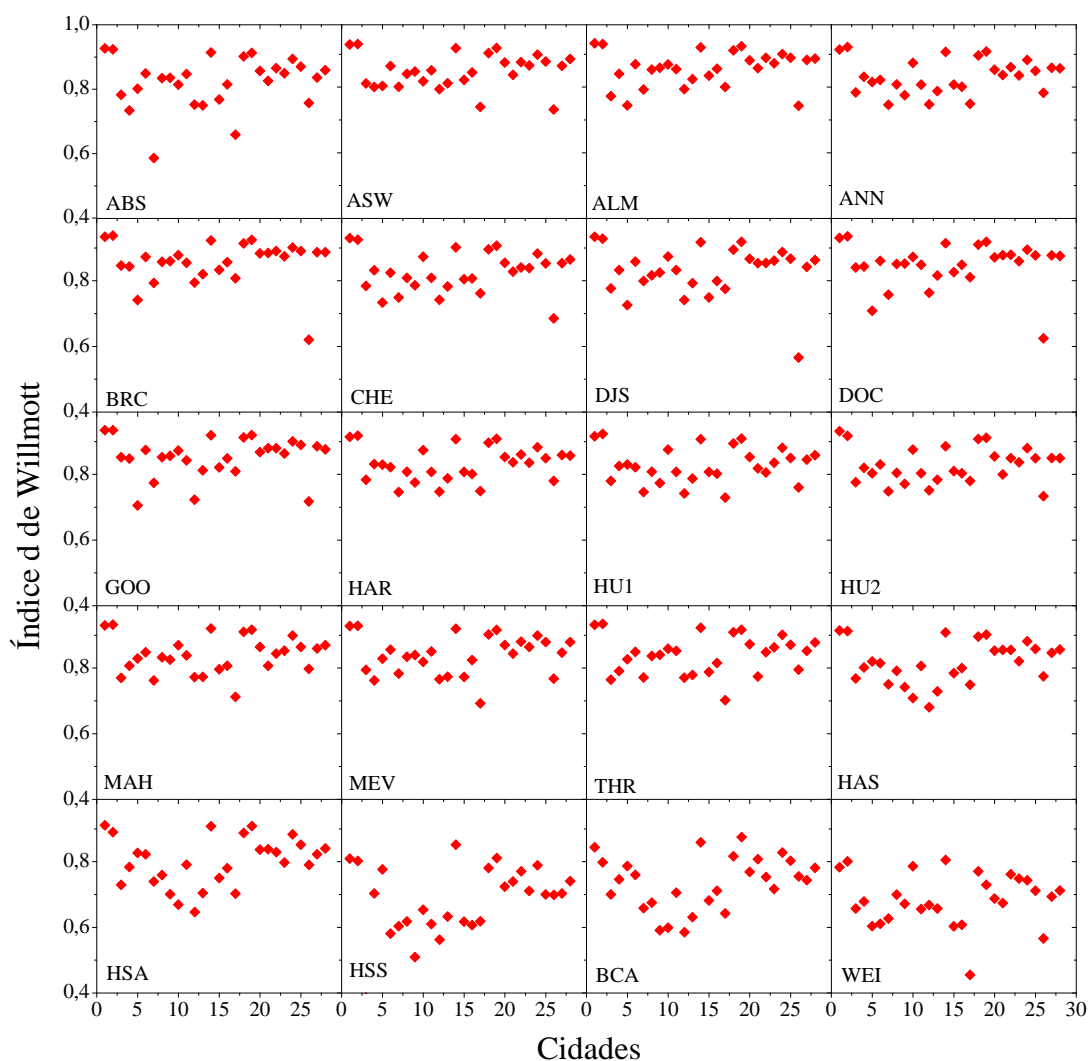
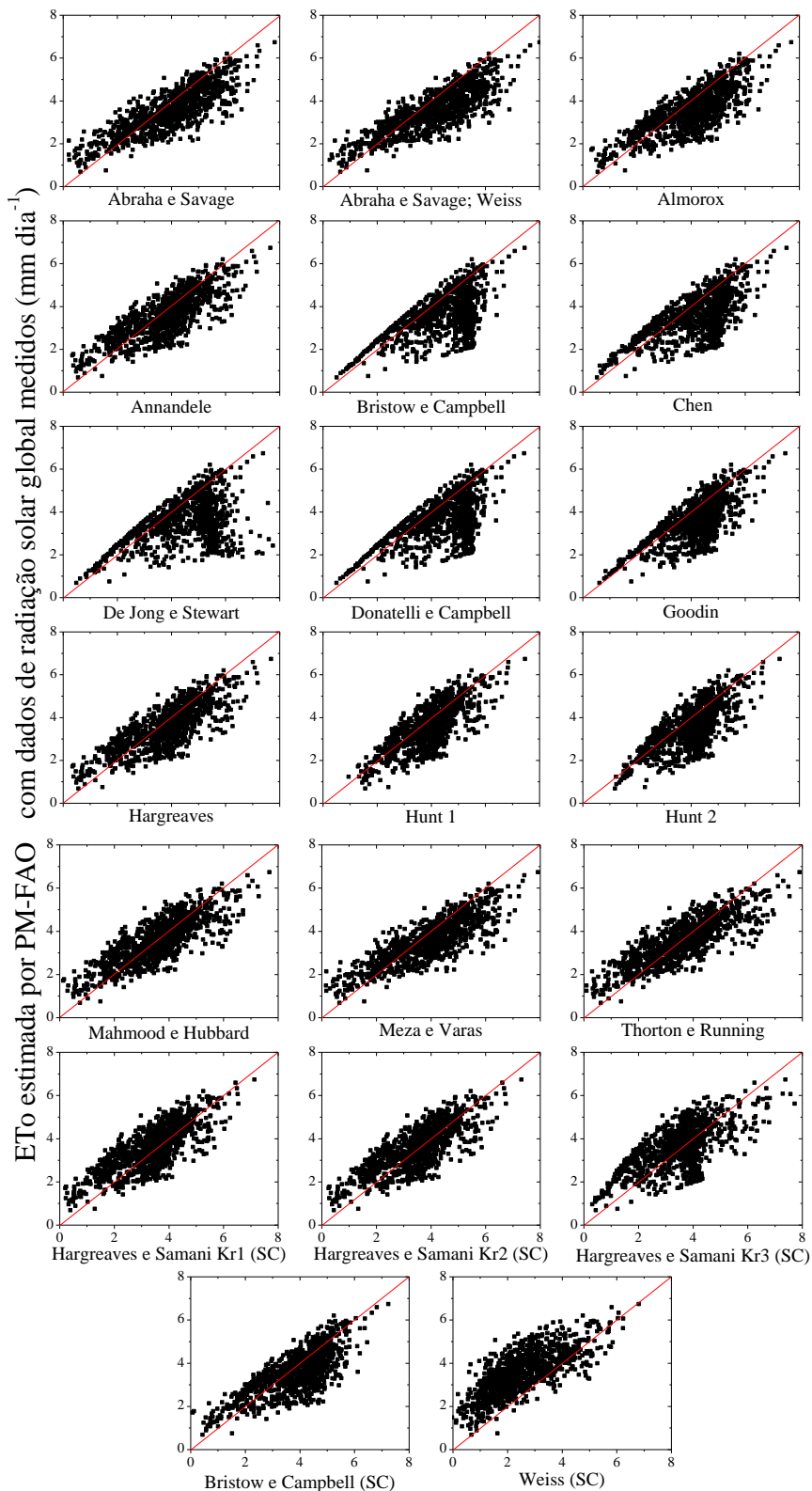


Figura 8. Índice de Willmott (d) das estimativas da evapotranspiração de referência com dados de radiação solar estimados por diferentes modelos para as cidades do estado de Mato Grosso.



ETo estimada por PM-FAO com dados de radiação solar global estimadas (mm dia⁻¹)

(SC) – Sem calibração local

Figura 9. 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 Sinop – MT.

Na Figura 9 estão representados 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 Sinop – MT. As correlações para as demais cidades estão em anexo (Tabela 14). Como se pode observar, os melhores modelos de estimativa da radiação solar global para a estimativa da evapotranspiração de referência são os modelos de Mahmood e Hubbard, seguidos de Hargreaves e Samani com Kr sugerido por Allen et al. (1995) e Thorton e Running.

A maioria dos modelos tenderam à superestimativa da evapotranspiração com exceção do modelo de Weiss em que houve tendência à subestimativas.

Na Tabela 9 estão os valores de ordenamento dos modelos de estimativa da radiação solar na estimativa da evapotranspiração de referência de acordo com os índices de desempenho estatístico. Observa-se que o melhor modelo de estimativa da radiação solar para 28% das cidades estudadas foi o modelo de Goodin, seguido do modelo de Bristow e Campbell, melhor desempenho em 25% das cidades estudadas. Para o estado de Mato Grosso de modo geral, destacaram –se os modelos de Goodin, Bristow e Campbell e Almorox com os melhores desempenhos.

Os modelos não calibrados apresentaram os maiores valores em somatório total, indicando que obtiveram os piores índices em praticamente todas as cidades, isto demonstra que a calibração local das equações de estimativa da radiação solar é importante para a estimativa da evapotranspiração de referência.

Tabela 9. Classificação dos modelos de estimativa da radiação solar global na estimativa da evapotranspiração de referência segundo ordenamento dos índices de desempenho ERM, RQME e d.

Cidades	ABS	ASW	ALM	ANN	BRC	CHE	DJS	DOC	GOO	HAR	HU1	HU2	MAH	MEV	THR	HAS	HSA	HSS	BCA	WEI	Modelo
Água Boa	41	22	17	25	17	13	7	21	14	36	30	15	16	44	18	27	50	55	54	59	DJS
Alta Floresta	41	38	20	27	28	20	15	14	22	37	17	36	20	34	17	45	52	53	58	59	DOC
Apiacás	41	30	29	19	11	23	31	8	3	19	21	21	33	34	41	42	48	59	56	56	GOO
Campo Novo dos Parecis	39	27	23	16	11	18	22	20	15	18	18	22	30	43	42	41	47	57	56	55	BRC
Campo Verde	32	37	36	29	39	48	51	54	57	10	6	32	13	13	17	17	9	30	33	60	HU1
Carlinda	39	28	25	24	24	43	18	15	7	23	30	26	25	37	28	46	41	55	55	59	GOO
Comodoro	60	27	15	27	12	18	4	30	12	28	32	24	31	33	35	36	47	53	53	56	DJS
Confresa	32	32	19	24	17	17	35	14	13	23	28	26	27	34	21	45	52	55	58	57	GOO
Cotriguaçu	32	28	21	23	16	25	32	14	15	23	25	31	19	31	30	48	52	55	59	56	DOC
Cuiabá	43	43	24	22	14	17	9	23	20	17	10	12	29	42	36	51	56	55	60	33	DJS
Gaúcha do Norte	30	33	26	23	22	25	38	24	28	22	23	46	13	33	14	42	50	55	56	59	MAH
Guarantã do Norte	37	25	16	19	12	38	34	32	40	19	18	17	8	27	24	51	55	57	59	50	MAH
Guiratinga	35	30	12	21	18	25	27	7	10	19	27	32	39	32	39	49	54	56	60	51	DOC
Itiquira	37	34	12	31	5	46	33	23	20	36	32	52	11	35	11	17	26	42	56	60	BRC
Juara	44	21	14	25	9	18	39	19	23	16	13	25	34	41	39	41	49	54	56	60	BRC
Juína	39	23	15	23	11	23	26	16	16	22	23	26	32	37	33	43	50	55	56	59	BRC
Nova Maringá	38	30	9	30	8	25	19	4	5	33	32	20	34	38	34	37	49	53	56	57	DOC
Nova Ubiratã	34	36	20	25	34	34	27	17	11	19	44	15	10	38	20	32	48	56	55	60	MAH
Novo Mundo	42	37	23	22	15	42	23	15	6	25	26	28	26	44	27	43	36	53	48	60	GOO
Pontes e Lacerda	29	26	18	25	14	35	19	22	22	20	25	34	22	29	28	44	52	54	56	60	BRC
Porto Estrela	31	37	13	28	8	27	16	7	5	30	38	37	46	26	55	20	39	51	51	60	GOO
Rondonópolis	23	35	18	29	11	25	22	14	14	24	32	29	39	19	45	37	51	53	60	57	BRC
Salto do Céu	34	23	14	23	10	35	14	21	7	24	27	38	23	32	28	48	52	55	59	56	GOO
Santo Antônio do Leste	34	36	24	30	21	32	37	23	14	25	44	42	10	35	19	19	17	45	55	60	MAH
São Félix do Araguaia	25	36	15	33	16	25	24	20	4	36	31	37	37	27	37	22	43	56	55	59	GOO
Sinop	36	46	26	20	38	48	58	52	41	19	19	30	5	30	12	14	6	30	27	59	MAH
Sorriso	40	32	30	14	21	34	39	17	9	17	26	29	19	38	24	41	50	54	56	60	GOO
Vila Bela da S. Trindade	40	29	19	28	16	18	24	23	19	24	33	38	10	27	13	43	51	53	55	59	MAH
Total	1028	881	553	685	478	797	743	569	472	664	730	820	661	933	787	1041	1232	1459	1518	1596	BRC; GOO; ALM

5.6. CONCLUSÕES

Com este trabalho conclui-se que a calibração dos coeficientes dos modelos de estimativa da radiação solar influenciaram positivamente na estimativa da evapotranspiração de referência.

As melhores estimativas da evapotranspiração de referência segundo o ordenamento dos índices estatísticos, foram apresentados quando os valores de radiação solar global aplicados na equação de Penman – Monteith FAO foram estimados pelos modelos de Goodin, Bristow e Campbell e Almorox com calibração local de seus coeficientes.

A estimativa da radiação solar global estimada pelo modelo de Weiss sem calibração local influenciou negativamente quando aplicado na fórmula de Penman – Monteith FAO para a estimativa da evapotranspiração de referência, apresentando os piores índices estatísticos estudados, sendo assim não recomendado para o estado de Mato Grosso.

5.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHA, M. G.; SAVAGE, M. J. Comparison of estimates of daily solar radiation from air temperature range for application in crop simulations. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 148, p. 401-16, 2008.

ALLEN, R. G. **Evaluation of procedures for estimating mean monthly solar radiation from air temperature**. Rep. United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). Rome, Italy. 1995.

ALLEN, R. G. Self-calibrating method for estimating solar radiation from air temperature. **Journal of Hydrology Engineering**, Reston, VA, USA, v. 2, p. 56–67, 1997.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. **Crop evapotranspiration**. Rome: FAO, 297p (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56). 1998.

ALMOROX, J.; HONTORIA, C. Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 45, n. 9-10, p. 1529-35, 2004.

ALMOROX, J.; HONTORIA, C.; BENITO, M. Models for obtaining daily global solar radiation with measured air temperature data in Madrid (Spain). **Applied Energy**, London, v.88, p.1703-1709, 2011.

AMATYA, D. M.; SKAGGS, R. W.; GREGORY, J. D. Comparison of methods for estimating potential evapotranspiration. Saint Joseph, **ASAE**, 27p. (ASAE paper, 92 – 2630). 1992.

ANNANDALE, J.G.; JOVANIC, N. Z.; BENADE, N.; ALLEN, R. G. Software for missing data error analysis of Penman-Monteith reference evapotranspiration. **Irrigation Science**, Cordoba, v. 21, p. 57 – 67, 2002.

ANGSTROM, A. Solar and terrestrial radiation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Oxford, v. 50, n. 4, p. 121-6, 1924.

BRISTOW, K.L.; CAMPBELL, G.S. On the relationship between incoming solar radiation and daily minimum and maximum temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 31, p. 159–166, 1984.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CRUZ, F. A. Instalação, calibração e funcionamento de um lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, p.363-372, 2007.

CHANG, J. Climate and Agriculture: an ecological survey. **Aldine Publication** Cap. 13 Evapotranspiration, Chicago, p. 129-143. 1968.

CHEN, R. S.; ERSI, K.; YANG, J. P.; LU, S. H.; ZHAO, W. Z. Validation of five global radiation models with measured daily data in China. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 45, p. 1759–1769, 2004.

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

CONAB. Companhia Nacional de abastecimento. **Grãos – 11º Levantamento de safra 2012/2013 ago/2013**. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_08_09_10_43_44_boletim_portp_agosto_2013_port.pdf>. Acessado em : 28 de agosto de 2013.

DAUT, I.; IRWANTO, M.; IRWAN, Y. M.; GOMESH, N.; AHMAD, N. S. Combination of Hargreaves method and linear regression as a new method to estimate solar radiation in Perlis, Northern Malaysia. **Solar Energy**, Kidlington, v. 85, p. 2871–2880, 2011.

DE JONG, R.; STEWART, D. W. Estimating global solar radiation from common meteorological observations in western Canada. *Can. Journal of Plant Science*, Davis, v. 73, p. 509–518, 1993.

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.

ELIZONDO, D.; HOOGENBOOM, G.; McCLENDON, R. W. Development of a neural network to predict daily solar radiation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 71, p. 115–132, 1994.

EL-SEBAII, A. A.; TRABEA, A. A. Estimation of horizontal diffuse solar radiation in Egypt. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 44, p.2471-82, 2003.

FAO. **FAO Statistical Yearbook 2013** – World Food and Agriculture. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e.PDF>>. Acessado em: 28 de agosto de 2013.

GOODIN, D. G.; HUTCHINSON, J. M. S.; VANDERLIP, R. L.; KNAPP, M. C. Estimating solar irradiance for crop modelling using daily air temperature data. **Agronomy Journal**, Wooster, v. 91, p. 845–851, 1999.

HANSEN, J. W. Stochastic daily solar irradiance for biological modelling applications. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 94, p. 53–63, 1999.

HARGREAVES, G. H. **Responding to tropical climates**. In: The 1980–81 Food and Climate Review, The Food and Climate Forum, Aspen Institute for Humanistic Studies, Boulder, Colo, p. 29–32. 1981.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage**. ASCE, Delaware, v. 108, p. 225-30, 1982.

HOOK, J. E.; McCLENDON, R. W. Estimation of solar radiation data from long-term meteorological records. **Agronomy Journal**, Wooster, v. 84, p. 739-42, 1992.

HUNT, L. A.; KUCHAR, L.; SWANTON, C. J. Estimation of solar radiation for use in crop modelling. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 91, p. 293-300, 1998.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=mt>> Acessado em: 27 de agosto de 2013.

IMEA. Instituto Mato Grossense de Economia e Agropecuária. Disponível em: <http://www.imea.com.br/upload/pdf/arquivos/2013_25_06_Apresentacao_MT.pdf> Acessado em: 27 de agosto de 2013.

JACOVIDES, C. P.; KONTOYIANNIS, H. Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models. **Agricultural Water Management**, Auckland, v.27, p.365-371, 1995.

LIU, D. L.; SCOTT, B. J. Estimation of solar radiation in Australia from rainfall and temperature observations. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 106, p. 41-59, 2001.

LIU, X.; MEI, X.; LI, Y.; WANG, Q.; JENSEN, J. R.; ZHANG, Y.; PORTER, J. R. Evaluation of temperature-based global solar radiation models in China. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 149, p. 1433-1446, 2009.

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.

MEZA, F.; VARAS, E. Estimation of mean monthly solar global radiation as a function of temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 100, p. 231-41, 2000.

MOTA, F. S. Influência da radiação solar e do "frio" no período reprodutivo sobre o rendimento do arroz irrigado em Pelotas e Capão do Leão. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.47, n.413, p.22-23, 1994.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society of London**, v. A193, p. 120-146, 1948.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 183p. 1997.

PINHEIRO, J. M.; ASSIS, J. S. de; TEIXEIRA, A. H. de C.; CUNHA, G. A. P. de; NETP, M. T. de C. Ecofisiologia. In: GENU, P. J. de C.; PINTO, A. C. de Q. (Coord.). A cultura da manga. **Embrapa Informação Tecnológica**. Brasília, p.39-49. 2002.

PINKER, R. T.; FROUIN, R.; LI, Z. A review of satellite methods to derive surface shortwave irradiance. **Remote Sensing Environment**, Saint Paul, v. 51, p. 108–124, 1995.

REDDY, K.S.; RANJAN, M. Solar resource estimation using artificial neural networks and comparison with other correlation models. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 44, p. 2519–2530, 2003.

RICHARDSON, C. W.; WRIGHT, D. A. WGEN: A Model for generating Daily Weather Variables. USDA, **Agricultural Research Service ARS-8**, USA. 1984.

RIVINGTON, M.; MATTHEWS, K. B.; BELLOCCHI, G.; BUCHAN, K. Evaluating uncertainty introduced to process-based simulation model estimates by alternative sources of meteorological data. **Agricultural Systems**, Wageningen, v. 88, p. 451–471, 2006.

SAMANI, Z. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. **Journal Irrigation Drainage Engineering**, ASCE, Delaware, v. 126, n. 4, p. 265–267, 2000.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements**: Rome: FAO, 54p. 1991.

SOLTANI, A.; MEINKE, H.; DE VOIL, P. Assessing linear interpolation to generate daily radiation and temperature data for use in crop simulations. **European Journal Agronomy**, Taastrup, v. 21, p. 133–148, 2004.

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.

SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIM, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Nativa, Sinop*, v. 01, n. 01, p.34-43, out./dez., 2013.

STEINMETZ, S.; BRAGA, H.J. Zoneamento de arroz irrigado por épocas de semeadura nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.3, p.429-438, 2001.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geophysical Review**, New York, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTON, P. E.; RUNNING, S. W. An improved algorithm for estimating incident solar radiation from measurements of temperature, humidity and precipitation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 93, p. 211–228, 1999.

TRNKA, M.; ZALUD, Z.; EITZINGER, J.; DUBROVSKÝ, M. Global solar radiation in Central European lowlands estimated by various empirical formulae. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 131, p. 54-76, 2005.

WEISS, A.; HAYS, C. J.; HU, Q.; EASTERLING, W. E. Incorporating bias error in calculating solar irradiance: implications for crop yield simulations. **Agronomy Journal**, Wooster, v. 93, p. 1321–1326, 2001.

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.

WU, G., LIN, Y., WANG, T. Method and strategy for modeling daily global solar radiation with measured meteorological data- a case study in Nanchang station, China. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 48, p. 2447–2452, 2007.

ZANETTI, S. S.; SOUZA, E. F; CARVALHO, D. F. de; BERNARDO, S. Estimação da evapotranspiração de referência no Estado do Rio de Janeiro usando redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.2, p.174-180, 2008.

6. CAPÍTULO III – AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O ESTADO DE MATO GROSSO

6.1. RESUMO

A evapotranspiração é um processo simultâneo de perda de água por evaporação do solo e transpiração das plantas, e está relacionada com a necessidade hídrica das culturas. O conhecimento da quantidade de água requerida pelas culturas é fundamental para o dimensionamento de sistemas de irrigação. Este trabalho objetivou avaliar o desempenho de treze modelos simplificados de estimativa da evapotranspiração de referência para o estado de Mato Grosso. Os dados foram adquiridos de estações meteorológicas automáticas (EMA's) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizadas nas cidades de Água Boa, Alta Floresta, Apicás, Campo Novo do Parecis, Campo Verde, Carlinda, Comodoro, Confresa, Cotriguaçu, Cuiabá, Gaúcha do Norte, Guarantã, Guiratinga, Itiquira, Juara, Juína, Nova Maringá, Nova Ubiratã, Novo Mundo, Pontes e Lacerda, Porto Estrela, Rondonópolis, Salto do Céu, Santo Antônio do Leste, São Félix do Araguaia, Sinop, Sorriso e Vila Bela da Santíssima Trindade. As equações avaliadas foram: Penman – Monteith com dados de radiação solar estimados pelo modelo de Bristow e Campbell; Hargreaves e Samani; Camargo; Makkink; Linacre; McGinness – Bordne; Romanenko; Turc; Holdridge; Radiação Solar; Jensen – Haise; Hansen e Caprio. Os índices de desempenho utilizados foram: o Erro Médio Relativo (EMR), a Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (RQME) e o índice d de Willmott. O modelo de Bristow e Campbell e o modelo de Turc foram os mais precisos com o ERM próximo de 0. O modelo de Makkink apresentou o pior desempenho, com superestimativas variando de 2 a 3 mm

dia⁻¹, valores de RQME de 2,75 mm d⁻¹ e índice d de 0,40. O modelo Caprio superestimou os valores, em média, 0,3 mm dia⁻¹. Os modelos de Bristow e Campbell, Turc e Hansen diferiram, em média, 0,5 mm dia⁻¹ e apresentaram grau exatidão entre 0,95 e 0,80. Radiação Solar, McGinness – Bordne e Caprio foram em torno de 0,6 mm dia⁻¹ e os modelos de Camargo e Holdridge em 1 mm dia⁻¹. As melhores correlações para a cidade de Sinop – MT foram para os modelos de Camargo, Turc e Caprio e observa-se que a maioria dos modelos tenderam à superestimar os valores da evapotranspiração. O modelo de Turc apresentou o melhor desempenho na estimativa da evapotranspiração de referência para 43% das cidades estudadas, seguido de Bristow e Campbell em 28% das cidades. Os modelos simplificados de estimativa da evapotranspiração de referência fornecem boas estimativas e os modelos de Turc, o modelo de Penman – Monteith utilizando-se dados de radiação solar estimados por Bristow e Campbell, modelo de Radiação Solar e modelo de Hasen apresentaram os melhores desempenhos. O pior desempenho foi apresentado por Makkink, sendo este não recomendado para o estado de Mato Grosso.

Palavras – chave: Makkink, Camargo, Linacre, Bristow e Campbell.

PERFORMANCE EVALUATION OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATE METHODS FOR MATO GROSSO STATE, BRAZIL.

6.2. SUMMARY

The evapotranspiration is a simultaneous process of water loss by evaporation from soil and plant transpiration, and it is related to the crops water requirement. The knowledge of the water required amount by the crops is essential for irrigation management. This study aimed to evaluate the performance of thirteen simplified models for reference evapotranspiration estimating for Mato Grosso state. The data were from automatic weather stations (AWS) of the National Institute of Meteorology (INMET) located in the cities of Água Boa, Alta Floresta, Apicás, Campo Novo do Parecis, Campo Verde, Carlinda, Comodoro, Confresa, Cotriguaçu, Cuiabá, Gaúcha do Norte, Guarantã, Guiratinga, Itiquira, Juara, Juína, Nova Maringá, Nova Ubiratã, Novo Mundo, Pontes e Lacerda, Porto Estrela, Rondonópolis, Salto do Céu, Santo Antônio do Leste, São Félix do Araguaia, Sinop, Sorriso e Vila Bela da Santíssima Trindade. The equations were: Penman

- Monteith with solar radiation data estimated by the Bristow and Campbell model; Hargreaves and Samani; Camargo; Makkink; Linacre; McGinness - Bordne; Romanenko; Turc; Holdridge; Solar Radiation; Jensen - Haise; Hansen and Caprio. The performance indexes used were: Relative Mean Error (RME), Root Mean Square Error (RMSE) and the d Willmott's index. The Bristow and Campbell, and Turc model were accurate with the RME close to 0. The Makkink model showed the worst performance with overestimations ranging to 2-3 mm day⁻¹, RMSE values of 2.75 mm day⁻¹ and 0.40 d index. The Caprio model overestimated, on average 0.3 mm day⁻¹. The Bristow and Campbell, Turc and Hansen models differ in average 0.5 mm day⁻¹ and the accuracy were between 0.95 and 0.80. Solar Radiation, McGinness - Bordne and Caprio ranged to 0.6 mm day⁻¹ and Camargo and Holdridge in 1 mm day⁻¹. The best correlations for Sinop - MT City were for Camargo, Turc and Caprio models. It is also observed that most of the models tended to overestimate the evapotranspiration values. The Turc model showed the best performance to evapotranspiration estimates over to 43 % of the studied cities, followed by Bristow and Campbell in 28% of cities. The simplified models for reference evapotranspiration estimates provide good results and Turc, Penman - Monteith using solar radiation data estimated by Bristow and Campbell model, Solar Radiation and Hasen models showed the best performance to the State. The worst performance was presented by Makkink, which is not recommended for the Mato Grosso state.

Keywords : Makkink , Camargo , Linacre , Bristow and Campbell.

6.3. REVISÃO DE LITERATURA

O estado de Mato Grosso, está localizado na região Centro - Oeste do Brasil e é o terceiro maior estado do país (IBGE, 2010). A economia do estado é baseada na agropecuária, se destacando pela criação de bovinos, produção de soja, algodão, milho de segunda safra e girassol (IMEA, 2013), sendo responsável por por 25% da produção de grãos, o maior produtor brasileiro (CONAB, 2013).

O aumento da população e conseqüentemente o aumento do consumo de água faz com que seja necessário um planejamento eficiente do uso e exploração dos recursos hídricos, principalmente na agricultura, pois a irrigação é sem dúvida a atividade produtiva que mais consome água (BEZERRA et al., 2010a;

OLIVEIRA et al., 2010). O dimensionamento de sistemas de irrigação se baseia no consumo de água pelas plantas, por isso, o conhecimento da quantidade de água requerida pelas culturas é fundamental (FERNANDES et al., 2011). A estimativa do consumo de água pelas plantas sem nenhum critério ou com dados resultantes de modelos de baixo desempenho não proporciona dados confiáveis e, muitas vezes acarreta no dimensionamento inadequado do sistema de bombeamento, adução, distribuição e aplicação de água (SAAD, 1990).

A maximização da produção de alimentos não depende somente de um bom sistema de irrigação, adubação e manejo adequados, mas também é necessário a aplicação da quantidade de água requerida pela cultura no momento certo (MOURA et al., 1993).

O balanço hídrico climatológico é importante pois refere-se à quantidade de água que entra (chuva, irrigação, etc) e sai (evaporação, transpiração das plantas, etc) do solo durante o ano permitindo um bom planejamento e implementação da atividade agrícola (CASTRO et al., 2010). A chuva e a evapotranspiração são os principais elementos do balanço hídrico (BORGES:MEDIONDO, 2007). E desempenham assim um papel vital no planejamento para o suprimento de água, tempo de rega, sistemas de drenagem, estudos sobre agricultura e hidrologia, dentre outros.

O termo evapotranspiração potencial (ETp) foi mencionado pela primeira vez por Thornthwaite (1948) se referindo à evaporação máxima de água de uma superfície de solo bem umedecida, completamente coberta por vegetação em fase de desenvolvimento ativo, preocupando-se em explicar as variações sazonais do balanço hídrico (SEDIYAMA, 1996). Na Inglaterra, Penman (1948) considerou este mesmo termo como um processo de transferência de água para a atmosfera por unidade de tempo, de uma superfície totalmente coberta por vegetação, ressaltando que a vegetação deveria ser rasteira e com altura uniforme, em pleno desenvolvimento e sem restrição de água no solo, levando em conta os processos físicos envolvidos na evaporação. A grama foi tomada como a vegetação padrão em postos meteorológicos (PEREIRA et al., 1997).

A evapotranspiração máxima (ETm) refere-se às ótimas condições para o desenvolvimento das plantas saudáveis, sem restrição hídrica, em boas condições de manejo agrônomico e irrigação (DOORENBOS:KASSAM, 1994). Reichardt (1990) define a ETm como a perda máxima de água que a cultura sofre em dado estágio de desenvolvimento quando não existe restrição de água no solo, por outro lado, se houver

restrição hídrica esta é chamada de evapotranspiração real (ET_r) e, neste caso, a produtividade pode ser afetada.

Em 1965, Monteith propôs um novo modelo de estimativa da evapotranspiração potencial com base no modelo de Penman (1948) na qual se estimava a evapotranspiração da cultura (ET_c) de forma direta (ALMEIDA et al., 1999). O conceito de evapotranspiração de referência (ET_o) foi introduzido por Doorenbos e Pruitt (1977) para substituir o termo evapotranspiração potencial (ET_p).

Muitos estudos acerca da cultura de referência foram feitas e os pesquisadores chegaram à conclusão que devido as limitações do cultivo de alfafa, como a necessidade de cortes durante o registro de medida de dados, a dificuldade de desenvolvimento das plantas em determinados locais de clima tropical e locais de clima muito frio, dentre outras limitações, foi adotada então a grama como sendo a vegetação padrão (ALLEN et al., 1994). Estes mesmos autores apresentaram uma atualização da definição de evapotranspiração de referência (ET_o) recomendando uma grama hipotética, com valor fixo de albedo de 0,23, altura de 12 centímetros e resistência do dossel de 70 s m⁻¹.

Para estudos sobre a evapotranspiração de referência, houve a necessidade de se formular um conceito mais geral dada às diferenças de vegetação utilizadas e as variedades de grama. Assim, o Boletim 24 da FAO definiu o termo evapotranspiração como sendo a taxa de evapotranspiração para uma extensa superfície, com cobertura gramada de altura uniforme, entre 8 e 15 centímetros, em crescimento ativo, com solo completamente sombreado e sem déficit de água (DOORENBOS:PRUITT, 1977).

A evapotranspiração é um processo simultâneo de perda de água por evaporação do solo e transpiração das plantas (ALENCAR et al., 2011; PIVETTA et al., 2010) e este é um fenômeno complexo que depende da interação dos elementos climáticos como a radiação solar, ventos, temperatura, umidade do ar dentre outros (KUMAR, 2002; ZANETTI et al., 2008). Normalmente é expressa pela quantidade de água evapotranspirada por unidade de tempo (mm d⁻¹) (VESCOVE:TURCO, 2005). E é controlada pela demanda atmosférica, disponibilidade de energia e pelo suprimento de água do solo às plantas (PEREIRA et al., 1997). A separação de cada um dos elementos meteorológicos no processo de evapotranspiração é difícil, pois eles agem simultaneamente (VILLA NOVA, 1987). De um modo geral, quanto maior for a

disponibilidade de energia solar, temperatura do ar, velocidade do vento e quanto menor for a umidade relativa, maior será a demanda evapotranspirativa (SOARES, 2001).

A evapotranspiração pode ser obtida através de técnicas diretas, com a utilização de lisímetros, ou por métodos indiretos através de modelos de estimativa que dão resultados satisfatórios (ALVES SOBRINHO et al., 2011). A utilização de lisímetros de pesagem não é comum devido ao seu alto custo, restringindo seu uso a instituições de pesquisa com o objetivo de validar a calibração regional de métodos indiretos (SANTOS et al., 2008). As formas de estimativa da evapotranspiração de referência podem ser divididas em 5 categorias: balanço hídrico, transferência de massa, métodos combinados, radiação e baseados em temperatura (XU:SINGH, 2001).

No ano de 1990, especialistas no assunto conduziram uma revisão sobre todos os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência e concluíram que, para várias condições de clima o método de Penman-Monteith apresentava resultados próximos aos encontrados por um lisímetro de pesagem (SMITH, 1991; CARVALHO et al., 2011). A partir daí, a Organização da Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) recomenda o uso do método de Penman-Monteith após parametrização como o padrão para a estimativa da evapotranspiração de referência (BEZERRA et al., 2010b). Todavia, este método necessita de um grande número de elementos meteorológicos, que nem sempre estão disponíveis, fazendo com que seja necessário a utilização de outros métodos mais simples, com menor número de variáveis (PEREIRA et al., 2009).

Thornthwaite (1948) considerava a evapotranspiração como um elemento meteorológico padrão para emprego na agronomia, agrometeorologia e geografia e sua equação apresenta resultados satisfatórios em locais úmidos, mas em condições de clima árido, este tende a subestimar os valores e, em condições de elevada umidade superestima os valores de evapotranspiração potencial (CAMARGO:CAMARGO, 2000).

Em 1971, Camargo propôs um modelo simplificado baseado na equação de Thornthwaite, utilizando-se da irradiância extraterrestre e da temperatura média (CAMARGO:CAMARGO, 1983). De acordo com Henrique e Dantas (2007) os métodos empíricos apresentam muitas limitações, mas os dados encontrados por estes podem ser usados no balanço hídrico, em alguns casos, com resultados tão precisos quanto com os obtidos por métodos diretos. Na ausência de elementos para a utilização de

métodos mais consistentes, os métodos mais simples geralmente são utilizados para a obtenção da demanda de água, pois é melhor que não houver informação alguma.

O Boletim 56 da FAO atualizou os procedimentos de cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o), analisando aspectos quanto a obtenção do coeficiente da cultura (K_c) e o procedimento para avaliação de dados empregados na estimativa de ET_o (ALLEN et al., 1998). Segundo Camargo e Camargo (2000), o modelo de Penman – Monteith FAO resulta em dados muito precisos da ET_o, porém necessita de grande número de dados meteorológicos, nem sempre disponíveis, por isso recomendam o uso de equações simplificadas de estimativa.

A quantidade de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) aumentou significativamente devido à sua importância e, por razões como adequação de métodos quanto ao clima, modelos mais simples com necessidade de menor número de dados e limitação de dados de elementos meteorológicos necessários para a utilização de tais métodos (CARVALHO et al., 2011). A calibração local se torna importante nas estimativas da evapotranspiração devido a erros grosseiros que podem ocorrer por diferenças de clima do local onde as equações foram desenvolvidas e os locais de estudo (CUNHA, 2003). Em relação a esta necessidade de adequação, alguns métodos modificaram o método de Penman – Monteith FAO (PM-FAO) para melhor ajuste local, como exemplo o método PM-ASCE (ALLEN et al., 2006; SULEIMAN:HOOGENBOOM, 2009). Devido ao grande número de métodos de estimativa da ET_o, a escolha dependerá da disponibilidade de dados meteorológicos e do nível de precisão exigido (TAGLIAFERRE et al., 2010).

A evapotranspiração depende de muitos elementos climáticos como por exemplo radiação solar, ventos, temperatura, umidade relativa e de fatores relacionados à cultura como área foliar, estágio de desenvolvimento, arquitetura foliar, resistência do dossel, que estão associados ao coeficiente da cultura (K_c). Existem métodos precisos de estimativa da evapotranspiração, mas são de difícil aplicabilidade não só pelos complexos cálculos como também pelo número de dados de elementos meteorológicos muitas vezes não disponíveis (BERNARDO et al., 2005).

De acordo com Allen e Pruitt (1986) a irrigação é um fator que influencia na evapotranspiração devido ao fato de que este modifica as condições climáticas locais resfriando e tornando o ar mais úmido. Segundo Chang (1968) e Amatya et al. (1992) a radiação solar é o elemento meteorológico mais importante na estimativa da

evapotranspiração. Sousa et al. (2010) em comparação de seis métodos de estimativa da evapotranspiração de referência observaram que os métodos que incorporam o saldo de radiação solar apresentaram valores mais precisos em estudo realizado no perímetros irrigados do estado de Sergipe.

Quando os dados de radiação solar global não estão disponíveis existe a possibilidade da utilização de modelos de estimativa baseados em outros elementos meteorológicos, como brilho solar, temperatura do ar, precipitação, umidade relativa, dentre outros (SMITH, 1991). Porém, o uso de dados climáticos médios em métodos combinados, ou seja, resultantes da combinação entre os elementos climáticos, como é o caso do modelo de PM-FAO, pode gerar erros significativos (DOORENBOS:PRUITT, 1977). Yin et al. (2008) verificaram que os valores estimados de ETo foram superestimados em até 27% quando utilizaram dados de radiação solar estimados sem calibração.

Jensen (1985) observou que pelo menos 80% da evapotranspiração pode ser explicada pela radiação solar e temperatura, sendo assim, Hargreaves e Samani (1982) recomendaram uma equação simplificada de estimativa da evapotranspiração de referência baseada em temperatura, e, esta equação está sendo usada em muitos locais onde não há dados suficientes para a utilização de outros métodos, com boa consistência de dados para climas úmidos e sub-úmidos (ORANG et al., 1995).

Atualmente, trabalhos de estimativa utilizando modelos simplificados tem sido comuns para verificar o desempenho destes nos locais de interesse e normalmente os resultados são comparados aos obtidos pela equação de Penman – Monteith parametrizado pela FAO (ALLEN et al., 1998; TURCO et al., 2005). Alves Sobrinho et al. (1996) conduziram estudos em diferentes locais com diferentes condições climáticas e observaram que os valores estimados pelo método de Penman – Monteith foram precisos quando comparados com valores obtidos por lisímetros, sendo assim recomendado para a calibração de outros métodos.

Sentelhas et al. (2010) observaram que a utilização de métodos empíricos de estimativa da evapotranspiração de referência após a calibração local dos parâmetros do modelo fornecem dados consistentes. Muitos trabalhos utilizando modelos simplificados de estimativa tem sido feitos devido à limitação da utilização do modelo de Penman-Monteith FAO em locais onde não se disponibilizam de todos os dados de entrada deste modelo, com boa precisão dos dados estimados (JABLON:SAHLI, 2008; SILVA et

al., 2008). Na estimativa da evapotranspiração de referência, a aplicação do método de PM-FAO foi o mais representativo no desenvolvimento do balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Mather (1955) para todo o Brasil (SENTELHAS et al., 2008).

Gavilán et al. (2006) em um experimento conduzido numa região semi árida da Espanha, comparando dados estimados pela equação de Hargreaves com dados estimados por Penman – Monteith observaram que houve subestimativas em locais próximos a costa e superestimativas em regiões continentais.

Camargo e Sentelhas (1997) avaliaram o desempenho de modelos simplificados de estimativa da evapotranspiração correlacionando os resultados por dados obtidos por lisímetros em três localidades no estado de São Paulo, recomendando assim, o modelo de Camargo para a região.

Borges e Mediondo (2007) compararam seis modelos de estimativa da evapotranspiração de referência (Blaney-Cridde, Hargreaves, Camargo, Thornthwaite, Hamon e Kharrufa) e observaram que alguns deles apresentaram índices de confiança acima de 0,99, recomendando assim o modelo de Hargreaves calibrado para a bacia do rio Jacupiranga – SP por ser mais simples e preciso.

Oliveira e Volpe (2003) compararam métodos de estimativa da ETo em períodos secos e úmidos, com a utilização de dados de estações convencionais e automáticas na base diária e constataram que os resultados foram significativos independente do período e da fonte de dados para a região de Jaboticabal – SP. Silva et al. (2001) em experimento em Campina Grande – PB obtiveram resultados superestimados na estimativa da ETo na base semanal e mensal utilizando-se do método proposto por Hargreaves e do tanque classe A.

Diante do exposto e pela carência deste tipo de informação no estado, este trabalho objetivou avaliar o desempenho de treze modelos simplificados de estimativa da evapotranspiração de referência para o estado de Mato Grosso.

6.4. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho foram adquiridos de estações automáticas localizadas nas cidades do Mato Grosso estão apresentadas na Tabela 10, assim como os respectivos dados de latitude, longitude e altitude.

O período de coleta de dados variou entre as cidades devido ao fato de que as estações meteorológicas automáticas entraram em funcionamento em diferentes

datas, proporcionando assim quantidade de dados diferentes entre as cidades. O número de dados utilizados efetivamente no estudo, o período de coleta de dados, o número de dados coletados e a porcentagem de dados perdidos estão na Tabela 10. Os dados utilizados efetivamente neste trabalho são inferiores aos totais coletados, visto a porcentagem de perda de dados ocorridos devido a falhas do sistema de coleta, falhas dos instrumentos, erros de preenchimento de planilhas, problemas na captação dos dados, perda por problemas na bateria, problemas pela presença de animais, entre outros.

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).

Tabela 10. Estações meteorológicas automáticas do estado de Mato Grosso.

Código	Nome da Estação	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Período de dados	Número de dados	Dados efetivos	Perdas (%)
A-908	1. Água Boa	-14,0161	-52,2122	432	01/2008 - 01/2013	1858	1631	12,22
A-924	2. Alta Floresta	-10,0672	-56,7522	294	09/2011 - 01/2013	519	422	18,69
A-910	3. Apiacás	-9,5639	-57,3936	220	10/2006 - 01/2013	2315	1364	41,08
A-905	4. Campo Novo dos Parecis	-13,7833	-57,8333	570	06/2010 - 01/2013	976	505	48,26
A-912	5. Campo Verde	-15,3139	-55,0808	749	01/2008 - 01/2013	1858	898	51,67
A-926	6. Carlinda	-9,9703	-55,8272	300	04/2008 - 01/2013	1768	1517	14,20
A-913	7. Comodoro	-13,4231	-59,4546	591	01/2008 - 01/2013	1858	1511	18,68
A-918	8. Confresa	-10,6539	-51,5668	237	06/2008 - 01/2013	1707	1278	25,13
A-919	9. Cotriguaçu	-9,9061	-58,5719	261	01/2008 - 01/2013	1858	1564	15,82
A-901	10. Cuiabá	-15,5594	-56,0628	240	05/2011 - 01/2013	642	463	27,88
A-930	11. Gaúcha do Norte	-13,1847	-53,2575	379	08/2008 - 01/2013	1646	1376	16,40
A-906	12. Guarantã	-9,9500	-54,8833	320	05/2007 - 01/2013	2102	1338	36,35
A-932	13. Guiratinga	-16,3417	-53,7661	526	01/2008 - 01/2013	1858	1201	35,36
A-933	14. Itiquira	-17,1750	-54,5014	585	08/2008 - 01/2013	1646	981	40,40
A-914	15. Juara	-11,2803	-57,5267	260	11/2006 - 02/2012	1947	1265	35,03
A-920	16. Juína	-11,3750	-58,7750	374	10/2007 - 01/2013	1949	1259	35,40
A-928	17. Nova Maringá	-13,0386	-57,0922	353	04/2008 - 01/2013	1768	975	44,85
A-929	18. Nova Ubiratã	-13,4111	-54,7522	518	04/2008 - 01/2013	1768	1168	33,94
A-927	19. Novo Mundo	-12,5219	-58,2314	431	03/2008 - 01/2013	1798	1373	23,64
A-917	20. Pontes de Lacerda	-15,2511	-59,3467	256	01/2008 - 01/2013	1858	1301	29,98
A-935	21. Porto Estrela	-15,3247	-57,2264	145	02/2008 - 01/2013	1827	767	58,02
A-907	22. Rondonópolis	-16,4500	-54,5666	284	01/2008 - 01/2013	1858	1377	25,89
A-936	23. Salto do Céu	-15,1247	-58,1275	303	01/2008 - 01/2013	1858	1462	21,31
A-931	24. Santo Antonio do Leste	-14,9278	-53,8836	648	08/2008 - 01/2013	1646	1238	24,79
A-921	25. São Félix do Araguaia	-11,6189	-50,7278	218	08/2011 - 01/2013	550	456	17,09
A-917	26. Sinop	-11,9822	-55,5658	371	11/2006 - 06/2012	2284	930	59,28
A-904	27. Sorriso	-12,5452	-55,7113	380	01/2009 - 01/2013	1493	958	35,83
A-922	28. Vila Bela S. Trindade	-15,0628	-59,8729	222	01/2008 - 01/2013	1858	1404	24,43

O modelo número 1 é, na verdade, a estimativa da ETo pelo modelo de Penman-Monteith FAO, utilizando-se de dados de radiação solar global estimados pelo modelo de Bristow e Campbell (1984) com seus coeficientes calibrados para as cidades do estado de Mato Grosso, para observar a influência da estimativa da radiação solar na estimativa da ETo.

As estimativas pelo modelo de Penman – Monteith FAO com os dados de radiação solar medidos nas estações foram o padrão para as comparações e está descrito a seguir. Para os demais modelos que necessitavam de dados de radiação solar, foram utilizados os dados medidos nas estações meteorológicas.

6.4.1. Penman – Monteith FAO

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

em que: ET_o - evapotranspiração de referência, mm d^{-1} ; H - radiação solar global, $\text{MJ m}^2 \text{d}^{-1}$; 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, 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 ; Δ - inclinação da curva da pressão de vapor *versus* temperatura, $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$; γ - constante psicrométrica, $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$, 0,408 corresponde a $\frac{1}{\lambda}$, sendo λ o calor latente de vaporização da água igual a $2,45 \text{ MJ Kg}^{-1}$, 900 é um coeficiente para a cultura de referência .

Em geral das estações automáticas da Rede do INMET, as variáveis temperatura do ar e umidade do ar foram monitoradas a 2,0m de altura por termohigrômetros e a velocidade do vento medida a 10,0m de altura por anemômetros de canecas, enquanto que as demais variáveis foram estimadas segundo as recomendações de Pereira et al. (1997) e Allen et al. (1998).

6.4.1.1. A variação da declividade da curva de pressão de saturação de vapor d'água em função da temperatura (Δ) – ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

$$\Delta = \frac{4098 e_s}{(T+237,3)^2} \quad (2)$$

6.4.1.2. A pressão parcial de vapor d'água (e_a) – (kPa)

$$e_a = \frac{e_s UR}{100} \quad (3)$$

6.4.1.3. Pressão de saturação de vapor d'água (e_s) – (kPa)

$$e_s = 0,6108 \exp \left[\frac{17,27T}{(237,3+T)} \right] \quad (4)$$

6.4.1.4. Calor latente de vaporização (λ) – (MJ Kg⁻¹)

$$\lambda = 2,501 - (2,361 \cdot 10^{-3}) T \quad (5)$$

6.4.1.5. Coeficiente psicrométrico (γ) – (kPa °C⁻¹)

$$\gamma = 0,0016286 \frac{P}{\lambda} \quad (6)$$

Em que P é a pressão atmosférica média diária (kPa).

6.4.1.6. Coeficiente psicrométrico modificado (γ^*) – (kPa °C⁻¹):

$$\gamma^* = \gamma(1 + 0,33 U_2) \quad (7)$$

Em que U_2 é a velocidade do vento a 2 metros de altura.

6.4.1.7. Saldo de radiação (H)

Para a estimativa do saldo de radiação (H) são necessárias as estimativas da radiação de ondas curtas e radiação de ondas longas. O balanço de radiação diário é dado pela equação:

$$H = H_{ns} - H \quad (8)$$

Em que H_{ns} é o saldo de radiação de ondas curtas (MJ m⁻² dia⁻¹); H_{nl} é o saldo de radiação de ondas longas (MJ m⁻² dia⁻¹).

6.4.1.8. Saldo de radiação de ondas curtas (H_{ns})

O saldo de radiação de ondas curtas (H_{ns}) é a radiação recebida pelo dossel da cultura, levando-se em consideração as perdas por reflexão:

$$H_{ns} = (1 - \alpha) H \quad (9)$$

Em que α é o coeficiente de reflexão da superfície do dossel para a radiação solar incidente de ondas curtas (albedo). O valor médio para a grama é de 0,23. H é a radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

6.4.1.9. Radiação solar no topo da atmosfera (H_o)

$$H_o = 37,586 d_r (\omega_s \sin \phi \sin \delta_s + \cos \phi \cos \delta_s \sin \omega_s) \quad (10)$$

Em que d_r é a distância relativa Terra-Sol (rad); ω_s é o ângulo horário do pôr do sol (rad); ϕ é a latitude local (rad); δ_s é a declinação solar.

6.4.1.10. A distância relativa Terra-Sol

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right) \quad (11)$$

Em que J é o número do dia no ano, ou dia Juliano.

6.4.1.11. Estimativa do ângulo horário do pôr do sol (ω_s)

$$\omega_s = \arccos(-\tan \phi \tan \delta_s) \quad (12)$$

6.4.1.12. Declinação solar (δ_s)

A declinação solar (δ_s) tem sinal positivo no Hemisfério Norte e negativo no Hemisfério Sul. Seu valor é estimado por:

$$\delta_s = 0,4093 \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{365}J - 1,405\right) \quad (13)$$

6.4.1.13. Número máximo possível de horas de fotoperíodo (N) para um dado local

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (14)$$

6.4.1.14. Saldo de radiação de ondas longas (H_{nl})

Na ausência de medidas de radiação solar global, pode-se estimá-la por equações, algumas delas citadas neste trabalho anteriormente.

O saldo de radiação de ondas longas (H_{nl}) se refere a radiação térmica da vegetação e do solo para a atmosfera, bem como a refletida da atmosfera e da nuvem e pode ser estimada por:

$$H_{nl} = \left(0,9 \frac{n}{N} + 0,1\right) (0,34 - 0,14\sqrt{e_d}) \sigma (T_{kx}^4 + T_{kn}^4) \frac{1}{2} \quad (15)$$

Em que σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ d}^{-1}$); T_{kx} é a temperatura máxima diária (K); T_{kn} é a temperatura mínima diária (K).

6.4.1.15. Velocidade do vento para 2 metros de altura (U_2)

Para a utilização da equação de PM – FAO56 é necessário que se faça o ajuste dos valores de velocidade do vento para 2 metros de altura (U_2). Este ajuste é dado por:

$$U_2 = \frac{4,868}{LN(67,75z - 5,42)} U_z \quad (16)$$

Em que U_z é a velocidade do vento à altura z (m s^{-1}); U_2 é a velocidade do vento a 2 metros de altura (m s^{-1}); z é a altura da medida da velocidade do vento (m).

6.4.1.16. Calor armazenado no solo (G)

O calor armazenado no solo (G) pode causar a ocorrência de algum fluxo de calor e este pode ser estimado para um dado período pela seguinte equação:

$$G = 0,38 (T_n - T_{n-1}) \quad (17)$$

Em que G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); T_n é a temperatura do dia n ($^{\circ}\text{C}$); T_{n-1} é a temperatura do dia $n-1$ ($^{\circ}\text{C}$).

Os demais modelos de estimativa da evapotranspiração de referência estudados estão descritos a seguir:

6.4.2. Método de Hargreaves e Samani (Pereira et al., 1997) – modelo 2

$$ET_o = 0,0023 H_0 (T_{max} - T_{min})^{0,5} (t + 17,8) \quad (18)$$

Onde: H_0 é a radiação extraterrestre (mm d^{-1}); T_{max} é a temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$); T_{min} é a temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$) e t é a temperatura média ($^{\circ}\text{C}$).

6.4.3. Método de Camargo (Pereira et al., 1997) – modelo 3

$$ET_o = F H_0 T ND \quad (19)$$

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

6.4.4. Método de Makkink (Pereira et al., 1997) – modelo 4

$$ET_o = 0,61 W H - 0,12 \quad (20)$$

Onde: H é a radiação solar global diária (mm d^{-1}); W é um fator de ponderação e pode ser calculado por:

$$W = 0,407 + 0,0145 Tu \quad 0 < Tu < 16^{\circ}\text{C}$$

$$W = 0,483 + 0,01 Tu \quad 16,1 < Tu < 32^{\circ}\text{C}$$

6.4.5. Método de Linacre (Pereira et al., 1997) – modelo 5

$$ET_o = \frac{\frac{J(T+0,006h)}{100-\phi} + 15(T-T_o)}{80-T} \quad (21)$$

Onde 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 (°C); h é a altitude do local em metros; ϕ é a latitude local em graus (em módulo); T_o é a temperatura média diária do ponto de orvalho (°C).

$$(T - T_o) = 0,0023 h + 0,37 T + 0,53 (T_{max} - T_{min}) + 0,35R - 10,9 \quad (22)$$

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

6.4.6. Método de McGinness – Bordne (Oudin et al., 2005) – modelo 6

$$ET_o = \left(\frac{H_o}{\lambda \rho}\right) \left[\frac{(T_{med}+5)}{68}\right] \quad (23)$$

Onde: H_o é a radiação extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); λ é o calor latente de vaporização (MJ kg^{-1}); ρ é a densidade da água (kg m^{-3}); T_{med} é a temperatura média diária (°C).

6.4.7. Método de Romanenko (Oudin et al., 2005) – modelo 7

$$ET_o = 4,5 \left[1 + \left(\frac{T_{med}}{25}\right)\right]^2 \left(1 - \frac{ea}{es}\right) \quad (24)$$

Onde: T_{med} é a temperatura média diária (°C); ea é a pressão atual de vapor (kPa); es é a pressão média de saturação de vapor (kPa).

6.4.8. Método de Turc (Lu et al., 2005) – modelo 8

Para umidade relativa do ar < 50%

$$ET_o = 0,013 \left[\frac{T_{med}}{(T_{med}+15)}\right] (H 23,8846 + 50) \left(1 + \frac{50-UR}{70}\right) \quad (25)$$

Para umidade relativa > 50%

$$ET_o = 0,013 \left[\frac{T_{med}}{(T_{med}+15)} \right] (H 23,8846 + 50) \quad (26)$$

Onde: T_{med} é a temperatura média diária (°C); H é a radiação solar global média diária ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

6.4.9. Método de Holdridge (Holdridge, 1959) – modelo 9

$$ET_o = C_{HO} T \quad (27)$$

Onde: $C_{HO} = 58,93 \left(\frac{Put}{Nut} \right)$

Em que: T_{med} é a temperatura média diária (°C); Put é o período por unidade de tempo (dias); Nut é o número de unidades de tempo em um ano (365 ou 366 dias).

6.4.10. Método de Radiação solar (Pereira et al., 1997) – modelo 10

$$ET_o = c W H \quad (28)$$

Onde: H é a radiação solar global média diária expressa em equivalente de evaporação (mm d^{-1}); W é definido no método de Makkink; c é o coeficiente que representa a inclinação da reta de regressão (Tabela 11).

Tabela 11. Valores da constante c .

Intervalos de velocidade média do vento (m s^{-1})	Intervalos de umidade relativa média (%)			
	< 40	40 - 55	55 - 70	> 70
0 - 2	0,971	0,92	0,857	0,814
2 - 5	1,057	1,014	0,927	0,886
5 - 8	1,143	1,100	0,986	0,923
>8	1,229	1,172	1,043	1,000

Fonte: Doorenbos e Kassan (1994)

6.4.11. Método de Jensen – Haise (Pereira et al., 1997) – modelo 11

$$ET_o = H(0,00252 T + 0,078) \quad (29)$$

Onde: H é a radiação solar global média diária expressa em equivalente de evaporação (mm d^{-1}); T é a temperatura média diária ($^{\circ}\text{C}$);

6.4.12. Método de Hansen (Hansen, 1984)– modelo 12

$$ET_o = 0,7 \left[\frac{\Delta}{(\Delta + \gamma)} \right] \left(\frac{H}{\lambda} \right) \quad (30)$$

Onde: Δ é a declividade da curva da pressão de saturação de vapor no ponto de T_{med} ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); γ é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); H é a radiação solar global média diária ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); λ é o calor latente de vaporização (MJ kg^{-1}).

6.4.13. Método de Caprio (Caprio, 1974) – modelo 13

$$ET_o = \left[\frac{6,1}{10^6} H ((1,8 T_{med}) + 1,0) \right] \quad (31)$$

Onde: H é a radiação solar global média diária ($\text{KJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); T_{med} é a temperatura média ($^{\circ}\text{C}$).

Os índices de desempenho estatísticos 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, contudo não se sabe se o modelo subestima ou superestima os valores (JACOVIDES:KONTOYIANNIS, 1995), por isso 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 ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

$$RQME = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (32)$$

$$ERM = \frac{\sum_i (P_i - O_i)}{N-1} \quad (33)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (34)$$

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

A utilização dos indicativos estatísticos MBE, RMSE e o índice de ajustamento “d”, em conjunto, podem ser considerados uma boa alternativa para validação de modelos estatísticos por permitem 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).

Posteriormente, propôs-se o emprego dos valores ponderados (V_p) dos indicativos estatísticos para classificar e definir o melhor método para a estimativa da radiação global. Para a obtenção do valor de V_p atribuiu-se pesos de 1 a “n” para cada indicador estatístico, sendo “n” o número de modelos testados, sendo nesse caso, atribuído o peso 1 ao melhor modelo e o peso “n” ao pior, e conseqüentemente, o melhor modelo será aquele com menor somatório dos pesos atribuídos ou seja menor valor de V_p acumulado.

6.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 10 observa-se uma tendência à superestimativas da evapotranspiração de referência pelos modelos simplificados. As estimativas de evapotranspiração de referência obtidas por Penman – Monteith FAO aplicando –se dados de radiação solar estimados por Bristow e Campbell e o modelo de Turc foram os mais precisos pois os valores do ERM estão muito próximos de 0. Já o modelo de Makkink apresentou superestimativas variando de 2 a 3 mm d^{-1} . O modelo Caprio subestimou os valores de evapotranspiração de referência, em média, 0,3 mm d^{-1} .

Não foi observada diferença entre os modelos que utilizam a radiação solar incidente nas estimativas da evapotranspiração de referência para o estado de Mato Grosso, porém, Mandelli e Conceição (2005) avaliaram os métodos de Hargreaves e Samani, Camargo, Thornthwaite, Thornthwaite modificado, Makkink e Radiação solar para a estimativa da evapotranspiração de referência e observaram que os métodos que

empregam a radiação solar incidente (Makkink e Radiação solar) apresentaram desempenho superior àquelas que se utilizaram apenas os valores de temperatura do ar para o município de Bento Gonçalves – RS.

Vescove e Turco (2005) avaliando os métodos de Radiação solar, Makkink e Tanque classe A para a estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara – SP, observaram que o método de Makkink subestimava os valores comparado com o método padrão (PMFAO).

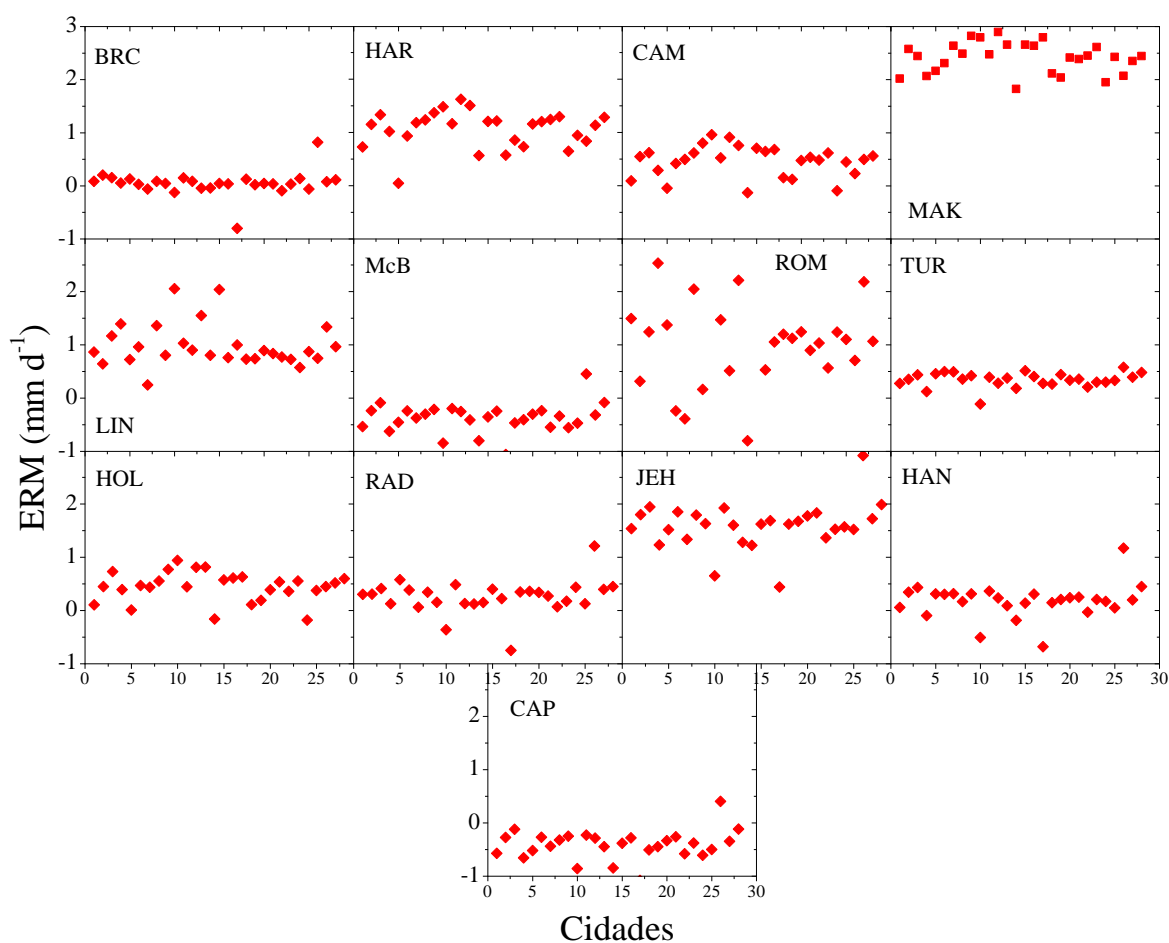


Figura 10. Erro Relativo Médio (mm dia^{-1}) dos valores de estimativa da evapotranspiração de referência para o estado de Mato Grosso.

Na Figura 11 observa-se que os modelos PMFAO (com dados de radiação solar estimados por Bristow e Campbell), Turc e Hansen diferiram dos valores estimados da evapotranspiração de referência em média, de $0,5 \text{ mm d}^{-1}$. Radiação Solar, McGinness – Bordne e Caprio foram em torno de $0,6 \text{ mm d}^{-1}$ e os modelos de Camargo e

Holdridge em 1 mm d^{-1} . Romanenko apresentou valores dispersos, não apresentando tendências e, método de Makkink apresentou dispersão de valores de $2,75 \text{ mm d}^{-1}$.

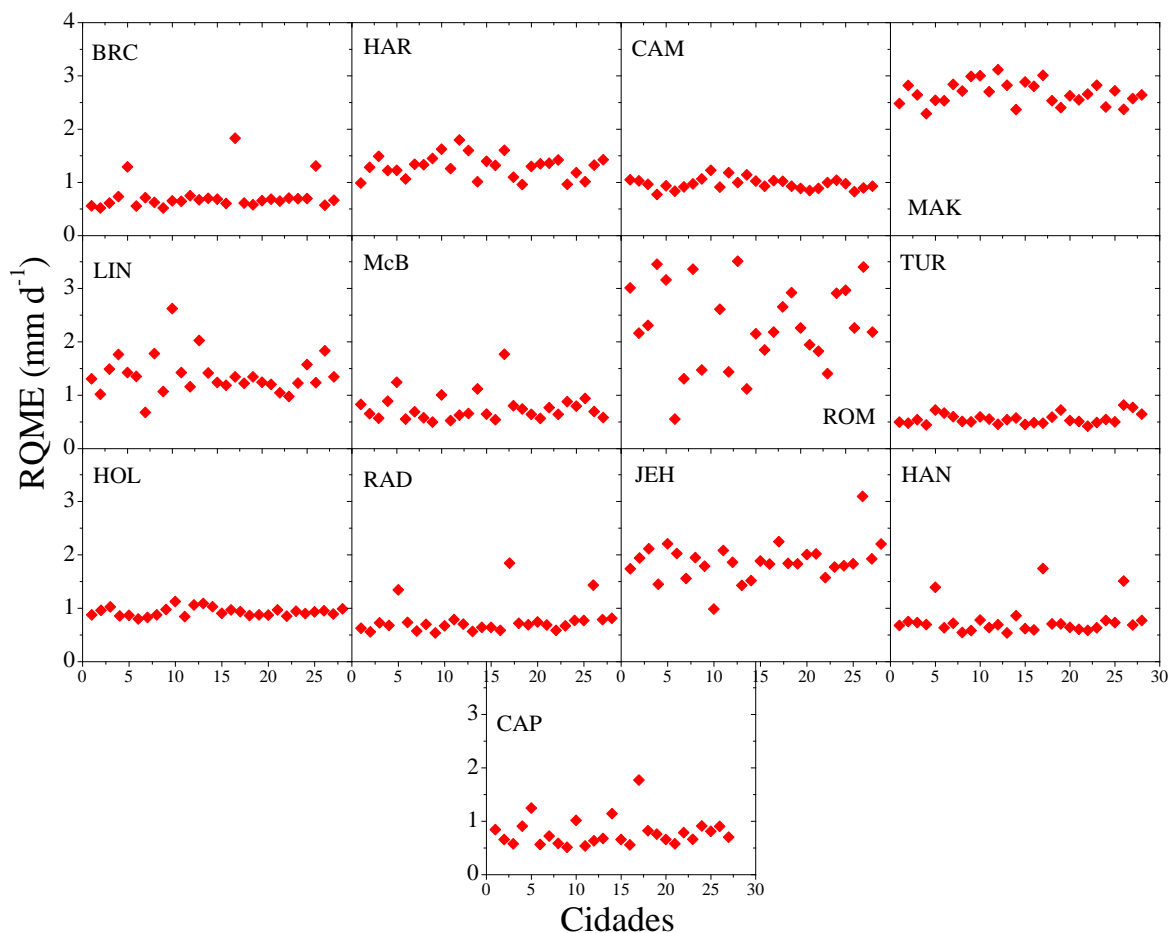


Figura 11. Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (mm d^{-1}) dos valores das estimativas da evapotranspiração de referência para o estado de Mato Grosso.

Os melhores desempenhos quanto a precisão dos dados estimados pelo modelo padrão e estimados pelos demais modelos foram apresentados pelos modelos de Turc, seguido de PMFAO com dados de radiação estimados por Bristow e Campbell, Radiação solar, Hansen e Caprio, com valores entre 0,80 e 0,95 (Figura 12). Borges e Mediondo (2007), avaliando os modelos simplificados de estimativa da evapotranspiração de referência: Camargo, Blaney-Criddle, Hamon, Hargreaves, Thornthwaite e Kharrufa, na bacia do Rio Jacupiranga, observaram valores de d muito próximos a 1 e, recomendaram a utilização da equação de Hargreaves devido a simplicidade e a confiabilidade do método.

O modelo de Makkink apresentou valores de d de 0,40 em média, já Melo e Fernandes (2012), observaram que o método de Makkink apresentou o melhor índice de performance para a cidade de Uberaba – MG com valor de 0,88, e Oliveira et al. (2010), observaram que o melhor modelo simplificado foi o de Hargreaves e Samani, com valor de d de 0,85, seguido pelo método de Makkink, com valor de 0,77 para a região norte da Bahia

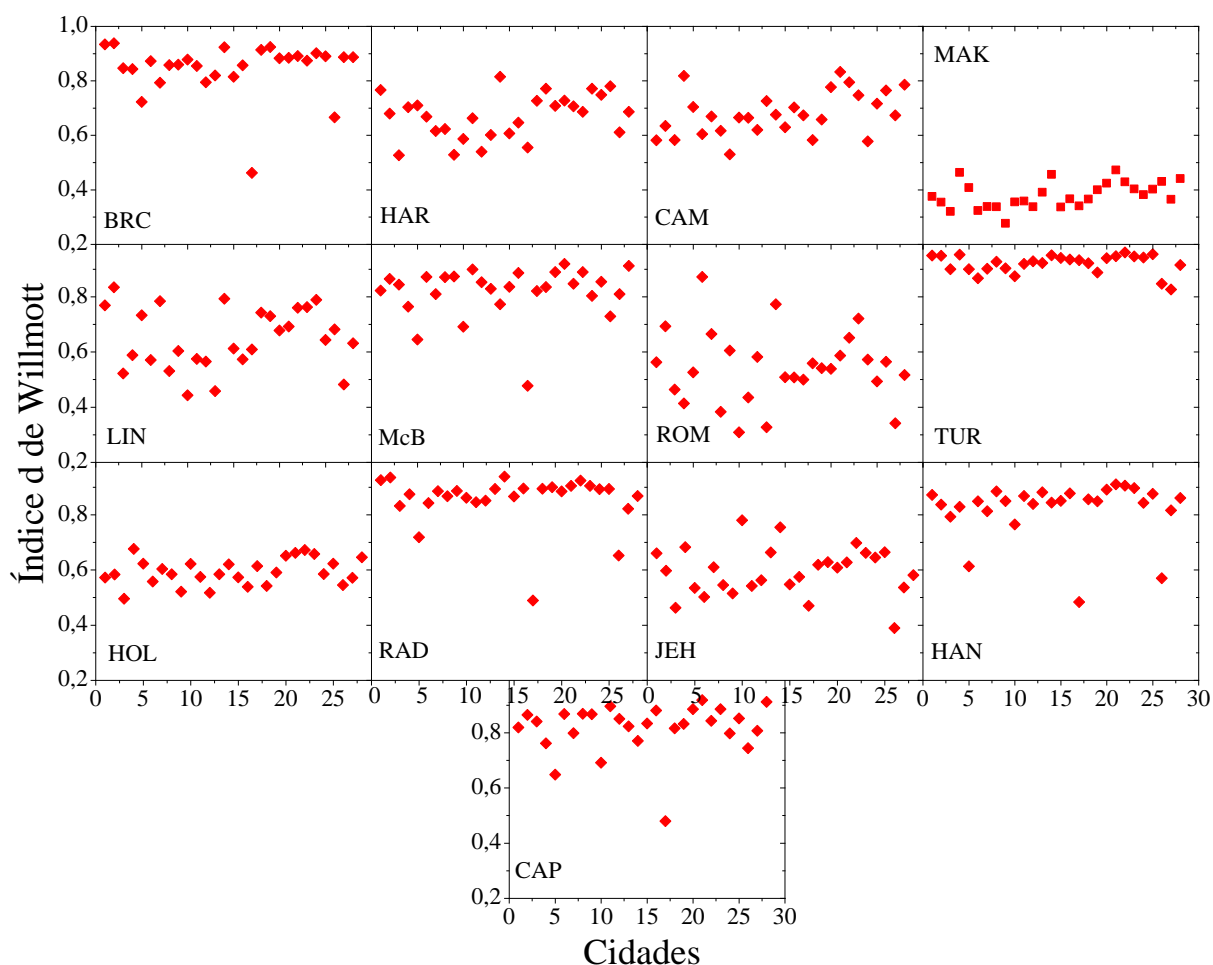


Figura 12. Índice d de Willmott dos valores de estimativa da evapotranspiração de referência para o estado de Mato Grosso.

As correlações entre os valores de evapotranspiração estimados pelo método de Penman – Monteith e os estimados pelos modelos simplificados e por PM (RS por Bristow e Campbell) para a cidade de Sinop – MT estão representados na Figura 13. As correlações para as demais cidades se encontram em anexo (Tabela 15). Observa-se que as melhores correlações foram para os modelos de Camargo, Turc e Caprio. Observa-

se também que a maioria dos modelos tenderam à superestimar os valores da evapotranspiração. A pior correlação entre os valores obtidos foram os estimados por Jensen – Haise.

Alencar et al. (2011), correlacionando valores estimados de evapotranspiração de referência por métodos empíricos simplificados (Blaney Criddle, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor e Radiação) com o método padrão, observaram que todos os modelos tenderam à superestimativas na região de Norte de Minas Gerais.

Melo e Fernandes (2012), observaram a correlação da a maioria dos modelos simplificados de estimativa da evapotranspiração de referência (Blaney-Criddle, Jensen-Haise, Linacre, Radiação Solar, Hargreaves-Samani, Makkink, Thornthwaite, Camargo, Priestley-Taylor e Penman original) com o método de Penman – Monteith, apresentaram superestimativas, com exceção dos métodos de Thornthwaite e Camargo que apresentaram subestimativas, para a cidade de Uberaba – MG.

Camargo e Sentelhas (1997), verificaram o desempenho de inúmeros métodos de estimativa da evapotranspiração de referência e por meio de correlações com valores obtidos em evapotranspirômetros para o estado de São Paulo e observaram que o método de Camargo foi considerado muito bom com valores de d 0,81.

Para a cidade de Palotina no estado do Paraná, Syperreck et al. (2008), observaram que, para a escala diária, os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência Thornthwaite, Camargo e Hargreaves e Samani, apresentaram bom ajuste, de acordo com as correlações, com valores de 0,85 a 0,86 e, o coeficiente de exatidão d com valores de 0,82 a 0,85, quando comparados com o método de Penman – Monteith FAO.

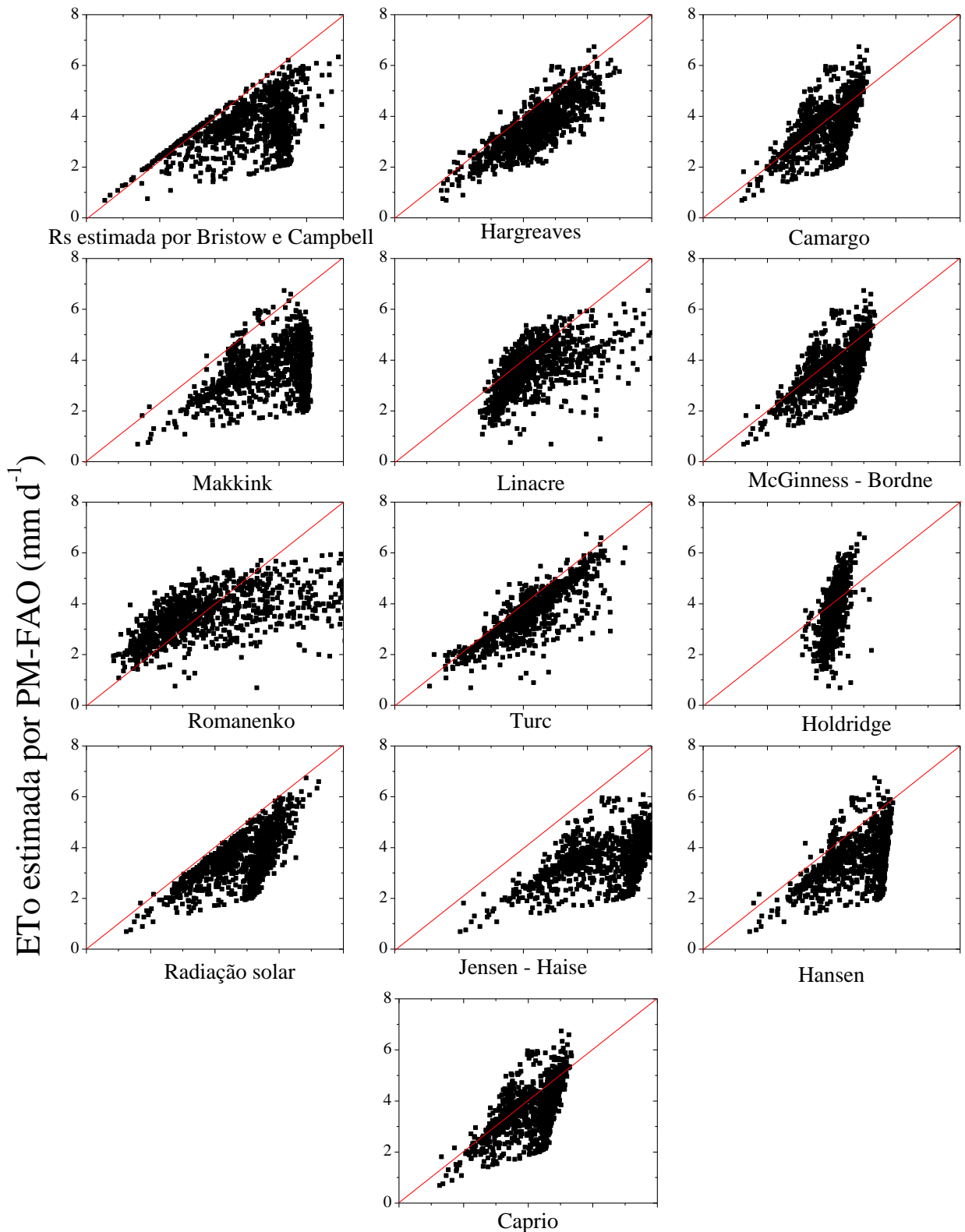


Figura 13. Correlação entre os valores estimados por Penman – Monteith e os modelos de estimativa da evapotranspiração de referência estudados para a cidade de Sinop – MT.

Na Tabela 12 estão apresentados os valores de ordenamento dos modelos simplificados, com o objetivo de se encontrar o melhor modelo de estimativa da evapotranspiração de referência. Observa-se que o modelo de Turc apresentou o melhor desempenho para a estimativa da evapotranspiração de referência para 43% das cidades estudadas no estado de Mato Grosso, seguido de PMFAO com dados de RS estimados por Bristow e Campbell em 28% das cidades.

Oliveira et al. (2008), para a bacia experimental do riacho Gameleira – PE, observaram que o método de radiação solar foi o que mais se ajustou aos valores obtidos por um lisímetro de pesagem e Tagliaferre et al. (2010), para a cidade de Eunápolis – BA, obtiveram ótimo desempenho na utilização do modelo de radiação solar.

Conceição (2010) concluiu que, empregando-se o modelo de Bristow e Campbell para a estimativa da radiação solar incidente apresentou desempenho superior aos obtidos por outros métodos de estimativa da radiação solar na estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Jales – SP.

Tabela 12. Classificação dos modelos de estimativa da radiação solar global na estimativa da evapotranspiração de referência segundo ordenamento dos índices de desempenho ERM, RQME e d.

Cidades	BRC	HAR	CAM	MAK	LIN	McB	ROM	TUR	HOL	RAD	JEN	HAN	CAP	Modelo
1 Água Boa	6	25	22	38	27	17	36	7	22	12	32	9	20	BRC
2 Alta Floresta	5	30	28	39	25	11	25	9	27	10	34	18	12	BRC
3 Apiacás	9	29	21	39	27	6	33	8	26	14	35	17	9	McB
4 Campo Novo dos Parecis	8	27	16	36	33	21	39	5	23	9	23	9	24	TUR
5 Campo Verde	15	11	12	38	22	20	36	9	12	20	34	24	20	TUR
6 Carlinda	3	28	25	39	32	6	9	20	27	20	36	16	12	BRC
7 Comodoro	13	32	26	39	13	13	25	13	27	4	35	13	20	RAD
8 Confresa	12	25	24	38	31	9	37	8	23	16	32	6	12	HAN
9 Cotriguaçu	10	31	26	39	27	8	21	10	26	9	36	18	12	McB
10 Cuiabá	5	30	26	36	33	19	39	4	25	9	14	13	20	TUR
11 Gaúcha do Norte	11	27	23	39	29	5	35	9	22	19	34	12	8	McB
12 Guarantã do Norte	13	34	26	39	26	8	25	7	27	10	33	12	13	TUR
13 Guiratinga	12	29	21	37	33	13	38	8	26	7	26	6	17	HAN
14 Itiquira	7	17	22	39	27	22	25	7	22	7	34	14	30	BRC; TUR; RAD
15 Juara	13	30	23	39	27	13	33	6	24	7	34	8	16	TUR
16 Juína	13	29	23	39	29	8	31	8	27	8	32	15	11	McB; TUR; RAD
17 Nova Maringá	28	13	10	39	17	30	27	3	9	24	24	20	29	TUR
18 Nova Ubiratã	6	27	22	38	26	17	36	7	19	13	32	10	20	BRC
19 Novo Mundo	3	25	19	38	28	16	36	14	21	9	33	11	20	BRC
20 Pontes e Lacerda	11	28	23	39	27	8	35	7	24	17	34	7	13	TUR; HAN
21 Porto Estrela	12	29	21	39	27	6	33	8	26	16	35	11	10	McB
22 Rondonópolis	11	30	21	39	26	17	34	6	23	7	33	6	20	TUR; HAN
23 Salto do Céu	13	32	26	39	25	11	27	6	26	9	35	9	15	TUR
24 Santo Antônio do Leste	6	26	21	38	34	17	36	7	20	13	32	10	22	BRC
25 São Félix do Araguaia	7	26	22	38	29	17	36	6	23	9	32	8	20	TUR
26 Sinop	23	17	6	36	20	13	27	7	19	28	39	29	9	CAM
27 Sorriso	3	26	22	37	31	11	38	13	24	14	32	8	14	BRC
28 Vila Bela da S. Trindade	10	29	21	39	28	6	33	10	25	15	35	16	6	McB; CAP
Total	288	742	598	1072	759	368	885	232	645	355	900	355	454	TUR; BRC; RAD; HAN

6.6. CONCLUSÕES

O desempenho dos modelos simplificados de estimativa da evapotranspiração de referência variaram entre as cidades do estado de Mato Grosso.

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 modelo de Penman – Monteith FAO, utilizando-se dados de radiação solar estimados por Bristow e Campbell com calibração local de seus coeficientes; modelo de Radiação Solar e modelo de Hansen.

O pior desempenho na estimativa da evapotranspiração de referência foi apresentado pelo modelo de Makkink, sendo este não recomendado para o estado de Mato Grosso.

6.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; WANDERLEY, H. S.; ALMEIDA, T. S.; DELGADO, R. C. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no norte de Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.19, n.5, p.437-449, 2011.

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O. Rational use of the FAO Blaney-Criddle formula. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. Delaware, v. 112, n. 2, p. 139-155, 1986.

ALLEN, R. G.; SMITH, M.; PERRIER, A. An update for the definition of reference evapotranspiration. **ICID BULLETIN**, Beijing, v. 43, n. 2, p. 1-34, 1994.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. Crop evapotranspiration. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, 56. Rome, 297p. 1998.

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O.; WRIGHT, J. L.; HOWELL, T. A.; VENTURA, F.; SNYDER, R.; ITENFISU, D.; STEDUTO, P.; BERENGENA, J.; YRISARRY, J. B.; SMITH, M.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; PERRIER, A.; ALVES, I.; WALTER, I.; ELLIOTT, R. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith method. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 81, n. 1, p. 1-22, 2006.

ALMEIDA, H.A; KLAR, A.E; VILLA NOVA, N.A. Comparação de dados de evapotranspiração de referência estimados por diferentes métodos. **Irriga**, Botucatu, v.4, n.2, p.104-118, 1999.

ALVES SOBRINHO, T.; BONOMO, R; MANTOVANI, E.C.; SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para Dourados e Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25, 1996, Bauru. **Resumos...** Bauru: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1996. CD Rom.

ALVES SOBRINHO, T.; RODRIGUES, D. B. B.; OLIVEIRA, P. T. S.; REBUCCI, L. C. S.; PERTUSSATTI, C. A. Estimativa da evapotranspiração de referência através de redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Santa Maria, v.26, n.2, p.197-203, 2011.

AMATYA, D. M.; SKAGGS, R. W.; GREGORY, J. D. **Comparison od methods for estimating potencial evapotranspiration**. Saint. Joseph: ASAE Paper, 27p. 1992.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7^a ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 611p, 2005.

BEZERRA, B. G.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; DIAS, J. M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marrom, irrigado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Santa Maria, v.14, n.6, p.625-632, 2010a.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; BEZERRA, J. R. C.; BRANDÃO, Z. N. Evapotranspiração real obtida através da relação entre o coeficiente dual de cultura da FAO-56 e o NDVI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Santa Maria, v.25, n.3, p.404-414, 2010b.

BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.3, p.293-300, 2007.

BRISTOW, K.L.; CAMPBELL, G.S. On the relationship between incoming solar radiation and daily minimum and maximum temperature. **Agricultural and. Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 31, p. 159-166, 1984.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Teste de uma equação simples da evapo(transpi)ração potencial baseada na radiação solar extraterrestre e na temperatura média do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 1983, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargil, p. 229-244, 1983.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.125-137, 2000.

CAPRIO, J. M. The Solar Thermal Unit Concept in Problems Related to Plant Development and Potential Evapotranspiration. In: H. Lieth (Editor), Phenology and Seasonality Modeling. Ecological Studies. Springer Verlag, New York, p. 353-364, 1974.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.3, p.456-465, 2011.

CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; XAVIER, A. C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.8, p.871-880, 2010.

CHANG, J. **Climate and Agriculture: An ecological survey**. Chicago: Aldine Publ., Evapotranspiration, p. 129-143, 1968.

CONAB. Companhia Nacional de abastecimento. **Grãos – 11º Levantamento de safra 2012/2013 ago/2013**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_08_09_10_43_44_boletim_por_portp_agosto_2013_port.pdf>. Acessado em : 28 de agosto de 2013.]

CONCEIÇÃO, M. A. F. Evapotranspiração de referência com base na radiação solar global estimada pelo método de Bristow – Campbell. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.619-626, jul./ago. 2010

CUNHA, A. T. **Estimativa experimental da taxa de recarga na zona de afloramento do aquífero Guarani para a região de São Carlos – SP. 2003.** 117p. Dissertação (mestrado em hidráulica e saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements.** Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper 24, 2 ed., 179 p. 1977.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33), **Tradução** Gheyi, H. R., Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, FAO 306 p. 1994.

FERNANDES, A. L. T.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; TAKAY, B. Y. Avaliação do método Penman-Piche para a estimativa da evapotranspiração de referência em Uberaba - MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.3, p.270-276, 2011.

GAVILÁN, P.; LORITE, I. J.; TORNERO, S.; BERENGENA, J. “Regional calibration of Hargreaves equation for estimating reference ET in a semi-arid environment.” **Agricultural Water Management**, Auckland, v. 81, n. 3, p. 257–281, 2006.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Estimating potential evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage*. ASCE, Delaware, v. 108, p. 225-30, 1982.

HANSEN, S. “Estimation of potential and actual evapotranspiration.” **Nordic Hydrology**, London, v. 15, p. 205–212, 1984.

HENRIQUE, F. A. N.; DANTAS, R. T. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.6, p.594-599, 2007.

HOLDRIDGE, L.R. Simple method for determining potential evapotranspiration from temperature data. **Science**, Washington, v.130, n.3375, p.572, 1959.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=mt>> Acessado em: 27 de agosto de 2013.

IMEA. **Instituto Mato Grossense de Economia e Agropecuária**. Disponível em: <http://www.imea.com.br/upload/pdf/arquivos/2013_25_06_Apresentacao_MT.pdf> Acessado em: 27 de agosto de 2013.

JABLOUN, M.; SAHLI, A. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data application to Tunisia. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 6, p. 707-715, 2008.

JACOVIDES, C. P.; KONTOYIANNIS, H. Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models. **Agricultural Water Management**, Auckland, v.27, p.365-371, 1995.

JENSEN, M. E. Personal communication, **ASAE** national conference, Chicago, IL. 1985.

KUMAR, M.; RAGHUWANSHI, N. S.; SINGH, R.; WALLENDER, W. W.; PRUITT, W. O. Estimating evapotranspiration using artificial neural network. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Delaware, v.128, n.4, p.224-233, 2002.

LU, J. B., SUN, G., McNULTY, S. G., AMATYA, D. M. "A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the southeastern United States." **Journal American Water Resources Association**, Santa Clara, v. 41, n. 3, p. 621–633, 2005.

MANDELLI, F.; CONCEIÇÃO, M. A. F. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Bento Gonçalves, RS. **Revista Brasileira Agrometeorologia**, Santa Maria, v.13, n.2, p.303-307, 2005.

MELO, G. L.; FERNANDES, A. L. T. Evaluation of empirical methods to estimate reference evapotranspiration in Uberaba, state of Minas Gerais, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.5, p.875-888, set./out. 2012.

MOURA, M. V. T.; BOTREL, T. A. ; FRIZZONE, J. A. Determinação do consumo de água na cultura da cenoura (*Daucus carota* L.). **Engenharia rural**, Piracicaba, v. 4, p. 89-101, 1993.

OLIVEIRA, A. D.; VOLPE, C. A. Estimativa da evapotranspiração de referência utilizando dados de estação meteorológica convencional e automática In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 13, 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBA, 2003. CD Rom.

OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; AZEVEDO, J. R. G.; SANTOS, F. X. Evapotranspiração de referência na bacia experimental do riacho Gameleira, PE, utilizando-se lisímetro e métodos indiretos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, p. 58-67, 2008.

OLIVEIRA, G. M. de; LEITÃO, M. de M. V. B. R.; BISPO, R. de C.; SANTOS, I. M. S.; ALMEIDA, A. C. de. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência na região Norte da Bahia. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.4, n.2, p.104-109, 2010.

ORANG, M.N., M.E. GRISMER, H. ASHKTORAB. New equations to estimate evapotranspiration in Delta. **California Agriculture**, Davis, May-June , 1995.

LOUDIN, L.; HERVIEU, F.; MICHEL, C.; PERRIN, C.; ANDRÉASSIAN, V.; ANCTIL, F.; LOUMAGNE, C. "Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model: Part 2—Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modeling." **Journal of Hydrology**. Amsterdam, v. 303, n. 1-4, p. 290–306, 2005.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 183 p, 1997.

PEREIRA, D. R.; YANAGI, S. N. M.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; SILVA, L. A. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.9, p.2488-2493, 2009.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society of London**, v. A193, p. 120-146, 1948.

PIVETTA, C. R.; HELDWEIN, A. B.; MALDANER, I. C.; RADONS, S. R.; TAZZO, I. F.; LUCAS, D. D. Evapotranspiração máxima do pimentão cultivado em estufa plástica em função de variáveis fenométricas e meteorológicas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, p.768-775, 2010.

REICHARDT, K. **Á água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188p.

SAAD, J.C.C. **Estudo das distribuições de frequência da evapotranspiração de referência e da precipitação pluvial para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação**. Piracicaba: ESALQ, 1990 124p. (Dissertação Mestrado)

SANTOS, F. X. dos; RODRIGUES, J. J. V.; MONTENEGRO, A. A. de A.; MOURA, R. F. de. Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no semi-árido nordestino. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.115-124, 2008.

SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 1-7, 1996.

SENTELHAS, P. C.; SANTOS, D. L. dos; MACHADO, R. E. Water deficit and water surplus maps for Brazil, based on FAO Penman-Monteith potential evapotranspiration. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 713-721, set./dez. 2008.

SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; SANTOS, E. A. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 5, p. 635-644, 2010.

SILVA, V. P. R.; DANTAS, R. T.; CAMPOS, J. H. B. C.; GUEDES, M. J. F. Estimativa da evapotranspiração de referência pelos métodos de Penman-Monteith – FAO/56, Hargreaves e Tanque Classe A em períodos diários mensais. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 12 e Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 3, 2001, v.2, n.2, 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBA. p.467-468, 2001.

SILVA, B. M. et al. Estimate of reference evapotranspiration by FAO Penman-Monteith equation only having maximum and minimum temperatures in Lavras, Minas Gerais State, Brazil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 37., Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBEA. 1 CD-ROM, 2008.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements**. Rome: FAO, 54p. 1991.

SOARES, A.J. **Efeitos de três lâminas de irrigação e de quatro doses de potássio via fertirrigação no meloeiro em ambiente protegido**. 2001. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Irrigação e drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SOUSA, I. F.; SILVA, P. R.; SABINO, F. G.; NETTO, A. O. A.; SILVA, B. K. N.; AZEVEDO, P. V. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe. **Agriambi**, Campina Grande, v.14, n.6, p.633–644, 2010.

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.

SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIM, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Nativa, Sinop*, v. 01, n. 01, p.34-43, out./dez., 2013.

SULEIMAN, A. A.; HOOGENBOOM, G. A comparison of ASCE and FAO-56 reference evapotranspiration for a 15-min. time step in humid climate conditions. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 375, n. 3/4, p. 326-333, set. 2009.

SYPERRECK, V. L. G.; KLOSOWSKI, E. S.; GRECO, M.; FURLANETTO, C. Avaliação de desempenho de métodos para estimativas de evapotranspiração de referência para a região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 30, supl., p. 603-609, 2008

TAGLIAFERRE, C.; SILVA, R.; ROCHA, F.; SANTOS, L. Estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiração de referência em Eunapolis - BA. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.23, n.1. p.103-111, 2010.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geophysical Review**, New York, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance: publications in climatology. **Drexel Institute of Technology**, New Jersey, 1955.

TURCO, J. E. P.; FARIA, M. T.; FERNANDES, E. J. Influência da forma de obtenção do saldo de radiação na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 3, p. 215-228, agosto-outubro, 2005

VESCOVE, H. V.; TURCO, J. E. P. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara - SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.713-721, 2005.

VILLA NOVA, N. A. **Principais métodos de estimativa de aplicação de água de irrigação**. Piracicaba: ESALQ, 1987. 22 p.

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.

XU, C. Y.; SINGH, V. P. Evaluation and generalization of temperature-based methods for calculating evaporation. **Hydrological Processes**. Malden, v. 15, n. 2, p. 305-319, 2001.

YIN, Y.; WU, S.; ZHENG, D.; YANG, Q. Radiation calibration of FAO56 Penman-Monteith model to estimate reference crop evapotranspiration in China. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 1, p. 77-84, 2008.

ZANETTI, S. S.; SOUZA, E. F; CARVALHO, D. F.; BERNARDO, S. Estimação da evapotranspiração de referência no Estado do Rio de Janeiro usando redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.2, p.174-180, 2008.

ANEXOS

Tabela 13. Coeficiente de correlação e respectiva equação da relação entre valores de radiação solar medidos e estimados para as cidades do estado de Mato Grosso, MT.

Cidades Modelos	Água Boa		Alta Floresta		Apiacás		Campo Novo dos Parecis	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
1 Abraha e Savage	$y = 0,7871x + 3,943$	0,67	$y = 0,6769x + 5,0195$	0,62	$y = 0,655x + 5,7693$	0,60	$y = 0,6187x + 5,5446$	0,60
2 Abraha Savage Weiss	$y = 0,7647x + 4,4244$	0,68	$y = 0,6978x + 4,6386$	0,66	$y = 0,6971x + 5,2817$	0,61	$y = 0,6451x + 5,5635$	0,67
3 Almorox	$y = 0,7464x + 4,7617$	0,58	$y = 0,8202x + 2,3962$	0,51	$y = 0,9983x - 0,5081$	0,52	$y = 0,9391x + 0,7357$	0,69
4 Annandele	$y = 1,1148x - 2,0154$	0,55	$y = 1,0509x - 1,5982$	0,54	$y = 1,0677x - 1,1272$	0,52	$y = 1,0714x - 1,3616$	0,73
5 Bristow e Campbell	$y = 0,9133x + 1,6826$	0,69	$y = 0,943x + 0,4118$	0,70	$y = 0,9041x + 1,5894$	0,65	$y = 0,9697x + 0,2856$	0,75
6 Chen	$y = 0,9615x + 0,9406$	0,60	$y = 1,0412x - 1,4455$	0,54	$y = 1,0313x - 0,6014$	0,52	$y = 1,1253x - 2,275$	0,68
7 De Jong e Stewart	$y = 0,9885x + 0,3675$	0,60	$y = 0,8106x + 2,8266$	0,55	$y = 1,0682x - 1,3429$	0,52	$y = 1,1062x - 2,1519$	0,68
8 Donatelli e Campbell	$y = 0,9491x + 1,1612$	0,68	$y = 0,8902x + 1,6399$	0,68	$y = 0,8848x + 2,0672$	0,63	$y = 0,8943x + 1,6202$	0,65
9 Goodin	$y = 1,0262x - 0,3403$	0,69	$y = 0,9206x + 0,9848$	0,68	$y = 0,9839x + 0,3426$	0,67	$y = 0,9735x + 0,2377$	0,67
10 Hargreaves	$y = 1,1148x - 2,0154$	0,55	$y = 1,0289x - 1,5878$	0,53	$y = 1,0677x - 1,1272$	0,52	$y = 1,0751x - 1,3772$	0,73
11 Hunt 1	$y = 1,0534x - 0,8373$	0,55	$y = 1,05x - 1,5574$	0,53	$y = 1,1204x - 2,0811$	0,52	$y = 1,1245x - 2,2311$	0,74
12 Hunt 2	$y = 1,0195x - 0,2418$	0,60	$y = 1,0267x - 1,2371$	0,54	$y = 1,2132x - 3,717$	0,53	$y = 1,2608x - 4,6425$	0,72
13 Mahmood e Hubbard	$y = 0,9237x + 1,5132$	0,58	$y = 0,7003x + 4,5377$	0,48	$y = 0,8189x + 3,2463$	0,51	$y = 0,9086x + 1,2931$	0,68
14 Meza e Varas	$y = 0,7463x + 4,6898$	0,68	$y = 0,6607x + 5,3889$	0,65	$y = 0,6555x + 5,8271$	0,63	$y = 0,6026x + 6,1463$	0,63
15 Thorton e Running	$y = 0,7933x + 3,9123$	0,60	$y = 0,6236x + 6,0323$	0,51	$y = 0,6938x + 5,4022$	0,52	$y = 0,7546x + 3,8745$	0,65

Tabela 13. Coeficiente de correlação e respectiva equação da relação entre valores de radiação solar medidos e estimados para as cidades do estado de Mato Grosso, MT.

Cidades Modelos	Campo Verde		Carlinda		Comodoro		Confresa	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
1 Abraha e Savage	$y = 0,726x + 5,4913$	0,49	$y = 0,7055x + 5,5664$	0,67	$y = 0,6601x + 6,1484$	0,58	$y = 0,6858x + 5,641$	0,56
2 Abraha Savage Weiss	$y = 0,6947x + 5,9927$	0,55	$y = 0,7198x + 5,3967$	0,69	$y = 0,712x + 5,3591$	0,62	$y = 0,6955x + 5,4034$	0,59
3 Almorox	$y = 0,7548x + 4,6$	0,52	$y = 0,695x + 5,8439$	0,58	$y = 0,836x + 3,1222$	0,59	$y = 0,8914x + 1,9511$	0,60
4 Annandele	$y = 0,7831x + 4,4964$	0,53	$y = 1,0776x - 1,1783$	0,57	$y = 1,0612x - 0,7788$	0,54	$y = 1,2184x - 3,6037$	0,54
5 Bristow e Campbell	$y = 0,7567x + 4,5606$	0,52	$y = 0,8869x + 2,3492$	0,69	$y = 0,9089x + 1,8775$	0,62	$y = 0,9458x + 1,0135$	0,64
6 Chen	$y = 0,7369x + 4,918$	0,49	$y = 1,0277x - 0,8202$	0,58	$y = 1,052x - 0,8309$	0,54	$y = 1,2197x - 3,565$	0,54
7 De Jong e Stewart	$y = 0,7165x + 5,2965$	0,47	$y = 0,9265x + 1,7593$	0,61	$y = 0,852x + 2,4448$	0,58	$y = 1,1101x - 2,2864$	0,55
8 Donatelli e Campbell	$y = 0,6698x + 6,3105$	0,44	$y = 0,8846x + 2,5015$	0,67	$y = 0,9684x + 0,955$	0,58	$y = 0,9635x + 0,968$	0,62
9 Goodin	$y = 0,6677x + 6,3117$	0,44	$y = 0,9796x + 0,6633$	0,71	$y = 1,0756x - 1,0381$	0,62	$y = 1,008x + 0,1531$	0,63
10 Hargreaves	$y = 0,813x + 4,4964$	0,53	$y = 1,0776x - 1,1783$	0,57	$y = 1,0612x - 0,7788$	0,54	$y = 1,2184x - 3,6037$	0,54
11 Hunt 1	$y = 0,8147x + 4,4846$	0,53	$y = 1,0776x - 1,2745$	0,57	$y = 1,0612x - 0,7667$	0,54	$y = 1,2184x - 3,6215$	0,54
12 Hunt 2	$y = 0,7659x + 4,4967$	0,52	$y = 1,144x - 2,6282$	0,61	$y = 1,0239x - 0,2898$	0,54	$y = 1,2221x - 4,1465$	0,54
13 Mahmood e Hubbard	$y = 0,6913x + 6,6128$	0,43	$y = 0,8422x + 3,2145$	0,59	$y = 0,8279x + 3,4298$	0,55	$y = 0,9166x + 1,5667$	0,53
14 Meza e Varas	$y = 0,6614x + 7,4164$	0,47	$y = 0,6883x + 5,878$	0,69	$y = 0,6614x + 6,1648$	0,62	$y = 0,6531x + 6,1933$	0,58
15 Thorton e Running	$y = 0,6222x + 7,9242$	0,43	$y = 0,7206x + 5,4701$	0,60	$y = 0,7053x + 5,5902$	0,55	$y = 0,7518x + 4,5288$	0,52

Tabela 13. Coeficiente de correlação e respectiva equação da relação entre valores de radiação solar medidos e estimados para as cidades do estado de Mato Grosso, MT.

Cidades Modelos	Cotriguaçu		Cuiabá		Gaúcha do Norte		Guarantã do Norte	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
1 Abraha e Savage	$y = 0,6737x + 5,4355$	0,63	$y = 0,7386x + 3,5832$	0,55	$y = 0,7518x + 4,4161$	0,65	$y = 0,632x + 5,3869$	0,53
2 Abraha Savage Weiss	$y = 0,7228x + 4,7501$	0,65	$y = 0,5886x + 7,3597$	0,32	$y = 0,7511x + 4,3982$	0,66	$y = 0,7285x + 4,7131$	0,58
3 Almorox	$y = 0,8721x + 2,2195$	0,64	$y = 0,3799x + 9,3702$	0,18	$y = 0,8552x + 2,531$	0,61	$y = 0,9215x + 1,4308$	0,61
4 Annandele	$y = 1,2141x - 3,4893$	0,55	$y = 0,8841x + 0,6985$	0,45	$y = 1,1662x - 3,0604$	0,59	$y = 1,1628x - 2,5268$	0,51
5 Bristow e Campbell	$y = 0,9278x + 1,3206$	0,68	$y = 0,8246x + 3,8079$	0,36	$y = 0,949x + 0,796$	0,68	$y = 0,9804x + 0,504$	0,63
6 Chen	$y = 1,1724x - 2,8757$	0,56	$y = 0,8595x + 0,9627$	0,44	$y = 1,1628x - 3,0301$	0,59	$y = 1,1575x - 3,8714$	0,54
7 De Jong e Stewart	$y = 0,9061x + 1,3595$	0,56	$y = 0,8343x + 1,1387$	0,49	$y = 0,9864x - 0,5713$	0,60	$y = 1,1607x - 3,4952$	0,53
8 Donatelli e Campbell	$y = 0,949x + 1,08$	0,67	$y = 0,9971x - 0,3567$	0,62	$y = 0,9629x + 0,8257$	0,66	$y = 0,9518x - 0,0067$	0,58
9 Goodin	$y = 1,0035x + 0,112$	0,69	$y = 0,9026x + 0,4009$	0,57	$y = 1,0142x - 0,2304$	0,66	$y = 1,0286x - 2,1063$	0,61
10 Hargreaves	$y = 1,2141x - 3,4893$	0,55	$y = 1,2111x - 1,2593$	0,40	$y = 1,169x - 3,0819$	0,59	$y = 1,2906x - 4,1283$	0,52
11 Hunt 1	$y = 1,2221x - 3,4631$	0,55	$y = 0,8962x + 0,4853$	0,45	$y = 1,169x - 3,0791$	0,59	$y = 1,2175x - 3,4417$	0,51
12 Hunt 2	$y = 1,2081x - 3,3947$	0,55	$y = 0,871x + 0,8311$	0,45	$y = 1,0732x - 2,1877$	0,58	$y = 1,1667x - 3,1704$	0,50
13 Mahmood e Hubbard	$y = 0,9089x + 1,6566$	0,56	$y = 1,2055x - 1,082$	0,51	$y = 0,8941x + 1,9634$	0,57	$y = 0,9214x + 1,6124$	0,47
14 Meza e Varas	$y = 0,6572x + 5,7289$	0,65	$y = 0,6774x + 4,039$	0,55	$y = 0,7234x + 4,9104$	0,66	$y = 0,6046x + 6,2382$	0,53
15 Thorton e Running	$y = 0,7454x + 4,4202$	0,56	$y = 1,0261x + 1,3616$	0,50	$y = 0,7646x + 4,3417$	0,58	$y = 0,7317x + 4,7587$	0,45

Tabela 13. Coeficiente de correlação e respectiva equação da relação entre valores de radiação solar medidos e estimados para as cidades do estado de Mato Grosso, MT.

Cidades Modelos	Guiratinga		Itiquira		Juara		Juína	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
1 Abraha e Savage	$y = 0,5819x + 6,3212$	0,35	$y = 0,8193x + 3,7$	0,64	$y = 0,6418x + 5,8679$	0,55	$y = 0,7243x + 4,557$	0,59
2 Abraha Savage Weiss	$y = 0,6394x + 5,7244$	0,49	$y = 0,782x + 4,4199$	0,67	$y = 0,7026x + 5,2151$	0,63	$y = 0,7641x + 4,2175$	0,65
3 Almorox	$y = 0,8458x + 2,5794$	0,49	$y = 0,9095x + 3,1669$	0,64	$y = 0,5785x + 7,3359$	0,42	$y = 0,8033x + 3,3835$	0,60
4 Annandele	$y = 1,1621x - 2,3662$	0,51	$y = 1,049x - 0,617$	0,61	$y = 1,2048x - 3,5758$	0,60	$y = 1,184x - 3,0554$	0,62
5 Bristow e Campbell	$y = 1,0255x - 0,0741$	0,56	$y = 0,9584x + 1,9322$	0,68	$y = 1,063x - 1,1448$	0,65	$y = 1,0158x - 0,187$	0,70
6 Chen	$y = 1,1916x - 2,8384$	0,50	$y = 1,0166x - 0,6004$	0,61	$y = 1,242x - 4,307$	0,59	$y = 1,1498x - 2,5982$	0,63
7 De Jong e Stewart	$y = 1,1083x - 1,3687$	0,51	$y = 0,9318x + 1,1286$	0,64	$y = 1,2728x - 4,956$	0,37	$y = 1,1887x - 3,1551$	0,62
8 Donatelli e Campbell	$y = 0,9746x + 0,5281$	0,53	$y = 0,9402x + 1,6149$	0,65	$y = 1,046x - 0,8846$	0,62	$y = 1,0004x + 0,1186$	0,68
9 Goodin	$y = 0,988x + 0,2874$	0,52	$y = 1,0558x - 0,7921$	0,67	$y = 1,091x - 1,6569$	0,63	$y = 1,0422x - 0,6255$	0,69
10 Hargreaves	$y = 1,1621x - 2,3662$	0,51	$y = 1,049x - 0,617$	0,61	$y = 1,1969x - 3,4954$	0,59	$y = 1,184x - 3,0554$	0,62
11 Hunt 1	$y = 1,1621x - 2,3292$	0,51	$y = 1,049x - 0,6148$	0,61	$y = 1,1969x - 3,4694$	0,59	$y = 1,1762x - 3,0373$	0,62
12 Hunt 2	$y = 1,1268x - 1,603$	0,50	$y = 1,0118x - 0,4517$	0,56	$y = 1,1539x - 2,9653$	0,59	$y = 1,1465x - 2,5085$	0,62
13 Mahmood e Hubbard	$y = 0,9781x + 0,678$	0,45	$y = 0,9625x + 1,1788$	0,63	$y = 0,8592x + 2,6337$	0,52	$y = 0,9469x + 1,1206$	0,57
14 Meza e Varas	$y = 0,5692x + 6,5428$	0,39	$y = 0,7824x + 4,356$	0,68	$y = 0,6305x + 6,1263$	0,59	$y = 0,7074x + 4,9072$	0,61
15 Thorton e Running	$y = 0,769x + 3,8882$	0,41	$y = 0,8415x + 3,5206$	0,64	$y = 0,6972x + 5,4265$	0,51	$y = 0,795x + 3,7451$	0,55

Tabela 13. Coeficiente de correlação e respectiva equação da relação entre valores de radiação solar medidos e estimados para as cidades do estado de Mato Grosso, MT.

Cidades Modelos	Nova Maringá		Nova Ubitatã		Novo Mundo		Pontes e Lacerda	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
1 Abraha e Savage	$y = 0,6104x + 6,333$	0,57	$y = 0,7275x + 4,9908$	0,63	$y = 0,7555x + 4,6933$	0,60	$y = 0,7953x + 3,841$	0,62
2 Abraha Savage Weiss	$y = 0,6696x + 5,5936$	0,66	$y = 0,7188x + 5,139$	0,65	$y = 0,7506x + 4,822$	0,62	$y = 0,7755x + 4,1386$	0,66
3 Almorox	$y = 0,9506x + 0,9103$	0,72	$y = 0,8469x + 2,7902$	0,62	$y = 0,8402x + 3,2536$	0,58	$y = 0,9302x + 1,337$	0,66
4 Annandele	$y = 1,1433x - 1,7234$	0,66	$y = 1,0823x - 1,57$	0,57	$y = 1,095x - 1,437$	0,52	$y = 1,1681x - 2,8251$	0,62
5 Bristow e Campbell	$y = 0,9365x + 1,1773$	0,73	$y = 0,8978x + 1,8501$	0,67	$y = 0,9206x + 1,7736$	0,62	$y = 0,9511x + 0,9952$	0,69
6 Chen	$y = 1,2851x - 4,262$	0,65	$y = 1,0796x - 1,6142$	0,57	$y = 1,1133x - 1,5923$	0,52	$y = 1,1327x - 2,8044$	0,63
7 De Jong e Stewart	$y = 1,2188x - 3,561$	0,63	$y = 1,0871x - 1,6237$	0,56	$y = 1,0097x + 0,2899$	0,56	$y = 1,0651x - 0,9275$	0,63
8 Donatelli e Campbell	$y = 0,9204x + 1,6887$	0,70	$y = 0,9238x + 1,5289$	0,65	$y = 0,942x + 1,4777$	0,60	$y = 0,9633x + 1,0721$	0,67
9 Goodin	$y = 0,9531x + 1,1291$	0,70	$y = 0,9821x + 0,4019$	0,66	$y = 1,0336x - 0,2998$	0,62	$y = 1,0007x + 0,3822$	0,67
10 Hargreaves	$y = 1,1433x - 1,7234$	0,66	$y = 1,0823x - 1,57$	0,57	$y = 1,095x - 1,437$	0,52	$y = 1,1681x - 2,8251$	0,62
11 Hunt 1	$y = 1,3464x - 5,2484$	0,66	$y = 1,0823x - 1,8673$	0,57	$y = 1,0884x - 1,4238$	0,52	$y = 1,1681x - 2,7962$	0,62
12 Hunt 2	$y = 1,0387x - 0,4239$	0,66	$y = 0,9568x + 0,6776$	0,58	$y = 1,1708x - 3,0661$	0,55	$y = 1,127x - 2,3892$	0,62
13 Mahmood e Hubbard	$y = 0,8682x + 2,5319$	0,58	$y = 0,8632x + 2,6367$	0,56	$y = 0,9069x + 2,0999$	0,54	$y = 0,9626x + 0,7792$	0,60
14 Meza e Varas	$y = 0,6091x + 6,4418$	0,60	$y = 0,6944x + 5,5994$	0,65	$y = 0,7282x + 5,1833$	0,62	$y = 0,7569x + 4,5947$	0,65
15 Thorton e Running	$y = 0,7266x + 4,79$	0,55	$y = 0,7353x + 5,0388$	0,57	$y = 0,7753x + 4,5332$	0,55	$y = 0,8283x + 3,2424$	0,60

Tabela 13. Coeficiente de correlação e respectiva equação da relação entre valores de radiação solar medidos e estimados para as cidades do estado de Mato Grosso, MT.

Cidades Modelos	Porto Estrela		Rondonópolis		Salto do Céu		Santo Antônio do Leste	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
1 Abraha e Savage	$y = 0,6241x + 7,0673$	0,57	$y = 0,7257x + 4,7089$	0,63	$y = 0,7716x + 4,1309$	0,64	$y = 0,787x + 4,1289$	0,61
2 Abraha Savage Weiss	$y = 0,6182x + 6,2547$	0,50	$y = 0,6981x + 6,3007$	0,66	$y = 0,7612x + 4,196$	0,67	$y = 0,7726x + 4,3355$	0,63
3 Almorox	$y = 0,7368x + 3,868$	0,53	$y = 0,7035x + 5,7242$	0,52	$y = 0,9361x + 1,27$	0,67	$y = 0,8618x + 2,6884$	0,59
4 Annandele	$y = 0,9524x + 1,3343$	0,58	$y = 1,0869x - 0,4717$	0,62	$y = 1,1655x - 2,5067$	0,60	$y = 1,0798x - 1,4453$	0,53
5 Bristow e Campbell	$y = 0,9566x + 0,7609$	0,74	$y = 0,966x + 1,6509$	0,71	$y = 0,9299x + 1,413$	0,70	$y = 0,9055x + 1,8527$	0,64
6 Chen	$y = 1,1239x - 1,8113$	0,62	$y = 1,0919x - 0,8601$	0,52	$y = 1,137x - 2,4737$	0,60	$y = 1,0641x - 1,3409$	0,53
7 De Jong e Stewart	$y = 0,8644x + 2,1516$	0,57	$y = 1,1233x - 1,3358$	0,56	$y = 1,0405x - 0,7053$	0,63	$y = 0,9927x - 0,1174$	0,54
8 Donatelli e Campbell	$y = 0,9457x + 1,2799$	0,71	$y = 1,011x + 0,1765$	0,68	$y = 1,0118x + 0,2788$	0,68	$y = 0,9652x + 0,8867$	0,62
9 Goodin	$y = 0,9995x + 0,2929$	0,74	$y = 1,0715x - 0,9666$	0,69	$y = 1,0589x - 0,6038$	0,70	$y = 1,0484x - 0,7852$	0,63
10 Hargreaves	$y = 0,9524x + 1,3343$	0,58	$y = 1,0869x - 0,4717$	0,62	$y = 1,1655x - 2,5067$	0,60	$y = 1,0798x - 1,4453$	0,53
11 Hunt 1	$y = 1,1146x - 1,6302$	0,58	$y = 1,6659x - 11,306$	0,62	$y = 1,1655x - 2,4922$	0,60	$y = 1,0662x - 1,4896$	0,53
12 Hunt 2	$y = 1,0623x - 0,8432$	0,57	$y = 1,183x - 3,4066$	0,60	$y = 1,0702x - 1,3033$	0,58	$y = 1,1387x - 2,922$	0,53
13 Mahmood e Hubbard	$y = 0,7159x + 5,5891$	0,44	$y = 0,8978x + 3,0917$	0,57	$y = 0,9706x + 0,7726$	0,61	$y = 0,8579x + 2,9201$	0,51
14 Meza e Varas	$y = 0,6138x + 6,3658$	0,56	$y = 0,6898x + 5,4103$	0,67	$y = 0,742x + 4,6937$	0,67	$y = 0,7506x + 4,8436$	0,63
15 Thorton e Running	$y = 0,6014x + 7,953$	0,40	$y = 0,7338x + 5,8205$	0,55	$y = 0,8268x + 3,2821$	0,61	$y = 0,753x + 4,9146$	0,53

Tabela 13. Coeficiente de correlação e respectiva equação da relação entre valores de radiação solar medidos e estimados para as cidades do estado de Mato Grosso, MT.

Cidades Modelos	São Félix do Araguaia		Sinop		Sorriso		Vila Bela da S. Trindade	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
1 Abraha e Savage	$y = 0,7498x + 4,5312$	0,69	$y = 0,7159x + 5,353$	0,66	$y = 0,639x + 6,4585$	0,52	$y = 0,796x + 3,6095$	0,65
2 Abraha Savage Weiss	$y = 0,724x + 5,7002$	0,69	$y = 0,651x + 6,7766$	0,72	$y = 0,6724x + 5,8245$	0,59	$y = 0,7827x + 3,8139$	0,71
3 Almorox	$y = 0,6948x + 5,6263$	0,60	$y = 0,7434x + 5,4421$	0,72	$y = 0,7444x + 4,5937$	0,54	$y = 0,8619x + 2,4597$	0,67
4 Annandele	$y = 1,0996x - 1,2355$	0,62	$y = 0,7013x + 6,4448$	0,58	$y = 1,0286x - 0,273$	0,51	$y = 1,0817x - 1,2723$	0,63
5 Bristow e Campbell	$y = 0,9289x + 1,5761$	0,74	$y = 0,7216x + 5,873$	0,67	$y = 0,8827x + 2,1903$	0,62	$y = 0,9413x + 1,0539$	0,73
6 Chen	$y = 1,0879x - 1,4771$	0,62	$y = 0,7749x + 4,723$	0,70	$y = 0,9892x - 0,2408$	0,52	$y = 1,0336x - 0,5355$	0,64
7 De Jong e Stewart	$y = 1,0101x + 0,2066$	0,64	$y = 0,6145x + 8,1131$	0,60	$y = 0,9629x + 0,5009$	0,46	$y = 0,9743x + 0,4409$	0,62
8 Donatelli e Campbell	$y = 0,9356x + 1,5212$	0,72	$y = 0,706x + 6,215$	0,67	$y = 0,8778x + 2,5097$	0,58	$y = 0,9375x + 1,4577$	0,71
9 Goodin	$y = 0,9928x + 0,3757$	0,74	$y = 0,9186x + 1,6606$	0,68	$y = 0,9936x + 0,4192$	0,61	$y = 0,9976x + 0,239$	0,72
10 Hargreaves	$y = 1,0996x - 1,2355$	0,62	$y = 0,712x + 6,1834$	0,59	$y = 1,0286x - 0,273$	0,51	$y = 1,0804x - 1,2678$	0,63
11 Hunt 1	$y = 1,0996x - 1,2921$	0,62	$y = 1,0208x - 0,403$	0,58	$y = 1,2499x - 4,3154$	0,51	$y = 1,0598x - 1,2644$	0,63
12 Hunt 2	$y = 1,0532x - 0,503$	0,61	$y = 1,0047x - 0,0909$	0,59	$y = 1,242x - 4,7448$	0,55	$y = 1,0926x - 2,2662$	0,63
13 Mahmood e Hubbard	$y = 0,8789x + 2,7476$	0,61	$y = 0,5545x + 9,5848$	0,39	$y = 0,8152x + 3,3303$	0,49	$y = 0,9032x + 1,7771$	0,61
14 Meza e Varas	$y = 0,727x + 5,0434$	0,72	$y = 0,6973x + 5,7283$	0,68	$y = 0,6265x + 6,6756$	0,55	$y = 0,7696x + 4,135$	0,70
15 Thorton e Running	$y = 0,7615x + 4,7746$	0,62	$y = 0,524x + 9,9821$	0,42	$y = 0,6834x + 5,7004$	0,49	$y = 0,7935x + 3,7337$	0,62

Tabela 14. 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.

Cidades Modelos	Água Boa		Alta Floresta		Apiacás		Campo Novo dos Parecis	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
1 Abraha e Savage	$y = 0,7614x + 0,8831$	0,76	$y = 0,7728x + 0,6579$	0,77	$y = 0,4915x + 1,6189$	0,43	$y = 0,4671x + 1,9512$	0,30
2 Abraha Savage Weiss	$y = 0,7372x + 0,9853$	0,78	$y = 0,7617x + 0,6933$	0,80	$y = 0,5268x + 1,5301$	0,48	$y = 0,5389x + 1,7018$	0,44
3 Almorox	$y = 0,8258x + 0,6244$	0,77	$y = 0,9483x + 0,0333$	0,78	$y = 0,6646x + 0,9822$	0,39	$y = 0,7698x + 0,804$	0,51
4 Annandele	$y = 0,9462x + 0,1626$	0,72	$y = 1,0127x - 0,1761$	0,76	$y = 0,6971x + 0,9558$	0,38	$y = 0,7958x + 0,735$	0,49
5 Bristow e Campbell	$y = 0,8264x + 0,6162$	0,77	$y = 0,8948x + 0,1978$	0,80	$y = 0,683x + 0,9854$	0,53	$y = 0,7561x + 0,8573$	0,52
6 Chen	$y = 0,8772x + 0,4792$	0,75	$y = 0,9969x - 0,1393$	0,77	$y = 0,6765x + 1,0062$	0,39	$y = 0,8422x + 0,5261$	0,51
7 De Jong e Stewart	$y = 0,8938x + 0,4012$	0,76	$y = 0,9524x + 0,0455$	0,77	$y = 0,6924x + 0,9336$	0,38	$y = 0,8367x + 0,512$	0,51
8 Donatelli e Campbell	$y = 0,8532x + 0,5403$	0,75	$y = 0,8723x + 0,3236$	0,78	$y = 0,6753x + 1,0389$	0,50	$y = 0,7742x + 0,7608$	0,52
9 Goodin	$y = 0,8757x + 0,4379$	0,77	$y = 0,8881x + 0,2428$	0,79	$y = 0,7299x + 0,8478$	0,53	$y = 0,805x + 0,6332$	0,53
10 Hargreaves	$y = 0,9462x + 0,1626$	0,72	$y = 1,0054x - 0,2218$	0,76	$y = 0,6971x + 0,9558$	0,38	$y = 0,7969x + 0,7381$	0,49
11 Hunt 1	$y = 0,9236x + 0,2594$	0,72	$y = 1,0128x - 0,1564$	0,76	$y = 0,7191x + 0,8757$	0,38	$y = 0,8272x + 0,6045$	0,49
12 Hunt 2	$y = 0,8941x + 0,3872$	0,76	$y = 0,9628x - 0,0381$	0,75	$y = 0,7543x + 0,7514$	0,38	$y = 0,8466x + 0,5282$	0,48
13 Mahmood e Hubbard	$y = 0,8702x + 0,4975$	0,75	$y = 0,9105x + 0,1695$	0,78	$y = 0,5564x + 1,445$	0,35	$y = 0,6997x + 1,1453$	0,43
14 Meza e Varas	$y = 0,7279x + 1,012$	0,78	$y = 0,743x + 0,7843$	0,79	$y = 0,4939x + 1,6184$	0,47	$y = 0,4865x + 1,9224$	0,36
15 Thorton e Running	$y = 0,7925x + 0,8025$	0,76	$y = 0,8213x + 0,5234$	0,78	$y = 0,4851x + 1,6873$	0,36	$y = 0,6061x + 1,5148$	0,40
16 kr1	$y = 0,949x + 0,1739$	0,71	$y = 0,9994x - 0,2577$	0,76	$y = 0,6786x + 0,919$	0,38	$y = 0,7474x + 0,615$	0,51
17 kr2	$y = 0,9347x + 0,1098$	0,72	$y = 0,9917x - 0,3895$	0,77	$y = 0,653x + 0,8975$	0,37	$y = 0,7413x + 0,5534$	0,51
18 kr3	$y = 0,7579x + 0,8319$	0,46	$y = 0,7434x + 0,6466$	0,47	$y = 0,0934x + 3,0554$	0,02	$y = 0,6059x + 1,0999$	0,34
19 Bristow e Campbell 2	$y = 0,872x + 0,0932$	0,62	$y = 0,9693x - 0,6377$	0,70	$y = 0,6476x + 0,7835$	0,40	$y = 0,751x + 0,2997$	0,56
20 Weiss	$y = 0,6808x + 1,8873$	0,67	$y = 0,7163x + 1,6133$	0,68	$y = 0,3903x + 2,3407$	0,29	$y = 0,4096x + 2,3391$	0,23

Tabela 14. 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.

Cidades Modelos	Campo Verde		Carlinda		Comodoro		Confresa	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
1 Abraha e Savage	$y = 0,5976x + 1,4167$	0,47	$y = 0,5799x + 1,516$	0,57	$y = 0,3701x + 1,6133$	0,34	$y = 0,5569x + 1,6261$	0,52
2 Abraha Savage Weiss	$y = 0,591x + 1,3992$	0,50	$y = 0,5978x + 1,4596$	0,61	$y = 0,5408x + 1,5408$	0,43	$y = 0,5495x + 1,6285$	0,56
3 Almorox	$y = 0,6162x + 1,1832$	0,40	$y = 0,7109x + 1,0446$	0,58	$y = 0,6488x + 1,18$	0,39	$y = 0,6882x + 1,097$	0,54
4 Annandele	$y = 0,6597x + 1,1466$	0,50	$y = 0,8129x + 0,6796$	0,48	$y = 0,7116x + 0,9826$	0,32	$y = 0,7892x + 0,7729$	0,45
5 Bristow e Campbell	$y = 0,6043x + 1,239$	0,39	$y = 0,7081x + 1,0557$	0,59	$y = 0,6468x + 1,1865$	0,39	$y = 0,6948x + 1,0802$	0,55
6 Chen	$y = 0,6075x + 1,2054$	0,38	$y = 0,7916x + 0,6672$	0,49	$y = 0,7063x + 0,9704$	0,32	$y = 0,7897x + 0,7799$	0,45
7 De Jong e Stewart	$y = 0,5969x + 1,2414$	0,37	$y = 0,7653x + 0,8887$	0,55	$y = 0,7047x + 0,9748$	0,41	$y = 0,7576x + 0,8086$	0,47
8 Donatelli e Campbell	$y = 0,56x + 1,3993$	0,33	$y = 0,6974x + 1,113$	0,56	$y = 0,6475x + 1,193$	0,33	$y = 0,7109x + 1,0558$	0,53
9 Goodin	$y = 0,5594x + 1,3943$	0,33	$y = 0,7712x + 0,8288$	0,59	$y = 0,7455x + 0,8632$	0,37	$y = 0,7266x + 0,9911$	0,53
10 Hargreaves	$y = 0,6716x + 1,1963$	0,50	$y = 0,8129x + 0,6796$	0,48	$y = 0,7116x + 0,9826$	0,32	$y = 0,7892x + 0,7729$	0,45
11 Hunt 1	$y = 0,6723x + 1,1972$	0,50	$y = 0,8129x + 0,6643$	0,48	$y = 0,7116x + 0,9841$	0,32	$y = 0,7892x + 0,7705$	0,45
12 Hunt 2	$y = 0,6545x + 1,1109$	0,50	$y = 0,8647x + 0,4547$	0,51	$y = 0,6907x + 1,0269$	0,32	$y = 0,7874x + 0,7138$	0,45
13 Mahmood e Hubbard	$y = 0,6411x + 1,3175$	0,50	$y = 0,7121x + 1,0708$	0,53	$y = 0,7024x + 1,0959$	0,36	$y = 0,692x + 1,1304$	0,48
14 Meza e Varas	$y = 0,5881x + 1,5731$	0,50	$y = 0,5735x + 1,5363$	0,60	$y = 0,5117x + 1,6473$	0,40	$y = 0,5341x + 1,7044$	0,55
15 Thorton e Running	$y = 0,6023x + 1,4659$	0,51	$y = 0,622x + 1,4028$	0,55	$y = 0,621x + 1,371$	0,37	$y = 0,6101x + 1,4458$	0,51
16 kr1	$y = 0,6991x + 1,3304$	0,49	$y = 0,8263x + 0,7165$	0,48	$y = 0,6744x + 0,9068$	0,33	$y = 0,7631x + 0,6547$	0,46
17 kr2	$y = 0,6952x + 1,302$	0,49	$y = 0,8062x + 0,655$	0,48	$y = 0,6577x + 0,9021$	0,33	$y = 0,7463x + 0,579$	0,47
18 kr3	$y = 0,6397x + 1,568$	0,41	$y = 0,3669x + 2,3004$	0,10	$y = 0,3846x + 1,8645$	0,11	$y = 0,427x + 1,9528$	0,16
19 Bristow e Campbell 2	$y = 0,6218x + 1,3079$	0,42	$y = 0,7094x + 0,7943$	0,43	$y = 0,5461x + 1,0878$	0,29	$y = 0,6996x + 0,5721$	0,40
20 Weiss	$y = 0,5275x + 2,4483$	0,38	$y = 0,5148x + 2,3641$	0,44	$y = 0,5037x + 2,0238$	0,29	$y = 0,4687x + 2,3293$	0,41

Tabela 14. 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.

Cidades Modelos	Cotriguaçu		Cuiabá		Gáúcha do Norte		Guarantã do Norte	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
1 Abraha e Savage	$y = 0,5591x + 1,4194$	0,53	$y = 0,5451x + 1,6063$	0,49	$y = 0,6201x + 1,3329$	0,54	$y = 0,4443x + 1,7497$	0,32
2 Abraha Savage Weiss	$y = 0,5722x + 1,3774$	0,56	$y = 0,4943x + 1,8077$	0,60	$y = 0,6026x + 1,3695$	0,58	$y = 0,5106x + 1,5983$	0,41
3 Almorox	$y = 0,7076x + 0,9136$	0,55	$y = 0,61x + 1,3716$	0,64	$y = 0,7265x + 0,8968$	0,56	$y = 0,6449x + 1,1184$	0,37
4 Annandele	$y = 0,8587x + 0,4459$	0,41	$y = 0,693x + 1,0938$	0,61	$y = 0,8555x + 0,4795$	0,46	$y = 0,7444x + 0,8779$	0,26
5 Bristow e Campbell	$y = 0,6982x + 0,9538$	0,56	$y = 0,6427x + 1,2577$	0,65	$y = 0,7194x + 0,9297$	0,55	$y = 0,6378x + 1,1521$	0,37
6 Chen	$y = 0,853x + 0,4544$	0,42	$y = 0,6953x + 1,0819$	0,61	$y = 0,8539x + 0,4763$	0,46	$y = 0,717x + 0,755$	0,29
7 De Jong e Stewart	$y = 0,7605x + 0,7327$	0,48	$y = 0,6943x + 1,0639$	0,61	$y = 0,8059x + 0,535$	0,53	$y = 0,7497x + 0,7157$	0,26
8 Donatelli e Campbell	$y = 0,7046x + 0,9481$	0,53	$y = 0,6385x + 1,2506$	0,62	$y = 0,7226x + 0,9557$	0,53	$y = 0,6239x + 1,1263$	0,31
9 Goodin	$y = 0,7442x + 0,8099$	0,55	$y = 0,6396x + 1,2457$	0,62	$y = 0,7423x + 0,863$	0,52	$y = 0,6416x + 0,9449$	0,31
10 Hargreaves	$y = 0,8587x + 0,4459$	0,41	$y = 0,693x + 1,0938$	0,61	$y = 0,8555x + 0,4795$	0,46	$y = 0,7444x + 0,8779$	0,26
11 Hunt 1	$y = 0,8622x + 0,4582$	0,40	$y = 0,6909x + 1,0843$	0,61	$y = 0,8555x + 0,4799$	0,46	$y = 0,7541x + 0,8402$	0,25
12 Hunt 2	$y = 0,8504x + 0,4716$	0,40	$y = 0,6883x + 1,0911$	0,61	$y = 0,8143x + 0,4909$	0,47	$y = 0,7542x + 0,7808$	0,26
13 Mahmood e Hubbard	$y = 0,7932x + 0,6951$	0,48	$y = 0,6765x + 1,1682$	0,61	$y = 0,7918x + 0,7555$	0,51	$y = 0,6386x + 1,222$	0,28
14 Meza e Varas	$y = 0,5457x + 1,464$	0,56	$y = 0,5146x + 1,7036$	0,54	$y = 0,5974x + 1,4082$	0,57	$y = 0,4405x + 1,8336$	0,34
15 Thorton e Running	$y = 0,6756x + 1,0884$	0,51	$y = 0,6361x + 1,3196$	0,60	$y = 0,6973x + 1,1062$	0,54	$y = 0,5526x + 1,5242$	0,30
16 kr1	$y = 0,8064x + 0,3335$	0,43	$y = 0,5988x + 0,7195$	0,64	$y = 0,8439x + 0,4353$	0,47	$y = 0,6912x + 0,571$	0,31
17 kr2	$y = 0,7828x + 0,2808$	0,44	$y = 0,577x + 0,714$	0,64	$y = 0,8267x + 0,3703$	0,48	$y = 0,6731x + 0,5229$	0,32
18 kr3	$y = 0,2596x + 2,2838$	0,04	$y = 0,5664x + 0,8147$	0,49	$y = 0,4783x + 1,7807$	0,14	$y = 0,2402x + 2,3312$	0,04
19 Bristow e Campbell 2	$y = 0,5897x + 0,8165$	0,32	$y = 0,5664x + 0,8147$	0,49	$y = 0,6551x + 0,8516$	0,38	$y = 0,5972x + 0,6626$	0,27
20 Weiss	$y = 0,5048x + 1,977$	0,42	$y = 0,4612x + 1,7827$	0,44	$y = 0,5273x + 2,2099$	0,38	$y = 0,3679x + 2,2219$	0,23

Tabela 14. 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.

Cidades Modelos	Guiratinga		Itiquira		Juara		Juína	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
1 Abraha e Savage	$y = 0,5392x + 1,4961$	0,33	$y = 0,7858x + 0,7856$	0,71	$y = 0,4833x + 1,8281$	0,37	$y = 0,5687x + 1,4419$	0,43
2 Abraha Savage Weiss	$y = 0,554x + 1,4575$	0,47	$y = 0,7484x + 0,9329$	0,74	$y = 0,5445x + 1,6354$	0,50	$y = 0,5989x + 1,3766$	0,51
3 Almorox	$y = 0,7729x + 0,7491$	0,48	$y = 0,8559x + 0,6959$	0,73	$y = 0,7136x + 0,9923$	0,50	$y = 0,7955x + 0,6703$	0,52
4 Annandele	$y = 0,8218x + 0,6065$	0,43	$y = 0,909x + 0,2641$	0,69	$y = 0,7706x + 0,8067$	0,44	$y = 0,9088x + 0,3171$	0,42
5 Bristow e Campbell	$y = 0,7852x + 0,7231$	0,47	$y = 0,8546x + 0,6387$	0,73	$y = 0,7161x + 0,9926$	0,49	$y = 0,7995x + 0,6623$	0,52
6 Chen	$y = 0,8285x + 0,5764$	0,42	$y = 0,8944x + 0,2204$	0,70	$y = 0,7792x + 0,7683$	0,44	$y = 0,8913x + 0,3574$	0,43
7 De Jong e Stewart	$y = 0,8127x + 0,6724$	0,43	$y = 0,8503x + 0,4408$	0,73	$y = 0,7417x + 0,8364$	0,35	$y = 0,9097x + 0,3101$	0,42
8 Donatelli e Campbell	$y = 0,7677x + 0,7451$	0,46	$y = 0,8554x + 0,5171$	0,71	$y = 0,7117x + 1,005$	0,48	$y = 0,7896x + 0,6973$	0,50
9 Goodin	$y = 0,7721x + 0,7241$	0,46	$y = 0,8883x + 0,3515$	0,73	$y = 0,7107x + 1,0071$	0,47	$y = 0,8172x + 0,5997$	0,51
10 Hargreaves	$y = 0,8218x + 0,6065$	0,43	$y = 0,909x + 0,2641$	0,69	$y = 0,7706x + 0,8067$	0,44	$y = 0,9088x + 0,3171$	0,42
11 Hunt 1	$y = 0,8219x + 0,6118$	0,43	$y = 0,909x + 0,2645$	0,69	$y = 0,7706x + 0,8102$	0,44	$y = 0,905x + 0,3113$	0,43
12 Hunt 2	$y = 0,8107x + 0,6744$	0,42	$y = 0,8667x + 0,3409$	0,65	$y = 0,7607x + 0,8116$	0,45	$y = 0,8854x + 0,3793$	0,42
13 Mahmood e Hubbard	$y = 0,7658x + 0,8499$	0,40	$y = 0,8598x + 0,5209$	0,72	$y = 0,6657x + 1,253$	0,41	$y = 0,7683x + 0,8371$	0,41
14 Meza e Varas	$y = 0,53x + 1,5223$	0,38	$y = 0,7526x + 0,9125$	0,74	$y = 0,4724x + 1,8725$	0,40	$y = 0,5595x + 1,4813$	0,46
15 Thorton e Running	$y = 0,6774x + 1,1417$	0,40	$y = 0,7982x + 0,7868$	0,73	$y = 0,5722x + 1,593$	0,39	$y = 0,9088x + 0,3171$	0,42
16 kr1	$y = 0,7451x + 0,3306$	0,47	$y = 0,9239x + 0,3165$	0,69	$y = 0,7499x + 0,6667$	0,46	$y = 0,8741x + 0,2455$	0,44
17 kr2	$y = 0,7384x + 0,2634$	0,48	$y = 0,9135x + 0,2689$	0,69	$y = 0,7357x + 0,5899$	0,46	$y = 0,8452x + 0,2203$	0,44
18 kr3	$y = 0,5462x + 1,0573$	0,26	$y = 0,823x + 0,6728$	0,55	$y = 0,4501x + 1,7684$	0,18	$y = 0,4026x + 1,9241$	0,09
19 Bristow e Campbell 2	$y = 0,6772x + 0,2792$	0,47	$y = 0,8814x + 0,0915$	0,63	$y = 0,6926x + 0,5305$	0,48	$y = 0,7716x + 0,2188$	0,44
20 Weiss	$y = 0,4036x + 2,0134$	0,20	$y = 0,7418x + 1,7707$	0,66	$y = 0,3842x + 2,5506$	0,23	$y = 0,4242x + 2,3682$	0,23

Tabela 14. 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.

Cidades Modelos	Nova Maringá		Nova Ubiratã		Novo Mundo		Pontes e Lacerda	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
1 Abraha e Savage	$y = 0,395x + 2,2317$	0,20	$y = 0,6937x + 1,1301$	0,70	$y = 0,7396x + 0,9607$	0,71	$y = 0,6927x + 1,1527$	0,55
2 Abraha Savage Weiss	$y = 0,4464x + 2,0367$	0,33	$y = 0,6792x + 1,1673$	0,72	$y = 0,719x + 1,0349$	0,75	$y = 0,6682x + 1,2129$	0,61
3 Almorox	$y = 0,629x + 1,3836$	0,41	$y = 0,796x + 0,6946$	0,71	$y = 0,8098x + 0,7091$	0,74	$y = 0,7895x + 0,739$	0,61
4 Annandele	$y = 0,6874x + 1,3422$	0,38	$y = 0,9058x + 0,2932$	0,67	$y = 0,8787x + 0,4711$	0,69	$y = 0,9101x + 0,3367$	0,56
5 Bristow e Campbell	$y = 0,6658x + 1,2355$	0,43	$y = 0,7914x + 0,7178$	0,71	$y = 0,8132x + 0,7027$	0,74	$y = 0,7743x + 0,804$	0,62
6 Chen	$y = 0,7006x + 1,2801$	0,40	$y = 0,905x + 0,2796$	0,67	$y = 0,8838x + 0,4809$	0,69	$y = 0,8922x + 0,2991$	0,57
7 De Jong e Stewart	$y = 0,6747x + 1,3184$	0,39	$y = 0,9081x + 0,2876$	0,66	$y = 0,8502x + 0,6077$	0,72	$y = 0,8879x + 0,448$	0,59
8 Donatelli e Campbell	$y = 0,6763x + 1,2242$	0,43	$y = 0,8092x + 0,6741$	0,70	$y = 0,8336x + 0,6441$	0,72	$y = 0,7759x + 0,8443$	0,58
9 Goodin	$y = 0,6917x + 1,1681$	0,43	$y = 0,8282x + 0,5943$	0,70	$y = 0,8502x + 0,5725$	0,72	$y = 0,7911x + 0,788$	0,58
10 Hargreaves	$y = 0,6874x + 1,3422$	0,38	$y = 0,9058x + 0,2932$	0,67	$y = 0,8787x + 0,4711$	0,69	$y = 0,9101x + 0,3367$	0,56
11 Hunt 1	$y = 0,7315x + 1,1835$	0,35	$y = 0,9057x + 0,2435$	0,67	$y = 0,877x + 0,4596$	0,69	$y = 0,9102x + 0,341$	0,56
12 Hunt 2	$y = 0,6567x + 1,3848$	0,40	$y = 0,846x + 0,5286$	0,69	$y = 0,8923x + 0,389$	0,70	$y = 0,89x + 0,3571$	0,56
13 Mahmood e Hubbard	$y = 0,5959x + 1,6359$	0,29	$y = 0,8196x + 0,6966$	0,69	$y = 0,8168x + 0,7209$	0,71	$y = 0,8622x + 0,5416$	0,58
14 Meza e Varas	$y = 0,4184x + 2,1399$	0,25	$y = 0,6679x + 1,2266$	0,71	$y = 0,7112x + 1,0594$	0,74	$y = 0,6621x + 1,2686$	0,60
15 Thorton e Running	$y = 0,493x + 1,9798$	0,26	$y = 0,7399x + 1,0151$	0,70	$y = 0,7528x + 0,9572$	0,72	$y = 0,769x + 0,8904$	0,59
16 kr1	$y = 0,6344x + 1,1612$	0,40	$y = 0,9037x + 0,2832$	0,67	$y = 0,8889x + 0,5607$	0,69	$y = 0,884x + 0,2798$	0,57
17 kr2	$y = 0,6198x + 1,1131$	0,41	$y = 0,8919x + 0,2153$	0,67	$y = 0,8803x + 0,4785$	0,69	$y = 0,8577x + 0,2317$	0,58
18 kr3	$y = 0,4017x + 2,1093$	0,18	$y = 0,7046x + 0,9752$	0,42	$y = 0,7214x + 1,1034$	0,45	$y = 0,6753x + 1,0355$	0,30
19 Bristow e Campbell 2	$y = 0,5729x + 1,1644$	0,44	$y = 0,8445x + 0,1608$	0,59	$y = 0,8395x + 0,3585$	0,64	$y = 0,7374x + 0,5013$	0,51
20 Weiss	$y = 0,176x + 3,1881$	0,04	$y = 0,6136x + 2,0368$	0,61	$y = 0,6517x + 2,0363$	0,60	$y = 0,6255x + 1,9181$	0,39

Tabela 14. 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.

Cidades Modelos	Porto Estrela		Rondonópolis		Salto do Céu		Santo Antônio do Leste	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
1 Abraha e Savage	$y = 0,6214x + 1,3946$	0,48	$y = 0,6965x + 1,1309$	0,57	$y = 0,6641x + 1,1954$	0,54	$y = 0,7164x + 1,0745$	0,66
2 Abraha Savage Weiss	$y = 0,6257x + 1,5671$	0,56	$y = 0,679x + 1,3565$	0,64	$y = 0,6405x + 1,2375$	0,59	$y = 0,7014x + 1,1098$	0,69
3 Almorox	$y = 0,7738x + 0,7539$	0,55	$y = 0,8053x + 0,6099$	0,64	$y = 0,7347x + 0,8839$	0,59	$y = 0,7825x + 0,7694$	0,68
4 Annandele	$y = 0,8674x + 0,6712$	0,54	$y = 0,931x + 0,3953$	0,59	$y = 0,8261x + 0,599$	0,51	$y = 0,8777x + 0,4289$	0,63
5 Bristow e Campbell	$y = 0,801x + 0,6937$	0,62	$y = 0,8185x + 0,7505$	0,64	$y = 0,7194x + 0,9387$	0,59	$y = 0,7758x + 0,8085$	0,67
6 Chen	$y = 0,8875x + 0,4831$	0,51	$y = 0,9085x + 0,3398$	0,53	$y = 0,8157x + 0,5683$	0,51	$y = 0,8722x + 0,4198$	0,63
7 De Jong e Stewart	$y = 0,8318x + 0,6694$	0,55	$y = 0,9278x + 0,2887$	0,57	$y = 0,8254x + 0,5844$	0,56	$y = 0,8477x + 0,5007$	0,64
8 Donatelli e Campbell	$y = 0,7969x + 0,7419$	0,60	$y = 0,8371x + 0,5642$	0,60	$y = 0,7606x + 0,8368$	0,55	$y = 0,8082x + 0,7148$	0,65
9 Goodin	$y = 0,8251x + 0,6391$	0,61	$y = 0,8693x + 0,4333$	0,61	$y = 0,785x + 0,7371$	0,56	$y = 0,8305x + 0,6168$	0,67
10 Hargreaves	$y = 0,8674x + 0,6712$	0,54	$y = 0,931x + 0,3953$	0,59	$y = 0,8261x + 0,599$	0,51	$y = 0,8777x + 0,4289$	0,63
11 Hunt 1	$y = 0,9393x + 0,3881$	0,51	$y = 1,096x - 0,3235$	0,52	$y = 0,8261x + 0,6009$	0,51	$y = 0,8732x + 0,3974$	0,63
12 Hunt 2	$y = 0,8182x + 0,7626$	0,44	$y = 0,9602x + 0,0548$	0,57	$y = 0,7831x + 0,678$	0,50	$y = 0,8858x + 0,3478$	0,62
13 Mahmood e Hubbard	$y = 0,82x + 0,973$	0,50	$y = 0,9294x + 0,583$	0,60	$y = 0,8206x + 0,6741$	0,55	$y = 0,8046x + 0,7726$	0,66
14 Meza e Varas	$y = 0,6099x + 1,4407$	0,53	$y = 0,6718x + 1,2223$	0,62	$y = 0,6379x + 1,2868$	0,59	$y = 0,6911x + 1,1736$	0,69
15 Thorton e Running	$y = 0,7406x + 1,3745$	0,48	$y = 0,8382x + 0,9283$	0,61	$y = 0,7469x + 0,9488$	0,57	$y = 0,7384x + 1,0306$	0,67
16 kr1	$y = 0,8144x + 0,5401$	0,56	$y = 0,8551x + 0,2259$	0,62	$y = 0,7789x + 0,4641$	0,53	$y = 0,8882x + 0,4912$	0,62
17 kr2	$y = 0,7884x + 0,4756$	0,57	$y = 0,8335x + 0,1685$	0,63	$y = 0,7616x + 0,4027$	0,54	$y = 0,8815x + 0,4459$	0,62
18 kr3	$y = 0,6161x + 1,2306$	0,33	$y = 0,7006x + 0,7932$	0,43	$y = 0,6184x + 1,0086$	0,31	$y = 0,7212x + 1,0852$	0,41
19 Bristow e Campbell 2	$y = 0,7838x + 0,2909$	0,60	$y = 0,7537x + 0,2988$	0,55	$y = 0,6618x + 0,5956$	0,46	$y = 0,8475x + 0,277$	0,55
20 Weiss	$y = 0,5494x + 2,0761$	0,31	$y = 0,6645x + 1,6479$	0,46	$y = 0,6478x + 1,6192$	0,45	$y = 0,6335x + 2,1385$	0,58

Tabela 14. 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.

Cidades Modelos	São Félix do Araguaia		Sinop		Sorriso		Vila Bela da S. Trindade	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
1 Abraha e Savage	$y = 0,6561x + 1,3168$	0,60	$y = 0,6159x + 1,1343$	0,68	$y = 0,6034x + 1,4331$	0,50	$y = 0,7259x + 0,9072$	0,54
2 Abraha Savage Weiss	$y = 0,6276x + 1,5142$	0,66	$y = 0,607x + 1,0878$	0,68	$y = 0,6137x + 1,3677$	0,60	$y = 0,6925x + 0,9981$	0,63
3 Almorox	$y = 0,7637x + 0,9314$	0,63	$y = 0,6455x + 0,9779$	0,61	$y = 0,7627x + 0,805$	0,61	$y = 0,7941x + 0,6243$	0,62
4 Annandele	$y = 0,9029x + 0,4841$	0,56	$y = 0,6554x + 1,0764$	0,62	$y = 0,8352x + 0,5907$	0,55	$y = 0,9132x + 0,2823$	0,55
5 Bristow e Campbell	$y = 0,7624x + 0,9386$	0,64	$y = 0,4946x + 1,4118$	0,34	$y = 0,7526x + 0,8517$	0,62	$y = 0,7898x + 0,6466$	0,62
6 Chen	$y = 0,8949x + 0,4354$	0,56	$y = 0,5821x + 1,1373$	0,45	$y = 0,8187x + 0,5361$	0,55	$y = 0,9036x + 0,3048$	0,57
7 De Jong e Stewart	$y = 0,8767x + 0,5713$	0,59	$y = 0,3863x + 1,8504$	0,24	$y = 0,7959x + 0,6632$	0,51	$y = 0,8827x + 0,3679$	0,56
8 Donatelli e Campbell	$y = 0,7649x + 0,9365$	0,60	$y = 0,4963x + 1,4157$	0,34	$y = 0,7534x + 0,8841$	0,59	$y = 0,7813x + 0,7293$	0,58
9 Goodin	$y = 0,804x + 0,7669$	0,63	$y = 0,7178x + 0,6154$	0,54	$y = 0,8091x + 0,6731$	0,61	$y = 0,8239x + 0,5622$	0,59
10 Hargreaves	$y = 0,9029x + 0,4841$	0,56	$y = 0,6534x + 1,0702$	0,62	$y = 0,8352x + 0,5907$	0,55	$y = 0,9132x + 0,2823$	0,55
11 Hunt 1	$y = 0,9028x + 0,4747$	0,56	$y = 0,8116x + 0,3736$	0,59	$y = 0,9097x + 0,2961$	0,54	$y = 0,9005x + 0,2596$	0,56
12 Hunt 2	$y = 0,8778x + 0,5597$	0,55	$y = 0,7693x + 0,4855$	0,53	$y = 0,9105x + 0,2095$	0,56	$y = 0,9125x + 0,1458$	0,55
13 Mahmood e Hubbard	$y = 0,8236x + 0,8297$	0,59	$y = 0,6602x + 1,1864$	0,65	$y = 0,7665x + 0,8379$	0,55	$y = 0,8963x + 0,3607$	0,58
14 Meza e Varas	$y = 0,6389x + 1,3978$	0,64	$y = 0,61x + 1,1691$	0,70	$y = 0,5916x + 1,4734$	0,54	$y = 0,6982x + 1,0097$	0,60
15 Thorton e Running	$y = 0,7345x + 1,1493$	0,60	$y = 0,6116x + 1,3479$	0,67	$y = 0,6714x + 1,1974$	0,53	$y = 0,7971x + 0,7029$	0,59
16 kr1	$y = 0,8722x + 0,4213$	0,57	$y = 0,6984x + 1,2139$	0,61	$y = 0,8116x + 0,5094$	0,55	$y = 0,8895x + 0,24$	0,56
17 kr2	$y = 0,842x + 0,3991$	0,57	$y = 0,6842x + 1,1661$	0,61	$y = 0,7952x + 0,4518$	0,55	$y = 0,8596x + 0,1843$	0,57
18 kr3	$y = 0,5968x + 1,3794$	0,25	$y = 0,5592x + 1,6174$	0,42	$y = 0,5526x + 1,4664$	0,26	$y = 0,6522x + 1,065$	0,30
19 Bristow e Campbell 2	$y = 0,7788x + 0,3998$	0,54	$y = 0,6582x + 1,052$	0,57	$y = 0,7155x + 0,5397$	0,52	$y = 0,7355x + 0,473$	0,50
20 Weiss	$y = 0,6461x + 2,0154$	0,52	$y = 0,6354x + 1,9608$	0,56	$y = 0,522x + 2,1453$	0,38	$y = 0,6953x + 1,5899$	0,40

Tabela 15. Coeficiente de correlação e respectiva equação da relação entre valores de evapotranspiração de referência estimados pelo modelo de Penman Monteith e estimados pelos modelos estudados para as cidades do estado de Mato Grosso, MT.

Cidades Modelos	Água Boa		Alta Floresta		Apiacás		Campo Novo dos Parecis	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
1 PM (Bristow Campbell)	$y = 0,8264x + 0,6162$	0,77	$y = 0,8948x + 0,1978$	0,80	$y = 0,683x + 0,9854$	0,53	$y = 0,7561x + 0,8573$	0,52
2 Hargreaves e Samani	$y = 1,0062x - 0,7537$	0,61	$y = 1,1432x - 1,8295$	0,72	$y = 0,6182x + 0,4897$	0,41	$y = 0,7935x - 0,0471$	0,58
3 Camargo	$y = 0,5705x + 1,648$	0,13	$y = 1,1148x - 1,0194$	0,31	$y = 0,6008x + 0,9999$	0,17	$y = 0,841x + 0,3436$	0,50
4 Makkink	$y = 0,0423x + 3,7053$	0,00	$y = 0,285x + 1,8388$	0,04	$y = 0,1647x + 2,4689$	0,03	$y = 0,5086x + 0,7589$	0,28
5 Linacre	$y = 0,5375x + 1,3665$	0,63	$y = 0,6136x + 0,9964$	0,71	$y = 0,3901x + 1,6428$	0,29	$y = 0,4521x + 1,388$	0,40
6 McGinnes-Bordne's	$y = 1,02x + 0,4671$	0,66	$y = 1,0879x - 0,0585$	0,67	$y = 0,7617x + 0,8881$	0,52	$y = 1,0344x + 0,5191$	0,60
7 Romanenko	$y = 0,2453x + 2,6203$	0,58	$y = 0,2987x + 2,4287$	0,71	$y = 0,1874x + 2,5605$	0,30	$y = 0,211x + 2,3696$	0,35
8 Turc	$y = 0,8749x + 0,2547$	0,87	$y = 0,9596x - 0,1901$	0,91	$y = 0,829x + 0,225$	0,87	$y = 0,846x + 0,4657$	0,84
9 Holdridge	$y = 2,8668x - 7,6857$	0,60	$y = 3,6091x - 11,007$	0,72	$y = 0,9457x - 0,5011$	0,15	$y = 1,4806x - 2,3486$	0,46
10 Radiação Solar	$y = 0,78x + 0,6329$	0,80	$y = 0,839x + 0,3229$	0,83	$y = 0,6278x + 1,0211$	0,62	$y = 0,7739x + 0,7346$	0,60
11 Jensen-Haise	$y = 0,6294x + 0,498$	0,66	$y = 0,6743x - 0,0414$	0,67	$y = 0,4694x + 0,9112$	0,52	$y = 0,6359x + 0,5581$	0,60
12 Hansen	$y = 0,9306x + 0,223$	0,61	$y = 0,9535x - 0,1596$	0,59	$y = 0,6997x + 0,7293$	0,51	$y = 0,9509x + 0,2734$	0,53
13 Caprio	$y = 1,0138x + 0,5261$	0,67	$y = 1,0901x - 0,0244$	0,68	$y = 0,7548x + 0,9334$	0,52	$y = 1,0196x + 0,5975$	0,61

Tabela 15. Coeficiente de correlação e respectiva equação da relação entre valores de evapotranspiração de referência estimados pelo modelo de Penman Monteith e estimados pelos modelos estudados para as cidades do estado de Mato Grosso, MT.

Cidades Modelos	Campo Verde		Carlinda		Comodoro		Confresa	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
1 PM (Bristow Campbell)	$y = 0,3992x + 2,1986$	0,29	$y = 0,7081x + 1,0557$	0,59	$y = 0,6468x + 1,1865$	0,39	$y = 0,6948x + 1,0802$	0,55
2 Hargreaves e Samani	$y = 0,4156x + 2,1703$	0,25	$y = 0,7813x + 0,0755$	0,61	$y = 0,7081x + 0,1083$	0,52	$y = 0,8425x - 0,4522$	0,66
3 Camargo	$y = 0,8087x + 0,7567$	0,29	$y = 0,6674x + 0,9463$	0,18	$y = 0,6192x + 0,9314$	0,24	$y = 0,7173x + 0,6146$	0,22
4 Makkink	$y = 0,2567x + 2,2322$	0,07	$y = 0,0872x + 3,1583$	0,01	$y = 0,2651x + 1,6843$	0,09	$y = 0,1131x + 3,0284$	0,01
5 Linacre	$y = 0,446x + 1,7556$	0,47	$y = 0,3871x + 1,8832$	0,33	$y = 0,8127x + 0,4101$	0,46	$y = 0,352x + 1,9391$	0,38
6 McGinnes-Bordne's	$y = 0,4431x + 2,2881$	0,20	$y = 0,7725x + 1,0225$	0,64	$y = 0,8365x + 0,8442$	0,54	$y = 0,8683x + 0,7536$	0,67
7 Romanenko	$y = 0,2087x + 2,6809$	0,43	$y = 0,1653x + 2,8657$	0,30	$y = 0,32x + 2,3312$	0,35	$y = 0,1605x + 2,805$	0,35
8 Turc	$y = 0,8235x + 0,2863$	0,77	$y = 0,707x + 0,7279$	0,81	$y = 0,7869x + 0,3055$	0,90	$y = 0,7645x + 0,6084$	0,89
9 Holdridge	$y = 2,0531x - 3,963$	0,51	$y = 2,2804x - 5,7842$	0,45	$y = 1,4842x - 2,2141$	0,34	$y = 2,2422x - 5,8736$	0,50
10 Radiação Solar	$y = 0,4382x + 1,851$	0,34	$y = 0,5893x + 1,2844$	0,67	$y = 0,729x + 0,8349$	0,62	$y = 0,635x + 1,1427$	0,69
11 Jensen-Haise	$y = 0,2807x + 2,2692$	0,20	$y = 0,4781x + 1,0357$	0,64	$y = 0,5201x + 0,8613$	0,55	$y = 0,5345x + 0,7786$	0,67
12 Hansen	$y = 0,3041x + 2,5135$	0,13	$y = 0,6908x + 0,9287$	0,61	$y = 0,701x + 0,7495$	0,50	$y = 0,8196x + 0,5386$	0,64
13 Caprio	$y = 0,463x + 2,2526$	0,21	$y = 0,7721x + 1,0478$	0,64	$y = 0,8425x + 0,8806$	0,55	$y = 0,8596x + 0,7996$	0,67

Tabela 15. Coeficiente de correlação e respectiva equação da relação entre valores de evapotranspiração de referência estimados pelo modelo de Penman Monteith e estimados pelos modelos estudados para as cidades do estado de Mato Grosso, MT.

Cidades Modelos	Cotriguaçu		Cuiabá		Gaúcha do Norte		Guarantã do Norte	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
1 PM (Bristow Campbell)	$y = 0,6982x + 0,9538$	0,56	$y = 0,6395x + 1,2685$	0,65	$y = 0,7194x + 0,9297$	0,55	$y = 0,6378x + 1,1521$	0,37
2 Hargreaves e Samani	$y = 0,7458x - 0,1913$	0,60	$y = 0,6401x + 0,238$	0,60	$y = 0,8661x - 0,5122$	0,71	$y = 0,7642x - 0,4487$	0,59
3 Camargo	$y = 0,4909x + 1,2674$	0,13	$y = 0,5738x + 0,8554$	0,44	$y = 0,7557x + 0,5085$	0,28	$y = 0,8031x - 0,0697$	0,27
4 Makkink	$y = 0,0872x + 2,73$	0,01	$y = 0,3449x + 1,1963$	0,24	$y = 0,2333x + 2,2518$	0,06	$y = 0,2472x + 1,7804$	0,06
5 Linacre	$y = 0,4963x + 1,2428$	0,38	$y = 0,2544x + 1,9355$	0,35	$y = 0,4101x + 1,7546$	0,29	$y = 0,605x + 0,7586$	0,32
6 McGinnes-Bordne's	$y = 0,7729x + 0,9067$	0,64	$y = 0,9236x + 1,0324$	0,60	$y = 0,8619x + 0,6803$	0,70	$y = 0,8455x + 0,7344$	0,59
7 Romanenko	$y = 0,2402x + 2,4381$	0,38	$y = 0,1283x + 2,4641$	0,33	$y = 0,1727x + 2,7988$	0,24	$y = 0,2517x + 2,3454$	0,27
8 Turc	$y = 0,7899x + 0,3528$	0,92	$y = 0,7631x + 0,8655$	0,60	$y = 0,7624x + 0,5772$	0,88	$y = 0,8006x + 0,4297$	0,94
9 Holdridge	$y = 2,02x - 4,8852$	0,37	$y = 1,1212x - 1,4526$	0,48	$y = 2,2307x - 5,5369$	0,45	$y = 2,4723x - 6,8947$	0,45
10 Radiação Solar	$y = 0,6304x + 1,1068$	0,70	$y = 0,7247x + 1,1706$	0,67	$y = 0,6464x + 0,9908$	0,69	$y = 0,6732x + 1,0006$	0,59
11 Jensen-Haise	$y = 0,4781x + 0,9229$	0,65	$y = 0,5674x + 1,0565$	0,60	$y = 0,5318x + 0,7045$	0,70	$y = 0,5235x + 0,7466$	0,60
12 Hansen	$y = 0,6957x + 0,7746$	0,63	$y = 0,8785x + 0,8483$	0,54	$y = 0,7926x + 0,478$	0,67	$y = 0,7539x + 0,6439$	0,56
13 Caprio	$y = 0,7716x + 0,9382$	0,65	$y = 0,9098x + 1,0795$	0,61	$y = 0,8565x + 0,7263$	0,70	$y = 0,8458x + 0,7578$	0,60

Tabela 15. Coeficiente de correlação e respectiva equação da relação entre valores de evapotranspiração de referência estimados pelo modelo de Penman Monteith e estimados pelos modelos estudados para as cidades do estado de Mato Grosso, MT.

Cidades Modelos	Guiratinga		Itiquira		Juara		Juína	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
1 PM (Bristow Campbell)	$y = 0,7852x + 0,7231$	0,47	$y = 0,8546x + 0,6387$	0,73	$y = 0,6846x + 1,117$	0,45	$y = 0,7995x + 0,6623$	0,52
2 Hargreaves e Samani	$y = 0,7914x - 0,5228$	0,68	$y = 0,9535x - 0,3456$	0,58	$y = 0,7368x + 0,0276$	0,58	$y = 0,8268x - 0,4076$	0,66
3 Camargo	$y = 0,7869x + 0,0896$	0,51	$y = 0,768x + 1,0665$	0,26	$y = 0,9503x - 0,5462$	0,36	$y = 0,839x + 0,0177$	0,38
4 Makkink	$y = 0,4504x + 0,5666$	0,31	$y = 0,2695x + 2,5417$	0,06	$y = 0,3948x + 1,1211$	0,10	$y = 0,3829x + 1,1197$	0,17
5 Linacre	$y = 0,2651x + 1,9458$	0,17	$y = 0,5465x + 1,4431$	0,60	$y = 0,469x + 1,5253$	0,33	$y = 0,4386x + 1,6126$	0,21
6 McGinnes-Bordne's	$y = 1,0776x + 0,1959$	0,68	$y = 1,1145x + 0,4204$	0,64	$y = 0,8421x + 0,8452$	0,58	$y = 0,9278x + 0,4808$	0,68
7 Romanenko	$y = 0,1067x + 2,6292$	0,12	$y = 0,2658x + 2,5819$	0,57	$y = 0,1983x + 2,7468$	0,29	$y = 0,1748x + 2,7601$	0,16
8 Turc	$y = 0,8082x + 0,3131$	0,86	$y = 0,9032x + 0,237$	0,83	$y = 0,7993x + 0,5098$	0,88	$y = 0,837x + 0,2264$	0,94
9 Holdridge	$y = 1,5732x - 3,1195$	0,40	$y = 2,2129x - 4,6819$	0,55	$y = 1,8511x - 4,1437$	0,39	$y = 1,7877x - 3,7874$	0,31
10 Radiação Solar	$y = 0,812x + 0,5028$	0,66	$y = 0,8527x + 0,4857$	0,79	$y = 0,6717x + 1,0892$	0,60	$y = 0,7317x + 0,7642$	0,68
11 Jensen-Haise	$y = 0,6621x + 0,237$	0,68	$y = 0,6876x + 0,4568$	0,65	$y = 0,519x + 0,8684$	0,58	$y = 0,5731x + 0,5049$	0,68
12 Hansen	$y = 1,0181x - 0,1497$	0,65	$y = 1,0016x + 0,1774$	0,58	$y = 0,7822x + 0,6608$	0,55	$y = 0,8399x + 0,2941$	0,66
13 Caprio	$y = 1,0618x + 0,2751$	0,68	$y = 1,1066x + 0,4927$	0,65	$y = 0,8351x + 0,8891$	0,59	$y = 0,9237x + 0,5277$	0,68

Tabela 15. Coeficiente de correlação e respectiva equação da relação entre valores de evapotranspiração de referência estimados pelo modelo de Penman Monteith e estimados pelos modelos estudados para as cidades do estado de Mato Grosso, MT.

Cidades Modelos	Nova Maringá			Nova Ubiratã			Novo Mundo			Pontes e Lacerda		
	Equação	R ²		Equação	R ²		Equação	R ²		Equação	R ²	
1 PM (Bristow Campbell)	y = 0,3204x + 2,501	0,25		y = 0,7914x + 0,7178	0,71		y = 0,8132x + 0,7027	0,74		y = 0,7743x + 0,804	0,62	
2 Hargreaves e Samani	y = 0,3273x + 2,0545	0,28		y = 0,8946x - 0,3518	0,57		y = 1,101x - 1,1906	0,66		y = 0,7994x - 0,1812	0,70	
3 Camargo	y = 0,6003x + 0,9724	0,30		y = 0,5486x + 1,688	0,12		y = 0,8528x + 0,4641	0,25		y = 0,7947x + 0,3886	0,46	
4 Makkink	y = 0,2685x + 1,8216	0,11		y = 0,0517x + 3,6086	0,00		y = 0,1997x + 2,6671	0,03		y = 0,4619x + 0,8862	0,25	
5 Linacre	y = 0,4736x + 1,3488	0,37		y = 0,5263x + 1,4733	0,48		y = 0,4667x + 1,7034	0,44		y = 0,6016x + 0,9456	0,42	
6 McGinnes-Bordne's	y = 0,3484x + 2,5357	0,26		y = 0,937x + 0,6855	0,60		y = 1,0913x + 0,0927	0,66		y = 0,8527x + 0,8046	0,69	
7 Romanenko	y = 0,2051x + 2,5556	0,29		y = 0,2344x + 2,7209	0,45		y = 0,2038x + 2,83	0,39		y = 0,2459x + 2,4983	0,31	
8 Turc	y = 0,8216x + 0,4285	0,84		y = 0,8193x + 0,4928	0,77		y = 0,8317x + 0,2797	0,73		y = 0,8227x + 0,3818	0,88	
9 Holdridge	y = 1,3554x - 2,1453	0,40		y = 2,5183x - 6,2329	0,48		y = 2,2764x - 5,3337	0,50		y = 1,5692x - 2,7276	0,44	
10 Radiação Solar	y = 0,2888x + 2,5905	0,26		y = 0,7287x + 0,8107	0,73		y = 0,8014x + 0,4734	0,74		y = 0,6815x + 0,9531	0,71	
11 Jensen-Haise	y = 0,2173x + 2,5324	0,27		y = 0,5786x + 0,7133	0,61		y = 0,6733x + 0,1285	0,66		y = 0,5242x + 0,8387	0,70	
12 Hansen	y = 0,287x + 2,5836	0,22		y = 0,8492x + 0,4665	0,57		y = 0,9833x - 0,1378	0,59		y = 0,811x + 0,5108	0,67	
13 Caprio	y = 0,3534x + 2,5298	0,27		y = 0,9323x + 0,7392	0,61		y = 1,0838x + 0,1627	0,66		y = 0,8411x + 0,8705	0,70	

Tabela 15. Coeficiente de correlação e respectiva equação da relação entre valores de evapotranspiração de referência estimados pelo modelo de Penman Monteith e estimados pelos modelos estudados para as cidades do estado de Mato Grosso, MT.

Cidades Modelos	Porto Estrela			Rondonópolis			Salto do Céu			Santo Antônio do Leste		
	Equação	R ²		Equação	R ²		Equação	R ²		Equação	R ²	
1 PM (Bristow Campbell)	y = 0,801x + 0,6937	0,62		y = 0,8185x + 0,7505	0,64		y = 0,7194x + 0,9387	0,59		y = 0,7758x + 0,8085	0,67	
2 Hargreaves e Samani	y = 0,7777x - 0,1283	0,74		y = 0,8266x - 0,3851	0,74		y = 0,7863x - 0,2859	0,71		y = 0,9953x - 0,6243	0,57	
3 Camargo	y = 0,8832x - 0,047	0,63		y = 0,8132x + 0,3028	0,50		y = 0,7397x + 0,4371	0,43		y = 0,6459x + 1,5085	0,15	
4 Makkink	y = 0,6162x - 0,0762	0,46		y = 0,4891x + 0,6957	0,29		y = 0,4435x + 0,7447	0,24		y = 0,0556x + 3,7464	0,00	
5 Linacre	y = 0,6831x + 0,5804	0,42		y = 0,7689x + 0,2643	0,57		y = 0,8646x - 0,1663	0,59		y = 0,5043x + 1,7346	0,57	
6 McGinnes-Bordne's	y = 0,9453x + 0,4218	0,76		y = 0,9799x + 0,6132	0,73		y = 0,8718x + 0,7335	0,71		y = 0,9897x + 0,5906	0,61	
7 Romanenko	y = 0,2746x + 2,3888	0,28		y = 0,3497x + 2,05	0,48		y = 0,3901x + 1,8666	0,46		y = 0,2413x + 2,7981	0,54	
8 Turc	y = 0,8693x + 0,1664	0,90		y = 0,8852x + 0,2437	0,89		y = 0,8415x + 0,2913	0,88		y = 0,8559x + 0,3339	0,85	
9 Holdridge	y = 1,5119x - 2,6685	0,47		y = 1,8963x - 4,002	0,55		y = 1,511x - 2,5811	0,46		y = 2,4036x - 5,2912	0,53	
10 Radiação Solar	y = 0,7471x + 0,7168	0,73		y = 0,7715x + 0,7942	0,74		y = 0,6935x + 0,928	0,72		y = 0,7515x + 0,6874	0,74	
11 Jensen-Haise	y = 0,5803x + 0,461	0,77		y = 0,6037x + 0,6444	0,73		y = 0,5377x + 0,7609	0,72		y = 0,6121x + 0,6218	0,61	
12 Hansen	y = 0,9099x + 0,0982	0,74		y = 0,9096x + 0,3641	0,68		y = 0,7989x + 0,5244	0,68		y = 0,8679x + 0,3914	0,54	
13 Caprio	y = 0,9301x + 0,4976	0,77		y = 0,9706x + 0,6742	0,73		y = 0,8649x + 0,7881	0,72		y = 0,9872x + 0,6528	0,62	

Tabela 15. Coeficiente de correlação e respectiva equação da relação entre valores de evapotranspiração de referência estimados pelo modelo de Penman Monteith e estimados pelos modelos estudados para as cidades do estado de Mato Grosso, MT.

Cidades Modelos	São Félix do Araguaia			Sinop			Sorriso			Vila Bela da S. Trindade		
	Equação	R ²		Equação	R ²		Equação	R ²		Equação	R ²	
1 PM (Bristow Campbell)	y = 0,7624x + 0,9386	0,64		y = 0,4724x + 1,517	0,29		y = 0,7526x + 0,8517	0,62		y = 0,7893x + 0,6482	0,62	
2 Hargreaves e Samani	y = 0,7648x + 0,1589	0,62		y = 0,8194x - 0,0322	0,69		y = 0,6919x + 0,3478	0,45		y = 0,7734x - 0,2001	0,69	
3 Camargo	y = 0,8422x + 0,2161	0,35		y = 0,7803x + 0,6154	0,37		y = 0,7019x + 0,7522	0,28		y = 0,7912x + 0,2903	0,50	
4 Makkink	y = 0,318x + 1,7855	0,09		y = 0,3547x + 1,5945	0,17		y = 0,2678x + 2,0649	0,08		y = 0,4946x + 0,5635	0,31	
5 Linacre	y = 0,3833x + 1,9789	0,33		y = 0,4985x + 1,4373	0,36		y = 0,2889x + 2,2338	0,21		y = 0,5888x + 0,8784	0,36	
6 McGinnes-Bordne's	y = 0,8331x + 1,0183	0,66		y = 0,7196x + 0,6866	0,34		y = 0,8008x + 0,9896	0,51		y = 0,8442x + 0,6195	0,70	
7 Romanenko	y = 0,1827x + 2,8634	0,30		y = 0,2218x + 2,6513	0,33		y = 0,1286x + 2,9276	0,18		y = 0,2255x + 2,4767	0,23	
8 Turc	y = 0,8171x + 0,416	0,92		y = 0,7996x + 0,2617	0,70		y = 0,6499x + 1,0337	0,56		y = 0,8155x + 0,2571	0,86	
9 Holdridge	y = 1,6536x - 3,0733	0,42		y = 2,5676x - 6,8022	0,42		y = 1,7493x - 3,6511	0,38		y = 1,5525x - 2,8528	0,47	
10 Radiação Solar	y = 0,6449x + 1,2497	0,70		y = 0,6794x + 0,3351	0,50		y = 0,6238x + 1,1392	0,56		y = 0,6908x + 0,7736	0,69	
11 Jensen-Haise	y = 0,5153x + 1,0336	0,66		y = 0,4523x + 0,6602	0,35		y = 0,4941x + 1,0092	0,51		y = 0,5196x + 0,6499	0,70	
12 Hansen	y = 0,7425x + 0,9291	0,60		y = 0,5371x + 1,041	0,25		y = 0,7282x + 0,8574	0,47		y = 0,7911x + 0,3768	0,66	
13 Caprio	y = 0,8316x + 1,0483	0,67		y = 0,7402x + 0,6386	0,36		y = 0,7959x + 1,027	0,52		y = 0,8348x + 0,6786	0,70	