

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE METODOLOGIAS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA LOCALIDADES DO NORTE DE MINAS GERAIS

**LUCAS DA COSTA SANTOS¹; LUCAS SANTOS DO PATROCÍNIO FIGUEIRÓ¹;
ALEX XAVIER RIBEIRO DE ANDRADE¹; ANTÔNIO COSTA FERREIRA NETO¹ E
CAROLINE SALEZZI BONFÁ¹**

¹ Departamento de Agronomia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Campus JK, Rodovia MGT 367-KM 583, nº 5000, Alto da Jacuba. CEP: 39.100-000, Diamantina, Minas Gerais, Brasil. E-mail: lucas.santos@ufvjm.edu.br; lucas.figueiro@ufvjm.edu.br; alex.ribeiro@ufvjm.edu.br; antonio.costa@ufvjm.edu.br; caroline.bonfa@ufvjm.edu.br.

1 RESUMO

A determinação da evapotranspiração é imprescindível para a prática racional da irrigação, o que tem conduzido à formulação de diversas equações para estimativa desta importante variável meteorológica. Nesse sentido, faz-se necessário estudos comparativos com estas equações de modo a avaliar, localmente, sua aplicabilidade. Em linha com o exposto, objetivou-se comparar, para as condições climáticas de Salinas e Januária (ambos situados no Norte de Minas Gerais, Brasil), métodos empíricos de estimativa da evapotranspiração com o método padrão de Penman-Monteith (FAO56). Para tanto, utilizou-se dados meteorológicos de cinco anos (2016 a 2020) obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para a análise comparativa foram utilizados os seguintes indicadores estatísticos: coeficientes de determinação (R^2) e correlação (r), erro absoluto médio (EAM), raiz do erro quadrado médio (REQM), índice de concordância (d) e índice de desempenho (c). Os resultados obtidos demonstram que, para as duas localidades avaliadas, o método de Blaney-Criddle apresenta o melhor desempenho para a estimativa da evapotranspiração, por outro lado, as equações de Hargreaves-Samani e Priestley-Taylor exibiram performance insatisfatória.

Palavras-chave: métodos empíricos, demanda hídrica de cultivos, manejo da irrigação.

**SANTOS, L. C.; FIGUEIRÓ, L. S. P.; ANDRADE, A. X. R.; FERREIRA NETO, A. C.;
BONFÁ, C. B.**

**COMPARATIVE STUDY BETWEEN REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION
ESTIMATION METHODOLOGIES FOR NORTHERN MINAS GERAIS
LOCATIONS**

2 ABSTRACT

The determination of evapotranspiration is essential for the rational practice of irrigation, which has led to the formulation of several equations to estimate this important meteorological variable. In line with the above objective was to compare, for the climatic conditions of Salinas and Januária (both located in the North of Minas Gerais, Brazil), empirical methods for estimating evapotranspiration with the standard method of Penman-

Monteith (FAO56). For this purpose, meteorological data for five years (2016 to 2020) obtained from the National Institute of Meteorology (INMET) were used. For the comparative analysis, the following statistical indicators were used: coefficients of determination (R^2) and correlation (r), mean absolute error (EAM), root mean square error (REQM), agreement index (d) and performance index (c). The results obtained demonstrate that, for the two locations evaluated, the Blaney-Criddle method presents the best performance for estimating evapotranspiration, on the other hand, the Hargreaves-Samani and Priestley-Taylor equations showed unsatisfactory performance.

Keywords: crop water demand, empirical methods, irrigation management.

3 INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para a produção de alimentos, tendo em vista que a agricultura, por meio de sua vertente irrigada, utiliza cerca de 70% de toda água doce retirada dos mananciais (CHRISTOFIDIS, 2013). Diante desse fato, é imperioso que se utilize racionalmente este importante recurso natural.

Para que a irrigação seja realizada de maneira otimizada, faz-se necessário o conhecimento da demanda hídrica da cultura por meio da determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c), principal parâmetro para o dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação. A ET_c pode ser obtida através da evapotranspiração de referência (ET_o) corrigida pelo coeficiente da cultura, em que a ET_o é definida como a combinação de dois processos distintos, a evaporação da água diretamente da superfície do solo e a transpiração através dos estômatos das plantas (ALLEN et al., 1998).

De acordo com Cruz et al. (2017), a determinação da evapotranspiração é difícil e custosa, por considerar em sua estimativa fatores ligados à cultura e ao solo, além de variáveis meteorológicas. Nesse sentido, é corriqueira a utilização de modelos matemáticos para a sua estimativa e, dentre eles, tem bastante destaque, por conta de sua robustez, o modelo de Penman-Monteith (FAO/56), o qual tem sido

recomendado como padrão para estimativa da evapotranspiração.

A despeito da confiabilidade apresentada pelo método de Penman-Monteith (FAO56), este método exige vários elementos climatológicos para sua estimativa, o que dificulta seu uso em diversos locais do Brasil. Desse modo, abordagens mais simples para estimar a ET_o foram desenvolvidas a fim de contemplar localidades com dados meteorológicos limitados (ALENCAR et al., 2011).

Nesse sentido, particularmente no Brasil, diversos estudos têm sido realizados com modelos para estimativa da ET_o, a fim de verificar o desempenho destes nas mais diferentes tipologias climáticas. Como exemplo, pode-se citar localidades nos estados de Alagoas (Macêdo et al., 2017), Goiás (Cruz et al., 2017), Espírito Santo e Rio de Janeiro (Coutinho et al., 2020), Amazonas (Ferreira et al., 2020), São Paulo (Sarnighausen et al., 2021), e Rio Grande do Sul (Ongaratto & Bortolin, 2021).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar os métodos empíricos de estimativa da evapotranspiração de referência Penman Modificado (FAO24), Radiação, Blaney-Criddle, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor e Turc, em dois municípios da região Norte de Minas Gerais (Salinas e Januária), em que se adotou como parâmetro para a comparação o método padrão de Penman-Monteith (FAO/56).

4 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo abrange os municípios de Salinas (Latitude 16° 16' S, Longitude 42° 30' W, Altitude de 471 m) e Januária (Latitude 15° 29' S, Longitude 44° 21' W, Altitude de 473 m), ambos localizados na região Norte de Minas Gerais, em que se predomina o semiárido mineiro. Em Salinas, a temperatura e a pluviosidade média anual são de 23.6 °C e 716 mm, respectivamente; em Januária, a temperatura e a pluviosidade média anual são de 24.5 °C e 926 mm, respectivamente.

Para o estudo foram utilizados dados diários de temperatura do ar (°C), umidade do ar (%), insolação (horas), velocidade do vento (m.s-1) e pressão atmosférica (kPa) das duas localidades, em que os dados foram avaliados em um período de cinco anos (2016 a 2020). Os dados meteorológicos foram obtidos a partir da base do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>).

As estimativas da evapotranspiração foram calculadas a partir do software REF-

ET (ALLEN, 2000), em que se utilizou os métodos de Penman-Monteith (FAO56), Penman Modificado (FAO24), Radiação, Blaney-Criddle, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor e Turc, na escala diária. O método Penman-Monteith (FAO56) foi adotado como padrão e utilizado para avaliar o desempenho dos demais.

Após obtenção dos dados diários de ETo, procedeu-se com a análise estatística para avaliar o desempenho dos métodos empíricos comparados ao método padrão. Nesse sentido, utilizou-se os seguintes indicadores estatísticos: coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de correlação (r), erro absoluto médio (EAM), raiz do erro quadrado médio (REQM), índice de concordância (d) de Willmott et al. (1985), e índice de desempenho (c , CAMARGO & SENTELHAS, 1997), além dos coeficientes linear e angular das regressões simples.

Especificamente quanto ao índice de desempenho, o critério adotado para interpretar o desempenho dos métodos através do índice “ c ” está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Critério de interpretação do desempenho dos métodos de estimativa da ETo pelo índice “ c ” proposto por Camargo & Sentelhas (1997) – ICS.

Interpretação do Método pelo Índice “ c ”	
Desempenho	Valor de “ c ”
Ótimo	> 0,85
Muito bom	0,76 a 0,85
Bom	0,66 a 0,75
Mediano	0,61 a 0,65
Sufrível	0,51 a 0,60
Mau	0,41 a 0,50
Péssimo	< 0,40

ICS – Interpretação do índice de desempenho

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os índices de desempenho estatísticos referentes a análise comparativa de métodos empíricos de estimativa da evapotranspiração quando

comparados com o método padrão de Penman-Monteith (FAO56), aplicados aos municípios de Salinas e Januária. A evapotranspiração de referência média (METo), obtida a partir do método de Penman-Monteith (FAO56) para as

localidades estudadas foi igual a 4,24 mm.dia⁻¹ para Salinas e 5,14 mm.dia⁻¹ para Januária.

Tabela 2. Indicadores estatísticos para valores de estimativa da evapotranspiração de referência calculados para a escala diária, nos municípios de Salinas/MG e Januária/MG.

Mod	a	b	R ²	r	E	RE	d	c	ICS	METo
Salinas										
PM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,24
PMod	-0,27	1,31	0,98	0,99	1,11	1,23	0,89	0,88	Ótimo	5,32
R	-0,72	1,26	0,92	0,96	0,66	0,79	0,94	0,90	Ótimo	4,75
BC	0,07	1,02	0,92	0,96	0,36	0,47	0,97	0,93	Ótimo	4,51
HS	1,72	0,73	0,72	0,85	0,75	0,91	0,89	0,76	MB	4,92
PT	0,59	0,84	0,73	0,86	0,61	0,77	0,92	0,79	MB	4,15
T	0,55	0,80	0,85	0,92	0,47	0,65	0,94	0,86	Ótimo	4,07
Januária										
PM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,14
PMod	0,23	1,20	0,95	0,98	1,29	1,39	0,87	0,85	MB	6,44
R	0,05	1,09	0,87	0,93	0,72	0,87	0,94	0,87	Ótimo	5,60
BC	0,53	0,95	0,89	0,94	0,45	0,60	0,96	0,91	Ótimo	5,56
HS	2,67	0,50	0,55	0,74	0,84	1,07	0,82	0,61	Med	5,22
PT	1,67	0,55	0,47	0,69	1,03	1,36	0,76	0,53	S	4,38
T	1,18	0,65	0,77	0,88	0,76	1,02	0,86	0,76	MB	4,49

a – coeficiente linear da equação de regressão linear, b – coeficiente angular da equação de regressão linear, R² – coeficiente de determinação, r – coeficiente de correlação, E – erro absoluto médio (EAM), RE – raiz do erro quadrado médio (REQM), d – índice de concordância, c – índice de desempenho, ICS – interpretação do índice de desempenho conforme proposto por Camargo e Sentelhas (1997), METo – valor médio da evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹), Mod – Modelo, PM - Penman-Monteith, PMod - Penman Modificado, R – Radiação, BC - Blaney-Cridle, HS - Hargreaves-Samani, PT - Priestley-Taylor, T – Turc, MB – Muito bom, Med – Mediano, S – Sofrível.

O método de Blaney-Cridle apresentou o melhor desempenho em ambas as cidades, de acordo com os índices de concordância (d) e de desempenho (c), em que, nos municípios, o método foi classificado como de “ótimo” desempenho, de acordo com o critério proposto por Camargo e Sentelhas – “c” (1997). Além disso, o coeficiente de determinação (R²) corrobora com esses índices, pois evidencia que o método em questão apresentou ajustes satisfatórios. O erro absoluto médio (EAM) desse método demonstrou melhores resultados quando comparados aos demais, e seguido a este indicador, a raiz do erro quadrado médio (REQM) também expressou os melhores resultados para ambas as cidades avaliadas.

Esta condição, em que o modelo empírico de Blaney-Cridle apresentou melhor comportamento, corrobora com os resultados dos estudos realizados por Alencar et al. (2011), conduzido também no Norte de Minas Gerais, em que os autores avaliaram diferentes modelos para estimar a ETo em períodos de alta e baixa demanda evaporativa, além de analisarem o ano todo. Nas três situações apresentadas, o modelo Blaney-Cridle se destacou como sendo o mais adequado para estimar a ETo. De forma análoga, Costa et al. (2017), avaliaram métodos de estimativa da ETo no estado de Alagoas, em que os autores também verificaram melhor desempenho do método Blaney-Cridle com base nos

indicadores analisados, que foram semelhantes ao do presente estudo.

O fato do modelo de Blaney-Criddle ter apresentado o melhor desempenho na estimativa da ETo é explicado por este ter sido desenvolvido para uma região semiárida (região oeste dos EUA), condição semelhante à das cidades avaliadas. Além disso, o método considera em sua fórmula

dados de radiação solar, umidade do ar e velocidade do vento, que são variáveis que apresentam participação significativa no processo de evapotranspiração. O melhor desempenho do método de Blaney-Criddle é evidenciado nas Figuras 1 e 2, onde pode-se observar menores dispersões nesse método quando comparado aos demais.

Figura 1. Evapotranspiração de referência (ETo, em mm.dia-1) estimada pelo método de Penman-Monteith (FAO56) e pelos métodos empíricos avaliados para as condições climáticas de Salinas/MG (2016-2020).

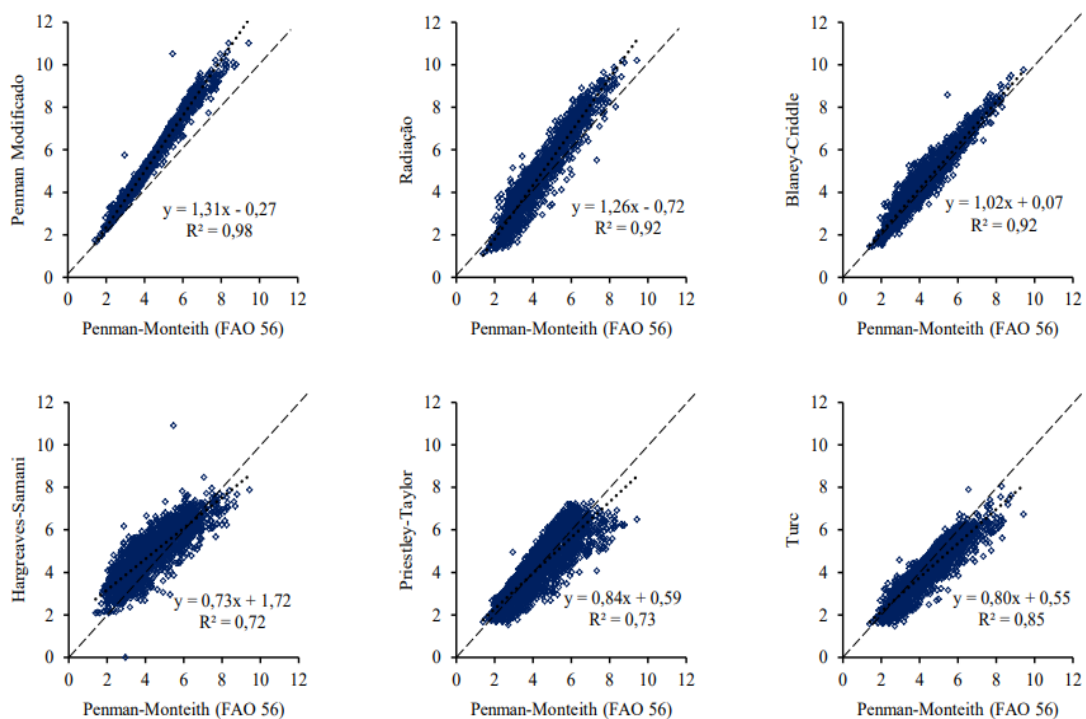
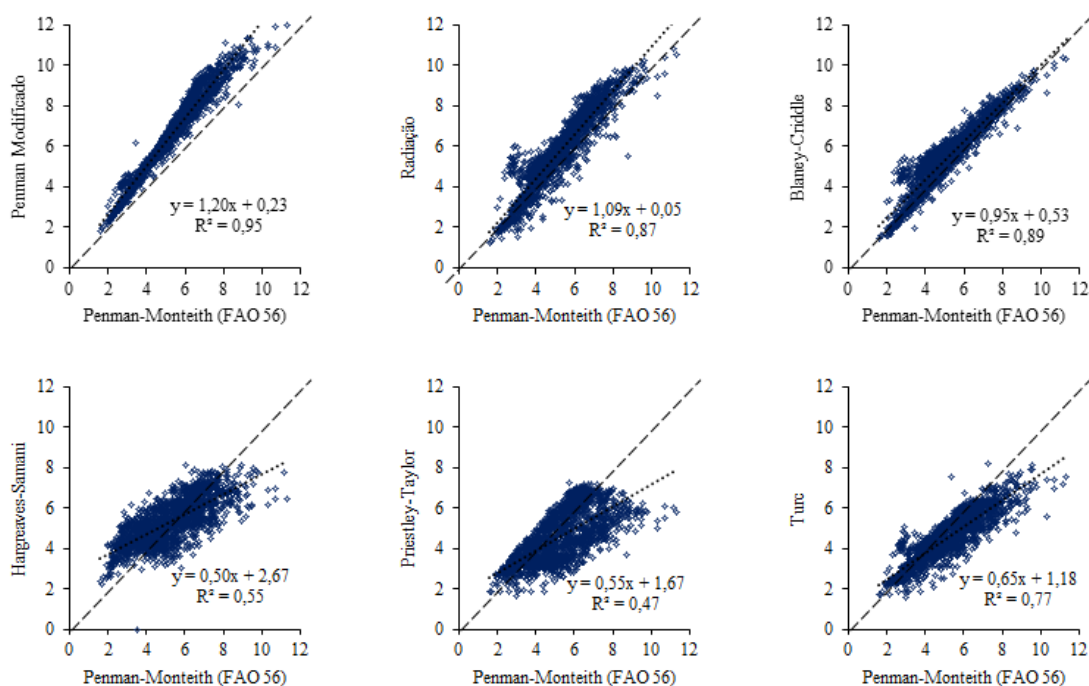


Figura 2. Evapotranspiração de referência (ET_o, em mm.dia-1) estimada pelo método de Penman-Monteith (FAO56) e pelos métodos empíricos avaliados para as condições climáticas de Januária/MG (2016-2020).



Diferentemente do método de Blaney-Criddle, os métodos Hargreaves-Samani (superestimando em 0,68 mm/dia) e Priestley-Taylor (subestimando em 0,76 mm/dia) apresentaram o pior desempenho estatístico, tanto em Salinas quanto em Januária. Esses dois métodos foram classificados com índices de desempenho entre “muito bom” e “sofrível” (Tabela 1), e devem ser associados aos elevados erros obtidos e aos baixos coeficientes de determinação (R²) e correlação (r), o que evidencia o baixo desempenho desses métodos para estimar a ET_o nas regiões avaliadas.

Esse mesmo comportamento foi observado por Alencar et al. (2011), conforme pesquisa supracitada, em que os autores também encontraram os piores índices de desempenho para o método Hargreaves-Samani em cidades do norte de Minas Gerais. Cruz et al. (2017), avaliaram diferentes métodos de estimativa da ET_o na cidade de Rio Verde, em Goiás, e

identificaram o mesmo comportamento para o método de Priestley-Taylor, pois este apresentou desempenho “sofrível” nas condições analisadas (Tabela 1).

Conforme pode ser observado nas Figuras 1 e 2, os métodos Hargreaves-Samani e Priestley-Taylor, apresentam a maior dispersão em seus dados, em que estes não acompanharam a linha de tendência, com maior distanciamento da reta de valores 1:1. A alta dispersão dos pontos verificados associados aos parâmetros avaliados evidencia o baixo ajuste desses modelos para as regiões em estudo, o que refletiu em seus desempenhos insatisfatórios nas duas localidades (Salinas e Januária).

6 CONCLUSÃO

O modelo de Blaney-Criddle apresentou o melhor desempenho na estimativa da evapotranspiração de

referência para as cidades estudadas, sendo indicado como alternativa ao método de Penman-Monteith (FAO56) quando houver restrições de dados meteorológicos. Especificamente para Januária/MG, os métodos de Hargreaves-Samani e Priestley-Taylor apresentaram desempenho insatisfatório, não sendo recomendado seu uso nessa região.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, pela concessão das bolsas de estudo ao segundo e ao terceiro autor.

8 REFERÊNCIAS

- ALENCAR, L. P. de; 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. **REVENG**, v. 19, n. 5, p. 437–449, 2011.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, R.; SMITH, M. **Crop evapotraspiration guidelines for computing crop water requirements**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1998.
- ALLEN, R. G. **REF-ET: reference evapotranspiration calculator**. Version 2.1. Idaho: Idaho University, 2000. 82 p.
- CAMARGO, A. P. de; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89–97, 1997.
- CHRISTOFIDIS, D. **Agropecuária**. Política Agrícola, v. 25, n. 1, p. 115–127, 2013.
- COSTA, J. A.; RODRIGUES, G. P.; SILVA, N. D. da, SOBRINHO, O. P. L.; COSTA, L. D. A. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Alagoas. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 25, n. 1, p. 173–179, 2017.
- CRUZ, G. H. T.; SANTOS, L. da C.; SILVA, S. M. da C.; REIS, E. F. dos. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Rio Verde-GO. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 6, p. 1854–1861, 2017.
- COUTINHO, E. R.; MADEIRA, J. G. F.; SIVA, R. M. da; OLIVEIRA, E. M. de; DELGADO, A. R. S. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) diária para regiões dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 4, 2020.
- FERREIRA, J. C. C.; TEIXEIRA FILHO, A. de J.; BARBOSA, J. V. G.; ARRUDA, D. A. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência no Município de Parintins AM. In: SALES, F. O. **Ciências exatas e da terra: aprendizado, integração e necessidades do país**. Atena Editora. 211p. 2020.

MACÊDO, K. G.; ARRAES, F. D. D.; LIMA JUNIOR, J. C.; OLIVEIRA, W. C.; ARAÚJO, Y. R. Ajuste dos parâmetros do modelo de Hargreaves e Samani para estimativa da evapotranspiração de referência em escala diária para Maceió-AL. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, nº 3, p. 1484 – 1491, 2017.

ONGARATTO, J. M.; BORTOLIN, T. A. Comparação entre métodos de estimativa de evapotranspiração de referência no município de São José dos Ausentes (RS), Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. V.26, n.5, 979-987, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190196>

SARNIGHAUSEN, V. C. R.; GOMES, F. G.; DAL PAI, A.; RODRIGUES, S. A. Estimativa da evapotranspiração de referência para Botucatu-SP por meio de modelos de regressão. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 17, vol. 28, 2021.

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**, v. 90, n. C5, p. 8995–9005, 1985.