

ATLAS DIGITAL DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DO TOCANTINS

Júlio Cezar Candido da Silva¹, José Luiz Cabral da Silva Júnior², Leda Veronica Benevides Dantas Silva²
Yago Monteiro da Silva¹, Samila Crystielle Rodrigues Martins¹, Cássio Gonçalves Bispo¹

RESUMO:

Conhecer a evapotranspiração de referência (ET_o) tem se tornado cada vez mais importante diante das variabilidades climáticas, do aumento das áreas irrigadas, da necessidade de otimizar o uso da água e do aprimoramento das técnicas de manejo hídrico para a irrigação. O método de Penman-Monteith é utilizado em várias partes do mundo para determinar a ET_o, sendo considerado o método padrão recomendado pela FAO. Contudo, para a sua aplicação requer que as variáveis climáticas sejam as mais completas para gerar a estimativa da referência e diante da ausência de dados meteorológicos completos em várias estações meteorológicas, buscou-se aqui gerar um mapa temático da ET_o para o estado do Tocantins a partir de métodos alternativos, com intuito de garantir uma estimativa de referência mais aproximada do preconizado. Para tal, foram testados os métodos de Ivanov e de Hargreaves-Samani para todas as regiões do Tocantins. Com os objetivos de gerar o Atlas digital da evapotranspiração de referência para o Estado do Tocantins. E validar métodos alternativos de estimativa. Para avaliar as estimadas de ET_o, pelos métodos Ivanov e Hargreaves-Samani em comparação ao padrão FAO, foram utilizados dados climatológicos diários de 11 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, todas distribuídas no estado do Tocantins com no mínimo de dez anos de dados. Também foram utilizados os dados climatológicos de reanálise do NCEP/NCAR, em uma série temporal de 30 anos. A avaliação dos modelos foi baseada nas seguintes ferramentas estatísticas: regressão linear (r), coeficiente de determinação (r^2); erro padrão de estimativa (EPE); índice de concordância (d). Os dados meteorológicos, salvos em planilhas do Excel 2019, foram trabalhados em scripts na linguagem Python 3.8. na IDE Jupyter Notebook 6.0.3. A partir da validação dos métodos, os mesmos foram usados para gerar os mapas temáticos da ET_o. Com base nas avaliações realizadas, os métodos de Ivanov e Hargreaves-Samani se apresentaram satisfatórios como alternativas ao PM-FAO para o Estado do Tocantins. A equação Hargreaves-Samani apresentou melhor ajuste em relação a Ivanov no período de estiagem. Foram gerados mapas temáticos da ET_o mensais e anual. O método Hargreaves-Samani foi o método que melhor substituiu o método Penman-Monteith FAO56 para a estimativa de evapotranspiração de referência no Estado do Tocantins em qualquer época do ano.

Palavras-chave: Avaliação, desenvolvimento, estimativas, evapotranspiração de referência, métodos empíricos.

DIGITAL ATLAS OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION OF TOCANTINS

ABSTRACT:

Knowing the reference evapotranspiration (ET_o) has become increasingly important in view of climate variability, the increase in irrigated areas, the need to optimize water use, and the improvement of water management techniques for irrigation. The Penman-Monteith method is used in various parts of the world to determine ET_o and is considered the standard method recommended by the FAO. However, for its application, it requires that the climatic variables be the most complete to generate the reference estimate. Due to the

¹Engenheiro(a) Agrônomo(a), Universidade Estadual do Tocantins, jccds.agro@gmail.com, yagomonteiro2100@gmail.com, samila.agro@gmail.com, cassiogbispo.agro@gmail.com; <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0004-3774-7017>, <https://orcid.org/0009-0001-1907-5905>, <https://orcid.org/0009-0001-6097-6887>, <https://orcid.org/0009-0000-5892-8096>.
² Professor(a) doutor da Universidade Estadual do Tocantins, leda.vb@unitins.br, jose.lc@unitins.br; <https://orcid.org/0000-0001-5851-4299>, <https://orcid.org/0000-0003-2474-4074>.

absence of complete meteorological data in several meteorological stations, an attempt was made here to generate a thematic map of the ETo for the state of *Tocantins* from alternative methods, to guarantee a reference estimate that is closer to what is recommended. For this, the methods of Ivanov and Hargreaves-Samani were tested for all regions of *Tocantins*, with the aim of generating the digital Atlas of reference evapotranspiration for the state of *Tocantins* and validating alternative estimation methods. To evaluate the estimated ETo, by the Ivanov and Hargreaves-Samani methods in comparison to the FAO standard, daily climatological data from 11 meteorological stations of the National Institute of Meteorology - INMET, all distributed in the state of *Tocantins*, with at least ten years of existence data were used. Climatological data from the NCEP/NCAR reanalysis were also used, in a 30 - year time series. The evaluation of the models was based on the following statistical tools: linear regression (r), coefficient of determination (r^2); standard error of estimate (EPE); and concordance index (d). Meteorological data, saved in Excel 2019 spreadsheets, were worked on scripts in the Python 3.8 language in the IDE Jupyter Notebook 6.0.3. After validating the methods, they were used to generate ETo thematic maps. Based on the evaluations, the methods of Ivanov and Hargreaves-Samani were satisfactory as alternatives to the PM-FAO for the state of *Tocantins*. The Hargreaves-Samani equation presents a better fit in relation to Ivanov in the dry season. Monthly and annual ETo thematic maps were generated. The Hargreaves-Samani method was the method that best replaced the Penman-Monteith FAO56 method for estimating reference evapotranspiration in the state of *Tocantins* at any time of the year.

Keywords: Evaluation, development, estimates, reference evapotranspiration, empirical methods.

INTRODUÇÃO

Conhecer a evapotranspiração de referência (ET_o) é de fundamental importância em diversas áreas porque ele contribui, por exemplo, para subsidiar o balanço hídrico de bacias hidrográficas e, essencialmente, na agricultura irrigada. Existem vários modelos de balanço hídrico de culturas para se dimensionar e planejar a implementação de um sistema irrigado. No entanto, os dados de evapotranspiração são indispensáveis para o funcionamento eficiente de qualquer método de irrigação, independente da cultura utilizada (Ferraz & Robaina, 2013).

Segundo Borges et al. (2010), para que se tenha um manejo eficiente da irrigação, é indispensável o cumprimento do princípio racional de uso da água. Isso se dá no intuito de haver uma melhor produtividade e redução dos impactos ambientais. Nesse sentido, a irrigação é estabelecida para suprimir a evapotranspiração das culturas em períodos de maior demanda, onde a quantidade de água necessária é determinada em função da evapotranspiração de referência (ET_o) e do coeficiente da cultura (K_c).

O Tocantins possui uma área irrigada de 128 mil hectares, sendo concentrado principalmente na região das planícies inundáveis do Rio Araguaia e nos polos de irrigação, como por exemplo os do Projeto Manuel Alves, em Dianópolis, e o Projeto São João, em Porto Nacional (Santos, 2019). O Estado ainda conta com a presença de uma das principais bacias hidrográficas do Brasil, a qual se estende ao longo de boa parte do território tocantinense, a Tocantins-Araguaia que corresponde a 10,8% do território nacional (ANA, 2017).

Entre os principais elementos climáticos que afetam a evapotranspiração estão a radiação solar, temperatura do ar, déficit de pressão de vapor e velocidade do vento (Alencar et al., 2015). O método de Penman-Monteith é usado como padrão para determinar a ET_o, e recomendado pela FAO, entretanto esse método requer um número elevado de variáveis climáticas, onde em boa parte do território brasileiro não possui estações meteorológicas suficientes para a coleta destes dados, o que abre a necessidade da utilização de

outros métodos indiretos, menos exigentes em relação aos dados requeridos (Cruz, 2016).

Portanto, este estudo de inovação tecnológica foi realizado com o objetivo de disponibilizar para diversos setores da sociedade um Atlas digital da Evapotranspiração de Referência para o Estado do Tocantins.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A área de estudo abrange o território do estado do Tocantins, localizado na Região Norte do Brasil, entre as latitudes 5° 10' 06" S (Extremo Norte: Rio Tocantins - Divisa TO/MA), 13° 27' 59" S (Extremo Sul: Serra das Traíras ou das Palmas - Divisa TO/GO), longitudes 45° 41' 4" W.Gr (Extremo Leste: APA Serra da Tabatinga - Divisa TO/PI/BA) e 50° 4' 3" W.Gr (Extremo Oeste: Rio Araguaia - Divisa TO/MT), abrangendo uma superfície de 277.620 Km², que representa cerca de 3,3% do território nacional e 7,2% da Região Norte. A parte do Tocantins inserida na Amazônia Legal equivale a cerca de 5,4% deste território (SEPLAN, 2007).

O clima é caracterizado por possuir dois períodos, sendo um chuvoso durante o verão e outro seco durante o inverno, devido ao Estado se localizar em baixas latitudes. Dessa forma o clima é definido como tropical com verão chuvoso ou tropical com inverno seco. Sua precipitação média fica em 1.500 mm anuais, onde o período chuvoso vai de outubro a abril, com temperaturas que variam entre 24° e 28°C e na estiagem de maio a setembro, com temperaturas entre 29° e 36°C (GEO, 2013).

Base de dados

Foram utilizados dados climatológicos diários de 21 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, todas distribuídas no estado do Tocantins. Para determinar a evapotranspiração de referência (ET_o) através dos métodos Penman-Monteith, Ivanov e Hargreaves-Samani.

Foram usados dados da temperatura mínima, máxima e média, do National Center for Environmental Prediction/National Center for

Atmospheric Reserch (NCEP/NCAR) e calculado a radiação no topo da atmosfera. Com uma série temporal de 30 anos, indo de 1989 a 2019. No desígnio de determinar a evapotranspiração de referência (ETo) com os métodos, já validados por análise estatística, Ivanov e Hargreaves-Samani para toda a região do Tocantins em espaçamentos de 2,5° x 2,5°

Avaliação estatística dos métodos de determinação da ETo

O método de Penman-Monteith (Equação 1) foi adotado como padrão para avaliar o desempenho dos métodos empíricos Ivanov (Equação 2) e Hargreaves-Samani (Equação 3) conforme proposto por Pereira et al. (2009).

$$EToPM = \frac{0,408 + \gamma \frac{900}{(T+273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$$

Equação 1

$$EToIV = 0,006 (25 + T)^2 \left(1 - \frac{RH}{100}\right)$$

Equação 2

$$EToHS = 0,0023 R_T \sqrt{(T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n})} \quad T$$

Equação 3

Onde: EToPM = evapotranspiração de referência Penman-Monteith (mm/dia); Rn = saldo de radiação a superfície (MJ m⁻² d⁻¹); G = fluxo de calor sensível no solo (MJ m⁻² d⁻¹); T = temperatura média do ar a 2 m de altura (°C); U₂ = velocidade do vento a 2 m de altura (m s⁻¹); e_s = pressão de saturação de vapor (kPa); e_a = pressão atual e vapor (kPa); Δ = declividade da curva de pressão de saturação (kPa °C⁻¹); γ = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); EToIV = evapotranspiração de referência Ivanov; RH = umidade relativa do ar; EToHS = evapotranspiração de referência Hargreaves-Samani; R_T = radiação solar extraterrestre (mm/dia); T_{máx} = temperatura máxima do ar; T_{mín} = temperatura mínima do ar.

A avaliação e teste dos modelos foram baseados nas seguintes ferramentas estatísticas: coeficiente de determinação (r²); erro padrão de estimativa (EPE); índice de concordância (d) de Willmott et al. (1985), como parâmetros de

comparações. Foi realizado também a análise de correlação e regressão linear, através da geração de um gráfico para cada método, para obtenção dos coeficientes linear (a) e angular (b) da equação do tipo y = a + bx, onde y é o método padrão de estimativa (ETo Penman-Monteith, mm/dia) e x é a ETo estimada pelos outros método (mm/dia) conforme proposto por Cruz (2016).

O coeficiente de determinação (R²) foi aplicado para verificar a relação dos valores obtidos da ETo pelos métodos propostos. Através do (r²) onde é possível medir o quanto a variação das variáveis será explicada pelos valores encontrados da ETo. Sendo que quanto mais próximo estiver o valor do coeficiente de determinação de 1, melhor é o ajuste dos resultados encontrados. Foi calculado o erro padrão da estimativa (EPE), descrito por Allen et al. (1986), e índice de concordância (d), equações 4 e 5, através dos resultados obtidos da ETo dos métodos empíricos Ivanov e Hargreaves-Samani correlacionados com os valores obtidos pelo método-padrão Penman-Monteith.

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum(O_i - P_i)^2}{n-1}}$$

Equação 4

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O_i| + |O_i - O|)^2}$$

Equação 5

Onde: em que: EPE = erro padrão da estimativa; O_i = resultados obtidos por Penman-Monteith; P_i = resultado obtidos por Ivanov e Hargreaves-Samani; n = número de observações; d = índice de concordância; O = média obtidas dos resultados obtidos por Penman-Monteith;

A validação das ETo Ivanov e Hargreaves-Sami foi feito através do coeficiente de correlação linear (r). Que de acordo Lopes (2003) com o “r” pode assumir valores positivos como negativos, variando entre -1 a 1. Quando o “r” se aproxima de 1 indica pouca dispersão, e uma correlação muito forte e positiva; quando o “r” se aproxima de "zero" indica muita dispersão, e uma ausência de relacionamento e por fim quando o “r” se aproxima de -1 indica 5 pouca dispersão, e uma correlação

muito forte e negativa. A classificação do coeficiente de correlação linear foi baseada na

proposta feita por Milone (2004), conforme a Tabela 1

Tabela 1. Classificação do Coeficiente de Correlação Linear:

Classificação:	Coeficiente:
Ótimo	$0,9 < r \leq 1,0$
Bom	$0,8 < r \leq 0,9$
Razoável	$0,7 < r \leq 0,8$
Medíocre (Mediano)	$0,6 < r \leq 0,7$
Péssimo	$0,5 < r \leq 0,6$
Impróprio	$ r \leq 0,5$

Fonte: Milone (2004).

Arquitetura do sistema

O sistema será alimentado por dados de reanálises. Estes dados compõem um Banco de Dados (POstgree) que deverá ser atualizado sistematicamente. Serão criados módulos de pré e pós processamento para os dados meteorológicos, a partir do uso da linguagem Python. Os dados serão consultados pela internet em site vinculado a página do NEMET/RH da Unitins. O Atlas Digital poderá ser consultado de forma gratuita, onde deverá apresentar mapas temáticas por métodos de Evapotranspiração (Eto) mensal e anual.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Método Hargreaves-Samani

Inicialmente foi realizado um critério mínimo para a avaliação dos dados para cada estação, onde foi aceitável estações que possuíam no mínimo uma série de 10 anos para cada dia do ano. As estações remanescentes, foram: A009 – Palmas; A010 – Paranaíba; A018 – Peixe; A019 – Gurupi; A020 – Pedro Afonso;

A021 – Araguaína; A038 – Dianópolis; A039 – Formoso do Araguaia; A040 – Mateiros; A041 – Marianópolis do Tocantins e A044 – Araguatins.

Na Tabela 2 encontram-se o erro padrão da estimativa (EPE), os parâmetros da equação de regressão (a e b), coeficiente de determinação (r^2), índice de concordância (d) e coeficiente de correlação (r) para os valores estimados de ETo pelo método Hargreaves-Samani, para cada estação remanescentes.

Conforme os resultados obtidos a estações A044, foi a única que teve classificação de “Ótimo” para método avaliado ($r = 0,94$; A039). Portanto, para essa localidade a precisão da estimativa foi muito boa. O valor de erro padrão da estimativa (EPE) mostrou-se relativamente baixo, o que indica que este método pode variar menos para determinar a ETo. Os valores do coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de concordância (d) foram satisfatórios, indicando melhor ajuste e menor discordância na estimativa de ETo.

Tabela 2. Erro padrão de estimativa (EPE, mm/dia), coeficiente linear (a), coeficiente angular (b), coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de concordância (d), coeficiente decorrelação (r) e classificação do desempenho do método de estimativa de ETo Hargreaves- Samani.

Código da estação	EPE	a	b	R^2	d	r	Classificação***	Média da ETo (mm/d)
A009	±0,79	-1,82**	1,27**	0,50	0,70	0,70	Razoável	4,82
A010	±0,95	1,47**	0,55**	0,55	0,58	0,74	Razoável	5,11
A018	±0,66	0,60**	0,76**	0,76	0,74	0,87	Bom	4,98
A019	±0,70	1,23**	0,62**	0,78	0,71	0,88	Bom	4,95
A020	±0,95	2,17**	0,40**	0,58	0,52	0,76	Razoável	4,97
A021	±1,28	1,50**	0,47**	0,60	0,45	0,77	Razoável	5,11
A038	±0,83	-0,70*	1,29**	0,51	0,69	0,71	Razoável	4,25
A039	±0,63	0,40**	0,82**	0,66	0,80	0,81	Bom	5,02
A040	±0,60	-0,60**	1,13**	0,61	0,85	0,78	Razoável	4,84
A041	±0,91	2,06**	0,44**	0,53	0,61	0,72	Razoável	5,05
A044	±0,67	0,05 ^{ns}	0,86**	0,89	0,73	0,94	Ótimo	4,78

*: Significativo a nível de 5% de probabilidade pelo teste t; **: Significativo a nível de 1% de probabilidade pelo teste t; ^{ns}: não significativo a nível de 5% de probabilidade pelo teste t; ***: Classificação do coeficiente de correlação linear, conforme Milone (2004).

As estações A018, A019, A039 tiveram classificação “Bom”, com r variando entre 0,81 a 0,88 (Tabela 2), fator que representa uma classificação muito boa para a estimativa do método nessas regiões. Os valores de EPE foram relativamente baixos, com variação de ±0,63 à ±0,70 mm/dia, comparado com o método Padrão FAO56. Já os valores do coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de concordância (d) foram medianos.

Nas estações A009, A010, A020, A021, A038, A040 e A041 foram as únicas que apresentaram classificações “Razoável” nas estimativas de ETo, com valores de “r” entre 0,72 a 0,78 (Tabela 2). Tal classificação é ainda satisfatória para o uso do Hargreaves-Samani para se estimar a ETo nessas regiões. Os valores de EPE não passaram de ±1 mm/dia, com exceção da estação A021 (EPE = ±1,28 mm/dia), representando uma variação mediana de ETo se comparado com o método padrão (Tabela 2).

Nas Figuras 1 e 2 são representados os diagramas de dispersão entre os valores de ETo estimados pelo método de Penman-Monteith FAO-56 (variável dependente) e a ETo estimado pelo método empíricos Hargreaves-Samani, na escala diária. Também são indicados a equação de regressão linear e o coeficiente de determinação (R^2), mostrando de forma visível que o método tem melhor desempenho na estação A044, onde a mesma apresenta a menor dispersão entre todas as estações. As estações A018; A019 e A039 tiveram dispersões relativamente baixas, mas as demais estações apresentaram relativa dispersão ao longo do ano.

Desta maneira tem-se o indicativo que o método Hargreaves-Samani é ideal para subsidiar a estimativa de Evapotranspiração de Referência ao longo de todo o ano, em substituição ao método padrão Penman-Monteith FAO-56. Tagliaferre et al. (2012) em umapesquisa teve resultado semelhante para o método Hargreaves-Samani, classificando o mesmo, para três localidades do estado da Bahia, como um dos melhores métodos de estimativa em qualquer época do ano.

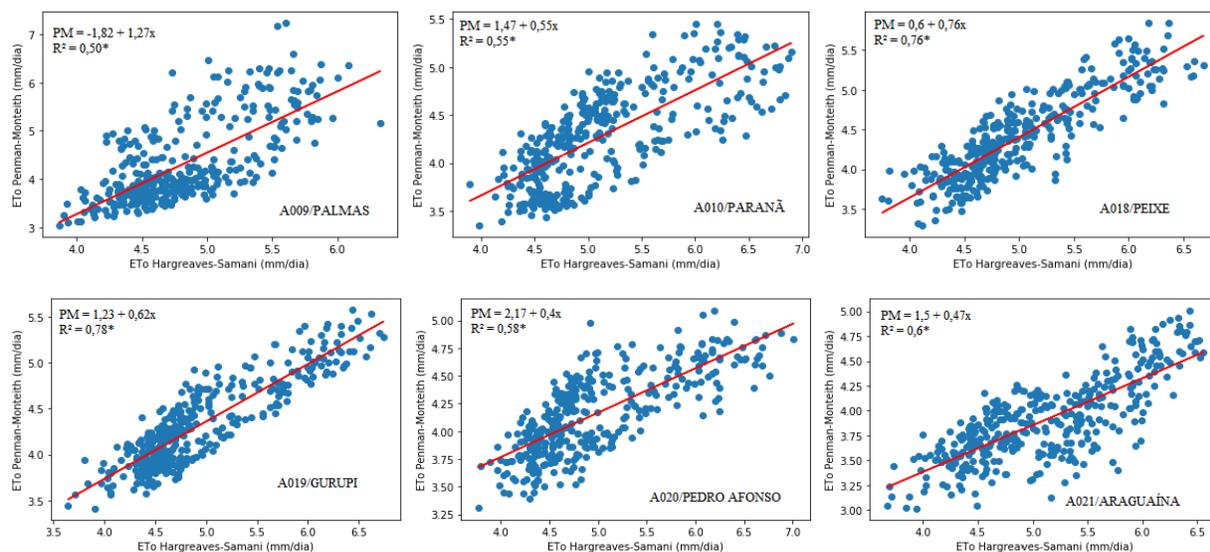


Figura 1: Regressão linear entre o modelo da estimativa da evapotranspiração pelo Método de Penman-Monteith e o método Hargreaves-Samani para as estações A009, A010, A018, A019, A020 e A021; *Modelo linear significativo a nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

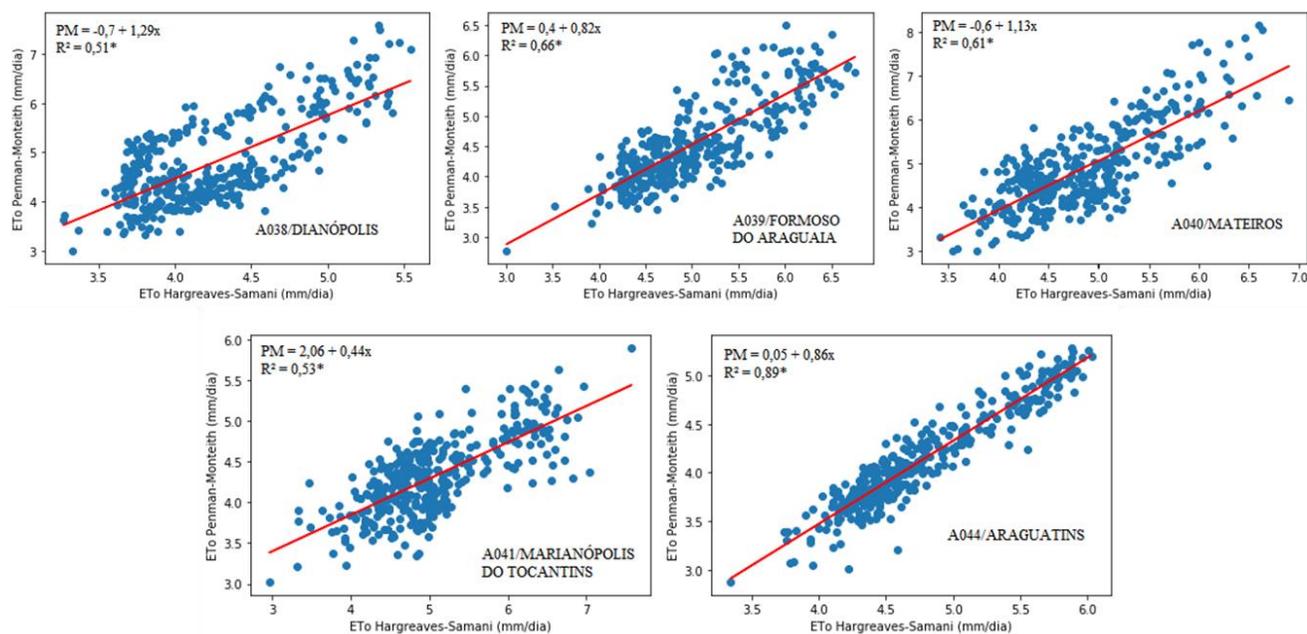


Figura 2: Regressão linear entre o modelo da estimativa da evapotranspiração pelo Método de Penman-Monteith e o método Hargreaves-Samani para as estações A038, A039, A040, A041 e A044; * Modelo linear significativo a nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Método Ivanov

Na Tabela 3 encontram-se o erro padrão da estimativa (EPE), os parâmetros da equação de regressão (a e b), coeficiente de determinação (r^2), índice de concordância (d) e coeficiente de correlação (r) para os valores estimados de ETo pelo método Ivanov.

De acordo com os resultados obtidos as estações A009 e A038 foram as únicas que tiveram classificação “Ótimo” para o método Ivanov, com valores de “r” igual a 0,94 para ambas as estações (Tabela 3). Portanto, para essas localidades a precisão da estimativa foi muito boa. Os valores do erro padrão da estimativa (EPE), para ambas, foram altos, sendo um indicativo que este método pode variar mais na estimativa da ETo. Os valores do coeficiente de determinação (R^2) em ambas as estações foi bom, com valor de 0,88 para ambas as estações (Tabela 3), indicando um ajuste bom para a estimativa de ETo. Já o coeficiente de concordância (d) foi mediano mostrando uma leve discordância na estimativa de ETo se comparado ao FAO-56. As estações A021,

A040 e A044 obtiveram classificação “Bom”, com valores de “r” variando entre 0,84 a 0,90. Os valores de EPE foram abaixo de ± 2 mm/dia, um valor baixo se comparado as estações A009 e A038. Os valores do coeficiente de determinação (R^2) em ambas as estações foi bom. E o do coeficiente de concordância (d) foi mediano. A estação A019 foi a única com classificação “Mediana” (Tabela 3). Entretanto essa classificação ainda é satisfatória para o uso do método Ivanov.

As estações A018, A020 e A041 apresentaram classificações “Péssimo” com valores de “r” entre 0,51 a 0,59 (Tabela 3). Os valores de EPE em ambas ultrapassaram os ± 3 mm/dia, mostrando uma alta variação na estimativa de ETo ao longo do ano. Os valores do coeficiente de determinação (R^2) para estas estações foram regulares. E o do coeficiente de concordância (d) foi baixo. A estação A010 foi a única com classificação “Imprópria”. Os valores de EPE, R^2 e “d” foi semelhante ao das estações A018, A020 e A041 (Tabela 3).

Tabela 3. Erro padrão de estimativa (EPE, mm/dia), coeficiente linear (a), coeficiente angular (b), coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de concordância (d), coeficiente de correlação (r) e classificação do desempenho do método de estimativa de ETo Ivanov.

Código da estação	EPE	a	b	R^2	d	r	Classificação***	Média da ETo (mm/d)
A009	±2,95	2,48**	0,29**	0,88	0,52	0,94	Ótimo	6,48
A010	±2,14	3,62**	0,12**	0,20	0,34	0,44	Impróprio	5,55
A018	±2,09	3,62**	0,14**	0,34	0,43	0,58	Péssimo	5,32
A019	±1,63	3,52**	0,17**	0,46	0,49	0,68	Mediano	4,76
A020	±1,70	3,60**	0,12**	0,34	0,39	0,59	Péssimo	4,64
A021	±1,15	2,99**	0,23**	0,71	0,61	0,84	Bom	3,90
A038	±2,03	2,79**	0,34**	0,88	0,67	0,94	Ótimo	5,93
A039	±2,34	3,27**	0,22**	0,73	0,53	0,85	Bom	5,70
A040	±1,57	2,40**	0,42**	0,81	0,74	0,90	Bom	5,85
A041	±1,38	3,32**	0,19**	0,26	0,46	0,51	Péssimo	5,17
A044	±1,51	2,90**	0,25**	0,76	0,58	0,87	Bom	4,87

*: Significativo a nível de 5% de probabilidade pelo teste t; **: Significativo a nível de 1% de probabilidade pelo teste t; ^{ns}: não significativo a nível de 5% de probabilidade pelo teste t. ***: Classificação do coeficiente de correlação linear, conforme Milone (2004).

As Figuras 3 a 5 demonstram que as médias mensais, do método Ivanov superestima os valores de ETo, se comparados ao padrão FAO56 e ao Hargreaves-Samani, entre os meses de julho a outubro, período de estiagem no Tocantins, e no qual as médias de umidade ficam muito baixas e as temperaturas mais elevadas.

Nas figuras 6 e 7 são representados os diagramas de dispersão entre os valores de ETo estimados pelo método de Penman-Monteith FAO-56 (variável dependente) e a ETo estimado pelos métodos empíricos Ivanov, na escala diária. Também

são indicados a equação de regressão linear e o coeficiente de determinação (R^2).

O método Ivanov é o que possui maior dispersão de valores de distribuição no diagrama se comparado ao Hargreaves-Samani, confirmando que a variação dos valores encontrados das ETo pode estar atribuída ao fato das variáveis expressa na equação serem baixas. Back (2008) em uma pesquisa avaliando o desempenho de métodos empíricos, na cidade de Urussanga-SC, encontrou resultados semelhantes para o método Ivanov. Onde ele observa que o método subestima os valores de ETo.

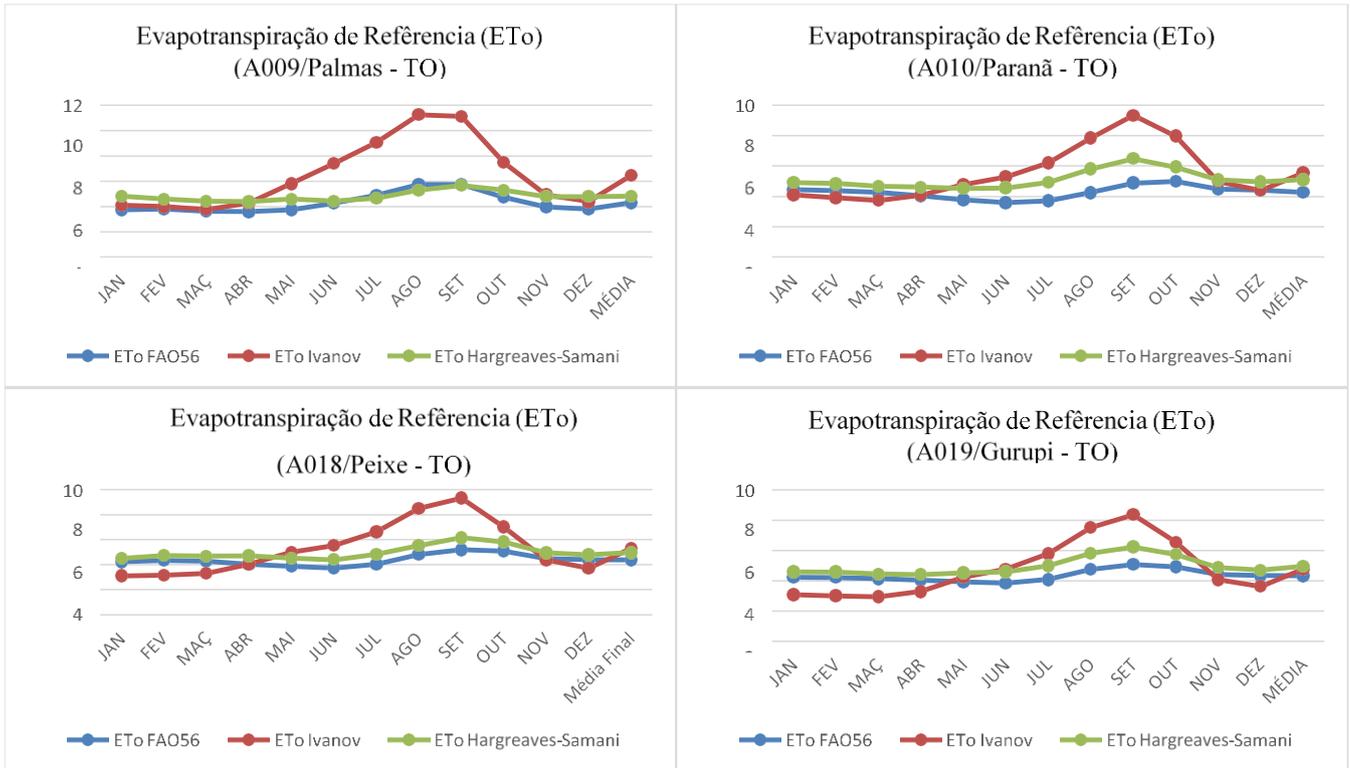


Figura 3. Valores médios diários da ETo estimados pelos diferentes métodos nas estações A009, A010, A018 e A019.

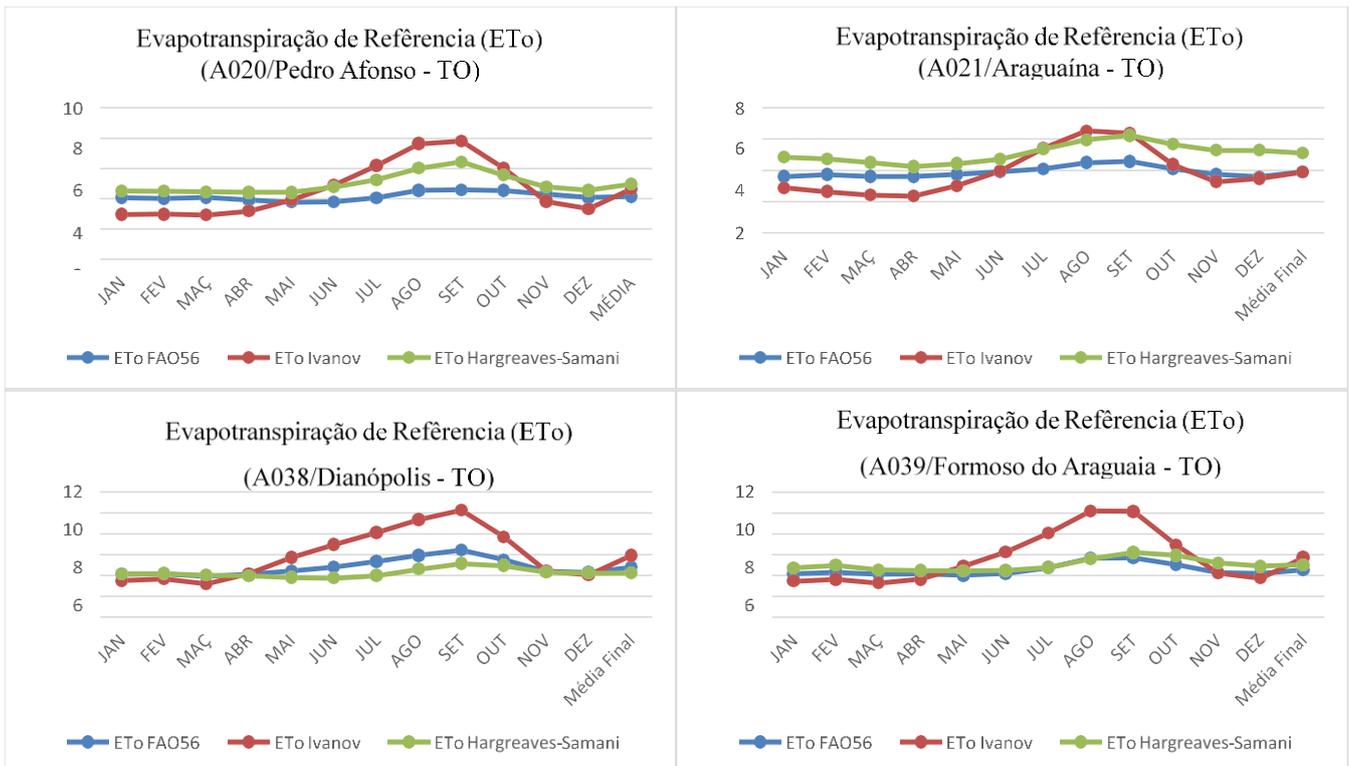


Figura 4. Valores médios diários da ETo estimados pelos diferentes métodos nas estações A020, A021, A038 e A039.

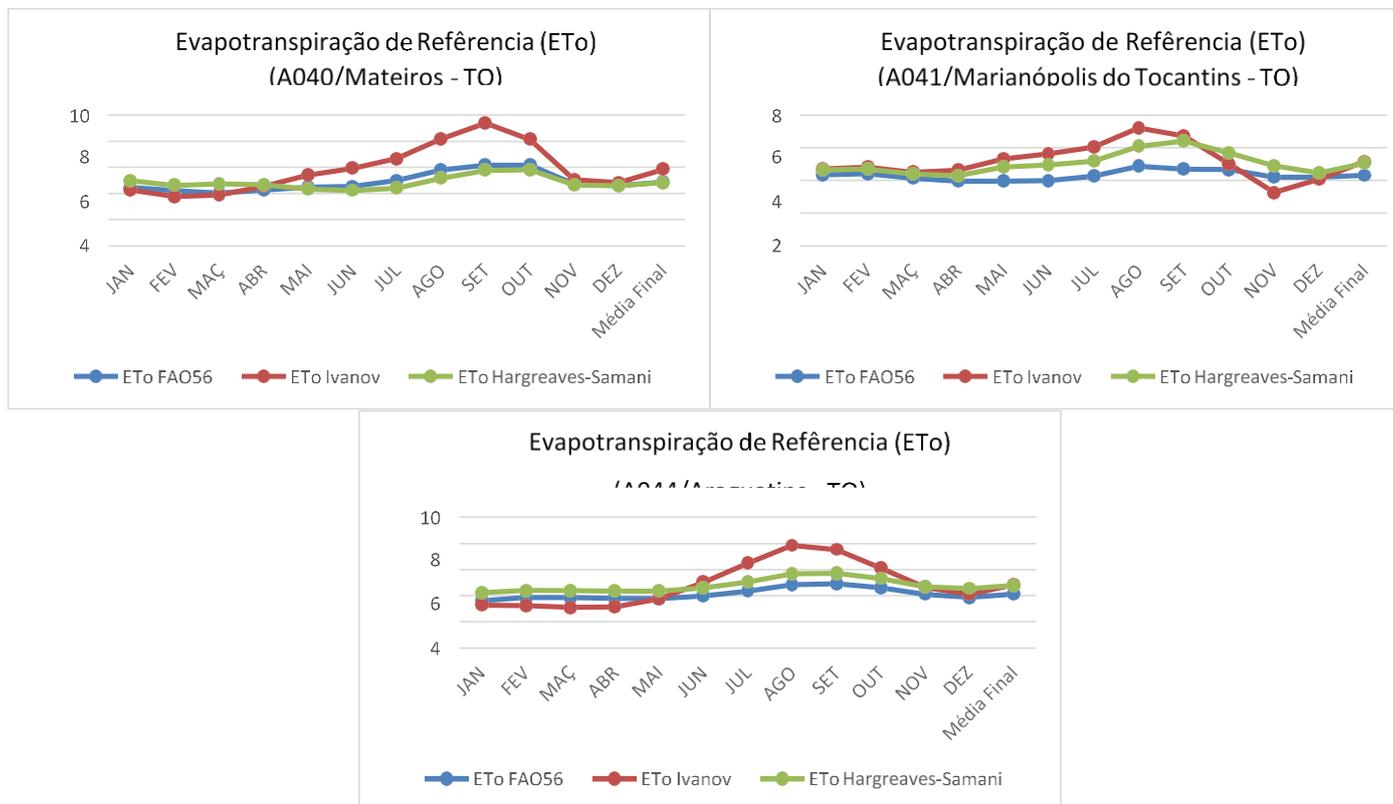


Figura 5. Valores médios diários da ETo estimados pelos diferentes métodos nas estações A040, A041, A044.

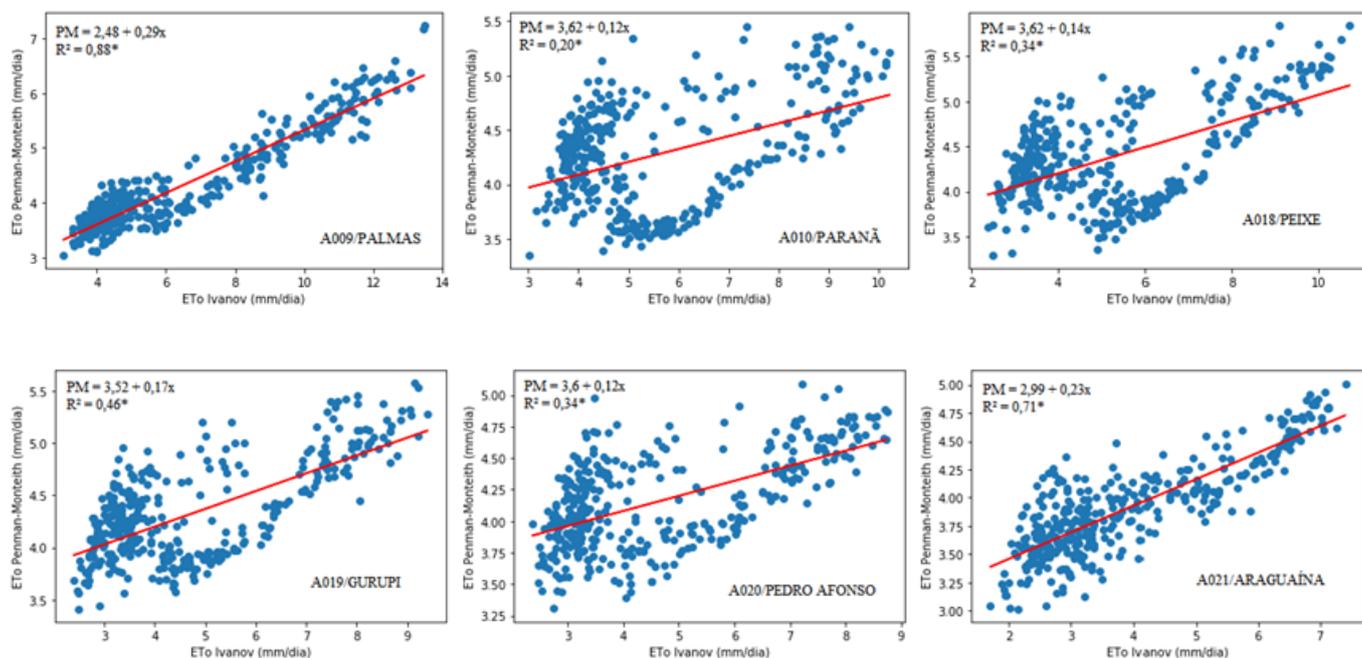


Figura 6. Regressão linear entre o modelo da estimativa da evapotranspiração pelo Método de Penman-Monteith e o método Ivanov para as estações A009, A010, A018, A019, A020 e A021; * Modelo linear significativo a nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

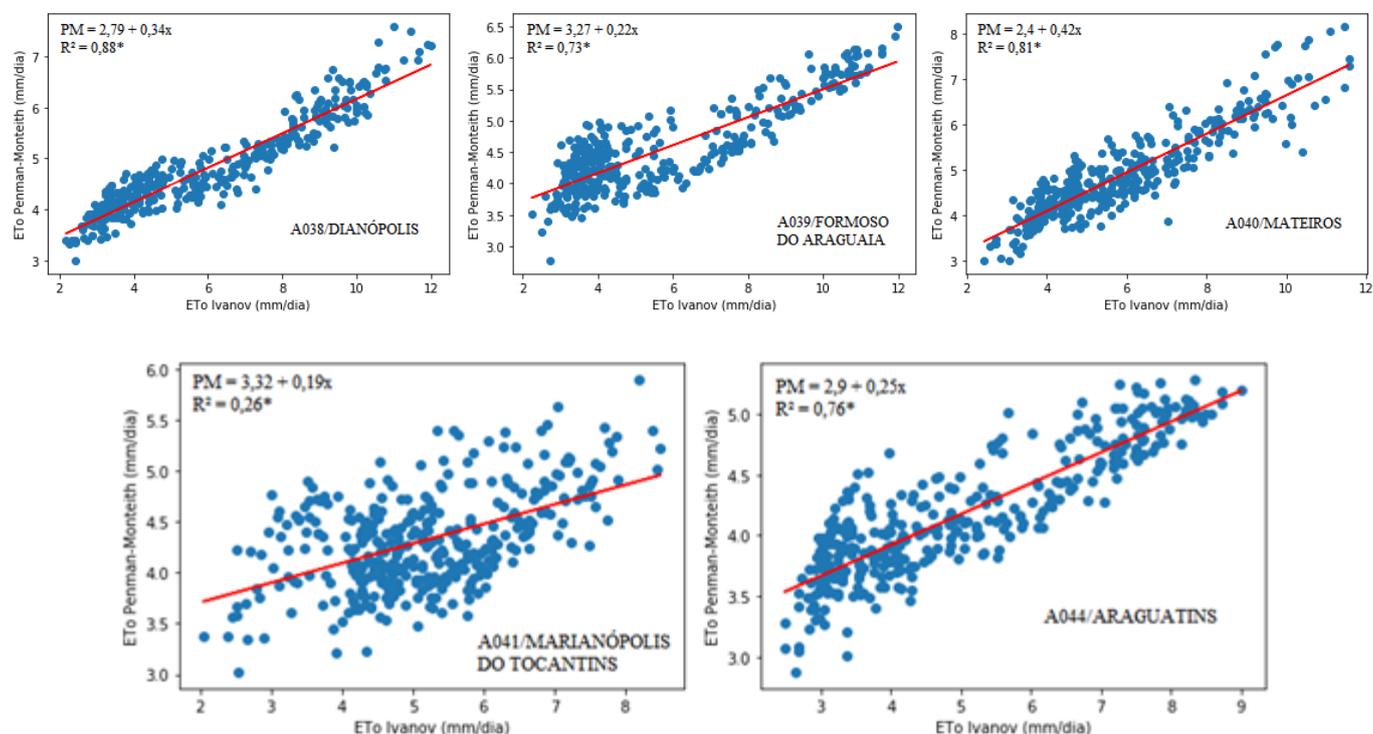


Figura 7. Regressão linear entre o modelo da estimativa da evapotranspiração pelo Método de Penman-Monteith e o método Ivanov para as estações A038, A039, A040, A041 e A044; * Modelo linear significativo a nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Organização do Atlas Digital

Com base nos resultados obtidos, apenas o método Hargreaves-Samani foi favorável para uso dentro da plataforma do “Atlas Digital da Evapotranspiração de referência”. Por apresentar uma estimativa mais fidedigna ao Padrão FAO 56 ao logo

de qualquer época do ano. Com base nisso, foi realizado as saídas para as estimativas de ETo, pelo método Hargreaves-Samani. Com os dados de reanálise, foi subdividida em 10 pontos de grade com tamanhos de 2°30” por 2°30” ao longo de todo o Estado do Tocantins (Figura 8).

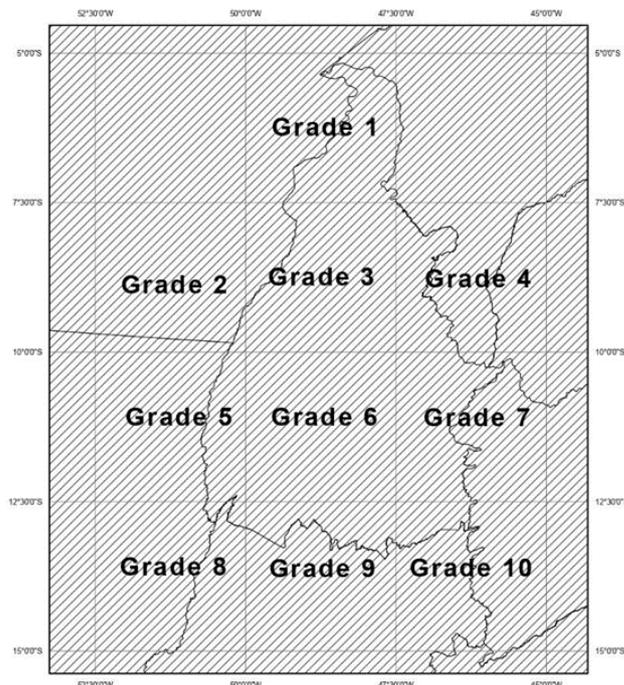


Figura 8. Pontos de grades representativas das saídas de ETo estimados com dados de reanálise dentro do Atlas Digital.

CONCLUSÃO

O método Hargreaves-Samani é o método que melhor substitui o método Penman- Monteith FAO56 para a estimativa de evapotranspiração de referência no Estado do Tocantins. O método Ivanov não é indicado como método substitutivo para o Penman-Monteith FAO56, por superestima os valores obtidos de ETo nos períodos de julho a outubro. Apenas o método Hargreaves-Samani pode compor o banco de dados do Atlas Digital da Evapotranspiração de Referência do Tocantins. Ademais, é perceptível que através da realização deste trabalho, que quanto maior for o banco de dados da série histórica melhor será os resultados e com melhores tendências para representar de forma mais fiel as tendências climatológicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alencar, L. P. et al. (2015). Estimativa da evapotranspiração de referência (ETo padrão FAO para Minas Gerais, na ausência de alguns dados Climáticos. **Eng. Agrícola, Jaboticabal**, v. 35, n. 1, p. 39-50.

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. (1998). **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 301p.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia**. [S.l.]: [s.n.], 2017. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/textos-das-paginas-do-portal/regiao-hidrografica-tocantins-araguaia>>. Acesso em 28 jan. 2020.

Back, A. J. (2008). Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para a estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga, SC. **Irriga, Botucatu**, v. 13, n. 4, p. 449-466.

SEPLAN. (2007). **Base da Dinâmica da Cobertura e Uso da Terra do Tocantins**. [S.l.]: SEPLAN, 2007. Disponível em: <<http://www.sefaz.to.gov.br/zoneamento/bases-vetoriais/base-da-dinamica-da-cobertura-e-uso-da-terra-do-tocantins>>. Acesso em 29 jan. 2020.

- Borges, R. L. M. et al. (2010). Evapotranspiração de referência utilizando a equação de Penmanmonteith com diferentes metodologias para o cálculo da temperatura média diária do ar. **Agropecuária Técnica**, Areia, PB, v. 31, n. 1, p. 25-31.
- Cruz, J.T. (2016). **Avaliação de métodos de estimativa de evapotranspiração para Brasília** – DF. Brasília, DF: Universidade de Brasília Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, jun. 35p.
- Ferraz, R. C.; Robaina, A. D. (2013). Nova abordagem na determinação de evapotranspiração de referência utilizando redes neurais artificiais. **Perspectiva**, Erechim, RS, v. 37, n. 139, p. 79-85.
- Lopes, L. F. D. (2003). Apostila estatística. [S.l.]: [s.n.]. 141p.
- Milone, G. (2004). **Estatística Geral e Aplicada**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning.
- Pereira, D. R. et. al. (2009). 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.
- Santos, D. (2019). **Ciência contribui para melhor manejo da água na produção agrícola do Tocantins**. [S.l.]: Embrapa, mar. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/42142531/artigo-ciencia-contribui-para-melhor-manejo-da-agua-na-producao-agricola-do-tocantins>>. Acesso em 28 jan. 2020.
- Tagliaferre, C. et al. (2012). Estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado da Bahia. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 2, p. 136-143.