









Modelos empíricos na determinação da lâmina de irrigação em cultivos na microrregião de Unaí, Minas Gerais

Empirical models for determining irrigation rates for crops in the micro-region of Unaí, Minas Gerais

Luan Barbosa Batista¹; Leonardo França da Silva^{2*}; Donizete dos Reis Pereira¹; José Rafael Franco³; Josiane Rosa Silva de Oliveira¹; Cristiano Marcio Alves de Souza²; Ariadna Faria Vieira⁴; Luciano José Minette¹

¹ Universidade Federal de Viçosa (UFV) – Minas Gerais – Brasil;

² Universidade Federal de Grande Dourado (UFGD) – Mato Grosso do Sul – Brasil;

³ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) – São Paulo – Brasil;

⁴ Universidade Estadual do Piauí – (UESPI) – Piauí – Brasil;

*Autor correspondente. E-mail: leonardo.silva@ufv.br

Recebido: 26/12/2024; Aceito: 17/02/2025

RESUMO

O objetivo deste estudo foi comparar modelos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) com o modelo padrão de Penman-Monteith ($ET_{0\text{FAO56}}$), utilizando dados de estações meteorológicas do INMET (2010-2019) para a região Noroeste de Minas Gerais, considerando períodos seco e chuvoso. Foram avaliados os modelos Radiação Global ($ET_{0\text{RG}}$), Blaney-Criddle ($ET_{0\text{BC}}$), Hargreaves-Samani ($ET_{0\text{HS}}$), Priestley-Taylor ($ET_{0\text{PT}}$), Makkink ($ET_{0\text{Makk}}$) e Turc ($ET_{0\text{Turc}}$), utilizando indicadores estatísticos como coeficiente de correlação (r), coeficiente de determinação (R^2), índice de concordância de Willmott (d) e índice de desempenho de Camargo e Sentelhas (c). O modelo de Radiação Global ($ET_{0\text{RG}}$) foi o mais preciso, apresentando um coeficiente de correlação $r = 0,84$ a $0,95$ e coeficiente de determinação R^2 variando de $0,71$ a $0,92$ entre as estações meteorológicas avaliadas. O índice de concordância (d) indicou boa aderência dos valores estimados ao modelo padrão ($d > 0,90$ em ambos os períodos). No entanto, observou-se uma superestimação dos valores de ET_0 pelo modelo $ET_{0\text{RG}}$, variando entre $9,69\%$ e $13,69\%$, dependendo da localidade e período climático analisado. Os resultados evidenciam que o modelo de Radiação Global é uma alternativa viável para a estimativa da evapotranspiração de referência, especialmente no período chuvoso, porém requer ajustes para minimizar a superestimação no período seco.

Palavras-chave: Variáveis climáticas, Penman-Monteith, manejo de irrigação, cultivos irrigados.

ABSTRACT

The objective of this study was to compare models for estimating reference evapotranspiration (ET_0) with the standard Penman-Monteith model ($ET_{0\text{FAO56}}$), using data from INMET weather stations (2010-2019) for the Northwest region of Minas Gerais, considering both dry and rainy periods. The Global Radiation ($ET_{0\text{RG}}$), Blaney-Criddle ($ET_{0\text{BC}}$), Hargreaves-Samani ($ET_{0\text{HS}}$), Priestley-Taylor ($ET_{0\text{PT}}$), Makkink ($ET_{0\text{Makk}}$), and Turc ($ET_{0\text{Turc}}$) models were evaluated using statistical indicators such as the correlation coefficient (r), coefficient of

determination (R^2), Willmott's concordance index (d), and Camargo e Sentelhas performance index (c). The Global Radiation model (ET_{0RG}) was the most accurate, with a correlation coefficient ranging from $r = 0.84$ to 0.95 and a coefficient of determination (R^2) between 0.71 and 0.92 across the evaluated weather stations. The concordance index (d) indicated good adherence of the estimated values to the standard model ($d > 0.90$ in both periods). However, the ET_{0RG} model showed an overestimation of ET_0 values, ranging from 9.69% to 13.69% , depending on the location and climate period analyzed. The results highlight that the Global Radiation model is a viable alternative for estimating reference evapotranspiration, especially in the rainy season, but requires adjustments to minimize overestimation in the dry season.

Keywords: Climate variables, Penman-Monteith, irrigation management, irrigated crops.

INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada brasileira vem crescendo vertiginosamente nos últimos anos, e, é responsável por mais de 50% da retirada total de água superficial no país e cerca de 70% do consumo total (ANA, 2019). Dessa maneira é classificada segundo ANA (2017) como uma atividade hidro intensiva e dispersa por todo o território brasileiro, embora mais concentrada em polos das regiões Sudeste, Sul e Centro Oeste.

De acordo com os dados publicados pela ANA (2017) no Atlas Irrigação, referentes ao ano de 2015, aponta que o Brasil tem um total de aproximadamente $6,95$ milhões de hectares irrigados.

Ao se deparar com a questão de demanda hídrica, existem vários processos diretos e indiretos para determinação da necessidade de água da cultura. Cada cultura necessita de uma quantidade específica de água, que varia em cada fase de desenvolvimento da mesma. Essa informação é agregada para se calcular a evapotranspiração real da cultura, ou seja, o suprimento necessário para os processos fisiológicos no clima local daquele mês (ANA, 2017).

As coletas de informações confiáveis da evapotranspiração real são escassas, de difícil obtenção e caras, pois demandam longo tempo de observação. Já a evapotranspiração potencial de referência, pode ser obtida de forma empírica e com modelos baseados nas leis físicas, de forma rápida e suficientemente precisas (Tucci, 2012). Para a determinação da evapotranspiração de referência, existem os métodos diretos, nos quais são utilizados lisímetros e medidas da umidade do solo, além dos métodos indiretos, que fazem uma estimativa da evapotranspiração através de um fator (K), a ser determinado para cada região e para cada método indireto (Bernardo *et al.*, 2006).

A determinação através do uso de lisímetros é a mais correta para se determinar a evapotranspiração, a leitura de suas medidas pode ser volumétrica ou de massa, dependendo do tipo de lisímetro usado. A medida da umidade de solo é feita através de sucessivas mensurações, que permitem por diferença estabelecer um valor da evapotranspiração, para tais medidas podem ser usados os métodos de gravimetria, resistência elétrica, tensiométrico entre outros (Tucci, 2012). Vale ressaltar que essas metodologias podem apresentar grandes variabilidades, devidos às condições físicas do solo além de envolverem um maior custo e tempo na determinação da evapotranspiração. Variáveis, geralmente, com domínio específico de uso para áreas irrigadas (Silva *et al.*, 2010).

Os métodos indiretos são mais simples que os diretos e, normalmente, os substituem, e podem ser calculados através de equações baseadas na temperatura, radiação solar, umidade relativa, velocidade do vento, etc. Para isso temos vários métodos que se utilizam dessas grandezas. O coeficiente de cultura (K_c) é um valor adimensional, que varia de acordo com estágio de desenvolvimento da cultura e que foi proposto Van Wijk e Vries,

o qual representa a correlação entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência (Sediyama *et al.*, 1998).

Minas Gerais possui uma produção bastante diversificada de grãos, produzindo, principalmente, milho, feijão, soja, algodão, trigo, sorgo, amendoim, girassol e mamona (6,0% da produção nacional). A área colhida, em 2017, foi de 3,4 milhões de hectares, produzindo 14,3 milhões de toneladas, concentradas em sua maior parte nas regiões Noroeste e Triângulo mineiro (IBGE, 2017). Minas apresenta irrigação diversificada, mas tem como destaque o sistema de irrigação por pivô central para as áreas de produção de grãos (ANA, 2019).

O objetivo deste trabalho foi comparar os métodos de estimativa de evapotranspiração de referência Radiação Solar (ET_{0RG}), Blaney Criddle (ET_{0BC}), Hargreaves-Samani (ET_{0HS}), Priestley Taylor (ET_{0PT}), Makkink (ET_{0Makk}) e Turc (ET_{0Turc}), com o método padrão Penman-Monteith (FAO 56) (ET_{0FAO56}), estimar a evapotranspiração para as principais culturas (feijão, milho e soja) da região Noroeste - MG e determinar as lâminas de irrigação diária para o sistema de pivô central e irrigação localizada.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido para a região Noroeste de Minas Gerais, a microrregião de Unai, uma das mais importantes para o estado em termos de produção de grãos. A Figura 1 destaca a região dentro do estado e do país.

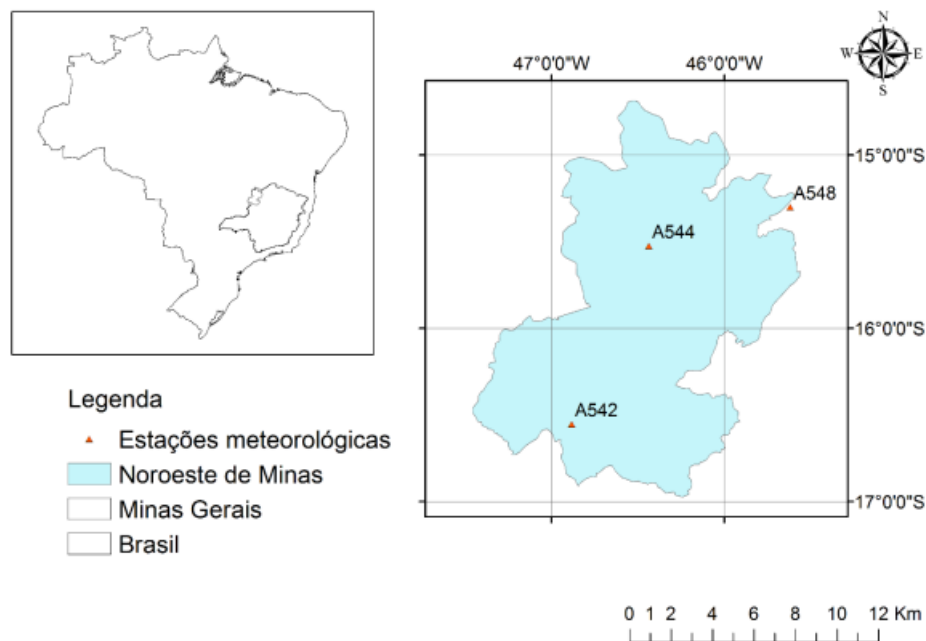


Figura 1. Microrregião de Unai, Minas Gerais, destacando as estações meteorológicas utilizadas no estudo.

O clima da região de acordo com a classificação climática de Köppen, desenvolvida com base em dados de precipitação pluvial, temperatura e sua distribuição dentro das estações, é caracterizada como Aw; clima tropical com inverno seco, com precipitação invernal inferior a 60mm mensal, apresentando normalmente, vegetação de cerrado ou campos com predominância de arbustos e vegetação rasteira (Sá Junior, 2009). Os dados utilizados nesse estudo foram coletados de três estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) presentes na região (Tabela 1), Buritis, Chapada Gaúcha e Unai e separados em dois períodos climáticos, seco (abril, maio, junho, julho, agosto e setembro) e chuvoso (janeiro, fevereiro, março, outubro novembro e dezembro).

Tabela 1. Informações geográficas das estações meteorológicas do INMET.

Identificação	Coordenadas (Lat, Long)	Altitude (m)
A542 - Unai	[-16.55, -46.88]	640,85
A544 - Buritis	[-15.52, -46.44]	894
A548 - Chapada Gaúcha	[-15.3, -45.62]	873,2

Feita a coleta dos dados diários de precipitação, pressão atmosférica, radiação global, temperaturas máximas e mínimas, umidade relativa e velocidade do vento, desde 01/01/2010 a 31/12/2019, excluiu-se as falhas e procedeu-se com a aplicação destes nos métodos indiretos de obtenção da evapotranspiração (Penman-Monteith (FAO 56) ($ET_{0\text{ FAO56}}$), modelo Radiação Solar ($ET_{0\text{ RG}}$), Blaney Criddle ($ET_{0\text{ BC}}$), Hargreaves-Samani ($ET_{0\text{ HS}}$), Priestley Taylor ($ET_{0\text{ PT}}$), Makkink ($ET_{0\text{ Makk}}$) e Turc ($ET_{0\text{ Turc}}$)), dentro do Software REF-ET (versão 4.1 de 2016), desenvolvido pelo Allen. O modelo padrão FAO 56 Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) - $ET_{0\text{ FAO56}}$, é um modelo criado por Penman e aprimorado Monteith, em que foram incorporados aspectos aerodinâmicos e termodinâmicos, incluindo na sua dedução a resistência ao fluxo de calor sensível e vapor da água e a resistência da superfície à transferência de vapor da água. Esse modelo é descrito pela seguinte equação:

$$ET_{0\text{ FAO56}} = \frac{0.408 * \Delta * (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma * (1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

em que R_n é a radiação líquida total diária ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); G é a densidade de fluxo de calor no solo ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); T é a média diária da temperatura do ar a 2m de altura ($^{\circ}\text{C}$); u_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa); e_a é a pressão de vapor atual (kPa); Δ é a inclinação da curva de pressão de vapor versus temperatura ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); γ é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); 0,408 é o fator de conversão para o termo $(R_n - G)$, de MJ m^{-2} por dia para milímetro por dia.

A $ET_{0\text{ FAO56}}$ obtida por meio deste modelo foi utilizada na avaliação da ET_0 estimada com os outros modelos, uma vez que este é o mais preciso e considerado como o padrão de referência para comparação na estimativa da ET_0 (Allen *et al.*, 1998).

O modelo de Blaney Criddle (1950) FAO 24 - $ET_{0\text{ BC}}$, correlaciona a temperatura média mensal e a duração do dia com a demanda de água (Carvalho *et al.*, 2010) e pode ser assim descrito.

$$ET_{0\text{ BC}} = K * p * (0,46 * T + 8,13) \quad (2)$$

em que K é o coeficiente empírico, com valor de 0,75 para superfície gramada, conforme Sedyama (1998); p é a porcentagem do total de fotoperíodo médio diário mensal sobre o total de fotoperíodo anual T é a temperatura média mensal ($^{\circ}\text{C}$).

O método de Hargreaves e Samani (1985) - $ET_{0\text{ HS}}$, é aplicado usando a latitude e temperatura máxima, média e mínima diária, descrito pela seguinte equação.

$$ET_0 = 0,0023 * (T_{med} + 17,8) * (T_{max} - T_{min})^{0,5} * Ra \quad (3)$$

em que Ra é a radiação no topo da atmosfera, $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; T_{max} , T_{min} e T_{med} são as temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) máxima, mínima e média diária, respectivamente.

O modelo de Priestley-Taylor - ET_{0PT} , faz a correlação do saldo de radiação, fluxo de calor no solo e temperatura do ar, devido as baixas necessidades de dados tem sido comumente utilizado e pode ser descrito da seguinte maneira:

$$ET_{0PT} = \alpha * W * \frac{(Rn - G)}{\lambda} \quad (4)$$

em que α é o coeficiente de Priestley-Taylor, que varia de 1,08 a 1,32, com um valor médio de 1,26, o qual é considerado a melhor estimativa (Fietz; Fisch, 2009); W é o fator de ponderação dependente da temperatura do ar e do coeficiente psicrométrico; Rn é a radiação líquida total diária, em $MJ.m^{-2}.d^{-1}$; G é o fluxo total diário de calor no solo, em $MJ.m^{-2}.d^{-1}$; λ é o calor latente de evaporação, que equivale a $2,45 MJ.kg^{-1}$.

O fator “ W ” pode ser calculado pelas seguintes equações:

$$W = 0,407 * 0,0145 * T \quad (0^\circ C < T < 16^\circ C) \quad (5)$$

$$W = 0,483 * 0,01 * T \quad (16,1^\circ C < T < 32^\circ C) \quad (6)$$

O método Makkink - ET_{0Makk} , propõe-se a estimar a evapotranspiração de referência, correlacionando a evapotranspiração potencial diária com a radiação solar da seguinte forma:

$$ET_{0Makk} = 0,61 * \frac{Rs}{2,45} * \frac{s}{s + \gamma} - 0,12 \quad (7)$$

em que Rs é a radiação líquida na superfície da planta ($MJ m^{-2} dia^{-1}$); s é a declividade da curva de pressão de vapor ($kPa ^\circ C^{-1}$); γ é a constante psicrométrica ($kPa ^\circ C^{-1}$);

O método FAO Radiação Solar (Doorembos; Pruit, 1977) - ET_{0RG} , é uma adaptação do método de Makkink (ET_{0Makk}), fazendo a adição da pressão atmosférica diária na determinação do parâmetro W , sendo assim, é representada pela seguinte equação.

$$ET_{0RG} = c * W * Rs \quad (8)$$

em que c é o coeficiente que representa a inclinação da reta de regressão, obtido como descrito em Doorembos e Kassan (1994) e Pereira *et al.* (1997). O fator “ W ” é calculado pelas equações (6) e (7) apresentadas anteriormente; Rs é a radiação líquida na superfície da planta ($MJ m^{-2}.d^{-1}$).

O modelo de Turc - ET_{0Turc} , de acordo com Fernandes *et al.* (2010) é recomendado para regiões costeiras e úmidas, este modelo faz a correlação entre temperatura e radiação solar, sendo descrito da seguinte maneira:

$$ET_{0Turc} = 0,013 * \frac{T_{med}}{T_{med} + 15} (23,88 * Rs + 50) \quad (9)$$

em que T_{med} é temperatura média diária em $^\circ C$; Rs é a radiação líquida na superfície da planta ($MJ m^{-2}.d^{-1}$).

Após a aplicação dos modelos para a estimativa da ET_0 para a região, comparou-se os resultados de cada modelo com os do método padrão (PenmanMonteith - $ET_{0\text{FAO56}}$) realizando o teste *T-Student*, afim de, identificar se existia diferença estatística entre os métodos e por meio dos seguintes indicadores estatísticos: erro padrão de estimativa (EPE); regressão linear; coeficiente de determinação (r^2); coeficiente de correlação (r); índice de concordância de Willmott (d); e índice de desempenho de Camargo e Sentelhas (c); para avaliar a qualidade de cada modelo para a região de estudo.

O erro padrão de estimativa “EPE” foi determinado pela seguinte equação:

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum(O_I - P_I)^2}{N - 1}} \quad (10)$$

em que O_I são os valores estimados pelo PM (mm por dia); P_I são os valores estimados pelos modelos simplificados (mm por dia); N é o número de valores.

Aplicou-se a análise de regressão com a determinação do coeficiente linear “a”; coeficiente angular (b); coeficiente de determinação “ r^2 ”; coeficiente de correlação “ r ”; onde este último de acordo com Silva e Barros (2003), pode variar -1 a +1 e seguem a seguinte classificação de correlação (Tabela 2).

Tabela 2. Valores do coeficiente de correlação e sua classificação.

Valores do coeficiente (r)	Classificação da correlação
1	Perfeita Positiva
0,70 a 0,99	Muito Forte Positiva
0,30 a 0,69	Moderada Positiva
0,01 a 0,29	Fraca Positiva
0	Nenhuma
-0,01 a -0,29	Fraca Negativa
-0,30 a -0,69	Moderada Negativa
-0,70 a -0,99	Muito Forte Negativa
-1	Perfeita Negativa

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

O índice de concordância “ d ” de Willmott, proposto por Willmott *et al.* (1985), pode variar entre 0 (nenhuma concordância) a 1 (concordância perfeita).

$$d = 1 - \frac{\sum(P_I - O_I)^2}{\sum[|(P_I - O)| + (|O_I - O|)]^2} \quad (11)$$

em que O é o valor médio da ET_0 estimado pelo $ET_{0\text{FAO56}}$ (mm por dia); O_I são os valores estimados pelo PM (mm por dia); P_I são os valores estimados pelos modelos simplificados (mm por dia);

O coeficiente de confiança ou desempenho “ c ” proposto por Camargo e Sentelhas (1997) é uma metodologia bastante utilizada a fim de determinar o desempenho de modelos de estimativa de ET_0 , sua determinação é feita pelo produto do índice de precisão e exatidão, “ r ” e “ d ”, respectivamente.

$$c = r * d \quad (12)$$

Ressalta-se que a classificação do desempenho se baseou no indicador estatístico “c”, e os demais indicadores servem apenas para dar suporte à classificação (Tabela 3).

Tabela 3. Valores do coeficiente de confiança ou desempenho e sua classificação.

Valores do coeficiente (c)	Classificação da correlação
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 e 0,65	Mediano
0,51 e 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Após ser determinada a evapotranspiração de referência (ET_0), na escala diária, utilizou-se a tabela da FAO (Tabela 4) dos coeficientes da cultura (K_c) e pelo produto deste com a ET_0 determinou-se a evapotranspiração da cultura (ET_c), conseguindo dessa forma estimar a lâmina diária de irrigação (mm/dia), necessária para manter as principais culturas da região nas condições ideais de crescimento e desenvolvimento, contribuindo desta forma para uma agricultura irrigada feita de maneira racional. As lâminas diárias de irrigação foram determinadas pensando na adoção dos sistemas de pivô central e irrigação localizada.

Tabela 4. Coeficientes das culturas (K_c).

Cultura	Estágio de Desenvolvimento da Cultura					Período Vegetativo Total
	(I) Inicial	(II) Desenvolvimento da Cultura	(III) Período Intermediário	(IV) Final do Ciclo	(V) Colheita	
Alfafa	0,30 – 0,40				1,05 – 1,20	0,85 – 1,05
Algodão	0,40 – 0,50	0,70 – 0,80	1,05 – 1,25	0,80 – 0,90	0,65 – 0,70	0,80 – 0,90
Amendoim	0,40 – 0,50	0,70 – 0,80	0,95 – 1,05	0,75 – 0,85	0,55 – 0,60	0,75 – 0,80
Arroz	1,10 – 1,15	1,10 – 1,50	1,10 – 1,30	0,95 – 1,05	0,95 – 1,05	0,70 – 0,85
Banana Tropical	0,40 – 0,50	0,70 – 0,85	1,00 – 1,10	0,90 – 1,00	0,75 – 0,85	0,70 – 0,80
Banana Subtropical	0,50 – 0,65	0,80 – 0,90	1,05 – 1,20	1,00 – 1,15	1,00 – 1,15	0,85 – 0,95
Batata	0,40 – 0,50	0,70 – 0,90	1,05 – 1,20	0,85 – 0,95	0,70 – 0,75	0,75 – 0,90
Baterraba açucareira	0,40 – 0,50	0,70 – 0,80	1,05 – 1,20	0,90 – 1,00	0,60 – 0,70	0,80 – 0,90
Cana de açúcar	0,40 – 0,50	0,70 – 1,00	1,00 – 1,30	0,75 – 0,80	0,50 – 0,60	0,85 – 1,05
Cártamo	0,30 – 0,40	0,70 – 0,80	1,05 – 1,20	0,65 – 0,70	0,20 – 0,25	0,65 – 0,70
Cebola seca	0,40 – 0,60	0,70 – 0,80	0,95 – 1,10	0,80 – 0,90	0,75 – 0,85	0,80 – 0,90
Cebola verde	0,40 – 0,60	0,60 – 0,75	0,95 – 1,05	0,95 – 1,05	0,95 – 1,05	0,65 – 0,80

Citros com tratos culturais						0,65 – 0,75
Citros sem tratos culturais						0,85 – 0,90
Ervilha verde	0,40 – 0,50	0,70 – 0,85	1,05 – 1,20	1,00 – 1,15	0,95 – 1,10	0,80 – 0,95
Feijão verde	0,30 – 0,40	0,65 – 0,75	0,95 – 1,05	0,90 – 0,95	0,85 – 0,95	0,85 – 0,90
Feijão seco	0,30 – 0,40	0,70 – 0,80	1,05 – 1,20	0,65 – 0,75	0,25 – 0,30	0,80 – 0,90
Girassol	0,30 – 0,40	0,70 – 0,80	1,05 – 1,20	0,70 – 0,80	0,35 – 0,45	0,70 – 0,80
Melancia	0,40 – 0,50	0,70 – 0,80	0,95 – 1,05	0,80 – 0,90	0,65 – 0,75	0,75 – 0,85
Milho doce	0,30 – 0,50	0,70 – 0,90	1,05 – 1,20	1,00 – 1,15	0,95 – 1,10	0,75 – 0,85
Milho grão	0,30 – 0,50	0,70 – 0,85	1,05 – 1,20	0,80 – 0,95	0,55 – 0,60	0,80 – 0,95
Oliveira						0,40 – 0,60
Pimentão Verde	0,30 – 0,40	0,60 – 0,75	0,95 – 1,10	0,85 – 1,00	0,80 – 0,90	0,70 – 0,80
Repolho	0,40 – 0,50	0,70 – 0,80	0,95 – 1,10	0,90 – 1,00	0,80 – 0,95	0,70 – 0,80
Soja	0,30 – 0,40	0,70 – 0,80	1,00 – 1,15	0,70 – 0,80	0,40 – 0,50	0,75 – 0,90
Sorgo	0,30 – 0,40	0,70 – 0,75	1,00 – 1,15	0,75 – 0,80	0,50 – 0,55	0,75 – 0,85
Tomate	0,40 – 0,50	0,70 – 0,80	1,05 – 1,25	0,80 – 0,95	0,60 – 0,65	0,75 – 0,90
Trigo	0,30 – 0,40	0,70 – 0,80	1,05 – 1,20	0,65 – 0,75	0,20 – 0,25	0,80 – 0,90
Uva	0,35 – 0,55	0,60 – 0,80	0,70 – 0,90	0,60 – 0,80	0,55 – 0,70	0,55 – 0,75

Fonte: Adaptado de Agrometeorologia (2010).

Para isso, foi realizado um estudo técnico, utilizando as médias de ET_0 obtida com cada modelo e a média de K_c para cada fase de desenvolvimento da cultura, para a obtenção da lâmina diária de irrigação para os sistemas de aspersão do tipo pivô central e localizada, para o cultivo de plantio safra da soja, safrinha milho e terceira safra feijão na região de Unai.

RESULTADOS

Os resultados gerados além de serem interpretados pelos indicadores estatísticos citados anteriormente, foram submetidos ao teste *T-Student* com $\alpha=5\%$ para verificar se existia diferença significativa entre as médias em relação ao modelo ET_0_{FAO56} , resultado ao qual foi negativo, demonstrando que estatisticamente não há diferença entre valores estimados.

Nas figuras 2, 3 e 4, apresentam-se as regressões lineares ajustadas entre os modelos: ET_0_{BC} , ET_0_{HS} , ET_0_{PT} , ET_0_{Makk} e ET_0_{Ture}) comparados ao método ET_0_{FAO56} para a estimativa da ET_0 no período seco do ano, e nas figuras 5, 6 e 7 para o período chuvoso.

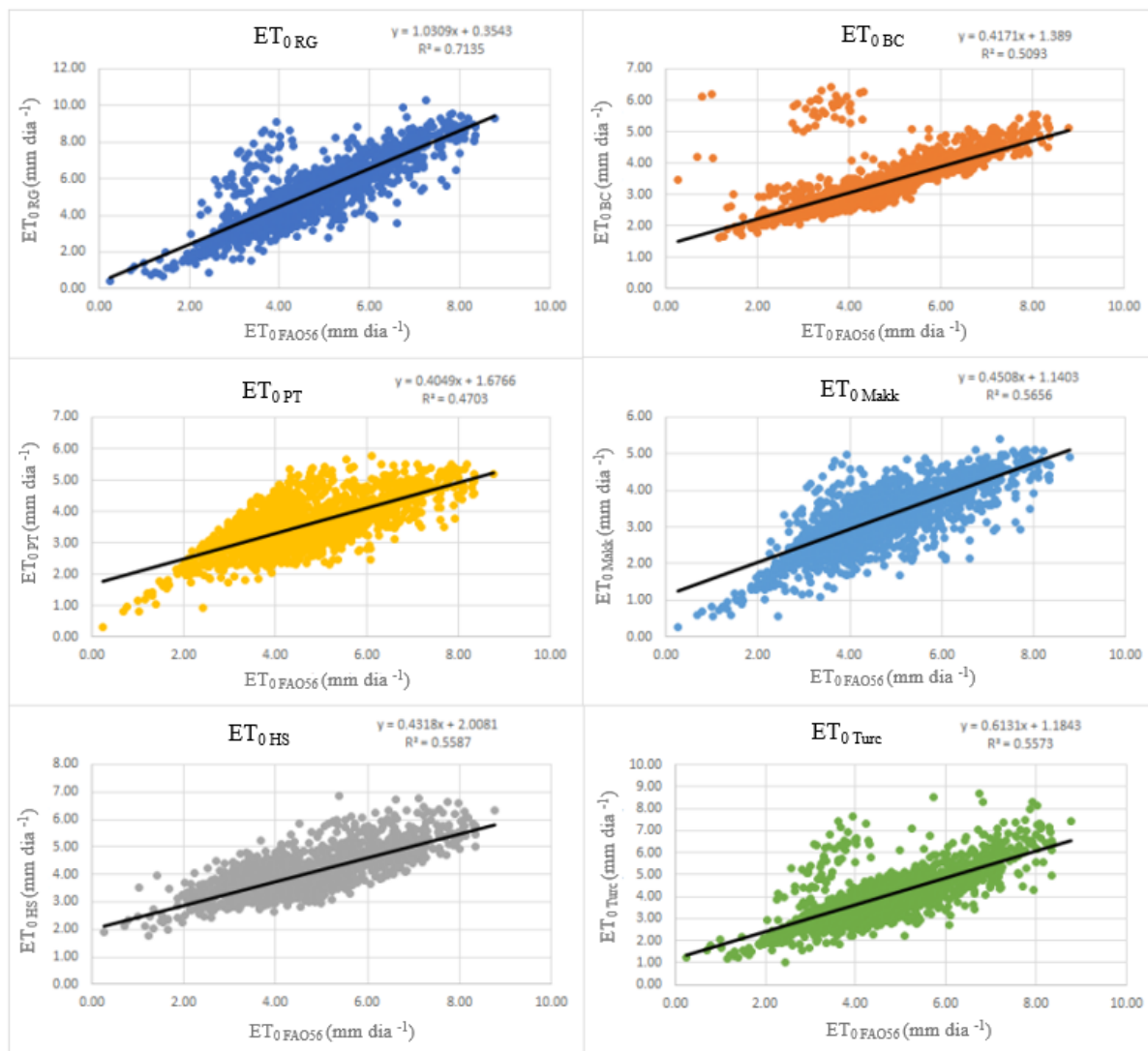


Figura 2. Comparação entre os valores diários de ET₀ do modelo padrão FAO-56PM com os respectivos modelos empíricos para estação meteorológica de Buriti-MG, durante período seco.

Legenda: ET₀FAO56: Método de Penman-Monteith (FAO-56); ET₀RG: Método da Radiação Solar Global; ET₀BC: Método de Blaney Criddle; ET₀HS: Método de Hargreaves-Samani; ET₀PT: Método de Priestley Taylor; ET₀Makk: Método de Makkink; ET₀Turc: Método de Turc.

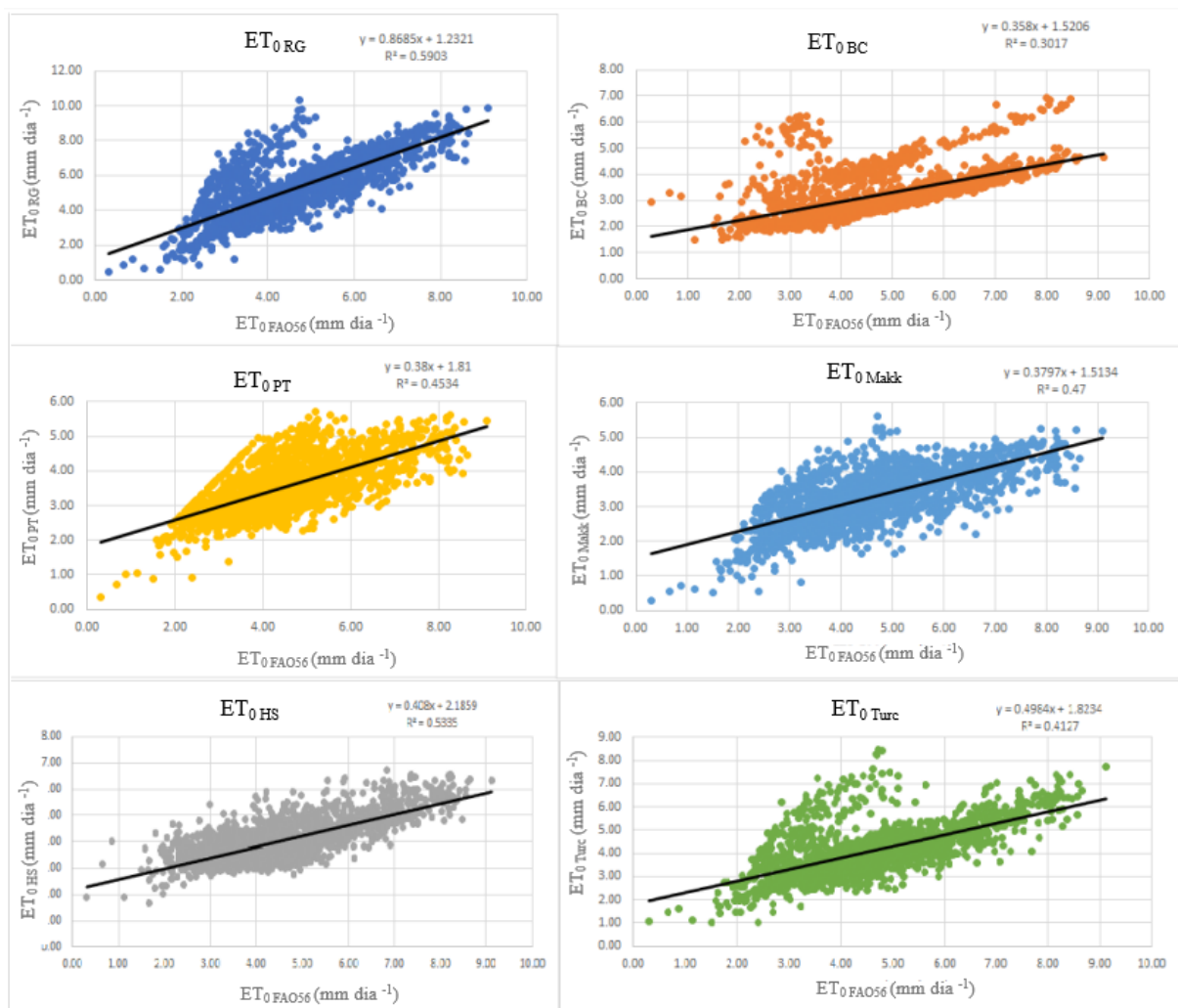


Figura 3. Comparação entre os valores diários de ET_0 do modelo padrão $ET_{0\text{FAO56}}$ com os respectivos modelos empíricos utilizando dados de estação meteorológica de Chapada Gaúcha-MG, durante período seco.

Legenda: $ET_{0\text{FAO56}}$: Método de Penman-Monteith (FAO-56); $ET_{0\text{RG}}$: Método da Radiação Solar Global; $ET_{0\text{BC}}$: Método de Blaney Criddle; $ET_{0\text{HS}}$: Método de Hargreaves-Samani; $ET_{0\text{PT}}$: Método de Priestley Taylor; $ET_{0\text{Makk}}$: Método de Makkink; $ET_{0\text{Ture}}$: Método de Turc.

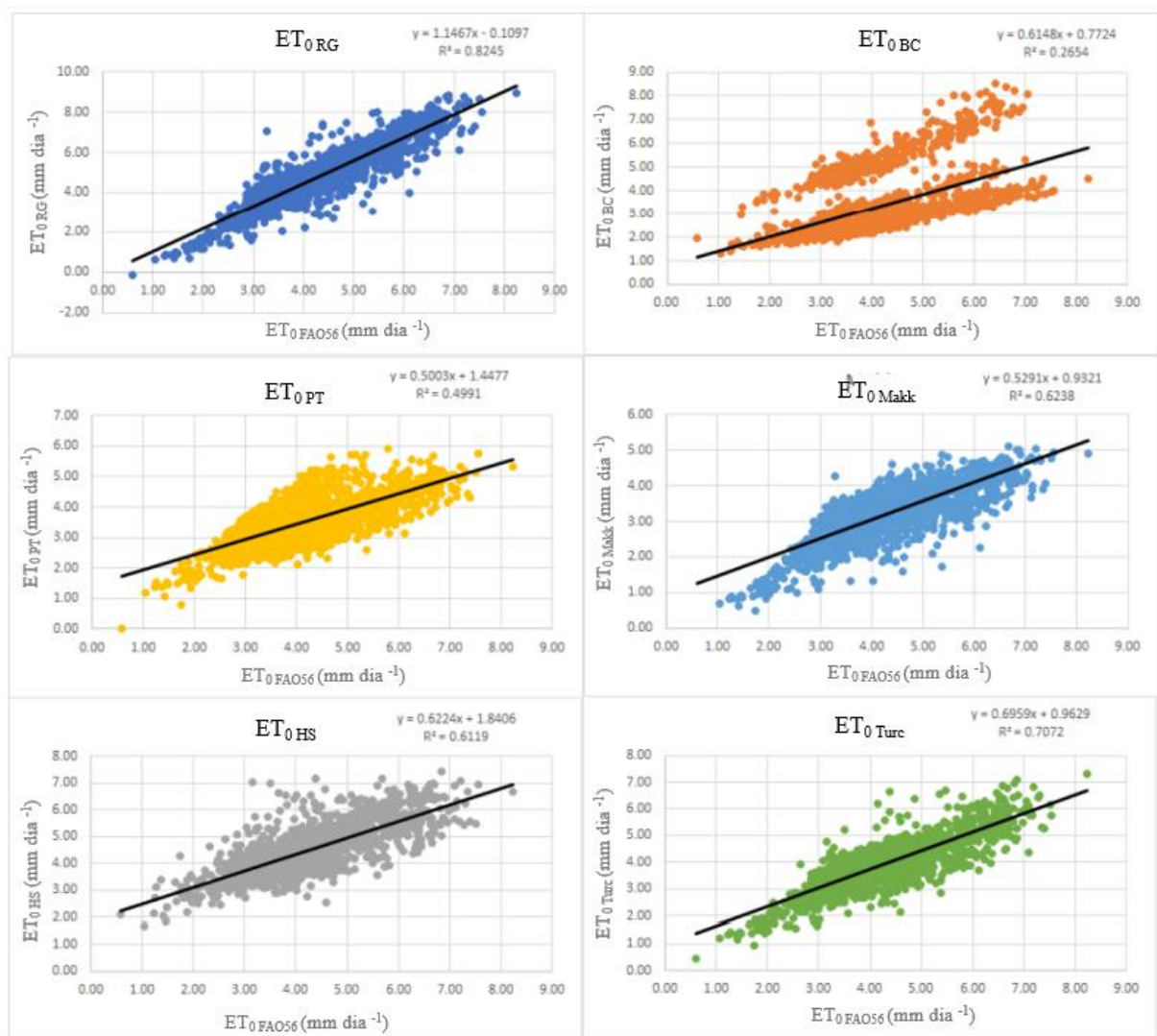


Figura 4. Comparação entre os valores diários de ET₀ do modelo padrão ET₀FAO56 com os respectivos modelos empíricos utilizando dados de estação meteorológica de Unai-MG, durante período seco.

Legenda: ET₀FAO56: Método de Penman-Monteith (FAO-56); ET₀RG: Método da Radiação Solar Global; ET₀BC: Método de Blaney Criddle; ET₀HS: Método de Hargreaves-Samani; ET₀PT: Método de Priestley Taylor; ET₀Makk: Método de Makkink; ET₀Turc: Método de Turc.

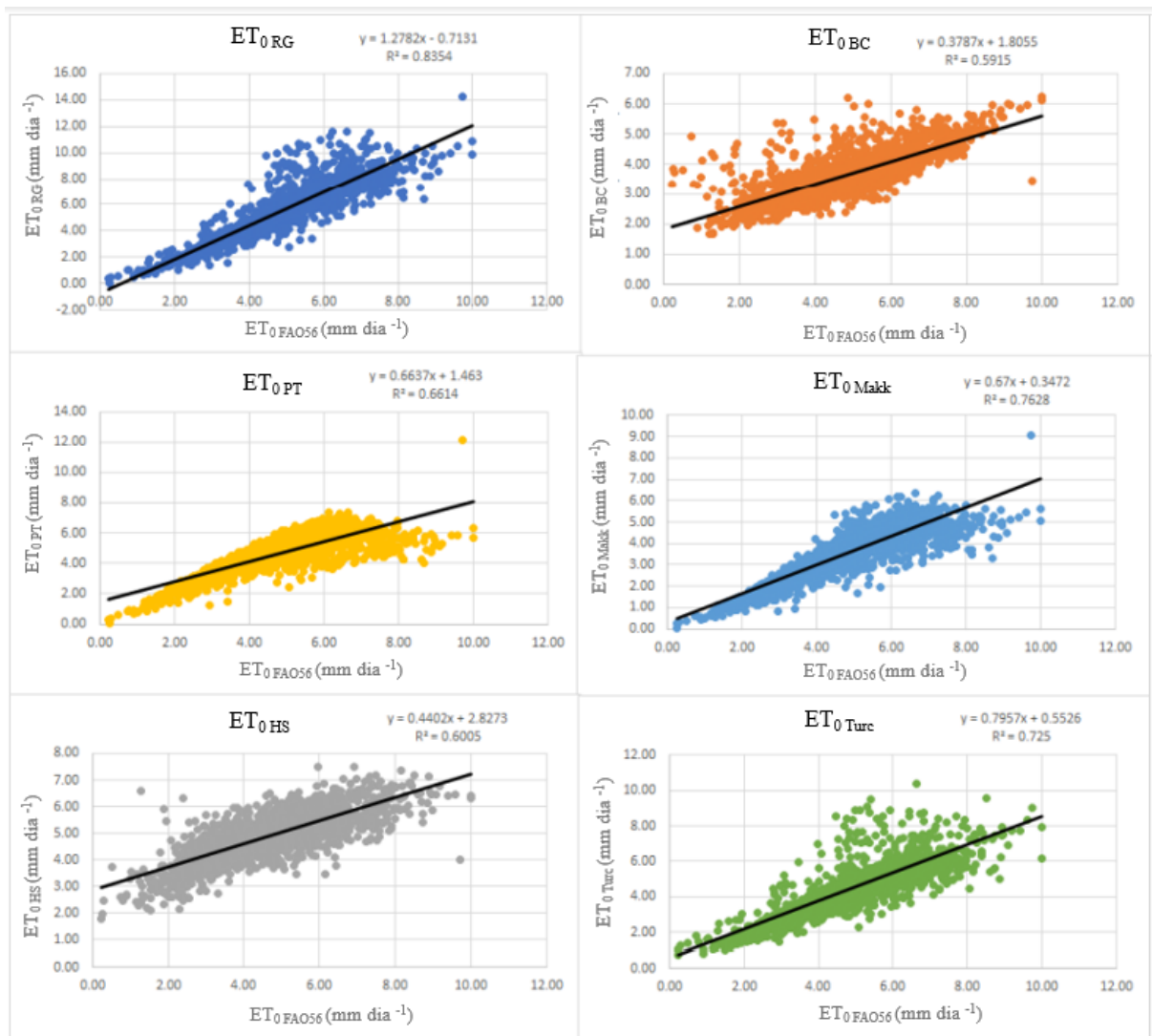


Figura 5. Comparação entre os valores diários de ET₀ do modelo padrão ET₀FAO56 com os respectivos modelos empíricos utilizando dados de estação meteorológica de Buriti-MG, durante período chuvoso.

Legenda: ET₀FAO56: Método de Penman-Monteith (FAO-56); ET₀RG: Método da Radiação Solar Global; ET₀BC: Método de Blaney Criddle; ET₀HS: Método de Hargreaves-Samani; ET₀PT: Método de Priestley Taylor; ET₀Makk: Método de Makkink; ET₀Turc: Método de Turc.

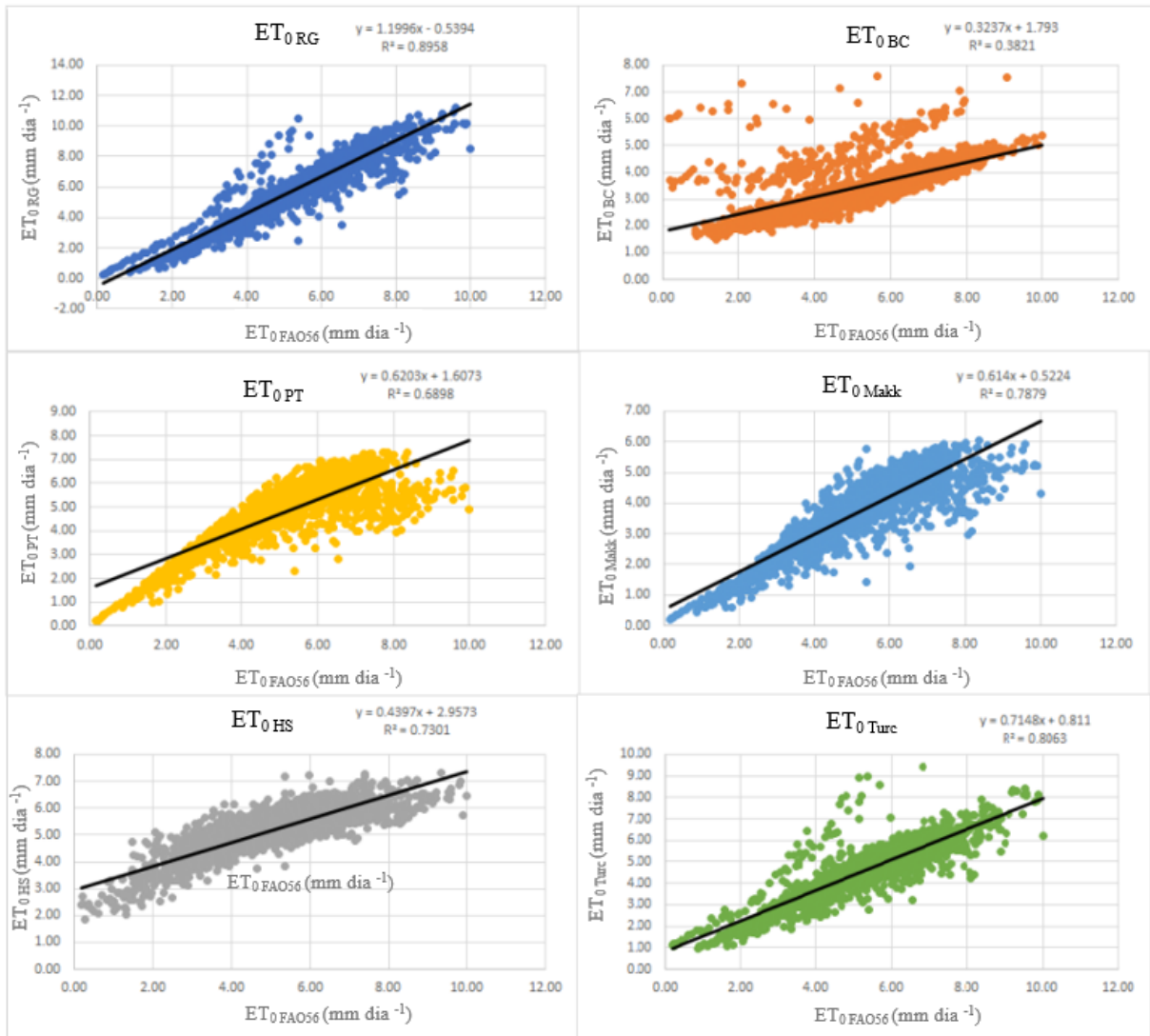


Figura 6. Comparação entre os valores diários de ET₀ do modelo padrão ET₀ FAO56 com os respectivos modelos empíricos utilizando dados de estação meteorológica de Chapada Gaúcha-MG, durante período chuvoso.

Legenda: ET₀ FAO56: Método de Penman-Monteith (FAO-56); ET₀ RG: Método da Radiação Solar Global; ET₀ BC: Método de Blaney Criddle; ET₀ HS: Método de Hargreaves-Samani; ET₀ PT: Método de Priestley Taylor; ET₀ Makk: Método de Makkink; ET₀ Turc: Método de Turc.

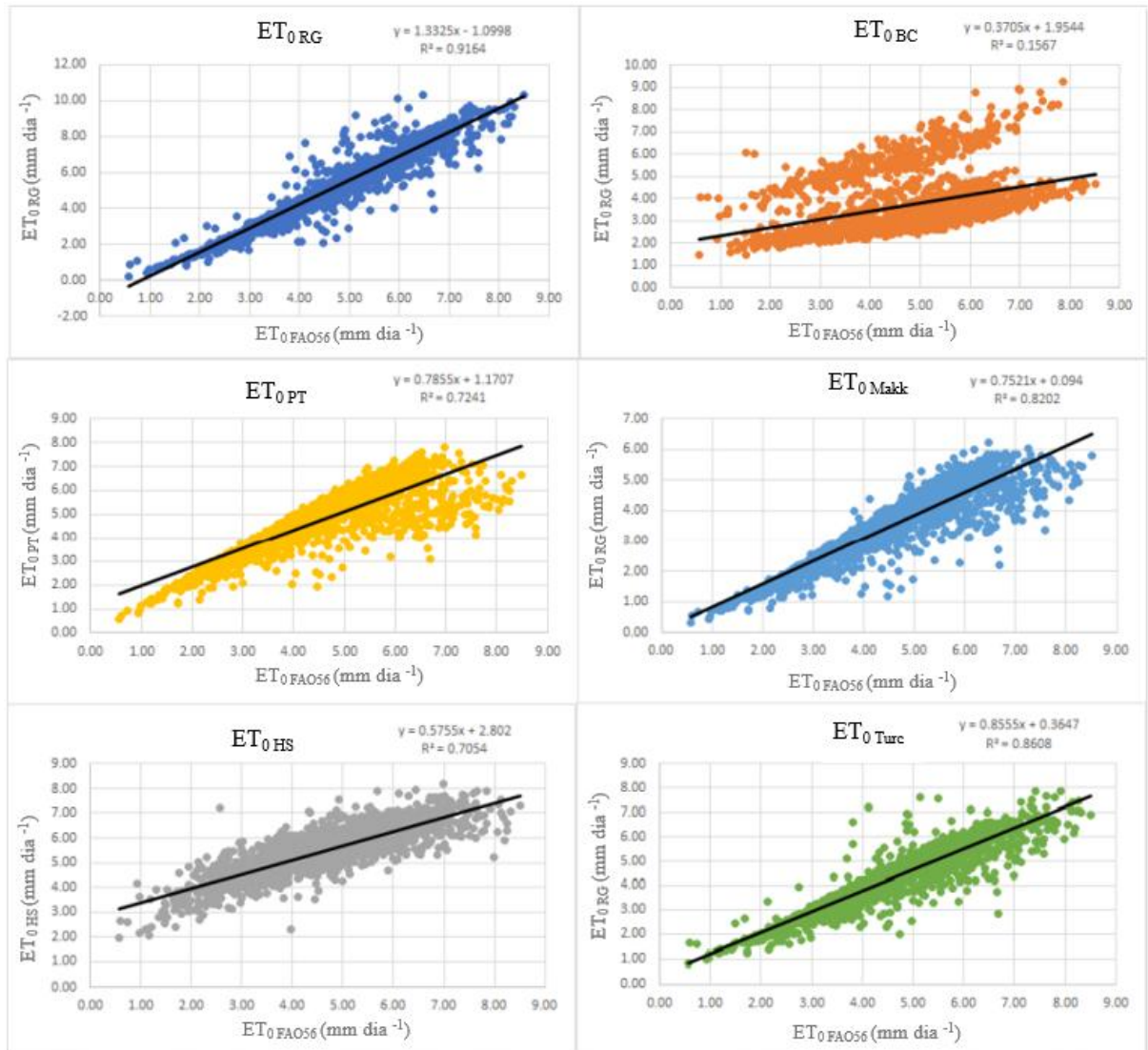


Figura 7. Comparação entre os valores diários de ET₀ do modelo padrão ET_{0FAO56} com os respectivos modelos empíricos utilizando dados de estação meteorológica de Unai-MG, durante período chuvoso.

Legenda: ET_{0FAO56}: Método de Penman-Monteith (FAO-56); ET_{0RG}: Método da Radiação Solar Global; ET_{0BC}: Método de Blaney Criddle; ET_{0HS}: Método de Hargreaves-Samani; ET_{0PT}: Método de Priestley Taylor; ET_{0Makk}: Método de Makkink; ET_{0Turc}: Método de Turc.

A análise gráfica da dispersão dos valores permitiu visualizar boas correlações entre os modelos melhor ajustados com o modelo padrão e àqueles ao quais subestimaram ou superestimaram a evapotranspiração.

Após a análise de regressão e interpretação dos resultados gerados, foi possível classificar os modelos conforme proposto por Camargo e Sentelhas (1997). Foi observado que o mesmo modelo de estimativa para a mesma estação, pode se comportar de forma diferente ao se analisar seu desempenho nos períodos chuvoso e seco, semelhante ao que foi visto por Pereira *et al.* (1997) para a região da Serra da Mantiqueira-MG e Sá Júnior (2009) para Mossoró-RN.

Tabela 5. Erro padrão de estimativa (EPE, mm dia⁻¹), coeficiente linear (a), coeficiente angular (b), coeficiente de determinação (r²), coeficiente de correlação (r), coeficiente de determinação (r²), coeficiente de concordância (d), coeficiente de confiança e desempenho (c) e classificação do desempenho dos modelos para os períodos secos.

Buriti								
Modelo	EPE	a	b	r	R ²	d		c
ET ₀ RG	0,9875	1,0309	0,3543	0,8449	0,7135	0,9037	0,7635	Muito bom
ET ₀ BC	1,5828	0,4171	1,3890	0,7138	0,5093	0,8792	0,6276	Mediano
ET ₀ HS	1,0745	0,4318	2,0081	0,7476	0,5587	0,8740	0,6534	Mediano
ET ₀ PT	1,4209	0,4049	1,6766	0,6859	0,4703	0,8905	0,6108	Mediano
ET ₀ Makk	1,6342	0,4508	1,1403	0,7522	0,5656	0,8985	0,6758	Bom
ET ₀ Turc	1,0532	0,6132	1,1843	0,7467	0,5573	0,8746	0,6530	Mediano
Chapada Gaúcha								
Modelo	EPE	a	b	r	R ²	d		c
ET ₀ RG	1,1930	0,8685	1,2321	0,8450	0,5903	0,9179	0,7757	Muito bom
ET ₀ BC	1,8401	0,3580	1,5208	0,7139	0,3017	0,8980	0,6411	Mediano
ET ₀ HS	1,1074	0,4080	2,1859	0,7477	0,5335	0,8803	0,6582	Mediano
ET ₀ PT	1,4620	0,3800	1,8100	0,6860	0,4534	0,9049	0,6207	Mediano
ET ₀ Makk	1,6804	0,3797	1,5134	0,7523	0,4700	0,9104	0,6849	Bom
ET ₀ Turc	1,1749	0,4984	1,8234	0,7468	0,4127	0,8772	0,6551	Mediano
Unai								
Modelo	EPE	a	b	r	R ²	d		c
ET ₀ RG	0,7807	1,1467	0,3097	0,8452	0,8245	0,8264	0,6985	Bom
ET ₀ BC	1,4520	0,6148	0,7724	0,7140	0,2654	0,8497	0,6067	Sofrível
ET ₀ HS	0,7423	0,6224	1,8406	0,7478	0,6119	0,8493	0,6351	Mediano
ET ₀ PT	0,9891	0,5003	1,4477	0,6861	0,4991	0,8566	0,5877	Sofrível
ET ₀ Makk	1,2199	0,5291	0,9321	0,7524	0,6238	0,8670	0,6523	Mediano
ET ₀ Turc	0,6621	0,6959	0,9629	0,7469	0,7072	0,8614	0,6434	Mediano

Legenda: ET₀FAO56: Método de Penman-Monteith (FAO-56); ET₀RG: Método da Radiação Solar Global; ET₀BC: Método de Blaney Criddle; ET₀HS: Método de Hargreaves-Samani; ET₀PT: Método de Priestley Taylor; ET₀Makk: Método de Makkink; ET₀Turc: Método de Turc.

Tabela 6. Erro padrão de estimativa (EPE, mm dia⁻¹), coeficiente linear (a), coeficiente angular (b), coeficiente de determinação (r²), coeficiente de correlação (r), coeficiente de determinação (r²), coeficiente de concordância (d), coeficiente de confiança e desempenho (c) e classificação do desempenho dos modelos para os períodos chuvosos.

Buriti								
Modelo	EPE	a	b	r	R ²	d		c
ET ₀ RG	1,1779	1,2782	0,7131	0,9142	0,8354	0,9245	0,8452	Muito bom
ET ₀ BC	1,6062	0,3787	1,8055	0,7692	0,5915	0,9010	0,6931	Bom
ET ₀ HS	1,0669	0,4402	2,8273	0,7750	0,6005	0,9063	0,7024	Bom
ET ₀ PT	0,9353	0,6637	1,4630	0,8134	0,6614	0,9259	0,7531	Bom
ET ₀ Makk	1,4631	0,6700	0,3472	0,8736	0,7628	0,9123	0,7970	Muito bom
ET ₀ Turc	0,9437	0,7957	0,5526	0,8516	0,7250	0,9057	0,7713	Muito bom
Chapada Gaúcha								
Modelo	EPE	a	b	r	R ²	d		c
ET ₀ RG	0,9196	1,1996	0,5394	0,9467	0,8958	0,9081	0,8597	Ótimo
ET ₀ BC	2,0967	0,3237	1,7930	0,6182	0,3821	0,9254	0,5721	Sofrível
ET ₀ HS	1,1058	0,4397	2,9573	0,8546	0,7301	0,9070	0,7751	Muito bom
ET ₀ PT	1,0294	0,6203	1,6073	0,8307	0,6898	0,9350	0,7767	Muito bom
ET ₀ Makk	1,6501	0,6140	0,5224	0,8878	0,7879	0,9214	0,8181	Muito bom
ET ₀ Turc	0,9994	0,7148	0,8110	0,8981	0,8063	0,9041	0,8120	Muito bom
Unai								
Modelo	EPE	a	b	r	R ²	d		c
ET ₀ RG	0,8630	1,1996	0,5394	0,9576	0,9164	0,8843	0,8468	Muito bom
ET ₀ BC	1,7938	0,3237	1,7930	0,3959	0,1567	0,8914	0,3529	Péssimo
ET ₀ HS	1,1425	0,4397	2,9573	0,8401	0,7054	0,8658	0,7273	Bom
ET ₀ PT	0,7655	0,6203	1,6073	0,8511	0,7241	0,8931	0,7602	Muito bom
ET ₀ Makk	1,2242	0,6140	0,5224	0,9059	0,8202	0,8821	0,7991	Muito bom
ET ₀ Turc	0,6098	0,7148	0,8110	0,9280	0,8608	0,9067	0,8414	Muito bom

Legenda: ET₀FAO56: Método de Penman-Monteith (FAO-56); ET₀RG: Método da Radiação Solar Global; ET₀BC: Método de Blaney Criddle; ET₀HS: Método de Hargreaves-Samani; ET₀PT: Método de Priestley Taylor; ET₀Makk: Método de Makkink; ET₀Turc: Método de Turc.

Tabela 7. Evapotranspiração e percentual de subestimação ou superestimação dos modelos empíricos, durante o período seco.

Buriti			
Modelo	ET ₀ (mm dia ⁻¹)	%	Índice
ET ₀ FAO56	4,58	-	
ET ₀ RG	5,08	10,83	Superestimação
ET ₀ BC	3,30	-27,96	Subestimação
ET ₀ HS	3,99	-12,97	Subestimação
ET ₀ PT	3,53	-22,90	Subestimação
ET ₀ Makk	3,20	-30,02	Subestimação
ET ₀ Turc	3,99	-12,83	Subestimação
Chapada Gaúcha			
Modelo	ET ₀ (mm dia ⁻¹)	%	Índice
ET ₀ FAO56	4,59	-	
ET ₀ RG	5,22	13,69	Superestimação
ET ₀ BC	3,16	-31,09	Subestimação
ET ₀ HS	4,06	-11,59	Subestimação
ET ₀ PT	3,55	-22,58	Subestimação
ET ₀ Makk	3,26	-29,08	Subestimação
ET ₀ Turc	4,11	-10,45	Subestimação
Unai			
Modelo	ET ₀ (mm dia ⁻¹)	%	Índice
ET ₀ FAO56	4,12	-	
ET ₀ RG	4,61	12,01	Superestimação
ET ₀ BC	3,30	-19,77	Subestimação
ET ₀ HS	4,40	6,93	Superestimação
ET ₀ PT	3,51	-14,82	Subestimação
ET ₀ Makk	3,11	-24,46	Subestimação
ET ₀ Turc	3,83	-7,04	Subestimação

Legenda: ET₀ FAO56: Método de Penman-Monteith (FAO-56); ET₀ RG: Método da Radiação Solar Global; ET₀ BC: Método de Blaney Criddle; ET₀ HS: Método de Hargreaves-Samani; ET₀ PT: Método de Priestley Taylor; ET₀ Makk: Método de Makkink; ET₀ Turc: Método de Turc.

Tabela 8. Evapotranspiração e percentual de subestimação ou superestimação dos modelos empíricos, durante o período seco.

Buriti			
Modelo	ET ₀ (mm dia ⁻¹)	%	Índice
ET ₀ FAO56	4,78	-	
ET ₀ RG	5,40	12.90	Superestimação
ET ₀ BC	3.62	-24.36	Subestimação
ET ₀ HS	4.93	3.17	Superestimação
ET ₀ PT	4.64	-3.03	Subestimação
ET ₀ Makk	3.55	-25.73	Subestimação
ET ₀ Turc	4.36	-8.87	Subestimação
Chapada Gaúcha			
Modelo	ET ₀ (mm dia ⁻¹)	%	Índice
ET ₀ FAO56	4.97		
ET ₀ RG	5.42	9.10	Superestimação
ET ₀ BC	3.40	-31.54	Subestimação
ET ₀ HS	5.14	3.50	Superestimação
ET ₀ PT	4.69	-5.62	Subestimação
ET ₀ Makk	3.57	-28.08	Subestimação
ET ₀ Turc	4.36	-12.19	Subestimação
Unai			
Modelo	ET ₀ (mm dia ⁻¹)	%	Índice
ET ₀ FAO56	4.67	-	
ET ₀ RG	5.12	9.69	Superestimação
ET ₀ BC	3.68	-21.07	Subestimação
ET ₀ HS	5.49	17.59	Superestimação
ET ₀ PT	4.84	3.64	Superestimação
ET ₀ Makk	3.60	-22.78	Subestimação
ET ₀ Turc	4.36	-6.63	Subestimação

Legenda: ET₀ FAO56: Método de Penman-Monteith (FAO-56); ET₀ RG: Método da Radiação Solar Global; ET₀ BC: Método de Blaney Criddle; ET₀ HS: Método de Hargreaves-Samani; ET₀ PT: Método de Priestley Taylor; ET₀ Makk: Método de Makkink; ET₀ Turc: Método de Turc.

Dos métodos analisados, aos quais são utilizados apenas dois parâmetros de determinação de ET₀ como ET₀ HS que utiliza temperatura e radiação solar extraterrestre, tende a superestimar os valores. Um estudo de caso foi elaborado para se determinar a lâmina diária de irrigação para os sistemas de aspersão com pivô central e localizada, com 90% de eficiência de aplicação, com o intuito de exemplificar e poder compreender melhor os resultados obtidos. Tendo como base Mantovani *et al.* (2007) para o estudo de caso, considerou-se um plantio de safra da soja em 15 de novembro de 2018; um plantio de milho safrinha em 10 de fevereiro de 2019 e terceira safra de feijão com plantio em 1 de julho de 2019, para a região de Unai. Com base nestes cenários, determinou-se o kc para cada fase das culturas e a ET₀ média, observado o período de ocorrência de cada fase, e a partir disso, determinou-se as seguintes lâminas de irrigação para cada modelo analisado.

Tabela 9. Estimativa de lâmina diária de irrigação para os sistemas de aspersão e pivô central.

Soja						
	Novembro	Dezembro		Janeiro	ETc/ciclo (mm)	Lâmina Bruta (mm)
Fase	I	II	III	IV		
Duração (dias)	15	15	30	30		
Kc	0,35	0,75	1,075	0,75	346,74	385,27
ET _{0 FAO56}	3,46	4,35	5,04	5,21	346,74	385,27
ETc/dia (mm)	1,21	3,26	5,41	3,91	305,58	339,53
ET _{0 RG}	3,57	4,80	5,76	6,03	393,94	437,71
ETc/dia (mm)	1,25	3,60	6,19	4,52	348,28	386,98
ET _{0 HS}	4,67	5,33	6,05	5,92	412,78	458,64
ETc/dia (mm)	1,63	4,00	6,50	4,44	363,19	403,55
ET _{0 PT}	3,91	4,99	5,66	5,66	386,61	429,57
ETc/dia (mm)	1,37	3,74	6,09	4,25	341,09	378,99
ET _{0 Makk}	2,74	3,61	4,20	4,27	286,48	318,32
ETc/dia (mm)	0,96	2,71	4,52	3,20	253,15	281,28
ET _{0 Turc}	3,36	4,26	4,91	4,98	335,98	373,31
ETc/dia (mm)	1,18	3,20	5,28	3,74	296,37	329,30
Milho						
	Novembro	Dezembro		Janeiro	ETc/ciclo (mm)	Lâmina Bruta (mm)
Fase	I	II	III	IV		
Duração (dias)	15	30	40	20		
Kc	0,35	0,75	1,075	0,75		
ET _{0 FAO56}	4,38	3,93	3,32	3,15	301,30	334,78
ETc/dia (mm)	1,53	2,95	2,95	2,36	263,16	292,40
ET _{0 RG}	4,76	4,29	4,29	3,80	336,80	374,22
ETc/dia (mm)	1,67	3,22	3,22	2,85	294,02	326,69
ET _{0 HS}	5,43	4,78	4,78	3,72	369,09	410,10
ETc/dia (mm)	1,90	3,59	3,59	2,79	322,99	358,87
ET _{0 Turc}	4,26	3,99	3,99	3,49	315,85	350,95
ETc/dia (mm)	1,49	3,00	3,00	2,62	277,10	307,89
Feijão						
	Novembro	Dezembro		Janeiro	ETc/ciclo (mm)	Lâmina Bruta (mm)
Fase	I	II	III	IV		
Duração (dias)	15	15	30	30		
Kc	0,35	0,75	1,075	0,75		
ET _{0 FAO56}	3,38	3,57	3,37	4,13	259,47	288,30
ETc/dia (mm)	1,18	2,67	3,62	3,10	222,79	247,55
ET _{0 RG}	4,16	4,05	4,52	5,85	344,75	383,06
ETc/dia (mm)	1,46	3,04	4,85	4,39	297,16	330,18
ET _{0 HS}	3,93	3,91	4,71	6,02	351,86	390,96
ETc/dia (mm)	1,38	2,94	5,06	4,51	304,97	338,86

ET _{0 Turc}	3,48	3,36	3,69	4,97	287,03	318,92
ET _c /dia (mm)	1,22	2,52	3,97	3,73	246,65	274,06

Legenda: ET_{0 FAO56}: Método de Penman-Monteith (FAO-56); ET_{0 RG}: Método da Radiação Solar Global; ET_{0 BC}: Método de Blaney Criddle; ET_{0 HS}: Método de Hargreaves-Samani; ET_{0 PT}: Método de Priestley Taylor; ET_{0 Makk}: Método de Makkink; ET_{0 Turc}: Método de Turc.

Avaliando os modelos de estimativa da ET₀ ao qual melhor se adaptaram para Unai foi possível estimar a lâmina bruta diária de irrigação (considerando sistemas com 90% de eficiência), necessária para atender as culturas e observar a variação delas diante daquelas obtidas com o padrão ET_{0 FAO56}. Durante o período seco foi observado que o comportamento de superestimação da ET_c foi recorrente para todos os modelos melhores ajustados, demonstrando dessa forma a necessidade de uma calibração dos mesmos para essa época do ano.

Diante o período chuvoso a variação entre a relação ET₀ e ET_c foi parecida com as estimadas, comprovando dessa maneira um melhor ajuste dos modelos para essa época do ano na região.

DISCUSSÃO

Apesar dos modelos empíricos terem apresentado boa correlação, muito das vezes não apresentaram índice de determinação alto, e suas classificações se apresentaram na maioria das vezes como “mediana” para o período seco e “muito boa” para o período chuvoso.

Nas tabelas (5) e (6) pode-se ver a classificação dos modelos conforme o indicador de desempenho “c”. Dessa maneira, observa-se que o modelo ET_{0 RG} foi o mais adequado para o período seco nas três localidades estudadas, sendo classificado como “muito bom” ou “bom”. Somente em Unai a classificação de “sofrível” para os modelos de ET_{0 BC} e ET_{0 PT}.

Para o período chuvoso, em Buriti todos os modelos tiveram classificação “muito boa” ou “boa”; para Chapada Gaúcha, o melhor modelo foi também o ET_{0 RG}, sendo classificado como “ótimo”, e o modelo de ET_{0 PT}, o pior, classificado como “sofrível”. Em relação a Unai, todos os modelos obtiveram classificação “muito boa” ou “boa”, exceto ET_{0 BC} que apresentou desempenho “péssimo”.

Ressalta-se que apesar do modelo ET_{0 RG} ter sido o melhor na estimativa da ET₀, este superestimou os valores de evapotranspiração em relação ao modelo padrão, fato reconhecido por diversos autores (Tanaka *et al.*, 2016; Araújo *et al.*, 2010). Houve superestimação de 10.83, 13.69, e 12.01% para o período seco em Buriti, Chapada Gaúcha e Unai, respectivamente. Para o período chuvoso os valores foram de 12.90, 9.10, e 9.69 % para Buriti, Chapada Gaúcha e Unai, respectivamente.

Essas superestimativas apresentadas pelo modelo ET_{0 RG}, podem ser consideradas razoavelmente pequenas em se tratando de análises climatológicas. Com relação ao modelo de ET_{0 BC} não se obteve boa classificação para o período chuvoso em Chapada Gaúcha e Unai, sendo classificado como “sofrível” e “péssimo” respectivamente, na determinação da evapotranspiração, diferente do encontrado por Araújo *et al.* (2007), sendo desaconselhável para este período em Chapada Gaúcha e em qualquer época para Unai. Uma possível explicação para tal variação é que seu desenvolvimento original foi para regiões semiáridas, baseado na suposição de que a disponibilidade de água não é fator limitante para o crescimento da planta (Tucci, 2012).

Carvalho *et al.* (2015) relata que o desempenho da estimativa da ET₀ para um mesmo modelo varia entre regiões úmidas, semiúmidas ou áridas, pois a sazonalidade da ET₀ é influenciada pela variação da quantidade de vapor d’água na atmosfera local, que, por sua vez, está relacionada à nebulosidade e sofre influência direta do balanço de radiação entre ondas curtas e longas, com reflexos sobre o balanço.

Analisando os valores de EPE para as estimativas de evapotranspiração para os modelos, o intervalo de variação no período seco compreendeu-se entre 0,74 a 1,84 mm.d⁻¹ e de 0,60 a 2,09 mm.d⁻¹ para o período chuvoso, apesar de do período chuvoso ter registrado um maior valor de EPE, o período seco apresentou maiores valores no geral, o que se relaciona com as observações de Sá Júnior (2009), que ao se usar de métodos desenvolvidos em condições de demanda evapotranspiração menores do que na região de estudo, estes tendem a subestimar os valores de ET₀ de forma acentuada quando utilizados no período seco, proporcionando assim maiores valores do EPE.

CONCLUSÃO

O melhor modelo para os locais estudados foi o da FAO-24 Radiação Global - ET_{0RG}, apresentando superestimativa relativamente pequenas em relação ao modelo padrão Penman-Monteith. Com exceção de Blaney Criddle - ET_{0BC}, todos os demais modelos podem ser adotados para o período chuvoso.

Para o período seco todos os modelos apresentaram índices “mediano” ou “bom” de confiança em Buritis e Chapada Gaúcha; para Unaí não é aconselhável o uso de ET_{0BC} e ET_{0PT} para este período.

O modelo de Radiação Global (ET_{0RG}) se destaca dos demais devido à inclusão da radiação líquida como variável fundamental, que representa a principal fonte de energia para os processos de evapotranspiração. Esse fator não é considerado diretamente em outros modelos empíricos, como Blaney-Criddle (ET_{0BC}) e Hargreaves-Samani (ET_{0HS}), que utilizam apenas temperatura e fotoperíodo para estimar a evapotranspiração de referência. A radiação líquida é essencial, pois está diretamente relacionada ao balanço de energia na superfície, afetando a taxa de evaporação da água e a transpiração das plantas.

Além disso, a superestimação observada no modelo de Radiação Global (ET_{0RG}) pode estar associada à maior sensibilidade desse modelo às variações da radiação incidente. Isso sugere que, embora o modelo apresente um desempenho estatisticamente satisfatório, a calibração para condições regionais específicas pode ser necessária para aprimorar sua precisão.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília: ANA, 2017.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019.

ALLEN, R. G. *et al.* **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, p. 297, 1998.

ARAÚJO, W. F. *et al.* Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET₀) para Boa-Vista, RR. **Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 4, p. 84-88, jul./set., 2007.

ARAUJO, G. L. *et al.* Método de Makkink: Estimativa da ET₀ e Comparação com o Método de Penman Monteith Fao 56. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓSGRADUAÇÃO, 10., 2010, São José dos Campos, SP. Anais [...]. São José dos Campos, SP: EPG, 2010. Disponível em: https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2010/anais/arquivos/0315_0677_01.pdf. Acesso em: 03 abril de 2025.

BERNARDO, S. *et al.* **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG. Editora UFV. 2006.

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.

CARVALHO, D. F. de. *et al.* Estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos limitados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 1-11, 2015. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000100001>

CARVALHO, L.G. de. *et al.* **Agrometeorologia**. Texto acadêmico, v. 66, p. 113, UFLA, 2010.

DOORENBOS, J.; PRUIT, W. O. **Guidlines for predicting Crop Water Requirements**. Rome, 1977. 144p

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeções do Agronegócio Mineiro 2017 a 2027**. Minas Gerais: IBGE, 2017.

FERNANDES, D. S. *et al.* **Evapotranspiração: uma revisão sobre os métodos empíricos**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. 44 p.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. Evaluation of models to estimate net radiation and the Priestley-Taylor method in the region of Dourados, MS, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 449–453, ago. 2009. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000400012>

HARGREAVES, G. L.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Journal of the Irrigation and Drainage Division-ASCE**, Basin. v. 111, n. 1, p. 113–124, 1985.

SÁ JÚNIOR, A. de. S. **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 2009.

MANTOVANI, E. C. *et al.* **Manual de irrigação**. 8. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 265p.

PEREIRA, A.R. *et al.* **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

SILVA, D.; BARROS, F, J. **Estatística**. São Paulo: USP, 2003.

SILVA, Í. N. *et al.* Estimativa da Evapotranspiração de Referência com Dados Mínimos para o Cariri Oeste Cearense. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, PB, p. 42-48, 2010. <https://doi.org/10.30969/acsa.v6i3.87>

SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração: necessidades de água para as plantas cultivada**. Brasília, DF: ABEAS, 1998, 181 p.

TANAKA, A. A. *et al.* Evapotranspiração de referência estimada por modelos simplificados para o Estado do Mato Grosso: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 2, p. 91-104, fev. 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000200001>

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre, RS: Editora, 2012.

WILLMOTT, C. J. *et al.* Statistics for evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 0, n. C5, p. 8995-9005, 1985. <https://doi.org/10.1029/JC090iC05p08995>