

Necessidade hídrica do feijoeiro de inverno estimada por modelos agrometeorológicos

Theo dos Reis Alviço¹, Éder Duarte Fanaya Júnior², Adriano da Silva Lopes³, Jhonatan da Silva Franco⁴, Sebastião Nilce Souto Filho⁵

Resumo. O cultivo do feijoeiro obteve um incremento em sua produtividade com a introdução da terceira safra e a utilização de irrigação, principalmente via pivô central. A estimativa da evapotranspiração é uma ferramenta importante para determinar o balanço hídrico e o manejo de irrigação da cultura. O objetivo deste trabalho foi verificar o desempenho de dois modelos empíricos de estimativa de evapotranspiração de referência, parametrizados pelo método de Penman-Monteith, em Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil. O período foi de 2018 e 2019, durante o ciclo do feijoeiro de inverno. Os métodos utilizados foram de Hargreaves-Samani e de Priestley-Taylor, cujos valores de evapotranspiração de referência obtidas nessas equações foram comparadas ao padrão Penman-Monteith. A avaliação dos métodos foi realizada com base nos parâmetros: coeficiente de determinação, índice de concordância de Willmott, índice de desempenho, estimativa do erro padrão, erro médio absoluto e raiz quadrada do quadrado médio do erro. O método de Hargreaves-Samani apresenta baixos índices de desempenho, indicando não ser recomendado para essas condições e clima. O método de Priestley-Taylor possui maior eficiência na estimativa de evapotranspiração de referência para região, sendo que o balanço hídrico é o que possui melhor ajuste ao método padrão de Penman-Monteith em 2018.

Palavras-chave: Balanço Hídrico. Manejo de Irrigação. Penman-Monteith. *Phaseolus vulgaris* L.. Pivô Central.

DOI:10.21472/bjbs.v10n23-004

Submitted on:
11/06/2023

Accepted on:
12/08/2023

Published on:
12/26/2023



Open Access
Full Text Article



Water requirement of winter beans estimated by agrometeorological models

Abstract. Bean cultivation increased its productivity with the introduction of the third crop and the use of irrigation, mainly via central pivot. Estimating evapotranspiration is an important tool for determining water balance and crop irrigation management. The objective of this work was to verify the performance of two empirical reference evapotranspiration estimation models, parameterized by the Penman-Monteith method, in Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brazil. The period was 2018 and 2019, during the winter bean cycle. The methods used were Hargreaves-Samani and Priestley-Taylor, whose

¹ Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil.
E-mail: theo.alvico@ufms.br

² Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil.
E-mail: ederdfanayajr@gmail.com

³ Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil.
E-mail: lopes@uems.br

⁴ Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil.
E-mail: jhonatans332@gmail.com

⁵ Universidade Professor Edson Antônio Velano (UNIFENAS), Alfenas, Mato Grosso do Sul, Brasil.
E-mail: sebastiao.filho@unifenas.br

reference evapotranspiration values obtained in these equations were compared to the Penman-Monteith standard. The evaluation of the methods was carried out based on the parameters: coefficient of determination, Willmott agreement index, performance index, estimate of the standard error, mean absolute error and square root of the mean square of the error. The Hargreaves-Samani method presents low performance rates, indicating that it is not recommended for these conditions and climate. The Priestley-Taylor method is more efficient in estimating reference evapotranspiration for the region, with the water balance being the one that best fits the standard Penman-Monteith method in 2018.

Keywords: Water Balance. Water Management. Penman-Monteith. *Phaseolus vulgaris* L.. Central Pivot.

Necesidad de agua del frijol de invierno estimada mediante modelos agrometeorológicos

Resumen. El cultivo del frijol aumentó su productividad con la introducción del tercer cultivo y el uso del riego, principalmente mediante pivote central. La estimación de la evapotranspiración es una herramienta importante para determinar el balance hídrico y el manejo del riego de cultivos. El objetivo de este trabajo fue verificar el desempeño de dos modelos empíricos de estimación de la evapotranspiración de referencia, parametrizados por el método Penman-Monteith, en Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil. El periodo fue 2018 y 2019, durante el ciclo del frijol de invierno. Los métodos utilizados fueron Hargreaves-Samani y Priestley-Taylor, cuyos valores de evapotranspiración de referencia obtenidos en estas ecuaciones se compararon con el estándar de Penman-Monteith. La evaluación de los métodos se realizó con base en los parámetros: coeficiente de determinación, índice de concordancia de Willmott, índice de desempeño, estimación del error estándar, error absoluto medio y raíz cuadrada del cuadrado medio del error. El método Hargreaves-Samani presenta bajos índices de rendimiento, lo que indica que no es recomendado para estas condiciones y clima. El método Priestley-Taylor es más eficiente para estimar la evapotranspiración de referencia para la región, siendo el balance hídrico el que mejor se ajusta al método estándar Penman-Monteith en 2018.

Palabras clave: Balance Hídrico. Gestión del Riego. Penman-Monteith. *Phaseolus vulgaris* L.. Pivote Central.

INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma espécie amplamente cultivada no mundo, sendo que o Brasil é o 3º maior produtor mundial, respondendo por mais de 3 milhões de toneladas de grãos na safra 2018/2019 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020). Nessa mesma safra, a cultura do feijão alcançou área total plantada em torno de 2,9 milhões de hectares e produtividade média de 1.031 kg ha⁻¹ (Companhia Nacional de Abastecimento, 2019).

Salienta-se que o Estado de Mato Grosso do Sul concentra seu cultivo predominantemente por meio da agricultura familiar, utilizando parte da produção para o próprio consumo e o restante destinando à comercialização. Sendo que na safra 2018/2019, o Estado produziu 25.400 toneladas, onde o “feijão da seca” representou cerca de 90% desta produção (Companhia Nacional de Abastecimento, 2019).

A definição das épocas de semeadura da cultura de feijão para diferentes regiões é resultado de vários fatores, tais como: temperatura, balanço hídrico, tipo de solo e ciclo das cultivares (Comissão

Técnica Sul-Brasileira de Feijão, 2012). Estas culturas podem ser divididas em: feijão das águas, também conhecido como (1ª época/1ª safra/cultivo de primavera), feijão da seca (2ª época/2ª safra/cultivo de verão) e; feijão de inverno (3ª época/3ª safra/cultivo de outono-inverno) (Silva, 2015).

De acordo Silva (2015), o feijoeiro de inverno é semeado entre abril e junho, sempre com irrigação suplementar. Afirma ainda que esse período possibilita as maiores produtividades em virtude das temperaturas noturnas mais amenas e também pela enorme redução da pressão de pragas e doenças, fazendo com que a cultura expresse todo seu potencial.

Silveira e Stone (2004), considerando dentre os métodos de irrigação por aspersão, relatam que o sistema por pivô central é o mais apropriado para irrigar áreas extensas e, por isto, tem sido o mais utilizado no feijoeiro, além de possibilitar bom controle da lâmina de água aplicada, com eficiência do sistema acima de 70%.

A agricultura irrigada por pivôs centrais apresentou crescimento forte e persistente nas últimas décadas no Brasil. Em 1985, foram identificados 363 pontos-pivôs irrigando uma área de 31 mil hectares. Em 2000, já foram 490,5 mil hectares equipados para irrigação em 6.680 pontos. Em 2017, a área triplicou para, aproximadamente, 1,5 milhão de hectares em 23.181 pontos e, com isso, a área atual é cerca de 47 vezes maior do que a área mapeada em 1985 (Agência Nacional de Águas, 2019).

Conforme Doorenbos e Kassan (1979), a necessidade de água do feijoeiro, que possui ciclo de 60 a 120 dias, varia entre 300 e 500 mm para obtenção de altas produtividades. Para Oliveira *et al.* (2018), o feijoeiro é altamente sensível à falta de água durante a floração e o início da formação das vagens, embora também seja no período de enchimento de grãos e, em menor escala, na fase vegetativa.

Nesse sentido, o balanço hídrico do solo baseia-se na entrada de água (irrigação, precipitação efetiva e ascensão capilar) e nos fluxos que saem (evapotranspiração e percolação profunda), desconsiderando a entrada e saída por escoamento superficial, que pode ser minimizada aplicando-se a água em intensidade adequada (Frizzzone *et al.*, 2018).

Salienta-se que as informações sobre a evapotranspiração de referência (ET_o), que levam a estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c), tornam-se ferramentas importantes no manejo de irrigação (Araújo; Costa; Santos, 2007).

Muitos trabalhos de estimativa de ET_o utilizam o método de Penman-Monteith (PM), recomendado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, como modelo padrão, por apresentar um melhor desempenho quando aplicado em diversos tipos de clima (Allen *et al.*, 1998, 2006; Jensen; Burman; Allen, 1989; Noia *et al.*, 2014).

Conforme Fanaya Júnior, Lopes *et al.* (2012) e Moraes *et al.* (2018), o método de Hargreaves-Samani (HS), recomendado para regiões semiáridas, e o modelo de Priestley-Taylor (PT), apresentam uma aproximação do método padrão com valores coerentes à ET_o para município de Aquidauana, MS.

Dentro desse contexto, o método HS pode apresentar melhores resultados quanto a estimativa da ETo nas condições regionais, considerando o clima com baixas precipitações para período de estudo.

Assim, este trabalho teve por objetivo verificar o desempenho de dois métodos de estimativa de ETo para o município de Aquidauana, visando estimar a necessidade de irrigação na cultura do feijão de inverno irrigado por pivô central.

METODOLOGIA

Este trabalho foi conduzido na área experimental de irrigação da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, na unidade universitária de Aquidauana, MS, com coordenadas geográficas 20° 27'08'' Sul, 55° 40'15'' Oeste, altitude média de 191 m e, segundo classificação climática Köppen-Geiger, o clima da região é Aw, classificado como tropical quente, sub úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo da área foi identificado, segundo Schiavo *et al.* (2010), como Argissolo Vermelho distrófico.

A cultura estudada foi o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar TAA-DAMA RCN: 31005, hábito de crescimento tipo III, prostrado indeterminado cultivado em dois anos distintos: em 2018, foi implantada em 2 de junho, tendo um ciclo de 90 dias e produtividade média de 3.380 kg/ha, em 2019, foi semeada em 24 de maio, com ciclo de 84 dias e produtividade média de 2.680 kg/ha. Por ser cultivado nesse período, caracteriza-se como feijão de terceira safra ou feijão de inverno.

Os dados climatológicos foram coletados na estação meteorológica da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, localizada próxima a área experimental. Foram utilizados os dados de 2018 e 2019, durante o período de cultivo do feijão de inverno.

Os balanços hídricos nesses dois ciclos foram realizados da seguinte forma: a) com dados à campo, ou seja, os que foram utilizados ao longo do ciclo da cultura, para o manejo da irrigação; b) e com métodos empíricos de estimativa da ETo, gerando assim simulações de lâminas de irrigação.

O sistema de irrigação utilizado foi o de pivô central em uma área de 0,9 ha com turno de rega variável, baseado em dois manejos de irrigação: via solo (tensiômetros); e via clima (PM, Equação 01). Para as simulações, foram utilizados métodos empíricos de ETo, sendo eles o método de HS (Equação 02) e PT (Equação 03):

$$ET_{oPM} = \frac{0,408 s (R_n - G) + \gamma \left[\frac{900}{T + 273,16} \right] u_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

$$ET_{oHS} = 0,0135 k_t Q_o (T_{máx} - T_{mín})^{0,5} (T + 17,8) \quad (2)$$

$$ET_{OpT} = \frac{\alpha \frac{(s + \gamma)}{\gamma} (R_n - G)}{\lambda} \quad (3)$$

Em que:

ET_o – evapotranspiração de referência (mm d^{-1});

s – declividade da curva de pressão de saturação de vapor ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);

R_n – saldo de radiação na superfície ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

G – fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

γ – coeficiente psicrométrico ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);

T – temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$);

u_2 – velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1});

($e_s - e_a$) – déficit de pressão de vapor caracterizado pela diferença entre as pressões de saturação e atual de vapor d'água (kPa);

k_t – coeficiente empírico empregado em regiões continentais (0,162);

Q_o – radiação solar extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

($T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}}$) – diferença entre as temperaturas máxima e mínima do ar ($^\circ\text{C}$);

α – parâmetro de Priestley & Taylor (1,26); λ – fluxo de calor latente ($2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$).

O saldo de radiação na superfície (R_n , Equação 04), a radiação solar global (Q_g , Equação 05) e a radiação para dias sem coberturas de nuvens (Q_{gcs} , Equação 06) foram determinadas pelas equações 04, 05 e 06 respectivamente (ALLEN *et al.*, 1998; PEREIRA *et al.*, 2002):

$$R_n = \left[(1 - a) Q_g \right] - \left[\sigma \left(\frac{T_{\text{máxK}}^4 + T_{\text{mínK}}^4}{2} \right) (0,34 - 0,14 \sqrt{ea}) \left(1,35 \frac{Q_g}{Q_{gcs}} - 0,35 \right) \right] \quad (4)$$

$$Q_g = k_R \sqrt{(T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})} Q_o \quad (5)$$

$$Q_{gcs} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \text{ Alt}) Q_o \quad (6)$$

Em que:

Q_g – radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

σ – constante de Stefan-Boltzmann ($4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

Q_{gcs} – radiação solar para dias de céu limpo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

Alt – altitude local (m).

A ETC foi calculada por meio do produto entre a ETo e o coeficiente de cultura (Kc). Em cada fase do ciclo do feijão de inverno foram utilizados os seguintes valores de Kc: Fase 1 (inicial) Kc = 0,40; Fase 2 (desenvolvimento da cultura) Kc entre 0,40 – 1,15; Fase 3 (Floração) Kc = 1,15; Fase 4 (enchimento de vagens e maturação) Kc entre 1,15 - 0,35 (Allen *et al.*, 1998).

Foram calculadas a capacidade de água disponível, cujos incrementos foram estimados ao longo do ciclo da cultura e em função da simulação do aprofundamento do seu sistema radicular, bem como a disponibilidade real de água, adotando-se um fator de depleção de água no solo (f) de 0,5 (Allen *et al.*, 1998).

Para exatidão dos métodos empíricos, foi realizada análise para determinação do índice de concordância (d, Equação 07), de Willmott *et al.* (1985); do índice de desempenho (c, Equação 08), de Camargo e Sentelhas (1997); da estimativa do erro padrão (EEP, Equação 09), descrita por Allen *et al.* (1998); do erro médio absoluto (“mean bias error” – MBE, Equação 10); e da raiz quadrada do quadrado médio do erro (“root mean square error” – RMSE, Equação 11), obtidos pelas equações:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (7)$$

$$c = r \cdot d \quad (8)$$

$$EEP = \sqrt{\frac{\sum (O_i - P_i)^2}{n-1}} \quad (9)$$

$$MBE = \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) / n \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n} \quad (11)$$

Em que:

d – índice de concordância (adimensional);

P_i – valores estimados pelos métodos (mm d⁻¹);

O_i – valores estimados pelo método padrão - PM (mm d⁻¹);

$\bar{O}$ – média dos valores estimados pelo método padrão (mm d⁻¹);

c – índice de desempenho (adimensional);

r – coeficiente de correlação (adimensional);

EEP – estimativa do erro padrão (mm d⁻¹);

n – número de observações.

A análise de desempenho foi feita comparando-se os valores de ETo, estimados pelos dois modelos empíricos, com o de PM. Sendo que a análise de regressão linear foi para obtenção dos coeficientes da equação ($Y = ax + b$) e dos coeficientes de correlação (r) e determinação (r^2).

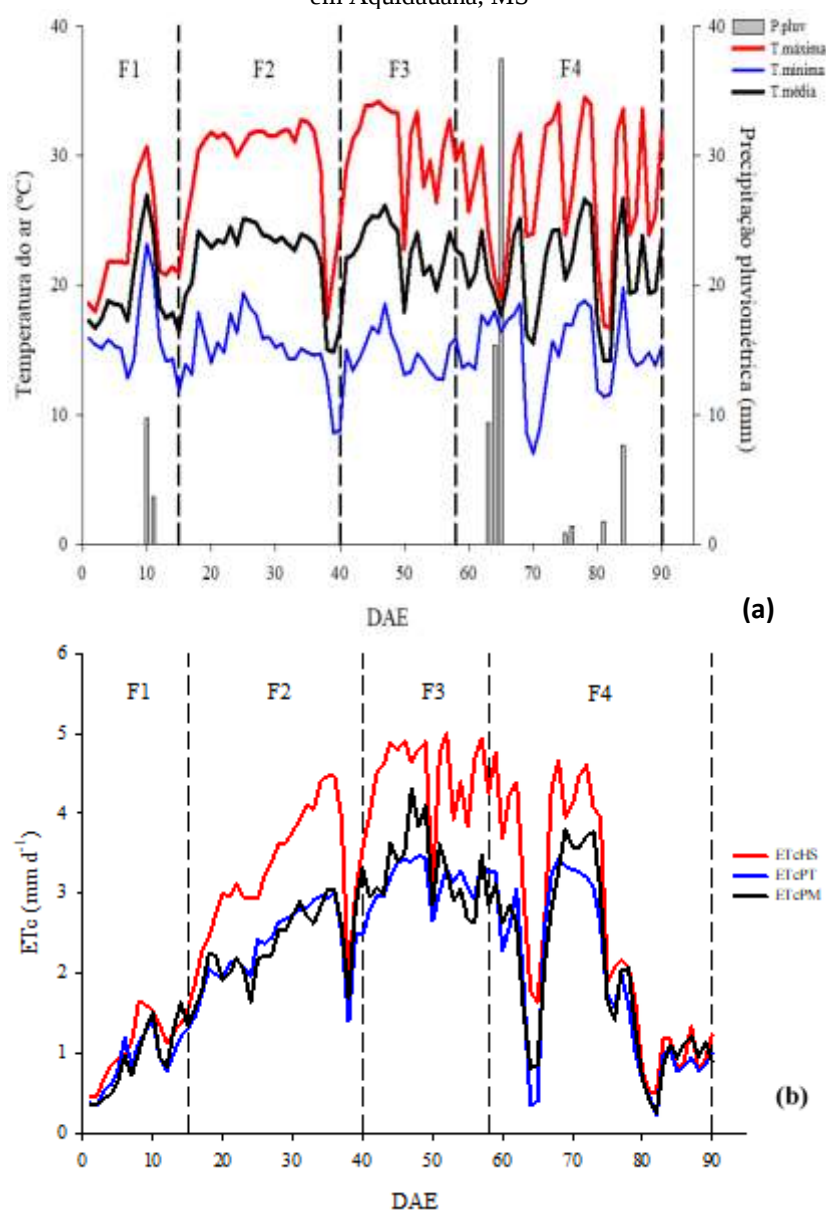
A interpretação do índice “c” foi efetivada conforme estabelece Camargo e Sentelhas (1997): “ótimo” ($c \geq 0,85$); “muito bom” ($0,76 \leq c \leq 0,84$); “bom” ($0,66 \leq c \leq 0,75$); “mediano” ($0,61 \leq c \leq 0,65$); “sofrível” ($0,51 \leq c \leq 0,60$); “mau” ($0,41 \leq c \leq 0,50$); e “péssimo” ($c \leq 0,40$). Todas as análises foram realizadas no *software* Microsoft Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto à temperatura do ar e precipitação, ao longo do ciclo do feijoeiro de inverno, safra 2018, identificou-se que houve um ponto mínimo de temperatura, cerca de 7 °C aos 70 dias após a emergência (DAE), e máximo de 34,5 °C aos 78 DAE (Figura 1a). Em relação a precipitação pluviométrica, esta ocorreu de forma desuniforme no início e no fim do ciclo da cultura, com volume de 13,3 mm na fase F1 e de 73,9 mm na fase F4.

No que diz respeito à ETc, verificou-se que, em 2018, a ETcHS superestimou, em média, 25,3% o de PM; nos primeiros 15 DAE (F1) os três modelos obtiveram ETc semelhantes, sendo que ETcHS aumentou gradativamente, alcançando 5 mm d⁻¹ em F3 enquanto ETcPM e ETcPT obtiveram ponto máximo de 4,3 mm d⁻¹ e 3,5 mm d⁻¹ respectivamente, no mesmo período (Figura 1b). Houve semelhança entre PT e PM quando comparadas as médias de 2,1 e 2,2 mm d⁻¹ respectivamente, evidenciando uma melhor performance de PT para o ciclo do feijoeiro nesse ano.

Figura 1. Evapotranspiração da cultura, temperatura do ar e precipitação, ao longo do ciclo do feijão de inverno, safra 2018, em Aquidauana, MS



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Diferentemente do encontrado neste trabalho para método HS, Fanaya Júnior, Oliveira *et al.* (2015), avaliando combinação de turno de rega e método de estimativa de ETo para feijoeiro de inverno em três anos (2009, 2010 e 2012) parametrizados por PM e os modelos HS e Thornthwaite, obtiveram para HS valores médios de ETc de 1,2 mm d⁻¹ (R^2 0,668) em 2009; e de 1,3 mm d⁻¹ (R^2 0,658) em 2012, sendo classificado como “Bom” para os dois anos.

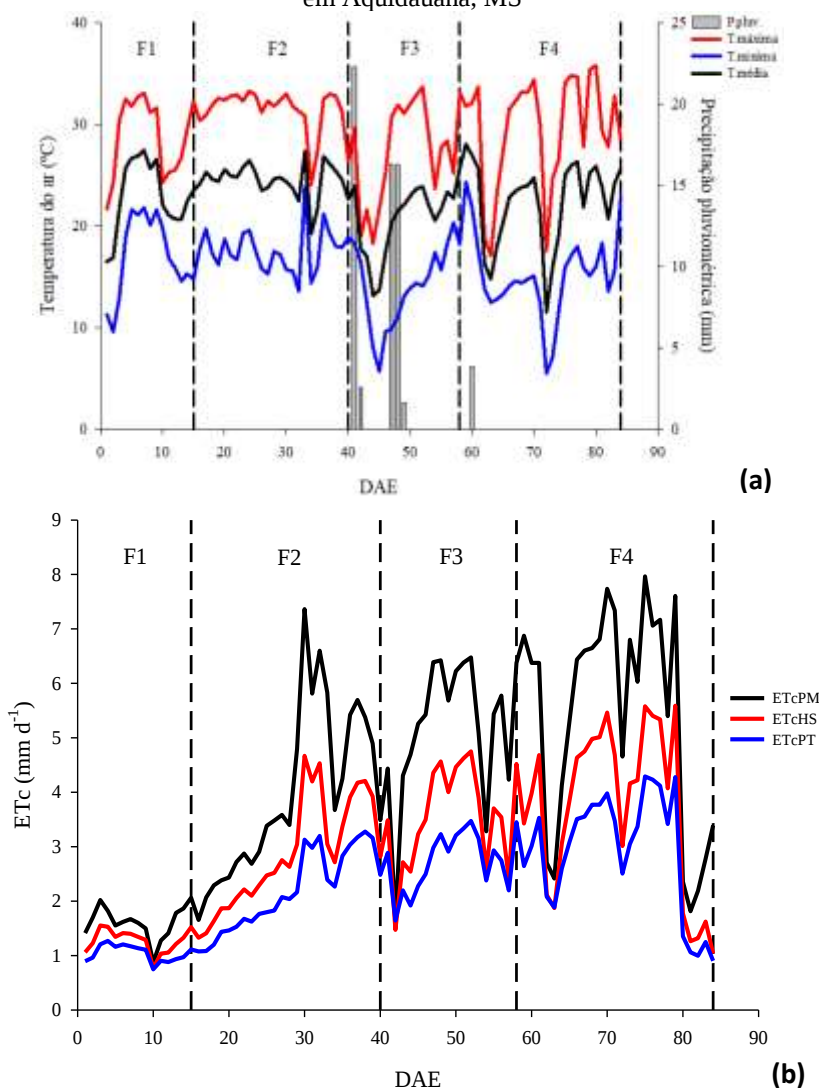
Períodos de baixas temperaturas e precipitação pluviométrica ocasionaram menores valores de evapotranspiração. Contin (2008), que em sua pesquisa realizou comparativos entre o irrigâmetro e outros manejos de irrigação, em Viçosa, MG, identificou que a ocorrência de períodos de baixa temperaturas são comuns nesse período de “safra de inverno”, sendo que essas podem ocasionar

diminuição da taxa de ET com respectiva queda no consumo hídrico durante ciclo do feijoeiro.

Na safra 2019, quanto à temperatura do ar e precipitação, ao longo do ciclo do feijão de inverno, observou-se que o ciclo da cultura foi de 84 dias, a temperatura mínima atingiu 5,5 °C aos 72 DAE, e máxima de 35,8 °C aos 80 DAE; sendo que a precipitação ocorreu de forma concentrada nas fases F3 (59,1 mm) e F4 (3,9 mm) (Figura 2a).

Em 2019, a ETcHS e ETcPT subestimaram PM, alcançando média de 29,6% e 45,5% inferiores ao modelo padrão, que teve o pico de 7,9 mm d⁻¹ aos 75 DAE na fase F4 e ETcHS 5,6 mm d⁻¹ aos 79 DAE, ETcPT 4,3 mm d⁻¹ 75 DAE (Figura 2b). Assim como em 2018, houve períodos de baixas temperaturas e precipitação pluviométrica, reduzindo assim os valores de ETc para todos os modelos estudados.

Figura 2. Evapotranspiração da cultura, temperatura do ar e precipitação, ao longo do ciclo do feijão de inverno, safra 2019, em Aquidauana, MS



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Ao avaliar seis métodos empíricos de estimativa de ETo, para região do Alto Pantanal, Jung *et al.* (2016) avaliaram valores diários de ETo para os períodos seco e chuvoso, utilizando PM como padrão, onde nos meses entre maio e agosto o método PT proporcionou médias de ETo próximas ao modelo padrão, corroborando com os dados encontrados neste trabalho, para safra 2018 e diferindo do encontrado na safra 2019.

Tabela 1. Lâmina de irrigação e lâmina total aplicadas durante as fases de desenvolvimento do feijão de inverno, utilizando dados coletados a campo (Tensiometria e Penman-Monteith) e simulados (Hargreaves-Samani e Priestley-Taylor), safra 2018, em Aquidauana, MS.

Fases	Tensiometria (mm)		Penman-Monteith (mm)		Hargreaves-Samani (mm)		Priestley-Taylor (mm)	
	LI	LT	LI	LT	LI	LT	LI	LT
F1	0,0	13,3	0,0	13,3	0,0	13,3	0,0	13,3
F2	71,1	71,1	63,9	63,9	70,1	70,1	55,6	55,6
F3	84,9	84,9	59,1	59,1	84,1	84,1	62,9	62,9
F4	38,3	112,7	27,0	100,9	62,6	136,4	22,4	96,3
Total	194,3	281,5	150,0	237,1	216,7	303,9	140,8	228,0

Siglas: Lâmina de irrigação: LI; Lâmina de irrigação total: LT = LI + precipitação.

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Na Tabela 1, safra 2018, verificou-se que, na fase F2, o modelo padrão PM contabilizou lâmina de irrigação (LI) de 63,9 mm, com aproximadamente 12% inferior ao resultado obtido pela tensiometria (TS) (71,1 mm). Em comparação ao PM, HS e PT proporcionou LI, respectivamente 70,0 e 55,5 mm, sendo que PT ficou 13% abaixo do encontrado no modelo padrão.

Na fase F3, PT apresentou LI de 62,9 mm, valor próximo ao PM (59,1 mm). TS e HS obtiveram valores superiores ao modelo padrão, 84,9 e 84,1 mm respectivamente. Em F4, por ser o período final do ciclo da cultura, pôde-se constatar um declínio nas lâminas irrigadas em todos os modelos, onde PM proporcionou LI 42% inferior (27,0 mm) ao TS (38,3 mm). HS supervalorizou PM, com LI de 62,6 mm, enquanto PT obteve LI próximo ao PM, 22,4 mm.

Ainda analisando os dados de 2018, quanto a lâmina de irrigação total (LT), apenas HS proporcionou a necessidade hídrica do feijoeiro de 300 mm a 400 mm ao final do ciclo, conforme estudo de Maluf, Westphalen e Caiaffo (2000) ocorrido no Rio Grande do Sul.

Diferentemente do encontrado neste presente estudo, Cunha *et al.* (2013), ao avaliarem três formas de manejo da irrigação no feijoeiro em Goiás, observaram que a LT do ciclo do feijoeiro nas parcelas manejadas com TS receberam menor quantidade de água (272,0 mm), uma redução de 33% em relação ao LT manejo com tanque classe A (407,4 mm), enquanto PM proporcionou LT 16% menor que as aplicadas pelo tanque classe A e 20% maior que TS.

Conforme Carvalho, Rios *et al.* (2011), diferentes métodos são desenvolvidos ou recomendados para diferentes condições climáticas, dependendo da disponibilidade de dados locais, precisão exigida

e/ou escala temporal. Por esse motivo a variabilidade de desempenho de muitos métodos de estimativa de ETo. Segundo Moreira, Silveira e Stone (1996), o consumo de água de uma cultura depende da época e local de semeadura, variedade, condição edafoclimática e estágio de desenvolvimento da cultura.

De acordo com Oliveira *et al.* (2018), o estudo da fenologia auxilia a adequação do manejo de irrigação, possibilitando o fornecimento da quantidade exata de água que a planta necessita, conforme o estágio fenológico em que se encontra. Geralmente, o requerimento total de água para o feijoeiro está na faixa 250 mm a 350 mm por ciclo. Para Arf *et al.* (2004), mesmo com lâminas inferiores a 300 mm, pode ser possível propiciar produtividades de grãos semelhantes aos tratamentos com maiores LT.

Tabela 2. Lâmina de irrigação e lâmina total aplicadas durante as fases de desenvolvimento do feijão de inverno, utilizando dados coletados à campo (Tensiometria e Penman-Monteith) e simulados (Hargreaves-Samani e Priestley-Taylor), safra 2019, em Aquidauana, MS

Fases	Tensiometria (mm)		Penman-Monteith (mm)		Hargreaves-Samani (mm)		Priestley-Taylor (mm)	
	LI	LT	LI	LT	LI	LT	LI	LT
F1	10,0	10,0	20,6	20,6	13,5	13,5	13,4	13,4
F2	63,7	104,9	71,4	112,6	45,0	86,2	32,0	73,2
F3	40,8	62,6	55,6	77,4	32,0	53,8	30,0	51,8
F4	68,3	68,3	56,7	56,7	66,0	66,0	65,0	65,0
Total	182,9	245,8	204,4	267,4	156,5	219,5	140,4	203,4

Siglas: Lâmina de irrigação: LI; Lâmina de irrigação total: LT = LI + precipitação.

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Avaliando os dados da safra 2019, apresentados na Tabela 2, constatou-se dados de LI na fase F1 em todos métodos avaliados, foi necessário a suplementação hídrica da cultura nessa fase, contrário do observado em 2018, onde a ocorrência de precipitação nesse período não se fez necessário suplementar com irrigação. Já em F2, os dados encontrados por PM foram 11% maiores em relação ao TS, diferente do encontrado em 2018. Os modelos de HS e PT subestimaram os valores de PM, com LI de 45,0 mm e 32,0 mm respectivamente.

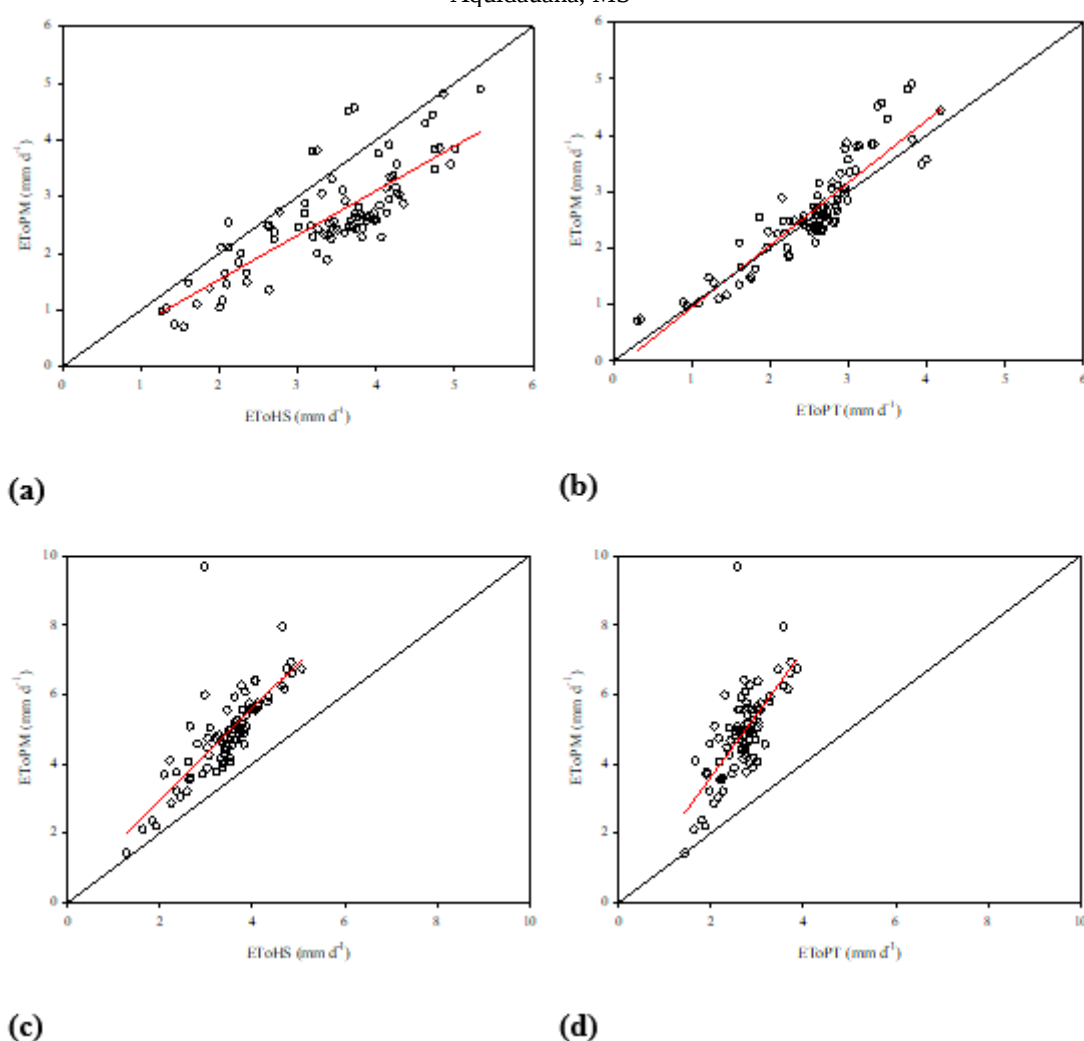
Esse padrão se manteve em F3, com TS apresentando LI de 40,8 mm, sendo PM superior cerca de 26%, enquanto HS e PT mantiveram valores inferiores ao PM, aproximadamente 45%. No fechamento do ciclo, divergindo de 2018, notou-se um acréscimo das LI em todos os modelos na F4, sendo que TS, HS e PT alcançaram LI superiores a PM, aproximadamente 21% (TS) e 16,3% (HS e PT) respectivamente.

A LT apresentou dados próximos entre PM e TS, sendo o último cerca de 8% inferior ao padrão, porém foi maior que os valores estimados por HS (219,96 mm) e PT (203,36 mm). Segundo Lopes *et al.* (2004), o método TS possibilitou o melhor entendimento das reais condições hídricas do solo, na região do sistema radicular, por monitorar as variações diárias do potencial mátrico do solo e, indiretamente, a variação do armazenamento de água na zona radicular da cultura, resultando em uma

economia de 15% na lâmina de irrigação aplicada, quando comparado ao tanque classe A, sem afetar a produtividade de grãos.

Em estudo comparativo entre o irrigâmetro e outros manejos de irrigação, ocorrido em Viçosa, MG, Contin (2008) encontrou demanda hídrica para cultura do feijoeiro de aproximadamente 253,2 mm, devido a períodos de baixa temperaturas, semelhante aos valores encontrados neste estudo.

Figura 3. Evapotranspiração de referência: comparação dos métodos de Hargreaves-Samani (a, c) e de Priestley-Taylor (b, d) com o método padrão Penman-Monteith, ao longo dos ciclos da cultura do feijoeiro de inverno safras 2018 e 2019, em Aquidauana, MS



Siglas: EToHS, evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves-Samani; EToPT, evapotranspiração de referência pelo método de Priestley-Taylor; EToPM, evapotranspiração de referência pelo método padrão Penman-Monteith.

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Verificou-se que em 2018 o HS apresentou valores superestimados, apresentando maior dispersão ao redor da linha de tendência (Figura 3a); enquanto em 2019 (Figura 3c) seu comportamento foi totalmente o inverso, subestimando o modelo padrão.

Tabela 3. Indicadores de desempenho e regressão linear dos métodos de estimativa da ETo, comparado ao método padrão (Penman Monteith), nos dois ciclos do feijão de inverno, em Aquidauana, MS

Ano	Método	r ²	c (classificação)	Equação
2018	EToHS	0,66	0,29 (Péssimo)	EToPM = 0,7836 EToHS - 0,0298
	EToPT	0,82	0,73 (Bom)	EToPM = 1,1055 EToPT - 0,1569
2019	EToHS	0,61	0,20 (Péssimo)	EToPM = 1,3155 EToHS + 0,3362
	EToPT	0,49	0,07 (Péssimo)	EToPM = 1,8237 EToPT - 0,0307

Siglas: EToHS, evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves-Samani; EToPT, evapotranspiração de referência pelo método de Priestley-Taylor; EToPM, evapotranspiração de referência pelo método padrão Penman-Monteith.

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

O comportamento encontrado na Figura 3a e 3c, pode ser comprovado na Tabela 3, onde os coeficientes de desempenho para os dois anos de cultivos foram classificados como “Péssimo” para método HS, indicando uma baixa adequação do modelo padrão. Esses resultados vão ao encontro com os de Tagliaferre *et al.* (2010), que avaliaram desempenho de seis métodos empíricos em quatro escalas de tempo, comparados ao método padrão, para uma região ao sul da Bahia, em que HS foi o que mais superestimou a ETo, independente do período de comparação.

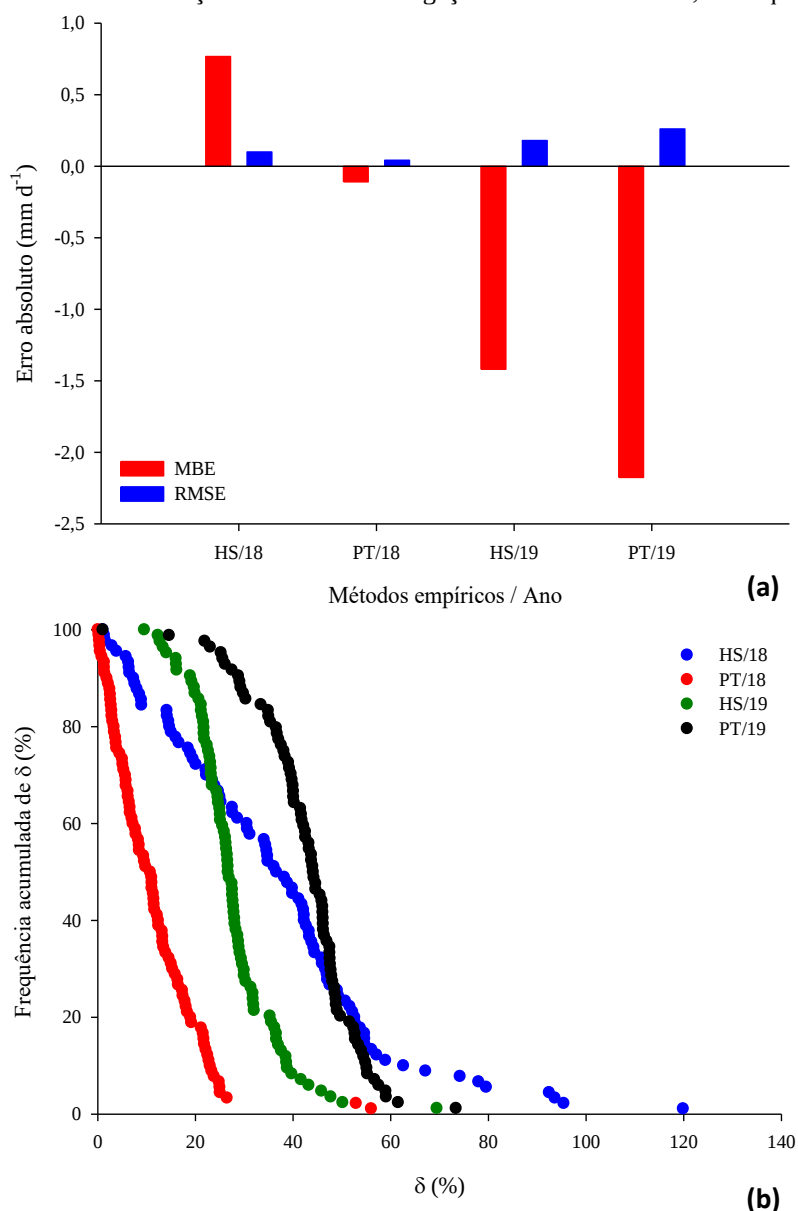
Essa mesma situação foi achada por Noia *et al.* (2014), ao analisarem as estimativas de ETo para o município de Dourados, MS, utilizando PM e HS com bases em dados horários, diárias, descendais e mensais, identificaram que os dados de HS foram 36,8% superiores a PM.

O método PT comparativamente ao padrão encontrou melhor ajuste para em 2018 Figura 3b, tendo pouca dispersão dos dados ao redor da linha de tendência 1:1, configurando PT como “Bom”. Isso corrobora com Moraes *et al.* (2018), que avaliaram desempenho de métodos de ETo para Aquidauana, MS, comparando o método PM com modelos empíricos Camargo, HS, Jensen-Haise, PT, onde PT obteve um melhor ajuste ao padrão.

Diferentemente do ocorrido em 2018, tanto HS quanto PT não apresentaram ajustes significantes a PM, em 2019, sendo ambos classificados como “Péssimo” (Figuras 3c e 3d). Esse desempenho assemelha-se ao encontrado por Tagliaferre *et al.* (2010), onde PT, subestimou os valores ETo obtidos pelo método padrão.

Segundo Souza *et al.* (2011), que avaliou o desempenho de métodos de estimativas de ETo, em diferentes condições de nebulosidade no município de Seropédica, RJ, no qual método PT apresentou tendência de superestimar evapotranspiração mensurada pelo lisímetro em todas as condições de nebulosidade, com diminuição do desempenho em condições de céu aberto.

Figura 4. Erro médio absoluto, raiz quadrada do quadrado médio do erro e probabilidade do erro (δ), nos métodos empíricos utilizados na simulação de lâminas de irrigação safras 2018 e 2019, em Aquidauana, MS.



Siglas: MBE, Erro médio absoluto; RMSE, Raiz quadrada do quadrado médio do erro; HS, método de Hargreaves-Samani; PT, método de Priestley-Taylor..

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

O MBE representou o desvio das médias e fornece informações relevantes sobre o desempenho dos modelos utilizados neste trabalho. Pode-se observar que HS/18 superestimou o método padrão PM, enquanto HS/19 e PT/19 subestimaram o padrão. Sendo que o PT/18 obteve menores erros entre os avaliados para os dois anos, comprovando assim seu melhor ajuste ao método padrão. Com relação à RMSE, quanto menores forem as probabilidades de erro (δ), melhor será o ajuste do método ao padrão, assim PT/18 apresentou melhor desempenho entre os métodos avaliados em ambos os anos.

Os parâmetros analisados por MBE e RMSE comprovam o desempenho de PT em 2018, onde LT desse foi apenas 3,3% inferior a PM, gerando pouca diferença entre as LT desses modelos,

aproximadamente 10 mm ao final do ciclo do feijoeiro. Conforme observa-se na Figura 4b, a probabilidade do erro no modelo PT/18 apresenta melhor resultados entre os dois modelos avaliados para 2018. Para 2019, ambos os modelos não alcançaram desempenho satisfatórios com valores elevados de porcentagem do erro.

Para Back (2008), o desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar, para Urussanga, SC, o método HS obteve classificação no índice de desempenho “c” como “Péssimo”, e o MBE de 1,141 e 1,157 para estimativa de ETo, em intervalos deciduais e mensais respectivamente, sendo assim, HS subestimou a ETo do método padrão para todos os meses do ano. Souza *et al.* (2011), em contraste do encontrado neste trabalho, HS obteve resultados muito bons de índice “c”, com MBE de -0,173 mm d⁻¹ e RMSE de 0,1280 mm d⁻¹, já PT apresentou valores de MBE de 0,2693 mm d⁻¹ e RMSE de 0,8398 mm d⁻¹ desempenho classificado como “Mediano”.

Como já relatados neste trabalho, o desempenho do método HS para obtenção de ETo não atingiu resultados favoráveis ao seu uso nos dois anos avaliados – 2018 e 2019 –, diferente do que se esperava, contudo, outros trabalhos realizados na região deste estudo, como o de Fanaya Júnior, Oliveira *et al.* (2015), e no município de Dourados, por Noia *et al.* (2014), encontraram resultados favoráveis ao uso desse método, sendo que último autor utilizou um fator de correção para alcançar melhor desempenho do método.

Segundo Souza *et al.* (2011), o desempenho da estimativa da ETo para um mesmo modelo varia entre regiões úmidas, semiúmidas ou áridas, pois a sazonalidade da ETo pode ser influenciada pela variação da quantidade de vapor d’água na atmosfera local, sendo, por sua vez, relacionada a nebulosidade, podendo sofrer influência direta do balanço de radiação entre ondas curtas e longas (CARVALHO; ROCHA *et al.*, 2015).

CONCLUSÃO

A O método de Hargreaves-Samani ocasiona baixos índices de desempenho, não sendo indicado para estes períodos nessas condições de clima.

O método de Penman-Monteith proporciona maior eficiência na estimativa de evapotranspiração de referência para região de Aquidauana, MS.

O balanço hídrico realizado pelo método de Penman-Monteith assegura melhor ajuste ao método padrão em 2018, gerando lâminas condizentes as encontradas à campo pelo método Tensiométrico, proporcionando umidade dentro da necessidade hídrica do feijoeiro.

Em relação as lâminas geradas em 2019, o método padrão Penman-Monteith e o método Tensiométrico apresentaram valores muito semelhantes evidenciando um bom desempenho de ambas metodologias para estimativa de manejo de irrigação o que não ocorreu com os métodos estimados de

Penman-Monteith e de Hargreaves-Samani.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: Guidelines for computing crop requirements. Roma-IT: FAO, 1998. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56). Disponível em: <http://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm#Contents>. Acesso em: 9 dez. 2020.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo**: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma-IT: FAO, 2006. (Estudio Fao Riego y Drenaje, 56). Disponível em: <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2020.
- ARAÚJO, W. F.; COSTA, A. A.; SANTOS, A. E. Comparação entre métodos de estimativas da evapotranspiração de referência (ET_o) para Boa Vista-RR. **Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 4, p. 84-88, 2007. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/84/224>. Acesso em: 9 dez. 2020.
- ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 39, n. 2, p. 131-138, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pab/v39n2/19846.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2020.
- BACK, A. J. Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para a estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga, SC. **Irriga**, Botucatu-SP, v. 13, n. 4, p. 449-466, 2008. Disponível em: <http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3383/2137>. Acesso em: 9 dez. 2020.
- 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-RS, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997. Disponível em: [http://www.leb.esalq.usp.br/agmfacil/artigos/artigos_sentelhas_1997/1997_RB_Agro_5\(1\)_89-97_ETPM%E9todosSP.pdf](http://www.leb.esalq.usp.br/agmfacil/artigos/artigos_sentelhas_1997/1997_RB_Agro_5(1)_89-97_ETPM%E9todosSP.pdf). Acesso em: 9 dez. 2020.
- CARVALHO, D. F.; ROCHA, H. S.; BONOMO, R.; SOUZA, A. P. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos limitados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 50, n. 1, p. 1-11, 2015. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/download/19629/12817>. Acesso em: 9 dez. 2020.
- CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia-go, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pat/v41n3/a20v41n3.pdf>. Acesso em: 9 out. 2020.
- COMISSÃO TÉCNICA SUL-BRASILEIRA DE FEIJÃO. **Informações técnicas para o cultivo de feijão na região Sul brasileira**. 2. ed. rev. e atual. Florianópolis: EPAGRI, 2012. 157 p. Disponível em: http://docente.ifsc.edu.br/roberto.komatsu/MaterialDidatico/Agroecologia_4%C2%B0M%C3%B3duloGr%C3%A3os/Feijao/informacoes_tecnicas_cultivo_feijao.pdf. Acesso em: 9 dez. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. (Brasil). Grãos: safra 2018/19. **Boletim de Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília-DF, v. 6, n. 12, p. 1-126, 2019. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/28484_9a9ee12328baa359b3708d64e774e5d8. Acesso em: 9 dez. 2020.

CONTIN, F. S. **Tecnologia do irrigâmetro aplicada no manejo da irrigação de feijoeiro**. 2008. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1970. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3530/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 9 dez. 2020.

CUNHA, P. C. R.; SILVEIRA, P. M.; NASCIMENTO, J. L.; ALVES JÚNIOR, J. Manejo da irrigação no feijoeiro cultivado em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 7, p. 735-742, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v17n7/a07v17n7.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2020.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome-IT: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979. (Irrigation and Drainage, 33).

FANAYA JÚNIOR, E. D.; LOPES, A. S.; OLIVEIRA, G. Q.; JUNG, L. H. Métodos empíricos para estimativa da evapotranspiração de referência para Aquidauana, MS. **Irriga**, Botucatu-SP, v. 17, n. 4, p. 418-434, 2012. Disponível em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/282/312>. Acesso em: 9 dez. 2020.

FANAYA JÚNIOR, E. D.; OLIVEIRA, F. C.; CARVALHO, L. C. N.; SANTOS, O. N. A.; LAVANHOLI, R.; MARQUES, P. A. A. Estimativa do balanço hídrico no feijoeiro de inverno em Aquidauana, MS. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 3., 2015, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza-CE: Instituto INOVAGRI, 2015. p. 1.146-1.156. Disponível em: <http://www.bibliotekevirtual.org/simposios/III-INOVAGRI-2015/01.09.2015/a126.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT** [FAO Statistical Databases]: Brazil: Bean. Roma-IT: FAO, 2020. Não paginado. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 9 dez. 2020.

FRIZZONE, J. A.; REZENDE, R.; CAMARGO, A. P.; COLOMBO, A. **Irrigação por aspersão: sistema pivô central**. Maringá-PR: EDUEM, 2018.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE. 1989. (ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices, 70).

JUNG, L. H.; BISCARO, G. A.; OLIVEIRA, G. Q.; ALVES, M. A.; GIACON, G. M. Estimativa da evapotranspiração de referência em uma região do alto pantanal. **Magistra**, Cruz das Almas-BA, v. 28, n. 2, p. 168-177, 2016. Disponível em: <https://magistraonline.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/download/265/244>. Acesso em: 9 dez. 2020.

LOPES, A. S.; PAVANI, L. C.; CORA, J. E.; ZANINI, J. R.; MIRANDA, H. A. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto

e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v. 24, n. 1, p. 89-100, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/eagri/v24n1/v24n01a11.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2020.

MALUF, J. R. T.; WESTPHALEN, S. L.; CAIAFFO, M. R. **Zoneamento agroclimático da cultura de feijão no Estado do Rio Grande do Sul**: recomendação de períodos favoráveis de semeadura por município. Passo Fundo-RS: Embrapa Trigo, 2000. (Circular técnica, 3). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/121355/1/FL-07249.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2020.

MORAES, T. S.; LOPES, A. S.; FANAYA JUNIOR, E. D.; PEREIRA, V. G. M. F.; COSTA, C. D. O.; CHERRI, U. O. Comparative performance of empirical methods to estimate the reference evapotranspiration in Aquidauana, MS, Brazil. **Científica**, Jaboticabal-SP, v. 46, n. 2, p. 143-150, 2018. Disponível em: <http://cientifica.org.br/index.php/cientifica/article/download/1052/645>. Acesso em: 9 dez. 2020.

MOREIRA, J. A. A.; SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Irrigação. In: ARAUJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba-SP: Potafos, 1996. p. 465-522.

NOIA, C. P. Z.; PEREIRA, S. B.; ROSA, D. R. Q.; ALMEIDA, R. A. Evapotranspiração de referência estimada pelos métodos Penman-Monteith-FAO (56) e Hargreaves & Samani para o município de Dourados, MS. **Agrarian**, Dourados-MS, v.7, n. 24, p. 300-308, 2014. Disponível em: <http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/download/2476/1806>. Acesso em: 9 dez. 2020.

OLIVEIRA, M. G. C.; OLIVEIRA, L. F. C.; WENDLAND, A.; GUIMARÃES, C. M.; QUINTELA, E. D.; BARBOSA, F. R.; CARVALHO, M. C. S.; LOBO JUNIOR, M.; SILVEIRA, P. M. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. Brasília-DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/173690/1/CNPAF-2018-lvfeijoeiro.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2020.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Radiação solar. In: PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba-RS: Agropecuária, 2002. p. 75-103.

SCHIAVO, J. A.; PEREIRA, A. G.; MIRANDA, L. P. M.; DIAS NETO, A. H.; FONTANA, A. Caracterização e classificação de solos desenvolvidos de arenitos da formação Aquidauana-MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 34, n. 3, p. 881-889, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n3/29.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2020.

SILVA, M. G. Implantação da cultura. In: ARF, O.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; FERRARI, S. (ed.). **Aspectos gerais da cultura do feijão *Phaseolus vulgaris* L.** Botucatu-SP: FEPAF, 2015. p. 163-180. Disponível em: http://aci.reitoria.unesp.br/Livro_feijao/livroFeij%E3o-final-1.pdf. Acesso em: 9 dez. 2020.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte-MG, v. 25, n. 223, p. 74-82, 2004. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/60991/1/Silveira-IA.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2020.

SOUZA, A. P.; CARVALHO, D. F.; SILVA, L. B. D.; ALMEIDA, F. T.; ROCHA, H. S. Estimativas da evapotranspiração de referência em diferentes condições de nebulosidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 46, n. 3, p. 219-228, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pab/v46n3/a01v46n3.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2020.

TAGLIAFERRE, C.; SILVA, R. A. J.; ROCHA, F. A.; SANTOS, L. C.; SILVA, C. S. Estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiração de referência em Eunápolis - BA. **Caatinga**, Mossoró-RN, v. 23, n. 1, p. 103-111, 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/1509/pdf>. Acesso em: 9 dez. 2020.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, Canada, v. 90, n. C5, p. 8.995-9.005, 1985.