

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA POR DIFERENTES MÉTODOS PARA A REGIÃO DE SINOP-MT

Thiago Santa Catharina Junges¹, Rivanildo Dallacort², Mirian Hiroko Inoue³, Alcir José Modolo⁴, Henrique da Cruz Ramos⁵

1. Engenheiro Agrônomo, graduado pela Universidade do Estado de Mato Grosso (rivanildo@unemat.br), Tangará da Serra-MT, Brasil
2. Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Ambientes e Sistemas de Produção Agrícola da Universidade do Estado de Mato Grosso
3. Professora Doutora Pesquisadora da Universidade do Estado de Mato Grosso
4. Professor Doutor do Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Brasil.
5. Pós-graduando em Ambientes e Sistemas de Produção Agrícola na Universidade do Estado de Mato Grosso – Brasil.

Recebido em: 04/05/2012 – Aprovado em: 15/06/2012 – Publicado em: 30/06/2012

RESUMO

A água é um importante recurso para a agricultura, principalmente na irrigação, e o processo de evapotranspiração tem grande influência no manejo desta prática. Este trabalho objetivou a estimar a evapotranspiração de referência, a fim de definir qual o melhor método para a região de Sinop – MT. Os dados utilizados foram obtidos na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada na Gleba Celeste, município de Sinop, norte do Estado de Mato Grosso, com altitude de 415 m a 12°12'S e 56°30'W. Estes dados constituíram dois períodos; 1973 a 1989 e 1998 a 2010. O método Penman-Monteith FAO foi considerado como padrão e os métodos comparados foram Thornthwaite, Priestley & Taylor e Penman. Os métodos de Priestley & Taylor e Penman apresentaram um desempenho ótimo, sendo recomendados para a região, enquanto o método de Thornthwaite teve um desempenho classificado como péssimo, não sendo recomendada sua utilização para esta região, tanto para períodos mensais como decendiais.

PALAVRAS-CHAVE: balanço hídrico; déficit hídrico; precipitação; variáveis meteorológicas.

EVAPOTRANSPIRATION REFERENCE ESTIMATION BY DIFFERENT METHODS FOR THE REGION OF SINOP, MT

ABSTRACT

Water is an important resource for agriculture, especially in irrigation, and the evapotranspiration process has great influence over the management of this practice. This work aimed to estimate the evapotranspiration reference, in order to establish the best method for the region of Sinop – MT. The data used were obtained from a meteorological station of the National Institute of Meteorology (INMET) at an altitude of 415 m, located at 12°12'S and 56°30'W, installed in the Gleba Celeste, city of Sinop, northern Mato Grosso State. These data were from two periods, 1973 to 1989 and 1998 to 2010. The Penman-Monteith FAO method was taken as standard. The

compared methods were Thornthwaite, Priestley & Taylor and Penman. The Priestley & Taylor and Penman methods showed very good performance, hence recommended for the region, while the Thornthwaite method had performance classified as poor, thus its use is not recommended for this region, neither for monthly or ten days periods.

KEYWORDS: drought; meteorological variables; precipitation; water balance;.

INTRODUÇÃO

A agricultura é a principal atividade econômica da região norte do Estado de Mato Grosso, tendo destaque as culturas de soja e milho, e em menor destaque o arroz (DUBREUIL et al., 2005). Dentre as cidades produtoras da região, Sinop encontra-se em posição de destaque com 112.500ha de soja, 45.200ha de milho e 7.500ha de arroz, com uma produção de 345.500toneladas, 189.960 toneladas e 24.750toneladas respectivamente (IBGE 2010).

Com a necessidade de se aumentar a produção, qualidade e diversidade de alimentos, há a necessidade de estudos sobre novas técnicas de produção e o aperfeiçoamento das já existentes, entre estas técnicas encontra-se a irrigação (REIS et al., 2007). Entre as principais variáveis a serem observadas no planejamento, implantação e manejo de um sistema de irrigação está a evapotranspiração (BERNARDO, 1995).

A evapotranspiração é um dos elementos mais relevantes para a irrigação, podendo ter a mesma importância que a precipitação, pois representa, teoricamente, a quantidade de água necessária a ser reposta na irrigação (CAMARGO & SENTELHAS, 1997).

A determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) pode ser realizada por diversos métodos, sendo eles diretos ou indiretos. Os métodos diretos utilizam de equipamentos, como lisímetros e evapotranspirômetros, que tornam o processo muito oneroso e difícil, não sendo muito utilizado em condições extensivas, aplicada apenas de forma experimental (PEREIRA et al., 2002), principalmente para validar formas alternativas de determinação e estimativa da evapotranspiração.

Quando a determinação da ET_o pelos métodos diretos não é possível, esta pode ser estimada através dos métodos indiretos, métodos ou equações meteorológicas (CONCEIÇÃO & MANDELLI, 2005). Existem vários métodos para estimar a ET_o, porém muitos tem baixa aplicabilidade prática (SILVA et al., 2005), e muitas vezes não é possível utilizar alguns métodos devido à ausência de dados necessários para o cálculo em uma determinada região, assim torna-se imprescindível e necessário que se teste diversos métodos para definir quais podem ser empregados em cada região (ALMEIDA et al., 2010).

Vários autores vêm realizando trabalhos a fim de validar métodos de estimativa da ET_o. CAMARGO & SENTELHAS (1997) propuseram um índice para avaliar o desempenho destes métodos, que se baseia no índice de precisão do método, dado pelo coeficiente de correlação, e na exatidão do método, dado pelo índice de Willmott (WILLMOTT et al., 1985).

Neste sentido, devido à ausência e necessidade de estudos relacionados ao tema para a localidade, este trabalho teve como objetivo estimar a evapotranspiração de referência para o município de Sinop-MT para valores mensais e decendiais pelos métodos Thornthwaite, Priestley & Taylor e Penman e compará-los aos valores obtidos através do método Penman-Monteith FAO, considerado padrão pela FAO (ALLEN et al., 1998), para verificar a eficiência destes métodos na região.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados foram obtidos na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada na Gleba Celeste, município de Sinop, norte do Estado de Mato Grosso, com altitude de 415 m a 12°12'S e 56°30'W.

Os dados utilizados para análise constituem-se de dois períodos; 1973 a 1989 e 1998 a 2010, sendo que o período entre 1990 a 1997 possui um período longo de falhas e optou-se por descartá-lo. Para a organização dos dados, preenchimento de falhas e análise da ETo foi utilizado o software Clima (FARIA et al., 2003). As variáveis utilizadas foram temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar.

O método de Penman-Monteith FAO (Eq. 1) foi considerado como padrão, pois considera um maior quantidade de variáveis. A evapotranspiração potencial foi estimada para períodos mensais e decendias. As equações utilizadas para comparação foram de Penman (Eq. 2), Priestley & Taylor (Eq. 3) e Thornthwaite (Eq. 4).

Método Penman-Monteith FAO - ETP-PM

Este método foi parametrizado pela FAO - Food and Agriculture Organization (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação), a qual recomenda a utilização deste como padrão para calibração dos demais métodos de estimativa (ALLEN et al., 1998):

$$E_{To} = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

Onde:

ETo – evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);

Δ – gradiente da curva de pressão de vapor contra temperatura (kPa °C⁻¹);

e_s – pressão de saturação do vapor de água atmosférico (kPa);

R_n – radiação solar líquida disponível (MJ m⁻² d⁻¹);

G – fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹);

γ – constante psicrométrica (kPa °C⁻¹);

u₂ – velocidade do vento medida a 2 m de altura (m s⁻¹);

T_a – temperatura média diária do ar (°C);

e_a – pressão atual do vapor de água atmosférico (kPa);

Método de Penman

Esta equação foi proposta por Penman em 1948 e posteriormente parametrizada pela FAO (DOORENBOS & PRUITT, 1977):

$$E_{To} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_n - G + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} 2,7 W f(e_s - e_a) \quad (2)$$

Onde:

ETo – evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);

Δ – gradiente da curva de pressão de vapor contra temperatura (kPa °C⁻¹);

e_s – pressão de saturação do vapor de água atmosférico (kPa);

R_n – radiação solar líquida disponível (MJ m⁻² d⁻¹);

G – fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹);

γ – constante psicrométrica (kPa °C⁻¹);

e_a – pressão atual do vapor de água atmosférico (kPa);

W – fator de ponderação (W=Δ/Δ+γ);

Método de Priestley & Taylor

Foi proposta por PRISTLEY & TAYLOR (1972), de acordo com MEDEIROS (2002) esta equação é uma simplificação da equação proposta por Penman em 1948:

$$ET_{oPT} = \frac{\alpha W(R_n - G)}{\lambda} \quad (3)$$

Onde:

ET_{oPT} – evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});

R_n – radiação solar líquida disponível ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

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

λ – calor latente de evaporação ($2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$);

W – fator de ponderação ($W = \Delta / (\Delta + \gamma)$);

Método de Thornthwaite

Baseada no balanço hídrico de bacias hidrográficas, esta equação estima médias mensais baseadas em condições padrões, dias de 12 h e meses de 30 dias, necessitando assim de um ajuste (THORNTHWAITE, 1948) (Eq. 7):

$$ETP = f 1,6 \left(\frac{10t}{I} \right)^a \quad (4)$$

Onde:

ETP – evapotranspiração potencial (mm mês^{-1});

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

I – índice de calor anual;

$$I = \sum_1^{12} \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514} \quad (5)$$

Onde:

a – função cúbica de I ;

$$a = 6,75 \times 10^{-7} \times I^{-3} - 7,71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1,79 \times 10^{-2} I + 0,49239 \quad (6)$$

f – fator de ajuste, calculando pela seguinte fórmula:

$$f = \frac{h n}{1230} \quad (7)$$

h – número de horas de luz solar na latitude considerada;

n – número de dias do mês em estudo;

Avaliação dos Métodos

Para avaliar a eficácia dos métodos foi realizado a análise da regressão linear dos valores estimados para se obter o coeficiente de correlação “ r ”. A exatidão foi calculada pelo índice “ d ”, ou índice de Willmott, que pode variar de 0, não houve concordância entre os valores analisados, até 1, quando a concordância é perfeita (WILLMOTT et al., 1985):

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (8)$$

Onde:

P_i – valor estimado por um dos métodos;

O_i – valor observado pelo método padrão;

O – média dos valores observados pelo método padrão;

Para indicar o desempenho de cada teste foi utilizado o índice “c” proposto por CAMARGO & SENTELHAS (1997) (Tabela 1):

$$c = r * d$$

(9)

Tabela 1. Interpretação do desempenho segundo CAMARGO & SENTELHAS (1997)

Valor de “c”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sufrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura média mensal variou entre 26,1 °C (outubro) e 23,2 °C (julho) (Figura 1), sendo o segundo decêndio de julho (23 °C) o mais frio e o primeiro decêndio de outubro (26,3 °C) o mais quente (Figura 2). Segundo GADIOLI et al. (2000), esta variável tem grande influência no ciclo da cultura do milho, pois este depende de uma soma calórica para mudar de estágio fenológico.

A temperatura máxima apresentou as maiores médias nos meses de agosto e setembro (34,5 °C), sendo que o segundo decêndio de setembro (34,8 °C) foi o que apresentou a maior das temperaturas máximas. Por outro lado, as menores temperaturas máximas foram observadas em janeiro e dezembro (31,5 °C), em que o primeiro decêndio de janeiro e o segundo decêndio de dezembro (31,3 °C) apresentaram as menores temperaturas máximas.

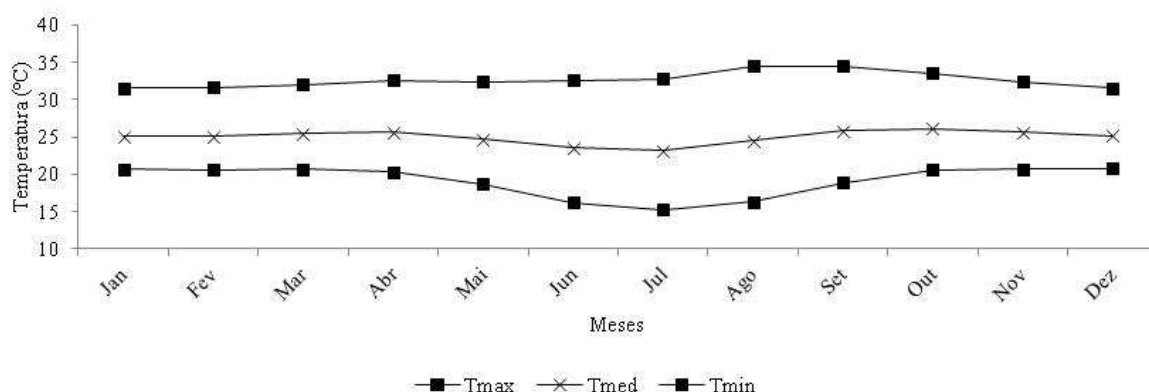


Figura 1: Médias mensais de temperatura máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin) para a cidade de Sinop – MT.

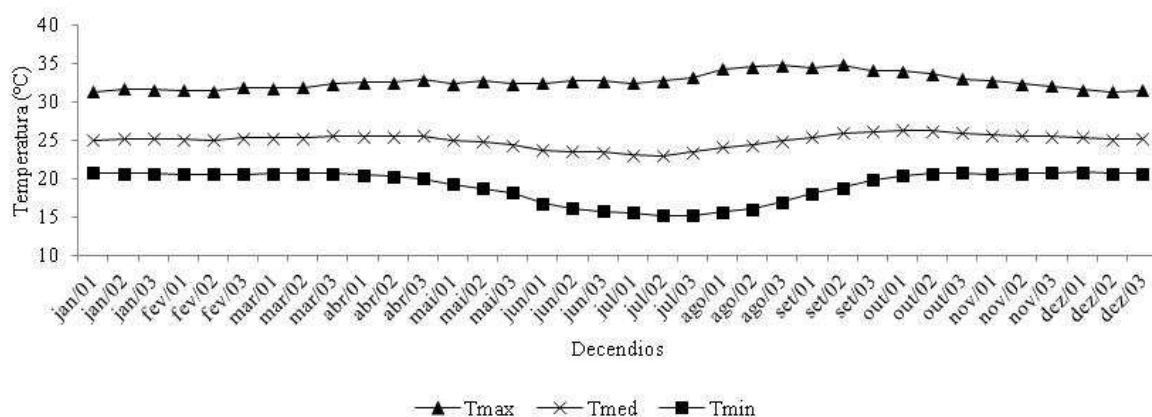


Figura 2: Médias decendiais de temperatura máxima (Tmax), média Tmed) e mínima (Tmin) para a cidade de Sinop – MT.

O mês de dezembro apresentou a maior média para temperatura mínima (20,8 °C), sendo que o topo ocorreu no primeiro decêndio de dezembro (20,9 °C). A menor temperatura mínima foi observada no mês de julho (15,3 °C), onde o primeiro e segundo decêndios do mês expressam as menores médias decendiais de temperatura mínima (15,2 °C).

Segundo GARCIA et al. (2011) ocorreu um aumento das médias de temperatura máxima, média e mínima para a região de Sinop-MT, se comparado o período de 1979 a 1989 com o de 1998 a 2009, sendo que estes períodos foram os mesmos estudados no presente trabalho.

Na umidade relativa ocorreu uma variação de 83,8% no mês de fevereiro a 61,4% no mês de agosto (Figura 3), nas médias decendiais, o terceiro decêndio de janeiro e o primeiro de fevereiro apresentaram as maiores médias (84%), e o segundo decêndio de agosto a menor (59,7%) (Figura 4).

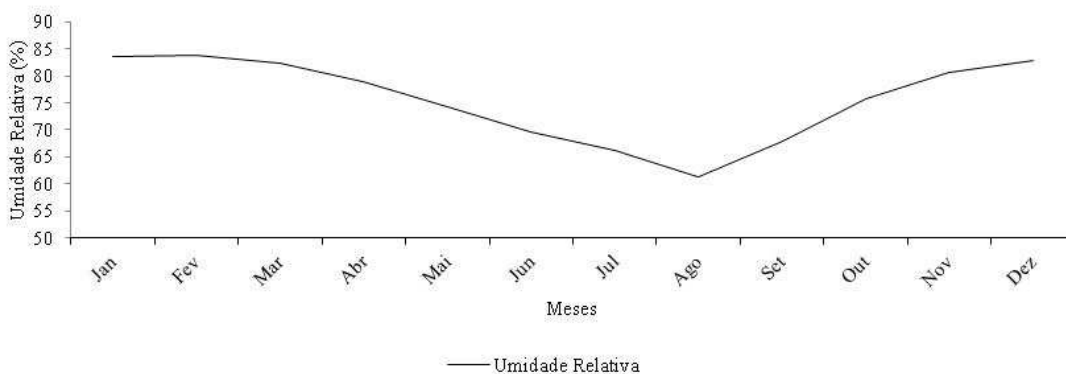


Figura 3: Médias mensais de umidade relativa para a cidade de Sinop – MT.

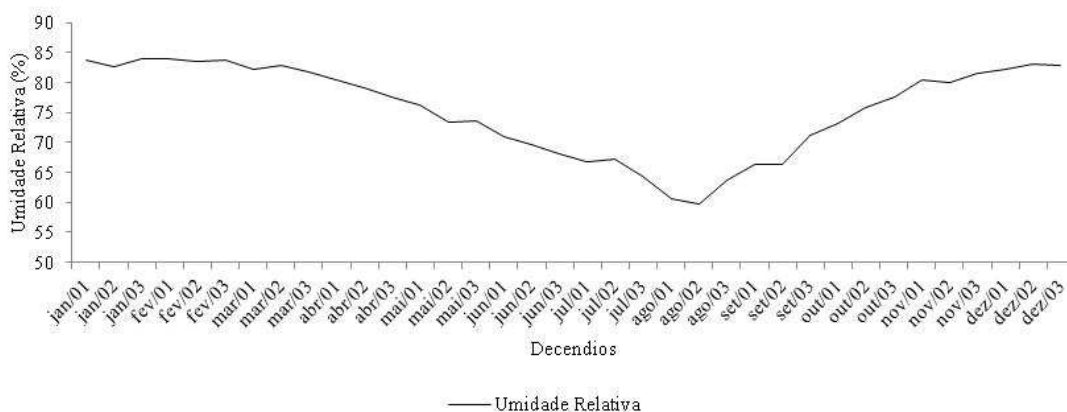


Figura 4: Médias decendiais de umidade relativa para a cidade de Sinop – MT.

A velocidade do vento teve médias mensais pouco distantes, $1,5 \text{ m s}^{-1}$ em agosto e $1,2 \text{ m s}^{-1}$ em março e abril (Figura 5), para médias decendiais obteve-se $1,2 \text{ m s}^{-1}$ para todos os decênios de março, primeiro e segundo decênios de abril, e segundo e terceiro decênios de novembro, verificou-se a maior média de velocidade do vento no segundo decênio de agosto, $1,6 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 6).

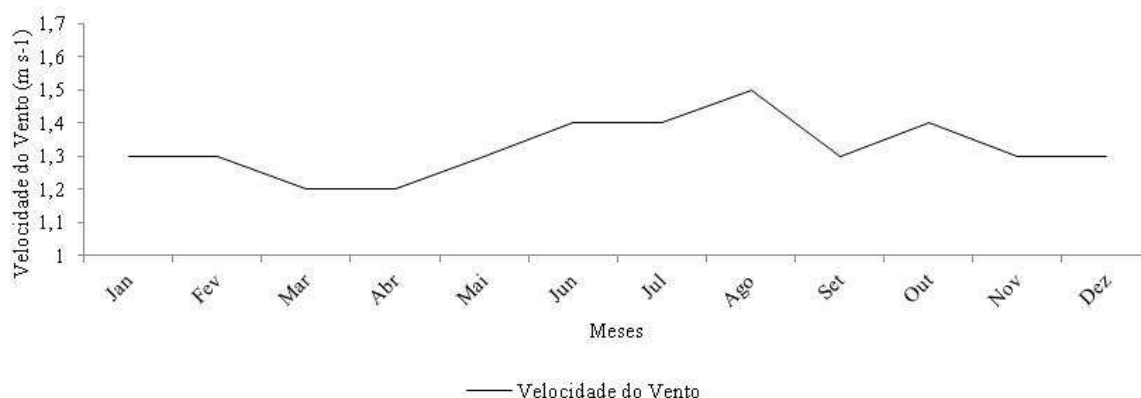


Figura 5: Médias mensais de velocidade do vento para a cidade de Sinop – MT.

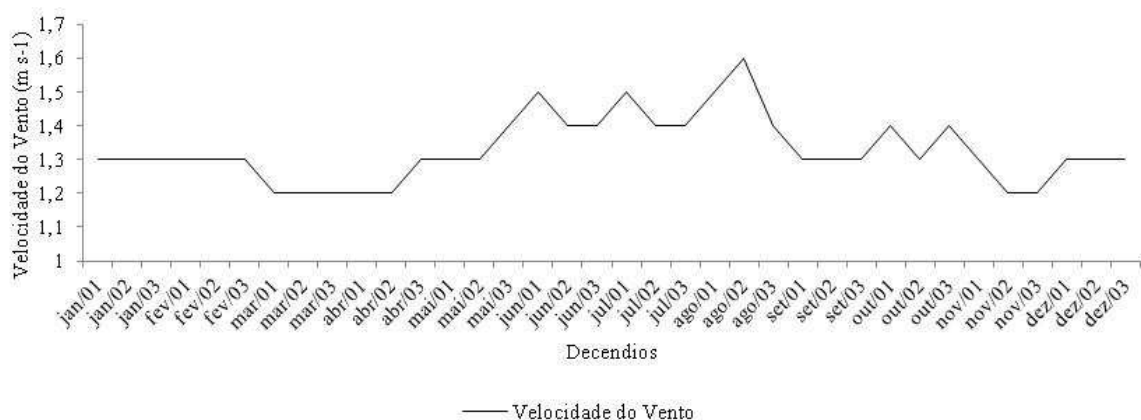


Figura 6: Médias decendiais de velocidade do vento para a cidade de Sinop – MT.

O mês de agosto obteve o maior saldo de radiação solar, $19,7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, e o mês de dezembro o menor, $17,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 7). Nas médias decendiais, o

primeiro e segundo decêndios de agosto (20,2 MJ m⁻² dia⁻¹) foram os de maior saldo, e o segundo decêndio de dezembro (17,2 MJ m⁻² dia⁻¹) foi o que apresentou a menor radiação solar (Figura 8).

De acordo com PEREIRA et al. (2002), a radiação solar tem grande influência sobre a evapotranspiração, pois é responsável pela disponibilidade de energia no sistema. Não ocorrendo restrição hídrica, esta variável é a que exerce maior influência sobre a evapotranspiração (FIETZ & FISCH 2009).

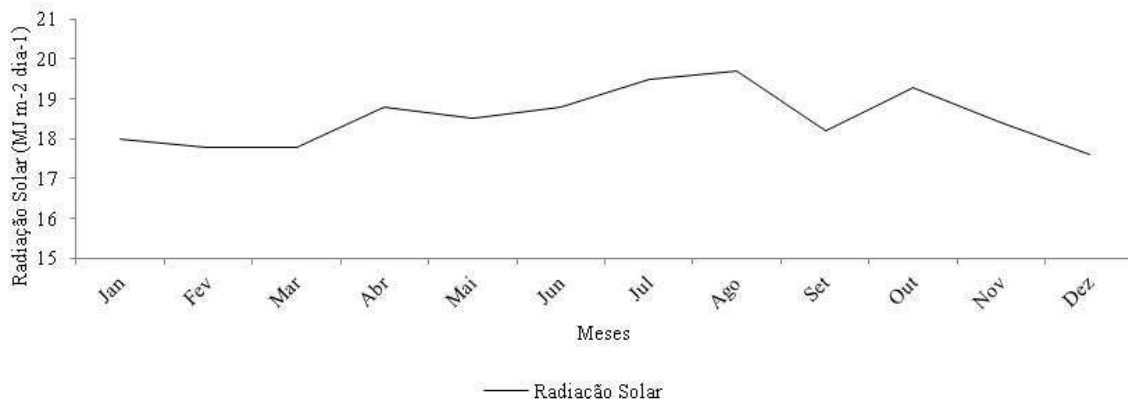


Figura 7: Médias mensais de radiação solar mensal para a cidade de Sinop – MT.

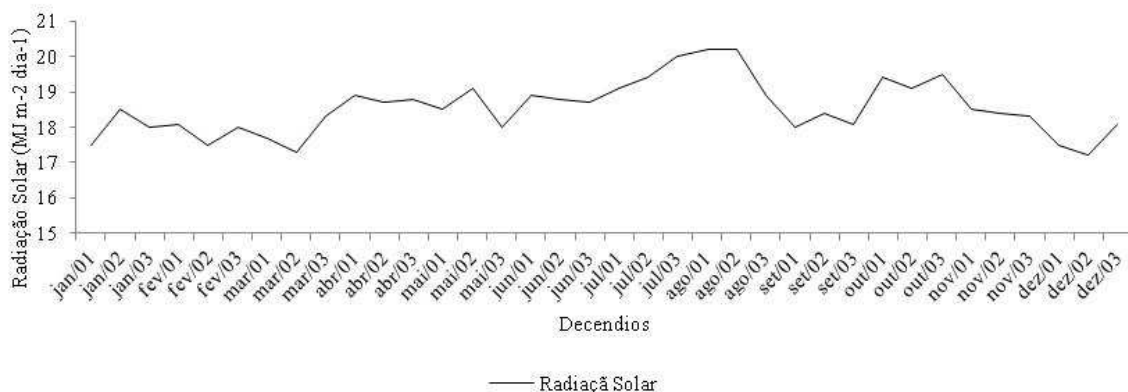


Figura 8: Médias decendiais de radiação solar mensal para a cidade de Sinop – MT.

Segundo MEDEIROS (2002), as principais variáveis que fornecem energia para o processo de vaporização são estas apresentadas anteriormente: temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e a radiação solar. Deste modo estas variáveis influenciaram diretamente nos valores apresentados pelos diferentes modelos.

Médias mensais e decendiais de evapotranspiração referência (ETo)

O método padrão, Penman-Monteith FAO, teve sua maior média mensal de ETo em outubro (133 mm), e a menor em fevereiro (107,3 mm) (Figura 9). O terceiro decêndio de fevereiro acumulou a menor média, 31,6 mm, e o terceiro de outubro a maior, 47,2 mm (Figura 10). SYPERRECK et al. (2008) encontraram resultados diferentes para este método, onde os maiores valores de ETo estão entre os meses de outubro e março para a região de Palotina-PR.

Para o método de Priestley & Taylor também estimou-se a menor média no mês de fevereiro (122,1 mm), já sua maior ETo foi no mês de agosto (154,5 mm). Nas médias decendiais, o método de Priestley & Taylor obteve os mesmos decêndios encontrados pelo método padrão, terceiro decêndio de fevereiro com 36,1 mm e o terceiro de outubro com a maior média, 53,8 mm. Em trabalho realizado por GUEDES FILHO et al. (2011) este método subestimou os valores de ETo comparado ao método padrão para a região de Areia-PB, resultado diferente do encontrado aqui, onde ocorreu uma superestimação durante todo o período.

Os resultados apresentados pelo método de Penman foram semelhantes aos apresentados pelo de Priestley & Taylor, tanto mensais como decendiais, fevereiro a menor média (124,6 mm), e agosto a maior (160,3 mm), terceiro decêndio de fevereiro com 36,6 mm e também o terceiro decêndio de outubro com a maior média, 55,5 mm.

Segundo CAMARGO & SENTELHAS (1997), o método de Penman tem tendência a superestimar os valores de ETo, visto que essa superestimação já foi comprovada em várias regiões do mundo (SEDIYAMA, 1996). Os métodos de Priestley & Taylor e Penman apresentaram a mesma tendência do método padrão, porém superestimaram os valores de ETo durante todo o ano.

A menor média de ETo estimada pelo método de Thornthwaite correspondeu ao mês de julho, com 87,9 mm, e as menores médias decendiais para o primeiro e segundo decêndio de julho (28,3 mm). No entanto a maior ocorreu no mês de outubro, com 159 mm, o terceiro decêndio de outubro foi o que apresentou a maior média, 56,4 mm.

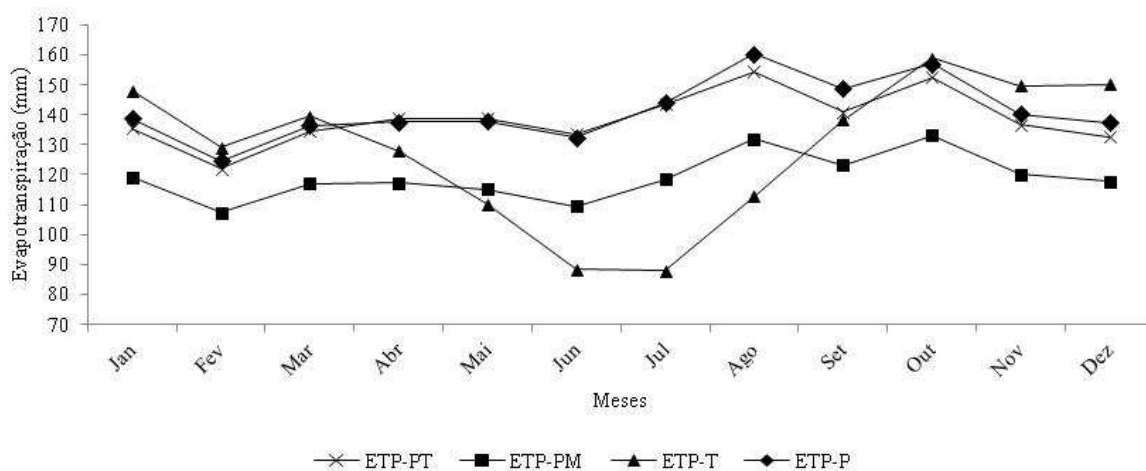


Figura 9: Valores mensais de ETo estimados pelos métodos de Penman-Monteith FAO (ETP-PM), Priestley & Taylor (ETP-PT), Penman (ETP-P) e Thornthwaite (ETP-T) para a cidade de Sinop – MT.

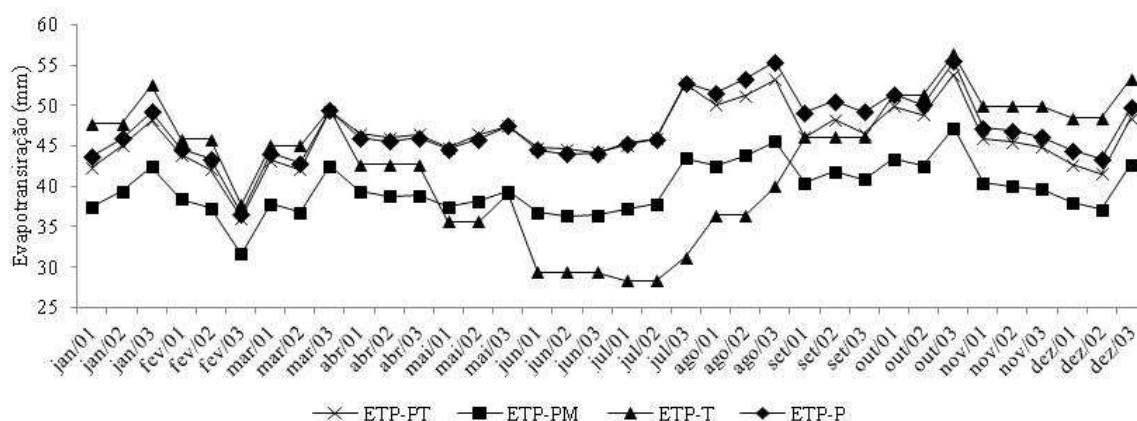


Figura 10: Valores decendiais de ETo estimados pelos métodos de Penman-Monteith FAO (ETP-PM), Priestley & Taylor (ETP-PT), Penman (ETP-P) e Thornthwaite (ETP-T) para a cidade de Sinop – MT.

O método de Thornthwaite apresenta superestimativa entre os meses de setembro e abril. Em estudo semelhante, SYPERRECK et al. (2008) obtiveram uma superestimação em todos os meses do ano para o método de Thornthwaite na região de Palotina-PR. Nos meses de maio a agosto o método de Thornthwaite subestimou os valores isto ocorre, pois, segundo CAMARGO & CAMARGO (2000), o método não considera a energia advectiva recebida de áreas secas distantes.

Este método obteve uma estimativa bastante diferente das apresentadas pelos outros métodos em se tratando da menor média de evapotranspiração mensal, que ocorreu no mês de julho, que também apresentou a menor temperatura média. Já no caso da maior média de ETo, o método de Thornthwaite foi o único que estimou o mesmo mês que o método padrão, outubro, mês que também apresentou a maior temperatura média. No trabalho de BORGES & MENDIONDO (2007), este método apresentou maior erro nos meses de seca, e baixos erros nos meses chuvosos.

As médias anuais de ETo foram 1.435,6 mm, 1.669,9 mm, 1.702 mm e 1.542,2 mm, para os métodos de Penman-Monteith FAO, Priestley & Taylor, Penman e Thornthwaite respectivamente.

Avaliação dos métodos de estimativa de evapotranspiração de referência (ETo)

Todos os métodos comparados apresentaram um índice de Willmott, ou índice de exatidão representado pela letra d, bastante elevado, considerados como uma concordância quase perfeita, próximo a 1. Na correlação, representada pela letra r, os métodos de Priestley & Taylor e Penman obtiveram valores elevados e bem próximos, porém o método de Thornthwaite apresentou uma correlação muito baixa, influenciando no desempenho do método (Tabela 2 e 3).

Tabela 2. Comparação das equações, coeficiente de correlação (r), índice de Willmott (d), índice de confiança (c) e erro padrão da estimativa (EPE) e Desempenho para valores de ETo mensal

Método	d	r	c	EPE	Desempenho
Priestley & Taylor	0,993	0,905	0,899	2,320	Ótimo
Penman FAO	0,992	0,968	0,959	2,631	Ótimo
Thornthwaite	0,998	0,357	0,356	1,116	Péssimo

Tabela 3. Comparação das equações, coeficiente de correlação (r), índice de Willmott (d), índice de confiança (c) e erro padrão da estimativa (EPE) e Desempenho para valores de ETo decendial

Método	d	r	c	EPE	Desempenho
Priestley & Taylor	0,993	0,937	0,930	3,775	Ótimo
Penman FAO	0,992	0,976	0,967	4,316	Ótimo
Thornthwaite	0,998	0,410	0,409	1,560	Péssimo

Resultados semelhantes foram encontrados por PEREIRA et al. (2009) para a região da Serra da Mantiqueira-MG, onde o método de Priestley & Taylor, no período chuvoso, apresentou valores de r e d altos, 0,88 e 0,79 respectivamente, porém para no período de seca esses valores foram bastante baixos, 0,47 e 0,52, respectivamente.

BACK (2008) também obteve resultados semelhantes para o método de Thornthwaite, onde o valor do índice d foi 0,811 para intervalos decendiais e 0,878 para intervalos mensais. Para o método de Penman, OLIVEIRA et al. (2008) também encontraram valores elevados, onde o índice d foi de 0,96 para períodos diários, de três dias e sete dias, sendo este valor considerado como uma concordância quase perfeita.

Observa-se nas Tabelas 2 e 3 que o método de Priestley & Taylor e o de Penman apresentaram um desempenho ótimo, já o método de Thornthwaite teve um desempenho péssimo, tanto para médias mensais como decendiais.

Segundo CONCEIÇÃO (2003), os métodos que empregam somente a temperatura do ar, como é o caso do método de Thornthwaite, têm representatividade limitada, pois uma mesma temperatura pode apresentar valores diferentes de umidade e vento, fazendo com que a demanda hídrica varie. Observa-se ainda que, Segundo MEDEIROS (2002), o método de Thornthwaite considera a evapotranspiração de grandes áreas como bacias hidrográficas, o que pode explicar baixo desempenho.

Resultados semelhantes foram encontrados por REIS et al. (2007), onde os métodos de Penman e Priestley & Taylor apresentaram desempenho ótimo para período de sete dias, para a cidade de Venda Nova do Imigrantes-ES e para a localidade de Sooretama-ES durante o período de seca. Tendo ainda o método de Priestley & Taylor o mesmo desempenho em escala diária para a localidade de Uberlândia-MG (SILVA et al., 2011).

O método de Thornthwaite apresenta desempenhos bastante diferentes para diversas regiões, CONCEIÇÃO & MANDELLI (2005) obtiveram um desempenho regular (0,58) para a região de Bento Gonçalves-RS. No trabalho realizado por SYPERRECK et al. (2008), este método teve um desempenho considerado bom (0,70) para Palotina-PR. Para a região de Urussanga-SC o desempenho deste método foi classificado como bom (0,697) para escala decendial e muito bom (0,795) para mensal (BACK, 2008).

CAMARGO & SENTELHAS (1997) em seus estudos encontraram um desempenho classificado como muito bom (0,79) para o método de Thornthwaite, sendo este superior a vários outros métodos considerados mais complexos, como Priestley & Taylor (0,78), Penman-Monteith (0,73), Penman (0,70), entre outros

métodos, quando comparados a evapotranspirômetros instalados nas cidades de Campinas, Pindamonhangaba e Ribeirão Preto.

CONCLUSÕES

1. Os métodos de Priestley & Taylor e de Penman apresentaram um desempenho ótimo para a região, tanto no período mensal como no decendial, porém superestimando os valores.

2. O método de Thornthwaite obteve um desempenho péssimo, não sendo indicada sua utilização na região de Sinop – MT.

3. Considerando o método padrão, a ETo teve sua maior média mensal em outubro (133 mm), e a menor em fevereiro (107,3 mm). O terceiro decêndio de fevereiro acumulou a menor média, 31,6 mm, e o terceiro de outubro a maior, 47,2 mm.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspirations: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 297p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALMEIDA, B. M.; ARAÚJO, E. M.; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; OLIVEIRA, J. B.; ARAÚJO, E. M.; NOGUEIRA, B. R. C. Comparação de método de estimativa de ETo na escala mensal em Fortaleza-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.4, n.2 p.93-98, 2010.

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

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6 ed. Viçosa: UFV, 1995. 657p.

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

CAMARGO, Â. P. & CAMARGO, M. B. P. Revisão Analítica da Evapotranspiração Potencial, **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.125-137, 2000.

CAMARGO, Â. 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.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Estimativa da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar para as condições do Baixo Rio Grande, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.2, p.229-236, 2003.

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

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Roma: FAO, 1977. 198p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 24).

DUBREUIL, V.; BARIOU, R.; PASSOS, M.; FERRAND, R.; NÉDÉLEC, V. Evolução da fronteira agrícola no Centro-Oeste de Mato Grosso: municípios de Tangará da Serra, Campo Novo do Parecis e Diamantino. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.22, n.2, p.463-478, 2005.

FARIA, R. T.; CARAMORI, P. H.; CHIBANA, E. Y.; BRITO, L. R. S. CLIMA – Programa computacional para organização e análise de dados meteorológicos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.2, p.372-387, 2003.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. Avaliação de modelos de estimativa do saldo de radiação e do método de Priestley-Taylor para a região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.4, p.449–453, 2009.

GADIOLI, J. L.; DOURADO-NETO, D.; GARCÍA, A. G.; BASANTA, M. V. Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.3, p.377-383, 2000.

GARCIA, R. G.; DALLACORT, R.; TIEPPO, R. C.; SANTI, A.; OLIVEIRA, J. M. Comportamento da temperatura do ar no município de Sinop-MT. Nas épocas de 1979 a 1989 e 1998 a 2009. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 40, 2011, Cuiabá. Anais SBEA, 2011. CD Rom.

GUEDES FILHO, D. H.; SANTOS JUNIOR, J. A.; COSTA FILHO, J. F.; FRANCISCO, P. R. M.; CAMPOS, V. B. Estimativa da evapotranspiração de referência para a cidade de Areia, Paraíba. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.5, n.1 p.37–47, 2011.

IBGE. Cidades@. **Lavoura temporária**. 2010. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>> Acesso em abril de 2012.

MEDEIROS, A. C. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE**. 2002. 120p. Tese (Doutorado em Agronomia): Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

OLIVEIRA, R. A.; TAGLIAFERRE, G.; SEDIYAMA, G. C.; MATERAM, F. J. V.; CECON, P. R. Desempenho do irrigômetro na estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental**, Campina Grande, v.12, n.2, p.166-173, 2008.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. 1.ed. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

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

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assesement of surface heat flux on evaporation using large scale parameters. **Monthly Weather Review**, Washington, v.100, n.1, p.81-92, 1972.

REIS, E. F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. O.; PEZZOPANE, J. E. M.; TAGLIAFERRE, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do Estado do Espírito Santo no período seco. **IDESIA**, Arica, v.25, p.75-84, 2007.

SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p.1-14, 1996.

SILVA, V. J.; CARVALHO, H. P.; SILVA, C. R.; CAMARGO, R.; TEODORO, R. E. F. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.1, p.95-101, 2011.

SILVA, V. P. R.; BELO FILHO, A. F.; SILVA, B. B. & CAMPOS, J. H. B. C. Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4 , p.547-553, 2005.

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

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

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATE, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparision of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, p.8995-9005, 1985.