

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ESTIMADA POR MÉTODOS DE DADOS MÍNIMOS CLIMÁTICOS PARA O ESTADO DE ALAGOAS

Anderson Amorim¹, José Leonaldo de Souza², Guilherme B. Lyra³, Gustavo B. Lyra⁴

1 Estudante de Agronomia, Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica - RJ, Fone: (0 xx 21) 2682-1128, anderson.sig.ufrrj@gmail.com

2 Meteorologista, Prof. Associado, Instituto de Ciências Atmosféricas, UFAL, Maceió - AL

3 Agrônomo, Prof. Adjunto, Centro de Ciências Agrárias, UFAL, Rio Largo, AL

4 Meteorologista, Prof. Adjunto, Depto. Ciências Ambientais, IF/UFRRJ, Seropédica, RJ.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011 – SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES

RESUMO: Utilizando-se como padrão o modelo de Penman-Monteith parametrizado no boletim FAO-56 para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) avaliou-se a eficiência de estimativa da ET_0 por métodos de dados mínimos climáticos para cinco estações meteorológicas do estado de Alagoas. Os métodos avaliados foram Hargreave-Samani (HS), Camargo (CAM) e Thornthwaite (TW), nas escalas decendial e mensal. As estações localizam-se na região do litoral (Maceió e Porto de Pedras) e no Agreste (Palmeira dos Índios) e Sertão do estado (Água Branca e Pão de Açúcar). Todas pertenciam ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e apresentavam séries entre 20 e 25 anos (1974 - 2006). Os resultados mostraram que o método HS para regiões do interior (Sertão e Agreste) do estado mostrou acurácia e precisão superior aos métodos CAM e TW, enquanto para o litoral o método CAM se sobressaiu entre os demais. Os padrões observados para as estimativas decendiais se mantiveram na escala mensal. Contudo, a escala mensal mostrou acurácia e precisão superior das estimativas.

PALAVRAS-CHAVE: Penman-Monteith, temperatura do ar, métodos empíricos

REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATE FROM MINIMUM CLIMATOLOGICAL DATA IN STATE OF ALAGOAS

ABSTRACT: The Penman-Monteith method parameterized in the FAO paper No. 56 to estimate reference evapotranspiration (ET_0) was used as standard to compare the ET_0 estimating by minimum climatic data methods for five weather station in the state of Alagoas. The methods evaluated were Hargreave-Samani (HS), Camargo (CAM) e Thornthwaite (TW), in 10-day and monthly time scale. The stations were located in Coast Region (Maceió and Porto de Pedras), Hinterland (Palmeira dos Índios) and Arid Zone (Água Branca and Pão de Açúcar) of the State. The stations were part of the weather station network of the Brazilian Weather National Institute (INMET) and they had a climatic long-term series between 20 – 25 years (1972 – 2006). The HS method showed better accuracy and precision than CAM and TW in Hinterland and Arid Zone Region, while CAM method had best estimating in Coastal Zone. The 10-day time step had similar behavior as monthly estimate. However, the monthly estimate had best accuracy and precision.

KEYWORDS: Penman-Monteith, air temperature, empirical methods

INTRODUÇÃO

Com o uso de sistemas e práticas agronômicas, como a irrigação, pode-se aumentar a produtividade agrícola. Contudo, no projeto e manejo desses sistemas e práticas é necessário o conhecimento das condições edafoclimáticas do ambiente de cultivo. No caso do manejo de água

no sistema solo-planta-atmosfera faz se necessária à quantificação das componentes do balanço hídrico do solo, a fim de maximizar o uso dos recursos hídricos. Entre esses componentes destacam-se a precipitação pluvial e a evapotranspiração da cultura (ET_c). Medidas diretas de ET_c são de difícil realização e também onerosas para serem efetuadas em cultivos comerciais. Uma alternativa é estimar a ET_c como produto da evapotranspiração de referência (ET_o) por um coeficiente de cultivo empírico (K_c) (ALLEN et al., 1998), sendo que este varia principalmente com o tipo de cultura e com seu estágio de desenvolvimento. Dentre os vários métodos de estimativa da ET_o , a Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID) e a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) recomendam como padrão o modelo de Penman-Monteith, parametrizado no boletim nº 56 de irrigação e drenagem da FAO (FAO-56) para uma cultura hipotética (ALLEN et al. 1998). Este método requer para sua aplicação diversas medidas de elementos meteorológicos de superfície (radiação solar, temperatura e umidade do ar e velocidade do vento). Porém todos esses elementos são difíceis de serem obtidos na maioria das estações meteorológicas, nas quais, geralmente, são disponíveis apenas registros de temperatura do ar, o que dificulta a utilização do método de Penman-Monteith. Os chamados métodos de dados meteorológicos mínimos requerem apenas dados de temperatura do ar (máxima, média ou mínima), sendo assim de aplicação prática e simples. Associado a isso esses métodos são de fácil implementação em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para espacialização da ET_o . O boletim FAO-56 recomenda que os métodos empíricos de estimativa de ET_o sejam ajustados e testados para outras regiões por meio de medidas diretas, no entanto quando não há disponibilidade dessas medidas, considera-se o método de estimativa de ET_o Penman-Monteith padrão FAO-56 (PM-FAO) como referencial. Este trabalho objetiva avaliar as estimativas de ET_o obtidos com três métodos de dados meteorológicos mínimos (Camargo, Hargreaves-Samani e Thornthwaite) em relação ao método PM-FAO.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo utilizaram-se dados meteorológicos de cinco estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas no estado de Alagoas. As estações consideradas foram: Maceió (MCZ, 9,67 S; 35,8 W; 92 m) e Porto de Pedras (PPD, 9,18 S; 35,4 W; 50m), localizadas no Litoral; Água Branca (AGB, 9,28 S; 37,9 W; 605 m) e Pão de Açúcar (PAC, 9,75 S; 37,4 W; 19 m), no Sertão do estado; e Palmeira dos Índios (PAL, 9,45 S; 36,6 W; 274 m) no Agreste. As estações do Agreste e do Sertão alagoano estão localizadas na parte continental do estado. As séries dos elementos meteorológicos foram de 1977 a 2006, com exceção da estação de Maceió que foi de 1974 a 2006, com número de anos com observações entre 20 e 25 anos. Os elementos disponíveis nas estações meteorológicas foram: insolação (n , horas), extremos da temperatura do ar (máxima – T_x e mínima – T_n , °C), umidade relativa do ar (UR , %) média diária, e a velocidade do vento (u_{10} , $m\ s^{-1}$) medida a 10 metros de altura. Nas estimativas da evapotranspiração de referência (ET_o , $mm\ d^{-1}$) foram utilizadas médias decendiais e mensais desses elementos.

Os métodos de dados meteorológicos mínimos avaliados foram Hargreaves-Samani (HS), Camargo (CAM) e Thornthwaite (TW). O modelo de Hargreaves & Samani foi calculado de acordo com Hargreaves & Samani (1985):

$$ET_o = 0,0135 (KT) (R_a) (T_x - T_n)^{1/2} (T_m + 17,8) \quad (1)$$

em que, KT é um coeficiente empírico adimensional, para o qual adotou-se os seguintes valores: 0,162 para regiões continentais e 0,19 para regiões litorâneas (HARGREAVES, 1994); R_a ($mm\ d^{-1}$) é a radiação solar extraterrestre; e T_m [$T_m = (T_x + T_n)/2$, °C] é a temperatura do ar média diária. A radiação extraterrestre também foi utilizada nos métodos PM-FAO e CAM, sendo calculada

conforme procedimento apresentado no boletim FAO-56. Contudo no método PM-FAO R_a foi expressa em $MJ m^{-2} d^{-1}$.

O método de Camargo (CAMARGO & CAMARGO, 1983) foi calculado conforme descrito em Pereira et al. (1997), e descrito da seguinte forma:

$$ET_o = F R_a T_m \quad (2)$$

em que, F é um fator de ajuste tabelado.

O método proposto por Thornthwaite (1948) apresenta as seguintes equações principais (Pereira et al., 1997):

$$ET_o = ET_{pp} \frac{N}{12} \frac{ND}{30} \quad ET_{pp} = 16 \left(10 \frac{T_{m,i}}{I} \right)^a \quad T_{m,i} > 0 \text{ } ^\circ C \quad (3)$$

em que, ET_{pp} ($mm d^{-1}$) é a evapotranspiração padrão para N de 12 h e um mês de 30 dias; N (horas) é número máximo de horas de brilho solar, função da latitude e época do ano; ND (dias) é o número de dias do mês em questão; o índice subscrito i representa o i -ésimo decêndio ou mês; e I e a são índices de calor regionais, os quais foram calculados a partir das média mensais de T_m da série histórica disponível (PEREIRA et al., 1997).

O método de Penman-Monteith foi calculado segundo parametrização do boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998) e descrito abaixo:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 DPV}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 u_2)} \quad (4)$$

em que, R_n ($MJ m^{-2} d^{-1}$) é o saldo de radiação à superfície; G ($MJ m^{-2} d^{-1}$) é o fluxo de calor no solo; T_m ($^\circ C$) é a temperatura média do ar a 2 m de altura; u_2 ($m s^{-1}$) é a velocidade do vento a 2 m de altura; DPV (kPa) é a média diária do déficit de pressão de saturação do vapor d'água do ar; Δ ($kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$) é a derivada da curva de pressão de saturação do vapor do ar no ponto de T_m ; e γ ($kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$) é o coeficiente psicrométrico. Na escala decendial, G foi considerado nulo, enquanto na mensal utilizou-se a relação: $G_{m,i} = 0,07 (T_{m,i+1} - T_{m,i-1})$, em que, o índice subscrito i representa o i -ésimo mês. Na aplicação do método, u_{10} foi reduzida à u_2 , seguindo procedimento apresentado no FAO-56.

Os valores de ET_o obtidos pelos métodos empíricos foram avaliados tomando como padrão o método de PM-FAO. Nas avaliações aplicou-se a análise de regressão linear ($Y = a X + b$) entre o método de PM-FAO (X) em relação à ET_o (Y) estimada pelos métodos de dados mínimos. Além da análise de regressão, considerou-se nas avaliações dos métodos o Erro Padrão de Estimativa (EPE).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na escala decendial, o método de Hargreaves-Samani apresentou nas estações continentais (AGB, PAL e PAC) resultados superiores às estações do Litoral (MCZ e PPD). As estações do continente mostraram os menores EPE (0,49 - PAL e 0,59 $mm d^{-1}$ - PAC), enquanto os maiores foram observados nas estações do litoral (0,73 - MCZ e 0,78 $mm d^{-1}$ - PPD) (Tabela 1). A dispersão das estimativas, representada pelo r^2 , foi menor nas estações do continente ($r^2 > 0,812$ - PAC) em relação às estações do litoral MCZ (0,702), particularmente em PPD (0,589), que mostrou o menor r^2 entre as estações. As estações do continente tiveram coeficientes da regressão linear entre as estimativas pelo método de HS e PM-FAO ($a = 0,685 - 0,854$; $b = 0,75 - 1,22$ $mm d^{-1}$) mais próximos dos ideais ($a = 1$ e $b = 0$) do que as estações do litoral ($a = 0,685$ e $0,811$; $b = 0,38$ e $1,82$ $mm d^{-1}$). O método de Camargo, apesar de apresentar menor dispersão das estimativas para as estações continentais ($r^2 > 0,837$) em relação às estações do litoral ($r^2 < 0,707$), mostrou menor EPE para as litorâneas ($< 0,53$ - MCZ). Contudo, o intercepto da regressão não apresentou

tendência definida, com os maiores valores observados em PAC e PPD e os menores em AGB e MCZ. A inclinação também não mostrou padrão definido, com maior divergência do ideal (1) observado nas estações PAC (0,536) e PPD (0,543), enquanto MCZ (0,65) e PAL (0,622) tiveram valores mais próximos do ideal. O método de Thornthwaite apresentou os melhores resultados para os coeficientes da regressão linear, assim como para a dispersão, nas estações continentais, e assim tendência análoga ao HS. Já o **EPE** teve melhor resultado nas estações litorâneas, ou seja, tendência antagônica ao HS. Entre os métodos avaliados, HS se sobressaiu nas estações continentais em relação ao CAM e TW, enquanto nas estações litorâneas, CAM apresentou melhores estimativas. De qualquer modo, para mesmo método as estimativas nas estações continentais se sobressaíram em relação às estações do litoral. A exceção foi o EPE do TW que foi menor nas estações do litoral.

A tendência de HS para as estações continentais foi de subestimar valores de ET_0 superiores a 3,5 mm d⁻¹, para AGB e 4,0 mm d⁻¹ para PAL e PAC, e superestimar os valores inferiores (Figura 1). As estações do litoral mostraram tendências distintas, com tendência geral de superestimar ET_0 para MCZ, principalmente para valores inferiores a 6,0 mm d⁻¹, enquanto em PPD observou-se sempre subestimativas de ET_0 . O método CAM mostrou sempre a mesma tendência para todas as estações, com subestimativas e superestimativa a partir de determinado valor de ET_0 . Esse valor de ET_0 foi de 3 mm d⁻¹ para AGB, 3,5 mm d⁻¹ para PAL, 4,0 mm d⁻¹ para MCZ e PPD, e 5 mm d⁻¹ para PAC. Ou seja, para AGB, o método de CAM superestimou valores de ET_0 menores que 3 mm d⁻¹ e subestimou os valores maiores.

Na escala mensal, para um mesmo método e local, os coeficientes estatísticos mostraram acurácia e precisão superior das estimativas em relação à escala decendial. Os padrões observados na escala decendial se mantiveram na escala mensal, com o método HS se sobressaindo entre os demais nas estações do continente, enquanto nas estações do litoral, o método CAM apresentou os melhores resultados. Para um mesmo método, as estimativas nas estações do continente foram superiores as das estações do litoral. As tendências de superestimativa ou subestimativa mensal de determinado método e estação também foram análogas as tendências observadas na escala decendial.

Tabela 1– Intercepto (**b**), inclinação (**a**) e coeficiente de determinação (**r²**) da regressão linear entre a evapotranspiração de referência média decendial estimada pelos métodos de Hargreaves-Samani (HS), Camargo (CAM) e Thornthwaite (TW) em relação ao método de Penman-Monteith FAO-56 para as estações de Água Branca (AGB), Maceió (MCZ), Palmeira dos Índios (PAL), Pão de Açúcar (PAC) e Porto de Pedras (PPD) e o erro padrão de estimativa (**EPE**)

Estação	Método	a	b (mm d ⁻¹)	r ²	EPE (mm d ⁻¹)
AGB	HS	0,685	1,12	0,910	0,57
	CAM	0,577	1,36	0,824	0,82
	TW	0,569	0,98	0,787	1,12
MCZ	HS	0,685	1,82	0,702	0,73
	CAM	0,650	1,38	0,733	0,53
	TW	0,547	1,45	0,629	0,77
PAL	HS	0,709	1,22	0,944	0,49
	CAM	0,622	1,41	0,843	0,72
	TW	0,714	0,79	0,794	0,84
PAC	HS	0,854	0,75	0,813	0,59
	CAM	0,536	2,25	0,837	0,71
	TW	0,934	0,94	0,711	1,03
PPD	HS	0,811	0,38	0,589	0,78
	CAM	0,543	1,95	0,707	0,52
	TW	0,395	2,36	0,500	0,72

Tabela 2 – Intercepto (**b**), inclinação (**a**) e coeficiente de determinação (**r²**) da regressão linear entre a evapotranspiração de referência média mensal estimada pelos métodos de Hargreaves-Samani (HS), Camargo (CAM) e Thornthwaite (TW) em relação ao método de Penman-Monteith FAO-56 para as estações de Água Branca (AGB), Maceió (MCZ), Palmeira dos Índios (PAL), Pão de Açúcar (PAC) e Porto de Pedras (PPD) e o erro padrão de estimativa (**EPE**)

Estação	Método	a	b (mm d ⁻¹)	r ²	EPE (mm d ⁻¹)
AGB	HS	0,709	1,02	0,932	0,51
	CAM	0,614	1,20	0,886	0,74
	TW	0,599	0,83	0,838	1,09
MCZ	HS	0,717	1,70	0,692	0,71
	CAM	0,721	1,05	0,798	0,43
	TW	0,595	1,20	0,659	0,74
PAL	HS	0,743	1,07	0,966	0,41
	CAM	0,673	1,18	0,897	0,62
	TW	0,748	0,61	0,837	0,78
PAC	HS	0,894	0,56	0,843	0,52
	CAM	0,571	2,09	0,892	0,61
	TW	0,990	0,69	0,759	0,97
PPD	HS	0,869	0,29	0,698	0,55
	CAM	0,602	1,78	0,796	0,41
	TW	0,352	2,50	0,611	0,65

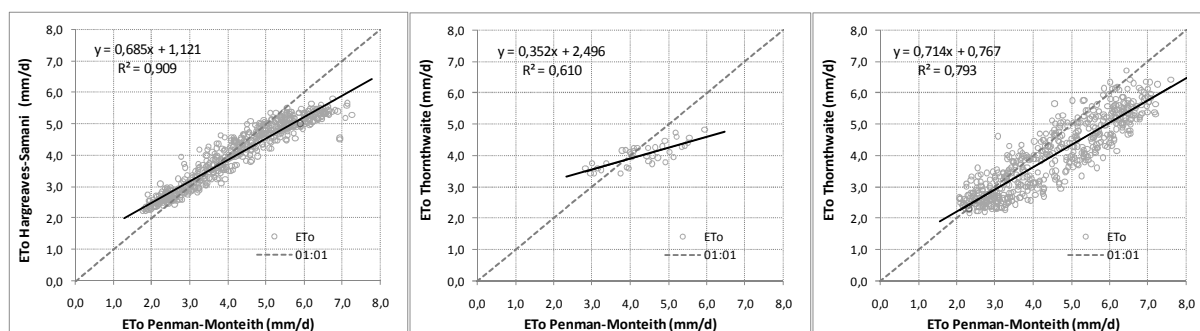


Figura 1 – Relação entre evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith FAO 56 e (a) Hargreaves e Samani para Água Branca na escala (decenal), (b) Thornthwaite para Porto de Pedras (mensal) e (c) Thornthwaite para Porto de Pedras na escala mensal Palmeira dos Índios (decenal).

CONCLUSÕES

Para as estações do interior do estado de Alagoas as estimativas do método de Hargreaves-Samani mostram acurácia e precisão superior aos demais métodos, enquanto para o litoral o método de Carmargo se sobressai. Os padrões das estimativas não se alteram quando considerado a escala decenal ou mensal. Contudo, a escala mensal apresenta melhores estimativas em relação à decenal. Independente do método as estimativas das estações do continente são melhores que as do litoral.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D., et al. 1998. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56)

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Teste de uma equação simples da evapotranspiração potencial baseada na radiação solar extraterrestre e na temperatura média do ar. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 3. Campinas, p. 229-244, 1983.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**. v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.

HARGREAVES, G.H. Defining and Using Reference Evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. v. 120, n. 6, p. 1132-1139, 1994.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: Piracicaba: FEALQ, 1997a. 183 p.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**. v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.