

FAO-24 RADIAÇÃO: ESTIMATIVA DA ET_0 E COMPARAÇÃO COM O MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH FAO 56

Glaucio L. Araujo¹, Leonardo C. Lacerda², Camila Aparecida da S. Martins³, Rogério R. Rodrigues¹, Guilherme R. Camara¹, Venilton Santos³, Edvaldo F. dos Reis¹

¹Universidade Federal do Espírito Santo /Departamento de Engenharia Rural, Alto Universitário Centro 29500-000 - Alegre, ES - Brasil – Caixa Postal: 16, glaucio_araujo@yahoo.com.br; rogeriorr7@hotmail.com; g.resende@yahoo.com.br; edreis@cca.ufes.br

²Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias/Departamento de Engenharia Florestal, Alto Universitário Centro 29500-000 - Alegre, ES - Brasil – Caixa Postal: 16, leocassani@hotmail.com

³Universidade Federal do Espírito Santo/Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Alto Universitário s/nº, Alegre-ES, CEP: 29.500-000, Caixa Postal 16, camila.cca@hotmail.com; vsantos50@gmail.com

Resumo- A evapotranspiração pode ser definida como a quantidade de água evaporada e transpirada de uma superfície vegetada durante determinado período de tempo. A evapotranspiração de referência pode ser estimada por diversos métodos, sendo o método de Penman-Monteith-FAO 56, considerado o método padrão de referência. Este trabalho teve o objetivo de comparar o desempenho do método FAO-24 Radiação, em relação ao método padrão recomendado pela FAO, Penman-Monteith-FAO 56, em intervalos de um (1), três (3), cinco (5), sete (7) e dez (10) dias, nas condições climáticas do Município de Alegre-ES. O método FAO-24 Radiação superestimou a ET_0 em 17,22; 17,07; 17,22; 17,34 e 17,27% para os intervalos de 1, 3, 5, 7 e 10 dias, respectivamente.

Palavras-chave: Evapotranspiração de referência, Irrigação, Manejo da irrigação.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias

Introdução

A determinação do consumo hídrico, por meio da estimativa da evapotranspiração, é de fundamental importância para o correto manejo da irrigação (SILVA; FOLEGATTI, 2001). A evapotranspiração pode ser obtida de forma indireta, ou seja, a partir de fórmulas teóricas ou empíricas que utilizam dados do solo e dados meteorológicos; ou de forma direta, por meio de lisímetros e do balanço hídrico do solo.

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) no seu boletim número 56, vários são os métodos empíricos criados, por vários cientistas e pesquisadores, para determinação da evapotranspiração de referência (ET_0) utilizando diferentes elementos climáticos. No entanto, tais métodos somente estimam de forma satisfatória a evapotranspiração nas condições de clima onde são desenvolvidos, e quando utilizados em condições diferentes podem proporcionar grandes erros e gerar grandes perdas nas produções ou desperdício de recursos hídricos. Para Jensen, Burman e Allen (1990) o uso de um modelo para estimativa da evapotranspiração em uma determinada região pressupõe sua validade para cada localidade, sendo de fundamental importância fazer uma comparação e uma

calibração dos diferentes modelos para cada localidade onde se deseja utilizá-los, levando em consideração as condições locais.

Segundo Medeiros (2002), diversos trabalhos científicos têm mostrado que o desempenho do método de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998) na estimativa da ET_0 é satisfatório, quando comparado com o método FAO 24-Radiação (DOORENBOS; PRUITT, 1977). No entanto, muitas vezes nem todos os elementos meteorológicos necessários para o uso desse modelo são disponíveis. Nessa situação, outros métodos que necessitem de um número menor de elementos meteorológicos podem ser utilizados (FIETZ; SILVA; URCHEI, 2005).

Diante do exposto, o trabalho teve por objetivo estimar a evapotranspiração de referência pelo método FAO-24 Radiação e comparar os resultados com o método padrão de referência para a estimativa da ET_0 , método de Penman-Monteith FAO 56, em intervalos de 1, 3, 5, 7 e 10 dias para as condições meteorológicas do Município de Alegre-ES.

Metodologia

Os elementos meteorológicos utilizados para os cálculos da evapotranspiração de referência (ET_0) pelos métodos FAO-24 Radiação

(DOORENBOS; PRUITT, 1977) e Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998) foram coletados durante o período de 15 de março de 2009 a 14 de março de 2010, por meio de uma estação meteorológica automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo no Município de Alegre, localizado na região Sul do Estado do Espírito Santo, latitude 20°45'1,16" Sul, longitude 41°29'20,04" Oeste e altitude de 138,0 m. O clima da região é do tipo "Aw" com estação seca no inverno, de acordo com a classificação de Köppen. Os elementos climatológicos coletados a cada hora foram: temperatura do ar máxima e mínima, umidade relativa do ar máxima e mínima, radiação solar, precipitação e velocidade do vento a 2 m.

A ET_0 foi estimada por meio dos métodos de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998), que é considerado o padrão de referência e pelo método FAO-24 Radiação (DOORENBOS; PRUITT, 1977). O método de Penman-Monteith FAO 56 foi utilizado para testar a estimativa de ET_0 obtida pelo método FAO-24 Radiação conforme proposto por Allen et al. (1998). De acordo com Reis et al. (2007) o método padrão apresenta boa estimativa da evapotranspiração para a região em estudo. Os valores de ET_0 foram calculados com uso do aplicativo computacional REF-ET (ALLEN, 2000).

A análise do desempenho do método em estudo foi realizada por meio da comparação dos valores de evapotranspiração obtidos com o método FAO-24 Radiação, com os valores estimados pelo método de Penman-Monteith-FAO 56. A metodologia adotada para comparação dos resultados foi proposta por Allen et al. (1998), e se fundamenta na estimativa do erro-padrão (EEP), calculada pela equação 1.

$$EEP = \left(\frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n - 1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

onde,

- EEP - estimativa do erro-padrão, mm d⁻¹;
- y - evapotranspiração de referência, mm d⁻¹;
- \hat{y} - evapotranspiração de referência estimada pelo método a ser testado, mm d⁻¹; e
- n - número de observações.

A exatidão está relacionada com a aproximação dos valores estimados em relação aos valores observados. A aproximação dos valores de ET_0 estimados por determinado método em estudo, em relação aos valores obtidos com uso do método padrão, foi obtida por um índice

designado concordância ou ajuste, representado pela letra "d" (WILLMOTT; CKLESON; DAVIS, 1985), cujos valores variam de zero, onde não existe concordância, a 1, para a concordância perfeita. O índice de aproximação é calculado com a equação 2.

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

onde,

- d - índice de concordância ou ajuste;
- P_i - evapotranspiração de referência obtida pelo método a ser testado, mm d⁻¹;
- O_i - evapotranspiração de referência obtida pelo método-padrão, mm d⁻¹;
- \bar{O} - média dos valores obtidos pelo método-padrão, mm d⁻¹; e
- N - número de observações.

A precisão foi dada pelo coeficiente de determinação (r^2) que indica o grau em que a regressão explica a soma do quadrado total. Na análise de regressão linear o coeficiente β_1 representa a razão entre a estimativa da evapotranspiração obtida no método em estudo e a evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão, quando o β_0 é anulado. O β_1 pode ser calculado de acordo com a equação 3, quando β_0 for igual a zero.

$$\beta_1 = \frac{\sum ET_0 ET_m}{\sum ET_0^2} \quad (3)$$

onde,

- β_1 - coeficiente angular da reta de regressão linear;
- ET_0 - evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão, mm d⁻¹;
- ET_m - evapotranspiração de referência obtida pelo método a ser testado, mm d⁻¹.

A hierarquização das estimativas da evapotranspiração foi feita com base nos valores de estimativa do erro padrão (EEP), do coeficiente de determinação (r^2), dos coeficientes β_1 , e dos coeficientes de concordância de Willmott; Ckleson; Davis (1985) (d). Sendo que a melhor alternativa foi aquela que apresentou maior r^2 , menor EEP, β_1 próximo da unidade e d mais próximo de 1.

Resultados

Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas as variações médias mensais dos principais

elementos meteorológicos utilizados para a estimativa ET_0 , durante o período de condução do experimento.

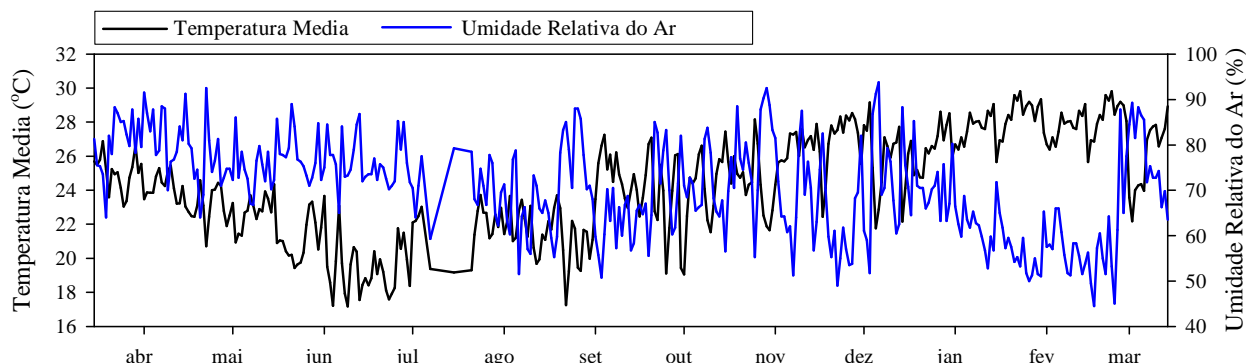


Figura 1 - Variações médias mensais dos elementos meteorológicos, Temperatura média do ar (°C) e Umidade Relativa do ar (%), para o período de março de 2009 a março de 2010.

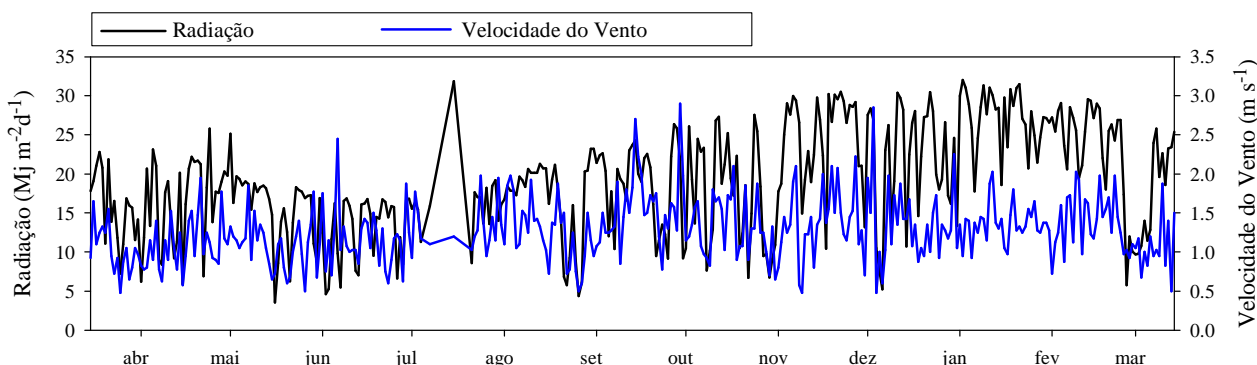


Figura 2 - Variações médias mensais dos elementos meteorológicos, Radiação ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$) e Velocidade do Vento ($m\ s^{-1}$), para o período de março de 2009 a março de 2010.

Na Tabela 1 se encontram os Valores dos coeficientes β_1 , erro-padrão da estimativa, índice de concordância de Willmott; Ckleson; Davis (1985), coeficiente de determinação, obtidos das correlações entre os valores de ET_0 do método em estudo com os valores de ET_0 de Penman-Monteith-FAO 56, e valores de evapotranspiração, em $mm\ d^{-1}$, em intervalos de 1, 3, 5, 7 e 10 dias.

Nas Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 são apresentados os gráficos das regressões lineares entre valores diários de evapotranspiração de referência estimados pelo método FAO-24 Radiação em função do método de referência Penman-Monteith-FAO 56.

Tabela 1 - Valores dos coeficientes β_1 , erro-padrão da estimativa (EEP), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de determinação (r^2), obtidos das correlações entre os valores de ET_0 do método FAO-24 Radiação com os valores de ET_0 de Penman-Monteith-FAO 56, e os valores de evapotranspiração (ET_0), em $mm\ d^{-1}$, para os intervalos de 1, 3, 5, 7 e 10 dias

Intervalo	β_1	EEP	d	r^2	ET_0 F24*	ET_0 PM*
1 dia	1,174	0,835	0,971	0,918	4,154	3,544
3 dias	1,169	0,750	0,995	0,935	4,148	3,543
5 dias	1,165	0,704	0,998	0,947	4,151	3,541
7 dias	1,166	0,698	0,998	0,950	4,148	3,535
10 dias	1,163	0,672	0,999	0,963	4,153	3,541

*F24: Método FAO-24 Radiação; *PM: Método de Penman-Monteith FAO 56.

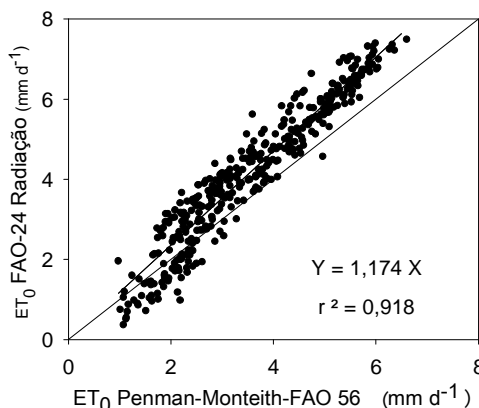


Figura 3 - Regressões lineares com β_0 passando pela origem para o método FAO-24 Radiação em função do método de Penman-Monteith-FAO 56

com sua equação e coeficiente de determinação (r^2), para intervalos diários.

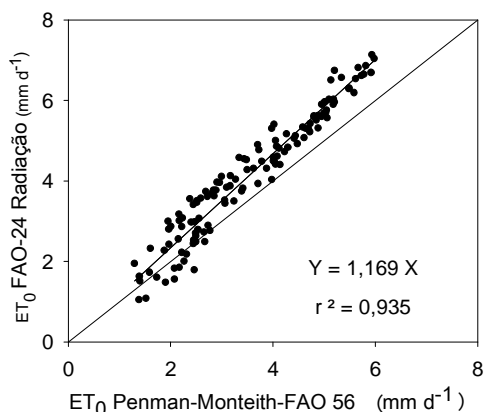


Figura 4 - Regressões lineares com β_0 passando pela origem para o método FAO-24 Radiação em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação (r^2), para o intervalo de 3 dias.

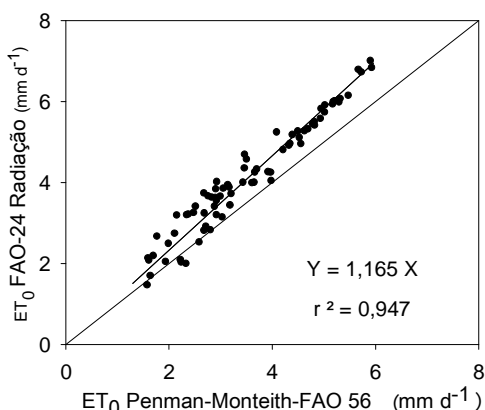


Figura 5 - Regressões lineares com β_0 passando pela origem para o método FAO-24 Radiação em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação (r^2), para o intervalo de 5 dias.

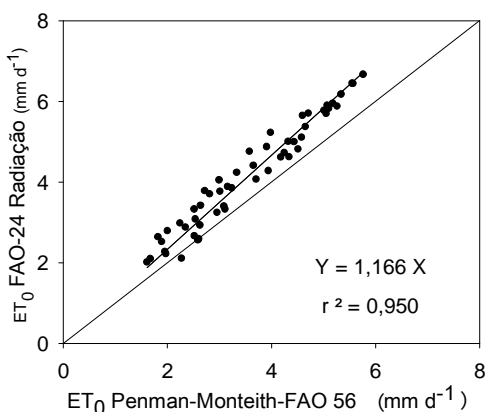


Figura 6 - Regressões lineares com β_0 passando pela origem para o método FAO-24 Radiação em função do método de Penman-Monteith-FAO 56

com sua equação e coeficiente de determinação (r^2), para o intervalo de 7 dias.

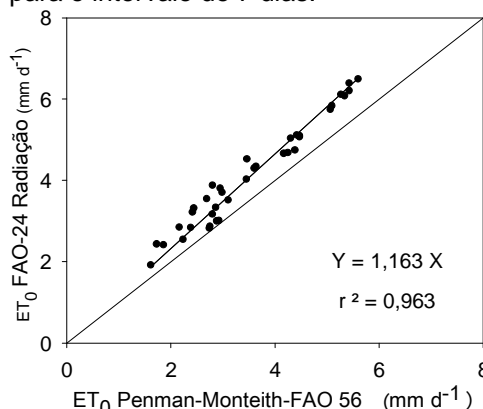


Figura 7 - Regressões lineares com β_0 passando pela origem para o método FAO-24 Radiação em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação (r^2), para o intervalo de 10 dias.

Discussão

Os elementos meteorológicos apresentados nas Figuras 1 e 2 são os de maior influência na estimativa de evapotranspiração de referência, estes elementos são essenciais para o uso do método de Penman-Monteith-FAO 56.

O método FAO-24 Radiação é um método que se baseia em dados de radiação solar e temperatura para a estimativa da ET_0 , sendo comum a ocorrência de superestimativa dos valores de evapotranspiração de referência.

Pela Tabela 1, nota-se que os métodos em estudo apresentaram valores para o coeficiente β_1 acima de 1, indicando a ocorrência de superestimativa dos valores de ET_0 , independentemente do intervalo estudado.

O método FAO-24 Radiação apresentou 17,22% de superestimativa da ET_0 em comparação ao método de Penman-Monteith FAO 56 no intervalo diário. Nos intervalos de 3, 5, 7 e 10 dias o método apresentou 17,07; 17,22; 17,34 e 17,27% de superestimativa da ET_0 respectivamente.

De acordo com Jensen, Burman e Allen (1990), os métodos que se baseiam na temperatura do ar e na radiação, tendem a superestimar a evapotranspiração de referência em 15 a 25%, em climas úmidos.

O método apresentou valores abaixo de 1 ($mm d^{-1}$) para estimativa do erro padrão, sendo que a estimativa do erro diminuiu com o aumento do intervalo em estudo. Oliveira et al. (2008) que trabalharam em Viçosa-MG, apresentaram elevados valores para EEP utilizando o método FAO-24 Radiação, em comparação a outros métodos.

O método FAO-24 Radiação apresentou elevados valores para índice de concordância, sendo que a concordância aumentou na medida em que o intervalo foi ampliado, indicando maior exatidão para maiores intervalos. Além disso, o coeficiente de determinação tem o mesmo comportamento do índice de concordância, ou seja, seu valor aumenta com a ampliação do intervalo para a estimativa da evapotranspiração de referência, indicando maior precisão para o método em maiores intervalos.

Pelas Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 verifica-se que ocorreu pequena dispersão dos dados de evapotranspiração de referência, indicando média precisão do método. No entanto, também é possível notar que existe uma considerável distância entre a reta estimada e a reta de calibração (reta 1:1), o que indica baixa exatidão para a estimativa da evapotranspiração de referência pelo método FAO-24 Radiação em função do método de Penman-Monteith FAO 56 nos intervalos em estudo.

Batista, Faccioli e Silva (2007) contrariamente encontraram valores subestimados utilizando o método da FAO 24-Radiação para a região de Canindé do São Francisco-SE. Este fato comprova o relato de que o método tende a superestimar a evapotranspiração em localidade de clima úmido como proposto por Jensen, Burman e Allen (1990).

Conclusão

O método FAO-24 Radiação apresentou superestimativa da evapotranspiração de referência, nas condições climáticas do município de Alegre-ES, independentemente do intervalo analisado. O método não deve ser utilizado para o manejo da irrigação na localidade.

Referências

- ALLEN, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. **Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper, 56.** Rome: FAO, 1998. 310p.

- ALLEN, R. G. **REF-ET: Reference evapotranspiration calculator, Version 2.1.** Idaho: Idaho University, 2000. 82p.

- BATISTA, W. R. M.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, A. A. G. Determinação e comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Canindé do São Francisco-SE. **Revista Fapese**, v.3, n.2, p.71-76, 2007.

- DOOREMBOS, J.; PRUIT, W. O. Guidelines for predicting Crop Water Requirements. **FAO**

Irrigation and Drenage Paper, n. 24, 2. ed. Rome, 1977. 144p.

- FIETZ, C. R.; SILVA, F. C.; URCHER, M. A. Estimativa da evapotranspiração de referência diária para a região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 250-255, 2005.

- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements.** New York: ASCE, 1990. 332p.

- MEDEIROS, A. T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Piraipaba, CE.** 2002. 97f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

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

- 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**, v.25, n.3, p.75-84, 2007.

- SILVA, L.D.B.; FOLEGATTI, M.V. Determinação da evapotranspiração do capim Tanzânia, utilizando um sistema automático de razão de Bowen e um lisímetro de pesagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 2001, Fortaleza. **Anais...** v.2, p.923.

- WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for evaluation and comparisons of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v.90, n.C5. p.8995-9005, 1985.