

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

Glauccio L. Araujo¹, Leonardo C. Lacerda², Camila Aparecida da S. Martins³, Rogério R. Rodrigues¹, Aline A. Nazário³, 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; 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; aline.a.n@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 Corrected Penman, 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 Corrected Penman superestimou a ET_0 em 0,21; 0,20; 0,46; 0,45 e 0,46% 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 produção agrícola é dependente de vários fatores, tais como água, nutrientes e luz, onde a água é o fator mais limitante da produtividade. Por isso, torna-se necessário satisfazer às necessidades hídricas das culturas. Isto pode ser alcançado na medida em que a dotação hídrica seja função somente das necessidades da planta, ou seja, o solo deve receber a mesma quantidade que perdeu pela evaporação de sua superfície livre e pela transpiração do vegetal (FERNANDES; TURCO, 2003).

A evapotranspiração de referência (ET_0) é uma técnica indireta para estimar a demanda hídrica da cultura, uma vez utilizado um coeficiente da cultura, na condição de que ele seja conhecido para a vegetação em estudo, possibilitando a determinação da quantidade de água realmente evapotranspirada pela cultura (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). Assim, a estimativa da ET_0 pode ser obtida por meio de métodos diretos e indiretos. Os diretos são geralmente utilizados em pesquisas devido ao elevado custo dos equipamentos. E os indiretos que são menos onerosos e se baseiam na aplicação de métodos matemáticos que utilizam dados climatológicos medidos em estações meteorológicas, são mais utilizados em áreas

irrigadas com intuito de realizar o manejo da irrigação.

O método de Penman-Monteith FAO 56 é utilizado como método padrão para a estimativa da ET_0 , porque é baseado em processos físicos e incorpora parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos (ALLEN et al., 1998). No entanto, a maior limitação ao seu emprego reside na dificuldade em se obter todos os dados meteorológicos necessários a sua aplicação, o que tem levado vários pesquisadores a sugerirem modificações almejando aperfeiçoar e simplificar este método. Entre eles destacam-se o método de Penman modificado por Doorenbos e Pruitt (1977), conhecido como método FAO-24 Corrected Penman, que requer menos parâmetros do que o de Penman-Monteith FAO 56. Fato esse que justifica ser o método FAO-24 Corrected Penman, mais prático do que o de Penman-Monteith FAO 56.

Neste sentido, este trabalho teve o objetivo de estimar a evapotranspiração de referência pelo método FAO-24 Corrected Penman 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 nas condições meteorológicas do Município de Alegre-ES.

Metodologia

Os elementos climatológicos utilizados para os cálculos da evapotranspiração de referência (ET_0) pelos métodos FAO-24 Corrected Penman (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 $20^{\circ}45'1,16''$ Sul, longitude $41^{\circ}29'20,04''$ 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 Corrected Penman (DOORENBOS; PRUITT, 1977). O método de Penman-Monteith FAO 56 foi utilizado para testar a estimativa de ET_0 obtida pelo método FAO-24 Corrected Penman 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 Corrected Penman, 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.

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

Resultados

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

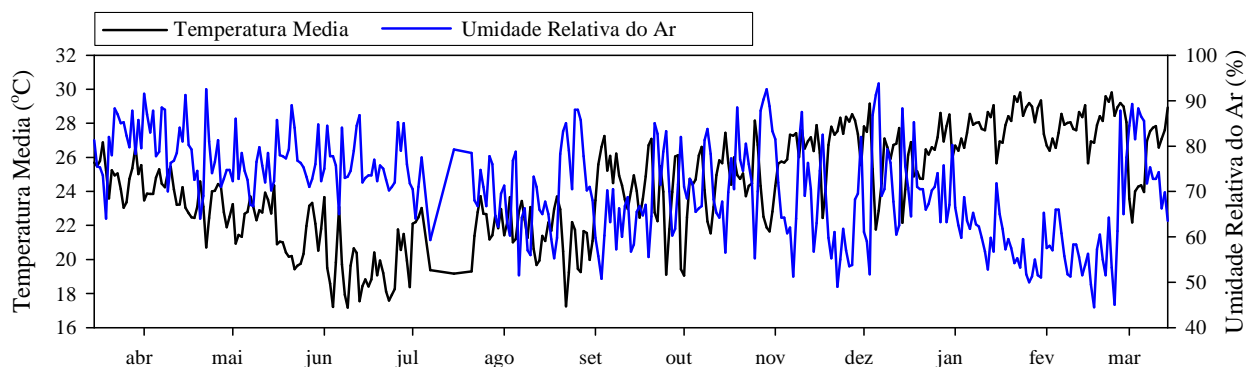


Figura 1 - Variações médias mensais dos elementos meteorológicos, Temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$) e Umidade Relativa do ar (%), para o período de março de 2009 a março de 2010.

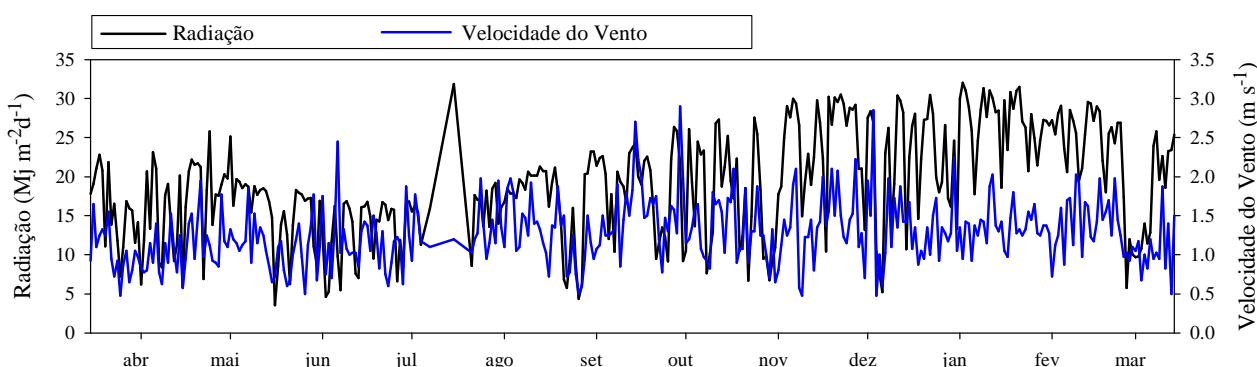


Figura 2 - Variações médias mensais dos elementos meteorológicos, Radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e Velocidade do Vento (m s^{-1}), para o período de março de 2009 a março de 2010.

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.

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 Corrected Penman com os valores de ET_0 de Penman-Monteith-FAO 56, e valores de evapotranspiração (ET_0) 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	1,021	0,447	0,979	0,956	3,521	3,544
3 dias	1,018	0,373	0,999	0,971	3,521	3,543
5 dias	1,015	0,318	0,999	0,982	3,518	3,541
7 dias	1,015	0,315	0,999	0,984	3,511	3,535
10 dias	1,014	0,296	0,999	0,987	3,518	3,541

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

Nas Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 são apresentados os gráficos das regressões lineares entre valores diários de ET_0 estimados pelo método FAO-24 Corrected Penman em função do método de referência Penman-Monteith-FAO 56.

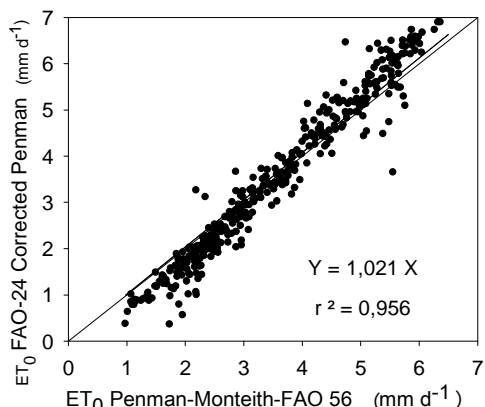


Figura 3 - Regressões lineares com β_0 passando pela origem para o método FAO-24 Corrected Penman em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação (r^2), para intervalos diários.

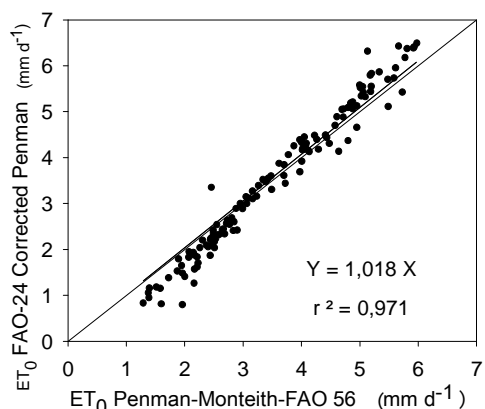


Figura 4 - Regressões lineares com β_0 passando pela origem para o método FAO-24 Corrected Penman em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação (r^2), para o intervalo de 3 dias.

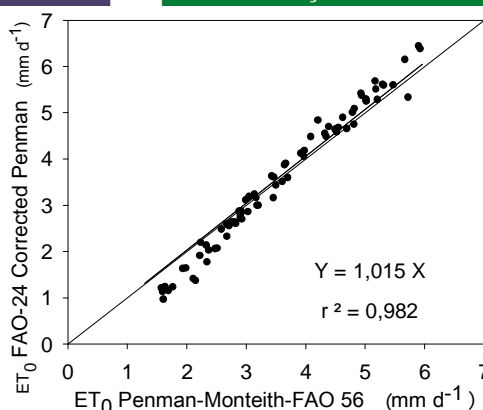


Figura 5 - Regressões lineares com β_0 passando pela origem para o método FAO-24 Corrected Penman em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação (r^2), para o intervalo de 5 dias.

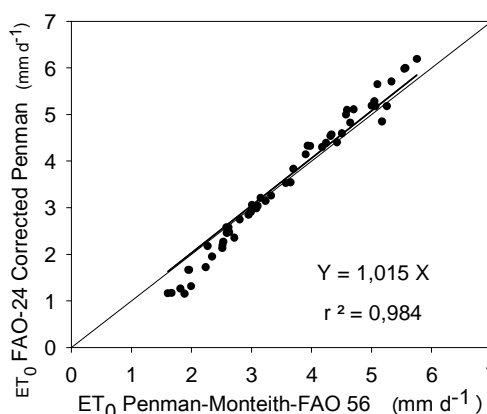


Figura 6 - Regressões lineares com β_0 passando pela origem para o método FAO-24 Corrected Penman em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação (r^2), para o intervalo de 7 dias.

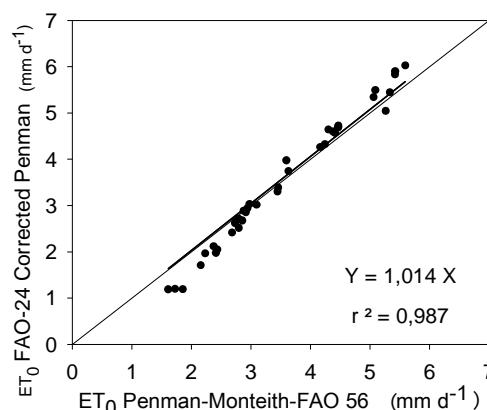


Figura 7 - Regressões lineares com β_0 passando pela origem para o método FAO-24 Corrected Penman em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação (r^2), para o intervalo de 10 dias.

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.

Pela Tabela 1, verifica-se que o método apresentou valores para o coeficiente β_1 ligeiramente maiores do que 1, indicando a ocorrência de pequena superestimativa dos valores de ET_0 , independentemente do intervalo analisado.

O método de FAO-24 Corrected Penman apresentou 0,21% 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 0,20; 0,46; 0,45 e 0,46% de superestimativa da ET_0 respectivamente.

O método apresentou valores abaixo de 0,5 ($mm\ d^{-1}$) para estimativa do erro padrão, sendo que a estimativa do erro diminuiu com o aumento do intervalo em estudo.

O método de FAO-24 Corrected Penman apresentou elevados valores para índice de concordância. Este método apresenta elevados valores para o coeficiente de determinação, tendo em vista que o coeficiente de determinação aumenta com a ampliação do intervalo para a estimativa da evapotranspiração de referência.

Pelas Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 verifica-se que não ocorreu elevada dispersão dos dados de evapotranspiração de referência, indicando boa precisão do método. Além da boa exatidão para estimativa da ET_0 , devido a inexistência de uma considerável distância entre a reta estimada e a reta de calibração (reta 1:1) da ET_0 pelo método FAO-24 Corrected Penman em função do método de Penman-Monteith FAO 56 nos intervalos em estudo.

Conclusão

Conclui-se que o método FAO-24 Corrected Penman apresentou leve superestimativa da evapotranspiração de referência, nas condições climáticas do Município de Alegre-ES, independentemente do intervalo analisado. O método pode ser utilizado para o manejo da água na agricultura irrigada na região de estudo.

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.

- DOOREMBOS, J.; PRUIT, W. O. Guidelines for predicting Crop Water Requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, n. 24, 2. ed. Rome, 1977. 144p.

- FERNANDES, E. J.; TURCO, J. E. P. Evapotranspiração de referência para manejo da irrigação em cultura de soja. **Irriga**. Botucatu, v.8, n.2, p.132-141, mai./ago., 2003.

- PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L. R., SENTELHAS, P. C.: **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

- 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.

- 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.