

PENMAN-1948: 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, Maria M. Cazotti¹, 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; maiaracazotti@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 vários métodos, sendo o método de Penman-Monteith-FAO 56, considerado o método padrão de referência. O objetivo deste trabalho foi comparar o desempenho do método de Penman 1948 em relação ao método padrão proposto 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 de Penman 1948 subestimou a ET_0 em 0,50; 0,50 e 0,51% para os intervalos de 1, 3 e 5 dias respectivamente, e superestimou a ET_0 em 0,0028 e 0,0028% para os intervalos de 7 e 10 dias respectivamente.

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

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias

Introdução

Na agricultura irrigada, a decisão sobre o momento apropriado e a quantidade adequada de água a ser aplicada são baseadas em conceito prático do agricultor, conduzindo ao excesso ou déficit hídrico para a cultura. O consumo crescente de água na agricultura em razão do aumento populacional conduz a sua redução, exigindo procedimentos para a racionalização, principalmente no uso agrícola. Portanto, o conhecimento da evapotranspiração é fundamental para se determinarem as reais necessidades de água para a cultura, a fim de preservar esse líquido tão importante para a vida terrestre (FERNANDES; TURCO, 2003).

A evapotranspiração de referência (ET_0) é uma técnica indireta que conduz a uma estimativa das necessidades de água pelas plantas, uma vez utilizado um coeficiente da cultura, possibilitando a determinação da quantidade de água realmente perdida pela cultura, ou seja, a evapotranspiração da cultura (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). Assim, a estimativa da ET_0 pode ser obtida por métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos são geralmente utilizados em pesquisas devido ao elevado custo dos equipamentos. Enquanto, os métodos indiretos são menos onerosos e se baseiam na aplicação de métodos

matemáticos que utilizam dados climatológicos medidos em estações meteorológicas.

O método de Penman (1948) foi o primeiro método indireto que combinou os efeitos do balanço de energia com o poder evaporante do ar e é denominado por essa razão de método combinado. Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002) relatam que este método é baseado em princípios físicos corretos. Apesar de não ser operacionalmente perfeito e correto, ele é considerado, por muitos autores, como a melhor opção para estimar a ET_0 . Enquanto, que o método de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998), considerado como método padrão pela FAO para a estimativa da ET_0 , porque é baseado em processos físicos e incorpora parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos, apresenta boa precisão, porém exige a determinação de grande número de dados meteorológicos e o seu cálculo é bastante trabalhoso (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Portanto, este trabalho teve como objetivo estimar a ET_0 pelo método de Penman-1948 e comparar os resultados com o método padrão, 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 de Penman 1948 (PENMAN, 1948) 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 de Penman 1948 (PENMAN, 1948). O método de Penman-Monteith FAO 56 foi utilizado para testar a estimativa de ET_0 obtida pelo método de Penman 1948, 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 Penman-1948, com os resultados 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.

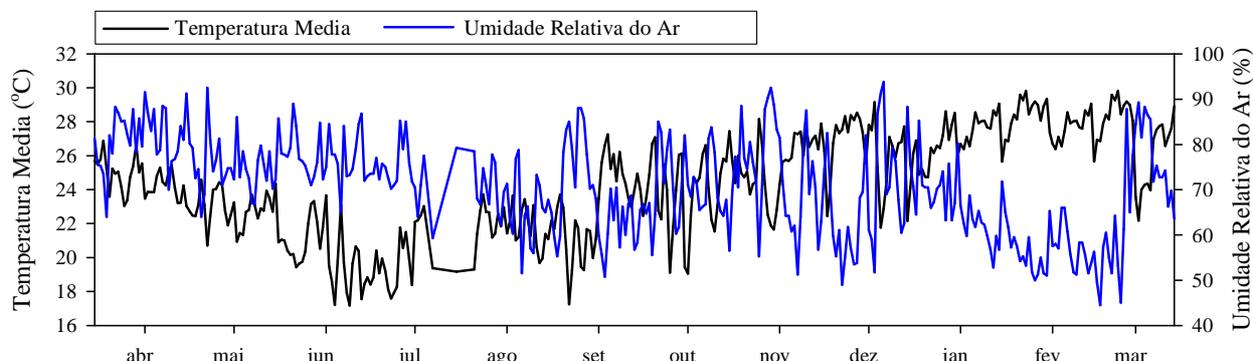


Figura 1 - Variações médias mensais dos elementos meteorológicos, Temperatura média do ar ($^{\circ}C$) e Umidade Relativa do ar (%), para o período de março de 2009 a março de 2010.

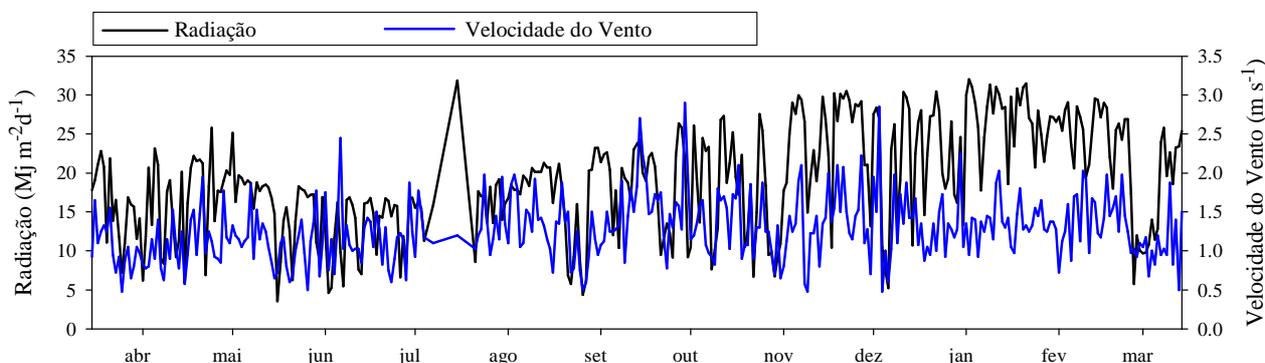


Figura 2 - Variações médias mensais dos elementos meteorológicos, Radiação ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$) e Velocidade do Vento ($m\ s^{-1}$), para o período de março de 2009 a março de 2010.

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.

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 Penman-1948 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 P48* | ET_0 PM* |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------------|------------|
| 1 dia | 0,9995 | 0,280 | 0,990 | 0,963 | 3,526 | 3,544 |
| 3 dias | 0,9998 | 0,219 | 0,999 | 0,975 | 3,525 | 3,543 |
| 5 dias | 0,9999 | 0,166 | 0,999 | 0,985 | 3,523 | 3,541 |
| 7 dias | 1,0006 | 0,161 | 0,999 | 0,986 | 3,535 | 3,535 |
| 10 dias | 1,0003 | 0,144 | 0,999 | 0,989 | 3,541 | 3,541 |

*P48: Método Penman 1948; *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 evapotranspiração de referência estimados pelo método de Penman 1948 em função do método de referência Penman-Monteith-FAO 56.

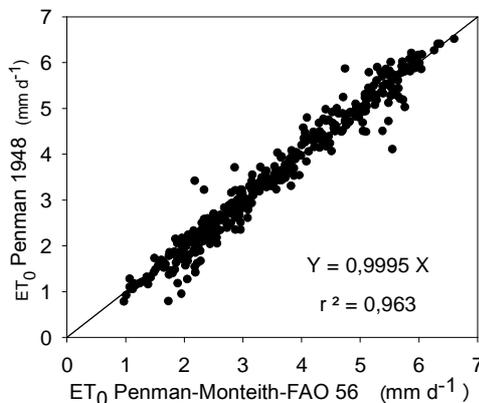


Figura 3 - Regressão linear com β_0 passando pela origem para o método de Penman 1948 em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua

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

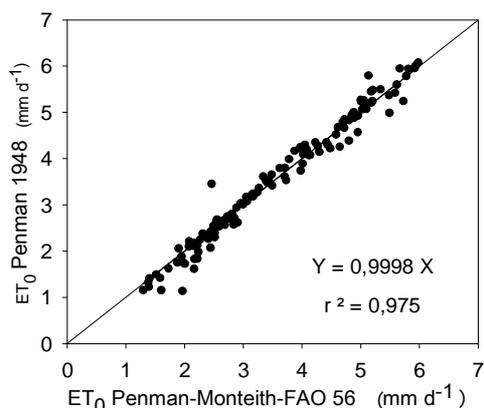


Figura 4 - Regressão linear com β_0 passando pela origem para o método de Penman 1948 em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação (r^2), para o intervalo de 3 dias.

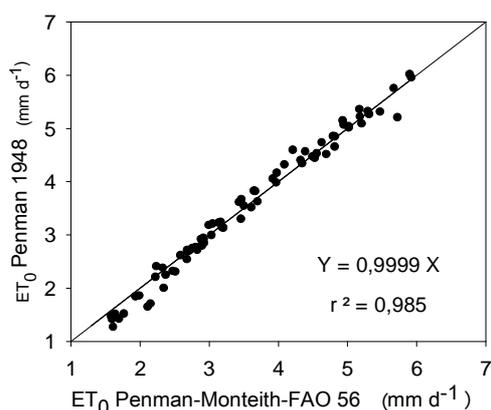


Figura 5 - Regressão linear com β_0 passando pela origem para o método de Penman 1948 em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação (r^2), para o intervalo de 5 dias.

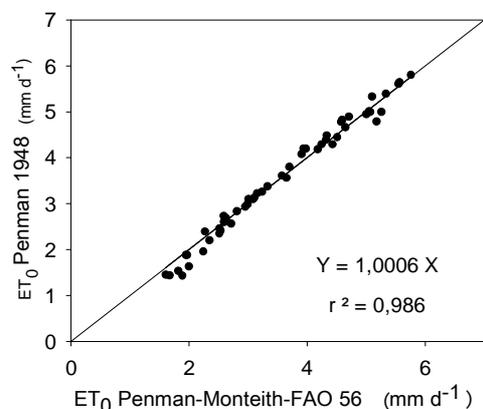


Figura 6 - Regressão linear com β_0 passando pela origem para o método de Penman 1948 em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua

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

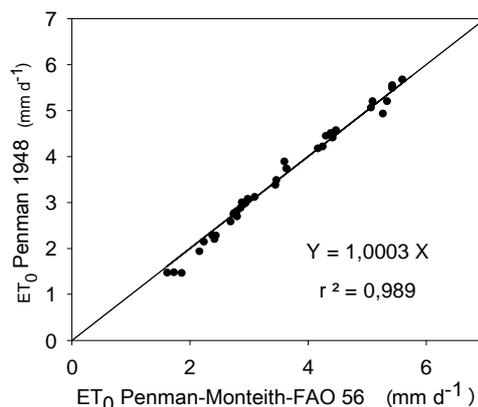


Figura 7 - Regressões lineares com β_0 passando pela origem para o método de Penman 1948 em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação (r^2), para o intervalo de 10 dias.

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, observa-se que o método de Penman-1948 apresentou valores abaixo de 1 para o coeficiente β_1 nas escalas de 1, 3 e 5 dias, indicando a ocorrência de subestimativa dos valores de ET_0 , já para as escalas de 7 e 10 dias o método apresentou β_1 maior que 1 indicando pequena superestimativa da evapotranspiração de referência, em comparação ao método de Penman-Monteith FAO 56.

O método de Penman 1948 apresentou 0,50; 0,50 e 0,51% de subestimativa da ET_0 em comparação ao método de Penman-Monteith FAO para os intervalos de 1, 3 e 5 dias respectivamente. Nos intervalos de 7 e 10 dias o método apresentou superestimativa da evapotranspiração de referência superestimando em 0,0028 e 0,0028%, respectivamente.

O método apresentou valores reduzidos para estimativa do erro padrão, sendo que a estimativa do erro diminuiu com a ampliação do intervalo para a estimativa da evapotranspiração de referência.

O método de Penman-1948 apresentou elevados valores para índice de concordância. O coeficiente de determinação 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 não ocorreu elevada dispersão dos dados de evapotranspiração de referência, indicando boa

precisão do método. Além da boa exatidão para estimativa da ET_0 pelo método de Penman 1948 em função do método de Penman-Monteith FAO 56 nos intervalos em estudo, devido a inexistência de uma considerável distância entre a reta estimada e a reta de calibração (reta 1:1)

A não-verificação da adequação dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência às condições climáticas, a falta de precisão na estimativa, bem como o erro, devido ao uso de instrumentos de medidas inadequados, em geral, conduzem ao manejo inadequado da água, afetando muitas vezes a produção agrícola. Aplicações de água insuficientes ou em excesso resultam em perdas e prejuízos consideráveis às plantas e ao solo, reduzindo, dessa forma, a eficiência do uso da irrigação.

Conclusão

O método de Penman 1948 apresentou bons resultados para estimativa da evapotranspiração de referência nas condições climáticas da cidade de Alegre-ES, independentemente do intervalo analisado. O método pode ser utilizado para o manejo da água na agricultura irrigada nas condições 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.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 8. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 265p.
- 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.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of Royal Society of London.** Série A, London, v.193,p.120-145,1948.
- 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.