

## KIMBERLY-PENMAN-1972: ESTIMATIVA DA $ET_0$ E COMPARAÇÃO COM O MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH FAO 56

**Glaucio L. Araujo<sup>1</sup>, Leonardo C. Lacerda<sup>2</sup>, Camila Aparecida da S. Martins<sup>3</sup>, Rogério R. Rodrigues<sup>1</sup>, Guilherme R. Camara<sup>1</sup>, Venilton Santos<sup>3</sup>, Edvaldo F. dos Reis<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade 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

<sup>2</sup>Universidade 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

<sup>3</sup>Universidade 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 ( $ET_0$ ) pode ser estimada por diversos 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 Kimberly-Penman-1972 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 Sul do Estado do Espírito Santo. O método Kimberly-Penman-1972 subestimou a  $ET_0$  em 9,51; 9,50; 9,50; 9,49 e 9,50% 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 evapotranspiração é a quantidade de água evaporada e transpirada por uma superfície vegetal durante determinado período, incluindo a evaporação da água do solo, a evaporação da água depositada na superfície das folhas e a própria transpiração do vegetal (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). Normalmente a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) pode ser obtida por meio de medidas diretas ou por métodos empíricos. As medidas diretas exigem estruturas apropriadas e normalmente são utilizadas em condições de pesquisa. Em contraste, existem vários métodos empíricos que são classificados de acordo com os princípios envolvidos em seu desenvolvimento: aerodinâmicos, balanço de energia, combinados, entre outros. Mesmo com a precisão oferecida pelas medidas diretas ou por alguns métodos empíricos, a  $ET_0$  é normalmente estimada de forma pontual (LIMA et al., 2009).

Neste sentido, em áreas com disponibilidade suficiente de dados climáticos, a determinação da  $ET_0$  por meio de métodos mais complexos, tais como o método de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998) e o Kimberly-Penman-1972 (WRIGHT; JENSEN, 1972), que ponderam as diferentes variáveis climáticas, devem ser

utilizados para estimar a  $ET_0$  em locais próximos de estações meteorológicas completas.

A estimativa  $ET_0$  é importante, principalmente, no dimensionamento de projetos e no manejo de sistemas de irrigação, pois, conhecendo-se a perda de água pelas culturas é possível propor um manejo adequado, de modo a dotar o solo de água facilmente utilizável pelas plantas, evitando-se aplicações excessivas ou deficientes de água (LIMA, 2005).

Este trabalho teve como objetivo estimar a  $ET_0$  pelo método de Kimberly-Penman-1972 e comparar os resultados com o método padrão de referência para a estimativa da  $ET_0$ , método de Penman-Monteith, em intervalos de um (1), três (3), cinco (5), sete (7) e dez (10) dias, nas condições meteorológicas da região Sul do Estado do Espírito Santo.

### Metodologia

Os elementos climatológicos utilizados para os cálculos da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) pelos métodos Kimberly-Penman-1972 (WRIGHT; JENSEN, 1972) 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 Kimberly-Penman-1972 (WRIGHT; JENSEN, 1972). O método Penman-Monteith FAO 56 foi utilizado para testar a estimativa de  $ET_0$  obtida pelo método Kimberly-Penman-1972, 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 Kimberly-Penman-1972, com os 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<sup>-1</sup>;
- y - evapotranspiração de referência, mm d<sup>-1</sup>;
- $\hat{y}$  - evapotranspiração de referência estimada pelo método a ser testado, mm d<sup>-1</sup>; 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.

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

onde:

- d - índice de concordância ou ajuste;
- $P_i$  - evapotranspiração de referência obtida pelo método a ser testado, mm d<sup>-1</sup>;
- $O_i$  - evapotranspiração de referência obtida pelo método-padrão, mm d<sup>-1</sup>;
- $\bar{O}$  - média dos valores obtidos pelo método-padrão, mm d<sup>-1</sup>; 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  $\beta_1$  representa a razão entre a estimativa da evapotranspiração obtida no método em estudo e a evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão, quando o  $\beta_0$  é anulado. O  $\beta_1$  pode ser calculado de acordo com a equação 3, quando  $\beta_0$  for igual a zero.

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

onde:

- $\beta_1$  - coeficiente angular da reta de regressão linear;
- $ET_0$  - evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão, mm d<sup>-1</sup>;
- $ET_m$  - evapotranspiração de referência obtida pelo método a ser testado, mm d<sup>-1</sup>.

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  $\beta_1$ , 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,  $\beta_1$  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 da  $ET_0$ , durante o período de condução do experimento.

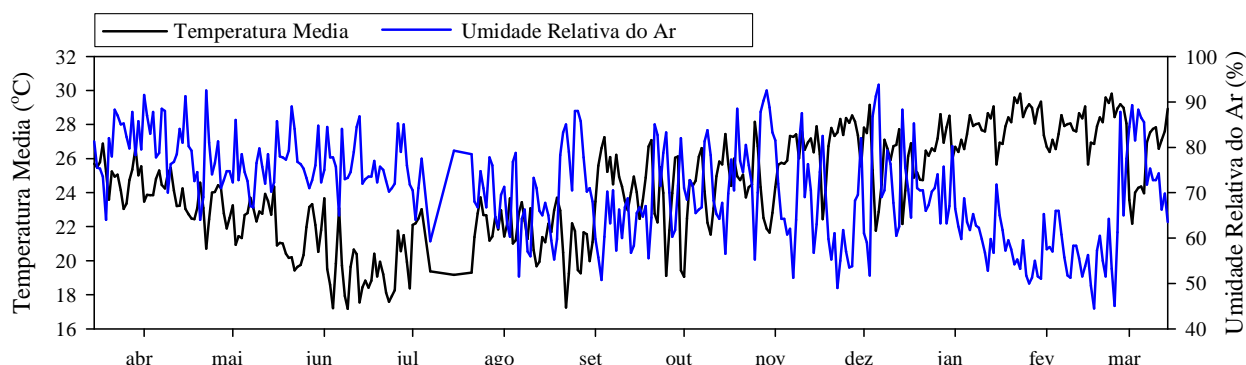


Figura 1 - Variações médias mensais dos elementos meteorológicos, Temperatura média do ar (°C) e Umidade Relativa do ar (%), para o período de março de 2009 a março de 2010.

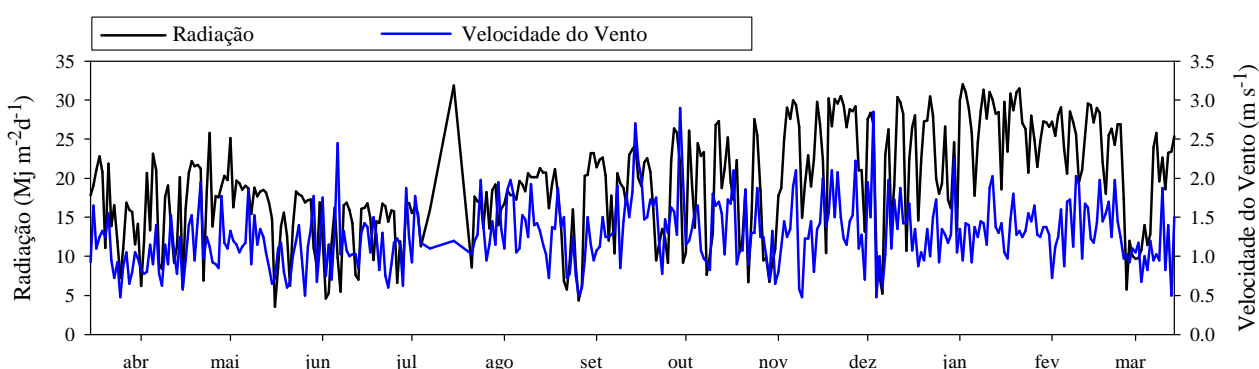


Figura 2 - Variações médias mensais dos elementos meteorológicos, Radiação (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) e Velocidade do Vento (m s<sup>-1</sup>), para o período de março de 2009 a março de 2010.

Na Tabela 1 se encontram os Valores dos coeficientes  $\beta_1$ , 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<sup>-1</sup>, em intervalos de 1, 3, 5, 7 e 10 dias.

Tabela 1 - Valores dos coeficientes  $\beta_1$ , 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 Kimberly-Penman-1972 com os valores de  $ET_0$  de Penman-Monteith-FAO 56, e os valores de evapotranspiração ( $ET_0$ ), em mm d<sup>-1</sup>, para os intervalos de 1, 3, 5, 7 e 10 dias

Intervalo	$\beta_1$	EEP	d	$r^2$	$ET_0$ KP*	$ET_0$ PM*
1 dia	0,909	0,365	0,982	0,993	3,206	3,544
3 dias	0,908	0,357	0,999	0,996	3,206	3,543
5 dias	0,907	0,355	0,999	0,997	3,205	3,541
7 dias	0,907	0,354	0,999	0,997	3,199	3,535
10 dias	0,907	0,355	0,999	0,998	3,205	3,541

\*KP: Método Kimberly-Penman-1972; \*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 Kimberly-Penman-1972 em função do método de referência Penman-Monteith-FAO 56.

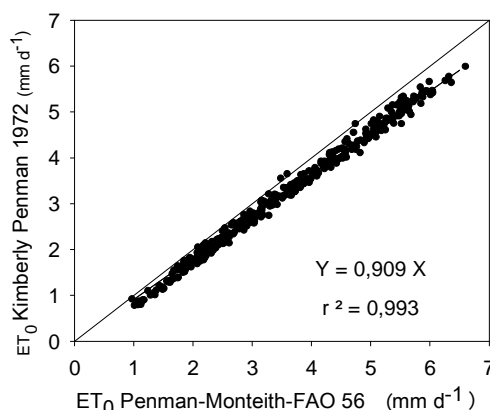


Figura 3 - Regressões lineares com  $\beta_0$  passando pela origem para o método Kimberly-Penman-1972 em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação ( $r^2$ ), para intervalos diários.

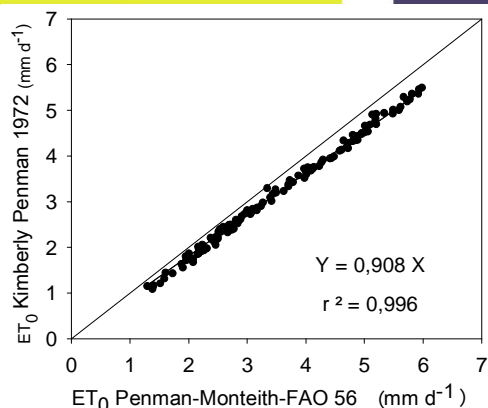


Figura 4 - Regressões lineares com  $\beta_0$  passando pela origem para o método Kimberly-Penman-1972 em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação ( $r^2$ ), para o intervalo de 3 dias.

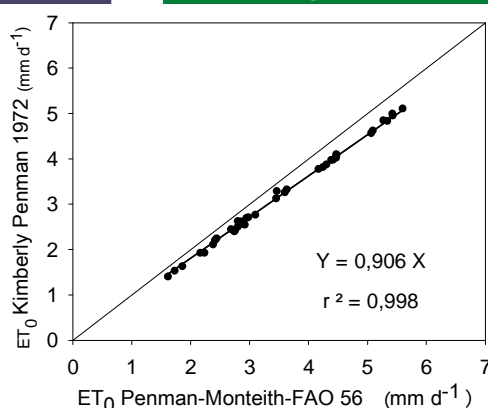


Figura 7 - Regressões lineares com  $\beta_0$  passando pela origem para o método Kimberly-Penman-1972 em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação ( $r^2$ ), para o intervalo de 10 dias.

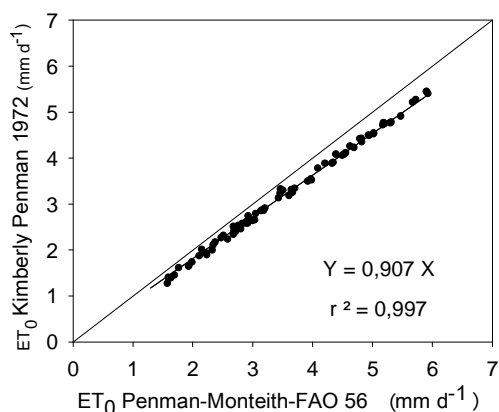


Figura 5 - Regressões lineares com  $\beta_0$  passando pela origem para o método Kimberly-Penman-1972 em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação ( $r^2$ ), para o intervalo de 5 dias.

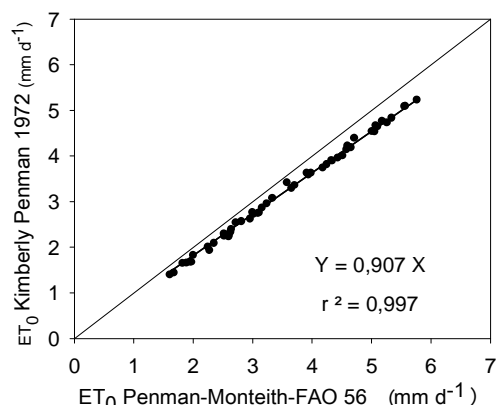


Figura 6 - Regressões lineares com  $\beta_0$  passando pela origem para o método Kimberly-Penman-1972 em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação ( $r^2$ ), para o intervalo de 7 dias.

### 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.

A equação de Kimberly-Penman-1972 foi desenvolvida a partir de estudos intensivos de evapotranspiração por meio de medidas efetuadas na alfafa em cobertura total do solo, utilizando lisímetros de pesagem de precisão em Kimberly, Idaho, EUA (WRIGHT, 1982).

O método Kimberly-Penman-1972 utiliza a fórmula original de Penman, trabalhando com coeficientes fixos para a velocidade do vento. Além do mais o método também utiliza dados de fluxo de calor do solo e radiação líquida que podem ser determinados por diferentes métodos (ALLEN, 2000). Pela Tabela 1, nota-se que este método apresentou valores para o coeficiente  $\beta_1$  abaixo de 1 indicando a ocorrência de subestimativa dos valores de  $ET_0$ , independentemente da escala de dias adotada.

O método Kimberly-Penman-1972 apresentou 9,51% de subestimativa 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 9,50; 9,50; 9,49 e 9,50% de subestimativa da  $ET_0$ , respectivamente.

O método em estudo apresentou baixos valores para estimativa do erro padrão, sendo que a estimativa do erro diminui com a ampliação do intervalo para a estimativa da evapotranspiração de referência. Independentemente da escala em estudo os valores de EEP se encontravam abaixo de  $0,365 \text{ mm d}^{-1}$ .

O índice de concordância sofre ligeira elevação com a ampliação do intervalo para a estimativa da evapotranspiração de referência. 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.

Pelas Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 percebe-se que não ocorreu elevada dispersão dos dados de evapotranspiração de referência, indicando boa precisão do método. Apesar, da existência de uma pequena distância entre a reta estimada e a reta de calibração (reta 1:1), o que indica média exatidão para a estimativa da evapotranspiração de referência.

### Conclusão

O método Kimberly-Penman-1972 apresentou subestimativa da evapotranspiração de referência, nas condições climáticas do Município de Alegres, independentemente do intervalo analisado.

### Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements.** Irrigation and Drainage Paper 56, Roma: FAO, 1998. 310p.

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

- LIMA, E. P. **Evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, padrão FAO (1998), a partir de dados de temperaturas máxima e mínima de Minas Gerais.** 2005. 67 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005.

- LIMA, E. P.; SEDIYAMA, G. C.; ANDRADE, R. G.; DELGADO, R. C.; SOARES, V. P.; GLERIANI, J. M. Estimativa da evapotranspiração em áreas irrigadas utilizando imagem do Landsat 5 - TM. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 25-30 abril 2009, INPE, Natal. **Anais...**, p.247-254.

- 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.

- WRIGHT, J. L.; JENSEN, M. E. Peak water requirements of crops in Southern Idaho. **J. Irrig. and Drain.** ASCE v.96, n.1, p.193-201, 1972.

- WRIGHT, J. L. New Evapotranspiration Crop Coefficients. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, ASCE, v.108, p.57-74. 1982.