

## DESEMPENHO DE MÉTODOS DE CÁLCULO DO COEFICIENTE DE TANQUE PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

ALAN DELON ANDRADE<sup>1</sup>, WEZER LISMAR MIRANDA<sup>2</sup>, LUIZ GONSAGA DE CARVALHO<sup>3</sup>, PAULO HENRIQUE FERNANDES FIGUEIREDO<sup>1</sup>, THALINE BIGHI SILVEIRA DA SILVA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras – Lavras, MG. Fone: (35)8834-3582. E-mail: [alanmg13@gmail.com](mailto:alanmg13@gmail.com); [phdecoz@gmail.com](mailto:phdecoz@gmail.com)

<sup>2</sup>Engenheiro Agrícola, Doutorando em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras – Lavras, MG. E-mail: [wmlismar@yahoo.com.br](mailto:wmlismar@yahoo.com.br)

<sup>3</sup>Engenheiro Agrícola, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras – Lavras, MG. E-mail: [lgonsaga@deg.ufla.br](mailto:lgonsaga@deg.ufla.br)

<sup>4</sup>Graduanda em Engenharia Florestal, Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras – Lavras, MG. E-mail: [thalinebighi@gmail.com](mailto:thalinebighi@gmail.com)

### 1 RESUMO

Há diferentes processos aplicáveis ao adequado manejo da irrigação e dentre esses os que utilizam a estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) como parâmetro. Assim, com este trabalho objetivou-se avaliar diferentes métodos de determinação do coeficiente de tanque (K<sub>p</sub>) utilizado na estimativa da ET<sub>o</sub> com base em dados de evaporação do Tanque Classe “A” (TCA). Os dados meteorológicos foram coletados diariamente entre 1/1/2004 e 31/12/2013. A estimativa de ET<sub>o</sub> padrão foi realizada pelo método de Penman-Monteith-FAO (PM-FAO). Os métodos utilizados para a obtenção do K<sub>p</sub> foram: Allen et al. (1998), Cuenca (1989), Snyder (1992), Pereira et al. (1995) e Doorenbos e Pruitt (1977). O desempenho dessas metodologias foi avaliado pela comparação entre a estimativa de ET<sub>o</sub> obtida pelo método do TCA com os diferentes valores de K<sub>p</sub> em relação à ET<sub>o</sub> estimada pelo método de PM-FAO. Na escala mensal todas as metodologias avaliadas apresentaram um desempenho satisfatório. Para a avaliação em escala diária o melhor desempenho foi da metodologia proposta por Pereira et al. (1995).

**Palavras-chave:** coeficiente de tanque, manejo de irrigação, agrometeorologia, Penman-Monteith-FAO

ANDRADE, A. D.; MIRANDA, W. L.; CARVALHO, L. G. DE; FIGUEIREDO, P. H. F.; SILVA, T. B. S. DA

PERFORMANCE OF METHODS FOR CALCULATING THE PAN COEFFICIENT FOR ESTIMATING REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION

### 2 ABSTRACT

There are different processes applicable to the suitable irrigation management, and among them there are those which use the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) estimation as a parameter. This research aimed to evaluate different methods for determining pan coefficient (K<sub>p</sub>), used to estimate ET<sub>o</sub>, based on evaporation data of Class "A" pan (TCA). Daily meteorological data were collected at Principal Climatological Station, which is located at the Federal University of Lavras. The period of time analyzed was from 01/01/2004 to 12/31/2013. The standard ET<sub>o</sub> estimation was performed using Penman-Monteith-FAO (FAO-PM) method. The methods utilized to obtain K<sub>p</sub> were: Allen et al. (1998), Cuenca (1989), Snyder (1992), Pereira et al. (1995), and Doorenbos & Pruitt (1977). The performance of these methods was evaluated by comparing the estimated ET<sub>o</sub> obtained by the PM-FAO method with ET<sub>o</sub> estimated by the TCA

method with different  $K_p$  values. In the monthly scale all tested methodologies showed satisfactory performance. For the evaluation in daily scale, the best performance was the methodology proposed by Pereira et al. (1995).

**Keywords:** pan coefficient, irrigation management, agrometeorology, Penman-Monteith-FAO

### 3 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a produção agrícola, sendo de suma importância sua utilização de forma sustentável. Ainda mais, considerando o atual cenário de real escassez hídrica, principalmente em alguns dos mais importantes centros urbanos do País. Segundo Oliveira et al. (2010), diante da preocupação com o uso racional da água, e tendo em vista que a irrigação é a atividade que faz maior uso desse recurso, tornou-se necessário o desenvolvimento de metodologias que possibilitem obter máxima produção com um mínimo consumo de água.

A evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) é um dos parâmetros que permite quantificar a demanda de água pela planta, o que auxilia no manejo adequado desse recurso. A obtenção da  $ET_c$  de forma direta não é um processo fácil, e por isso utiliza-se a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) para estimar a  $ET_c$ , multiplicando-se  $ET_o$  por um coeficiente de cultura ( $K_c$ ).

Existem diversos métodos para estimativa da  $ET_o$ , um método bastante utilizado é o do Tanque Classe “A” (TCA). Segundo Braga et al. (2008), o TCA é um dos métodos indiretos de obtenção da  $ET_o$  de uso mais generalizado, em virtude do seu fácil manejo e baixo custo de implantação. Isso, mesmo considerando suas desvantagens relacionadas a possibilidade de acesso de animais (principalmente quando os tanques não são cercados por algum tipo de proteção), e às condições aerodinâmicas específicas causadas pela exposição de suas paredes à radiação solar direta e da lâmina d’água a ação do vento.

Baseados em questões como essas, muitos pesquisadores questionam o método de escolha do coeficiente de tanque ( $K_p$ ) para estimativa da  $ET_o$  usando esse tanque evaporimétrico. E mesmo com várias metodologias existentes e aplicáveis ao cálculo do  $K_p$ , Sentelhas e Folegatti (2003) afirmam que são poucos os trabalhos que avaliaram a precisão e desempenho dessas metodologias sob as condições climáticas brasileiras. De acordo com Esteves et al. (2010) o  $K_p$  adotado para determinada região deve ser adequado para que não haja estimativas equivocadas; por esta razão, a pesquisa regional em busca de valores de  $K_p$  específicos é de suma importância para o manejo racional dos recursos hídricos na agricultura irrigada.

Nesse contexto, com este trabalho objetivou-se estudar a estimativa da  $ET_o$  utilizando o TCA, analisando, para tanto, diferentes metodologias de determinação do  $K_p$  e comparar as cinco metodologias de estimativa do  $K_p$  para a região de Lavras-MG em escalas mensal e diária.

### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados meteorológicos necessários para a realização desse trabalho foram obtidos da estação climatológica principal de Lavras (ECP – Convênio UFLA/INMET) instalada no campus da Universidade Federal de Lavras situado no município de Lavras-MG, cujas coordenadas geográficas são: altitude 918 m; latitude 21°14’ S; longitude 45°00’ W. Segundo a classificação climática proposta por Köppen e confirmada por Dantas; Carvalho; Ferreira

(2007), o clima é do tipo Cwa, com inverno seco e chuvas predominantes no verão, com precipitação total média anual de 1530 mm e temperatura média anual de 19,4°C.

O período utilizado para análise está compreendido entre 01/01/2004 e 31/12/2013 representando uma série de dados diários de 10 anos. Excluíram-se os dados referentes aos dias que ocorreram precipitação acima de 30 mm e aos dias nos quais houve transbordamento do Tanque Classe “A” (TCA), bem como os dias nos quais detectou-se anormalidades diversas, conforme Mendonça et al. (2006).

Para servir como base de comparação, para o teste dos métodos, utilizou-se a estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) calculada pelo método de Penman-Monteith-FAO (PM-FAO), proposto por Allen et al. (1998) e mostrado na Eq. 1:

$$ET_o = \frac{s}{s + \gamma^*} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma^{900}}{(s + \gamma^*)(T + 273)} U_2 (e_s - e_a) \quad (1)$$

em que, ET<sub>o</sub> é a evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>); R<sub>n</sub> é o saldo de radiação a superfície terrestre (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>); G é o fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>); T é a temperatura média diária do ar (°C); U<sub>2</sub> é a velocidade do vento a 2 metros de altura (m s<sup>-1</sup>); (e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>) déficit de pressão de vapor (kPa); s é a declividade da curva de pressão de saturação do vapor d'água (kPa °C<sup>-1</sup>); γ é o coeficiente psicrométrico (kPa °C<sup>-1</sup>); γ\* é a constante psicrométrica modificada (kPa °C<sup>-1</sup>); λ é o calor latente de evaporação (MJ kg<sup>-1</sup>).

Para a estimativa da ET<sub>o</sub> pelo método do TCA utilizou-se a Eq. 2:

$$ET_o = ECA \times K_p \quad (2)$$

em que, ECA é a evaporação no Tanque Classe “A” (mm dia<sup>-1</sup>); K<sub>p</sub> é o coeficiente de tanque (adimensional).

Os valores de K<sub>p</sub> diários foram determinados pelas metodologias mostradas a seguir:

Allen et al. (1998), dada pela Eq. 3:

$$K_p = 0,108 - 0,0286U_2 + 0,0422 \ln(F) + 0,1434 \ln(H) - 0,000631[\ln(F)]^2 \ln(H) \quad (3)$$

em que, F é a bordadura da área plantada em grama, considerada igual a 15 m; H é a umidade relativa média diária do ar (%).

Cuenca (1989), dada pela Eq. 4:

$$K_p = 0,475 - (2,4 \times 10^{-4} V_2) + (5,16 \times 10^{-3} H) + (1,18 \times 10^{-3} F) - (1,6 \times 10^{-5} H^2) - (1,01 \times 10^{-6} F^2) - (8 \times 10^{-9} H^2 V_2) - (1 \times 10^{-8} H^2 F) \quad (4)$$

em que, V<sub>2</sub> - velocidade do vento a 2 m de altura (km dia<sup>-1</sup>);

Pereira et al. (1995), dada pela Eq. 5:

$$K_p = 0,85 \frac{(s + \gamma)}{[s + \gamma (1 + \frac{r_c}{r_a})]} \quad (5)$$

em que,  $r_c$  – resistência do dossel foliar da grama à difusão do vapor d’água ( $s\ m^{-1}$ );  $r_a$  é a resistência aerodinâmica para a troca do vapor d’água de uma superfície evaporante ( $s\ m^{-1}$ ), sendo que a relação entre as duas variáveis é dada pela Eq. 6:

$$\frac{r_c}{r_a} = 0,34U_2 \quad (6)$$

Snyder (1992) dada pela Eq. 7:

$$K_p = 0,482 + 0,024 \ln(F) - 0,000376V_2 + 0,0045H \quad (7)$$

E utilizou-se ainda os valores tabelados por Doorenbos e Pruitt (1977) baseados na velocidade do vento, umidade relativa, área e cobertura do solo ao redor do tanque.

Para avaliar o desempenho dos métodos de determinação do  $K_p$  acima mencionados, procedeu-se a análise de regressão linear, considerando-se o modelo linear  $y = a + bx$ , na qual a variável dependente foi a ETo estimada pelo método de PM-FAO e a variável independente a ETo estimada pelo método do TCA com o  $K_p$  proposto pelas diferentes metodologias avaliadas. Junto a isso, também foi expresso o coeficiente de determinação ( $r^2$ ), o índice de concordância (D) de Willmott et al. (1985), o índice de correlação de Pearson (r), e o índice de desempenho “C”.

O coeficiente  $r^2$  é expresso pela Eq. 8, o índice D pela Eq. 9, o índice r pela equação 10 e o índice C pela equação 11.

$$r^2 = \frac{\left( \sum_{i=1}^N Y_{o_i} \cdot Y_{e_i} \right)^2}{\sum_{i=1}^N Y_{o_i}^2 \cdot \sum_{i=1}^N Y_{e_i}^2} \quad (8)$$

$$D = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{e_i} - Y_{o_i})^2}{\sum_{i=1}^n (|Y_{e_i} - \bar{Y}_o| + |Y_{o_i} - \bar{Y}_o|)^2} \right] \quad (9)$$

$$r = \sqrt{r^2} \quad (10)$$

$$C = r \cdot D \quad (11)$$

onde,  $Y_{e_i}$  é o i-ésimo valor previsto ou estimado;  $Y_{o_i}$  é o i-ésimo valor observado; e  $\bar{Y}_o$  é a média dos valores observados.

Os valores dos índices de correlação e desempenho foram interpretados conforme Cunha et al. (2013) e Camargo e Sentelhas (1997), cujos sistemas de classificação aplicados são evidenciados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

**Tabela 1.** Classificação dos valores do índice de correlação de Pearson (r).

Índice de correlação (r)	Classificação
0,0 a 0,1	Muito baixa
0,1 a 0,3	Baixa
0,3 a 0,5	Moderada
0,5 a 0,7	Alta
0,7 a 0,9	Muito alta
0,9 a 1,0	Quase perfeita

Fonte: Cunha et al. (2013).

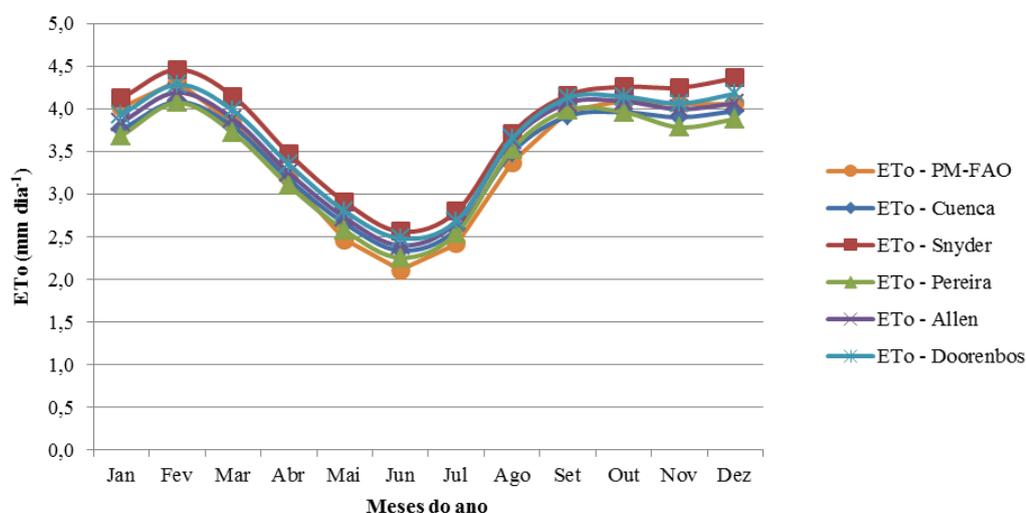
**Tabela 2.** Critérios de interpretação do índice de desempenho C

Índice de desempenho C	Classificação
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sufrível
0,41 a 0,50	Mau
< 0,40	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentados os valores médios mensais, no período analisado, da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) obtida pelo método de Penman-Monteith-FAO (PM-FAO) e pelo método do Tanque Classe “A” (TCA), calculada com os valores de coeficiente de tanque (K<sub>p</sub>) estabelecidos pelas diferentes metodologias empregadas.

**Figura 1.** Valores médios mensais da ET<sub>o</sub> estimada pelo método de PM-FAO e os obtidos pelo método do Tanque Classe A, utilizando os valores de K<sub>p</sub> obtidos pelos diferentes métodos, entre os meses de janeiro de 2004 e dezembro de 2013, no município de Lavras – MG.

Pode-se observar que a estimativa de ETo realizada com as diferentes metodologias propostas apresentaram a mesma tendência de variação ao longo do ano, com valores mais elevados durante os meses nos quais as temperaturas do ar são maiores. Este fato evidencia a interdependência entre a ETo e os elementos meteorológicos, tais como temperatura do ar e radiação solar que no ciclo anual seguem a mesma tendência de oscilação.

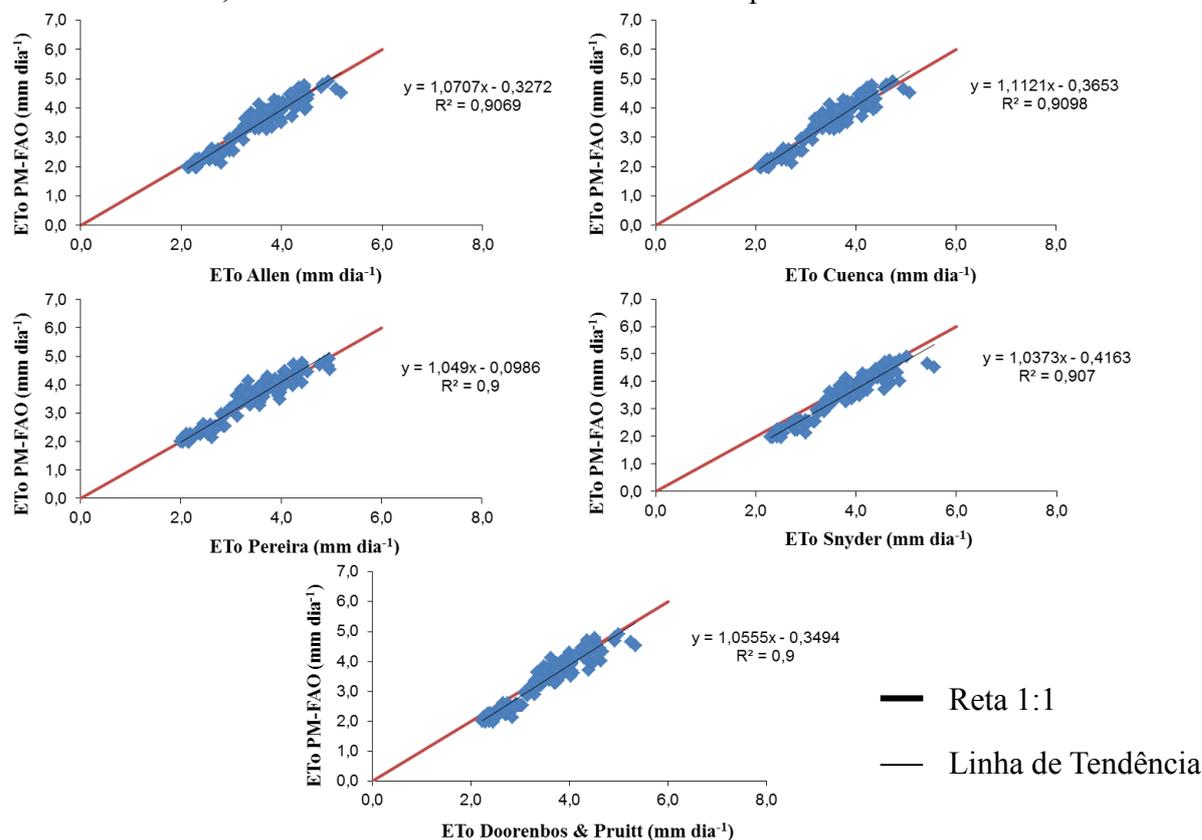
Tendência semelhante para variação dos valores de ETo entre meses mais quentes e chuvosos em relação a meses frios e secos, também foi observada por Cunha (2011) em experimento realizado em ambiente protegido e em campo no município de Botucatu-SP com o mesmo fim de avaliar diferentes métodos de determinação do Kp.

Na Figura 1 ainda é possível observar que a ETo obtida com as metodologias propostas por Snyder (1992) e Doorenbos e Pruitt (1977) superestimaram o método padrão (PM-FAO) em 7,97% e 4,34%, respectivamente, considerando todas as épocas do ano. As metodologias de Allen et al. (1998), Cuenca (1989) e Pereira et al. (1995) superestimaram o método padrão apenas nos meses mais frios do ano (maio, junho, julho e agosto). Esses resultados são semelhantes aos observados por Esteves et al. (2010) em avaliação de diferentes metodologias de determinação do Kp no município de Campos dos Goytacazes-RJ e também por Braga et al. (2008) em estudo similar desenvolvido no município de Juazeiro-BA.

Essa superestimativa dos valores de ETo, observada a partir da aplicação das metodologias estudadas nesse trabalho, pode ser explicada pela citação de Duarte; Barros; Assunção (2003) onde afirmam que devido à área relativamente pequena do TCA, a absorção da radiação pelas paredes e pelo fato dele criar seu próprio ambiente aerodinâmico ao ficar exposto acima do solo, obtêm-se valores de evaporação às vezes um pouco exagerados.

Os comparativos da ETo estimada pelo método do TCA fazendo uso das diferentes metodologias de obtenção do Kp em relação as estimativas de ETo realizadas pelo método de PM-FAO, considerando as médias mensais de cada ano do período avaliado estão apresentados na Figura 2.

**Figura 2.** Comparação entre as estimativas de ETo feita pelo método do TCA utilizando as cinco metodologias de obtenção do Kp em relação a ETo estimada pelo método de PM-FAO em escala mensal, entre os anos de 2004 e 2013 no município de Lavras – MG.



Pode-se observar que o coeficiente angular ( $b$ ) para as cinco metodologias de obtenção do Kp são maiores que “1” indicando a tendência de superestimativa em relação à ETo obtida pelo método padrão, semelhantemente ao observado para os valores médios mensais do período completo da avaliação. Resultado que diverge do apresentado por Peixoto; Levien; Bezerra (2010) em trabalho realizado em Mossoró-RN, no qual utilizou as metodologias propostas por Snyder (1992), Cuenca (1989), e Pereira et al. (1995) para obter o Kp em análise de série histórica de 15 anos em termos de média mensal do período em que apenas o método de Snyder (1992) superestimou a ETo estimada pelo método de PM-FAO. O que possivelmente se deve as condições aerodinâmicas observadas no município de Mossoró, as quais são influenciadas pela elevada velocidade do vento e temperatura do ar, características da região.

Os coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para todos os métodos avaliados em escala mensal foram superiores a 0,9 o que denota um excelente ajuste entre as estimativas de ETo realizadas pelo método do TCA com Kp obtido pelas diferentes metodologias, em relação ao método padrão. Esses resultados são similares aos observados por Peixoto; Levien; Bezerra (2010), que em três das mesmas metodologias avaliadas obtiveram  $r^2$  superiores a 0,92. E são superiores aos observados por Conceição (2002) em trabalho realizado na região noroeste do estado de São Paulo, utilizando três das mesmas metodologias de obtenção de Kp apresentadas neste

trabalho, onde tiveram como resultado valores de  $r^2$  variando entre 0,788 e 0,870. A possível explicação para essa diferença se baseia nas características climáticas da região noroeste de São Paulo que associada aos parâmetros dos modelos analisados levaram a esse distanciamento do método padrão.

O resumo dos resultados das análises estatísticas utilizadas para avaliar o desempenho das metodologias de obtenção do Kp na estimativa da ETo média mensal é apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3.** Valores do coeficiente de correlação (r); índice de concordância (D); e do índice de desempenho (C), resultantes da comparação estatística entre ETo estimada pelo método do Tanque Classe A, a partir de diferentes metodologias de obtenção do Kp em relação a ETo estimada pelo método de PM-FAO, em escala mensal (01/2004 a 12/2013).

Metodologia	r	D	C
Allen et al. (1998)	0,952	0,969	0,924
Cuenca (1989)	0,954	0,970	0,926
Pereira et al. (1995)	0,949	0,969	0,920
Snyder (1992)	0,952	0,943	0,898
Doorenbos e Pruitt (1977)	0,949	0,962	0,912

É possível observar que na avaliação pelo coeficiente de correlação de Pearson (r) todas as metodologias apresentaram valores acima de 0,9, o que pelo sistema de classificação as enquadra em uma correlação quase perfeita, indicando a elevada precisão apresentada pelas mesmas no que se refere a média mensal. Estes valores de r corroboram os encontrados por Braga et al. (2008) em que avaliando a eficácia das mesmas metodologias de obtenção de Kp em discussão neste trabalho, em termos de média mensal, no município de Juazeiro na Bahia, obtiveram valores de r variando de 0,91 a 0,99.

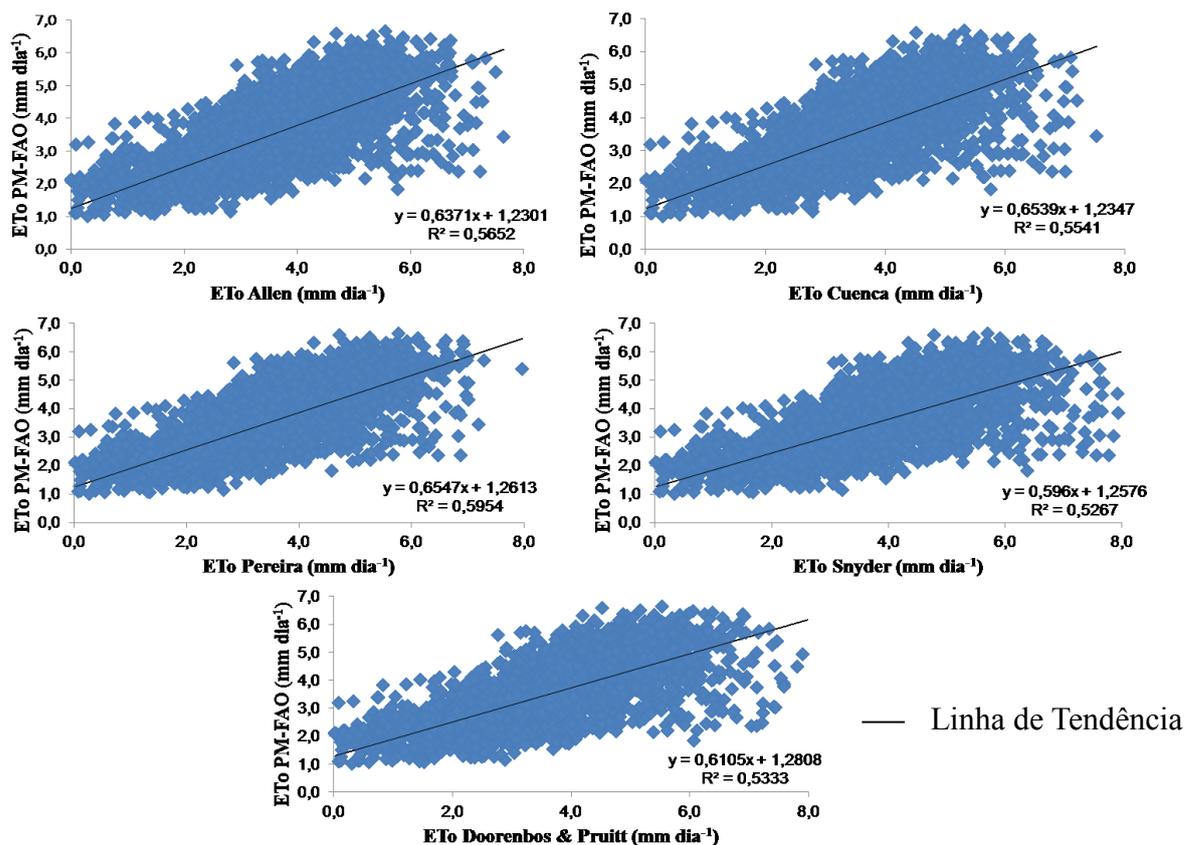
No entanto, para os valores do índice de concordância D, estes mesmos autores encontraram valores menores do que os apresentados neste trabalho. Os referidos autores obtiveram valores variando entre 0,39 e 0,60 a exceção do método de Pereira et al. (1995) que apresentou o índice D de 0,95 e buscaram explicar esta diferença pelas condições edafoclimáticas da região. No presente trabalho, os valores de D foram todos superiores a 0,94 e esta proximidade da unidade indica o alto grau de exatidão dos resultados observados.

Complementarmente a estas análises, observa-se também que o índice de desempenho (C), calculado para todas as metodologias, foram superiores a 0,85 classificando seus desempenhos como ótimos, valores estes superiores aos observados por Peixoto; Levien; Bezerra (2010).

Com os resultados apresentados até aqui é possível afirmar que a metodologia de obtenção do Kp mais eficaz para estimar a ETo média mensal pelo método do TCA para a região é a proposta por Cuenca (1989), em razão de ter apresentado os maiores valores para todos os testes estatísticos aplicados. No entanto, destaca-se que as demais metodologias avaliadas neste nível também são eficazes, uma vez que os valores dos testes estatísticos foram igualmente elevados.

Os comparativos da ETo estimada pelo método do TCA fazendo uso das diferentes metodologias de obtenção do Kp em relação as estimativas de ETo realizadas pelo método de PM-FAO, considerando os dados diários ao longo de todo o período avaliado estão apresentados na Figura 3.

**Figura 3.** Comparação entre as estimativas de ETo feita pelo método do TCA utilizando as cinco metodologias de obtenção do Kp em relação a ETo estimada pelo método de PM-FAO em escala diária, entre 01 de janeiro de 2004 e 31 de dezembro de 2013, no município de Lavras – MG.



A proposição de análise em escala diária se justificou em razão do mencionado por Bernardo; Soares; Mantovani (2006) onde destacam a necessidade de evitar o acesso de pássaros ao TCA, mas em contraposição a isso não serem raras as ocasiões em que se pode notar a presença destes animais tomando água em recipientes deste tipo, despertando o interesse em saber o nível de influência desse fato na mensuração da ETo pelo método do TCA.

Assim, com a presente análise em escala diária pretendeu-se verificar se as metodologias avaliadas mantiveram a mesma tendência anteriormente apresentada.

Fato que não ocorreu, como pode ser verificado na Figura 3, onde os valores de coeficiente angular nesta análise são menores que 1 em todas as metodologias e os valores de  $r^2$  se reduziram ao patamar de 0,5. Valores que indicam agora a tendência de subestimativa das metodologias e uma precisão não mais tão satisfatória. Isso se deve ao aumento da massa de dados e a consequente evidenciação dos efeitos pontuais de variáveis não controláveis, como o acesso de pássaros ao tanque e a variação de temperatura do tanque que em aumentando,

potencializa o processo de evaporação da água para além do determinado somente pela elevação da temperatura do ar.

Os valores de  $r^2$  observados, variando de 0,527 a 0,595, são inferiores aos obtidos por Esteves et al. (2010) que em estudo feito também em escala diária para uma série histórica de 10 anos de dados, no município de Campos dos Goytacazes-RJ, obtiveram valores de  $r^2$  de 0,81 para as metodologias de Allen et al. (1998), Cuenca (1989) e Snyder (1992). No entanto, quanto aos valores do coeficiente angular houve concordância entre os resultados, com estes autores também observando uma tendência de subestimativa das metodologias avaliadas.

O resumo dos resultados das análises estatísticas utilizadas para avaliar o desempenho das metodologias de obtenção do  $K_p$  na estimativa da  $ET_o$  diária ao longo do período estudado é apresentado na Tabela 4.

**Tabela 4.** Valores do coeficiente de correlação ( $r$ ); índice de concordância ( $D$ ); e do índice de desempenho ( $C$ ), resultantes da comparação estatística entre  $ET_o$  estimada pelo método do Tanque Classe A, a partir de diferentes metodologias de obtenção do  $K_p$  em relação a  $ET_o$  estimada pelo método de PM-FAO, em escala diária (1/1/2004 a 31/12/2013).

Metodologia	r	d	C
Allen et al. (1998)	0,752	0,858	0,645
Cuenca (1989)	0,744	0,855	0,637
Pereira et al. (1995)	0,772	0,868	0,670
Snyder (1992)	0,726	0,833	0,605
Doorenbos e Pruitt (1977)	0,730	0,843	0,615

Nota-se que os valores de  $r$  variam de 0,726 a 0,772 classificando a correlação como muito alta, diferentemente do que foi observado na análise anterior, o que demonstra a redução da qualidade do ajuste entre os dados. Em análise similar, Lopes et al. (2012) avaliando as metodologias de Cuenca (1989), Allen et al. (1998), Pereira et al. (1995) e Snyder (1992) para obtenção do  $K_p$  em Aquidauana-MS, em escala diária, no período de inverno da região, obtiveram valores de  $r$  variando entorno de 0,8 e assim recebendo a mesma classificação.

Neste mesmo trabalho os referidos autores obtiveram índices  $D$  variando de 0,724 a 0,828 e valores de  $C$  entre 0,597 e 0,669 sendo que os maiores valores se referem a metodologia de Cuenca, o que os levou a concluírem que esta é a melhor metodologia para ser aplicada nas condições analisadas. Na presente análise os valores de  $D$  ficaram entre 0,833 e 0,868 e os valores de  $C$  entre 0,605 e 0,670 os mantendo em patamares semelhantes.

No entanto, os maiores índices foram observados para a metodologia proposta por Pereira et al. (1995) sendo classificada de acordo com o índice  $C$  como tendo um bom desempenho e sendo então esta a mais recomendada a ser adotada para a região de Lavras em escala diária e com fins de manejo de irrigação.

## 6 CONCLUSÕES

Na escala diária a metodologia mais recomendada para cálculo do Kp foi a proposta por Pereira et al. (1995).

Na escala mensal a metodologia proposta por Cuenca (1989) apresentou o melhor desempenho.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage, n.56).

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006.

BRAGA, M. B.; CALGARO, M., MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F. Coeficientes do tanque classe “A” para estimativa da evapotranspiração de referência na região do Vale do Submédio São Francisco, estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, v.16, n.1, p.49-57, 2008.

CAMARGO A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, p. 89-97, 1997.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Reference evapotranspiration based on class A pan evaporation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 417-420, 2002.

CUENCA, R. H. **Irrigation system design: an engineering approach**. New Jersey: Prentice-Hall, 1989. 133 p.

CUNHA, A. R. Coeficiente do tanque Classe A obtido por diferentes métodos em ambiente protegido e no campo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 451-464, 2011.

CUNHA, P. C. R.; NASCIMENTO, J. L.; SILVEIRA, P. M.; ALVES JÚNIOR, J. Eficiência de métodos para o cálculo de coeficientes do tanque classe A na estimativa da evapotranspiração de referência. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 114-122, 2013.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n.6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop Water Requirements**. Rome: FAO, 1977. 168 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

DUARTE, W. O.; BARROS, D. D. L.; ASSUNÇÃO, W. L. Comparação entre as leituras diárias do tanque classe “A” e o evaporímetro de piché, da estação climatológica da Universidade Federal de Uberlândia. In: Simpósio Regional de Geografia: Perspectivas para o Cerrado no Século XXI, 2, 2003, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2003. p. 1-5.

ESTEVEES, B. dos S.; MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F.; BERNARDO, S. Avaliação do Kt para estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 274-278, 2010.

LOPES, A. S.; OLIVEIRA, G. Q.; JUNG, L. H.; PACHECO, A. Avaliação do coeficiente do Tanque Classe A para estimativa da evapotranspiração de referência em Aquidauana-MS. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 1-11, 2012.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F.; ANDRE, R. G. B.; BERNARDO, S. Coeficientes do tanque classe A para a estimativa da evapotranspiração de referência em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 123-128, 2006.

OLIVEIRA, G. M.; LEITAO, M. M. V. B. R.; BISPO, R. C.; SANTOS, I. M. S.; ALMEIDA, A. C. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referencia na região Norte da Bahia. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.4, n.2, p.104–109, 2010.

PEIXOTO, T. D. C.; LEVIEN, S. L. A.; BEZERRA, A. H. F. Comparação entre diferentes equações de Tanque Classe “A” para cálculo da ET<sub>o</sub> em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 3, p. 161-165, 2010.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N.; PEREIRA, A. S.; BARBIERI, V. A model for the class A pan coefficient. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 75-82, 1995.

SENTELHAS, P. C.; FOLEGATTI, M. V. Class A pan coefficients (K<sub>p</sub>) to estimate daily reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 111-115, 2003.

SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversion. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering of ASCE**, New York, v. 118, n. 6, p. 977-980, 1992.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.