

# ESTUDO COMPARATIVO DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO PERÍODO CHUVOSO PARA TRÊS LOCALIDADES NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

## COMPARATIVE STUDY OF THE ESTIMATIVE EVAPOTRANSPIRATION IN REFERENCE TO THE WET PERIOD FOR THREE LOCALITIES ON THE STATE OF ESPÍRITO SANTO

Rosembergue Bragança<sup>1</sup>; Edvaldo Fialho dos Reis<sup>1</sup>; Giovanni de Oliveira Garcia<sup>1</sup>;  
José Eduardo Macedo Pezzopane<sup>2</sup>

### RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo realizar o estudo comparativo das equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência em comparação ao método universal padrão Penman-Monteith FAO 56 para as condições climáticas dos municípios de Sooretama, Cachoeiro de Itapemirim, Venda Nova do Imigrante, localizados respectivamente, nas regiões Norte, Sul e Serrana do Estado do Espírito Santo. Foram utilizadas as variáveis climáticas referentes ao período chuvoso (outubro, novembro e dezembro) do ano de 2006 obtidas via plataforma de dados do CPTEC - INPE provenientes das estações automatizadas agrometeorológicas códigos nº 31957, 31958 e 31959 instaladas, respectivamente, nos municípios mencionados. Para comparar os valores de ETo estimados por meio das equações empíricas com os do método universal padrão Penman-Monteith (FAO 56) foram considerados os parâmetros da equação de regressão  $\beta_0$  e  $\beta_1$ , coeficiente de determinação ( $r^2$ ), coeficiente de correlação ( $r$ ), estimativa do erro padrão (EEP), índice de concordância ( $d$ ), índice de confiança ou desempenho ( $c$ ), nas escalas diária, três, cinco e sete dias, para os meses estudados nas três localidades. Para as três localidades estudadas no período seco chuvoso, destacaram-se como melhores métodos na ordem Penman (48) Original, FAO 24 Pn Mod., FAO 24 BC, Priestley-Taylor, Turc (61), Makkink e Hargreaves-Samani.

**Palavras chave:** Variáveis climáticas, equações empíricas, evapotranspiração de referência.

### ABSTRACT

This work had the objective of a comparative study of the empirical equations for the estimate of the reference evapotranspiration in comparison to Penman-Monteith FAO 56 universal standard method for the conditions climate from the municipalities of Sooretama, Cachoeiro de Itapemirim and Venda Nova do Imigrante located, respectively, in the north, south and mountainous regions of the state Espírito Santo. Climate variables were used referring to this dry period (June, July and August) in 2006. They were obtained from data platform of CPTEC-INPE from the agrometeorological automated stations code number 31957, 31958 and 31959 installed in the municipalities mentioned. Making a comparison between the values of ETo estimated by the empirical equation and the universal standard method Penman-Monteith FAO 56 there were considered the regression equation parameters  $\beta_0$  and  $\beta_1$ , determination coefficient  $r^2$ , correlation coefficient  $r$ , standard of the error estimate EEP, the agreement index  $d$ , confidence or performance index  $c$ , in the diary scales, three, five and seven days, for the months studies in the three localities. To the three places studied in the rainy dry period, they stood out as better methods in the order Penman 48 Original, Priestley-Taylor, FAO 24 Penman Modify, FAO 24 Blaney-Criddle, Turc (61), FAO 24 Radiation, Makkink.

**Key words:** Climatic variables, empiric equations, reference evapotranspiration.

<sup>1</sup> Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural, 29500-000, Alegre, ES, bragança@cca.ufes.br

<sup>2</sup> Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Florestal, Alegre, ES.

## INTRODUÇÃO

A determinação do consumo de água de uma cultura é de fundamental importância no contexto agrícola e ambiental, podendo ser obtida a partir de medidas efetuadas no solo, na planta e na atmosfera. Os métodos baseados em medidas no solo fundamentam-se na determinação do seu teor de água, enquanto os que utilizam medidas na planta consideram o monitoramento do seu potencial hídrico e avaliações da resistência estomática, da temperatura da folha, dentre outros; e os métodos baseados no clima consideram desde simples medições da evaporação da água num tanque, como o Classe A até complexas equações para estimativa da evapotranspiração (Rocha *et al.*, 2003).

A necessidade de se produzir com qualidade, produtividade e maior quantidade de produtos alimentícios diversificados exige da comunidade científica novos conhecimentos sobre as reais demandas hídricas das culturas, de determinada região. Associados com sistemas ou métodos de irrigação, visando aplicar a quantidade certa e no momento certo que a planta requer, com adoção de manejo da água na propriedade, objetivando primeiramente a diminuição dos impactos ambientais negativos sobre o recurso natural água, no processo de irrigação. Proporcionando assim o uso eficiente da água, com a utilização de métodos ou técnicas mais apropriadas, e o estudo das variáveis climáticas que quantificam as necessidades hídricas das plantas.

O conhecimento das variáveis climáticas ou elementos meteorológicos registrados nas estações convencionais ou automáticas de agrometeorologia permite a quantificação da evapotranspiração das culturas, possibilitando assim conhecer a demanda hídrica diária da cultura, bem como a mensal e anual da região, necessário para atender as reais necessidades hídricas das culturas ali estabelecidas ou a serem implantadas.

Aproximadamente 8% da área do Estado apresentam déficit hídrico anual superior a 400 mm, e 60% entre 200 mm a 400 mm, evidenciando a grande limitação de alternativas de uso agrícolas dessas áreas nas condições naturais, necessitando do uso de irrigação sob ótica da produtividade e da redução dos riscos climáticos. Essa deficiência hídrica representa a fração da evapotranspiração potencial que não foi utilizada por limitação de disponibilidade hídrica. Para o Estado do Espírito Santo, a quantificação da Evapotranspiração assume

particular importância em virtude dos déficits hídricos ao longo do ano constituírem uma limitação à produção agrícola e uma permanente fonte de risco agrícola, principalmente em áreas significativas, cujas características climáticas se aproximam da semi-aridez (ARES, 2006).

Neste trabalho teve-se por objetivo avaliar o desempenho dos métodos empíricos Penman (48) Original, Penman modificado (FAO 24), Radiação (FAO 24), Blaney-Criddle (FAO 24), Hargreaves-Samani (1985), Priestley-Taylor, Makkink (1957) e Turc (1961) em relação ao método padrão Penman-Monteith (PM-FAO 56) para o período chuvoso para três localidades no Estado do Espírito Santo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O Trabalho foi conduzido especializado nos municípios de Cachoeiro de Itapemirim (Latitude 20° 42' S, Longitude 41° 17' W, Altitude de 146,0 m), Sooretama (Latitude de 19° 22' S, Longitude de 40° 04' W, Altitude de 75,0 m) e Venda Nova do Imigrante (Latitude de 20° 23' S, Longitude de 41° 11' W, Altitude de 727,0 m) situados, respectivamente, nas regiões Norte, Sul e Serrana do Estado do Espírito Santo.

Para a estimativa da ETo foram coletadas em cada via plataforma de coletas de dados do CEPTEC/INPE, as variáveis climáticas: pressão atmosférica, temperatura média, máxima e mínima do ar, umidade relativa média do ar, precipitação, radiação solar acumulada e velocidade do vento referentes ao período seco de 2006 (junho, julho e agosto) oriundas das estações automatizadas agrometeorológicas denominadas AGROMET instaladas nos municípios de Sooretama, Cachoeiro de Itapemirim e Venda Nova do Imigrante de códigos nº 31957, 31958 e 31959, respectivamente.

Foi utilizado o Programa Computacional REF-ET, para a estimativa da ETo pelos métodos empíricos de Penman (48) original, Penman Modificado (FAO 24), Radiação (FAO 24), Blaney-Criddle (FAO 24), Hargreaves-Samani (85), Priestley-Taylor, Makkink e Turc (61) os quais foram comparadas com o método universal padrão Penman-Monteith (PM-FAO 56) nas escalas diária, três, cinco e sete dias para períodos seco nas localidades descritas anteriormente.

Antes de se iniciar o trabalho, com o propósito de tornar os dados das variáveis agrometeorológicas

mais homogêneos, foi feita uma verificação e posteriormente eliminação daquelas informações consideradas discrepantes, incompletas e até inconsistentes visando obter agrupamentos de dados mais representativos. Para fins de discussão, foram apresentados os resultados dos períodos chuvoso (outubro, novembro e dezembro de 2005) das localidades estudadas.

Após a verificação dos dados foi realizada uma análise de regressão que correlacionou os valores de ETo estimados pelas equações empíricas com o método universal padrão FAO 56 Penman-Monteith (FAO 56-PM). Foram considerados os parâmetros da equação de regressão  $\beta_0$  e  $\beta_1$ , coeficiente de determinação ( $r^2$ ), coeficiente de correlação ( $r$ ).

A análise de desempenho dos modelos foi feita comparando os valores de ETo obtidos pelos métodos empíricos com o método universal padrão FAO 56 – Penman-Monteith (FAO 56-PM). A metodologia utilizada para comparar os resultados foi à estimativa do erro padrão (EEP) proposta por Allen *et al.* (1986) calculada por meio da equação:

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

em que,

EEP = estimativa do erro padrão, mm. dia<sup>-1</sup>;

y = evapotranspiração de referência estimada pelo método padrão, mm. dia<sup>-1</sup>

$\hat{y}$  = evapotranspiração de referência obtida pelo considerado, mm. dia<sup>-1</sup>; e

n = número de observações.

A precisão foi dada pelo coeficiente de determinação, o qual indica o grau em que a regressão explica a soma do quadrado total. A aproximação dos valores de ETo estimados por determinado método estudado, em comparação aos valores obtidos pelo método padrão, foi obtido pelo índice de concordância (d) (Willmott *et al.*, 1985), onde seus valores variam de zero (não existe concordância) a “um” (concordância perfeita). O valor de (d) é calculado por meio da seguinte equação:

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

em que,

d = índice de concordância ou ajuste;

P<sub>i</sub> = evapotranspiração de referência obtida pelo método considerado, mm. dia<sup>-1</sup>;

O<sub>i</sub> = evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão, mm. dia<sup>-1</sup>;

O = média dos valores de ETo obtida pelo método padrão, mm. dia<sup>-1</sup>; e

n = número de observações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Thornthwaite (1948) a localidade de Sooretama apresenta a seguinte classificação climática: C2A'ra' Clima Úmido Subúmido (C2), Megatérmico (A'), pequena ou nenhuma deficiência hídrica (r), concentração de 33,3% da evapotranspiração potencial anual no trimestre mais quente (dezembro, janeiro e fevereiro). Por sua vez a localidade de Venda Nova do imigrante apresenta B3B'3 ra' clima úmido (B3), mesotérmico (B'3), pequena ou nenhuma deficiência hídrica (r), concentração de 33,2% da evapotranspiração potencial anual no trimestre mais quente (dezembro, janeiro e fevereiro) e a localidade de Cachoeiro do Itapemirim apresenta C1A' da clima seco e Sub úmido (C1), megatérmico (A'), pequeno ou nenhum excesso hídrico (d), concentração de 34,6% da evapotranspiração potencial anual no trimestre mais quente (dezembro, janeiro e fevereiro).

Na Tabela 1 encontram-se os parâmetros da equação de regressão ( $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ) coeficiente de determinação ( $r^2$ ), coeficiente de correlação (r), estimativa do erro padrão (EEP), índice de concordância (d), índice de confiança ou desempenho (c) e valores da ETo nas escalas diárias, três, cinco e sete dias para o período chuvoso (outubro, novembro e dezembro) de 2005 para a localidade de Venda Nova do Imigrante-ES.

Na análise dos resultados obtidos no período chuvoso (outubro, novembro e dezembro) de 2005, localidade de Venda nova do Imigrante, na escala diária, o melhor método dentre os estudados foi de Turc com Ótimo desempenho (c = 0,93; d = 0,973; EEP = 0,475) e elevada precisão (r = 0,96), com estimativa da ETo próximo do obtido pelo método padrão FAO 56-PM. Os demais métodos apresentaram desempenho caracterizado com Ótimo, porém com elevados valores de estimativa do erro padrão, necessitando de novos estudos. Restrição ao uso do

Tabela 1

Parâmetros da equação de regressão ( $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ) coeficiente de determinação ( $r^2$ ), coeficiente de correlação ( $r$ ), estimativa do erro padrão (EEP), índice de concordância ( $d$ ), índice de confiança ou desempenho ( $c$ ) e valores da ETo diárias, três, cinco e sete dias, para o período chuvoso (outubro, novembro e dezembro) de 2005 na localidade de Venda Nova - ES

Métodos	$\beta_0$	$\beta_1$	$r^2$	EEP	$r$	$d$	$c$	Classificação*	ETo (mm)
Diárias									
Fao 56 P.M									3,35
Penman Original	-0,552	1,190	0,914	0,590	0,95	0,970	0,92	Ótimo	3,43
Fao 24 Pen Mod	-1,318	1,472	0,943	1,018	0,97	0,945	0,91	Ótimo	3,61
Fao 24 Rd	-1,092	1,439	0,980	0,887	0,99	0,955	0,94	Ótimo	3,73
Fao 24 BC	0,570	0,810	0,919	0,509	0,95	0,966	0,92	Ótimo	3,38
Harg-Samani	3,300	0,397	0,443	1,789	0,66	0,765	0,50	Sofrível	4,63
Priestley-Taylor	0,090	1,151	0,956	0,768	0,97	0,955	0,93	Ótimo	3,94
Makkink-57	-0,433	0,963	0,970	0,628	0,98	0,964	0,94	Ótimo	2,79
Turc-61	0,010	1,008	0,925	0,475	0,96	0,973	0,93	Ótimo	3,38
Três Dias									
Fao 56 P.M									3,30
Penman Original	-0,267	1,106	0,959	0,358	0,98	0,978	0,95	Ótimo	3,38
Fao 24 Pen Mod	-0,990	1,377	0,965	0,686	0,98	0,962	0,94	Ótimo	3,55
Fao 24 Rd	-1,013	1,419	0,983	0,739	0,99	0,958	0,95	Ótimo	3,67
Fao 24 BC	0,444	0,846	0,958	0,330	0,98	0,986	0,96	Ótimo	3,24
Harg-Samani	2,705	0,567	0,653	1,542	0,80	0,763	0,61	Mediano	4,57
Priestley-Taylor	0,162	1,129	0,973	0,679	0,98	0,957	0,94	Ótimo	3,89
Makkink-57	-0,392	0,952	0,977	0,597	0,98	0,960	0,94	Ótimo	2,75
Turc-61	0,064	0,992	0,954	0,303	0,97	0,990	0,96	Ótimo	3,33
Cinco Dias									
Fao 56 P.M									3,30
Penman Original	-0,139	1,066	0,971	0,263	0,98	0,990	0,97	Ótimo	3,37
Fao 24 Pen Mod	-0,857	1,336	0,976	0,568	0,98	0,964	0,95	Ótimo	3,56
Fao 24 Rd	-1,069	1,436	0,985	0,712	0,99	0,948	0,94	Ótimo	3,67
Fao 24 BC	0,495	0,813	0,961	0,309	0,98	0,982	0,96	Ótimo	3,25
Harg-Samani	2,743	0,555	0,671	1,514	0,81	0,678	0,55	Mediano	4,59
Priestley-Taylor	0,128	1,140	0,973	0,679	0,98	0,941	0,92	Ótimo	3,89
Makkink-57	-0,420	0,961	0,979	0,594	0,99	0,947	0,93	Ótimo	2,76
Turc-61	0,027	1,003	0,963	0,253	0,98	0,990	0,97	Ótimo	3,34
Sete Dias									
Fao 56 P.M									3,26
Penman Original	-0,116	1,061	0,950	0,297	0,97	0,997	0,97	Ótimo	3,34
Fao 24 Pen Mod	-0,851	1,337	0,969	0,535	0,98	0,992	0,97	Ótimo	3,50
Fao 24 Rd	-1,061	1,436	0,985	0,650	0,99	0,988	0,98	Ótimo	3,61
Fao 24 BC	0,363	0,870	0,963	0,249	0,98	0,997	0,98	Ótimo	3,20
Harg-Samani	2,531	0,618	0,663	1,496	0,81	0,947	0,77	Bom	4,54
Priestley-Taylor	0,242	1,106	0,969	0,665	0,98	0,988	0,97	Ótimo	3,85
Makkink-57	-0,394	0,954	0,978	0,590	0,99	0,987	0,97	Ótimo	2,72
Turc-61	-0,052	1,028	0,956	0,254	0,97	0,998	0,97	Ótimo	3,30

\* Camargo e Sentelhas (1997).

método de Hargreaves-Samani com índice  $c = 0,50$ , caracterizado como desempenho Sofrível, com alta estimativa do erro padrão ( $EEP = 1,789 \text{ mm dia}^{-1}$ ), baixa precisão ( $r = 0,66$ ) e superestimando em  $1,28 \text{ mm dia}^{-1}$  (38%) a  $ET_o$  obtida pelo método padrão FAO 56-PM. Resultados semelhantes foram obtidos por Santiago (2001), em Piracicaba, onde o método Hargreaves-Samani apresentou erros elevados ( $c = 0,45$ ;  $r = 0,68$  e  $d = 0,67$ ), não sendo recomendado para as condições climáticas do local do estudo. Para as condições climáticas de Viçosa-MG, Tagliaferre (2006), obteve resultados também semelhantes em relação ao método de Hargreaves-Samani, com super-estimativa da  $ET_o$  em 32% em relação ao método padrão FAO 56-PM e ao método FAO 24 Rd, com alto erro padrão de estimativa. Também para escalas diárias, resultados semelhantes foram obtidos para localidade de Paraipaba-CE, ano de 1978 a 1979, o método de Hargreaves-Samani obteve os seguintes parâmetros ( $r = 0,68$ ;  $d = 0,67$ ), e ( $c = 0,45$ ) representando desempenho Sofrível, o que torna inadequado seu uso para as condições climáticas do estudo (Medeiros, 2003).

Na análise dos resultados obtidos no período chuvoso (outubro, novembro e dezembro) de 2005, localidade de Venda nova do Imigrante, nas escalas de três, cinco e sete dias, os melhores desempenhos foram para os métodos de Turc ( $c = 0,96$ ), Penman (48) original ( $c = 0,95$ ) e FAO 24 BC ( $c = 0,97$ ), classificados como Ótimo, com estimativas do erro padrão iguais a  $0,270 \text{ mm dia}^{-1}$ ;  $0,296 \text{ mm dia}^{-1}$  e  $0,306 \text{ mm dia}^{-1}$ , respectivamente, com índices de concordância próximo da unidade, caracterizando concordância quase perfeita. Sendo assim, estes métodos não apresentam restrição de uso para as condições climáticas do local onde se realizou a pesquisa. Os demais métodos apresentaram desempenho caracterizado como Ótimo, porém com valores elevados do EEP, necessitando de novos estudos. Restrição ao método de Hargreaves-Samani, por apresentar índice médio de desempenho ( $c = 0,66$ ) – Mediano, com valores elevados de EEP nas quatro escalas temporais estudadas e, superestimando em média  $1,27 \text{ mm dia}^{-1}$  (38%) a  $ET_o$  obtida pelo método padrão. Resultados semelhantes foram obtidos para as condições de Viçosa-MG por Tagliaferre (2006).

Segundo Jensen *et al.*, (1990) os métodos que se baseiam na temperatura do ar e radiação, como é o caso de Hargreaves-Samani, tendem a superestimar a  $ET_o$  em 15-20% em climas úmidos (Tagliaferre, 2006). Resultados similares foram obtidos neste trabalho para as condições climáticas, do período

chuvoso de Venda Nova do Imigrante, portanto não sendo recomendado seu uso nas quatro escalas de tempo.

Na Tabela 2 encontram-se os parâmetros da equação de regressão ( $\beta$ ,  $\beta_1$ ) coeficiente de determinação ( $r^2$ ), coeficiente de correlação ( $r$ ), estimativa do erro padrão (EEP), índice de concordância ( $d$ ), índice de confiança ou desempenho ( $c$ ) e valores da  $ET_o$  diárias, três, cinco e sete dias, para o período chuvoso de 2005, para a localidade de Sooretama, ES.

Na análise dos resultados obtidos no período chuvoso (outubro, novembro e dezembro de 2005) para a localidade de Sooretama, na escala diária, os melhores desempenhos ficaram com os métodos de Penman Original, FAO 24 BC, Priestley-Taylor, Makkink e Turc, classificados com Ótimos, sem restrição de uso na estimativa da  $ET_o$  para as condições climáticas do local do trabalho. Quanto aos métodos de FAO 24 Pn Mod., e FAO 24 Rd apresentaram desempenho Ótimos, porém com valores de EEP elevados, necessários novos estudos. Restrição ao método de Hargreaves-Samani pelo desempenho Mediano, superestimativa da  $ET_o$  e elevado valor de  $EEP = 0,891 \text{ mm dia}^{-1}$ . Resultados semelhantes já foram encontrados e citados no trabalho.

Na análise dos resultados obtidos no período chuvoso (outubro, novembro e dezembro de 2005) para a localidade de Sooretama, na escala de três, cinco e sete dias, os métodos foram Pen(48) original, Turc (61), FAO 24 BC, FAO 24 Pn Mod., Priestley-Taylor e Makkink, apresentaram índice médio de “ $c$ ”  $> 0,90$  – classificando-os com desempenho Ótimo, valores de EEP baixo, sem restrição de uso para estimativa da  $ET_o$  para as condições climáticas do local do estudo. Quanto aos métodos de Hargreaves-Samani e FAO 24 Rd, apresentaram desempenho variando de Bom a Muito Bom, porém com valores elevados de EEP, necessários novos estudos. Resultados semelhantes foram obtidos para Venda Nova do Imigrante e para as condições climáticas de Viçosa-MG, já citados no trabalho.

Na Tabela 3 encontram-se os parâmetros da equação de regressão ( $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ) coeficiente de determinação ( $r^2$ ), coeficiente de correlação( $r$ ), estimativa do erro padrão (EEP), índice de concordância ( $d$ ), índice de confiança ou desempenho ( $c$ ) e valores da  $ET_o$  diárias, três, cinco e sete dias, para o período chuvoso de 2005 para localidade da Fazenda Experimental de Bananal do Norte-Cachoeiro de Itapemirim-ES.

Tabela 2

Parâmetros da equação de regressão ( $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ) coeficiente de determinação ( $r^2$ ), coeficiente de correlação ( $r$ ), estimativa do erro padrão (EEP), índice de concordância ( $d$ ), índice de confiança ou desempenho ( $c$ ) e valores da ETo diárias, três, cinco e sete dias, para o período chuvoso (outubro, novembro e dezembro) de 2005 na localidade de Sooretama-ES

Métodos	$\beta_0$	$\beta_1$	$r^2$	EEP	$r$	$d$	$c$	Classificação	ETo (mm)
Diárias									
Fao 56 p.M									3,45
Penman Original	-0,609	1,192	0,914	0,514	0,95	0,981	0,94	Ótimo	3,49
Fao 24 Pen Mod	-1,489	1,449	0,903	0,900	0,95	0,953	0,90	Mbom	3,68
Fao 24 Rd	-0,999	1,473	0,955	0,957	0,97	0,948	0,92	Ótimo	4,07
Fao 24 Bc	0,342	0,991	0,918	0,483	0,96	0,983	0,94	Ótimo	3,76
Harg-Samani	2,200	0,396	0,531	0,891	0,73	0,926	0,67	Mediano	3,57
Priestley-Taylor	-0,045	1,142	0,940	0,600	0,97	0,975	0,94	Ótimo	3,89
Makkink-57	-0,303	0,962	0,933	0,540	0,96	0,975	0,94	Ótimo	3,01
Turc-61	0,270	1,007	0,908	0,496	0,95	0,981	0,93	Ótimo	3,74
Três Dias									
Fao 56 p.M									3,30
Penman Original	-0,218	1,082	0,971	0,254	0,98	0,993	0,98	Ótimo	3,35
Fao 24 Pen Mod	-0,726	1,289	0,952	0,555	0,97	0,972	0,95	Ótimo	3,57
Fao 24 Rd	-0,561	1,354	0,971	0,880	0,98	0,946	0,92	Ótimo	3,90
Fao 24 Bc	0,242	1,016	0,953	0,410	0,97	0,982	0,96	Ótimo	3,59
Harg-Samani	1,170	0,680	0,760	1,624	0,87	0,948	0,82	Mbom	3,41
Priestley-Taylor	0,20	1,123	0,974	0,512	0,98	0,974	0,96	Ótimo	3,72
Makkink-57	-0,089	0,901	0,964	0,486	0,98	0,971	0,95	Ótimo	2,88
Turc-61	0,247	1,010	0,962	0,378	0,98	0,984	0,96	Ótimo	3,59
Cinco Dias									
Fao 56 p.M									3,40
Penman Original	-0,169	1,064	0,976	0,179	0,98	0,995	0,98	Ótimo	3,45
Fao 24 Pen Mod	-0,844	1,315	0,969	0,447	0,98	0,975	0,96	Ótimo	3,63
Fao 24 Rd	-0,666	1,379	0,985	0,757	0,99	0,936	0,93	Ótimo	4,03
Fao 24 Bc	0,354	0,986	0,950	0,386	0,97	0,978	0,95	Ótimo	3,71
Harg-Samani	1,485	0,601	0,701	0,555	0,83	0,942	0,79	Bom	3,53
Priestley-Taylor	0,156	1,083	0,973	0,493	0,98	0,967	0,95	Ótimo	3,84
Makkink-57	-0,010	0,877	0,976	0,474	0,98	0,961	0,95	Ótimo	2,98
Turc-61	0,454	0,952	0,968	0,346	0,98	0,981	0,96	Ótimo	3,70
Sete Dias									
Fao 56 p.M									3,39
Penman Original	-0,356	1,119	0,973	0,191	0,98	0,998	0,98	Ótimo	3,44
Fao 24 Pen Mod	-1,102	1,392	0,963	0,458	0,98	0,993	0,97	Ótimo	3,61
Fao 24 Rd	-0,868	1,438	0,980	0,740	0,98	0,985	0,97	Ótimo	4,01
Fao 24 Bc	0,222	1,025	0,969	0,345	0,98	0,996	0,98	Ótimo	3,70
Harg-Samani	1,483	0,601	0,704	0,484	0,84	0,992	0,83	Mbom	3,52
Priestley-Taylor	-0,001	1,130	0,979	0,476	0,99	0,993	0,98	Ótimo	3,83
Makkink-57	-0,115	0,909	0,969	0,450	0,98	0,992	0,97	Ótimo	2,97
Turc-61	0,324	0,991	0,964	0,336	0,98	0,996	0,98	Ótimo	3,68

\* Camargo e Sentelhas (1997).

Tabela 3

Parâmetros da equação de regressão ( $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ) coeficiente de determinação ( $r^2$ ), coeficiente de correlação ( $r$ ), estimativa do erro padrão (EEP), índice de concordância (d), índice de confiança ou desempenho (c) e valores da ETo diárias, três, cinco e sete dias, para o período chuvoso 2005, localidade da Fazenda Experimental Bananal do Norte- Cachoeiro de Itapemirim-ES

Métodos	$\beta_0$	$\beta_1$	$r^2$	EEP	r	d	c	Classificação	ETo (mm)
Diárias									
Fao 56 p.M									3,70
Penman Original	-0,399	1,088	0,91	0,620	0,95	0,970	0,92	Ótimo	3,69
Fao 24 Pen Mod	-1,148	1,393	0,91	1,090	0,95	0,940	0,89	Mbom	4,09
Fao 24 Rd	-0,714	1,263	0,93	0,820	0,96	0,960	0,92	Ótimo	4,03
Fao 24 Bc	0,502	0,898	0,93	0,480	0,96	0,980	0,94	Ótimo	3,88
Harg-Samani	2,447	0,685	0,759	1,559	0,87	0,864	0,75	Bom	5,02
Priestley-Taylor	0,219	0,927	0,89	0,640	0,94	0,970	0,91	Ótimo	3,70
Makkink-57	-0,009	0,793	0,84	1,070	0,91	0,910	0,83	Mbom	2,97
Turc-61	0,297	0,881	0,90	0,570	0,95	0,970	0,92	Ótimo	3,61
Três Dias									
Fao 56 p.M									3,76
Penman Original	0,360	1,074	0,947	0,407	0,97	0,983	0,95	Ótimo	3,69
Fao 24 Pen Mod	-1,154	-1,394	0,946	0,847	0,97	0,947	0,92	Ótimo	4,09
Fao 24 Rd	-0,662	1,248	0,949	0,642	0,97	0,965	0,94	Ótimo	4,03
Fao 24 Bc	0,501	0,898	0,957	0,347	0,98	0,985	0,96	Ótimo	3,87
Harg-Samani	2,383	0,703	0,841	1,441	0,91	0,864	0,79	Bom	5,02
Priestley-Taylor	0,170	0,939	0,935	0,390	0,96	0,982	0,95	Ótimo	3,70
Makkink-57	0,040	0,780	0,903	0,949	0,95	0,890	0,85	Mbom	2,97
Turc-61	0,327	0,872	0,936	0,425	0,96	0,977	0,94	Ótimo	3,60
Cinco Dias									
Fao 56 p.M									3,76
Penman Original	-0,130	1,016	0,961	0,282	0,98	0,992	0,97	Ótimo	3,69
Fao 24 Pen Mod	-0,872	1,319	0,959	0,658	0,98	0,988	0,96	Ótimo	4,09
Fao 24 Rd	-0,418	1,182	0,956	0,503	0,97	0,979	0,95	Ótimo	4,02
Fao 24 Bc	0,458	0,909	0,970	0,246	0,98	0,993	0,97	Ótimo	3,87
Harg-Samani	2,117	0,771	0,860	1,398	0,92	0,973	0,90	Mbom	5,02
Priestley-Taylor	0,451	0,863	0,967	0,289	0,98	0,991	0,97	Ótimo	3,70
Makkink-57	0,307	0,707	0,885	0,968	0,94	0,834	0,78	Bom	2,98
Turc-61	0,552	0,810	0,943	0,403	0,97	0,973	0,94	Ótimo	3,62
Sete Dias									
Fao 56 p.M									3,73
Penman Original	-0,284	1,057	0,965	0,261	0,98	0,998	0,98	Ótimo	3,66
Fao 24 Pen Mod	-1,141	1,390	0,966	0,649	0,98	0,990	0,97	Ótimo	4,04
Fao 24 Rd	-0,627	1,238	0,958	0,498	0,98	0,994	0,97	Ótimo	3,99
Fao 24 Bc	2,389	0,702	0,877	1,426	0,93	0,973	0,91	Ótimo	5,01
Harg-Samani	1,457	0,608	0,776	0,615	0,99	0,990	0,87	Mbom	3,73
Priestley-Taylor	0,308	0,901	0,977	0,211	0,88	0,998	0,99	Ótimo	3,67
Makkink-57	0,045	0,777	0,923	0,871	0,99	0,976	0,94	Ótimo	2,98
Turc-61	0,414	0,847	0,943	0,346	0,96	0,997	0,97	Ótimo	3,58

\* Camargo e Sentelhas (1997).

Na análise dos resultados obtidos no período chuvoso (outubro, novembro e dezembro de 2005) para a localidade da Fazenda Experimental Bananal do Norte, Cachoeiro de Itapemirim, ES, na escala diária, o melhor método foi o FAO 24 BC ( $c = 0,94$ ) com desempenho Ótimo, altos índices de precisão e de exatidão. Quanto aos demais métodos apresentaram índice “c” Variando de 0,75 a 0,92, porém com valores elevados e discrepantes da EEP dos já obtidos no referido trabalho, necessitando de novos estudos.

Na análise dos resultados obtidos no período chuvoso (outubro, novembro e dezembro de 2005) para a localidade da Fazenda Experimental Bananal do Norte, Cachoeiro de Itapemirim, ES, nas escalas de três, cinco e sete dias, os melhores métodos foram Pn (48) original ( $c = 0,96$ ), FAO 24 BC ( $c = 0,94$ ) Priestley-Taylor ( $c = 0,97$ ) e Turc(61) ( $c = 0,95$ ), classificando-os com desempenho Ótimo. Quanto aos métodos de FAO 24 Pn Mod., FAO 24 Rd, Makkink (MK) e Hargreaves-Samani (HS85) apresentaram desempenho variando de Bom a Ótimo, porém com valores elevados de EEP, requerem novos estudos.

Considerando que o trabalho talvez seja o primeiro do gênero para o Estado do Espírito Santo, algumas considerações sobre restrições de uso de determinada equação empírica, novos estudos deverão ser realizados visando à validação, e, até proposições para que a mesma possa ser utilizada com mais eficiência para as condições climáticas das três localidades estudadas.

## CONCLUSÕES

Para as condições climáticas nos períodos seco chuvoso de 2005 da localidade de Venda Nova do Imigrante, ES, os métodos de estimativa da ETo analisados e avaliados em relação ao método padrão FAO 56-PM, apresentaram os seguintes resultados:

Na escala temporal diária o ranking dos métodos foram Turc ( $c = 0,93$ ) com desempenho ótimo, Pn (48) original ( $c = 0,78$ ), FAO 24 BC ( $c = 0,77$ ), PT( $c = 0,76$ ) e MK ( $c = 0,76$ ) – com

desempenho Bom, e Hargreaves-Samani ( $c = 0,23$ ), com desempenho Péssimo;

Nas escalas temporais de três, cinco e sete dias, o ranking dos métodos foram FAO 24 BC ( $c$  médio = 0,96), Pn (48) original ( $c = 0,95$ ), Turc ( $c$  médio = 0,93), FAO 24 Pn Mod. ( $c = 0,92$ ) com desempenho Ótimo, Priestley-Taylor (PT) ( $c$  médio = 0,90), Makkink (MK) ( $c = 0,81$ ) com desempenho Muito bom e Hargreaves-Samani ( $c = 0,69$ ) com desempenho Mediano.

Para as condições climáticas nos períodos chuvoso de 2005 da localidade de Sooretama, ES, os métodos de estimativa da ETo analisados e avaliados em relação ao método padrão FAO 56-PM, apresentaram os seguintes resultados:

Na escala temporal diária o ranking dos métodos foi FAO 24 BC ( $c = 0,94$ ), Makkink ( $c = 0,94$ ), Pn (48) original ( $c = 0,94$ ), Priestley-Taylor ( $c = 0,94$ ) e Turc ( $c = 0,93$ ) com desempenho bom, Hargreaves-Samani ( $c = 0,67$ ) com desempenho Mediano.

Nas escalas temporais de três, cinco e sete dias, o ranking dos métodos foram FAO 24 BC ( $c = 0,94$ ), Pn (48) original ( $c = 0,93$ ), FAO 24 Pn Mod. ( $c = 0,93$ ), Priestley-Taylor ( $c = 0,90$ ) com desempenho Ótimo, Makkink ( $c = 0,84$ ) e Turc ( $c = 0,81$ ) com desempenho Muito Bom e por fim Hargreaves-Samani ( $c = 0,62$ ) com desempenho Mediano.

Para as condições climáticas nos chuvoso de 2005 da localidade Faz. Exp. Bananal do Norte – Cachoeiro de Itapemirim, ES, os métodos de estimativa da ETo analisados e avaliados em relação ao método padrão FAO 56-PM apresentaram os seguintes resultados:

Na escala temporal diária o ranking dos métodos foram FAO 24 BC ( $c = 0,94$ ) com desempenho Ótimo; Priestley-Taylor ( $c = 0,71$ ) com desempenho Bom, e Hargreaves-Samani ( $c = 0,54$ ) com desempenho Mediano;

Nas escalas temporais de três, cinco e sete dias, o ranking dos métodos foram Pn (48) original ( $c = 0,94$ ), FAO 24 Pn Mod. ( $c = 0,94$ ), FAO 24 BC ( $c = 0,94$ ) com desempenho Ótimo, Priestley-Taylor ( $c = 0,90$ ), Turc ( $c$  médio = 0,90) com desempenho Muito bom e por fim Hargreaves-Samani ( $c = 0,62$ ) com desempenho Mediano.



**LITERATURA CITADA**

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. 1986.** Evapotranspiração de colheitas Diretrizes para computar necessidades de água de colheitas - irrigação e drenagem –Boletim FAO 56 - Roma.
- ARES. ATLAS DAS ÁREAS COM POTENCIAL DE RISCOS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, 2006.** Governo do Estado do Espírito Santo, Vitória, ES, 125 p.
- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. 1997.** Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 5, n. 1, p. 89-97.
- HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. 1985.** Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering Agriculture, Michigan, v. 1, n. 2, p. 96-99.
- JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. 1990.** Evapotranspiration and irrigation water requirements. New York: ASCE, 332 p.
- MAKKINK, G.F. 1957.** Testing the Penman formula by means of lysimeters. Journal of the Institution of Water Engineers, New York, v. 11, p. 277-288.
- MEDEIROS, A.T.; SENTELHAS, P.C.; DE LIMA, R.N. 2003.** Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith de medidas lisimétrica e de equações empíricas, em Paraipaba-CE. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 23, n. 1, p. 31-40.
- ROCHA, O.C.; GUERRA, A.F.; DE AZEVEDO, H.M. 2003.** Ajuste do modelo Chistiansen-Hargreaves para estimativa da evapotranspiração do feijão no cerrado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 263-268.
- SANTIAGO, A.U. 2001.** Evapotranspiração de referência medida por lisímetro de pesagem e estimada por Penman-Monteith (FAO 56), nas escalas mensal e decendial. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia)-USP, Piracicaba.
- TAGLIAFERRE, C. 2006.** Desempenho do irrigâmetro e de dois tipos de minievaporímetros para estimativa da evapotranspiração de referência. 110f. Tese (Doutorado)-UFV, Viçosa.
- THORNTHWAITE, C.W. 1948.** An approach toward rational classification of climate. The Geographical Review. New York, v. 38, n. 1, p. 55-94.
- TURC, L. 1961.** Estimation des besoins en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle, formule climatique simplifiée et mise. Journal Annual Agronomic. Califórnia, v. 12, n. 1, p. 13-49.
- WILLMOTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIS, R.E. 1985.** Statistics for evaluation and comparison of models. Journal of Geophysical Research, Ottawa, v. 90, n. C5. p. 8995-9005.

