



Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.5, nº. 2, p.84–95, 2011
 ISSN 1982-7679 (On-line)
 Fortaleza, CE, INOVAGRI – <http://www.inovagri.org.br>
 Protocolo 045.09 – 29/10/2010 Aprovado em 13/06/2011

DESEMPENHO COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_0)¹

Glaucio Luciano Araujo², Edvaldo Fialho dos Reis², Camila Aparecida da S. Martins²,
 Venilton Santos Barbosa² & Rogerio Rangel Rodrigues².

¹Pesquisa realizada com o apoio CNPq.

²Departamento de Engenharia Rural CCA/UFES, Alto Universitário, Centro CEP: 29500000, Alegre, ES, Brasil,
 Caixa-Postal: 16, glaucio_araujo@yahoo.com.br, edreis@cca.ufes.br, camila.cca@hotmail.com,
vsantos50@gmail.com, rogeriorr7@hotmail.com

Resumo

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 dos seguintes métodos para estimativa de evapotranspiração Radiação-FAO 24, Blaney-Criddle-FAO 24, Hargreaves & Samani, Camargo e Irrigâmetro, em relação ao método padrão proposto pela FAO, Penman-Monteith-FAO 56, em intervalos de um, três, cinco e sete dias, nas condições climáticas do sul do Espírito Santo. O método do Irrigâmetro foi o que apresentou as melhores estimativas da ET_0 em relação ao método padrão, independentemente do intervalo analisado, superestimando a ET_0 em 1,58; 1,59; 1,61 e 1,61% para os intervalos de 1; 3; 5 e 7 dias respectivamente. Os métodos de Camargo e Blaney-Criddle-FAO 24 subestimaram os valores da ET_0 . Os métodos da Radiação-FAO 24 e Hargreaves & Samani superestimaram a evapotranspiração em relação ao método padrão, independentemente do intervalo analisado.

Palavras chave – Irrigação, Evapotranspiração, Irrigâmetro, Penman-Monteith.

COMPARATIVE PERFORMANCE OF METHODS FOR ESTIMATE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION (ET_0)

Abstract - The reference evapotranspiration (ET_0) can be estimated by different methods, the method of Penman-Monteith-FAO 56 is considered the standard method of reference. The aim of this study was to compare the performance of the following methods to estimate evapotranspiration Radiation-FAO 24, Blaney-Criddle-FAO 24, Hargreaves & Samani, Camargo and Irrigâmetro, compared with the standard method proposed by the FAO Penman-Monteith-FAO 56 at intervals of one, three, five and seven days, in the southern Espírito Santo climatic conditions. The method of Irrigâmetro showed the best estimates of ET_0 in relation to the standard method, regardless of the range studied, overestimating the ET_0 on 1,58; 1,59; 1,61 and 1,61% for intervals of 1; 3; 5 and 7 days respectively. The methods of Camargo and Blaney-Criddle-FAO 24 underestimated the values of ET_0 . The methods of the Radiation-FAO 24 and Hargreaves & Samani overestimated the evapotranspiration in relation to the standard method, regardless of the interval analyzed.

Keywords – Irrigation, Evapotranspiration, Irrigâmetro, Penman-Monteith.

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração pode ser definida como a quantidade de água evaporada e transpirada de uma superfície vegetada durante determinado período de tempo (ORTEGA-FARIAS *et al.*, 2009), já a evapotranspiração de referência (ET_0) pode ser definida como a quantidade de água transpirada em uma extensa superfície, com cobertura gramada de altura uniforme, entre 8 e 15 cm, em crescimento ativo, com o solo completamente sombreado e sem déficit de água (AL-GHOBARI, 2000), podendo ser expressa em valores totais, médios, diários e horários, em volume por unidade de área ou em lâmina de água por período predeterminado. Evapotranspiração foi o termo usado por Thornthwaite & Wilm (1944) para expressar a ocorrência simultânea dos processos de evaporação no solo e de transpiração das plantas.

O método de Penman-Monteith-FAO para a estimativa da evapotranspiração de referência é considerado o método padrão de referência (ALLEN *et al.*, 1998), no entanto para a sua utilização são empregados dados de algumas variáveis climáticas. Contudo nem sempre os produtores rurais dispõem desses dados, sendo necessária a utilização de métodos mais simples para o cálculo de ET_0 .

Quantificar o consumo de água das culturas de forma mais precisa significa melhorar as metodologias existentes, buscando-se novas técnicas que permitam avaliações mais rápidas, simples e precisas da evapotranspiração, razão pela qual numerosas metodologias capazes de determinar diretamente a quantidade de água consumida pelas culturas tem sido testadas (PIMENTEL *et al.*, 2010).

O Irrigâmetro é um aparelho evapopluiométrico utilizado no manejo da irrigação, que pode estimar tanto a evapotranspiração de referência quanto a evapotranspiração das culturas. O aparelho otimiza o uso da água na agricultura irrigada, diminuindo possíveis impactos

gerados pela atividade. O Irrigâmetro é uma tecnologia considerada acessível ao produtor rural quando comparado a estações meteorológicas automáticas, que possuem elevado valor, e são de complexa operação. Na utilização do Irrigâmetro o irrigante não necessita ter conhecimento aplicado na área dos cálculos de evapotranspiração, pois o aparelho já informa ao irrigante o momento correto de promover a irrigação, além de indicar também a lâmina a ser aplicada (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

Na escolha de um método para a estimativa da evapotranspiração, devemos levar em consideração sua praticidade e precisão, pois alguns métodos baseados em princípios físicos apresentam limitações, principalmente quanto à instrumentação, o que poderá restringir sua utilização. Científico

A região sul do Estado do Espírito Santo é caracterizada no setor agrícola principalmente por apresentar elevado número de agricultores familiares. A irrigação é uma prática comum para muitos destes agricultores, no entanto estes praticam a irrigação sem qualquer forma de manejo, que resulta em muitas das vezes em colheitas abaixo do esperado. Métodos mais simples, e comprovadamente eficientes para a estimativa da ET_0 podem contribuir para a implantação de práticas para o manejo da irrigação na região, contribuindo para o desenvolvimento científico, agrário, econômico e social do sul do Espírito Santo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de cinco métodos para estimativa de evapotranspiração de referência (Radiação-FAO 24, Blaney-Criddle-FAO 24, Hargreaves & Samani, Camargo e Irrigâmetro), em relação ao método padrão universal proposto pela FAO Penman-Monteith-FAO 56, em intervalos de um, três, cinco e sete dias, nas condições climáticas do sul do Espírito Santo.

DESEMPENHO COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

MATERIAL E MÉTODOS

Os elementos climatológicos utilizados para os cálculos da evapotranspiração de referência (ET_0) pelos métodos utilizados neste estudo 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 INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) localizada na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo no município de Alegre-ES, 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 foram: temperatura do ar máxima e mínima, umidade relativa do ar máxima e mínima, radiação solar, precipitação e velocidade do vento, os dados de velocidade do vento foram medidos a 10 metros da superfície do solo e posteriormente ajustados para a altura de 2 metros utilizando-se a equação de função do vento, descrita por Allen *et al.* (1998). Os dados foram coletados a cada hora.

Os Irrigômetros utilizados para o estudo foram instalados dentro da área onde está instalada a estação meteorológica automática, com os evaporatórios voltados para o norte, com a finalidade de evitar sombreamento da superfície da água que é exposta à atmosfera para a evaporação, uma descrição detalhada do aparelho pode ser encontrada em Oliveira & Ramos (2008). A leitura dos Irrigômetros foi realizada às 9 horas da manhã de cada dia, no período de vigência do horário de verão as leituras foram realizadas às 10 horas da manhã. Os dias em que se registrou precipitação foram excluídos da base de dados para a realização deste estudo, tendo em vista que a chuva altera o nível da água no evaporatório do Irrigômetro e a restituição do nível original nem sempre

ocorre logo após o término da precipitação pluvial.

A ET_0 foi estimada através do Irrigômetro, e dos métodos de Penman-Monteith-Padrão FAO 56 (ALLEN *et al.*, 1998), Radiação-FAO 24, Blaney-Criddle-FAO 24, Hargreaves & Samani (HARGREAVES & SAMANI, 1985), e método de Camargo (CAMARGO & CAMARGO, 2000). Os dados de ET_0 estimados com o método de Penman-Monteith foram utilizados como comparação para avaliar a estimativa de ET_0 pelos demais métodos, 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 estimados pelos métodos de Penman-Monteith-FAO 56, Radiação-FAO 24, Blaney-Criddle-FAO 24 e Hargreaves-Samani foram calculados com uso do aplicativo computacional REF-ET (ALLEN, 2000). O método de Camargo foi calculado por meio de planilha eletrônica.

A análise do desempenho dos métodos em estudo foi realizada por meio da comparação dos valores de evapotranspiração obtidos com os métodos em estudo, 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^{-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.

DESEMPENHO COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

A exatidão está relacionada à aproximação dos valores estimados em relação aos observados. A aproximação dos valores de ET_0 estimados por determinado método estudado, em relação aos valores obtidos com uso do método padrão, foi obtida por um índice designado concordância ou ajuste, representado pela letra “d” (WILLMOTT *et al.*, 1985), seus valores variam desde 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^{-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 quando β_0 é igual a zero é calculado da seguinte forma:

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

onde,

β_1 - coeficiente angular da reta de regressão linear;

ET_0 - evapotranspiração de referencia obtida pelo método padrão, mm d^{-1} ;

ET_m - evapotranspiração de referencia 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 (d). A melhor alternativa foi aquela que apresentou maior r^2 , menor EEP, β_1 próximo da unidade e d próximo de 1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 se encontram as variações médias mensais dos principais elementos meteorológicos utilizados para a estimativa ET_0 , durante o período estudado.

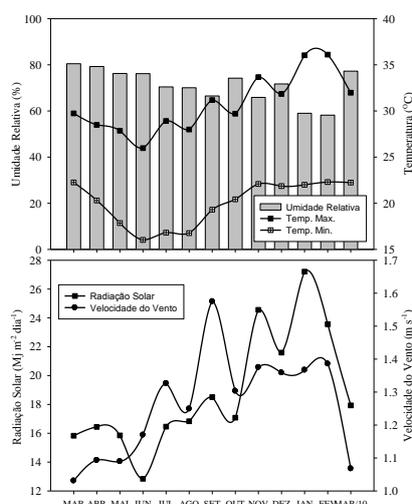


Figura 1 - Variações médias mensais dos elementos meteorológicos, Umidade Relativa do ar (%), Temperaturas máxima e mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$), Radiação Solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) e Velocidade do Vento (m s^{-1}), de março de 2009 a março de 2010.

**DESEMPENHO COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA**

Os elementos meteorológicos apresentados na Figura 1 são os de maior influência na estimativa de evapotranspiração, estes elementos são essenciais para o uso do método de Penman-Monteith-FAO 56. Os maiores valores de umidade relativa do ar, temperatura, radiação solar e velocidade do vento, registrados pela estação meteorológica no período de condução do experimento foram respectivamente: 93,8%; 40,6 °C; 32,03 MJ m⁻²dia⁻¹ e 2,90 ms⁻¹. Os menores valores de umidade

relativa do ar, temperatura, radiação solar e velocidade do vento registrados foram respectivamente: 44,5%; 12,0 °C; 3,54 MJ m⁻²dia⁻¹ e 0,48 m s⁻¹.

Na Tabela 1 se encontram os valores dos coeficientes β_1 , erro-padrão da estimativa, índice de concordância de Willmott, coeficiente de determinação, obtidos das correlações entre os valores de ET₀ dos métodos em estudo com os valores de ET₀ de Penman-Monteith-FAO 56, e valores de evapotranspiração mm d⁻¹ em intervalos diários.

Tabela 1 - Valores dos coeficientes β_1 , erro-padrão da estimativa (EEP), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de determinação (r²), obtidos das correlações entre os valores de ET₀ dos métodos em estudo com os valores de ET₀ de Penman-Monteith-FAO 56, e valores de evapotranspiração (ET₀) mm d⁻¹ em intervalos diários

Método	β_1	EEP	d	r ²	ET ₀
P.-Monteith-FAO 56					3,656
Camargo	0,873	0,759	0,906	0,81	3,315
Radiação-FAO 24	1,218	0,966	0,909	0,97	4,528
Blaney-Criddle-FAO 24	0,939	0,514	0,959	0,91	3,551
Hargreaves & Samani	1,267	1,268	0,848	0,86	4,772
Irrigâmetro	1,013	0,702	0,945	0,81	3,714

Dentre os métodos em estudo para intervalos diários o Irrigâmetro foi o método que apresentou coeficiente β_1 mais próximo da unidade, apresentando diferença de 0,013, mostrando que o Irrigâmetro superestima os valores de ET₀, no entanto esta superestimativa foi quase nula, superestimando a ET₀ em 1,58%. Os métodos de Hargreaves & Samani e Radiação-FAO 24 que se baseiam principalmente na radiação e na temperatura proporcionaram superestimativas dos valores de ET₀, estes métodos apresentaram coeficientes β_1 elevados se distanciando da unidade. O método de Hargreaves & Samani superestimou a ET₀ em 30,51%, já o método Radiação-FAO 24 superestimou a ET₀ em 23,85%, a estimativa da ET₀ por meio destes dois métodos sofreu influência da umidade relativa do ar elevada no local de condução do experimento (Figura 1), que levou a superestimativas da evapotranspiração de referência.

De acordo com Jensen *et al.* (1990), os métodos que se baseiam na temperatura do ar e na radiação, caso de Hargreaves-Samani e Radiação-FAO 24, tendem a superestimar a evapotranspiração de referência em 15 a 25%, em climas úmidos. Em climas úmidos de regiões tropicais, apesar da elevada quantidade de energia, a alta umidade relativa reduz a evapotranspiração, pois o ar está sempre próximo da saturação (LEMON FILHO *et al.*, 2010). Como a umidade relativa do ar é um dos fatores de determinação do déficit de pressão de vapor, que é um indicador da capacidade evaporativa do ar, e estes métodos não consideram este fato, ocorrem superestimativas.

Os métodos de Camargo e Blaney-Criddle-FAO 24 subestimaram os valores de ET₀, para os intervalos diários. O método de Camargo subestimou a ET₀ em 9,33%, e o método de Blaney-Criddle-FAO 24 subestimou em 2,89%. Borges & Mediondo (2007), trabalhando na bacia hidrográfica do rio Jacupiranga, estado de

DESEMPENHO COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

São Paulo, Brasil, encontraram resultados semelhantes, em que os métodos de Blaney-Criddle-FAO 24 e Camargo subestimaram a ET_0 estimada com o método de Penman-Monteith-FAO 56. Silva *et al.* (2011), também encontram resultados de subestimativa da ET_0 utilizando o método de Camargo, no triângulo mineiro, mais precisamente na cidade de Uberlândia-MG. Batista *et al.* (2007) contrariamente encontram valores superestimados de ET_0 utilizando o método de Blaney-Criddle-FAO 24 em Canindé do São Francisco-SE.

O método de Blaney-Criddle-FAO 24 foi o que apresentou menor EEP, resultado semelhante foi encontrado por Tagliaferre *et al.* (2010) trabalhando na Bahia. Os métodos Hargreaves-Samani e Radiação-FAO 24 apresentaram elevados valores para EEP, resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira *et al.* (2008) que trabalharam em Viçosa-MG. Os métodos de Blaney-Criddle-FAO 24 e do Irrigâmetro foram os que apresentaram valores para o índice de concordância de Willmott mais próximos de 1, se aproximando da concordância perfeita. Como este índice é dado por uma aproximação matemática que avalia a exatidão, a dispersão e o afastamento dos valores simulados em relação aos observados (WILLMOTT, 1985), pode-se afirmar com base neste índice que estes dois métodos estimam a ET_0 de forma muito próxima ao método padrão de referência.

Na estimativa da ET_0 no intervalo diário o método que mais se aproximou do método padrão foi o Irrigâmetro, apresentando diferença de $0,058 \text{ mm d}^{-1}$ para as medias do período em estudo, seguido pelo método de Blaney-Criddle-FAO 24, que apresentou $-0,105 \text{ mm d}^{-1}$ de diferença. Os métodos de Camargo, Radiação-FAO 24, e

Hargreaves & Samani, apresentaram respectivamente diferenças de $-0,341$; $0,872$; e $1,115$.

A Figura 2 apresenta as regressões lineares entre valores diários de evapotranspiração de referência estimados pelos métodos estudados em função do método de referência de Penman-Monteith-FAO 56.

Na Figura 2 observa-se que o método de Camargo subestima os valores de ET_0 , juntamente com o método de Blaney-Criddle. Os métodos da Radiação-FAO 24 e Hargreaves & Samani apresentaram superestimativa da ET_0 para o intervalo diário. Para o método do Irrigâmetro a linha de tendência quase sobrepõe à linha de tendência do método padrão Penman-Monteith-FAO 56, indicando que o método apresenta confiabilidade para a estimativa da ET_0 . De acordo com Araujo *et al.* (2010) o Irrigâmetro obteve elevado desempenho na estimativa da evapotranspiração de referência para a região sul do estado do Espírito Santo no período de outono-inverno. Oliveira *et al.* (2008) encontraram resultados semelhantes, onde o Irrigâmetro apresentou melhor resultado em relação aos demais métodos considerados em seu estudo, que teve como base o método de Penman-Monteith-FAO 56. O Irrigâmetro é capaz de estimar a evapotranspiração com boa precisão, sendo esse processo dependente das interações dos diversos elementos meteorológicos e suas inter-relações associadas ao correto ajuste do aparelho (TAGLIAFERRE, 2006). Os valores dos coeficientes β_1 , erro-padrão da estimativa, índice de concordância de Willmott, coeficiente de determinação, obtidos das correlações entre os valores de ET_0 dos métodos em estudo com os valores de ET_0 de Penman-Monteith-FAO 56, e valores de evapotranspiração em intervalos de três, cinco e sete dias, podem ser visualizados na Tabela 2.

DESEMPENHO COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

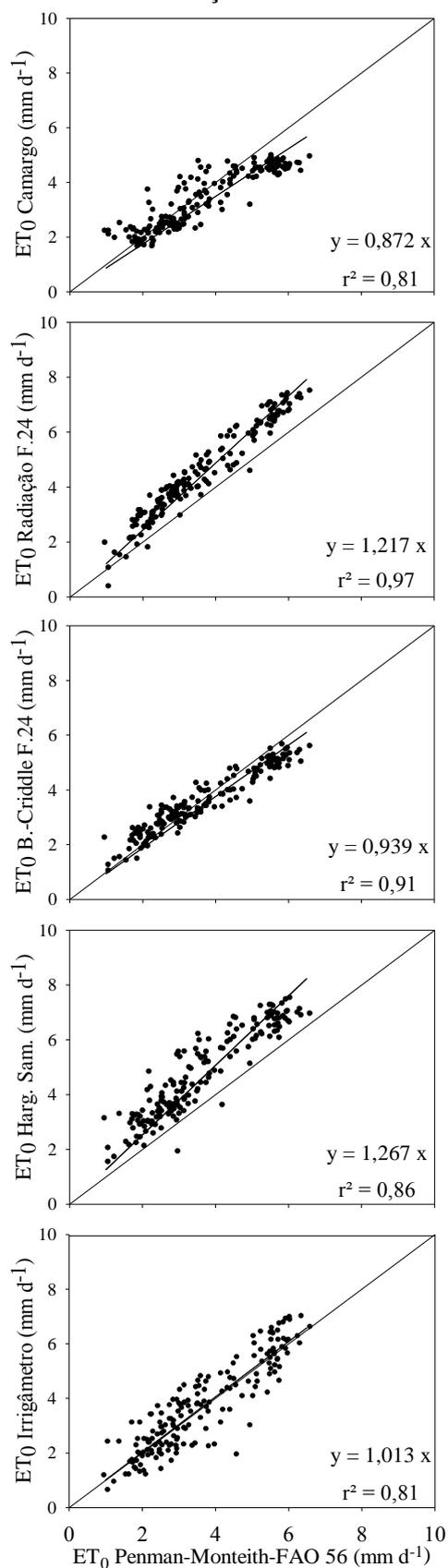


Figura 2 - Regressões lineares com β_0 passando pela origem para os métodos em estudo Camargo, Radiação-FAO 24, Blaney-Criddle-FAO 24, Hargreaves & Samani e Irrigâmetro, em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com suas respectivas equações e coeficientes de determinação (r^2), para intervalos diários.

**DESEMPENHO COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA**

Tabela 2 - 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 dos métodos em estudo com os valores de ET_0 de Penman-Monteith-FAO 56, e valores de evapotranspiração (ET_0) $mm\ d^{-1}$ em intervalos de três, cinco e sete dias

Método	β_1	EEP	d	r^2	ET_0
Período de 3 dias					
P. -Monteith-FAO 56					3,656
Camargo	0,886	0,583	0,942	0,91	3,315
Radiação-FAO 24	1,216	0,914	0,906	0,97	4,528
Blaney-Criddle-FAO 24	0,942	0,440	0,966	0,95	3,551
Hargreaves & Samani	1,280	1,205	0,853	0,93	4,772
Irrigâmetro	1,020	0,420	0,978	0,92	3,714
Período de 5 dias					
P. -Monteith-FAO 56					3,644
Camargo	0,889	0,539	0,951	0,94	3,306
Radiação-FAO 24	1,217	0,911	0,906	0,98	4,519
Blaney-Criddle-FAO 24	0,943	0,419	0,969	0,97	3,545
Hargreaves & Samani	1,283	1,199	0,856	0,94	4,763
Irrigâmetro	1,021	0,280	0,990	0,96	3,703
Período de 7 dias					
P. -Monteith-FAO 56					3,644
Camargo	0,891	0,509	0,956	0,96	3,306
Radiação-FAO 24	1,216	0,905	0,905	0,99	4,519
Blaney-Criddle-FAO 24	0,943	0,410	0,969	0,98	3,545
Hargreaves & Samani	1,285	1,193	0,855	0,96	4,763
Irrigâmetro	1,021	0,277	0,990	0,96	3,703

Na Tabela 2 observa-se elevação dos valores dos coeficientes de determinação para os intervalos de três, cinco e sete dias em comparação aos valores obtidos para intervalos diários. Este fato ocorre, pois o agrupamento dos valores de ET_0 em períodos maiores tende a melhorar as estimativas da evapotranspiração (TAGLIAFERRE *et al.*, 2010), pois nos intervalos de 3, 5 e 7 dias os dados utilizados para as análises de regressão são provenientes de medias, desta forma os erros associados as observações são diluídos, diminuindo a dispersão dos dados elevando o coeficiente de determinação.

O método do Irrigâmetro foi o que apresentou valores mais próximos de 1 para o coeficiente β_1 , superestimando a ET_0 em 1,59%; 1,61% e 1,61% nos intervalos de 3; 5 e 7 dias respectivamente em comparação ao método padrão. O método de Hargreaves-Samani foi o que apresentou valores mais elevados para o coeficiente β_1 , indicando superestimativa da ET_0 , em relação ao método de Penman-Monteith-FAO 56, este método

superestima a ET_0 em 30,52%; 30,69% e 30,69% para os intervalos de 3; 5 e 7 dias respectivamente em comparação ao método padrão, Oliveira *et al.* (2001) trabalhando em Goiás também encontra valores superestimados de ET_0 utilizando método de Hargreaves-Samani. O método Radiação-FAO 24 também apresentou superestimação em relação à Penman-Monteith-FAO 56, superestimado a ET_0 em 23,86%; 24,02% e 24,02% nos intervalos de 3; 5 e 7 dias respectivamente.

Os métodos de Camargo e Blaney-Criddle-FAO 24 subestimaram os valores de ET_0 , em comparação com o método de Penman-Monteith-FAO 56, para os intervalos de 3; 5 e 7 dias, sendo que o método de Camargo subestimou a ET_0 em 9,32%; 9,27% e 9,27% para os intervalos de 3; 5 e 7 dias respectivamente em comparação ao método padrão, Conceição & Mandelli (2005), verificaram desempenho semelhante para o método de Camargo na região de Bento Gonçalves-RS. O método de Blaney-Criddle-FAO 24 apresentou 2,87%; 2,74% e 2,74% de subestimativa da

DESEMPENHO COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

ET_0 para os intervalos de 3; 5 e 7 dias respectivamente. Resultados semelhantes foram apresentados por Tagliaferre *et al.* (2010), onde o método de Blaney-Criddle-FAO 24 subestimou a ET_0 nos intervalos de 1, 3, 5 e 7 dias, na cidade de Eunápolis-BA.

Os valores de EEP dos intervalos de 3; 5 e 7 dias foram menores que os valores de EEP diários. O Irrigâmetro foi o método que apresentou menores valores de EEP, contrariamente ao método Hargreaves & Samani que apresentou valores mais elevados para EEP. Os métodos em estudo apresentaram elevados valores para coeficiente de Willmott, sendo o Irrigâmetro o método cujos valores mais se aproximaram de 1, para os intervalos de 3, 5 e 7 dias, se aproximando da concordância perfeita.

Na estimativa da ET_0 o método que mais se aproximou do método padrão para intervalos de 3, 5 e 7 dias foi o Irrigâmetro, apresentando diferença de 0,058; 0,059 e 0,059 $mm\ d^{-1}$ no valor médio, respectivamente para os intervalos de 3, 5 e 7 dias.

A Figura 3 apresenta as regressões lineares entre valores de ET_0 estimados pelos métodos estudados em função do método de referência Penman-Monteith-FAO 56, para intervalos de três, cinco e sete dias, respectivamente.

De acordo com a Figura 3 a estimativa da evapotranspiração dos métodos em estudo se aproxima daquela obtida com o método padrão de referência Penman-Monteith-FAO 56, nos intervalos 3, 5 e 7 dias, em comparação ao intervalo diário. O método

de Hargreaves & Samani foi o que apresentou maior superestimativa da ET_0 independentemente do intervalo. Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira *et al.* (2008) em Viçosa-MG. O método de Camargo subestimou a evapotranspiração em comparação com o método de Penman-Monteith-FAO 56 nos intervalos de 3, 5 e 7 dias. Back (2008), conclui que o método de Camargo apresenta bons resultados para escalas mensais.

O Irrigâmetro apresentou estimativas consistentes de evapotranspiração em comparação ao método de Penman-Monteith-FAO 56, sendo o método que apresentou valores mais próximos em relação ao método padrão de referência, para os intervalos de 3, 5 e 7 dias. O Irrigâmetro tem-se mostrado capaz de estimar a evapotranspiração com boa precisão (Oliveira *et al.*, 2008), e esse processo depende diretamente dos elementos meteorológicos e suas inter-relações, associado ao correto ajuste do aparelho.

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 insuficientes ou em excesso resultam em perdas e prejuízos consideráveis às plantas e ao solo, diminuindo, dessa forma, a eficiência do uso da irrigação.

**DESEMPENHO COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA**

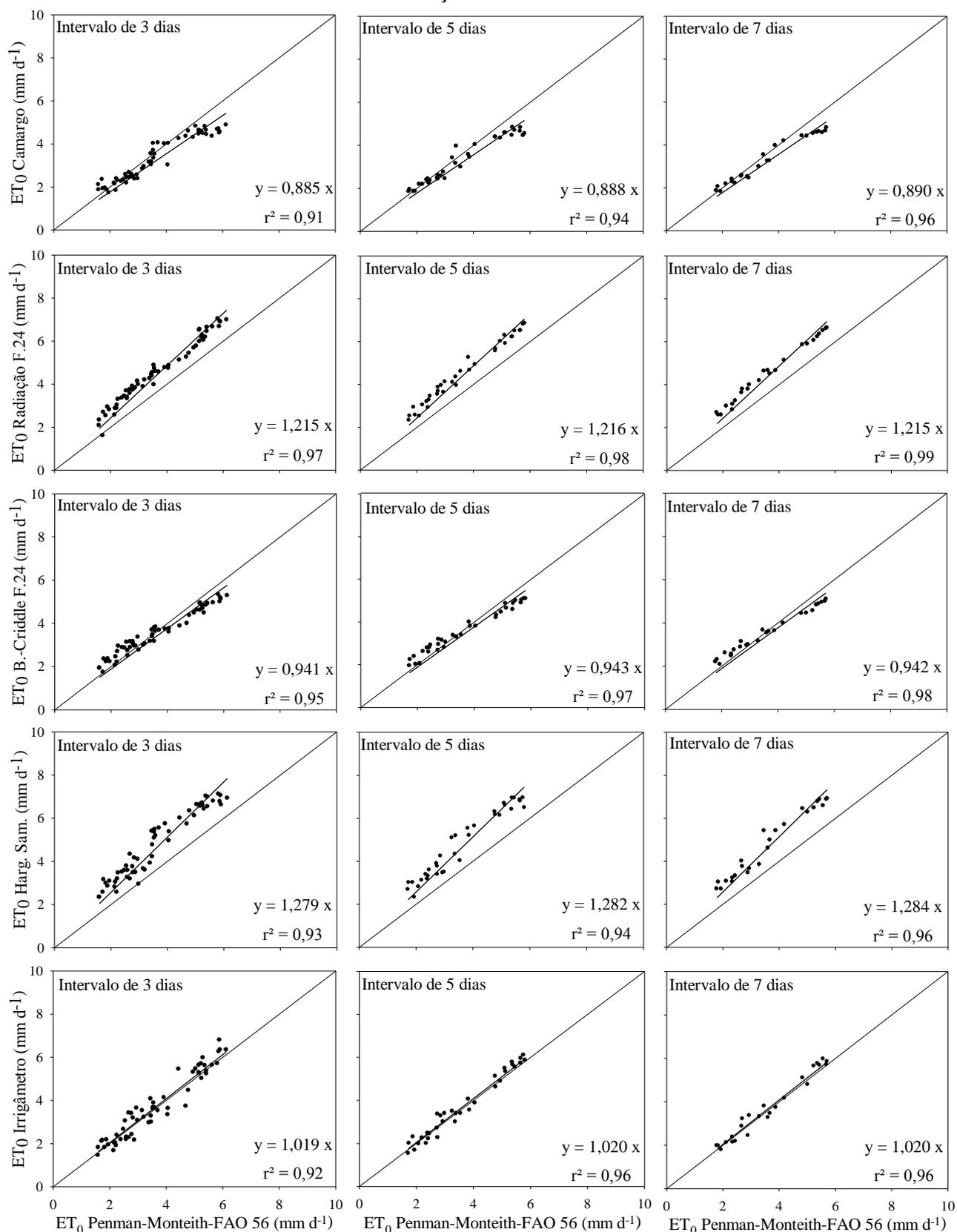


Figura 3 - Regressões lineares com β_0 passando pela origem dos métodos em estudo Camargo, Radiação-FAO 24, Blaney-Criddle-FAO 24, Hargreaves & Samani e Irrigâmetro, em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com suas respectivas equações e coeficientes de determinação (r^2), para intervalos de três, cinco e sete dias.

DESEMPENHO COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

CONCLUSÕES

1. Dentre os métodos avaliados o Irrigâmetro foi o que apresentou as melhores estimativas de evapotranspiração em relação ao método padrão Penman-Monteith-FAO 56, para condições climáticas do sul do Espírito Santo, independentemente do intervalo analisado.
2. Os métodos de Camargo e Blaney-Criddle-FAO 24 subestimaram os valores de evapotranspiração em relação ao método padrão, já os métodos da Radiação-FAO 24 e Hargreaves & Samani superestimam a evapotranspiração em relação ao método padrão, independentemente do intervalo analisado.
3. Com o aumento do intervalo em dias, a evapotranspiração foi estimada de forma mais precisa pelos métodos em estudo, em comparação ao método padrão de referência.

REFERÊNCIAS

- AL-GHOBARI, H. M. Estimation of reference evapotranspiration for southern region of Saudi Arabia. **Irrigation Sciencem**, New York, v. 19, n. 2, p. 81-86, 2000.
- ALLEN, R. G. **REF-ET: Reference evapotranspiration calculator, Version 2.1**. Idaho: Idaho University, 2000. 82p.
- 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.
- ARAUJO, G. L.; REIS, E. F.; OLIVEIRA, R. A. de; BARBOSA, V. S.; RODRIGUES, R. R. Determinação de coeficientes para o Irrigâmetro no período outono-inverno nas condições climáticas do sul do estado do espírito santo. In: IX Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola CLIA 2010 - XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola CONBEA 2010., 2010, Vitória. **Anais...** Vitória: CD-ROM.
- BACK, A. J. Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para a estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga, SC. **IRRIGA**, Botucatu, v.13, n.4, p.449-466, 2008.
- BATISTA, W. R. M.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, A. A. G. Determinação e comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Canindé do São Francisco-SE. **Revista Fapese**, Aracaju, v.3, n.2, p.71-76, 2007.
- BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.3, p.293-300, 2007.
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.125-137, 2000.
- CONCEIÇÃO, M. A. F.; MANDELLI, F. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Bento Gonçalves, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.13, n.2, p.303-307, 2005.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Journal of Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v.1, n.2, p.96-99, 1985.
- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332p.

**DESEMPENHO COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA**

- LEMOS FILHO, L. C. A.; CARVALHO, L. G.; EVANGELISTA, A. W. P.; ALVES JÚNIOR, J. Análise espacial da influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.12, p.1294–1303, 2010.
- OLIVEIRA, L. F. C. CARVALHO, D. F. de; ROMÃO, P. de A.; CORTÊS, F. C. Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para algumas localidades no estado de Goiás e distrito federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.31, n.2, p.121-126, 2001.
- OLIVEIRA, R. A. de; RAMOS, M. M. **Manual do Irrigâmetro**. 1.ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 144p.
- OLIVEIRA, R. A. de; TAGLIAFERRE, C.; SEDIYAMA, G. C.; MATERAM, F. J. V.; CECON, P. R. Desempenho do Irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.2, p.166-173, 2008.
- ORTEGA-FARIAS, S.; IRMAK, S.; CUENCA R. H. Special issue on evapotranspiration measurement and modeling. **Irrigation Science**, New York, v.28, n.1, p.1-3, 2009.
- PIMENTEL, J. da S.; SILVA, T. J. A. da; BORGES JUNIOR, J. C. F.; FOLEGATTI, M. V.; MONTENEGRO, A. A. A. Estimativa da transpiração em cafeeiros utilizando-se sensores de dissipação térmica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.2, p.187-195, 2010.
- REIS, E. F. dos. BRAGANCA, R.; GARCIA, G. de 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**, Arica, v.25, n.3, p.75-84, 2007.
- SILVA, V. J. da; CARVALHO, H. de P.; SILVA, C. R. da; CAMARGO, R. de; TEODORO, R. E. F. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.1, p.95-101, 2011.
- TAGLIAFERRE, C. **Desempenho do irrigâmetro e de dois minievaporímetros para estimativa da evapotranspiração de referência**. Viçosa: UFV, 2006. 99 p. Tese de Doutorado.
- TAGLIAFERRE, C.; SILVA, R. A. de J. ; ROCHA, F. A. ; SANTOS, L. da C. ; SILVA, C. S. Estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiração de referência em Eunápolis-BA. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.23, n.1, p.103-111, 2010.
- THORNTHWAITE, C. W.; WILM, H. G. Report of the committee on evapotranspiration and transpiration 1943-1944. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v.25, n.5, p.686-693, 1944.
- 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.