

# COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS SIMPLIFICADOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET<sub>0</sub>) PARA REGIÕES PRODUTORAS DE CAFÉ BRASILEIRAS<sup>1</sup>

Adjalma Campos de França Neto<sup>2</sup>, Everardo Chartuni Mantovani<sup>3</sup>, Marcelo Rossi Vicente<sup>4</sup>, Gustavo Haddad Souza Vieira<sup>5</sup>, Gilberto Chohaku Sedyama<sup>6</sup>, Brauliro Gonçalves Leal<sup>7</sup>

(Recebido: 29 de junho de 2010; aceito 5 de janeiro de 2011)

**RESUMO:** No presente trabalho, objetivou-se estimar e comparar a evapotranspiração de referência - ET<sub>0</sub> de dois métodos simplificados, Hargreaves-Samani (HS) e Blaney-Criddle-FAO (BC), com o método Penman-Monteith-FAO (PM). Os resultados das estimativas foram obtidos em função dos dados climáticos disponíveis de cada localidade em estudo, com o auxílio do aplicativo Irriplus. As cidades de interesse para o estudo foram selecionadas de acordo com a representatividade das características da região entre os principais centros produtores brasileiros de café arábica (*Coffea arabica* L.): Cerrado, Leste, Sul e Zona da Mata de Minas Gerais, Oeste e Sudoeste da Bahia, sendo as cidades escolhidas: Araguari, Patrocínio, Caratinga, Lavras, Varginha e Viçosa, em Minas Gerais; e Vitória da Conquista e Barreiras, na Bahia. Em todas as localidades, a equação de HS se ajustou melhor à equação de PM, sendo essa a recomendável para o manejo da irrigação em condições limitadas de disponibilidade de dados climáticos.

Palavras-chave: Evapotranspiração, Irriplus, Penman-Monteith-FAO, Hargreaves-Samani e Blaney-Criddle-FAO.

## COMPARISON OF SIMPLIFIED METHODS FOR ESTIMATING REFERENCE CROP EVAPOTRANSPIRATION (ET<sub>0</sub>) FOR BRAZILIAN COFFEE GROWING REGIONS

**ABSTRACT:** The present study aimed to estimate and compare the reference evapotranspiration - ET<sub>0</sub> of two simplified methods, Hargreaves-Samani (HS) and FAO Blaney-Criddle (BC), with the FAO Penman-Monteith (PM) method. The results of the estimates were obtained on the basis of weather data available at each location under study, with the help of Irriplus software. Cities of interest for the study were selected according to the representativeness of the characteristics of the region between the main Brazilian producing centers of Arabica coffee (*Coffea arabica* L.): Cerrado, East, South and Zona da Mata of Minas Gerais, West and Southwest Bahia, with the selected cities being: Araguari, Patrocínio, Caratinga, Lavras, Varginha and Viçosa, in Minas Gerais; and Vitória da Conquista and Barreiras in Bahia. In all locations, the HS equation adjusted better to the PM equation, which is recommended for the management of irrigation in conditions of limited availability of climate data.

Key words: Evapotranspiration, Irriplus, FAO Penman-Monteith, Hargreaves-Samani and FAO Blaney-Criddle.

### 1 INTRODUÇÃO

A irrigação do cafeeiro tem o objetivo de atenuar ou eliminar o déficit hídrico durante todo o ciclo da cultura ou em fases específicas, sendo esse segundo mais comum em áreas de demanda hídrica média ou baixa. Assim, em regiões com déficit hídrico em fases fenológicas importantes, que implicam perdas de produção e qualidade final do produto, a irrigação suplementar tem-se mostrado vantajosa.

Para aplicar a lâmina de irrigação adequada, o agricultor precisa conhecer a demanda hídrica da

cultura que permita a obtenção de produtividades satisfatórias (KISI, 2010), sendo necessária a estimativa precisa da evapotranspiração para o manejo eficiente da irrigação (TRAJKOCIC; KOLAKOVIC, 2009).

Para se determinar a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), Allen et al. (1998) propuseram que seja determinada a evapotranspiração de uma cultura hipotética padrão (ET<sub>0</sub>), denominada evapotranspiração de referência, e que esse valor seja multiplicado a um coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>), que é obtido a partir de observações e pesquisas locais com a cultura de

<sup>1</sup>Trabalho financiado pelo CNP&D Café/Embrapa

<sup>2</sup>Eng. Agrônomo, M. S. Meteorologia Agrícola, Prof. UNIR, Campus Rolim de Moura – adjalma@bol.com.br

<sup>3</sup>Eng. Agrícola, D.S, Professor Titular, DEA/UFV – everardo@ufv.br

<sup>4</sup>Eng. Agrônomo, D.S. Engenharia Agrícola, Prof. IFNMG/Salinas – mrossvicente@gmail.com

<sup>5</sup>Eng. Agrônomo, Doutorando Engenharia Agrícola, Prof. IFES/Santa Teresa – ghsvieira@gmail.com

<sup>6</sup>Eng. Agrônomo, Ph.D, Professor Titular DEA/UFV – g.sedyama@ufv.br

<sup>7</sup>Bacharel em Física, D.S. Engenharia Agrícola, Prof. Adjunto UNIVASF – brauliro.leal@univasf.edu.br

interesse, a partir da relação existente entre a ETo e a ETo.

Existem diversos equipamentos, metodologias e modelos agrometeorológicos utilizados para estimativa da evapotranspiração, mas os mais simples fornecem resultados inconsistentes (JENSEN; BURMAN; ALLEN, 1990; LU et al., 2005; NANDAJIRI; KOVOOR, 2006). Alguns modelos requerem quantidade expressiva de elementos climáticos, como o modelo de Penman-Monteith (ORTEGA-FARIAS; IRMAK; CUENCA, 2009), ocasionando dificuldades na sua utilização (CONCEIÇÃO, 2010), visto que poucos países dispõem, em toda a sua extensão territorial, de estações equipadas o suficiente para fornecerem todos os elementos necessários à aplicação de determinado modelo (MELLO, 1998; TABARI, 2010).

De acordo com Bonomo (1999), é de grande importância o conhecimento dos métodos mais simples de estimativa da evapotranspiração que demandam dados de fácil obtenção e de baixo custo. No entanto, tais métodos devem ser calibrados para locais específicos, de modo a fornecerem resultados mais confiáveis (MOHAWESH, 2010).

Os métodos baseados na temperatura do ar têm sido frequentemente usados e recomendados (JAHANBANI; EL-SHAFIE, 2010; KHOOB, 2008; STOCKLE; KJELGAAR; BELLOCCHI, 2004; TRAJKOCIC; KOLAKOVIC, 2009) devido à simplicidade dos cálculos e por exigirem poucos dados de entrada e de fácil obtenção, visto que utilizam apenas um termômetro de temperaturas máxima e mínima do ar.

A confiabilidade da estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), pelos métodos simplificados, pode ser definida pelo seu grau de aproximação com o valor estimado pelo método-padrão, PM (VESCOVE; TURCO, 2005).

Entre os métodos que podem ser usados com apenas dados de temperatura, destacam-se os de Hargreaves-Samani (HARGREAVES; ALLEN, 2003) e Blaney-Criddle. Tais métodos podem apresentar correções locais de caráter diário, semanal, mensal ou sazonal, que também podem afetar a precisão da estimativa do método. Entretanto, o primeiro método superestima a ETo e o segundo a subestima em locais de clima úmido, como observado

por Amatya, Skaggs e Gregory (1995), Mendonça et al. (2003) e Trajkocic e Kolakovic (2009).

Diante do exposto, realizou-se o presente trabalho com o objetivo de estimar e comparar a evapotranspiração de referência (ETo) calculada por meio de dois métodos simplificados ao método de Penman-Monteith, além de verificar a melhoria dos ajustes para otimização dos métodos simplificados, para oito localidades em regiões tradicionalmente produtoras de café arábica (*Coffea arabica* L.).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### Estimativa da evapotranspiração de referência (ETo)

As estimativas da evapotranspiração de referência (ETo) foram realizadas pelo aplicativo Irriplus (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009) utilizando uma série de dados climáticos diários das estações localizadas nas regiões de estudo, cedidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e contidas no banco de dados climáticos do software. Foram selecionadas as estações meteorológicas que atendessem às características climáticas das regiões determinadas, bem como a série mínima de dados disponíveis (cinco anos).

As localidades e regiões de interesse da pesquisa foram: Araguari-MG (Triângulo Mineiro), Patrocínio-MG (Alto Paranaíba), Viçosa-MG (Zona da Mata), Caratinga-MG (Rio Doce), Lavras-MG e Varginha-MG (Sul de Minas), Barreiras-BA (Oeste da Bahia) e Vitória da Conquista-BA (Sudoeste Baiano).

As estações meteorológicas selecionadas constam na Tabela 1, com as devidas coordenadas geográficas, número de anos de dados climáticos e altitudes.

Os dados climáticos diários disponíveis para a estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) foram: temperaturas máxima e mínima do ar, horas de brilho solar, temperaturas dos termômetros de bulbo seco e de bulbo molhado, umidade relativa média diária do ar e velocidade média do vento.

Os métodos utilizados para estimativa dos valores da ETo foram: Penman-Monteith-FAO (PM) (ALLEN et al., 1998), Hargreaves-Samani (HS) (HARGREAVES; ALLEN, 2003) e Blaney-Criddle-

FAO (BC) (ALLEN; PRUITT, 1986). Os valores diários de ETo foram calculados a partir de uma série histórica de dados meteorológicos de cinco anos, apresentando-se os resultados médios para o período de um ano.

**Comparação entre os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo)**

Compararam-se os valores da evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de HS e BC com os valores obtidos pelo método PM. Os valores de ETo foram analisados para o período de um ano, em valores diários médios. Foram ajustadas as equações de regressão, utilizando-se uma planilha eletrônica.

Para comparação e análise dos resultados, foram utilizados os critérios propostos por Jensen, Burman e Allen (1990), seguindo-se procedimentos descritos por Bonomo (1999) e Mantovani (1993), que envolvem o erro percentual (%), o erro-padrão de estimativa (SEE), o erro-padrão de estimativa ajustado (SEEA) e os coeficientes lineares e angulares de ajuste das equações de regressão (a e b), bem como os respectivos coeficientes de determinação (r<sup>2</sup>).

Determinou-se o erro-padrão de estimativa pela Equação 1.

$$SEE = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (Yp_i - Ymet_i)^2}{n-1} \right)^{1/2} \tag{1}$$

em que:

- SEE = erro-padrão da estimativa, mm d<sup>-1</sup>;
- Yp = ETo estimada pelo método-padrão (PM), mm d<sup>-1</sup>;
- Ymet = ETo estimada pelo método a ser avaliado, mm d<sup>-1</sup>; e
- n = número de observações.

Determinou-se o SEEA empregando a Equação 1, porém o valor da ETo estimada pelo método a ser avaliado (Ymet) foi substituído pelo da ETo recalculada a partir da equação ajustada de regressão, ou seja, Ymet igual à variável independente (X).

Dessa forma, consideraram-se como melhores alternativas aquelas que apresentaram maiores coeficientes de determinação, menores SEE e SEEA, coeficientes lineares próximos de 0 e angulares próximos de 1.

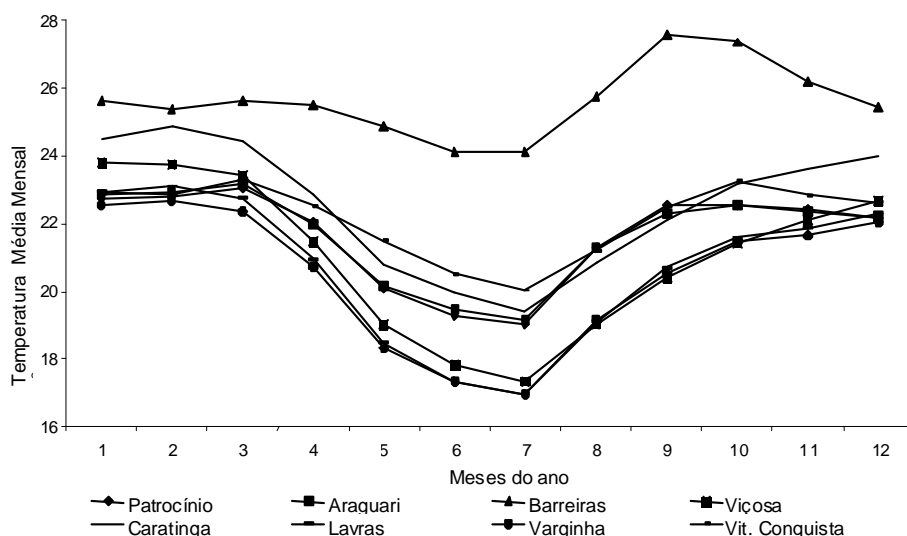
**3 RESULTADOS DISCUSSÃO**

**Análise comparativa dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência**

Observa-se, na Figura 1, as temperaturas médias mensais (°C) para as localidades em estudo. Barreiras-BA foi a cidade que apresentou maiores temperaturas médias mensais e Lavras-MG e Varginha-MG foram as que apresentaram as menores. A variação temporal de temperatura média ocorreu de forma semelhante para todas as localidades em estudo, com as maiores temperaturas médias ocorrendo no período de setembro a abril e as menores entre os meses de maio e agosto.

**Tabela 1** – Localização, coordenadas geográficas e número de anos de dados disponíveis.

Local	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)	Altitude (Metros)	Nº Anos de Dados
Araguari	18°38'	48°11'	921	12
Patrocínio	18°56'	46°59'	965	12
Viçosa	20°45'	42°52'	648	32
Caratinga	19°47'	42°08'	578	8
Lavras	21°15'	45°00'	920	40
Varginha	21°33'	45°25'	916	14
Barreiras	12°09'	44°59'	452	20
Vitória da Conquista	14°52'	40°50'	923	16



**Figura 1** – Temperaturas médias mensais durante o ano nos locais do estudo.

Os valores médios diários da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) de cada mês, estimada pelos métodos PM, BC e HS, para as localidades estudadas são apresentados na Figura 2. Os valores máximos e mínimos diários mensais encontram na Tabela 2.

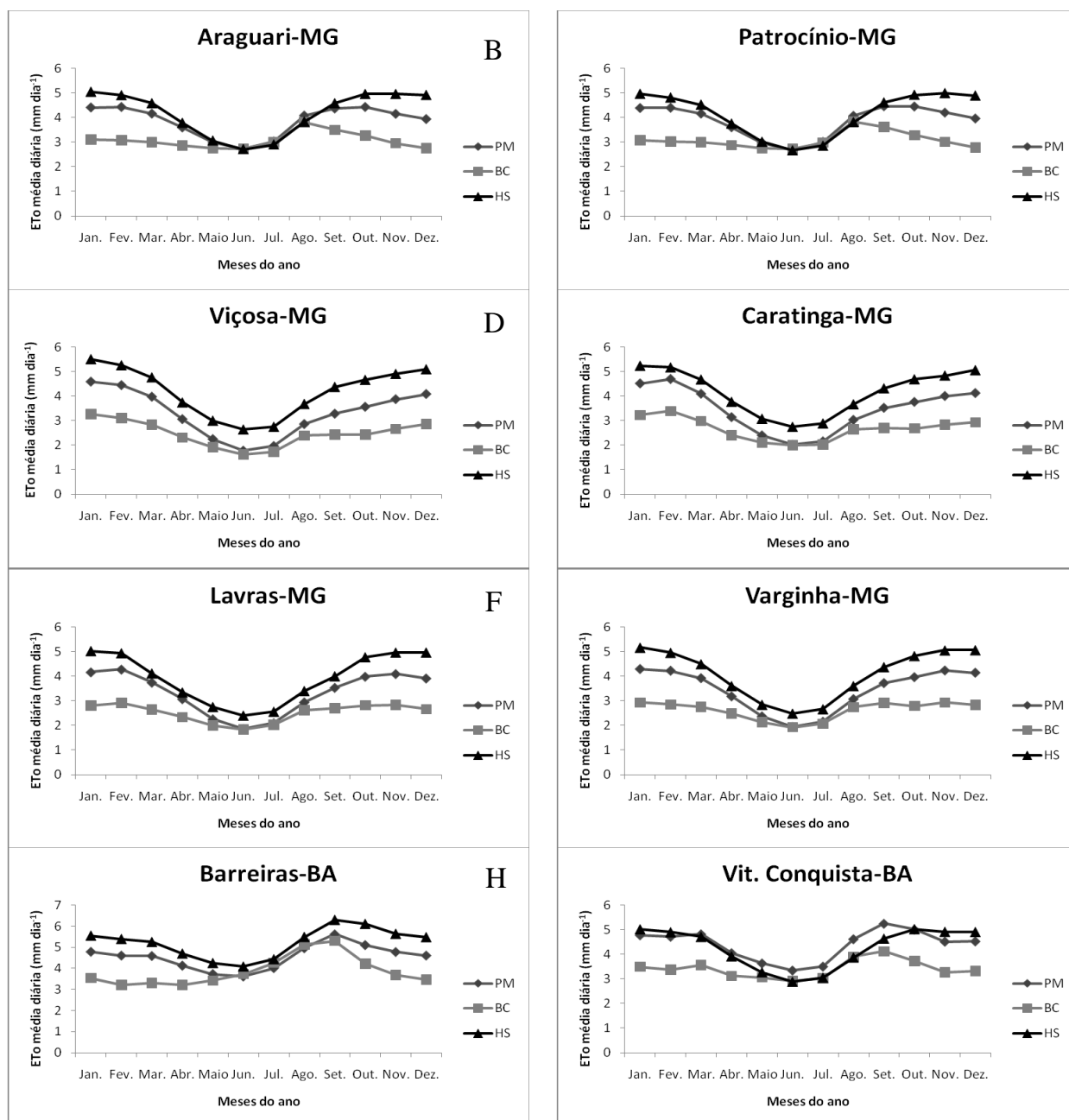
O menor valor da ET<sub>o</sub> foi de 1,39 mm d<sup>-1</sup>, estimado pelo método de BC, no mês de julho, em Viçosa-MG e o valor máximo de ET<sub>o</sub> foi estimado pelo método de HS (6,3 mm d<sup>-1</sup>), no mês de setembro, para a cidade de Barreiras-BA. Verificou-se que os picos máximos de evapotranspiração nas regiões de estudo, de forma geral, foram observados no período de setembro a abril, e os menores, entre os meses de maio e agosto, coincidindo com os períodos de maiores e menores temperaturas médias mensais, respectivamente.

Nas Figuras 3 e 4 são apresentados os gráficos das análises de regressão ajustada de cada um dos métodos simplificados de estimativa da ET<sub>o</sub>, em relação aos valores determinados pelo método padrão PM. Observa-se que o método HS apresenta maior tendência a superestimar a ET<sub>o</sub>, ao passo que o método BC subestima os valores de ET<sub>o</sub>, fato também observado por Mendonça et al. (2003) e Trajkovic e Kolakovic (2009), em comparação com os valores estimados pelo método padrão PM. A existência de boa correlação entre os valores estimados pelo método padrão e pelo método de HS

pode ser comprovada pelo coeficiente de determinação ( $r^2$ ). O método HS apresentou valores de  $r^2$  superiores, se comparado ao método BC, em todos os municípios, com exceção para Vitória da Conquista-BA (Figuras 4g e 4h).

Na Tabela 3, apresentam-se os valores médios diários de ET<sub>o</sub> estimados por cada método, as percentagens de variação da ET<sub>o</sub> em relação ao método-padrão (%), os parâmetros da regressão ajustada (a e b), o coeficiente de determinação ( $r^2$ ), o erro-padrão de estimativa (SEE) e o erro-padrão de estimativa ajustado pela regressão (SEEA).

Comparando-se os valores de ET<sub>o</sub> estimados por HS e BC com o de PM, notou-se uma tendência de superestimativa do método de HS para a maioria dos locais, superestimando em até 27% o valor médio anual para a cidade de Viçosa-MG, com exceção de Vitória da Conquista-BA, onde subestimou em 3% o valor estimado pelo método PM. Já o método de BC subestimou, em todos os locais estudados, o valor médio anual, com o valor máximo de 25% em Viçosa. O método que, em média, mais se aproximou do padrão foi o de HS. A tendência de superestimar a ET<sub>o</sub> pelo método de HS também foi observada por Bonomo et al. (1998), nas regiões do Triângulo e noroeste de Minas Gerais, utilizando-se o mesmo tipo de comparação usada no presente trabalho.



**Figura 2** – Valores médios diários de ET<sub>0</sub> (mm d<sup>-1</sup>) estimados pelos três métodos analisados: Penman-Monteith (PM), Blaney-Criddle (BC) e Hargreaves-Samani (HS), para as localidades de Araguari (A), Patrocínio (B), Viçosa (C), Caratinga (D), Lavras (E), Varginha (F), Barreiras (G) e Vitória da Conquista (H).

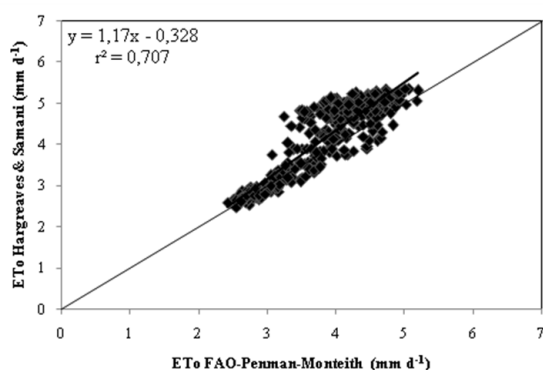
**Tabela 2** – Valores máximos e mínimos mensais de ETo (mm d<sup>-1</sup>) estimados pelos métodos Penman-Monteith-FAO (ETo<sub>PM</sub>), Blaney-Criddle-FAO (ETo<sub>BC</sub>) e Hargreaves-Samani (ETo<sub>Harg</sub>).

Mês	Araguari-MG						Patrocínio-MG						Viçosa-MG					
	ETo <sub>PM</sub>		ETo <sub>BC</sub>		ETo <sub>Harg</sub>		ETo <sub>PM</sub>		ETo <sub>BC</sub>		ETo <sub>Harg</sub>		ETo <sub>PM</sub>		ETo <sub>BC</sub>		ETo <sub>Harg</sub>	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
Jan.	4,41	3,46	3,10	2,33	5,05	4,43	4,78	3,47	3,44	2,33	4,96	4,43	4,58	4,24	3,27	2,96	5,50	5,25
Fev.	4,43	3,92	3,07	2,59	4,91	4,62	5,07	3,91	3,60	2,57	4,81	4,54	4,44	3,89	3,11	2,63	5,25	4,82
Mar.	4,16	3,61	2,99	2,57	4,58	4,27	4,82	3,66	3,53	2,64	4,52	4,08	3,97	3,53	2,83	2,45	4,76	4,23
Abr.	3,60	3,07	2,86	2,23	3,78	3,37	4,04	3,08	3,31	2,26	3,75	3,34	3,06	2,41	2,31	1,89	3,74	3,25
Mai	2,99	2,59	2,74	2,38	3,06	2,71	3,36	2,58	3,19	2,39	3,01	2,66	2,25	1,84	1,91	1,62	3,00	2,66
Jun.	2,72	2,42	2,73	2,31	2,71	2,59	2,90	2,44	2,98	2,29	2,66	2,58	1,78	1,68	1,62	1,44	2,64	2,44
Jul.	3,03	2,55	2,99	2,35	2,90	2,48	3,50	2,55	3,45	2,37	2,85	2,44	1,97	1,64	1,73	1,39	2,75	2,42
Ago.	4,08	3,26	3,80	2,75	3,83	3,32	4,87	3,33	4,58	2,84	3,81	3,30	2,86	2,26	2,39	1,79	3,68	3,12
Set.	4,37	3,69	3,50	2,92	4,58	4,08	4,96	3,77	4,17	3,03	4,61	4,16	3,28	2,70	2,43	1,99	4,37	3,61
Out.	4,43	3,69	3,26	2,62	4,96	4,37	5,18	3,69	3,89	2,61	4,92	4,32	3,56	2,97	2,43	1,99	4,66	4,12
Nov.	4,15	3,24	2,95	2,19	4,96	4,46	5,00	3,29	3,73	2,24	4,99	4,48	3,87	3,38	2,66	2,26	4,90	4,49
Dez.	3,94	3,46	2,76	2,38	4,92	4,54	4,59	3,49	3,32	2,40	4,89	4,58	4,08	3,19	2,86	2,13	5,09	4,59
Mês	Caratinga-MG						Lavras-MG						Varginha-MG					
	ETo <sub>PM</sub>		ETo <sub>BC</sub>		ETo <sub>Harg</sub>		ETo <sub>PM</sub>		ETo <sub>BC</sub>		ETo <sub>Harg</sub>		ETo <sub>PM</sub>		ETo <sub>BC</sub>		ETo <sub>Harg</sub>	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
Jan.	4,51	4,05	3,23	2,79	5,24	4,85	4,17	4,13	2,80	2,75	5,02	4,96	4,29	3,86	2,93	2,58	5,17	4,91
Fev.	4,69	4,14	3,39	2,94	5,17	4,86	4,28	4,15	2,91	2,84	4,93	4,74	4,22	3,70	2,85	2,44	4,96	4,60
Mar.	4,09	3,33	2,98	2,36	4,68	4,24	3,75	3,44	2,65	2,54	4,11	3,77	3,92	3,52	2,76	2,44	4,50	4,03
Abr.	3,14	2,67	2,40	2,10	3,77	3,30	3,08	2,73	2,34	2,24	3,34	2,99	3,18	2,77	2,48	2,22	3,61	3,20
Mai	2,40	1,99	2,10	1,76	3,08	2,79	2,26	2,00	2,00	1,93	2,75	2,50	2,37	1,99	2,14	1,87	2,85	2,52
Jun.	2,02	1,87	2,00	1,78	2,75	2,54	1,87	1,77	1,84	1,80	2,40	2,37	1,94	1,86	1,93	1,72	2,49	2,35
Jul.	2,16	1,84	2,03	1,52	2,89	2,49	2,10	1,89	2,03	1,96	2,56	2,41	2,15	1,90	2,07	1,80	2,67	2,40
Ago.	3,03	2,46	2,65	2,01	3,67	3,06	2,95	2,52	2,62	2,49	3,40	3,04	3,07	2,50	2,74	2,26	3,61	3,07
Set.	3,52	2,83	2,70	2,20	4,32	3,40	3,54	3,26	2,70	2,60	4,00	3,64	3,72	3,26	2,92	2,27	4,38	3,74
Out.	3,76	3,28	2,68	2,23	4,69	4,14	3,99	3,79	2,82	2,72	4,77	4,49	3,96	3,24	2,79	2,24	4,83	4,38
Nov.	4,00	3,13	2,83	2,12	4,84	5,37	4,10	4,03	2,83	2,77	4,96	4,84	4,23	3,73	2,93	2,48	5,06	4,60
Dez.	4,12	3,62	2,93	2,50	5,06	4,63	3,92	3,90	2,66	2,62	4,96	4,93	4,14	3,69	2,84	2,48	5,07	4,62
Mês	Barreiras-BA						Vitória da Conquista-BA											
	ETo <sub>PM</sub>		ETo <sub>BC</sub>		ETo <sub>Harg</sub>		ETo <sub>PM</sub>		ETo <sub>BC</sub>		ETo <sub>Harg</sub>							
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.						
Jan.	4,79	4,20	3,54	2,89	5,55	5,03	4,78	4,19	3,49	2,92	5,02	4,74						
Fev.	4,61	4,08	3,22	2,72	5,39	5,00	4,72	3,78	3,37	2,45	4,90	4,51						
Mar.	4,59	4,23	3,30	2,92	5,25	5,03	4,82	4,30	3,57	3,00	4,71	4,47						
Abr.	4,13	3,62	3,21	2,81	4,70	4,27	4,05	3,46	3,12	2,61	3,92	3,41						

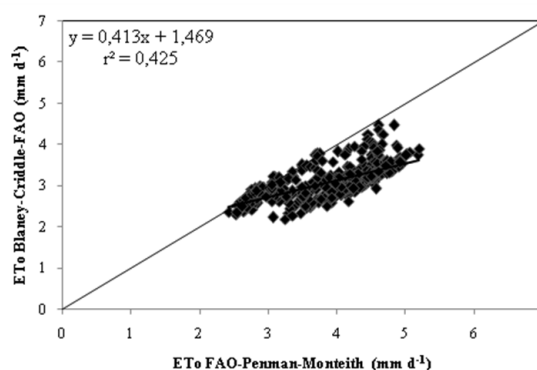
Continua...

**Continuação Tabela 2** – Valores máximos e mínimos mensais de ETo (mm d<sup>-1</sup>) estimados pelos métodos Penman-Monteith-FAO (ETo-<sub>PM</sub>), Blaney-Criddle-FAO (ETo-<sub>BC</sub>) e Hargreaves-Samani (ETo-<sub>Harg</sub>).

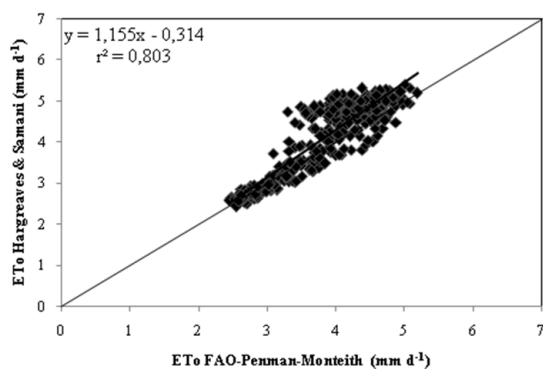
Mês	Barreiras-BA						Vitória da Conquista-BA					
	ETo- <sub>PM</sub>		ETo- <sub>BC</sub>		ETo- <sub>Harg</sub>		ETo- <sub>PM</sub>		ETo- <sub>BC</sub>		ETo- <sub>Harg</sub>	
Maio	3,73	3,44	3,42	2,96	4,25	4,09	3,63	3,14	3,06	2,52	3,27	3,01
Jun.	3,61	3,38	3,73	3,20	4,08	3,94	3,34	3,13	2,92	2,56	2,88	2,70
Jul.	4,01	3,64	4,26	3,78	4,43	4,05	3,50	2,99	3,02	2,51	3,05	2,64
Ago.	4,96	4,39	5,14	4,60	5,49	4,85	4,62	3,83	3,90	3,13	3,87	3,34
Set.	5,62	4,82	5,30	4,03	6,30	5,99	5,25	4,48	4,12	3,25	4,64	4,53
Out.	5,11	4,43	4,21	3,40	6,11	5,67	5,01	4,09	3,73	2,83	5,03	4,65
Nov.	4,78	3,93	3,68	2,82	5,64	5,06	4,52	4,00	3,27	2,78	4,92	4,62
Dez.	4,61	3,81	3,47	2,71	5,48	5,00	4,53	3,99	3,32	2,82	4,91	4,53



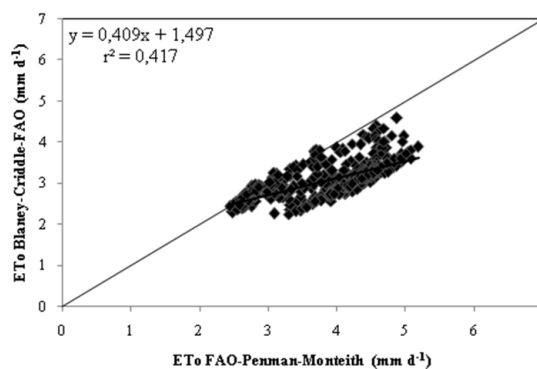
(a)



(b)



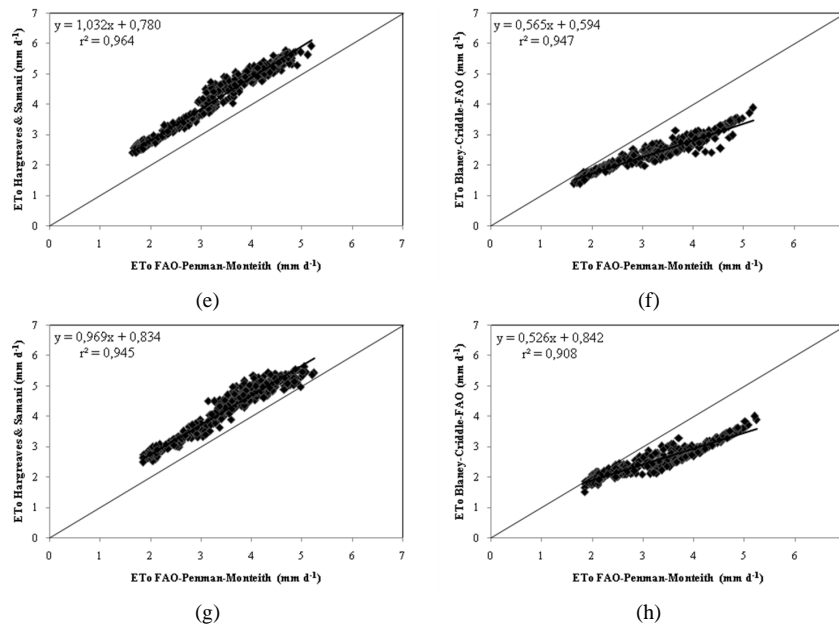
(c)



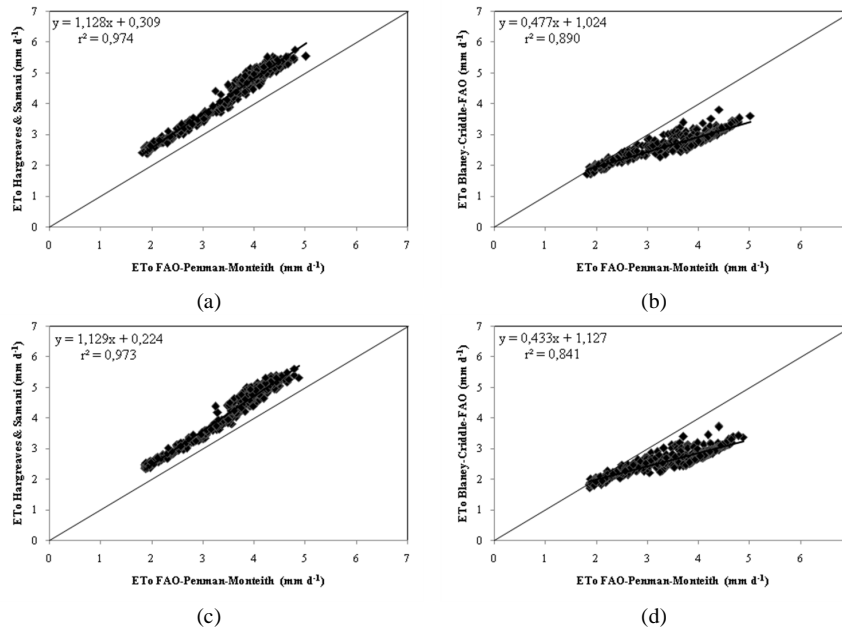
(d)

**Figura 3** – Equações e coeficientes de determinação obtidos dos valores de ETo estimada pelos métodos de HS e BC, com os valores de ETo diárias determinadas pelo método PM, para as cidades de Araguari –MG (a e b), Patrocínio-MG (c e d), Viçosa-MG (e e f) e Caratinga-MG (g e h).

Continua...



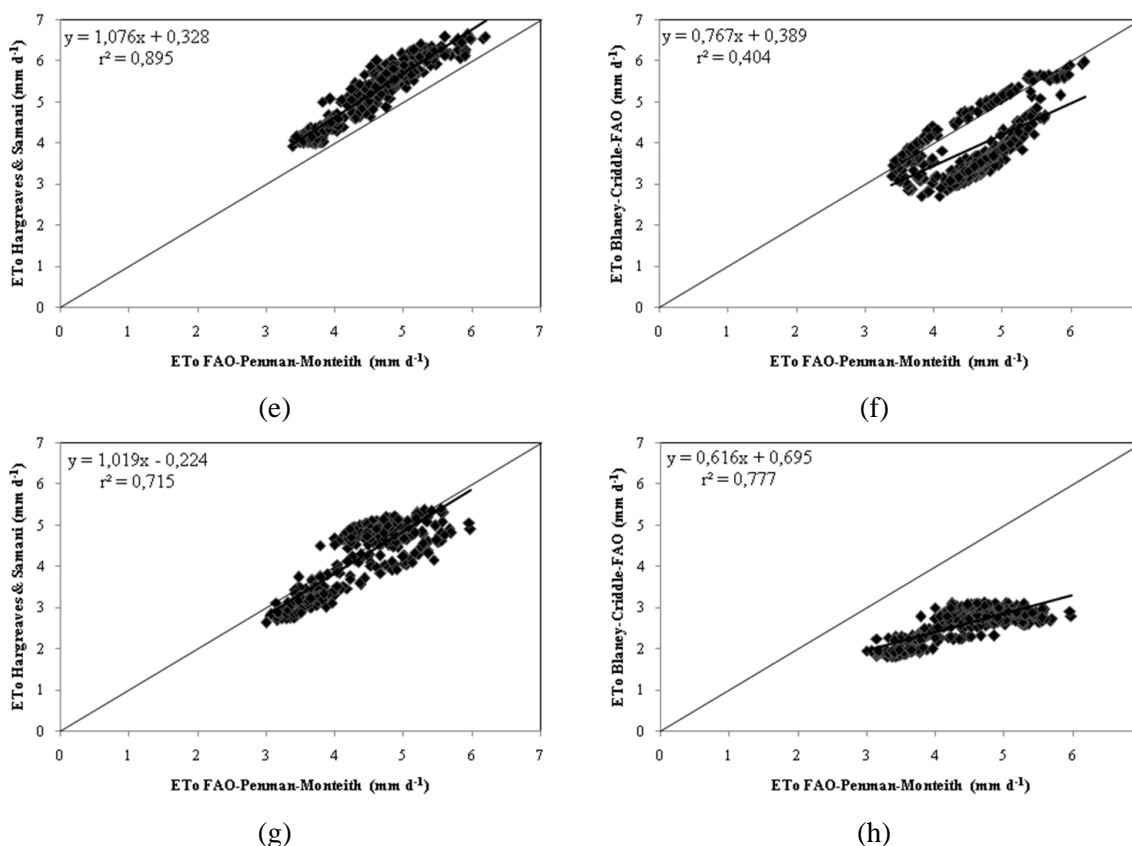
**Continuação Figura 3** – Equações e coeficientes de determinação obtidos dos valores de ETo estimada pelos métodos de HS e BC, com os valores de ETo diárias determinadas pelo método PM, para as cidades de Araguari –MG (a e b), Patrocínio-MG (c e d), Viçosa-MG (e e f) e Caratinga-MG (g e h).



**Figura 4** – Equações e coeficientes de determinação obtidos dos valores de ETo estimada pelos métodos de HS e BC, com os valores de ETo diárias determinadas pelo método PM, para as cidades de Lavras –MG (a e b), Varginha-MG (c e d), Barreiras-BA (e e f) e Vitória da Conquista-BA (g e h).

Continua...





**Continuação Figura 4** – Equações e coeficientes de determinação obtidos dos valores de ETo estimada pelos métodos de HS e BC, com os valores de ETo diárias determinadas pelo método PM, para as cidades de Lavras –MG (a e b), Varginha-MG (c e d), Barreiras-BA (e e f) e Vitória da Conquista-BA (g e h).

Observou-se, com os valores do erro-padrão de estimativa (SEE), que o método de HS estima melhor a ETo do que o de BC. Verificou-se que os valores de SEE apresentaram uma variação de 0,45 mm d<sup>-1</sup> a 1,05 mm d<sup>-1</sup>, com o menor valor sendo obtido pelo método de HS e o maior valor, pelo de BC, ambos para a cidade de Vitória da Conquista-BA. Observou-se uma tendência geral de elevados valores de SEE pelo método de BC, resultantes da consistente subestimativa da ETo para todas as regiões, sendo mais acentuada para os períodos de elevada temperatura média.

Observa-se também, na Tabela 3, que o método de HS, nos diferentes locais de estudo, foi o que apresentou, em média, valores do coeficiente linear (a) da equação de regressão ajustada mais próximos de zero e do coeficiente angular (b) mais próximos da unidade, indicando estreita concordância entre os

valores estimados por esse método e os estimados pelo método-padrão de estimativa PM.

Já os valores do SEEa apresentaram variação de 0,14 mm.d<sup>-1</sup>, em Lavras-MG e Varginha-MG, com o uso do método de HS, até 0,81 mm d<sup>-1</sup> pelo método de BC, para Patrocínio-MG. Comparando os valores de SEE e SEEa, observou-se que, na maioria dos casos, ocorre decréscimo nos desvios com o ajuste feito pela regressão, indicando que pode haver melhoria de estimativa de ETo pelos métodos por meio de ajuste local, à exceção do método de HS, para a cidade de Vitória da Conquista-BA, onde os valores de SEE e SEEa permaneceram num mesmo nível, não havendo necessidade de calibração.

Ambos os métodos requereram maiores correções para a cidade de Viçosa-MG de 0,91 mm d<sup>-1</sup> a 0,18 mm d<sup>-1</sup> e de 0,95 mm d<sup>-1</sup> a 0,22 mm d<sup>-1</sup>, para os métodos HS e BC, respectivamente.

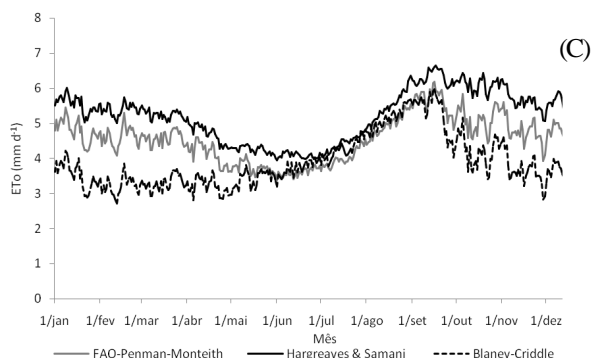
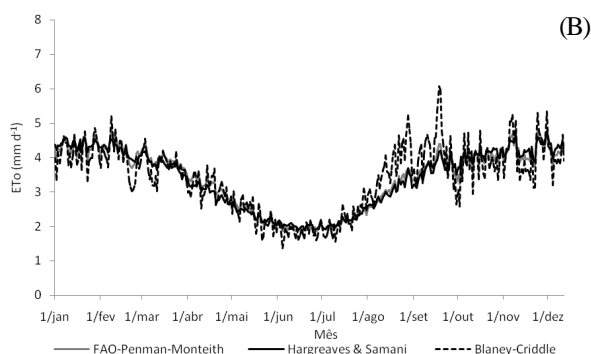
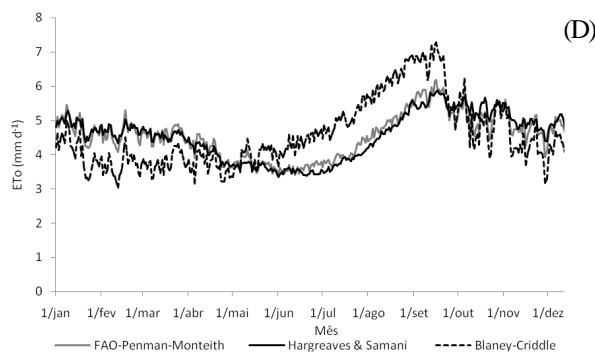
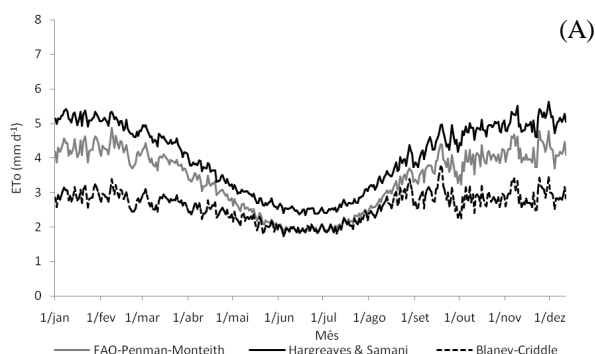
**Tabela 3** – (1) evapotranspiração média diária do período, mm d<sup>-1</sup>; (2) percentagem em relação ao método-padrão (PM); (3) erro-padrão de estimativa em relação ao método padrão, mm d<sup>-1</sup>; (4) e (5) parâmetros de ajuste da equação de regressão ajustada; (6) coeficiente de determinação para a regressão ajustada; e (7) erro-padrão de estimativa ajustado pela regressão, mm d<sup>-1</sup>, para as cidades em estudo.

Método	ET <sub>o</sub> (mm d <sup>-1</sup> ) (1)	% (2)	SEE (mm d <sup>-1</sup> ) (3)	a (4)	b (5)	r <sup>2</sup> (6)	SEEA (mm d <sup>-1</sup> ) (7)
Araguari-MG							
PM	3,86	100	-	-	-	-	-
HS	4,18	109	0,53	-0,328	1,17	0,707	0,34
BC	3,06	80	0,94	1,469	0,413	0,425	0,78
Patrocínio-MG							
PM	3,86	100	-	-	-	-	-
HS	4,14	108	0,50	-0,314	1,155	0,803	0,34
BC	3,08	80	0,94	1,497	0,409	0,417	0,81
Viçosa-MG							
PM	3,30	100	-	-	-	-	-
HS	4,20	127	0,91	0,780	1,032	0,964	0,18
BC	2,50	75	0,95	0,594	0,565	0,947	0,22
Caratinga-MG							
PM	3,45	100	-	-	-	-	-
HS	4,17	121	0,76	0,834	0,969	0,945	0,22
BC	2,65	77	0,91	0,842	0,526	0,908	0,29
Lavras-MG							
PM	3,45	100	-	-	-	-	-
HS	4,20	122	0,78	0,309	1,128	0,974	0,14
BC	2,70	78	0,92	1,024	0,477	0,890	0,31
Varginha-MG							
PM	3,43	100	-	-	-	-	-
HS	4,10	120	0,70	0,224	1,129	0,973	0,14
BC	2,61	76	0,97	1,127	0,433	0,841	0,38
Barreiras-BA							
PM	4,55	100	-	-	-	-	-
HS	5,22	115	0,72	0,328	1,076	0,895	0,21
BC	3,88	85	0,90	0,389	0,767	0,404	0,76
Vitória da Conquista-BA							
PM	4,40	100	-	-	-	-	-
HS	4,26	97	0,45	-0,224	1,019	0,715	0,42
BC	3,41	78	1,05	0,695	0,616	0,777	0,36

Na Figura 5, tem-se a variação, ao longo do período analisado, das estimativas da ETo calculadas pelos métodos BC e HS, comparadas com as calculadas pelo método-padrão PM para as cidades de Varginha-MG (Figura 5a) e Barreiras-BA (Figura 5c) e as estimativas de ETo calculadas pelos métodos simplificados, depois do ajuste proposto, para as

mesmas cidades, Figura 5b para Varginha-MG e Figura 5d para Barreiras-BA.

Observa-se nesta análise que após o ajuste proposto (Figura 5b e 5d), o método de HS proporcionou melhor ajuste ao método PM, quando comparado ao método BC, confirmando os resultados apresentados na Figura 3 e Tabela 3.



**Figura 5** – Comparação dos valores diários de ETo (mm d<sup>-1</sup>) estimados pelos três métodos analisados, FAO-Penman-Montheit, HS e BC, no decorrer do período de um ano, antes e depois do ajuste, para as cidades de Varginha-MG (a e b) e Barreiras-BA (c e d).

#### 4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados das análises realizadas para execução do presente trabalho, pode-se concluir que:

- O método de Hargreaves-Samani apresentou maior aproximação ao método Penman-Monteith-FAO para estimativa da evapotranspiração de referência;
- O método de Blaney-Criddle FAO subestima os valores de ETo nas diferentes condições climáticas, principalmente nos períodos de alta demanda de evapotranspiração;
- O ajuste local dos métodos simplificados proporcionou melhoria significativa da estimativa de ETo;
- É possível manejar adequadamente a irrigação nas regiões produtoras de café utilizando-se o método de Hargreaves-Samani com o ajuste dos parâmetros da Equação de Regressão Linear.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. et al. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 308 p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O. Rational use of the FAO Blaney-Criddle formula. **Journal of Irrigation and Drainage ASCE**, New York, v. 112(IR2), p. 139-155, 1986.

- AMATYA, D. M.; SKAGGS, R. W.; GREGORY, J. D. Comparison of methods for estimating REF-ET. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 121, n. 6, p. 427-435, 1995.
- BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais**. 1999. 224 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- BONOMO, R.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) para regiões cafeeiras do Triângulo e Noroeste de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, 1998. v. 1, p. 307-309.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. Evapotranspiração de referência com base na radiação solar global estimada pelo método de Bristow-Campbell. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 619-626, 2010.
- HARGREAVES, G. H.; ALLEN, R. G. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 129, n. 1, p. 53-63, 2003.
- JAHANBANI, H.; EL-SHAFIE, A. H. Application of artificial neural network in estimating monthly time series reference evapotranspiration with minimum and maximum temperatures. **Paddy and Water Environment**, Berlin, v. 10, 2010. Disponível em: <[http://www.pressekatalog.de/application-artificial-neural-network-estimating\\_ARTID\\_10.1007-ab-s10333-010-0219-1.htm](http://www.pressekatalog.de/application-artificial-neural-network-estimating_ARTID_10.1007-ab-s10333-010-0219-1.htm)>. Acesso em: 10 set. 2010.
- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332 p.
- KHOOB, A. R. Comparative study of Hargreaves's and artificial neural network's methodologies in estimating reference evapotranspiration in a semiarid environment. **Irrigation Science**, New York, v. 26, p. 253-259, 2008.
- KISI, O. Evapotranspiration modeling using a wavelet regression model. **Irrigation Science**, New York, v. 28, p. 115-121, 2010.
- LU, J. et al. A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the Southeastern United States. **Journal of American Water Resources Association**, Herndon, v. 41, n. 3, p. 621-633, 2005.
- MANTOVANI, E. C. **Desarrollo y evaluación de modelos para el manejo del riego: estimación de la evapotranspiración y efectos de la uniformidad de aplicación del riego sobre la producción de los cultivos**. 1993. 184 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Córdoba, 1993.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2009. 355 p.
- MELLO, J. P. **Análise de sensibilidade dos componentes da equação de Penman-Monteith-FAO**. 1998. 79 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- MENDONÇA, J. C. et al. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.
- MOHAWESH, O. E. Spatio-temporal calibration of Blaney-Criddle Equation in Arid and Semiarid environment. **Water Resources Management**, Amsterdam, v. 24, p. 2187-2201, 2010.
- NANDAGIRI, L.; KOVOOR, G. M. Performance evaluation of reference evapotranspiration equations across a range of Indian climates. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 132, n. 3, p. 238-249, 2006.
- ORTEGA-FARIAS, S.; IRMAK, S.; CUENCA, R. H. Special issue on evapotranspiration measurement and modeling. **Irrigation Science**, New York, v. 28, p. 1-3, 2009.
- STOCKLE, C. O.; KJELGAAR, J.; BELLOCCHI, G. Evaluation of estimated weather data for calculating Penman-Monteith reference crop evapotranspiration. **Irrigation Science**, New York, v. 23, p. 39-46, 2004.

TABARI, H. Evaluation of reference crop evapotranspiration equations in various climates. **Water Resources Management**, Amsterdam, v. 24, p. 2311-2337, 2010.

TRAJKOVIC, S.; KOLAKOVIC, S. Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions.

**Water Resource Management**, Amsterdam, v. 23, p. 3057-3067, 2009.

VESCOVE, H. V.; TURCO, J. E. P. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara, SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 713-721, 2005.