

DESEMPENHO ENTRE MODELOS EMPÍRICOS PARA ESTIMATIVA DE ET₀ PARA O ESTADO DA PARAÍBA – BRASIL

GEFFSON DE FIGUEREDO DANTAS¹, ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA², MIQUÉIAS GOMES DOS SANTOS³, ALEXANDRE B. DALRI⁴, LUIZ FABIANO PARARETTI⁵

¹ Mestrando em Agronomia (Ciência do Solo), FCAV-UNESP, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, cep: 148884-900, Jaboticabal/SP, Fone: (16) 98188-2927, e-mail: geffson@hotmail.com;

² Professor Doutor, Departamento de Engenharia Rural, FCAV-UNESP, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, cep: 148884-900, Jaboticabal/SP, Fone: (16) 3209-7282, e-mail: rogeriofaria@fcav.unesp.br;

³ Mestrando em Agronomia (Produção Vegetal), FCAV-UNESP, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, cep: 148884-900, Jaboticabal/SP, Fone: (16) 98245-0680, e-mail: miqueiassjp@yahoo.com.br;

⁴ Professor Doutor, Departamento de Engenharia Rural, FCAV-UNESP, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, cep: 148884-900, Jaboticabal/SP, Fone: (16) 981411-0080, e-mail: dalri@fcav.unesp.br;

⁵ Professor Doutor, Departamento de Engenharia Rural, FCAV-UNESP, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, cep: 148884-900, Jaboticabal/SP, Fone: (17) 99200-7955, e-mail: lfpalaretti@fcav.unesp.br;

Apresentado no

XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014

27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: O método padrão de estimativa da evapotranspiração de referência (ET₀) emprega variáveis meteorológicas que nem sempre são disponíveis aos pequenos produtores rurais. Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar seu desempenho e aferir se necessário, para as condições da Paraíba, diferentes métodos para a estimativa diária de ET₀, comparando-os com o método padrão Penman-Monteith-FAO. Utilizou uma série histórica de 17 anos de dados meteorológica do INMET de 4 cidades do estado, cada uma representando uma mesorregião. Os métodos avaliados foram os de Hargreaves-Samani (HS), Blaney-Criddle (BC), Camargo (C) e Jensen-Haise (JH). Para análise comparativa entre o método padrão e os avaliados, foi realizada a análise de correlação e regressão linear para determinação dos coeficientes da equação ($Y = a + bx$) e do coeficiente de determinação (r^2). Para a exatidão dos modelos empíricos, foi realizada a análise para a determinação do índice de concordância (d) e do índice de desempenho (c). A estimativa da evapotranspiração de referência, obtida pelos métodos empíricos para as mesorregiões da Paraíba-PB, obtiveram desempenho satisfatório, HS para a mesorregião do agreste não necessitou de ajustar o seu modelo, já os métodos JH, C e HS para as mesorregiões litoral, borborema e sertão necessitarão de ajuste para melhor acurácia com o método padrão.

PALAVRAS-CHAVE: calibração, irrigação, manejo.

EMPIRICAL MODELS FOR PERFORMANCE BETWEEN ESTIMATE FOR ET₀ THE STATE OF PARAÍBA – BRAZIL

ABSTRACT: The standard method for estimating reference evapotranspiration (ET₀) employs meteorological variables that are not always available to small farmers. Thus, the present study aimed to evaluate and benchmark their performance if necessary, to the conditions of Paraíba, different methods for daily ET₀ estimated by comparing them with the standard method Penman-Monteith - FAO. Used a time series of 17 years of meteorological data INMET 4 cities in the state, each representing one mesoregion. The methods tested were the Hargreaves-Samani (HS), Blaney-Criddle (BC), Camargo (C) and Jensen-Haise (JH). For comparative analysis between the standard method and evaluated the correlation analysis and linear regression to determine the coefficients of the equation ($Y = a + bx$) and the coefficient of determination (r^2) was performed. For the accuracy of the empirical models, the analysis was performed to determine the level of agreement (d) and performance index (c). The estimated reference evapotranspiration obtained by the empirical for of Paraíba meso -PB methods, achieved satisfactory performance for HS mesoregion the rough did not need to adjust your model since the JH, C and HS methods for coastal meso, borborema and backcountry require adjustment for better accuracy with the standard method.

KEYWORDS: calibration, irrigation, management.

INTRODUÇÃO: O Estado da Paraíba, devido à sua proximidade com a Linha do Equador, possui um clima quente, com temperaturas elevadas e variando conforme o relevo local. Sendo constituída por quatro mesorregiões: litoral paraibano, agreste paraibano, borborema e sertão paraibano, nelas podem se encontrar técnicas distintas ou semelhantes manejos na agricultura paraibana.

Devido a irregularidades de chuva em algumas mesorregiões da Paraíba, a irrigação é considerada um fator essencial para a produção agrícola. Para se ter bons rendimentos, a prática da irrigação deve ser conduzida de modo à repor água de qualidade e quantidade adequada a necessidade hídrica da cultura. A reposição a ser aplicada via irrigação deve ser empregada pelo conhecimento da evapotranspiração. Na ausência de equipamentos de medidas de evapotranspiração da cultura e de dados climáticos, os agricultores e técnicos, muitas vezes, lançam mão de estimativas baseadas na evapotranspiração de referência (ET_0) e no coeficiente de cultura (Kc) (GUEDES FILHO et al., 2011). Buscando otimizar os desperdícios de água na irrigação, usando métodos, simples e de fácil acesso para que qualquer indivíduo possa utilizar. O método padrão de referência, Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998), que pondere as diferentes variáveis climáticas, é recomendado. Entretanto, muitas variáveis meteorológicas que nem sempre estão disponíveis aos produtores rurais, especialmente em pequenas áreas que, normalmente, apresentam apenas registros de temperatura do ar (ARAÚJO et al., 2010). Porém, os métodos empíricos, correspondentes de correlação da ET_0 pelo método de referência padrão, requerem uma quantidade menor de variáveis e uma boa acurácia ao método padrão.

O objetivo da presente investigação avaliar o desempenho e aferir se necessário, acurácia de 3 métodos empíricos (Hargreaves-Samani, Jensen-Haise e Blaney-Criddle) comparados com o método de Penman-Monteith, sugerida pela FAO (ALLEN et al., 1998). Para verificação da aplicabilidade para cada mesorregião do Estado da Paraíba.

MATERIAL E MÉTODOS: Os dados utilizados neste estudo foram obtidos nas estações meteorológicas da INMET (série histórica de 17 anos de dados meteorológicos), para a comparação dos métodos dos municípios de João Pessoa (Litoral Paraibano) 07°06'54"S, 34°51'47"W e altitude 47, Campina Grande (Agreste Paraibano) 07°13'50"S, 35°52'52"W e altitude 551, Cabaceiras (Borborema) 07°29'20"S, 36°17'14"W e altitude 388, e São Gonçalo (Sertão Paraibano) 06°83'55"S, 38°31'14"W e altitude 234.

Foram utilizados dados médios diários de temperatura máxima, mínima e média, umidade relativa, velocidade do vento a 2 m e radiação solar compreendidos de janeiro de 1996 a janeiro de 2013. Por meio do software IRRPLUS versão 2.25 foi calculado o método de Penman-Montheith. Através da planilha eletrônica (Excel) 2010 foram calculados os seguintes métodos: Hargreaves-Samani (1985), Blaney-Criddle (1950), Camargo (1971) e Jensen-Haise (2004).

Buscou-se, avaliar o método empírico que melhor se ajustasse ao de referência (PM). Através da análise comparativa entre o método padrão e os avaliados, foi realizado à análise de correlação e regressão linear para determinação dos coeficientes da equação ($Y = a + bx$) e, determinação do coeficiente de determinação (r^2). A melhor alternativa foi aquela que apresentou coeficiente de regressão (a) próximo de zero, coeficiente (b) próximo da unidade e maior coeficiente de determinação. A precisão é dada pelo coeficiente de determinação, pois indica o grau em que a regressão explica a soma do quadrado total.

A análise de desempenho dos métodos empíricos foi feita comparando-as com os valores de ET_0 obtido pelo método referência (PM). A verificação dos erros proporcionais pelas estimativas foi realizada pelo cálculo do erro padrão de estimativa (EPE), conforme Jensen, Burman e Allen (1990). O melhor método para estimativa da ET_0 foi aquele que apresentou o menor EPE. Nos modelos que apresentarem um EPE muito elevado, foi utilizada a equação da correlação nos dados empíricos buscando assim diminuir o máximo de EPE.

Para a exatidão dos modelos empíricos, foi realizada a análise para a determinação do índice de concordância (d) de Willmott et al. (1985), e do índice de desempenho (c), que corresponde à multiplicação do coeficiente de correlação (r) com o (d).

Pelo coeficiente de confiança (c) e interpretados de acordo com Camargo e Sentelhas (1997) como: ótimo ($c > 0,85$); muito bom ($0,76 < c < 0,85$); bom ($0,66 < c < 0,75$); mediano ($0,61 < c < 0,65$), sofrível ($0,51 < c < 0,60$), mau ($0,41 < c < 0,50$) e péssimo ($c < 0,40$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Tabela 1 estão as médias mensais da evapotranspiração de referência (ET_0) de cada mesorregião do Estado da Paraíba, determinadas por meio do método padrão e os métodos empíricos avaliados. Para o litoral paraibano, verifica-se que o método de Penman-Monteith FAO (PM), Hargreaves-Samani (HS), Blaney e Criddle (BC), Camargo (CM) e Jensen-Haise (JH), obtiveram valores de médias anuais iguais a 5,22; 4,26; 3,44; 3,09 e 7,26; mm dia⁻¹, respectivamente.

TABELA 1 - Valores médios mensais de ETo determinada pelos métodos Penman-Monteith (PM), Hargreaves-Samani (HS), Camargo (CM) e Jensen-Haise (JH) no estado da Paraíba-PB, de 1996 a 2013.

Mesorregiões	Métodos	Mês												Média	PM-MI [*]
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
		mm dia ⁻¹													
Litoral Paraibano	PM	5,63	5,28	5,48	5,22	5,15	5,45	5,00	5,01	5,45	5,03	4,74	5,19	5,22	-
	HS	4,19	4,17	4,31	4,29	4,17	4,31	4,41	4,14	4,21	4,34	4,34	4,23	4,26	-0,96
	BC	3,47	3,45	3,42	3,43	3,42	3,43	3,49	3,42	3,45	3,42	3,46	3,41	3,44	-1,78
	C	2,89	3,02	2,80	3,00	2,79	3,29	3,54	3,29	2,94	2,86	3,54	3,11	3,09	-2,13
	JH	6,77	7,06	6,55	7,01	6,53	7,67	8,25	7,67	6,86	6,67	8,24	7,26	7,21	1,99
Agreste Paraibano	PM	4,44	5,07	5,16	4,85	5,10	5,50	4,93	4,71	4,62	4,74	4,79	4,93	4,90	-
	HS	4,79	4,69	4,63	4,40	4,38	4,56	4,68	4,72	4,69	4,69	4,61	4,64	4,62	-0,28
	BC	3,11	3,07	3,09	3,06	3,02	3,06	3,09	3,11	3,12	3,10	3,10	3,08	3,08	-1,82
	C	3,59	3,58	3,57	3,66	2,65	3,19	3,49	3,27	3,24	2,77	2,85	3,17	3,25	-1,65
	JH	2,35	2,32	2,40	2,01	2,14	2,03	2,33	2,21	2,31	2,26	2,38	2,35	2,26	-2,65
Borborema	PM	7,29	7,93	8,07	7,66	6,74	7,58	7,38	6,38	5,43	6,97	6,01	6,66	7,01	-
	HS	5,09	5,16	5,24	5,33	5,21	5,25	5,35	5,35	5,19	5,24	5,21	5,23	5,24	-1,77
	BC	3,26	3,27	3,30	3,30	3,27	3,27	3,33	3,32	3,28	3,26	3,26	3,26	3,28	-3,73
	C	3,59	3,58	3,57	3,66	2,65	3,19	3,49	3,27	3,24	2,77	2,85	3,17	3,25	-3,76
	JH	8,33	8,31	8,29	8,50	6,19	7,44	8,12	7,61	7,54	6,46	6,64	7,39	7,57	0,56
Sertão Paraibano	PM	7,29	7,93	8,07	7,66	6,74	7,58	7,38	6,38	5,43	6,97	6,01	6,66	7,01	-
	HS	5,54	5,46	5,53	5,45	5,18	5,44	5,60	5,57	5,65	5,24	5,51	5,49	5,47	-1,54
	BC	3,53	3,46	3,49	3,48	3,44	3,48	3,48	3,52	3,51	3,45	3,47	3,43	3,48	-3,53
	C	3,59	3,58	3,57	3,66	2,65	3,19	3,49	3,27	3,24	2,77	2,85	3,17	3,25	-3,76
	JH	8,33	8,31	8,29	8,50	6,19	7,44	8,12	7,61	7,54	6,46	6,64	7,39	7,57	0,56

*PM-MI = diferença de ETo entre o método Penman-Monteith com os métodos empíricos.

Verificou-se que a menor diferença de ETo com o método Penman-Monteith foi encontrada com o método Hargreaves-Samani, com variação de -0,96 mm dia⁻¹. Contudo, a maior variação foi encontrada com o método Camargo, na ordem de -2,13 mm dia⁻¹. Apenas o método Jensen-Haise superestimou o método de Penman-Monteith, com 1,99 mm dia⁻¹ (Tabela 1).

Para o Agreste Paraibano todos os métodos subestimaram a referência de ET₀ (Tabela 1), tendo encontrado menor diferença pelo método de HS de -0,28 mm dia⁻¹.

Nas mesorregiões Borborema e Sertão Paraibano, obtiveram um comportamento semelhante, em que os métodos de HS, BC e C subestimaram a referência, e só JH que superestimando a referência de ET₀, o qual obteve menor variação com 0,56 mm dia⁻¹ para ambas, isso pode ser dada pelo fato em que JH é um modelo empírico desenvolvido para as regiões áridas e semiáridas, o que explica a boa adaptabilidade para a região (MEDEIROS, 2008). Tais resultados mostram que os métodos empíricos necessitam de um melhoramento para ter uma acurácia melhor com o modelo de referência (PM) para cada mesorregião da Paraíba.

De acordo com a Tabela 2 os modelos empíricos tiveram uma classificação entre “bom” a “ótimo”, pelo coeficiente de desempenho para as mesorregiões litoral, agreste e sertão. Para a Borborema os métodos de HS e BC não obtiveram boa classificação, utilizando a equação de correlação com o método de ET₀ de referência para poder corrigir os dados e diminuir o EPE, mesmo assim ficaram na mesma classificação. Apesar de serem métodos simples e fáceis de aplicação, não apresentaram uma boa alternativa para a mesorregião da Borborema.

O litoral, dentre os modelos empíricos, o JH foi o que mais se destacou, apresentou o coeficiente de regressão (a) próximo de zero e após corrigir os dados, o seu EPE foi o mais baixo de todos os outros métodos empíricos.

TABELA 2. Valores de coeficiente de correlação (r²), índices de exatidão (d), coeficientes de desempenho (c) e erro padrão de estimativas (EPE), das Mesorregiões da Paraíba-PB, de 1996 a 2013.

Mesorregiões	Mod.*	ET ₀ (Md.) = a + b ET ₀ (PM)			Antes		Clas. ^a	Após		Clas. ^a	Antes	Após
		a	b	r ²	d	c		d	c		EPE (mm)	
Litoral Paraibano	HS	2,015	0,400	0,70	0,98	0,83	Muit. b	0,99	0,83	Muit. b.	0,896	0,578
	BC	2,182	0,225	0,79	0,96	0,86	Ótimo	0,99	0,88	Ótimo	1,478	0,459
	C	0,043	0,630	0,99	0,95	0,94	Ótimo	1,00	0,99	Ótimo	1,740	0,162
	JH	0,011	1,450	0,99	0,96	0,96	Ótimo	1,00	0,99	Ótimo	2,083	0,082
Agreste Paraibano	HS	0,464	0,892	0,95	0,99	0,97	Ótimo	1,00	0,97	Ótimo	0,187	0,178
	BC	1,745	0,271	0,85	0,97	0,89	Ótimo	0,99	0,92	Ótimo	1,353	0,356
	C	1,335	0,474	0,65	0,98	0,79	Muit. b	0,99	0,80	Muit. b.	0,956	0,631
	JH	0,989	0,488	0,98	0,88	0,87	Ótimo	0,98	0,89	Ótimo	2,107	2,014
Borborema	HS	2,132	0,361	0,30	0,96	0,53	Sofrível	0,97	0,53	Sofrível	2,129	1,899
	BC	2,397	0,096	0,21	0,89	0,41	Mau	0,96	0,44	Mau	3,437	2,436
	C	0,996	0,361	0,80	0,89	0,79	Muit. b.	0,99	0,89	Ótimo	3,097	0,619

	JH	2,460	0,819	0,79	0,98	0,88	Ótimo	0,99	0,98	Ótimo	1,455	0,636
	HS	1,983	0,537	0,82	0,99	0,89	Ótimo	0,99	0,90	Ótimo	1,114	0,583
Sertão	BC	2,420	0,149	0,64	0,93	0,74	Bom	0,99	0,79	Muit. b.	3,075	0,933
Paraibano	C	1,154	0,336	0,69	0,89	0,74	Bom	0,99	0,99	Ótimo	3,110	0,830
	JH	2,821	0,762	0,68	0,98	0,82	Muit. b	0,99	0,82	Muit. b	1,517	0,843

*Clas. = Classificação; *Md. = Modelo.

Devido o Agreste Paraibano ter um clima diferente do semiárido, mas por estar inserido do lado das regiões áridas e semiáridas o método de HS foi classificada ótima para estima a ET_0 desta mesorregião, tal resultado corrobora com os de Henrique & Dantas (2007) ao avaliarem métodos empíricos para mesma mesorregião.

López-Urrea et al. (2006) ao avaliar sete métodos de cálculo diário de ET_0 , em comparação a um lisímetro de pesagem, para um clima semiárido, na Província de Albacete, na Espanha. Para as condições de semiaridez, os autores concluíram que o método PM foi o mais adequado para o cálculo da ET_0 . O método HS foi o mais preciso entre os métodos empíricos, apesar de sua simplicidade, tal acontecimento se assemelha para a mesorregião do sertão paraibano, corroborando com os resultados semelhantes à de Er-Raki et al. (2010), com o método de HS, sob condições semiáridas. O método de HS teve o melhor, quando calibrados localmente.

CONCLUSÕES: A estimativa da evapotranspiração de referência, obtida pelos métodos empíricos para as mesorregiões da Paraíba-PB, obtiveram desempenho satisfatório, HS para a mesorregião do agreste não necessitou de ajustar o seu modelo, já os métodos JH, C e HS para as mesorregiões litoral, borborema e sertão necessitarão de ajuste para melhor acurácia com o método padrão. Os métodos de HS e BC não se ajustaram para a mesorregião da borborema, sendo assim, não aconselhável.

REFERÊNCIAS:

- BLANEY, H. F.; CRIDDLE, W. O. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. Washington: USDA Soil Conservation Service, 1950. 48 p. (Technical Paper, n. 96).
- CAMARGO, A. P. Balanço hídrico no estado de São Paulo. 3. ed. Campinas: IAC, 1971. 24 p. (Boletim, n. 116).
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. *Bragantia*, Campinas, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.5, p.89-97, 1997.
- ER-RAKI, S. et al. Assessment of reference evapotranspiration methods in semi-arid regions: can weather forecast data be used as alternate of ground meteorological parameters? *Journal of Arid Environments*, Amsterdam, v. 74, n. 12, p. 1587-1596, 2010.
- GUEDES FILHO, D. H.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; COSTA FILHO, J. F.; FRANCISCO, P. R. M.; CAMPOS, V. B. Estimativa da evapotranspiração de referência para a cidade de Areia, Paraíba. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 5, n. 1, p.37-47, 2011.
- HARGREAVES, G. L.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Basin. Journal of the Irrigation and Drainage Division-ASCE*, New York, v. 111, n. 1, p. 113-124. 1985.
- HENRIQUE, F. A. N.; DANTAS, R. D. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.594-599, 2007.
- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. Evapotranspiration and irrigation water requirements. New York: ASCE, 1990. 332 p.
- LÓPEZ-URREA, R. et al. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 85, n. 1, p. 15-26, 2006.
- MEDEIROS, P. V. Análise da evapotranspiração de referência a partir de medidas lisimétricas e ajuste estatístico de estimativas de nove equações empíricoteóricas com base na equação de Penman-Monteith. 2008. 241 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento)–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- PEREIRA, A. R.; NOVA, N. A. V.; SEDIYAMA, G. C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 1997, 183p.
- TUCCI, C. E. M. (ORG). et al. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 3ª ed., Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ABRH, 2004. 944p.
- WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin American Meteorological Society*, v.30, p.1309-1310, 1982.