

COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO ENTRE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA EM BIOMA CERRADO

Diego Adania Zanoni¹, Tiago Souza Mattos¹, Ingrid Moreno Mamedes¹, Camila Bolognes Couto Pahl², Paulo Tarso Sanches de Oliveira³, Teodorico Alves Sobrinho³.

1. Estudante do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (PPGTA/FAENG/UFMS)

2. Mestre pelo PPGTA/FAENG/UFMS

3. Professor da FAENG/UFMS

Resumo

Este trabalho teve como objetivo comparar o desempenho de métodos de cálculo de evapotranspiração de referência (ET_o), utilizando como método padrão o modelo de Penman-Monteith FAO 56. Os métodos avaliados foram Penman (1948), Hargreaves e Samani, Priestley-Taylor e Blaney-Criddle. Para a avaliação do desempenho entre os métodos utilizou-se o índice de correlação de Pearson (r), o índice de Willmott (d) e o índice de confiança (c). Foram utilizados dados coletados na estação climatológica localizada na Bacia do Ribeirão da Onça, Brotas, São Paulo, durante o ano de 2015. Os resultados foram analisados para os períodos chuvoso e seco. O método que obteve as melhores estimativas de ET_o nos períodos seco e chuvoso foi o método de Penman (1948), tendo apresentado desempenho ótimo em ambos os períodos. Em contrapartida, o método de Hargreaves e Samani apresentou desempenho variando de péssimo a mau ao longo de 2015, sendo o método menos indicado para estimar ET_o para o bioma Cerrado.

Palavras-chave: irrigação, balanço hídrico, evaporação.

Apoio financeiro: CNPQ, CAPES

Introdução

Evapotranspiração (ET) é um fator essencial do ciclo hidrológico, o qual exerce impacto significativo no balanço hídrico, sendo sua estimativa imprescindível em projetos de irrigação, gerenciamento de reservatórios e planejamento de uso e outorga de recursos hídricos. Este processo usa aproximadamente três quintos da radiação solar anual disponível globalmente (Wang; Dickinson, 2012). Diversos métodos para estimar ET são encontrados na literatura. Esses métodos podem ser diretos ou indiretos, sendo adaptados para várias partes do globo. Vários desses métodos não são simples, uma vez que requerem diversos dados para sua apropriada aplicação. Assim, a utilização de métodos menos complexos em áreas com escassez de dados constitui-se em uma opção atrativa (Gotardo et al., 2016).

Entre os métodos de estimativa de Evapotranspiração de referência (ET_o), o método de Penman-Monteith FAO 56 é considerado o método padrão (Pereira, L. S. et al., 2015; VALIANTZAS, 2013). De acordo com a *American Society of Civil Engineers*, ASCE (1990), a evapotranspiração estimada por Penman-Monteith apresenta alta correlação e as melhores estatísticas, quando comparada com outros métodos empíricos e com resultados lisimétricos. Para o estado de São Paulo a equação de Penman-Monteith apresentou bons resultados quando comparada com lisímetros de drenagem e de pesagem nas regiões de Pindamonhangaba, Ribeirão Preto, Campinas e Piracicaba (CAMARGO; SENTELHAS, 1997; SANTIAGO et al., 2002).

O objetivo desse trabalho é avaliar o desempenho de métodos para estimativa de ET_o em bioma Cerrado, comparando-os com o método de Penman-Monteith FAO 56.

Metodologia

A área do estudo compreende a bacia do Ribeirão da Onça localizada no município de Brotas, São Paulo, entre os meridianos de 47°55' e 48°00' oeste e os paralelos 22°10' e 22°15' sul. A bacia possui área de 65 km² e está inserida em bioma do Cerrado. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa úmido subtropical, com inverno seco e verão quente e chuvoso. A precipitação média anual é de 1504 ± 247 mm, sendo que o mês de janeiro é o mais chuvoso com aproximadamente 291 mm e o mês de julho o mais seco com 28 mm. Os dados de precipitação (mm) e as variáveis meteorológicas como temperatura do ar (C°), radiação solar (W.m²), pressão atmosférica (kPa), umidade relativa do ar (%), e velocidade do vento (m.s⁻¹) foram coletados da estação climatológica no Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Universidade de São Paulo (CRHEA – USP).

A ET_o foi estimada pelo método de Penman-Monteith, considerado como método de referência, e para os métodos de Penman (1948) (P48), Hargreaves e Samani (HS), Priestley-Taylor (PT) e Blaney-Criddle (BC) (Tabela 1).

Tabela 1 - Métodos utilizados para o cálculo da evapotranspiração.

Métodos	Equação
Penman-Monteith	$ET_o = \frac{[0,408 * \delta(Rn - G) + \gamma * \left(\frac{900}{T + 273}\right) * U_{2m} \Delta e]}{[\delta + \gamma * (1 + 0,34 U_{2m})]}$
Penman (1948)	$ET_o = \frac{[(\delta)(E) + (E_o)(\gamma)]}{[(\delta + \gamma)]}$
Hargreaves-Samani	$ET_o = 0,0023 * Q_o * (T_{max} - T_{min})^{0,5} * (17,8 + T)$
Priestley-Taylor	$ET_o = 1,26 * W \frac{[Rn - G]}{[\lambda]}$
Blaney-Cridle	$ET_o = a + b * f * (0,46 * T_m + 8,13)$

E_t – evapotranspiração de referência (mm.d⁻¹); R_n – radiação líquida (MJ.m⁻².d⁻¹); G – fluxo de calor recebido pelo solo (MJ.m⁻².d⁻¹); T – temperatura diária média do ar (°C); γ – constante psicrométrica (kPa.°C⁻¹); δ – derivada da função de saturação de vapor de água (kPa.°C⁻¹, mbar. °C⁻¹); U_2 – velocidade do vento a 2m de altura (m.s⁻¹); Δe – déficit de vapor de pressão de saturação (kPa); e_s – tensão de saturação de vapor de água (kPa); e_a – tensão de saturação de vapor de água (kPa); $E = 10.R_n / L_v$; L_v – Calor latente de vaporização da água (cal.cm⁻³); $E_o = 0,35.(0,2 + 0,55. U_2). \Delta e$; T_{max} - temperatura máxima do ar (°C); T_{min} - temperatura mínima do ar (°C); T_m - temperatura média mensal do ar (°C); Q_o – irradiância solar extraterrestre (mm.d⁻¹); $W = s.(\gamma+s)^{-1}$; f – média da porcentagem diária do fotoperíodo anual para a latitude escolhida (%), a e b – coeficientes obtidos a partir de tabelas para a fórmula de Blaney-Cridle.

O período analisado no estudo foi de 01 de janeiro à 31 de dezembro de 2015. Para avaliar a performance dos modelos, utilizou-se: a) índice de Willmott [eq. (1)], o qual varia de 0 a 1 (Willmott et al., 2012); b) o erro absoluto médio (EAM) [eq (2)]; o coeficiente de correlação (r) [eq (3)], e o índice de confiança (c) e desempenho [eq (4)].

$$d = 1 - \sum \frac{(P_i - O_i)^2}{(|P_i - O_i| + |O_i - O|)^2} \quad (1)$$

$$EAM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{referência} - X_{modelo,i}) \quad (2)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2][\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]}} \quad (3)$$

$$c = r \times d \quad (4)$$

Resultados e Discussão

Comparando a E_t estimada pelos métodos de P48, HS, PT e BC com o método de PM, observa-se que os métodos menos complexos de BC e HS, apresentaram as maiores discrepâncias (Figura 1). Isso é mais evidente para o método de HS, o qual superestimou a E_t em todos os meses em relação ao método de PM, e portanto, apresentando EAM elevado tanto no período chuvoso (91,73) quanto no período seco (56,51). A redução significativa no EAM para o período seco se deve ao fato do método de HS ser mais indicado para regiões áridas e semiáridas, e por tanto tende a apresentar melhores resultados no período seco. Embora sendo observado menor EAM, se comparado com o método de HS, o método de BC apresentou um coeficiente de correlação (r) inferior, no período chuvoso, levando a um desempenho sofrível nesse período. Em contrapartida, houve significativa melhora no coeficiente de correlação no período seco, implicando em um desempenho bom para esse período. Esses resultados são compatíveis com os obtidos em estudos anteriores (Gotardo et al., 2016; Souza et al., 2011).

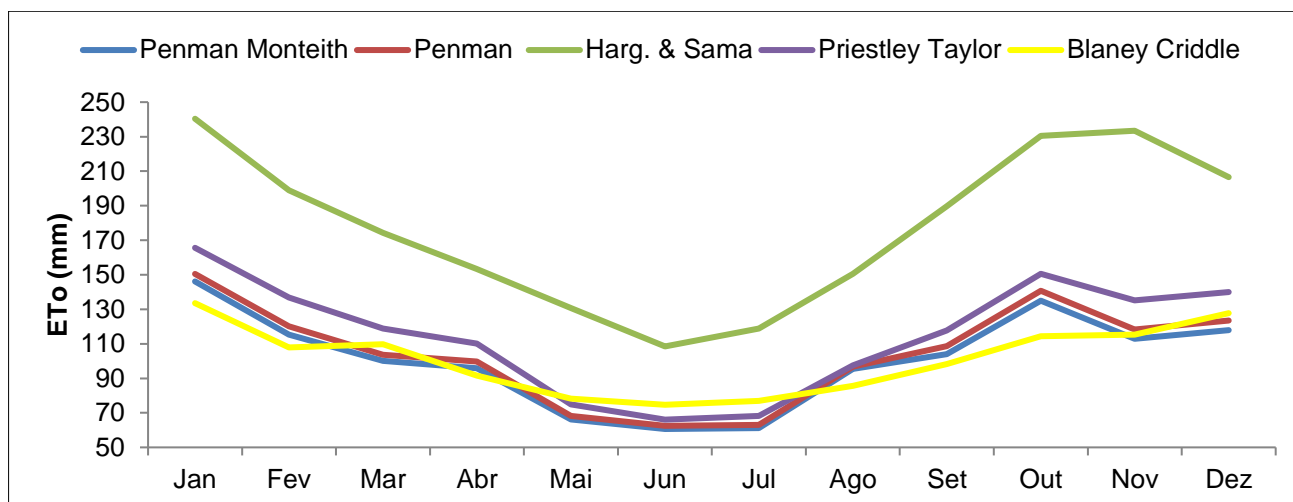


Figura 1 - ETo mensal calculados pelos métodos Penman-Monteith, Penman (1948), Hargreaves e Samani, Priesley-Taylor e Blaney-Criddle, durante o ano de 2015.

Considerando o método de PT, verifica-se que esse apresenta comportamento semelhante; superestimando a ETo em relação ao método de PM, embora com discrepância significativamente menor que o método de HS. O método de PT apresentou EAM variando de 19,02 a 7,48, com um índice de confiança de 0,72 e 0,91 para os períodos chuvoso e seco, respectivamente. Como resultado, o seu desempenho variou de bom a ótimo ao longo do ano de 2015. Este método, embora não seja tão simples de aplicar quanto os métodos de HS e BC, constitui-se em uma boa alternativa para se estimar a ETo.

Tabela 2 Dados estatísticos dos modelos para o período chuvoso.

Métodos	EAM	r	d	c	Desempenho
Penman (1948)	4,83	1,00	0,98	0,97	Ótimo
Harg. & Sama	91,73	0,83	0,25	0,21	Péssimo
Priestley Taylor	19,02	0,98	0,74	0,72	Bom
Blaney Criddle	9,75	0,72	0,81	0,59	Sofrível

Legenda: EAM = erro absoluto médio, r = coeficiente de correlação, d = índice de Willmott e c = índice de confiança.

Diferentemente dos métodos de HS, BC e PT, o método P48 apresentou excelentes resultados tanto para o período chuvoso quanto para o período seco. O método de P48 apresentou EAM de 4,83 / 2,14 e índice de confiança de 0,97 / 0,99 para os períodos chuvoso e seco, respectivamente, sendo o seu desempenho ótimo para ambos os períodos. Segundo Pereira, A. R. et al. (1997), o método P48 é baseado nos princípios físicos corretos. Apesar de não ser operacionalmente perfeito, ele é considerado, por muitos, a melhor opção para estima ET (Kobiyama; Vestena, 2006). A sua desvantagem, quando comparados com métodos mais simples, é a dificuldade em se obter todos os dados meteorológicos necessários para sua aplicação, o que tem levando pesquisadores a sugerirem modificações de modo a simplificar o método de P48.

Tabela 3. Dados estatísticos dos modelos para o período seco.

Métodos	EAM	r	d	c	Desempenho
Penman (1948)	2,14	1,00	0,99	0,99	Ótimo
Harg. & Sama	56,51	0,95	0,43	0,41	Mau
Priestley Taylor	7,48	0,97	0,94	0,91	Ótimo
Blaney Criddle	11,17	0,95	0,75	0,71	Bom

Legenda: EAM = erro absoluto médio, r = coeficiente de correlação, d = índice de Willmott e c = índice de confiança.

Conclusões

Este estudo avaliou o desempenho dos métodos de Hargreaves-Samani (HS), Blaney-Criddle (BC), Priestley-Taylor (PT) e Penman 1948 (P48), quando comparados com o método Penman-Monteith, para estimar a evapotranspiração de referência durante o ano de 2015. Pode ser concluído que para o bioma Cerrado estudado o método que obteve melhor desempenho nos períodos seco e chuvoso foi o P48, o qual apresentou desempenho ótimo em ambos os períodos. O método de PT embora tenha obtido EAM entre 7,48 -

19,02% apresentou um desempenho variando de bom a ótimo no ano de 2015, indicando assim uma alternativa menos complexa e ainda assim viável para estimar a ETo. Apesar do desempenho sofrível obtido no período chuvoso, o método de BC também pode ser utilizado em bioma Cerrado, principalmente no período de estiagem em função do seu bom desempenho durante os meses de abril até agosto. Por fim o método de HS obteve desempenho de mau a péssimo ao longo de 2015 sendo entre todos os métodos o menos indica para estimar ETo em bioma Cerrado.

Referências bibliográficas

ASCE. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. In: (Ed.). **Manual of Practice**. New York: American Society of Civil Engineers, v.70, 1990. p.360.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. **Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil**. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. Santa Maria, RS. 5: 8 p. 1997.

GOTARDO, J. T.; RODRIGUES, L. N.; GOMES, B. M. COMPARISON OF METHODS FOR ESTIMATING REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION: AN APPROACH TO THE MANAGEMENT OF WATER RESOURCES WITHIN AN EXPERIMENTAL BASIN IN THE BRAZILIAN CERRADO. *Engenharia Agrícola*, v. 36, p. 1016-1026, 2016.

KOBIYAMA, M.; VESTENA, L. R. Aplicação do Método de PENMAN Modificado no Cálculo da Evapotranspiração Potencial para Quatro Estações Meteorológicas do Estado do Paraná *Revista Ciências Exatas e Naturais*, v. 8, n. 1, 2006.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183

PEREIRA, L. S. et al. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. *Agricultural Water Management*, v. 147, p. 4-20, 1/1/ 2015.

SANTIAGO, A. V. et al. **Evapotranspiração de referência medida por lisímetro de pesagem e estimada por Penman-Monteith (FAO-56), nas escalas mensal e decenal**. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. Santa Maria, RS. 10: 9 p. 2002.

SOUZA, L. P. et al. Comparação de Métodos da Estimativa da Evapotranspiração de Referência para o município de Cruzeiro do Sul - ACRE. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer*, v. 7, n. 12, p. 8, 2011.

VALIANTZAS, J. D. Simplified forms for the standardized FAO-56 Penman–Monteith reference evapotranspiration using limited weather data. *Journal of Hydrology*, v. 505, p. 15, 2013.

WANG, K.; DICKINSON, R. E. A review of global terrestrial evapotranspiration: Observation, modeling, climatology, and climatic variability. *Reviews of Geophysics*, v. 50, n. 2, 2012.

WILLMOTT, C. J.; ROBESON, S. M.; MATSUURA, K. A refined index of model performance. *International Journal of Climatology*, v. 32, n. 13, p. 2088-2094, 2012.