

## EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA MANAUS – AMAZONAS: MODELOS COMBINADOS E EMPÍRICOS

Juarez Cassiano de Lima Junior<sup>1</sup>, Anna Hozana Francilino<sup>2</sup>, Francisco Dirceu Duarte Arraes<sup>3</sup>, Benito Moreira de Azevedo<sup>4</sup>

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho dos modelos: Hargreaves e Samani, Camargo, Radiação FAO e Makkink em relação ao método padrão Penman-Monteith FAO 56 para a cidade de Manaus, no estado do Amazonas. Os modelos foram analisados utilizando o Índice de concordância de Wilmott (Id), e coeficiente de determinação, a partir de análise de regressão linear simples. O método que apresentou melhores estimativas foi de Makkink, com valores elevados de ambos os métodos de avaliação, demonstrando além de variação anual semelhante ao modelo padrão ( $R^2 = 0,97$ ), estimativas pontuais com concordância elevada (Id = 0,931).

**PALAVRAS-CHAVE:** Agrometeorologia, Floresta Tropical, demanda hídrica atmosférica

## REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION FOR MANAUS – AMAZONAS: COMBINED AND EMPIRICAL MODELS

**ABSTRACT:** The aim of this work was to evaluate the performance of the reference evapotranspiration estimation models: Hargreaves and Samani, Camargo, FAO Radiation and Makkink in relation to the Penman-Monteith FAO 56 method, for the city of Manaus, in the state of Amazonas. The models were analyzed using the Wilmott Agreement Index (Id), and determination coefficient, based on simple linear regression analysis. The method that presented the best estimates was Makkink's, with high values of both assessment methods, demonstrating in addition to annual variation similar to the standard model ( $R^2 = 0.97$ ), point estimates with high agreement (Id = 0.931).

**KEYWORDS:** Agrometeorology. Tropical forest. atmospheric water demand

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará - Doutorando em Engenharia Agrícola (Programa de pós graduação em engenharia agrícola) - limajr.soil@gmail.com;

<sup>2</sup>Mestre em Engenharia Agrícola (Universidade Federal Rural do Pernambuco - UFRPE);

<sup>3</sup>Doutor em Ciência (Física do Ambiente Agrícola – ESALQ-USP). Professor do Instituto Federal do Sertão Pernambucano (IFSERTÃO-PE) - campus Salgueiro;

<sup>4</sup>Doutor em Agronomia (ESALQ-USP). Professor Associado da Universidade Federal do Ceará, Brasil.

## INTRODUÇÃO

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) representa a demanda hídrica da atmosfera, tornando possível a determinação da lâmina de irrigação, além disso, é utilizada de forma concreta nos campos da hidrologia, climatologia, meteorologia, ecologia e ciências ambientais (ALLEN et al., 1998; XIANG et al., 2020). A ET<sub>o</sub> pode ser obtida de diferentes formas, através de medições em lisímetros, tanques e/ou estimada por diferentes equações.

A ET<sub>o</sub> pode ser obtida por diferentes métodos, como medições em lisímetros, tanques e atmômetros; e/ou estimada por diferentes equações, baseadas em temperatura, radiação e combinadas. A estimativa da ET<sub>o</sub> é um elemento fundamental, sendo parte importante em diferentes escalas espaciais e temporais, por ser utilizada como entrada em modelos climáticos mundiais, planejamento dos recursos hídricos e diversos estudos hidrológicos, incluindo análise do balanço hídrico, monitoramento de seca, bem como projeto e operação de áreas irrigadas (RAZIEI & PEREIRA, 2013; JENSEN & ALLEN, 2016).

Dentre os vários métodos de estimativa da ET<sub>o</sub>, o modelo de Penman-Monteith (PM) é a metodologia padronizada pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) (ALLEN et al., 1998). Por ser uma equação física-combinada o modelo de PM é mais preciso para o cálculo da ET<sub>o</sub>, com limitações em função da utilização de muitos dados, (XIANG et al., 2020). Assim, outras equações podem ser utilizadas. Posto isso o objetivo do presente trabalho é comparar equações de classes distintas para a estimativa da ET<sub>o</sub> na cidade de Manaus, estado do Amazonas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado utilizando dados climatológicos, mensais, de uma estação pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada em Manaus, no estado do Amazonas (latitude: -3,10°; longitude: - 60,01°). Dados estes: insolação (Ins), velocidade do vento ( $u_2$ ), temperaturas máxima, média e mínima do ar (Tx, Tm e Tn) e umidade relativa do ar (UR).

**Tabela 1.** Normais meteorológicas para o município de Manaus, no estado do Amazonas.

Mês	$u_{10}$ (m s <sup>-1</sup> )	UR (%)	Tm (°C)	Ins (h)	P (mm)
Janeiro	1,01	85,29	27,33	9,16	123,44
Fevereiro	0,99	85,92	27,19	9,68	96,79
Março	1,07	86,23	27,31	9,52	105,26
Abril	0,97	86,15	27,42	10,36	117,37
Mai	1,03	84,9	27,54	7,41	144,9
Junho	1,11	81,67	27,66	3,57	192,72

Julho	1,05	78,44	27,88	2,1	221,71
Agosto	1,11	75,25	28,78	1,75	231,73
Setembro	1,18	74,96	29,13	2,39	199,95
Outubro	1,13	76,94	29,11	3,62	177,44
Novembro	1,09	79,83	28,55	5,95	154,06
Dezembro	1,03	83,75	27,83	7,81	127,01
Média	1,06	81,61	27,98	6,11	157,7

$u_{10}$  é a velocidade do vento coletada em um anemômetro a 10 metros de altura (metros por segundo); UR é a umidade relativa do ar (%);  $T_m$  é a temperatura média do ar (graus Célsius); Ins é a insolação (número de horas de sol no dia) e P é a precipitação pluviométrica (milímetros).

A FAO recomenda-se que métodos empíricos de estimativa de  $ET_o$  sejam avaliados utilizando comparações com PM (XIANG et al., 2020), segundo a FAO (ALLEN et al., 1998).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{T_m + 273,16} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

Em que:

$ET_o$  é a evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ ),  $R_n$  é a radiação líquida total e  $G$  é a densidade de fluxo de calor na superfície do solo ( $\text{MJ m}^2 \text{dia}^{-1}$ ),  $e_s$  é a pressão de saturação de vapor do ar,  $e_a$  é a pressão de vapor do ar atual,  $\Delta$  é a declividade da curva de pressão de vapor e  $\gamma$  é a coeficiente psicométrico, (todos em  $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ).

As equações avaliadas (Tabela 2), possuem como base dados de temperatura média do ar e radiação solar, são descritas: (2) por Hargreaves & Samani (1985); (3) Doorenbos & Pruitt (1977); (3) Camargo (1971) e (4) Pereira et al. (1997).

**Tabela 2.** Equações avaliadas para estimativa da evapotranspiração de referência em Manaus, estado do Amazonas.

Modelo	Equação	Número da Eq.
Hargreaves e Samani (HS)	$ET_o = \alpha (T_x - T_n)^\beta (T_m + 17,8) 0,408 Ra$	(2)
FAO – Radiação (RA)	$ET_o = a + b(W.Rs)$	(3)
Camargo (CM)	$ET_o = K.Ra.Tm$	(4)
Makkink (MK)	$ET_o = 0,61.W.K.Ra$	(5)

A análise dos resultados obtidos foi realizada através do Índice de Willmott (Id) e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

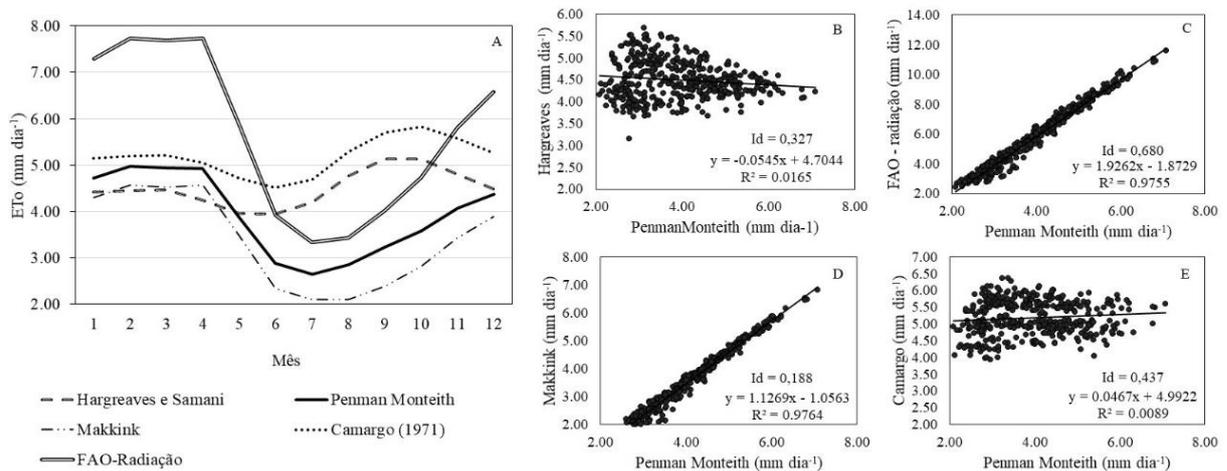
$$Id = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|Y_i - X_i| + |X_i - X|)^2} \right] \quad (6)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (7)$$

Em que:  $X$  é a média dos valores estimados pelo modelo padrão;  $Y_i$  são os valores obtidos pelos modelos propostos;  $X_i$  são os valores obtidos pelo modelo padrão;  $n$  o número de comparações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre as equações avaliadas, observa-se que o modelo MK foi o que apresentou estimativas mais próximas ao modelo PM, sendo o modelo que melhor acompanhou as estimativas de PM ao longo do ano e com  $R^2 = 0,976$ , (Figura 1A e 1D).



**Figura 1.** Evapotranspiração pelas equações avaliadas para estimativa da evapotranspiração de referência ao longo do ano (a); Comparação das estimativas da evapotranspiração de referência dos modelos Hargreaves e Samani (b), FAO-Radiação (c), Makkink (d) e Camargo (d) com o modelo padrão Penman Monteith para Manaus – Amazonas.

As equações de HS e CM apresentaram estimativas bem próximas durante os quatro primeiros meses do ano (Figura 1a), período com maior UR nesse local. Após esse período as equações CM e HS superestimaram a ETo, podendo ser considerado um indicativo, que essas equações apresentam resultados mais distantes do modelo PM em épocas e/ou regiões mais secas. Além de que para Manaus, as equações HS e CM apresentaram variação discrepante do modelo PM, com  $R^2$  de 0,0165 e 0,0089, com ETo crescente nos períodos em que PM apresentava ETo em queda.

Essa proximidade de estimativas pode ser um indicativo que partindo de um ajuste local para esses modelos, resultados melhores podem ser obtidos. Em todo o planeta, pesquisadores nas mais diversificadas condições climáticas, revelaram um desempenho variável de estimativas de ETo em inúmeros modelos, indicando a necessidade de calibração local (ALLEN et al., 1998; RAZIEI & PEREIRA, 2013).

Sobre o efeito da UR na ETo, quando a atmosfera próxima não está saturada, a quantidade de água evaporada é maior do que a quantidade de água que retorna. Posto isso, a movimentação do ar remove o vapor d'água, dificultando a elevação da UR (ALLEN et al., 1998; VAREJÃO, 2006). Assim, pode-se afirmar que com UR elevada, a influência da UR e

$u_{10}$  na ETo é diminuída, podendo contribuir para estimativas mais próximas com HS e CM no período do ano com UR elevada.

Ainda segundo Allen et al. (1998) e Varejão (2006), mesmo sendo a diferença entre a pressão de vapor de água na superfície evapotranspirada e o ar circundante fatores determinantes para a remoção desse vapor, a radiação solar é a força motriz para a evapotranspiração, assim justifica-se os resultados do modelo RA, apresentando elevado  $R^2$  (0,975), demonstrando que o coeficiente de determinação sozinho não pode ser utilizado para avaliar modelos ajustados (Figura 2), mesmo assim obtendo as maiores superestimativas no começo do ano. Fato comprovado quando se observam os valores de Id.

A equação RA apresentou comportamento semelhante ao modelo padrão diminuindo e aumentando seus valores de ETo nos mesmos períodos, apesar de sempre superestimar a ETo. Carvalho et al. (2018) em estudo semelhante para Campos Sales, no estado do Ceará, obtiveram resultados semelhantes quanto aos modelos HS e CM, entretanto, os autores verificaram que para essa cidade do sertão cearense, Campos Sales, o melhor modelo foi RA.

## CONCLUSÕES

Em função dos melhores índices estatísticos utilizados no presente trabalho, o modelo Makkink apresentou melhores estimativas da ETo. Já o modelo de FAO Radiação apresentou respostas com menor concordância para Manaus, superestimando a ETo durante todos os períodos do ano. Os modelos Hargreaves e Samani e Camargo apresentaram baixos índices de concordância, mostrando estimativas próximas ao modelo padrão somente nos primeiros meses do ano, sobretudo com coeficientes de determinação muito baixos, não sendo recomendados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56**. FAO, p. 300, 1998
- CAMARGO, A. P. **Balanco hídrico no Estado de São Paulo**. 3a.ed., Campinas, IAC. 24 p. (Bol.116), 1971.

CARVALHO, T. R. A.; BRASIL, J. B.; LIMA JUNIOR, J. C.; MACÊDO, K. G. Evapotranspiração de referência para Campos Sales – CE: métodos combinados e empíricos. **Revista geonorte**, v. 9, n. 32, p. 123-136, 2018.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guldel Ines for predicting Crop Water Requirements**. FAO Irrigation and Drainage paper 24, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 144p., 1977.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Transaction of ASAE**, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.

JENSEN, M. E.; ALLEN, R. G. eds. "**Evaporation, evapotranspiration, and irrigation water requirements**." American Society of Civil Engineers, 2016.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDYIAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 183 p., 1997.

RAZIEI, T.; PEREIRA, L. S. Estimation of ETo with Hargreaves–Samani and FAO-PM temperature methods for a wide range of climates in Iran. **Agricultural water management**, v. 121, p. 1-18, 2013.

VAREJÃO, M. A. Meteorologia e climatologia. **Versão digital**, v. 2, p. 463, 2006.

XIANG, K.; LI, Y.; HORTON, R.; FENG, H. Similarity and difference of potential evapotranspiration and reference crop evapotranspiration—a review. **Agricultural Water Management**, v. 232, p. 106043, 2020.