

# **MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET<sub>o</sub>) BASEADA NA TEMPERATURA DO AR PARA RIO BRANCO, ACRE<sup>1</sup>**

M. L. A. de SOUZA<sup>2</sup>; J. W. de SOUSA<sup>3</sup>

**RESUMO:** Com o objetivo de comparar o desempenho dos métodos de estimativa da ET<sub>o</sub> para a região de Rio Branco-AC, foram avaliados os métodos de Linacre, Thornthwaite, Thornthwaite modificado e Turc, tendo como padrão o método Penman-Monteith-FAO. Baseados em dados climáticos decendiais coletados em estação climatológica convencional. A análise comparativa entre os métodos de estimativa da ET<sub>o</sub> com o padrão ET<sub>o</sub>PM, o método que obteve melhor desempenho foi o método de Turc.

**PALAVRAS CHAVE:** Temperatura do ar, Camargo e Sentelhas, Willmont.

## **METHODS OF ESTIMATION OF REFERENCE OF THE EVAPOTRANSPIRATION (ET<sub>o</sub>) BASED ON TEMPERATURE OF THE AIR FOR RIO BRANCO, ACRE**

**SUMMARY:** In order to compare the performance of methods for estimating the ET<sub>o</sub> for the region of Rio Branco-AC, were the methods of Linacre, Thornthwaite, Thornthwaite modified and Turc, with the standard method the Penman-Monteith-FAO. Based on climate data collected in ten days conventional climatological station. The comparative analysis between the methods of estimation of ET<sub>o</sub> ET<sub>o</sub>PM with the pattern, the method that best performance was obtained with the method of Turc.

**KEYWORDS:** Air temperature, Camargo and Sentelhas, Willmont.

---

<sup>1</sup> Universidade Federal do Acre – UFAC. Pró-reitoria de Pós-Graduação. Parte de Dissertação de Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal.

<sup>2</sup> Eng. Agrônoma. Mestranda em Agronomia. Centro de Ciências Biológicas e da Natureza da Universidade Federal do Acre. CEP: 69.907-390, Rio Branco, AC. Fone: (68) 3227 4679 e-mail: [mosele\\_aquino@yahoo.com.br](mailto:mosele_aquino@yahoo.com.br).

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo. Prof. Adjunto, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza da Universidade Federal do Acre. e-mail: [jwsc@brturbo.com.br](mailto:jwsc@brturbo.com.br)

\*Esta pesquisa contou com o Apoio da Fundação de Tecnologia do Estado do Acre-FUNTAC.

## INTRODUÇÃO

A precipitação na Amazônia é uma composição da quantidade de água evaporada localmente (evapotranspiração) adicionada de uma contribuição de água advinda do Oceano Atlântico. Desta maneira, pode-se estimar que aproximadamente 50% do vapor de água que precipita pelas chuvas é gerado localmente devido à evapotranspiração, sendo o restante importado para a região pelo fluxo atmosférico proveniente do Oceano Atlântico (SALATI, 2001).

De acordo com CAMARGO e CAMARGO (2000) o modelo de Penman-Monteith-FAO prediz com eficácia a ETo em diversas condições de umidade atmosférica necessitando, entretanto, de vários elementos meteorológicos que nem sempre se encontram disponíveis em algumas regiões. A alternativa, segundo os autores, é o uso de equações simplificadas. O objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho dos métodos de Linacre, Thornthwaite, Thornthwaite modificado e Turc em relação ao método padrão de Penman-Monteith-FAO para a região Rio Branco, AC, baseados em médias decendiais.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados meteorológicos utilizados correspondem a um período de 26 anos, coletados na Estação Climatológica Principal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instalada na área experimental do Centro de Ciências Biológicas e da Natureza – CCBN/Universidade Federal do Acre, que apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude 09° 57' 32" S, longitude 67° 52' 06" W e altitude de 159 m, em Rio Branco. O clima de Rio Branco é classificado por Köppen e apresentada por (PEREIRA et al., 2002) como Am, clima quente, megatérmico e úmido. Os dados climáticos decendiais disponíveis para a estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) foram: insolação; temperaturas do ar: máxima, mínima e média; temperatura do bulbo úmido; pressão atmosférica; evaporação de Piche e velocidade do vento medida a 10 m de altura.

Para análise estatística se usou o software Origin 6.0, análise de regressão pelo modelo linear  $y=a + bx$ , em que a variável dependente foi o método de Penman-Monteith, e os demais métodos, a variável independente. Ao correlacionar os valores estimados de ETo pelos métodos avaliados com o método de Penman-Monteith, empregou-se um coeficiente de confiança ou desempenho (c), que corresponde à multiplicação do coeficiente de correlação (r) pelo coeficiente de exatidão (d) proposto por WILLMONT et al. (1985) e descrito por CAMARGO e SENTELHAS (1997) da seguinte forma:

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

em que, d - coeficiente de concordância; Pi - valores estimados pelos métodos avaliados; Oi - valores obtidos utilizando-se o modelo de Penman-Monteith-FAO; O - média dos valores estimados pelo modelo de Penman-Monteith-FAO.

O desempenho dos métodos foi classificado como: ótimo para valores de “c” maiores que 0,85; muito bom para valores 0,76 a 0,85; bom para valores 0,66 a 0,75; regular para valores 0,51 a 0,65; ruim para valores 0,41 a 0,50 e péssimo para valores inferiores a 0,40. Os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência foram:

#### **Método de Penman-Monteith (EToPM)**

$$EToPM = (\Delta / (\Delta + \gamma^*)) (R_n - G) / \lambda_{evap} + (\gamma / (\Delta + \gamma^*)) 900 / (T_{med} + 273) v_2 (e_s - e_a) \quad (2)$$

em que, EToPM- evapotranspiração de referência pelo modelo de Penman-Monteith (mm dia<sup>-1</sup>);  $\Delta$ - inclinação da curva de pressão de saturação de vapor (kPa °C<sup>-1</sup>);  $\gamma^*$ - constante psicrométrica modificada (kPa °C<sup>-1</sup>);  $R_n$ - saldo de radiação da cultura (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>);  $G$ - fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>);  $\lambda_{evap}$ - calor latente de vaporização (MJ kg<sup>-1</sup>);  $\gamma$ - constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>);  $T_{med}$ - temperatura média do ar (°C);  $v_2$ - velocidade do vento a altura de 2 m;  $e_s$ - pressão de saturação de vapor (kPa);  $e_a$ - pressão parcial de vapor (kPa).

#### **Método de Linacre (EToL)**

$$EToL = \{ [500(T_{med} + 0,006h) / (100 - L)] + 15(T_{med} - T_o) \} / (80 - T_{med}) \quad (3)$$

em que, EToL- evapotranspiração de referência pelo método Linacre (mm dia<sup>-1</sup>); L- latitude local em módulo (graus); h- altitude local (m);  $T_{med}$ - temperatura média do ar (°C);  $T_o$ - temperatura média do ponto de orvalho (°C).

O valor de ( $T_{med} - T_o$ ) foi calculado empregando-se a expressão:

$$(T_{med} - T_o) = 0,0023h + 0,37T + 0,53(T_{máx} - T_{mín}) + 0,35R - 10,9 \quad (4)$$

em que, R- diferença entre as temperaturas médias dos meses mais quentes e mais frios (°C);  $T_{máx}$  - temperatura máxima do ar (°C);  $T_{mín}$  - temperatura mínima do ar (°C).

#### **Método de Thornthwaite (EToTH)**

$$EToTH = 16(D/Nd)(10T_{med}/I)^a \quad (5)$$

em que, EToTH- evapotranspiração de referência mensal pelo método de Thornthwaite (mm dia<sup>-1</sup>); D- fator de ajuste conforme o mês do ano e a latitude; Nd- número de dias do mês;  $T_{med}$  - temperatura média do ar (°C); I- índice de calor anual, que corresponde à soma dos 12 índices mensais “i”; a- função cúbica (I).

$$a = 0,675 \cdot 10^{-6} I^3 - 0,771 \cdot 10^{-4} I^2 + 1,792 \cdot 10^{-2} I + 0,49239 \quad (6)$$

#### **Método de Thornthwaite modificado (EToTH<sub>m</sub>)**

$$EToTH_m = 0,36(3 T_{máx} - T_{mín}) \quad (7)$$

em que,  $ET_{oTH_m}$ - evapotranspiração de referência pelo método de Thornthwaite modificado ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $T_{\text{máx}}$ - temperatura máxima do ar diária ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{\text{mín}}$ - temperatura mínima do ar diária ( $^{\circ}\text{C}$ ).

#### **Método de Turc ( $ET_{oTC}$ )**

$$ET_{oTC} = 0,013 [T_{\text{máx}} / (T_{\text{máx}} - 15)] (R_s + 50) \quad (8)$$

em que,  $ET_{oTC}$ - evapotranspiração de referência pelo método de Turc ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $T_{\text{máx}}$ - temperatura máxima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );  $R_s$ - radiação solar global disponível ao nível da superfície ( $\text{mm dia}^{-1}$ ).

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os valores mínimos, máximos e médios decendiais da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) para o município de Rio Branco estimados pelos métodos Penman-Monteith ( $ET_{oPM}$ ), Linacre ( $ET_{oL}$ ), Thornthwaite ( $ET_{oTH}$ ), Thornthwaite modificado ( $ET_{oTH_m}$ ) e Turc ( $ET_{oTC}$ ), estão apresentados na Tabela 1. Observou-se que no método Padrão ( $ET_{oPM}$ ), os valores mínimo e máximo decendiais da  $ET_o$  estimados foram  $2,18 \text{ mm dia}^{-1}$  no mês de junho e  $4,88 \text{ mm dia}^{-1}$  no mês de outubro, com valor médio anual de  $3,37 \text{ mm dia}^{-1}$ . Em relação aos demais métodos, os valores mínimos médios decendiais das  $ET_o$  estimadas variaram desde  $1,15 \text{ mm dia}^{-1}$  para o método de  $ET_{oTH}$  no mês de julho a  $3,50 \text{ mm dia}^{-1}$  para o método de  $ET_{oL}$  no mês de julho. Os valores máximos mensais variaram desde  $5,27 \text{ mm dia}^{-1}$  para o método de  $ET_{oTC}$  no mês de março a  $8,21 \text{ mm dia}^{-1}$  para o método de  $ET_{oTH_m}$  no mês de setembro. Observa-se na Tabela 1, que ao longo do ano, os valores médios decendiais da  $ET_o$  estimados pelos métodos ( $ET_{oTC}$ )  $3,76 \text{ mm dia}^{-1}$  e ( $ET_{oTH}$ )  $3,92 \text{ mm dia}^{-1}$ , foram os que mais se aproximaram do método padrão (PM), e os que mais se distanciaram foram ( $ET_{oL}$ )  $4,97 \text{ mm dia}^{-1}$  e ( $ET_{oTH_m}$ )  $4,64 \text{ mm dia}^{-1}$ . MENDONÇA et al. (2003) avaliando os métodos de Penman-Monteith-FAO, Makkink, Linacre, Jensen-Haise, Hargreaves-Samani, Radiação Solar, Tanque Classe “A” e Atmômetro SEEI modificado para os períodos de 1, 3, 7 e 10 dias. Constatou que com exceção do Atmômetro SEEI modificado, atende satisfatoriamente à estimativa da  $ET_o$  na região Norte Fluminense, RJ, principalmente em períodos de 7 e 10 dias.

Na Tabela 2, apresenta as equações de regressão ajustadas, índices estatísticos e classificação dos métodos para Rio Branco-AC, observa que os métodos ( $ET_{oL}$ ) e ( $ET_{oTH_m}$ ) foram classificados com desempenho péssimo e o método ( $ET_{oTH}$ ) classificado com desempenho mau, os mesmos apresentaram baixos coeficientes de correlação com ( $r=0,54$ ) e ( $r=0,66$ ). Este índice isolado, não é suficiente para a indicação de modelos.

TABELA 1. Evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) média decendial estimada pelos métodos de EToPM, EToL, EToTH, EToTH<sub>m</sub> e EToTC para o município de Rio Branco.

Métodos	Valor	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
<b>EToPM</b>	Mín	2,93	2,84	2,68	2,46	2,20	2,18	2,34	2,30	2,93	3,15	2,90	2,82	2,18
	Máx	4,22	4,16	4,77	3,85	3,78	3,50	4,01	4,35	4,49	4,88	4,82	4,27	4,88
	Méd	3,48	3,39	3,36	3,18	2,95	2,78	3,11	3,38	3,69	3,95	3,75	3,48	3,37
<b>EToL</b>	Mín	4,71	5,18	4,70	4,60	4,24	4,06	3,50	4,06	4,63	4,61	4,83	4,58	3,50
	Máx	5,19	5,85	5,29	5,34	5,25	5,25	5,08	5,48	5,52	5,46	5,61	5,94	5,94
	Méd	4,94	5,46	4,96	5,08	4,78	4,76	4,57	4,79	5,10	5,06	5,15	5,00	4,97
<b>EToTH</b>	Mín	3,55	3,44	3,46	4,95	2,32	1,71	1,15	1,95	2,83	3,26	3,52	3,29	1,15
	Máx	5,04	5,27	5,15	2,81	4,83	4,24	4,28	5,51	5,25	5,79	5,85	8,12	8,12
	Méd	4,25	4,18	4,17	3,93	3,55	3,05	3,00	3,53	4,00	4,47	4,38	4,50	3,92
<b>EToTH<sub>m</sub></b>	Mín	3,09	3,22	3,04	2,77	2,59	1,95	2,06	3,26	3,68	3,85	3,52	3,33	1,95
	Máx	5,32	5,67	5,73	5,80	5,56	6,57	6,67	7,81	8,21	8,08	7,10	6,03	8,21
	Méd	4,12	4,14	4,10	4,12	4,09	4,29	4,87	5,82	5,68	5,45	4,69	4,31	4,64
<b>EToTC</b>	Min	3,16	2,97	2,89	2,72	2,47	2,39	2,74	2,54	2,85	3,11	3,18	4,52	2,39
	Máx	4,61	4,47	5,27	4,40	4,41	4,51	4,69	5,00	4,81	5,21	5,04	3,07	5,27
	Méd	3,76	3,65	3,65	3,57	3,46	3,40	3,84	3,81	3,94	4,22	4,05	3,77	3,76

Na Tabela 2, mostra o método que teve melhor desempenho foi Turc (EToTC) classificado como bom, com coeficiente ( $c=0,71$ ) e ( $r=0,88$ ). BACK (2008) encontrou resultados satisfatórios para o método de Thornthwaite, o qual foi classificado com desempenho bom em intervalos decendiais e muito bom na escala mensal, com erro padrão de estimativa de 0,613 mm a 0,487 mm.

TABELA 2. Valores dos coeficientes de correlação ( $r$ ), exatidão ( $d$ ), desempenho ( $c$ ), variação ( $cv$ ) e classificação dos métodos para a (ETo) em  $\text{mm dia}^{-1}$ , para Rio Branco-AC.

Métodos	$y=a + bx$	$r$	$d$	$c$	$cv$ (%)	Classificação
<b>EToL</b>	$y=-0,9364 + 0,8673x$	0,54	0,33	0,18	7,96	Péssimo
<b>EToTH</b>	$y=1,6372 + 0,4439x$	0,66	0,65	0,43	8,94	Mau
<b>EToTH<sub>m</sub></b>	$y=2,1376 + 0,2672x$	0,54	0,41	0,22	8,48	Péssimo
<b>EToTC</b>	$y=0,0503 + 0,8834x$	0,88	0,81	0,71	5,93	Bom

Na Figura 1, se observar os valores médios decendiais das estimativas da ETo para o município de Rio Branco, apresentou comportamento sazonal semelhante entre os métodos, o que indica uma correlação entre os métodos. Constatou-se uma tendência de superestimativa da ETo pelo método EToL, EToTH<sub>m</sub>, EToTC ao longo do ano e subestimativa pelo método EToTH no mês de julho em relação ao padrão.

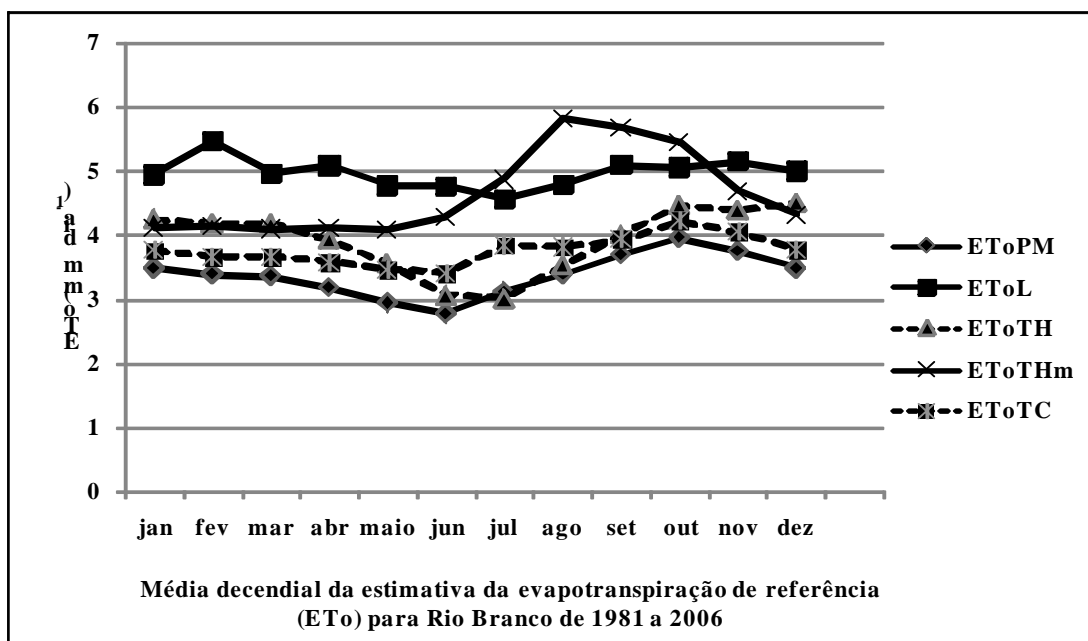


FIGURA 1. Variação da ETo média decendial para o município de Rio Branco, Acre.

## CONCLUSÕES

O método de Turc foi o que apresentou o melhor desempenho para a estimativa da ETo na região de Rio Branco, Acre.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACK, A. J. Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga, SC. **Irriga**, Botucatu, SP, v. 13, n. 4, p. 449-466, 2008.

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, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.

MENDONÇA, J. C. SOUSA, E. F. de; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração potencial de referência (ETo) para a Região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002, 478p.

SALATI, E. Mudanças climáticas e o ciclo hidrológico na Amazônia. p. 153-172. In: V. Fleischresser (ed.), **Causas e Dinâmica do Desmatamento na Amazônia**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF. 2001. 436p.

WILLMONT, C. J.; DAVIS, R. E.; ACKLESON, S. G.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; ROWE, C. M.; O'DONNEELL, J. Statistics for the evaluation and comparision of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.