

MARIA LIZETE AQUINO DE SOUZA

The coat of arms of the State of Acre is centered in the background. It features a yellow crown at the top, a shield with a blue and white vertical division containing the letters 'UE' and 'AC' in yellow, and a chain with a red star at the bottom.

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) EM
RIO BRANCO, ACRE**

RIO BRANCO

2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

MARIA LIZETE AQUINO DE SOUZA

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) EM
RIO BRANCO, ACRE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal da Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Washington de Sousa.

RIO BRANCO

2009

© SOUZA, M. L. A. 2009.

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade Federal do Acre

S729a

SOUZA, Maria Lizete Aquino de. **Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) em Rio Branco, Acre.** 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Acre, Rio Branco – Acre, 2009.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Washington de Sousa

1. Temperatura do ar, 2. Penman-Monteith, 3. Rio Branco-Acre, I. Título

CDU 551.524 (811.2)

MARIA LIZETE AQUINO DE SOUZA

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o)
EM RIO BRANCO, ACRE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal da Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Aprovada em 27 de julho de 2009.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jorge Washington de Sousa
Universidade Federal do Acre - UFAC
Orientador

Prof. Ph. D. Irving Foster Brown
Centro de Pesquisa de Woods Hole
Membro

Profa. Dra. Regina Lúcia Félix Ferreira
Universidade Federal do Acre - UFAC
Membro

RIO BRANCO

2009

Dedico esta dissertação a Deus e aqueles que se sintam felizes com minhas conquistas.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao glorioso **DEUS**, que tudo fez na minha vida inclusive concluir este trabalho.

Aos meus pais, Maria Elisabete Aquino de Souza e Alberto Cavalcante de Souza (in memória), responsáveis por minha existência e educação.

Ao professor Dr. Jorge Washington de Sousa, pela orientação, paciência, compreensão e incentivo expressado na realização deste trabalho.

A Universidade Federal do Acre - UFAC, especialmente ao Curso de Pós-graduação em Agronomia, pela oportunidade de dar continuidade a minha formação acadêmica.

Aos observadores meteorológicos Teodoro Solon Quitela (Aposentado - Ministério da Agricultura (MA), Antônio Carlos Chaim (MA), José Carlos Abmorad (MA) e Genésio Faustino de Souza (UFAC), pela cessão dos elementos meteorológicos utilizados nesse trabalho, os quais foram obtidos na Estação Meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia, localizada na área experimental do Centro de Ciências Biológicas e da Natureza – CCBN - UFAC.

Aos Professores do curso de Pós-Graduação em Agronomia em especial ao Prof. Dr. Sebastião Elviro de Araújo Neto, Coordenador do Mestrado, e a todos pelas informações recebidas e conhecimentos adquiridos em suas respectivas disciplinas.

A FUNTAC – Fundação de Tecnologia do Estado do Acre, pelo apoio financeiro do Fundo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FDCT, pelo auxílio em minha pesquisa de Mestrado.

A CAPES – pela concessão da Bolsa de Estudos, sem a qual se tornaria muito difícil a realização deste curso.

Aos colegas Celiana Barbosa, Juliana Silveira, Sergio Fiúza, meus agradecimentos pelo companheirismo e horas que estudamos juntos, valeu.

Aos componentes da banca examinadora presidente Dr. Jorge Washington de Sousa e aos membros Dr. Irving Foster Brown, Dra. Regina Lúcia Félix Ferreira e Dr. Sebastião Elviro de Araújo Neto, pela responsabilidade na avaliação e aprovação do trabalho final.

Enfim, a todos que não foram citados, mas que de alguma forma direta ou indiretamente, contribuíram para que fossem possíveis as realizações do trabalho de pesquisa.

“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um
pode começar agora e fazer um novo fim”.

(Chico Xavier)

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo comparar oito equações de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para o município de Rio Branco, AC baseadas na temperatura do ar, tendo o método de Penman-Monteith-FAO (ALLEN et al., 1998) como padrão. As variáveis climáticas utilizadas são oriundas do acervo da Estação Meteorológica Convencional instalada na Universidade Federal do Acre referente ao período de 1981 a 2006. A avaliação das estimativas da ET_o, se baseou no coeficiente de correlação (r), coeficiente de determinação (r^2), erro padrão da estimativa (SEE), erro padrão de estimativa ajustado (ASEE), erro padrão da estimativa ponderado (SEE_{pond}), índice de concordância (d), além do coeficiente de confiança ou desempenho “ c ” proposto por Camargo e Sentelhas (1997). Os resultados indicaram que apenas o modelo de Turc estimou satisfatoriamente a ET_o para a região de Rio Branco, AC com desempenho ótimo para dados diários e desempenho bom, para dados médios decendiais. Os modelos de Benevides-Lopez, Camargo, Hargreaves-Samani, Kharrufa, Linacre, Thornthwaite, Thornthwaite modificado superestimaram a estimativa da evapotranspiração de referência em relação ao método de Penman-Monteith-FAO.

PALAVRAS-CHAVE: Temperatura do ar; Penman-Monteith; Rio Branco, Acre.

ABSTRACT

This study compared eight equations to estimate the reference evapotranspiration (ET_o) for the municipality of Rio Branco, AC based on air temperature and the method of Penman-Monteith-FAO (Allen et al., 1998) the reference. The climatic variables used are from the collection of Conventional Meteorological Station installed at the Federal University of Acre for the period 1981 to 2006. The evaluation of the estimates of ET_o was based on correlation coefficient (r), coefficient of determination (r^2), standard error of estimate (SEE), adjusted standard error of estimate (ASEE), standard error of the weighted estimate (SEE_{pond}) index of agreement (d) and the coefficient of confidence or performance (c) proposed by Camargo and Sentelhas (1997). The results indicated that only the Turc model estimated satisfactorily ET_o for the region of Rio Branco, AC optimum performance with daily data, and good performance, for data for ten days average. The models of Benevides-Lopez, Camargo, Hargreaves-Samani, Kharrufa, Linacre, Thornthwaite, Thornthwaite modified overestimated the estimate of reference evapotranspiration in relation to the method of Penman-Monteith-FAO.

KEY-WORDS: Air temperature; Penman-Monteith; Rio Branco, Acre.

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Critério de avaliação do desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência pelo índice (c) proposto por Camargo e Sentelhas (1997).....	47
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Evapotranspiração de referência ETo mensal (mm dia^{-1}) estimada a partir de dados climatológicos diários (período 1981-2006) para o município de Rio Branco-AC, UFAC - 2009.....	50
GRÁFICO 2 - Evapotranspiração de referência ETo (mm dia^{-1}) estimada a partir de dados climatológicos decendiais (período 1981-2006) para o município de Rio Branco-AC, UFAC - 2009.....	60

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1-	Estação Climatológica Principal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instalada na Universidade Federal do Acre, no município de Rio Branco-AC.....	36
FIGURA 2 -	Correlações entre os valores da ETo estimados com dados climatológicos diários (período 1981-2006) pelos modelos Benevides-Lopez-EToBL (2a), Camargo-EToC (2b), Hargreaves-Samani-EToHS (2c), Kharrufa-EToK (2d) e o modelo de Penman-Monteith-EToPM em (mm dia^{-1}) para o município de Rio Branco-AC, UFAC – 2009.....	54
FIGURA 3 -	Correlações entre os valores da ETo estimados com dados climatológicos diários (período 1981-2006) pelos métodos de Linacre-EToL (3a), Thornthwaite-EToTH (3b), Thornthwaite modificado-EToTH _m (3c), Turc-EToTC (3d) e o modelo de Penman-Monteith-EToPM em (mm dia^{-1}) para o município de Rio Branco-AC, UFAC – 2009.....	55
FIGURA 4 -	Correlações entre os valores decendiais (período 1981-2006) da ETo estimados pelos modelos Benevides-Lopez-EToBL (4a), Camargo-EToC (4b), Hargreaves-Samani-EToHS (4c), Kharrufa-EToK (4d) e o modelo de Penman-Monteith-EToPM em (mm dia^{-1}) para o município de Rio Branco-AC, UFAC – 2009.....	63
FIGURA 5 -	Correlações entre os valores decendiais (período 1981-2006) da ETo estimados pelos modelos Linacre-EToL (5a), Thornthwaite-EToTH (5b), Thornthwaite modificado-EToTH _m (5c), Turc-EToTC (5d) e o modelo de Penman-Monteith-EToPM em (mm dia^{-1}) para o município de Rio Branco-AC, UFAC – 2009.....	64

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	Evapotranspiração de referência mensal (mm dia^{-1}) estimada com dados climatológicos diários (período 1981-2006) pelos métodos de EToPM, EToBL, EToC, EToHS, EToK, EToL, EToTH, EToTH _m e EToTC para o município de Rio Branco, UFAC – 2009.....	49
TABELA 2 -	Evapotranspiração de referência estimada com dados climatológicos diários (período 1981-2006), percentagem relativa em relação ao modelo padrão (EToPM), coeficientes das equações de regressão ajustadas (a e b), coeficiente de determinação (r^2), erro-padrão de estimativa (SEE), erro-padrão de estimativa ajustado (ASEE) e erro-padrão de estimativa ponderado (SEE_{pond}) para o município de Rio Branco-AC, UFAC – 2009.....	52
TABELA 3 -	Coeficiente de calibração local (b_c), erro-padrão de estimativa ajustado (ASEE) e erro-padrão de estimativa ponderado (SEE_{pond}) referentes aos modelos de estimativa da ETo a partir de dados climatológicos diários (período 1981-2006) para o município de Rio Branco-AC, UFAC – 2009.....	56
TABELA 4 -	Coeficientes de correlação (r), exatidão (d), desempenho (c), variação (cv) e classificação dos métodos de estimativa da ETo com dados climatológicos diários (período 1981-2006), segundo os critérios de Camargo e Sentelhas (1997) para o município de Rio Branco-AC, UFAC – 2009.....	57
TABELA 5 -	Evapotranspiração de referência mensal (mm dia^{-1}) estimada com dados climatológicos decendiais (período 1981-2006) pelos métodos de EToPM, EToBL, EToC, EToHS, EToK, EToL, EToTH, EToTH _m e EToTC para o município de Rio Branco-AC, UFAC – 2009.....	59
TABELA 6 -	Evapotranspiração de referência estimada com dados climatológicos decendiais (período 1981-2006), percentagem relativa em relação ao modelo padrão (EToPM), coeficientes das	

	equações de regressão ajustadas (a e b), coeficiente de determinação (r^2), erro-padrão de estimativa (SEE), erro-padrão de estimativa ajustado (ASEE) e erro-padrão de estimativa ponderado (SEE_{pond}) para o município de Rio Branco-AC, UFAC – 2009.....	62
TABELA 7 -	Coeficiente de calibração local (b_c), erro-padrão de estimativa ajustado (ASEE) e erro-padrão de estimativa ponderado (SEE_{pond}) referentes aos modelos de estimativa da ETo, a partir de dados climatológicos decendiais (período 1981-2006) para o município de Rio Branco-AC, UFAC – 2009.....	65
TABELA 8 -	Coeficientes de correlação (r), exatidão (d), desempenho (c), coeficiente de variação (cv) e classificação dos métodos de estimativa da ETo com dados climatológicos decendiais (período 1981-2006), segundo os critérios de Camargo e Sentelhas (1997) para o município de Rio Branco-AC, UFAC – 2009.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS

ASEE	- Erro padrão da estimativa ajustado
CAD	- Capacidade de armazenamento disponível
Ea	- Evaporação do ar
ET	- Evapotranspiração
ETo	- Evapotranspiração de referência
EToPM	- Evapotranspiração de referência modelo Penman-Monteith-FAO
EToBL	- Evapotranspiração de referência método Benevides-Lopez
EToC	- Evapotranspiração de referência método Camargo
EToHS	- Evapotranspiração de referência método Hargreaves-Samani
EToK	- Evapotranspiração de referência método de Kharrufa
EToL	- Evapotranspiração de referência método Linacre
EToTH	- Evapotranspiração de referência método Thornthwaite
EToTH _m	- Evapotranspiração de referência método Thornthwaite modificado
EToTC	- Evapotranspiração de referência método Turc
ETr	- Evapotranspiração de real
ETp	- Evapotranspiração potencial
ETc	- Evapotranspiração da cultura
ETm	- Evapotranspiração média
IAF	- Índice de área foliar
Kc	- Coeficiente de cultura
Ks	- Coeficiente de estresse
T _{máx}	- Temperatura máxima do ar
T _{mín}	- Temperatura mínima do ar
T _{med}	- Temperatura média do ar
r ²	- Coeficiente de determinação
SEE	- Erro Padrão da estimativa
SEE _{pond}	- Erro Padrão da estimativa ponderado
TCA	- Tanque Classe A
Y _{pi}	- Estimativa da ETo pelo modelo padrão
Y _{mi}	- Estimativa da ETo obtida para cada um dos métodos avaliados
Y _{regri}	- Estimativa da ETo obtida pela regressão ajustada ente os métodos e o

modelo padrão EToPM

- O - Média dos valores estimados de ETo pelo modelo EToPM
- O_i - Valores de ETo obtidos pelo modelo EToPM
- P_i - Valores de ETo estimados pelos demais métodos em estudo

LISTA DE SIGLAS

- AC - Estado do Acre
- CCBN - Centro de Ciências Biológicas e da Natureza
- EMC - Estação Meteorológica Convencional
- EMA - Estação Meteorológica Automática
- FAO - Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
- ICID - Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
- WMO - Organização Meteorológica Mundial
- UFAC - Universidade Federal do Acre

LISTA DE SÍMBOLOS

cv	- Coeficiente de variação
α	- Albedo da cultura
λ	- Calor latente requerido para evaporar uma unidade de água
H	- Calor sensível da camada limite
G	- Fluxo de calor sensível do solo
R_n	- Densidade de fluxo de radiação líquida
$^{\circ}C$	- Grau Celsius
$\%$	- Percentagem
Σ	- Somatória
γ	- Constante psicrométrica
λ_{evap}	- Calor latente de vaporização
γ^*	- Constante psicrométrica modificada
Δ	- Inclinação da curva de pressão de saturação de vapor
e_a	- Déficit de pressão de vapor
e_s	- Tensão de saturação de vapor de água
Q_s	- Balanço de radiação de ondas curtas
Q_L	- Balanço de radiação de ondas longas
Q_o	- Radiação extraterrestre
R_g	- Radiação solar global
Φ	- Latitude do local
n	- Brilho solar
N	- Duração astronômica do dia
V_2	- Velocidade do vento a 2 m de altura
PA	- Pressão atmosférica
UR	- Umidade relativa do ar
MJ	- Mega jaully
σ	- Constante de Stefan-Boltzmann
W	- Fator de ponderação dependente da temperatura do bulbo úmido
C_p	- Calor específico do ar
ρ	- Massa específica do ar
Δ_e	- Déficit de pressão de vapor

r_a	- Resistência aerodinâmica
P_i	- Evaporação de Piche
b_c	- Coeficiente de calibração local
t_{ar}	- Temperatura do ar
V_n	- Velocidade do vento ao nível de 2 m
Z_n	- Altura para qual se deseja converter a velocidade do vento
m	- Metro
mm	- Milímetros
Km	- Quilômetro
h	- Horas
λ_{ET}	- Densidade de fluxo de calor latente
kPa	- Quilo Pascal
K_t	- Coeficiente empírico
h	- Altitude local
e	- Pressão parcial de vapor
L	- Latitude local em módulo
I	- Índice de calor anual correspondente aos 12 índices mensais
a	- Função cúbica
D	- Fator de ajuste conforme o mês do ano e a latitude
T	- Temperatura média do ar
n	- Número de observações
R	- Diferença entre as temperaturas médias dos meses mais quentes e mais frios
R_a	- Radiação no topo da atmosfera
R_n	- Saldo de radiação solar
R_s	- Radiação global incidente
P	- Porcentagem do fotoperíodo mensal em relação ao fotoperíodo anual
T_a	- Temperatura média diária do ar
p	- Porcentagem de insolação máxima diária em relação ao horário de insolação teórico do ano.
BOL	- Balanço de ondas longas
BOC	- Balanço de ondas curtas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	20
2 REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO: HISTÓRICO E CONCEITO.....	22
2.2 FATORES QUE AFETAM A EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	24
2.2.1 Radiação solar.....	24
2.2.2 Temperatura do ar.....	26
2.2.3 Umidade do ar.....	28
2.2.4 Velocidade do vento.....	29
2.3 MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO	30
2.4 AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DA ET_0	33
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.1 MÉTODOS UTILIZADOS NA ESTIMATIVA DA ET_0 PARA REGIÃO DE ESTUDO.....	38
3.1.1 Método de Penman-Monteith (ET_{0PM}).....	38
3.1.2 Método de Benevides-Lopez (ET_{0BL}).....	40
3.1.3 Método de Camargo (ET_{0C}).....	40
3.1.4 Método de Hargreaves-Samani (ET_{0HS})	41
3.1.5 Método de Kharrufa (ET_{0K}).....	41
3.1.6 Método de Linacre (ET_{0L}).....	42
3.1.7 Método de Thornthwaite (ET_{0TH}).....	42
3.1.8 Método de Thornthwaite modificado (ET_{0TH_m}).....	43
3.1.9 Método de Turc (ET_{0TC})	44
3.2 ANÁLISE DOS DADOS.....	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4.1 AVALIAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE ESTIMATIVA DA ET_0 COM DADOS CLIMATOLÓGICOS DIÁRIOS.....	48
4.2 AVALIAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE ESTIMATIVA DA ET_0 COM DADOS CLIMATOLÓGICOS DECENDIAIS.....	58
5 CONCLUSÕES.....	67
REFERÊNCIAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

A evapotranspiração constitui um dos componentes do ciclo hidrológico que juntamente com os demais controles climáticos: circulação geral da atmosfera, natureza da cobertura da superfície e condições topográficas predominantes, são os fatores determinantes do clima da Amazônia, o qual é uma combinação de vários fatores, sendo que o mais importante é a disponibilidade de energia solar, através do balanço de energia. A energia que atinge a superfície terrestre é devolvida para a atmosfera na forma de fluxo de calor sensível (aquecimento) e latente (evapotranspiração) (MARENGO e NOBRE, 2005).

A precipitação na Amazônia é uma composição da quantidade de água evaporada localmente (evapotranspiração) adicionada de uma contribuição de água advinda do Oceano Atlântico. Estima-se 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).

A evaporação e a condensação sobre a Amazônia são os motores da circulação atmosférica global, tendo seus efeitos junto à precipitação na América do Sul e Hemisfério Norte (GEDNEY et al., 2000; WERTH et al., 2002). As florestas da Amazônia formam uma parte importante e contínua do funcionamento do sistema da terra desde a era do cretáceo (MASLIN et al., 2005).

A floresta Amazônica tem uma influência significativa sobre os climas regionais e globais, sendo que sua remoção pelo desmatamento pode ser um condutor das alterações climáticas. Os próximos anos representam uma oportunidade única, talvez a última, para manter a resiliência, a biodiversidade e os serviços do ecossistema da Amazônia face há uma ameaça de seca e um elevado desflorestamento significativo (MAHLI et al., 2008).

Na agricultura, informações quantitativas da evapotranspiração são de grande importância na avaliação da severidade, distribuição e frequência das deficiências hídricas, elaboração de projetos e manejo de sistemas de irrigação e drenagem (HENRIQUE e DANTAS, 2006).

A estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c) consiste no principal parâmetro a ser considerado no dimensionamento e manejo de sistemas de

irrigação, uma vez que totaliza a quantidade de água utilizada nos processos de evaporação e transpiração pela cultura durante um determinado período. A ET_c é calculada através do valor da evapotranspiração potencial de uma cultura de referência (ET_o) corrigida pelo coeficiente da cultura (K_c), sendo este dependente do tipo de cultura e do seu estágio de desenvolvimento (OLIVEIRA et al., 2001).

O modelo de Penman-Monteith-FAO prediz com eficácia a ET_o 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 (CAMARGO e CAMARGO, 2000).

Muitas estações e postos agrometeorológicos, disponibilizam somente séries históricas com dados de pluviosidade e termometria havendo, assim, a necessidade de se utilizarem, para cálculo de ET_o , métodos que empreguem apenas a temperatura do ar como variável de entrada. Dentre esses métodos destacam-se os de Thornthwaite, Blaney-Criddle, Camargo, Linacre e Hargreaves-Samani (STONE e SILVEIRA, 1995; PEREIRA et al., 1997; SAMANI, 2000).

As características edafoclimáticas da região de Rio Branco, AC, possibilitam o desenvolvimento satisfatório das culturas agrícolas durante a estação chuvosa que se estende de outubro a abril. No entanto, são observadas deficiências hídricas no período de junho a setembro, o que sugere a necessidade de implantação das técnicas da irrigação nessa localidade.

Devido à reduzida disponibilidade de resultados locais sobre pesquisas nessa área de conhecimento, o presente trabalho poderá contribuir para incrementar a agricultura irrigada na região, uma vez que o mesmo indicou métodos adequados para a estimativa da evapotranspiração de referência.

Nesta pesquisa, teve-se por objetivo comparar o desempenho dos métodos Benevides-Lopez, Camargo, Hargreaves-Samani, Kharrufa, Linacre, Thornthwaite, Thornthwaite modificado e Turc em relação ao modelo padrão de Penman-Monteith-FAO para a região de Rio Branco, baseando-se em valores diários e decendiais de evapotranspiração de referência (ET_o).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO: HISTÓRICO E CONCEITO

Nos anos 40 do século passado, C. W. Thornthwaite utilizou o termo evapotranspiração potencial (ETp) para expressar a ocorrência simultânea dos processos de transpiração e evaporação de um extenso gramado (superfície padrão de posto meteorológico), sem restrição hídrica, e em crescimento ativo (CAMARGO e CAMARGO, 2000). Penman (1948) citado por (SEDYAMA, 1996) na Inglaterra, redefiniu a ETp, ressaltando que a vegetação deve ser baixa e com altura uniforme. Posteriormente Penman (1956) adotou essa mesma definição de ETp, como aquela que representa um elemento climatológico que se contrapõe à chuva para expressar a disponibilidade hídrica regional. Teoricamente, ela seria a chuva adequada para que não houvesse deficiência de água no local.

Burman et al. (1983) e Jensen et al. (1991) definiram a evapotranspiração potencial como sendo a taxa máxima de água removida a partir de uma superfície de solo com cobertura vegetal, sem limitação de água, sendo expresso pela transferência do calor latente por unidade de área ou lâmina equivalente d'água por unidade de área.

Mais recentemente no Brasil, Sedyama (1996) definiu a ETp, como sendo a evapotranspiração que ocorre nas seguintes condições: extensa superfície vegetada cobrindo totalmente o solo, em crescimento ativo e sem restrição hídrica, de modo que somente o balanço vertical de energia interfira no processo, enquanto Medeiros (1996) conceituou a evapotranspiração potencial como a quantidade de água utilizada na unidade de tempo por uma cultura de porte baixo e verde, cobrindo totalmente a superfície, com altura uniforme e sem deficiência hídrica.

Para Coelho et al. (2000) a evapotranspiração consiste em um componente do balanço de energia, e é representada pelo calor latente de evaporação (evaporação da água do solo e transpiração de água das plantas) resultante da transformação do saldo de radiação solar (R_n) em calor sensível e latente do ar e aquecimento do solo.

A definição de evapotranspiração de referência (ETo) surgiu na década de 70,

visto que as definições originais, não especificavam o tipo de vegetação, o grau e a altura da cobertura vegetal em relação ao solo, as dimensões da superfície e as condições de bordadura. Em 1975, o Boletim 24 da FAO (DOORENBOS e PRUITT, 1977) conceituaram a ETo , tornando-a como referência para estimar as necessidades hídricas das culturas, exemplificando que a grama deve ter entre 0,08 e 0,15 m de altura para melhor caracterizar a superfície foliar transpirante.

A FAO por intermédio do boletim 56 recomendou o método de Penman-Monteith como padrão para a estimativa da evapotranspiração de referência até para locais com deficiência de dados meteorológicos necessários ao seu uso, fornecendo procedimentos e parametrizações adequadas em diversas escalas de tempo (diária, decendial e mensal) além de redefinir a evapotranspiração de referência como aquela de um gramado hipotético, com altura de 0,12 m, albedo igual a 0,23 e resistência da superfície ao transporte de vapor d'água de 70 s m^{-1} . Um gramado nessas condições possui índice de área foliar (IAF) ao redor de 3 m^2 de área foliar por m^2 de terreno ocupado e assemelha-se a uma superfície verde sombreando totalmente o solo, bem suprida de umidade, e em crescimento ativo (ALLEN et al., 1998).

Com relação à cultura de referência no Brasil, predomina o uso da grama batatais (*Paspalum notatum* Flüggé), conhecida como grama forquilha ou “bahia grass”, adotada como vegetação padrão nos postos agrometeorológicos, pois a mesma apresenta boa adaptação a quase todo tipo de solo, crescendo com vigor naqueles com boa fertilidade e umidade, mas com aspectos xeromórficos, nos solos pobres e sob condições de seca (SANTIAGO, 2001).

A estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc) consiste no principal parâmetro a ser considerado no dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação, uma vez que totaliza a quantidade de água utilizada nos processos de evaporação e transpiração pela cultura durante um determinado período. A ETc é calculada através do valor da evapotranspiração potencial de uma cultura de referência (ETo) corrigida pelo coeficiente da cultura (Kc), sendo este dependente do tipo de cultura e do seu estágio de desenvolvimento (OLIVEIRA et al., 2001).

2.2 FATORES QUE AFETAM A EVAPOTRANSPIRAÇÃO

De acordo com Allen et al. (1998) os fatores determinantes na evapotranspiração estão relacionados com as condições atmosféricas, a cultura, o manejo e as condições de campo. Os principais parâmetros meteorológicos que afetam diretamente a evapotranspiração são: a radiação solar, a temperatura do ar, a umidade do ar e a velocidade do vento. O tipo de cultura, sua variedade e seu estágio de desenvolvimento, bem como as condições nas quais estão dispostas na superfície (rastejante, ereta, espaldeira) são fatores que influenciam na quantidade de água evapotranspirada, juntamente com outras características, tais como a área e a arquitetura foliar, estágio de desenvolvimento, resistência do dossel e aqueles que geralmente estão associados ao valor do coeficiente de cultura (K_c).

2.2.1 Radiação solar

A energia proveniente do sol é o fator mais importante no desenvolvimento dos processos físicos que influenciam as condições de tempo e clima na Terra. O saldo de radiação (R_n) representa a energia disponível aos processos físicos e biológicos que ocorrem na superfície terrestre sendo definido como o balanço de radiação de todos os fluxos radiativos que chegam e saem de uma superfície (KLEIN et al., 1977; WELIGEPOLAGE, 2005).

Denomina-se fluxo de radiação a quantidade de energia radiante recebida, transmitida ou emitida por unidade de tempo. Quando este fluxo de radiação é expresso por unidade de área costuma-se chamar de densidade de fluxo radiante. A Organização Meteorológica Mundial (WMO) recomenda o uso dos termos emitância, para designar o fluxo de radiação emitido e irradiância, para representar o fluxo de radiação incidente (VAREJÃO-SILVA, 2000).

Segundo Allen et al. (1998) a radiação que chega em uma superfície perpendicular aos raios solares no topo da atmosfera é denominada constante solar, e equivale a aproximadamente a $0,082 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ou $1,96 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$.

De acordo com Tubelis e Nascimento (1992) ao atravessar a atmosfera terrestre, a radiação solar é afetada por processos seletivos de reflexão, difusão e absorção. No entanto uma parte desta radiação consegue atingir diretamente a superfície (radiação solar direta), enquanto que outra atinge, somando-se a anterior, a mesma superfície após sofrer o processo de difusão (radiação solar difusa ou do céu). Estes dois fluxos de energia, que chegam ao mesmo tempo e juntos, representam o total de radiação solar que atinge a superfície terrestre: radiação solar global.

Parte da radiação global é refletida pela superfície da terra, o que depende das características da cobertura dessa superfície como: diferentes vegetações, tipos de solo, sendo 5% para o caso da água e próximo a 25% para maioria dos cultivos (DOORENBOS e PRUITT, 1988).

Ometto (1981) define o saldo de radiação solar como sendo a radiação disponível ao meio após todas as trocas radiativas efetuadas, ou seja, é a quantificação entre a radiação solar incidente com a radiação solar emitida. De acordo com Tubelis e Nascimento (1992) o saldo de radiação solar representa a quantidade de energia radiante que é absorvida pela superfície terrestre, resultante da soma dos balanços de radiação de ondas curtas e ondas longas.

A evapotranspiração é controlada pela disponibilidade de energia do meio, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água para as plantas no solo, sendo a demanda atmosférica controlada pelo poder evaporante do ar relacionado à velocidade do vento e ao déficit de pressão de vapor (PEREIRA et al., 1997). Sentelhas (1998) relata para uma dada região, que quanto maior for a disponibilidade de energia solar, temperatura do ar e velocidade do vento, e quanto menor for a umidade relativa, maior será a taxa de evapotranspiração de referência.

Segundo SMITH (1991) caso não se disponha de dados de radiação solar incidente (R_s) medidos em determinado local, pode-se lançar mão de estimativas a partir de dados de insolação (n), considerando-se ainda, valores de N (fotoperíodo) e dados de radiação no topo da atmosfera (R_a), tendo conhecimento dos coeficientes de Angström (a e b), conforme a equação a seguir:

$$R_g = R_a(a + b \, n/N) \quad (1)$$

Segundo Pereira et al. (1997) na ausência de dados de radiação solar global, Glover e McCulloch (1958) propuseram a equação:

$$a=0,29 \cos \varphi \quad (2)$$

onde φ é a latitude local em graus, e $\varphi < 60$ graus. O parâmetro b é uma constante com valor igual a 0,52.

Pereira et al. (2002) obtiveram resultados satisfatórios comparando o modelo de Angström, com coeficientes a e b propostos por Caramori et al. (1985) com os valores medidos pelo actinógrafo de Robitzsch, obtendo um coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,824.

2.2.2 Temperatura do ar

A temperatura do ar à superfície da Terra apresenta um comportamento cíclico, passando por uma temperatura máxima e por uma mínima durante o dia. Pela própria definição, a temperatura média diária do ar deveria ser considerada como a média aritmética de todas as temperaturas observadas a intervalos regulares e curtos. No entanto, no Brasil, assim como em quase todos os países, esta “média” é estimada através de um parâmetro chamado de “temperatura compensada” (VAREJÃO-SILVA, 2000).

O curso anual da radiação solar é o principal fator que determina a variação da temperatura do ar, à medida que aumentamos a latitude, a temperatura média do ar diminui. Outro fator que altera inversamente o valor da temperatura média do ar é a altitude, em média à medida que se eleva 100 m, ocorre um resfriamento na ordem de 0,65 °C (TUBELIS e NASCIMENTO, 1992).

A temperatura nas camadas de ar mais próximas à superfície é um parâmetro de relevância ecológica, ambiental e agrícola. Do ponto de vista agrícola, a temperatura do ar relaciona-se com as fases fenológicas das culturas, maturidade fisiológica (GADIOLI et al., 2000) e demanda hídrica (HARGREAVES et al., 1985; ALLEN et al., 1998).

Segundo Silva (2003) as principais variáveis climáticas, as quais proporcionam energia para vaporização e remoção de vapor de água, a partir de superfícies evaporantes são: radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, déficit de pressão de vapor e nebulosidade.

A temperatura do ar tem sua importância na determinação da

evapotranspiração de referência, pelo fato de ser um dos elementos climáticos mais disponíveis em estações meteorológicas. Na ausência de dados de radiação, esse elemento meteorológico pode ser usado como indicativo de energia no sistema estudado. A radiação absorvida pela atmosfera aumenta a temperatura do ar, contribuindo para a intensificação do processo de evapotranspiração. Dessa forma a temperatura do ar interfere nas condições ambientais, interagindo com outras variáveis relevantes para o processo de evapotranspiração (MEDEIROS, 2002).

De acordo com Filho et al. (2005) a temperatura do ar é uma variável climática necessária para a agricultura, influenciando diretamente no desenvolvimento das plantas. Seu efeito na agricultura é tão importante quanto seu efeito no conforto térmico humano e animal ou na previsão de incêndios florestais. Na agricultura, a elevação da temperatura do ar tem efeitos no crescimento das plantas, como por exemplo, no aumento da evapotranspiração. Em contrapartida, a diminuição da temperatura do ar pode afetar a duração dos estádios fenológicos da cultura, prolongando a duração do ciclo.

A temperatura é um dos mais importantes elementos meteorológicos, pois a mesma evidencia os estados dinâmicos da atmosfera e revela a circulação atmosférica, sendo capaz de facilitar e/ou bloquear os fenômenos atmosféricos. É de fundamental importância às medições da temperatura do ar, em qualquer instante, principalmente naqueles horários recomendados pela WMO (Organização Meteorológica Mundial), incluindo as temperaturas máximas e mínimas do ar, ocorridas em um período de 24 horas, e na impossibilidade destas últimas medidas, deve-se recorrer a métodos de estimativas (AZEVEDO et al., 2005).

Na ausência de dados de radiação solar, esse elemento pode ser obtido a partir da diferença de temperaturas. A diferença entre temperatura máxima do ar ($T_{\text{máx}}$) e mínima do ar ($T_{\text{mín}}$) está relacionada ao grau de cobertura de nuvens no local, como condições de céu claro proporcionam uma $T_{\text{máx}}$ elevada e baixa $T_{\text{mín}}$, pois um maior percentual de radiação de ondas curtas penetra e um menor percentual de radiação de ondas longas, é absorvido pela atmosfera. Ao contrário, sob condições de nebulosidade, a $T_{\text{máx}}$ é menor, porque parte da radiação não alcança a superfície da terra, sendo absorvida e refletida pelas nuvens. Portanto, a diferença entre temperatura máxima e mínima é um bom indicador da fração de radiação no topo da atmosfera, que alcança a superfície da terra. Esse princípio tem

sido adotado por Hargreaves e Samani para desenvolver estimativas de ETo usando dados de temperatura do ar (ALLEN et al., 1998).

2.2.3 Umidade do ar

A água que está presente na atmosfera pode ser expressa de várias formas, sejam elas através da pressão de vapor, da temperatura no ponto de orvalho ou da umidade relativa, entre outras (ALLEN et al., 1998).

Na floresta Amazônica, cerca de 50% do vapor de água que se transforma em chuvas é proveniente da evapotranspiração real observada na floresta, exercendo função importante no transporte vertical do vapor de água para a atmosfera e para a precipitação média anual (SALATI, 1985). Essa contribuição local é considerada elevada se comparada com latitudes temperadas, onde a evapotranspiração real estimada, gira em torno de 10% da precipitação local (MOLION e DALLAROSA, 1990).

A radiação solar é a principal fonte de energia para a evaporação da água, sendo a diferença entre a pressão de vapor na superfície e no ar ao redor, fator determinante na transferência de vapor para atmosfera. Em climas úmidos de regiões tropicais, apesar da elevada quantidade de energia, a alta umidade relativa reduz a evapotranspiração, o ar está sempre próximo da saturação. A umidade relativa local, e a temperatura determinam o déficit de pressão de vapor (MEDEIROS, 2002).

Quando se usa uma equação combinada como a de Penman-Monteith, vários métodos de cálculo de déficit de pressão de vapor podem ser usados, sendo que o método empregado pode-se afetar significativamente a magnitude do termo aerodinâmico (JENSEN et al., 1990). Para fins de estimativa da e_t , a pressão de vapor saturado para determinados períodos, deve ser calculada como a média entre a pressão de vapor à temperatura máxima ($T_{m\acute{a}x}$) e a temperatura mínima ($T_{m\acute{i}n}$) diária (ALLEN et al., 1998).

O processo de transferência de vapor depende da velocidade do vento e da turbulência do ar, a qual transfere grandes quantidades de ar sobre a superfície evaporante. O vento remove a camada logo acima da superfície evaporante, criando

uma condição favorável ao aparecimento de um gradiente de pressão de vapor, aumentando dessa forma o poder evaporante no local (MEDEIROS, 2002).

2.2.4 Velocidade do vento

A evapotranspiração é controlada pela disponibilidade de energia do meio, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de H_2O para as plantas no solo, sendo a demanda atmosférica controlada pelo poder evaporante do ar relacionado à velocidade do vento e ao déficit de pressão de vapor (PEREIRA et al., 1997). Sentelhas (1998) relata para uma dada região, que quanto maior for a disponibilidade de energia solar, temperatura do ar e velocidade do vento, e quanto menor for a umidade relativa, maior será a taxa de evapotranspiração de referência.

Pereira et al. (1997) diferenciam a pressão de vapor saturado e a atual, e define como a deficiência de pressão de vapor, ou quanto de vapor é necessário para saturar determinado volume de ar, tornando-se um indicador da capacidade evaporativa do ar, sendo a demanda atmosférica controlada pelo poder evaporante do ar (E_a) relacionado à velocidade do vento e ao déficit de pressão de vapor, e quanto maior o valor de E_a , maior será a evaporação.

De acordo com Hargreaves (1994) o vento influencia a advecção, sendo as interações do vento com a temperatura, umidade relativa, déficit de pressão de vapor, difíceis de serem estimadas por equações.

Segundo Medeiros (2002) o processo de transferência de vapor depende da velocidade do vento e da turbulência do ar, a qual transfere grandes quantidades de ar sobre a superfície evaporante. O vento remove a camada logo acima da superfície evaporante, criando uma condição favorável ao aparecimento de um gradiente de pressão de vapor, aumentando o poder evaporante no local. Nas áreas que apresentam advecção (movimento horizontal de uma massa de ar, que causa alterações em temperatura ou em outras propriedades físicas do ar), a importância relativa da radiação líquida decresce, e em adição a ela, a advecção ou transferência de calor sensível das áreas secas circunvizinhas, contribuirá no processo evapotranspirativo, aumentando desta forma, a importância relativa da velocidade do vento e da umidade relativa do ar na evapotranspiração.

2.3 MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A determinação da quantidade de água necessária para as culturas é um dos principais parâmetros para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação. Sua quantificação é realizada fazendo-se o balanço hídrico da camada do solo ocupada pelo sistema radicular da cultura, o qual tem, na “evapotranspiração” e na precipitação pluviométrica, seus principais componentes (BERNARDO, 1995).

Bernardo et al. (1996) relatam que a ETo pode ser determinada por métodos diretos e indiretos, sendo os métodos diretos os que utilizam lisímetros, parcelas experimentais no campo, controle de umidade do solo e método de entrada e saída de água em grandes áreas. Dos métodos diretos, o procedimento mais preciso para se determinar a ETo é a utilização de lisímetros, os quais, são equipamentos que apresentam elevada precisão no monitoramento da ETo, sendo constituídos por um determinado volume de solo, armazenado em recipientes (tanques) que apresentam características físicas e químicas semelhantes às áreas adjacentes. Por apresentarem custos elevados, o uso de lisímetros tem ficado restrito a instituições de pesquisas, tendo sua utilização justificada na calibração regional de métodos indiretos. Diversos pesquisadores em todo o mundo propuseram modelos indiretos para a estimativa da ETo, com as mais diferentes concepções e número de variáveis envolvidas. Antes de se eleger o modelo a ser utilizado para a estimativa da ETo, é necessário saber quais os elementos climáticos disponíveis, a partir daí, verifica-se quais podem ser aplicados, uma vez que a utilização dos diferentes métodos para certo local de interesse fica na dependência dessas variáveis.

O método aerodinâmico é um método micrometeorológico, com embasamento físico-teórico da dinâmica dos fluídos e transporte turbulento. O método do balanço de energia representa a quantificação das interações dos diversos tipos de energia com a superfície, tais como a Razão de Bowen e Priestley-Taylor. O método dos turbilhões baseia-se nos deslocamentos verticais da atmosfera e conseqüente transporte das suas propriedades. Os métodos combinados retratam os efeitos do balanço de energia com aqueles do poder evaporante, a citar: Penman, Slatyer e McIlroy e Penman-Monteith e os métodos empíricos (Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Linacre,

Makkink, Tanque Classe A, Thornthwaite e Radiação Solar) são decorrentes de correlações entre a evapotranspiração medida em condições padronizadas (lisímetros) e os elementos meteorológicos medidos em postos meteorológicos.

Allen et al. (1998) relatam que por mais rigoroso que seja o procedimento que envolve a determinação da evapotranspiração por um método empírico, este é limitado, necessitando de novas calibrações, quando a fórmula é aplicada em outro local distinta dos utilizados para definição da sua expressão original.

De acordo com Medeiros (2002) apesar da existência de diversos modelos para a estimativa da evapotranspiração de referência, os mesmos são utilizados em condições climáticas e agronômicas muito diferentes daquelas em que inicialmente foram concebidos. Razão pela qual, ser de extrema importância, avaliar o grau de exatidão desses modelos, antes de utilizá-los para nova condição, sendo a equação Penman-Monteith, a referência padrão para esses ajustes.

A Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID) e a FAO, recomendam o método de Penman-Monteith como padrão de estimativas da evapotranspiração de referência, a partir de dados meteorológicos, sendo também indicado para avaliar outros métodos (SMITH, 1991; ALLEN et al., 1998). Essa metodologia facilitou os procedimentos de calibração e estimativa por meio de equações empíricas, permitindo potencialmente a extensão de estudos locais para outras regiões do planeta. No entanto, em algumas situações, o emprego do método de Penman-Monteith é restringido pela indisponibilidade de dados meteorológicos, o que acaba exigindo o uso de métodos mais simples.

As pesquisas sobre o modelo de Penman-Monteith podem ser divididas em três frentes principais. A primeira e mais difundida é o uso da equação Penman-Monteith-FAO 56, para avaliação e calibração de equações empíricas; a segunda forma de uso da equação padrão é a avaliação e melhoria do seu desempenho em diversas condições climáticas; a terceira vertente de estudos sobre essa equação padrão revela o seu crescente uso em modelos matemáticos hidrológicos e hidráulicos, bem como aliada ao sensoriamento remoto (FERNANDES, 2006).

Muitas estações ou postos agrometeorológicos, disponibilizam somente séries históricas com dados de pluviosidade e termometria havendo, assim, a necessidade de se utilizarem, para cálculo de ETo, métodos que empreguem apenas a temperatura do ar como variável de entrada. Dentre esses métodos destacam-se os

de Thornthwaite, Blaney-Criddle, Camargo, Linacre e Hargreaves-Samani (STONE e SILVEIRA, 1995; PEREIRA et al., 1997; SAMANI, 2000).

Conceição (2003) ressalta que os métodos que empregam somente a temperatura do ar limitam a representatividade das condições climáticas para efeito de estimativa da evapotranspiração de referência. Isso porque, conforme as condições de umidade e ventos, a demanda hídrica da atmosfera será diferente para os mesmos valores da temperatura do ar. Essas observações são válidas, principalmente, para os métodos de Thornthwaite, Camargo, Linacre e Blaney-Criddle.

A equação de Thornthwaite (1948) leva em consideração a evapotranspiração de grandes áreas, como bacias hidrográficas, trabalhando-se com evapotranspiração potencial, que segundo o próprio autor, é muito semelhante à condição de contorno apresentada por Penman (1948).

Segundo Camargo e Camargo (2000) o modelo de Thornthwaite funciona adequadamente em regiões de clima úmido, independentemente da latitude e altitude, apresentaram resultados satisfatórios em clima frígido do norte do Canadá, no clima temperado de New Jersey, Estados Unidos; no tropical do Estado de São Paulo; no equatorial da República Dominicana, e na Ilha de Trindade, no Caribe.

Camargo et al. (1999) propuseram uma equação de Thornthwaite modificada, onde substituíram a temperatura média pela temperatura efetiva (Tef), baseados na suposição de que a amplitude térmica, expressa o efeito do alto e baixo déficit de pressão de saturação de vapor no ar, partindo da premissa de que quanto mais seca a atmosfera, maior sua temperatura máxima e menor sua mínima, ou seja, a amplitude térmica aumenta.

Segundo Mendonça et al. (2003) quando se dispõe somente de dados de temperatura máxima e mínima, o método de Hargreaves-Samani apresenta adequada precisão para se estimar a ETo na região Norte Fluminense-RJ, sobretudo para períodos superiores a 7 e 10 dias.

2.4 AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DA ETo

Na tentativa de escolher o melhor método de estimativa da evapotranspiração para um determinado local, vários pesquisadores lançam mão de artifícios diversos para comparar as diversas equações existentes entre si, buscando sempre a que melhor corresponda à realidade local.

Um estudo da American Society of Civil Engineers, relatado por Jensen et al. (1990) analisou o desempenho de 20 métodos para estimar a evapotranspiração de referência em condições padronizadas, que comparados com dados de 11 lisímetros instalados em locais com condições climáticas diversas, mostrou a superioridade do modelo de Penman-Monteith tanto para regiões áridas como úmidas. Do mesmo modo, Allen et al. (1998) relatam que estudos realizados nos Estados Unidos e na Europa, confirmam a precisão e consistência do método de Penman-Monteith, para climas úmidos e áridos.

Camargo et al. (1997) verificaram que para estimar a evapotranspiração de referência em regiões úmidas da Bacia Amazônica, os métodos que correlacionam a temperatura efetiva apresentam melhores resultados comparados aos de Penman-Monteith. Resultados semelhantes aos alcançados por Lucas et al. (2007) para estações localizadas na Bacia Hidrográfica do Xingu, confirmando que na ausência de dados meteorológicos para estimar a ETo pelo método de Penman-Monteith, a melhor alternativa seria estimar a ETo através dos métodos proposto por Camargo et al. (1997) ou Hargreaves e Samani devido a simplicidade de aplicação, e por se basear apenas na temperatura efetiva do ar.

Cabral (2000) com o objetivo de gerar informações para a correção dos valores estimados da evapotranspiração de referência (ETo) para 16 municípios do Estado do Ceará, constatou que o método de Hargreaves subestimou a evapotranspiração de referência, em relação a Penman-Monteith, em todos os municípios estudados.

Modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para algumas localidades do Estado de Goiás e Distrito Federal foram avaliados por Oliveira et al. (2001) tendo o modelo Penman-Monteith como referência, concluíram que os valores diários de ETo foram melhores estimados pelos modelos de Penman e

Hargreaves, e que ambos os modelos superestimaram ETo quando comparados com Penman-Monteith.

Mendonça et al. (2003) compararam o desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência na região Norte Fluminense-RJ, avaliaram cinco métodos indiretos (Radiação Solar FAO, Makkink, Linacre, Jensen-Haise e Hargreaves-Samani) e dois evaporímetros (Atmômetro SEEI modificado e Tanque Classe A) em relação ao método do lisímetro de pesagem Monteith, e concluíram que com exceção ao método do Atmômetro SEEI modificado, todos os demais métodos avaliados, podem ser utilizados na estimativa da ETo, com o melhor desempenho e ajustamento regional em períodos de 7 e 10 dias.

Silva et al. (2005) avaliaram a eficiência dos métodos de estimativa de referência de Penman-Monteith FAO-56, Hargreaves, Jensen-Haise, Linacre, Makkink, Priestley e Taylor, Tanque “Classe A” e Thornthwaite utilizando o sistema de estimativa da evapotranspiração-SEVAP além de dados médios mensais do ano de 2002 da estação climatológica de Petrolina, PE; usando o coeficiente de determinação e a média e desvio padrão, concluíram que na ausência de dados de insolação e velocidade do vento a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith pode ser substituída, com razoável precisão, pelo método de Hargreaves. Os métodos de Linacre e de Thornthwaite não apresentaram resultados satisfatórios na estimativa da ETo, em escala diária.

Araújo et al. (2007) estimaram a evapotranspiração de referência mensal pelos métodos de Thornthwaite, Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle, Penman-Monteith, Tanque Classe “A” e Makkink, para a região de Boa Vista-RR, e constataram que os métodos de Thornthwaite e Hargreaves-Samani podem ser usados, com a ressalva de superestimarem os valores de ETo ao longo do ano, confirmando os resultados obtidos por Vieira et al. (2007) em Diamantina-MG, em que o método de Hargreaves e Samani superestimou a ETo em relação ao método padrão de Penman-Monteith com um erro médio de 4,55 mm dia⁻¹.

Em estudo comparativo de equações empíricas para a estimativa da ETo em três localidades do Espírito Santo, tendo o método de Penman-Monteith como padrão, Bragança (2007) concluiu que os métodos de Penman ($c=0,94$), Penman modificado ($c=0,93$) apresentaram ótimos desempenhos; Priestley-Taylor ($c=0,90$),

Turc ($c=0,88$) e Makkink ($c=0,88$) evidenciaram bom desempenho, enquanto Hargreaves e Samani apresentou o pior desempenho sofrível com ($c=0,45$).

Fernandes e Paiva (2007) estimaram a evapotranspiração de referência para a região de Campos de Goytacazes, RJ, pelo método de Penman-Monteith, baseando-se em uma série de 12 anos de dados meteorológicos diários, obtendo valores médios mensais de ETo oscilando de 2,5 mm dia⁻¹ (junho) a 5,47 mm dia⁻¹ (fevereiro).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa utilizou dados 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, a qual apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude 09° 57' 32" S, longitude 67° 52' 06" W e altitude de 159 m, município de Rio Branco, cujas observações e registros meteorológicos, foram realizados segundo as normas estabelecidas pela Organização Meteorológica Mundial (WMO)/INMET, conforme (Figura 1).



FIGURA 1 - Estação Climatológica Principal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instalada na Universidade Federal do Acre, no município de Rio Branco-AC. Fonte: Souza, 2008.

Para a estimativa da evapotranspiração de referência foram utilizados os dados climatológicos diários e decendiais da série temporal 1981 a 2006:

temperatura do ar (máxima, mínima e média), temperatura do bulbo úmido, evaporação de Piche, pressão atmosférica e velocidade do vento medida a 10 m de altura.

A climatologia local para o período de estudo apresentou: temperaturas médias mensais variando de 23,9 °C em julho a 26,3 °C em outubro, com média anual de 25,3 °C. A precipitação média mensal oscila de 30,4 mm (junho) a 298,1 mm (fevereiro), apresentando média anual de 1.975 mm. A umidade relativa média mensal varia de 79% em agosto a 88% de janeiro a abril, com média anual de 85%. A velocidade média mensal do vento oscila de 1,81 m s⁻¹ em abril a 2,20 m s⁻¹ em outubro, apresentando média anual de 2,01 m s⁻¹.

Segundo os critérios adotados por Thornthwaite, o clima para o município de Rio Branco, classifica-se como: úmido, com pequena deficiência de água, megatérmico e com vegetação durante todo o ano, sendo representado pela fórmula climática B₁ rA'a'.

Estudos do balanço hídrico climatológico (capacidade de água disponível no solo de 100 mm) na região de Rio Branco realizado por Ferraz (2008) indicam que as maiores precipitações se concentraram no período de janeiro a abril e nos meses de novembro e dezembro, com valores superiores a 200 mm mês⁻¹. No período de janeiro a maio e outubro a novembro a evapotranspiração potencial (ETP) e real (ETR) apresentam valores iguais. Todavia, no período de junho a setembro, a ETR é inferior a ETP, gerando assim deficiência hídrica na região em estudo.

A estimativa da evapotranspiração de referência diária e a relativa ao período de dez dias (decendiais) foram estimadas pelo método Padrão de Penman-Monteith (FAO) e os modelos de Benevides-Lopez, Camargo, Hargreaves-Samani, Kharrufa, Linacre, Thornthwaite, Thornthwaite modificado e Turc, utilizando o software estatístico Origin 6.0 para análise estatística.

3.1 MÉTODOS UTILIZADOS NA ESTIMATIVA DA ET_o PARA REGIÃO DE ESTUDO

3.1.1 Método de Penman-Monteith (ET_oPM)

O método Penman-Monteith parametrizado pela FAO (ALLEN et al., 1998) é considerado como padrão. Muitas vezes nem todos os elementos meteorológicos necessários para o uso desse modelo são disponíveis. Nessa situação, outros métodos que necessitam de um número menor de elementos meteorológicos podem ser utilizados. No entanto, é recomendado que esses modelos sejam previamente avaliados e, se necessário, calibrados para as condições climáticas de sua utilização.

$$ET_{oPM} = \frac{0,408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34u_2)} \quad (3)$$

Em que:

ET_oPM- evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (mm dia⁻¹);
 Δ - inclinação da curva de pressão de saturação de vapor versus temperatura do ar (kPa °C⁻¹), determinado conforme a equação a seguir:

$$\Delta = \frac{4098e_s}{(T_{med} + 273,3)^2} \quad (4)$$

Em que:

T_{med} - temperatura média do ar (°C) obtida pela equação:

$$T_{med} = \frac{2T_{ar} + 4T_{MG} + T_{ar} + T_{máx} + T_{mín}}{5} \quad (5)$$

e_s - pressão de saturação de vapor (kPa) dada por:

$$e_s = 0,6108 \left[\frac{17,27T_{med}}{(T_{med} + 273,3)} \right] \quad (6)$$

γ^* - constante psicrométrica modificada (kPa °C⁻¹), obtida pela equação:

$$\gamma^* = \gamma(1 + 0,33v_2) \quad (7)$$

Em que:

v_2 - velocidade do vento a altura de 2 m. Considerando que a velocidade do vento foi medida a 10 m de altura, e tendo em vista a necessidade de obtenção da velocidade do vento na altura requerida por esta equação (2 m), foi utilizada a seguinte expressão:

$$\frac{V_n}{V_{10}} = \left(\frac{Z_n}{Z_{10}} \right)^{1/7} \quad (8)$$

Onde:

V_n- velocidade do vento ao nível de 2 m;

Z_n- altura para qual se deseja converter a velocidade do vento.

γ- constante psicrométrica (kPa °C⁻¹), conforme a equação:

$$\gamma = \frac{0,001628P}{\lambda_{\text{evap}}} \quad (9)$$

Onde:

P- pressão atmosférica (kPa);

λ_{evap}- calor latente de vaporização (MJ kg⁻¹), obtido pela seguinte equação:

$$\lambda_{\text{evap}} = 2,501 - (2,36 \cdot 10^{-3})T_{\text{med}} \quad (10)$$

Em que:

G- fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹), tendo sido considerado igual a zero.

R_n- representa o saldo de radiação da cultura (MJ m⁻² d⁻¹), obtido segundo a equação:

$$R_n = Q_s + Q_L \quad (11)$$

Em que:

Q_s- balanço de radiação de ondas curtas (MJ m⁻² d⁻¹), dado pela equação:

$$Q_s = R_g(1 - \alpha) \quad (12)$$

Em que:

R_g- radiação solar global (MJ m⁻² d⁻¹), estimada pela relação proposta por Glover e McCulloch (1958) citada por Pereira et al. (1997):

$$R_g = Q_0 \left(0,29 \cos \phi + 0,52 \frac{n}{N} \right) \quad (13)$$

Em que:

Q₀- radiação extraterrestre (MJ m⁻² d⁻¹);

Φ- latitude do local em graus;

n- brilho solar medido (h);

N- duração astronômica do dia (h);

α- albedo da cultura, considerado como (0,23);

Q_L- representa o balanço de radiação de ondas longas (MJ m⁻² d⁻¹), dado pela equação a seguir:

$$Q_L = \left(0,9 \frac{n}{N} + 0,1\right) (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) \sigma (T_{\max}^4 + T_{\min}^4)^{0,5} \quad (14)$$

Em que:

σ - constante de Stefan-Boltzmann ($4,9 \cdot 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ d}^{-1}$);

$T_{\max}$ - temperatura máxima do ar diária ($^{\circ}\text{C}$);

$T_{\min}$ - temperatura mínima do ar diária ($^{\circ}\text{C}$);

e_a - representa a pressão parcial de vapor (kPa), determinada pela equação a seguir:

$$e_a = \frac{e_s UR}{100} \quad (15)$$

Em que:

UR- umidade relativa do ar (%);

e_s - tensão de saturação de vapor de água (kPa) de acordo com a equação 6.

3.1.2 Método de Benevides-Lopez (EToBL)

O método Benevides e Lopez, utilizado na estimativa da ETo, baseia-se na temperatura média mensal e na umidade relativa.

$$EToBL = 1,21 \times 10^{\left(\frac{7,5 T_{med}}{237,5 + T_{med}}\right)} (1 - 0,01 UR) + 0,21 T_{med} - 2,30 \quad (16)$$

Em que:

EToBL- evapotranspiração de referência segundo o método de Benevides-Lopez (mm dia^{-1});

T_{med} - temperatura média mensal do ar ($^{\circ}\text{C}$);

UR- umidade relativa do ar (%).

3.1.3 Método de Camargo (EToC)

O método de Camargo foi desenvolvido com base no método de Thornthwaite (PEREIRA et al., 1997) apresentando resultados satisfatórios em comparação aos valores medidos em evapotranspirômetros no interior de São Paulo (CAMARGO e SENTELHAS, 1997) e em Santa Maria, Rio Grande do Sul (MEDEIROS, 1998).

$$EToC = FQoT_{med} \quad (17)$$

Em que:

EToC- evapotranspiração de referência segundo Camargo (mm dia^{-1});

F- fator de ajuste que varia com “T” anual, foi empregado um valor de “F” igual a 0,0105;

T_{med} - temperatura média mensal do ar ($^{\circ}\text{C}$);

Q_o - radiação solar extraterrestre expressa em equivalente de evaporação (mm dia^{-1}).

3.1.4 Método de Hargreaves-Samani (EToHS)

O método de Hargreaves-Samani foi desenvolvido na Califórnia em condições semi-áridas, a partir de dados obtidos em lisímetros com gramado (PEREIRA et al., 1997). A equação empregada utiliza um coeficiente empírico fixo para regiões costeiras e outro para regiões continentais. Samani (2000) desenvolveu uma equação quadrática, a partir de dados de 65 estações climatológicas nos Estados Unidos, para ajustar esse coeficiente empírico em função da amplitude térmica da região analisada.

$$\text{EToHS} = 0,0135 K_t Q_o (T_{\max} - T_{\min})^{0,5} (T_{\text{med}} + 17,8) \quad (18)$$

Em que:

EToHS- evapotranspiração de referência mensal, segundo o método de Hargreaves-Samani (mm dia^{-1});

K_t - coeficiente empírico. Foi empregado um valor de “ K_t ” para regiões continentais igual a 0,162.

Q_o - radiação solar extraterrestre expressa em equivalente de evaporação (mm dia^{-1}).

$T_{\max}$ - temperatura máxima do ar diária ($^{\circ}\text{C}$);

$T_{\min}$ - temperatura mínima do ar diária ($^{\circ}\text{C}$);

T_{med} - temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$).

3.1.5 Método de Kharrufa (EToK)

A equação foi desenvolvida por Kharrufa (1985) a partir da relação entre ETo e a porcentagem de insolação máxima diária, conforme a relação:

$$\text{EToK} = 0,34 pTa^{1,3} \quad (19)$$

Em que:

EToK- evapotranspiração de referência segundo o método de Kharrufa (mm dia^{-1});
 p- porcentagem de insolação máxima diária (N) em relação ao horário de insolação teórico do ano (4380 h);

Ta- temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$).

3.1.6 Método de Linacre (EToL)

O método de Linacre é uma simplificação do método de Penman, onde variáveis como radiação líquida e déficit de saturação, foram substituídas por funções da temperatura do ar. Além das simplificações adotadas há uma expressão empírica usada para calcular a diferença entre a temperatura média e a temperatura de ponto de orvalho ($T - T_o$), que foi desenvolvida a partir de dados obtidos em diferentes localidades da África e América do Sul (PEREIRA et al., 1997).

$$EToL = \left\{ \left[500 \left(\frac{T_{med} + 0,006h}{100 - L} \right) \right] + 15 \left(\frac{T_{med} - T_o}{80 - T_{med}} \right) \right\} \quad (20)$$

Em que:

EToL- evapotranspiração de referência segundo Linacre em (mm dia^{-1}).

L- latitude local em módulo (graus);

h- altitude local (m);

T_{med} - temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$);

T_o - temperatura média do ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$).

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

$$(T_{med} - T_o) = 0,0023h + 0,37T + 0,53(T_{máx} - T_{mín}) + 0,35R - 10,9 \quad (21)$$

Em que:

R- diferença entre as temperaturas médias dos meses mais quentes e mais frios ($^{\circ}\text{C}$).

3.1.7 Método de Thornthwaite (EToTH)

O método foi estabelecido por Thornthwaite (1948) que obteve excelente correlação com dados de localidades dos Estados Unidos e República Dominicana. O método de Thornthwaite foi um dos primeiros desenvolvidos para estimar a evapotranspiração potencial de uma região (PEREIRA et al., 1997). Esse método

apresentou um bom desempenho para as condições subtropicais úmidas do interior paulista, quando comparado a dados obtidos em evapotranspirômetros (CAMARGO e SENTELHAS, 1997). Camargo et al. (1999) apresentaram uma modificação desse método para regiões áridas e superúmidas, substituindo a temperatura média diária por uma variável denominada temperatura efetiva que representa a amplitude térmica diária.

$$ET_{ToTH} = 16 \frac{D}{Nd} \left(\frac{10T_{med}}{I} \right)^a \quad (22)$$

Em que:

ET_{ToTH} - evapotranspiração de referência mensal pelo método de Thornthwaite ($mm \text{ dia}^{-1}$);

D- fator de ajuste conforme o mês do ano e a latitude;

Nd- número de dias do mês;

T_{med} - temperatura média diária do ar ($^{\circ}C$);

I- índice de calor anual, que corresponde à soma dos 12 índices mensais “i”;

a- função cúbica (I).

$$a = 0,675 \times 10^{-6} \times I^3 - 0,771 \times 10^{-4} \times I^2 + 1,792 \times 10^{-2} \times I + 0,49239 \quad (23)$$

3.1.8 Método de Thornthwaite modificado (ET_{ToTH_m})

Foi testado o método de Thornthwaite modificado por Camargo et al. (1999), substituindo-se a temperatura “ T_{med} ” pela temperatura efetiva “ T_{ef} ”, de acordo com a expressão a seguir:

$$ET_{ToTH_m} = 16 \frac{D}{Nd} \left(\frac{10T_{ef}}{I} \right)^a \quad (24)$$

$$T_{ef} = 0,36(3 T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n})$$

Em que:

ET_{ToTH_m} - evapotranspiração de referência segundo o método de Thornthwaite modificado ($mm \text{ dia}^{-1}$).

$T_{m\acute{a}x}$ - temperatura máxima do ar diária ($^{\circ}C$);

$T_{m\acute{i}n}$ - temperatura mínima do ar diária ($^{\circ}C$).

3.1.9 Método de Turc (EToTC)

É uma equação simples, de uso geral, que utiliza apenas a temperatura máxima do ar e a radiação solar global.

$$EToTC = 0,013 \left(\frac{T_{\text{máx}}}{T_{\text{máx}} + 15} \right) (Rs + 50) \quad (25)$$

Em que:

EToTC- evapotranspiração de referência pelo método de Turc (mm dia⁻¹);

T_{máx}- temperatura máxima do ar (°C);

Rs- radiação solar global disponível ao nível da superfície (mm dia⁻¹).

3.2 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados meteorológicos foram previamente revisados, objetivando-se detectar e filtrar os valores discrepantes, para a obtenção de um conjunto de dados representativo da ETo para a região de estudo, sendo em seguida analisados estatisticamente. Essa filtragem foi possível devido a ETo ter limites de variação bem definidos e impostos pela disponibilidade regional de energia, e sempre que um dia apresentava valores discrepantes sua causa foi investigada, e em alguns casos, excluídos da base de dados.

A partir dos valores diários e decendiais de evapotranspiração de referência estimados pelos diferentes métodos, foram ajustadas equações de regressão, para fins de análise das relações da ETo entre os modelos inseridos nesta pesquisa e o método de Penman-Monteith, com vistas à seleção dos métodos que melhor se ajustaram às condições da região de Rio Branco-AC.

Para a análise dos resultados foi empregado o software estatístico Origin 6.0 desenvolvido pela Microcal Inc. (USA), utilizando-se análise de regressão simples, em que a variável dependente foi o método padrão de Penman-Monteith (FAO) e os demais modelos avaliados, as variáveis independentes.

Os valores da ETo estimados pelos modelos foram comparados com base no erro padrão da estimativa (SEE) e coeficiente de determinação (r^2) das equações de regressão ajustadas, utilizando-se o erro padrão de estimativa ajustado (ASEE), descrito por Jensen et al. (1990). Na determinação do SEE, foi utilizada a equação:

$$SEE = \left[\frac{(Y_{pi} - Y_{mi})^2}{(n - 1)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (26)$$

Em que:

y_{pi} - estimativa da ETo pelo modelo padrão de Penman-Monteith;

y_{mi} - estimativa da ETo obtida por cada um dos modelos avaliados;

n - número de observações.

Para a determinação do ASEE foi empregada a seguinte equação:

$$ASEE = \left[\frac{(\sum Y_{pi} - Y_{regri})^2}{(n - 1)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (27)$$

Em que:

ypi- estimativa da ETo pelo modelo padrão de Penman-Monteith;
 yregri- estimativa da ETo obtida pelo emprego da equação de regressão ajustada entre o métodos de Penman-Monteith e os demais métodos;
 n- número de observações.

Na classificação dos modelos de estimativa da ETo, empregou-se o SEE_{pond} , obtido pela ponderação dos valores de SEE e ASEE, conforme descrito por Jensen et al. (1990).

$$SEE_{pond} = 0,67SEE + 0,33ASEE \quad (28)$$

Alguns autores recomendam a calibração local dos métodos avaliados em relação ao padrão recomendado pela FAO (EToPM), visando a melhoria do desempenho dos mesmos (GAVILÁN ZAFRA, 2005; OLIVEIRA et al., 2005; FERNANDES, 2006) o que foi implementado, forçando-se a passagem da reta de regressão pela origem, onde a declividade da mesma (b_c), representou o coeficiente de calibração local. A classificação dos métodos calibrados foi realizada por ordem crescente dos valores de SEE_{Pond} .

A precisão é dada pelo coeficiente de correlação (r) que indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média, ou seja, o erro aleatório. A exatidão está relacionada ao afastamento dos valores estimados da ETo em relação aos valores obtidos pelo método de Penman-Monteith. Matematicamente essa aproximação é dada pelo índice de concordância “d” proposto por Willmontt et al. (1985) cujos valores, variam desde zero, para nenhuma concordância, a 1, para a concordância perfeita, conforme a equação 29 a seguir:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (29)$$

Em que:

P_i - valores de ETo estimados pelos demais métodos;

O_i - valores de ETo obtidos pelo modelo de Penman-Monteith;

O - média dos valores estimados de ETo pelo modelo de Penman-Monteith.

Na avaliação do desempenho dos métodos de estimativa da ETo foi utilizado o coeficiente de confiança ou desempenho (c) proposto por Camargo e Sentelhas

(1997), que corresponde à multiplicação do coeficiente de correlação (r) pelo índice de concordância (d) conforme a equação 30 e Quadro 1, a seguir:

$$c=r \times d \quad (30)$$

Em que:

c- coeficiente de confiança;

r- coeficiente de correlação;

d- coeficiente de exatidão.

QUADRO 1. Critério de avaliação do desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência pelo índice (c) proposto por Camargo e Sentelhas (1997).

Valor de “c”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sufrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

A indicação dos métodos de estimativa da ETo para o município de Rio Branco, segundo os critérios propostos por Camargo e Sentelhas (1997), foi estabelecida prioritariamente e em ordem crescente, para os métodos que apresentaram os maiores índices de confiança (c) , sendo estes superiores a 0,65.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 AVALIAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE ESTIMATIVA DA ETo COM DADOS CLIMATOLÓGICOS DIÁRIOS

Os valores mínimos, máximos e médios mensais da ETo estimados (mm dia^{-1}) pelos métodos Penman-Monteith (EToPM-FAO), Benevides-Lopez (EToBL), Camargo (EToC), Hargreaves-Samani (EToHS), Kharrufa (EToK), Linacre (EToL), Thornthwaite (EToTH), Thornthwaite modificado (EToTH_m) e Turc (EToTC) a partir da base de dados diários (Tabela 1).

As médias mensais das ETo estimadas ao longo do ano (mm dia^{-1}) a partir dados diários, pelo método padrão EToPM e os demais modelos avaliados, onde observa-se que os valores da ETo tendem a um mínimo nos meses de junho e julho, elevando-se após este período, comprovando que no solstício de inverno (21 de junho), ocorrem os mínimos de energia para essa latitude (Gráfico 1).

O método EToBL superestimou ao longo do ano os valores da ETo em relação ao modelo EToPM, com mínimos oscilando de $1,55 \text{ mm dia}^{-1}$ (maio) a $2,68 \text{ mm dia}^{-1}$ (fevereiro) e máximos valores da ETo desde $5,28 \text{ mm dia}^{-1}$ (abril) a $9,19 \text{ mm dia}^{-1}$ (outubro), enquanto as ETo médias variaram de $3,65 \text{ mm dia}^{-1}$ (junho) a $4,43 \text{ mm dia}^{-1}$ (setembro), apresentando média anual de $4,00 \text{ mm dia}^{-1}$ (Tabela 1).

O método de EToC superestimou em quase todos os meses do ano os valores da ETo em relação ao modelo EToPM, exceto no mês de julho, que a subestimou (Tabela 1). As ETo mínimas variaram de $2,16 \text{ mm dia}^{-1}$ (junho) a $3,73 \text{ mm dia}^{-1}$ (fevereiro), com máximos variando desde $3,71 \text{ mm dia}^{-1}$ (junho) a $5,20 \text{ mm dia}^{-1}$ (outubro), enquanto as ETo médias variaram de $3,05 \text{ mm dia}^{-1}$ (junho) a $4,43 \text{ mm dia}^{-1}$ (dezembro), apresentando média anual de $3,92 \text{ mm dia}^{-1}$ (Tabela 1). Resultados semelhantes aos obtidos por Fietz et al. (2005) constataram tendência de superestimativa da ETo pelo método de Camargo em relação ao método padrão recomendado pela FAO (EToPM). Por outro lado, Bonomo et al. (1998) obtiveram para as condições de Minas Gerais, subestimativa da ETo pelo método de Camargo quando comparado ao padrão recomendado pela FAO. No entanto, Back (2008)

obteve boas estimativas da ETo pela equação de Camargo para períodos mensais em relação ao método padrão (EToPM).

TABELA 1 - Evapotranspiração de referência mensal (mm dia⁻¹) estimada com dados climatológicos diários (período 1981-2006) pelos métodos de EToPM, EToBL, EToC, EToHS, EToK, EToL, EToTH, EToTH_m e EToTC para o município de Rio Branco-AC, UFAC - 2009.

MÉTODOS	valor	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
EToPM	Mín	2,08	2,10	1,94	1,77	1,47	1,42	1,19	1,61	1,68	1,84	2,01	1,96	1,19
	Máx	5,78	5,87	5,59	4,96	4,29	4,28	4,80	5,55	5,99	6,49	6,22	6,15	6,49
	Méd	3,49	3,38	3,38	3,20	2,97	2,83	3,15	3,37	3,70	3,96	3,78	3,60	3,40
EToBL	Mín	2,31	2,68	1,86	2,04	1,55	1,77	1,77	1,95	1,86	1,84	2,10	2,45	1,55
	Máx	6,02	5,63	5,83	5,28	5,87	5,30	5,96	8,81	7,64	9,19	6,19	6,01	9,19
	Méd	3,89	3,85	3,93	3,88	3,79	3,65	3,85	4,23	4,43	4,41	4,11	3,99	4,00
EToC	Mín	3,46	3,73	3,14	2,73	2,37	2,16	2,23	2,44	2,71	3,14	3,30	3,72	2,16
	Máx	5,04	5,01	4,77	4,29	3,89	3,71	3,84	4,21	4,76	5,20	5,04	5,06	5,20
	Méd	4,41	4,37	4,21	3,82	3,36	3,05	3,09	3,52	4,00	4,37	4,42	4,43	3,92
EToHS	Mín	2,56	1,53	1,18	1,99	1,32	1,86	1,93	1,70	1,97	1,85	1,87	2,08	1,18
	Máx	6,26	6,23	6,44	5,92	5,33	4,92	5,34	5,91	6,73	6,77	6,76	6,37	6,77
	Méd	4,60	4,59	4,39	4,17	3,88	3,87	4,18	4,77	5,09	5,12	4,86	4,64	4,51
EToK	Mín	4,81	5,28	4,35	3,99	3,74	3,55	3,60	3,64	3,80	4,32	4,58	5,36	3,55
	Máx	7,84	7,75	7,51	7,17	7,09	7,15	7,30	7,41	7,88	8,32	7,93	7,98	8,32
	Méd	6,59	6,48	6,40	6,17	5,88	5,55	5,52	5,88	6,29	6,63	6,69	6,72	6,23
EToL	Mín	3,93	4,66	3,70	3,68	3,43	3,49	3,42	3,38	3,51	3,66	3,93	4,21	3,38
	Máx	5,63	6,22	5,61	5,69	5,53	5,82	5,71	5,71	6,07	6,01	5,85	5,67	6,22
	Méd	4,94	5,45	4,96	5,08	4,80	4,81	4,62	4,80	5,11	5,06	5,16	4,98	4,98
EToTH	Mín	1,89	2,47	1,55	1,29	1,12	1,00	1,02	1,03	1,10	1,49	1,66	2,49	1,00
	Máx	6,61	6,58	6,29	5,78	5,77	6,01	6,26	6,40	7,15	8,00	6,80	6,89	8,00
	Méd	4,27	4,19	4,19	3,98	3,64	3,21	3,15	3,62	4,10	4,52	4,44	4,47	3,98
EToTH_m	Mín	1,67	1,23	1,14	1,08	1,00	1,04	1,00	1,04	1,08	1,03	1,19	1,59	1,00
	Máx	7,65	7,40	8,69	8,19	7,69	8,52	9,51	9,88	9,97	9,51	9,77	8,38	9,97
	Méd	4,20	4,21	4,18	4,24	4,26	4,56	5,21	5,99	5,92	5,56	4,82	4,40	4,79
EToTC	Mín	2,50	2,45	2,32	2,03	1,84	1,74	1,76	1,91	2,10	2,25	2,37	2,46	1,74
	Máx	6,44	6,45	6,03	5,55	5,08	4,83	6,42	5,42	5,89	6,26	6,60	6,29	6,60
	Méd	3,76	3,65	3,66	3,58	3,48	3,46	3,89	3,81	3,95	4,22	4,07	3,89	3,78

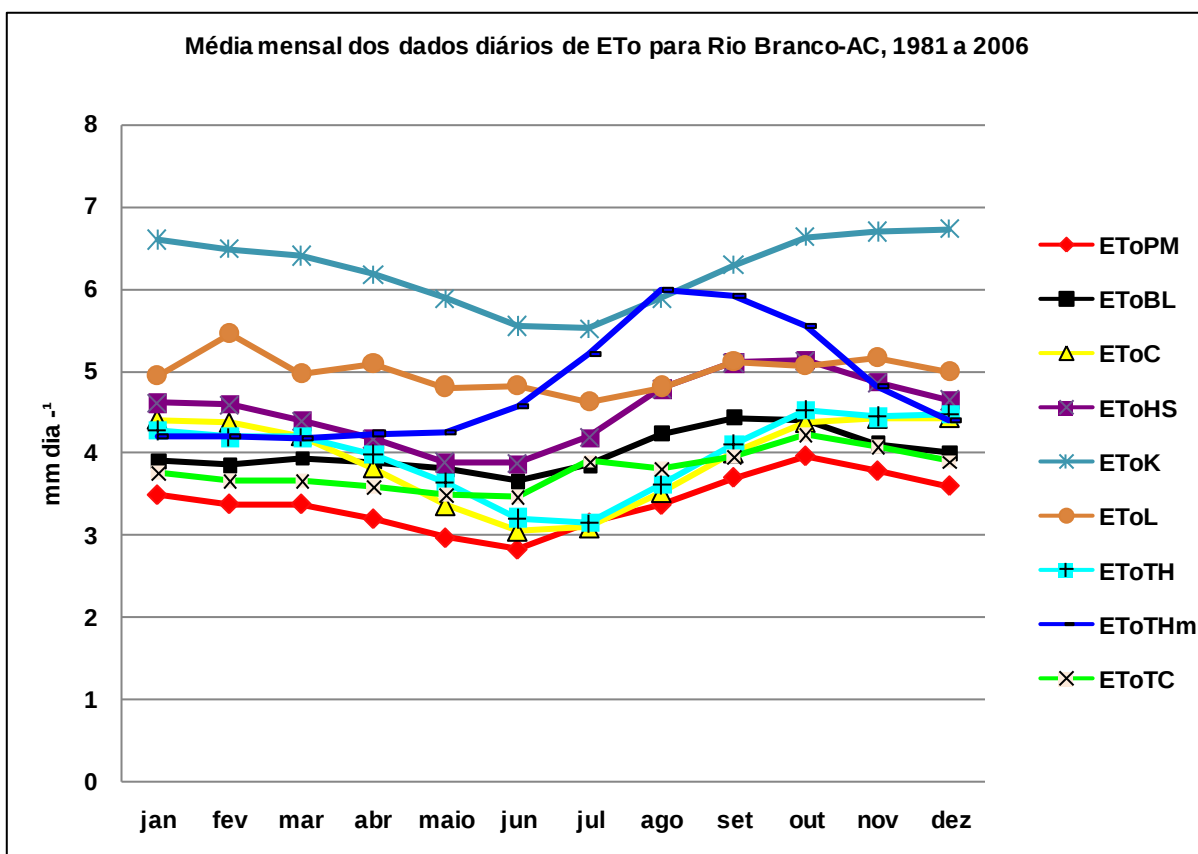


GRÁFICO 1 - Evapotranspiração de referência ETo mensal (mm dia^{-1}) estimada a partir de dados climatológicos diários (período 1981-2006) para o município de Rio Branco-AC, UFAC - 2009.

O método EToHS superestimou a ETo em relação ao modelo EToPM durante todos os meses do ano (Gráfico 1), com valores mínimos variando desde $1,18 \text{ mm dia}^{-1}$ (março) a $2,56 \text{ mm dia}^{-1}$ (janeiro), enquanto os máximos mensais da ETo variaram de $4,92 \text{ mm dia}^{-1}$ (junho) a $6,77 \text{ mm dia}^{-1}$ (outubro), apresentando médias oscilando de $3,87 \text{ mm dia}^{-1}$ (junho) a $5,12 \text{ mm dia}^{-1}$ (outubro) e média anual de $4,51 \text{ mm dia}^{-1}$ (Tabela 1).

Constatou-se que o método EToK superestimou a ETo em relação ao modelo padrão (EToPM) ao longo do ano (Gráfico 1). Os valores mínimos mensais variaram desde $3,55 \text{ mm dia}^{-1}$ (junho) a $5,36 \text{ mm dia}^{-1}$ (dezembro), com máximos mensais da ETo oscilando de $7,09 \text{ mm dia}^{-1}$ (maio) a $8,32 \text{ mm dia}^{-1}$ (outubro), enquanto os valores médios variaram de $5,52 \text{ mm dia}^{-1}$ (julho) a $6,72 \text{ mm dia}^{-1}$ (dezembro), exibindo média anual de $6,23 \text{ mm dia}^{-1}$ (Tabela 1).

O método EToL superestimou os valores mensais da ETo em relação ao modelo padrão (EToPM) ao longo do ano (Gráfico 1), cujos valores mínimos variaram

de 3,38 mm dia⁻¹ em agosto a 4,66 mm dia⁻¹ em fevereiro, com valores máximos variando desde 5,53 mm dia⁻¹ (maio) a 6,22 mm dia⁻¹ (fevereiro), apresentando variação das médias mensais de 4,62 mm dia⁻¹ em julho a 5,45 mm dia⁻¹ em fevereiro e média anual de 4,98 mm dia⁻¹ (Tabela 1). Os resultados obtidos corroboram com os encontrados por Mendonça et al. (2003) que indicaram tendência de superestimativa da ETo na região Norte Fluminense, RJ, pelo método de Linacre em relação ao método atualmente recomendado pela FAO.

Constatou-se no Gráfico 1, que o modelo EToTH superestimou a ETo em todos os meses do ano em relação ao modelo EToPM. Os valores mínimos mensais da ETo variaram desde 1,00 mm dia⁻¹ (junho e julho) a 2,49 mm dia⁻¹ (dezembro), enquanto os máximos oscilaram de 5,77 mm dia⁻¹ em maio a 8,00 mm dia⁻¹ no mês de outubro, com médias mensais variando desde 3,15 mm dia⁻¹ em julho a 4,52 mm dia⁻¹ em outubro, exibindo média anual de 3,98 mm dia⁻¹ (Tabela 1), confirmando os resultados obtidos por Syperreck et al. (2008) em que o modelo de Thornthwaite superestimou a ETo ao longo do ano para a região de Palotina, PR, em relação ao método EToPM

Do mesmo modo que os demais modelos avaliados o método EToTHm superestimou a ETo em relação ao modelo EToPM durante todos os meses do ano (Gráfico 1), com variação dos valores mínimos mensais de 1,00 mm dia⁻¹ (maio e julho) a 1,67 mm dia⁻¹ (janeiro), enquanto os máximos variaram de 7,40 mm dia⁻¹ (fevereiro) a 9,97 mm dia⁻¹ (setembro), apresentando médias mensais da ETo oscilando de 4,18 mm dia⁻¹ em março a 5,99 mm dia⁻¹ em agosto, com média anual de 4,79 mm dia⁻¹ (Tabela 1).

O modelo EToTC superestimou a ETo em relação ao modelo padrão (EToPM) nos 12 meses do ano (Gráfico 1). Os valores mínimos da ETo variaram desde 1,74 mm dia⁻¹ no mês de junho a 2,50 mm dia⁻¹ em janeiro, com máximos mensais oscilando desde 4,83 mm dia⁻¹ no mês de junho a 6,60 mm dia⁻¹ em novembro, enquanto os valores médios mensais variaram de 3,46 mm dia⁻¹ em junho a 4,22 mm dia⁻¹ no mês de outubro, proporcionando média anual de 3,78 mm dia⁻¹ (Tabela 1). Resultados semelhantes foram obtidos por Reis et al. (2007) para as condições climáticas de três municípios do Estado do Espírito Santo em que a ETo foi superestimada pela metodologia de Turc, em relação à Penman-Monteith para períodos de 1, 3, 5 e 7 dias.

Observa-se que os modelos EToTC, EToC, EToTH, EToBL, EToHS, EToTH_m, EToL, EToK superestimaram a ETo em 11% (0,38 mm dia⁻¹), 15% (0,42 mm dia⁻¹), 17% (0,58 mm dia⁻¹), 18% (0,60 mm dia⁻¹), 33% (1,11 mm dia⁻¹), 41% (1,39 mm dia⁻¹), 46% (1,58 mm dia⁻¹) e 83% (2,83 mm dia⁻¹), respectivamente (Tabela 2). Esses resultados são semelhantes aos obtidos por outros autores (MENDONÇA et al., 2003; BORGES e MENDIONDO, 2007; REIS et al., 2007; SYPERRECK et al., 2008).

TABELA 2 - Evapotranspiração de referência estimada com dados climatológicos diários (período 1981-2006), percentagem relativa em relação ao modelo padrão (EToPM), coeficientes das equações de regressão ajustadas (a e b), coeficiente de determinação (r^2), erro-padrão de estimativa (SEE), erro-padrão de estimativa ajustado (ASEE) e erro-padrão de estimativa ponderado (SEE_{pond}) para o município de Rio Branco-AC, UFAC - 2009.

MÉTODOS	ETo mm dia ⁻¹	%	a	b	r^2	SEE mm dia ⁻¹	ASEE mm dia ⁻¹	SEE _{pond} mm dia ⁻¹
EToBL	4,00	18	-0,04*	0,86*	0,52*	0,83	0,57	0,75
EToC	3,92	15	0,47*	0,74*	0,26*	0,89	0,71	0,83
EToHS	4,51	33	0,10*	0,72*	0,45*	1,28	0,61	1,01
EToK	6,23	83	-1,35*	0,76*	0,37*	2,91	0,66	2,17
EToL	4,98	46	-2,68*	1,22*	0,30*	1,72	0,69	1,38
EToTH	3,98	17	1,05*	0,58*	0,41*	0,94	0,63	0,84
EToTH _m	4,79	41	1,91*	0,30*	0,31*	1,87	0,69	1,48
EToTC	3,78	11	0,32*	0,81*	0,85*	0,52	0,31	0,45

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Test t.

Os modelos avaliados exibiram baixos valores para o coeficiente de determinação, evidenciando que os ajustes das equações a partir do método padrão (EToPM) foram insatisfatórios, destacando o ajuste observado pelo modelo de Turc (EToTC) com $r^2=0,85$ (Tabela 2). De acordo com Sampaio (1998) a ocorrência de coeficiente de determinação (r^2) reduzido faz com que as estimativas propostas não sejam confiáveis, seja pela instabilidade da variável estudada ou pelo fato do modelo testado não está adequado à dispersão dos resultados observados.

Baseando-se nos valores de SEE (Tabela 2), pode-se realizar uma classificação prévia dos modelos de estimativa da ETo tendo o modelo EToPM como padrão, em ordem de prioridade: EToTC ($0,52 \text{ mm dia}^{-1}$), EToBL ($0,83 \text{ mm dia}^{-1}$), EToC ($0,89 \text{ mm dia}^{-1}$), EToTH ($0,94 \text{ mm dia}^{-1}$), EToHS ($1,28 \text{ mm dia}^{-1}$), EToL ($1,72 \text{ mm dia}^{-1}$), EToTH_m ($1,87 \text{ mm dia}^{-1}$) e EToK ($2,91 \text{ mm dia}^{-1}$).

Os métodos apresentaram decréscimo nos valores dos erros padrões de estimativa (SEE) em relação ao erro-padrão de estimativa ajustado pela regressão (ASEE), conforme a Tabela 2, indicando a possibilidade de melhoria na estimativa da ETo pelos modelos avaliados, mediante calibração regional (OLIVEIRA et al., 2005). A variação observada nas estimativas da ETo pelos modelos avaliados, indica a necessidade de adoção na localidade, de métodos que apresentem estimativas com elevados níveis de correlação com a metodologia recomendada pela FAO.

As relações de dispersão (Figuras 2a a 2d) a partir de dados diários entre os modelos avaliados, ou seja, a variável dependente (eixo vertical) o modelo padrão de EToPM, e a variável independente (eixo horizontal), onde observa-se que o modelo EToBL (Figura 2a) obteve a maior exatidão e o melhor coeficiente de ajuste em relação ao modelo EToPM com valor de $r^2=0,52$, em seguida tem-se o modelo EToHS com $r^2=0,45$ (Figura 2c), EToK com coeficiente igual a $r^2=0,37$ (Figura 2d) e EToC que apresentou o pior ajuste com $r^2=0,26$ (Figura 2b).

As relações de dispersão (Figuras 3a a 3d) entre os modelos avaliados, situados no eixo horizontal e o modelo padrão (EToPM) localizado no eixo vertical, destacando-se o modelo EToTC (Figura 3d) que apresentou a maior precisão com $r^2=0,85$ seguido do modelo EToTH com um valor de $r^2=0,41$ (Figura 3b) e o modelo EToTH_m (Figura 3c), que obteve um coeficiente de determinação igual a $r^2=0,31$. O modelo EToL evidenciou elevada dispersão dos pontos com $r^2=0,30$ (Figura 3a).

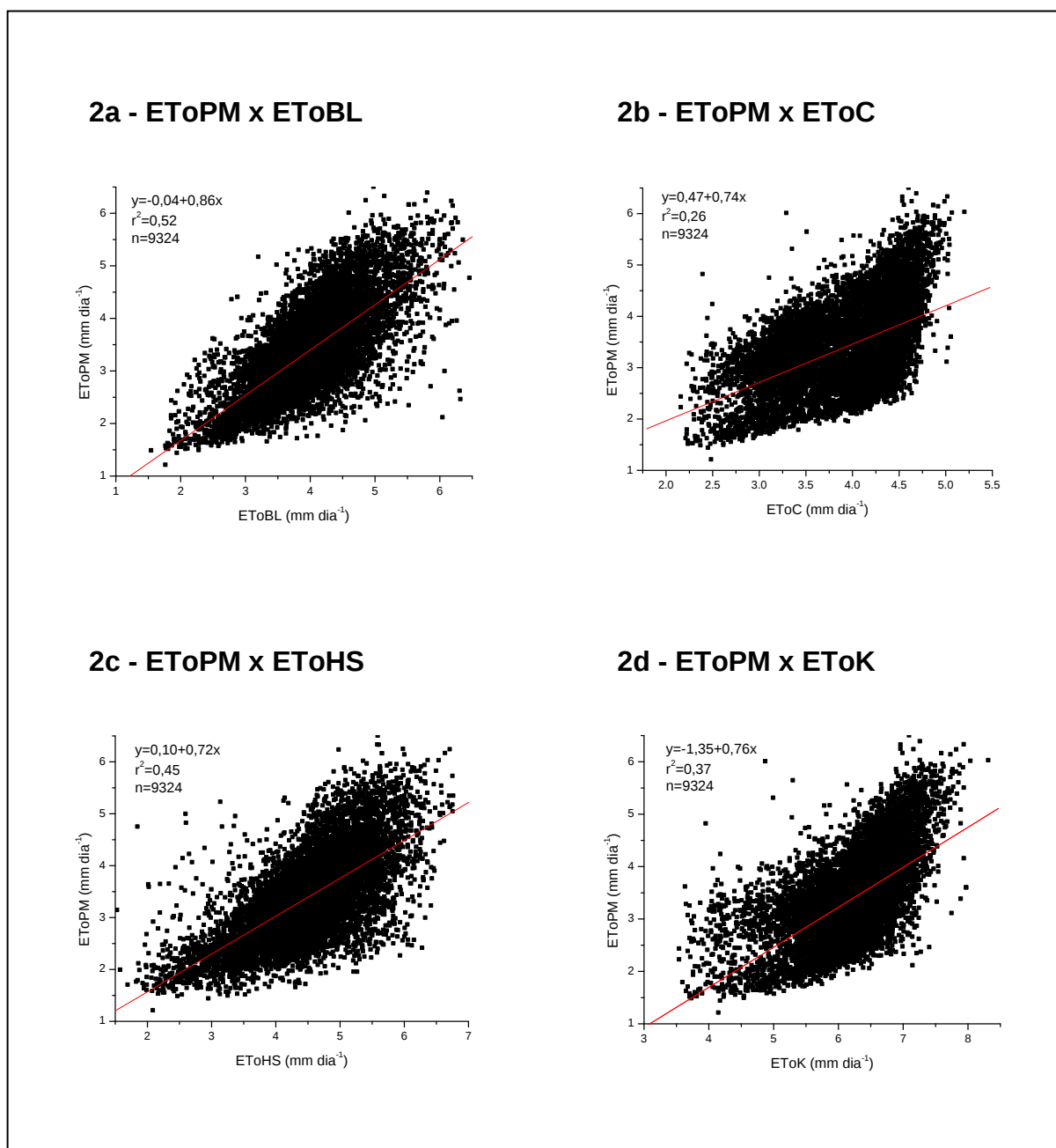


FIGURA 2 - Correlações entre os valores da ETo estimados com dados climatológicos diários (período 1981-2006) pelos modelos Benevides-Lopez-EToBL (2a), Camargo-EToC (2b), Hargreaves-Samani-EToHS (2c), Kharrufa-EToK (2d) e o modelo de Penman-Monteith-EToPM em (mm dia⁻¹) para o município de Rio Branco-AC, UFAC - 2009.

Observa-se que os modelos avaliados apresentaram entre si, diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste t, conforme resultados da análise de variância (Tabela 2), tornando-se satisfatória a calibração local (ALLEN et al., 1998; GAVILÁN ZAFRA, 2005; OLIVEIRA et al., 2005; FERNANDES, 2006).

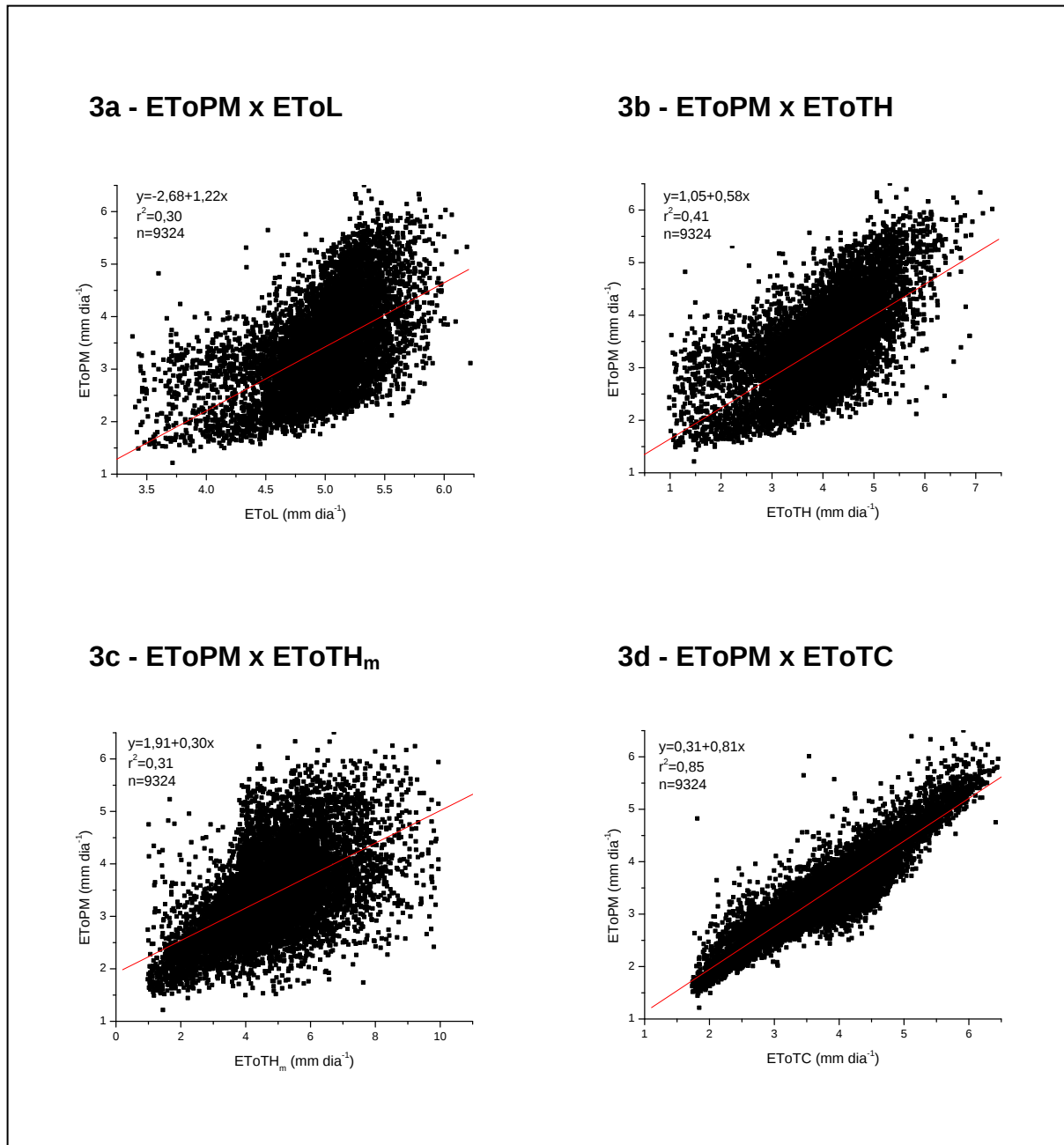


FIGURA 3 - Correlações entre os valores da ETo estimados com dados climatológicos diários (período 1981-2006) pelos métodos de Linacre-ETToL (3a), Thornthwaite-ETToTH (3b), Thornthwaite modificado-ETToTH_m (3c), Turc-ETToTC (3d) e o modelo de Penman-Monteith-ETToPM em (mm dia⁻¹) para o município de Rio Branco-AC, UFAC – 2009.

Baseado nos valores de SEE_{pond} (Tabela 3), pode-se classificar as metodologias de estimativa da ETo, tendo o modelo ETToPM como padrão, em ordem de prioridade para a localidade de Rio Branco, AC: ETToTC (0,46 mm dia⁻¹), ETToBL (0,75 mm dia⁻¹), ETToC (0,84 mm dia⁻¹), ETToTH (0,88 mm dia⁻¹), ETToHS (1,10 mm dia⁻¹), ETToL (1,51 mm dia⁻¹), ETToTH_m (1,58 mm dia⁻¹) e ETToK (2,20 mm dia⁻¹).

TABELA 3 - Coeficiente de calibração local (b_c), erro-padrão de estimativa ajustado (ASEE) e erro-padrão de estimativa ponderado (SEE_{pond}) referentes aos modelos de estimativa da ETo a partir de dados climatológicos diários (período 1981-2006) para o município de Rio Branco-AC, UFAC - 2009.

MÉTODOS	b_c	ASEE mm dia ⁻¹	SEE_{pond} mm dia ⁻¹
EToBL	0,85	0,57	0,75
EToC	0,86	0,72	0,84
EToHS	0,75	0,61	1,10
EToK	0,54	0,67	2,20
EToL	0,68	1,09	1,51
EToTH	0,84	0,68	0,88
EToTH _m	0,67	0,90	1,58
EToTC	0,89	0,32	0,46

O método que apresentou o melhor desempenho foi Turc (EToTC) com ($c=0,85$ e $d=0,92$) classificado com desempenho ótimo (Tabela 4), concordando com os resultados encontrados por Bragança (2007) para região de Venda Nova do Imigrante, ES, na escala diária, em que o método de Turc também evidenciou ótimo desempenho ($c=0,93$ e $d=0,97$) em relação ao método padrão FAO (EToPM).

Os maiores valores de SEE entre os modelos avaliados foram EToHS (1,28 mm dia⁻¹ e $c=0,41$), EToL (1,72 mm dia⁻¹ e $c=0,25$), EToTH_m (1,87 mm dia⁻¹ e $c=0,29$) e EToK (2,91 mm dia⁻¹ e $c=0,21$) obtidos pelas correlações dos modelos em relação ao padrão EToPM (Tabela 2), os quais apresentaram classificação mau para o modelo (EToHS) e péssimo para os modelos (EToL, EToTH_m e EToK) apresentando restrições de uso para as condições climáticas de Rio Branco (Tabela 4). Fietz et al. (2005) obtiveram melhores resultados para os métodos de Thornthwaite e Camargo, que apresentaram respectivamente, desempenho regular ($c=0,58$ e $c=0,61$). Borges e Mendiando (2007) encontraram desempenho bom para o modelo de Kharrufa ($c=0,689$), contrapondo o valor encontrado nesta pesquisa, que foi inferior ($c=0,21$).

Os modelos de Benevides-Lopez ($c=0,50$) e Thornthwaite ($c=0,47$) apresentaram desempenho mau, também com restrições de uso para as condições climáticas de Rio Branco (Tabela 4).

TABELA 4 - Coeficientes de correlação (r), exatidão (d), desempenho (c), variação (cv) e classificação dos métodos de estimativa da ETo com dados climatológicos diários (período 1981-2006), segundo os critérios de Camargo e Sentelhas (1997) para o município de Rio Branco-AC, UFAC – 2009.

MÉTODOS	r	d	c	cv (%)	CLASSIFICAÇÃO
EToBL	0,72	0,70	0,50	14,38	Mau
EToC	0,51	0,65	0,33	18,31	Péssimo
EToHS	0,67	0,61	0,41	13,68	Mau
EToK	0,61	0,35	0,21	10,62	Péssimo
EToL	0,55	0,45	0,25	13,94	Péssimo
EToTH	0,64	0,72	0,47	16,05	Mau
EToTH_m	0,55	0,52	0,29	14,47	Péssimo
EToTC	0,92	0,92	0,85	8,38	Ótimo

4.2 AVALIAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE ESTIMATIVA DA ETo COM DADOS CLIMATOLÓGICOS DECENDIAIS

Observa-se que no modelo padrão (EToPM) os valores mínimos variaram de 2,18 mm dia⁻¹ (junho) a 3,15 mm dia⁻¹ (outubro), enquanto os máximos mensais oscilaram de 3,50 mm dia⁻¹ (junho) a 4,88 mm dia⁻¹ (outubro), com médias mensais variando de 2,95 mm dia⁻¹ em maio a 3,95 mm dia⁻¹ em outubro, apresentando média anual de 3,37 mm dia⁻¹ (Tabela 5).

Os valores da ETo tendem a um mínimo nos meses de junho e julho, elevando-se após este período, comprovando que no solstício de inverno (21 de junho), ocorrem os mínimos de energia para essa latitude (Gráfico 2).

O método EToBL superestimou a ETo em todos meses em relação ao padrão EToPM (Gráfico 2). Os valores mínimos da ETo variaram de 2,13 mm dia⁻¹ (julho) a 3,53 mm dia⁻¹ em outubro, com máximos mensais oscilando desde 4,51 mm dia⁻¹ no mês de junho a 5,73 mm dia⁻¹ em setembro, enquanto as médias mensais variaram de 3,56 mm dia⁻¹ (junho) a 4,40 mm dia⁻¹ (setembro), apresentando média anual de 3,97 mm dia⁻¹ (Tabela 5).

Observa-se que o método EToC subestimou a ETo em relação ao modelo EToPM apenas em julho (Gráfico 2), enquanto nos demais meses do ano, superestimou-a. Os mínimos variaram de 2,30 mm dia⁻¹ em julho a 4,19 mm dia⁻¹ em janeiro, com máximos mensais variando desde 3,34 mm dia⁻¹ (junho) a 5,13 mm dia⁻¹ em dezembro, enquanto as médias mensais variaram de 3,01 mm dia⁻¹ em junho a 4,41 mm dia⁻¹ nos meses de janeiro e novembro, apresentando média anual de 3,90 mm dia⁻¹ (Tabela 5).

TABELA 5 - Evapotranspiração de referência mensal (mm dia⁻¹) estimada com dados climatológicos decendiais (período 1981-2006) pelos métodos de EToPM, EToBL, EToC, EToHS, EToK, EToL, EToTH, EToTH_m e EToTC para o município de Rio Branco-AC, UFAC - 2009.

Métodos	Valor	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
EToPM	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
EToBL	Mín	3,17	3,24	3,31	3,08	2,84	2,58	2,13	3,12	3,49	3,53	3,37	3,37	2,13
	Máx	4,66	4,70	4,90	4,60	4,56	4,51	4,76	5,60	5,73	5,56	5,32	4,98	5,73
	Méd	3,88	3,86	3,92	3,86	3,76	3,56	3,77	4,20	4,40	4,38	4,08	3,99	3,97
EToC	Mín	4,19	4,13	3,99	3,45	2,95	2,54	2,30	2,95	3,60	3,97	4,14	3,91	2,30
	Máx	4,65	4,69	4,49	4,10	3,68	3,34	3,42	4,03	4,34	4,72	4,82	5,13	5,13
	Méd	4,41	4,37	4,21	3,82	3,34	3,01	3,06	3,51	3,99	4,36	4,41	4,29	3,90
EToHS	Mín	3,94	4,00	3,51	3,58	3,20	2,89	3,00	3,82	4,39	4,31	4,21	3,78	2,89
	Máx	5,57	5,68	5,52	8,52	4,66	4,54	4,76	5,58	5,86	9,48	6,30	5,54	9,48
	Méd	4,63	4,63	4,42	4,23	3,88	3,83	4,13	4,79	5,10	5,22	4,87	4,50	4,52
EToK	Mín	6,15	6,02	5,95	5,41	4,97	4,38	3,76	4,66	5,49	5,86	6,13	5,97	3,76
	Máx	7,05	7,11	6,95	6,75	6,62	6,24	6,29	6,99	6,98	7,33	7,48	8,51	8,51
	Méd	6,59	6,49	6,40	6,16	5,84	5,46	5,44	5,85	6,27	6,62	6,67	6,75	6,21
EToL	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
EToTH	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
EToTH_m	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
EToTC	Mín	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

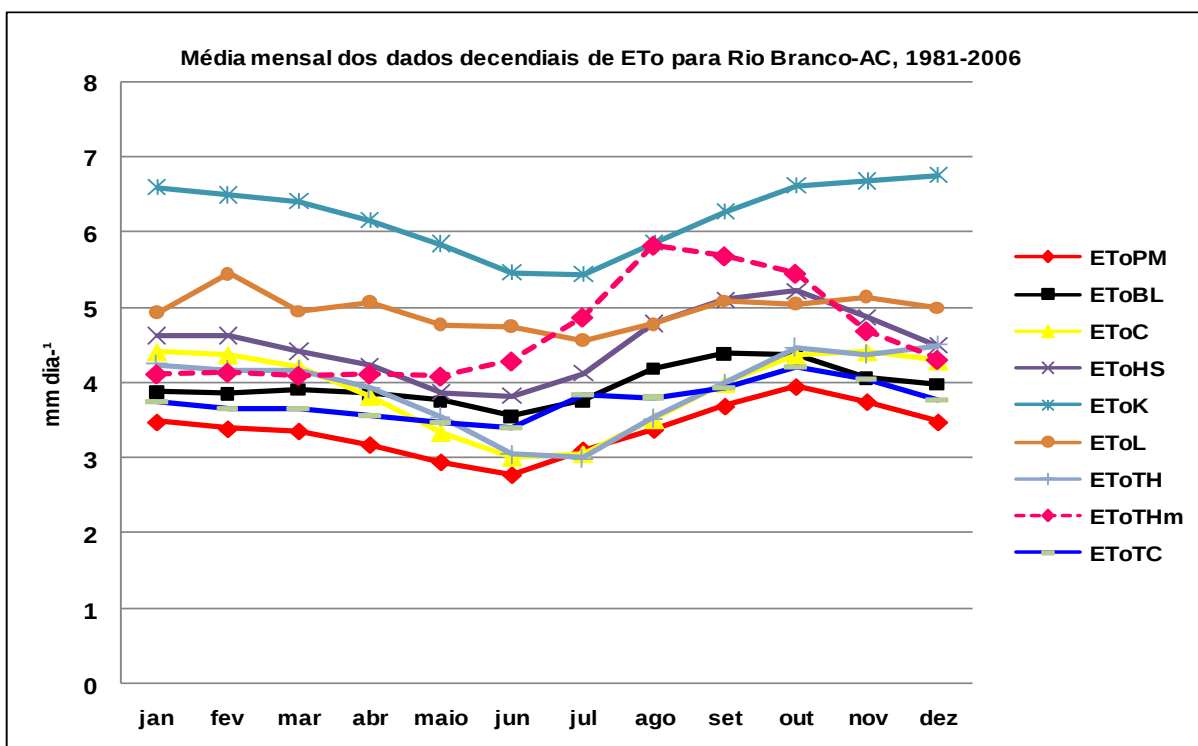


GRÁFICO 2 - Evapotranspiração de referência ETo (mm dia^{-1}) estimada a partir de dados climatológicos decendiais (período 1981-2006) para o município de Rio Branco-AC, UFAC - 2009.

O método EToHS superestimou a ETo em relação ao modelo EToPM durante todos os meses do ano (Gráfico 2), com mínimos variando desde $2,89 \text{ mm dia}^{-1}$ em junho a $4,39 \text{ mm dia}^{-1}$ em setembro, enquanto os máximos mensais variaram de $4,54 \text{ mm dia}^{-1}$ (junho) a $9,48 \text{ mm dia}^{-1}$ no mês de (outubro), apresentando médias mensais oscilando de $3,83 \text{ mm dia}^{-1}$ em junho a $5,22 \text{ mm dia}^{-1}$ em outubro, com média anual de $4,52 \text{ mm dia}^{-1}$ (Tabela 5).

O método EToK superestimou a ETo em relação ao modelo padrão (EToPM) ao longo do ano (Gráfico 2). Os valores mínimos variaram desde $3,76 \text{ mm dia}^{-1}$ (julho) a $6,15 \text{ mm dia}^{-1}$ em janeiro, com máximos mensais das ETo oscilando desde $6,24 \text{ mm dia}^{-1}$ em junho a $8,51 \text{ mm dia}^{-1}$ em dezembro, enquanto as médias mensais variaram de $5,44 \text{ mm dia}^{-1}$ em julho a $6,75 \text{ mm dia}^{-1}$ em dezembro, exibindo média anual de $6,21 \text{ mm dia}^{-1}$ (Tabela 5).

Constatou-se que o método EToL superestimou a ETo em relação ao modelo EToPM durante todos os meses do ano (Gráfico 2), com variação dos valores mínimos de $3,50 \text{ mm dia}^{-1}$ em julho a $5,18 \text{ mm dia}^{-1}$ (fevereiro), enquanto os máximos mensais variaram de $5,08 \text{ mm dia}^{-1}$ em (julho) a $5,94 \text{ mm dia}^{-1}$ (dezembro),

com médias mensais oscilando de 4,57 mm dia⁻¹ em julho a 5,46 mm dia⁻¹ em fevereiro, e média anual de 4,97 mm dia⁻¹ (Tabela 5). Mendonça et al. (2003) avaliando o método de Linacre, para os períodos de 1, 3, 7 e 10 dias, constatou que esse método atende satisfatoriamente à estimativa da ETo na região Norte Fluminense, RJ, principalmente em períodos de 7 e 10 dias.

O método EToTH superestimou a ETo no mês de julho em relação ao modelo EToPM (Gráfico 2), superestimando-a nos demais meses ao longo do ano, com valores mínimos variando de 1,15 mm dia⁻¹ em julho a 4,95 mm dia⁻¹ em abril e máximos mensais oscilando desde 2,81 mm dia⁻¹ (abril) a 8,12 mm dia⁻¹ (dezembro), apresentando variação das médias mensais de 3,00 mm dia⁻¹ em julho a 4,50 mm dia⁻¹ em dezembro e média anual de 3,92 mm dia⁻¹ (Tabela 5).

Observa-se que o método EToTC superestimou a ETo em relação ao modelo padrão (EToPM) nos 12 meses do ano (Gráfico 2), cujos valores mínimos variaram de 2,39 mm dia⁻¹ (junho) a 4,52 mm dia⁻¹ em dezembro, com máximos mensais das ETo oscilando desde 3,07 mm dia⁻¹ em dezembro a 5,27 mm dia⁻¹ em março, enquanto as médias mensais variaram de 3,40 mm dia⁻¹ (junho) a 4,05 mm dia⁻¹ (novembro), exibindo média anual de 3,76 mm dia⁻¹ (Tabela 5).

Constatou-se que os métodos avaliados superestimaram a ETo em relação ao modelo de Penman-Monteith (100%) nos seguintes percentuais: EToTC, EToC, EToTH, EToBL, EToHS, EToTH_m, EToL, EToK: 11% (0,39 mm dia⁻¹), 16% (0,53 mm dia⁻¹), 16% (0,55 mm dia⁻¹), 18% (0,60 mm dia⁻¹), 34% (1,15 mm dia⁻¹), 38% (1,27 mm dia⁻¹), 47% (1,60 mm dia⁻¹) e 84% (2,84 mm dia⁻¹), respectivamente (Tabela 6). Verificou-se que os modelos avaliados apresentaram baixos valores para o coeficiente de determinação, com destaque para o modelo de Turc (EToTC) com $r^2=0,77$.

TABELA 6 - Evapotranspiração de referência estimada com dados climatológicos decendiais (período 1981-2006), percentagem relativa em relação ao modelo padrão (EToPM), coeficientes das equações de regressão ajustadas (a e b), coeficiente de determinação (r^2), erro-padrão de estimativa (SEE), erro-padrão de estimativa ajustado (ASEE) e erro-padrão de estimativa ponderado (SEE_{pond}) para o município de Rio Branco-AC, UFAC - 2009.

MÉTODOS	ETo mm dia ⁻¹	%	a	b	r^2	SEE mm dia ⁻¹	ASEE mm dia ⁻¹	SEE_{pond} mm dia ⁻¹
EToBL	3,97	18	0,30*	0,77*	0,54*	0,68	0,31	0,56
EToC	3,90	16	1,20*	0,55*	0,40*	0,68	0,36	0,57
EToHS	4,52	34	0,41*	0,65*	0,56*	1,19	0,30	0,90
EToK	6,21	84	-0,17*	0,57*	0,44*	2,86	0,35	2,03
EToL	4,97	47	-0,93*	0,86*	0,29*	1,64	0,39	1,23
EToTH	3,92	16	1,63*	0,44*	0,44*	0,75	0,35	0,62
EToTH _m	4,64	38	2,13*	0,26*	0,30*	1,50	0,39	1,13
EToTC	3,76	11	0,05*	0,88*	0,77*	0,45	0,22	0,37

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste t.

Uma classificação prévia dos métodos de estimativa da ETo, tendo o método EToPM como padrão, a partir dos valores de SEE, obedecem a seguinte ordem de prioridade: EToTC (0,45 mm dia⁻¹), EToC (0,68 mm dia⁻¹), EToBL (0,68 mm dia⁻¹), EToTH (0,75 mm dia⁻¹), EToHS (1,19 mm dia⁻¹), EToTH_m (1,50 mm dia⁻¹), EToL (1,64 mm dia⁻¹) e EToK (2,86 mm dia⁻¹) (Tabela 6). Verificou-se um decréscimo nos valores dos erros padrões de estimativa (SEE) em relação ao erro-padrão de estimativa ajustado pela regressão (ASEE) nos métodos avaliados, indicando a possibilidade de melhoria na estimativa da ETo, por meio de calibração regional (OLIVEIRA et al., 2005).

As Figuras (4a a 4d) mostram as relações de dispersão a partir de dados decendiais para os modelos avaliados (eixo horizontal) e o modelo EToPM (eixo vertical), constatando-se que o método EToHS (Figura 4c) obteve o mais elevado coeficiente de ajuste em relação ao método padrão (EToPM) com $r^2=0,56$, seguido do método EToBL que apresentou um valor de $r^2=0,54$ (Figura 4a) e EToK com $r^2=0,44$ (Figura 4d). O método EToC apresentou elevada dispersão dos pontos com $r^2=0,40$ (Figura 4b).

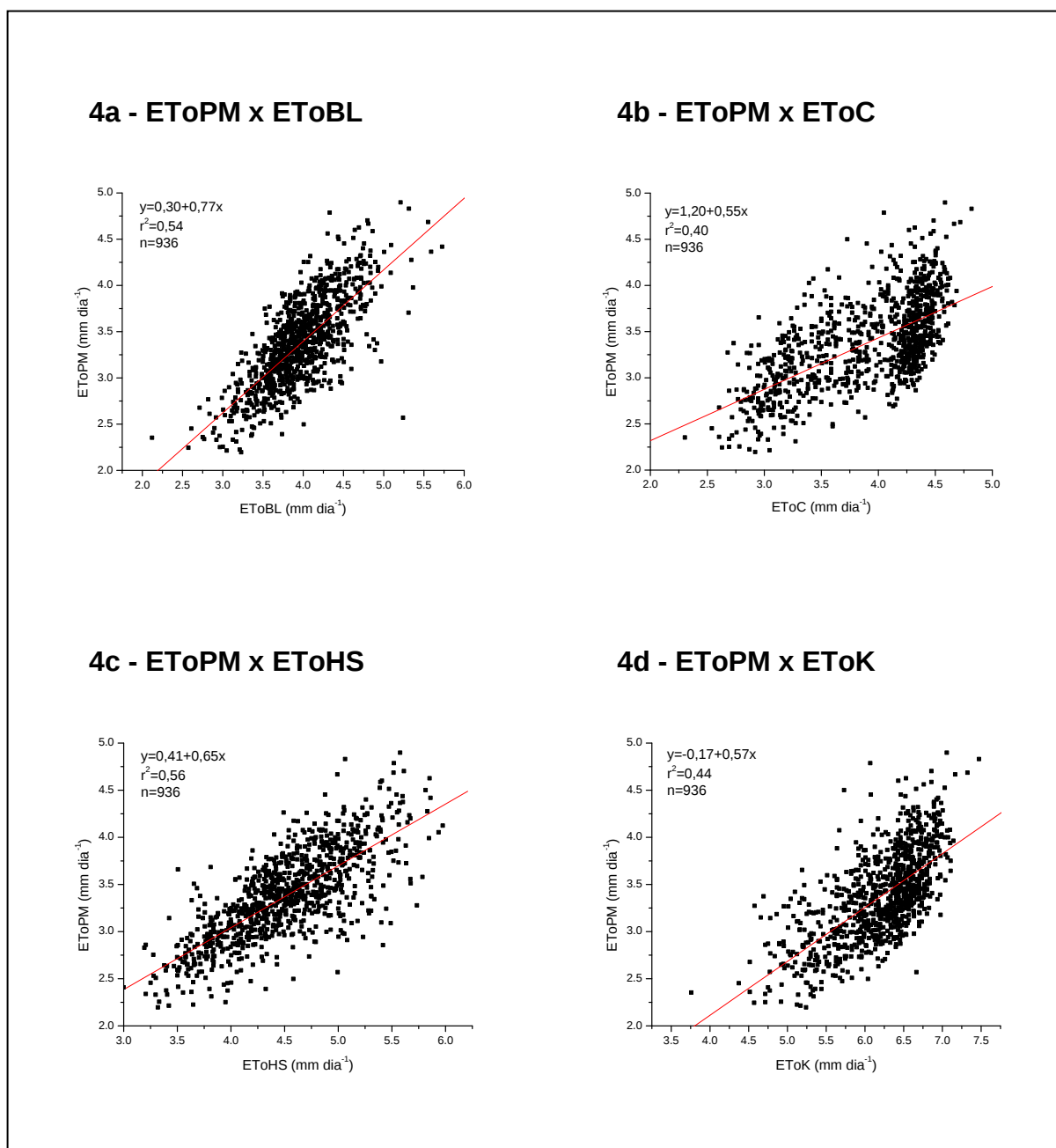


FIGURA 4 - Correlações entre os valores decendiais (período 1981-2006) da ETo estimados pelos modelos Benevides-Lopez-EToBL (4a), Camargo-EToC (4b), Hargreaves-Samani-EToHS (4c), Kharrufa-EToK (4d) e o modelo de Penman-Monteith-EToPM em (mm dia⁻¹) para o município de Rio Branco-AC, UFAC - 2009.

Observa-se que o método EToTC (Figura 5d) obteve o melhor ajuste com valor de $r^2=0,77$ seguido pelos métodos EToTH (Figura 5b) que apresentou um coeficiente de determinação de $r^2=0,44$ e o método EToTH_m (Figura 5c) com $r^2=0,30$. O método EToL apresentou o pior ajuste com $r^2=0,29$ (Figura 5a).

A análise de variância indica diferença significativa ao nível de 5% de

probabilidade pelo Teste t entre os modelos avaliados, indicando de acordo Gavilán Zafra (2005) e Fernandes (2006), que a calibração regional desses métodos, possibilita melhoria no desempenho dos mesmos.

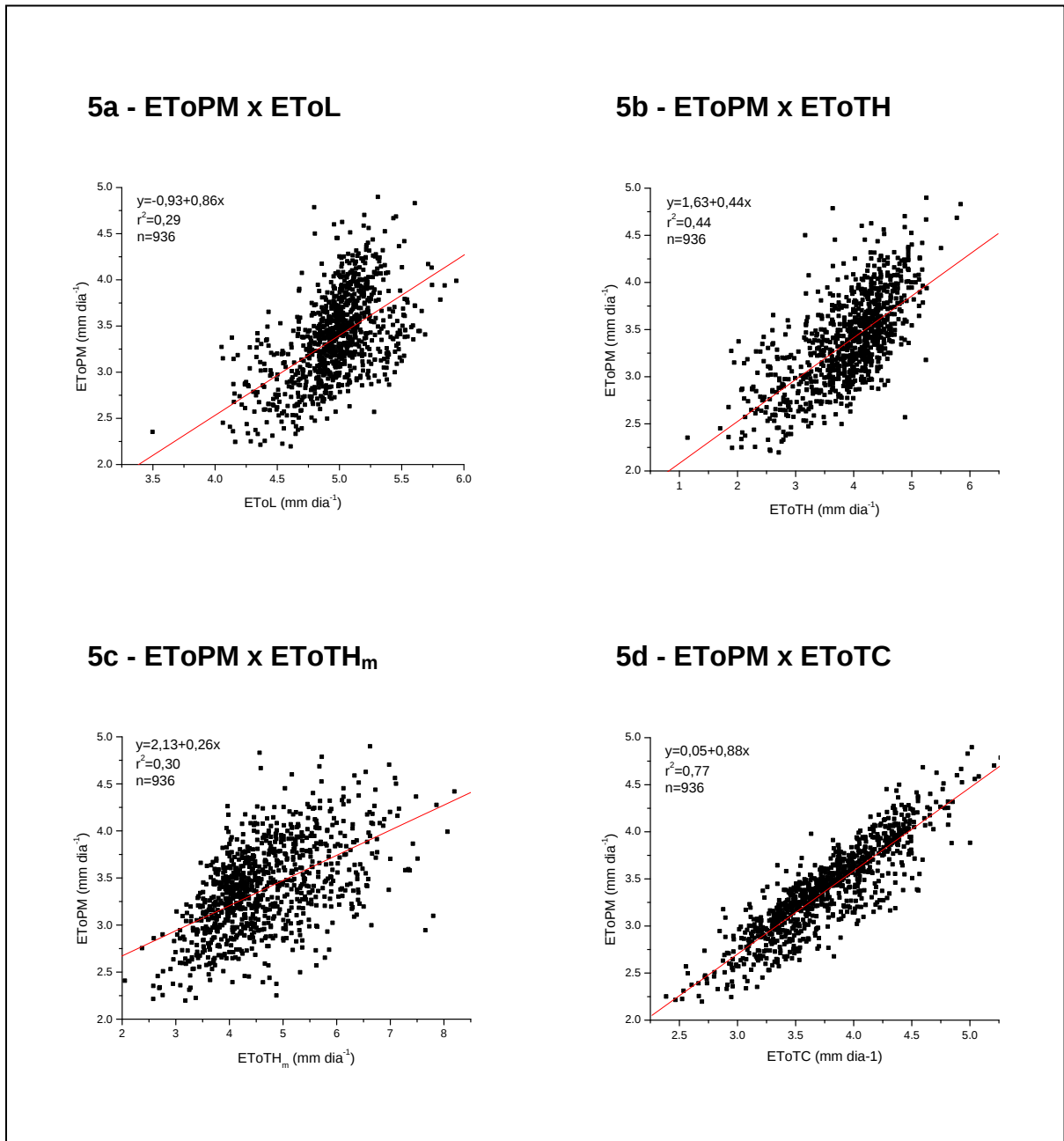


FIGURA 5 - Correlações entre os valores decendiais (período 1981-2006) da ETo estimados pelos modelos Linacre-ETToL (5a), Thornthwaite-ETToTH (5b), Thornthwaite modificado-ETToTH_m (5c), Turc-ETToTC (5d) e o modelo de Penman-Monteith-ETToPM em (mm dia⁻¹) para o município de Rio Branco-AC, UFAC - 2009.

Baseados em valores de SEE_{pond} (Tabela 7), pode-se classificar os métodos de estimativa da ETo a partir de dados decendiais, tendo como padrão o método de EToPM, em ordem de prioridade para o município Rio Branco: EToTC ($0,37 \text{ mm dia}^{-1}$), EToTBL ($0,56 \text{ mm dia}^{-1}$), EToC ($0,58 \text{ mm dia}^{-1}$), EToTH ($0,65 \text{ mm dia}^{-1}$), EToHS ($0,90 \text{ mm dia}^{-1}$), EToTH_m ($1,20 \text{ mm dia}^{-1}$), EToL ($1,23 \text{ mm dia}^{-1}$) e EToK ($2,03 \text{ mm dia}^{-1}$).

TABELA 7 - Coeficiente de calibração local (b_c), erro-padrão de estimativa ajustado (ASEE) e erro-padrão de estimativa ponderado (SEE_{pond}) referentes aos modelos de estimativa da ETo, a partir de dados climatológicos decendiais (período 1981-2006) para o município de Rio Branco-AC, UFAC – 2009.

MÉTODOS	b_c	ASEE mm dia^{-1}	SEE_{pond} mm dia^{-1}
EToBL	0,84	0,31	0,56
EToC	0,85	0,39	0,58
EToHS	0,74	0,31	0,90
EToK	0,54	0,35	2,03
EToL	0,67	0,39	1,23
EToTH	0,84	0,45	0,65
EToTH _m	0,70	0,58	1,20
EToTC	0,89	0,22	0,37

O modelo de Turc (EToTC) apresentou a melhor classificação com desempenho bom ($c=0,71$; $d=0,81$ e $cv=5,93\%$), enquanto os métodos Benevides-Lopez ($c=0,47$; $d=0,64$) e Thornthwaite ($c=0,43$; $d=0,65$) evidenciaram desempenho mau (Tabela 8). 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 $0,613 \text{ mm}$ a $0,487 \text{ mm}$.

Os métodos EToC ($c=0,40$), EToHS ($c=0,35$), EToK ($c=0,15$), EToL ($c=0,18$) e EToTH_m ($c=0,22$) apresentaram desempenho péssimo. Back (2008) trabalhando com o método de Hargreaves-Samani obteve um r^2 superior a $0,94$, no entanto o índice de exatidão (d) foi inferior a $0,40$, proporcionando desempenho péssimo ($c<0,40$).

para os intervalos mensal e decendial, com erro padrão de estimativa superior a 1,19 mm, indicando que apenas o coeficiente de determinação, não é suficiente para a definição de modelos regionais de estimativa da ETo (Tabela 8).

TABELA 8 - Coeficientes de correlação (r), exatidão (d), desempenho (c), coeficiente de variação (cv) e classificação dos métodos de estimativa da ETo com dados climatológicos decendiais (período 1981-2006), segundo os critérios de Camargo e Sentelhas (1997) para o município de Rio Branco-AC, UFAC - 2009.

MÉTODOS	r	d	c	cv (%)	CLASSIFICAÇÃO
EToBL	0,73	0,64	0,47	7,99	Mau
EToC	0,63	0,64	0,40	9,32	Péssimo
EToHS	0,75	0,47	0,35	6,86	Péssimo
EToK	0,66	0,23	0,15	5,65	Péssimo
EToL	0,54	0,33	0,18	7,96	Péssimo
EToTH	0,66	0,65	0,43	8,94	Mau
EToTH_m	0,54	0,41	0,22	8,48	Péssimo
EToTC	0,88	0,81	0,71	5,93	Bom

5 CONCLUSÕES

Face aos resultados obtidos a partir de dados climatológicos diários e decendiais, conclui-se que os métodos EToBL, EToC, EToHS, EToK, EToL, EToTH, EToTH_m e EToTC superestimaram a ETo para a região de Rio Branco, AC.

Os métodos de estimativa da ETo para a região de Rio Branco, AC, baseando-se em dados diários, classificam-se na seguinte ordem de prioridade: EToTC, EToBL, EToC, EToTH, EToHS, EToL, EToTH_m e EToK.

Os métodos calibrados de estimativa da ETo, classificam-se na seguinte ordem de prioridade para o município de Rio Branco, AC: EToTC, EToBL, EToC, EToTH, EToHS, EToTH_m, EToL e EToK.

O método de Turc (EToTC), atendeu satisfatoriamente a estimativa da ETo para o município de Rio Branco-AC, em base de dados diários e decendiais, com desempenho ótimo e bom, respectivamente.

Considerando-se os baixos valores do coeficiente de determinação, exibido pelos modelos avaliados recomenda-se o ajuste regional dos mesmos.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO Irrigation and Dranaige Paper, 5), 1998. 300 p.

ARAÚJO, W. F.; COSTA, S. A. A.; SANTOS, A. E. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para Boa Vista, Roraima. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, v. 20, n. 4, p. 84-88, 2007.

AZEVEDO, F. G. B. de.; JÚNIOR, H. D. S.; LACERDA, F. F. In: XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Campinas-SP. Estatística e modelagem, p. 29-30, 2005.

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

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6 ed. Viçosa: UFV, 1995. 657 p.

BERNARDO, S.; SOUSA, E. F.; CARVALHO, J. A. **Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), para as “áreas de baixada e de tabuleiros” da região Norte Fluminense**. Campos dos Goytacazes: UENF, 1996. 14 p. Boletim Técnico.

BONOMO, R.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para as regiões cafeeiras do triângulo e noroeste de Minas Gerais. In: XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Poços de Caldas, MG. **Anais...** Poços de Caldas: p. 307-309. 1998.

BORGES, A. C., MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na bacia do rio Jacupiranga, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v. 11, n. 3, p. 293-300, 2007.

BRAGANÇA, R. **Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no Estado do Espírito Santo**. 2007. 89 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, ES, 2007.

BURMAN, R. D.; NIXON, P. R.; WRIGTH, J. L.; PRUIT, W. O. Water requirements. In: JENSEN, M. E. (Ed.). **Design and operation of farm irrigation system**. St.

Joseph: ASAE, cap. 6, p. 189-232, 1983.

CABRAL, R. C. **Evapotranspiração de referência de Hargreaves (1974) corrigida pelo método de Penman-Monteith/FAO (1991) para o Estado do Ceará.** 2000. 83 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE, 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**, Santa Maria, RS, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CAMARGO, A. P. de.; MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C.; PICINI, A. G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, RS, v. 7, n. 2, p. 251-257, 1999.

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

CARAMORI, P. H.; CORREA, A. R.; BORROZZINO, E. Estimativa da radiação solar global diária para Ponta Grossa, PR, a partir da insolação diária. **Poliagro**, v. 7, p. 107-118, 1985.

COELHO, E. F.; SOUSA, V. F. de.; AGUIAR NETTO, A de. O.; OLIVEIRA, A. S. de. **Manejo de irrigação em fruteiras tropicais.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. 48p. (Circular Técnica n. 40).

CONCEIÇÃO, M. A. F. Estimativa da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar para as condições do Baixo Rio Grande, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v.11, n. 2, p. 229-236, 2003.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements.** (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24). Rome: FAO, 1977, 179 p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos.** Roma: FAO (Estudio Riego e Drenaje, 24). 1988. 194 p.

FERRAZ, P. A. **Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para Região de Rio Branco - Acre.** 2008. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, AC, 2008.

FERNANDES, L. C. **Avaliação de diversas equações empíricas de, evapotranspiração.** Estudo de caso: Campos dos Goytacazes e Ilha do

Fundão-RJ. 2006. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2006.

FERNANDES, L. C.; PAIVA, C. M. Estudo estatístico da evapotranspiração de referência FAO-56 Penman-Monteith para Campos dos Goytacazes. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007, Aracaju, SE. **Anais...** Aracaju: SBAGRO, 2007. CD-Rom

FIETZ, C. R.; SILVA, F. C.; URCHEI, M. A. Estimativa da evapotranspiração de referência diária para a região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 13, n. 2, p. 250-255, 2005.

FILHO, J. S. V.; LEITE, M. L.; CATANEO, A. Avaliação de três simulados de dados climáticos na geração de dados diários de temperatura do ar I-temperatura mínima. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14., 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: Estatística e modelagem, p. 54-55, 2005.

GADIOLI, J. L.; DOURADO-NETO, D.; GARCIA Y GARCIA, A. Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, SP, v. 57, n. 3, p. 377-383, 2000.

GAVILÁN ZAFRA, P. **Calibración Regional de la ecuación de Hargreaves en un ambiente Semiárido**. IFAPA. Área de Producción Ecológica y Recursos Naturales. Córdoba – Espanã, 2005: Disponível em: <www.cotr.pt/informacao/web2/Papers/25.pdf>: acesso em 12/11/2007.

GEDNEY, N.; VALDES, P. J. The effect of Amazonian deforestation on the northern hemisphere circulation and climate, **Geophys. Res. Lett.**, v. 27, 3053-3056, 2000.

GLOVER, J.; McCULLOCH, J. S. F. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine in high-altitude tropics. **Quart. J. Royal. Met. Soc.**, 84 : p. 56-60, 1958.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Journal of Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.

HARGREAVES, G. H. Defining and using reference evapotranspiration. **Journal Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 120, n. 6, p.1132-1139, 1994.

HENRIQUE, F. de A. N.; DANTAS, R. T. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Santa Maria, RS, v. 11, n. 6, p. 594-599, 2006.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 2 ed., 1990, 332 p.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE – **Manuals and Reports on Engineering Practice**, n. 7, 1991, 332 p.

KHARRUFA, N. S. Simplified equation for evapotranspiration in arid regions. **Beiträge zur Hydrologie**, Kirchzarten, v. 5, n. 1, p. 39-47, 1985.

KLEIN, S. A. Calculation of Monthly Average Insolation on titled surfaces. **Solar energy**, Canadá, v. 19, p. 325-329, 1977.

LUCAS, E. W. M. ; SOUSA, F. DE A.; SANTOS, L. A. R. dos.; SOARES, F. DE P. M. Estimativa da evapotranspiração potencial por meio de métodos baseados na temperatura do ar para estações na bacia hidrográfica do Xingu/PA. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007, Aracaju, SE. **Anais...** Aracaju: SBAGRO, 2007. CD-Rom

MALHI, Y.; ROBERTS, J. T.; BETTS, R. A.; KILLEEN, T. J.; LI, W.; NOBRE, C. A. Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon. **Science**, v. 319, p. 169-172, 2008.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Lições do Catarina e do Katrina. As mudanças do clima e os fenômenos extremos. **Ciência Hoje**, v. 37, n. 221, p. 22-27, 2005.

MASLIN, M.; MAHLI, Y.; PHILLIPS, O.; COWLING, S. A. New views on an old forest: assessing the longevity, resilience and future of the Amazon rainforest, **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 30, p. 477-499. 2005.

MEDEIROS, A. T. **Estimativa da evapotranspiração de referência através do programa REF-ET para duas localidades do Nordeste**. 1996. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE, 1996.

MEDEIROS, A. T. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região mesoclimática de Santa Maria-RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 6, n. 1, p. 105-109, 1998.

MEDEIROS, A. T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE**. 2002. 103 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, 2002.

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

MOLION, L. C. B.; DALLAROSA, R. L. G. Pluviometria da Amazônia: são os dados confiáveis? **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, 5(3): p. 40-42, 1990.

OLIVEIRA, L. F. C.; CARVALHO, D. F.; ROMÃO, P. A. CORTÊS, F. C. Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para algumas localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, GO, v. 31, n. 2, p. 121-126, 2001.

OLIVEIRA, R. Z.; OLIVEIRA, L. F. C.; WEHR, T. R.; BORGES, L. B.; BONOMO, R. Comparação de metodologias de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Goiânia, GO. **Biosci. J.** Uberlândia, MG, v. 21, n. 3, p. 19-27, 2005.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres Ltda. 1981. 425 p.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings Royal Society of London**. Série A, v. 193, p. 120-145, 1948.

PENMAN, H. L. Evaporation: Introduction survey. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 4, n. 1, p. 9-29, 1956.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba, SP: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1997. 183 p.

PEREIRA, A. R.; VRISMAN, A. L.; GALVANI, E. Estimation of daily global solar radiation as a function of the solar energy potential at soil surface. **Revista Scientia Agrícola**, Piracicaba, SP, v. 59, n. 2, p. 211-216, 2002.

REIS, E. F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. O.; PEZZOPANE, J. E. M.; TAGLIAFERRE, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do Estado do Espírito Santo no período seco. **Idésia**, Arica, v. 25, n. 3, p. 75-84, 2007.

SALATI, E. **The Climatology and Hydrology of Amazon**. In: Amazonia. Key Environments. New York: Pergamon Press, p. 18-48, 1985.

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. 436 p.

SAMANI, Z. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 126, n. 4, p. 265-267, 2000.

SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. Belo Horizonte: Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 1998. 221 p.

SANTIAGO, A. V. **Evapotranspiração de referência medida por lisímetro de pesagem e estimada por Penman-Monteith (FAO-56), nas escalas mensal e decendial**. 2001. 37 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, 2001.

SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 4, n. 1, p. 1-12, 1996.

SENTELHAS, P. C. **Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática**. 1998. 97 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, 1998.

SILVA, L. D. B. **Evapotranspiração do capim tanzânia (*Panicum maximum* jacq.) e grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge) utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem**. 2003. 93 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, 2003.

SILVA, V. P. R.; FILHO, A. F. B.; SILVA, B. B.; CAMPOS, J. H. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 14, 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: SBA, 2005. CD Rom

SMITH, M. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements**. Rome: FAO, 1991. 45 p.

SYPERRECK, V. L. G.; KLOSOWSKI, E. S.; GRECO, M.; FURLANETTO, C. Avaliação de desempenho de métodos para estimativas de evapotranspiração de referência para a região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, PR, v. 30, p. 603-609, 2008.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. **Determinação da evapotranspiração para fins de irrigação**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1995. 49 p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 55).

THORNTHWAITE, G. W. Na approach toward a rational classification of climate. **Geophysical Review**, v. 38, n.1, p. 55-94, 1948.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. do. **Meteorologia Descritiva**: fundamentos e aplicações brasileiras. 7. ed. São Paulo: Nobel, 1992. 374 p.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Brasília: INMET, 2000. 532 p.

VIEIRA, J. P. G.; SOUZA, M. J. H.; SOUSA, F. A.; TEIXEIRA, J. M. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Diamantina, MG. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBAGRO, 2007. CD-Rom

WELIGEPOLAGE, K. **Estimation of spatial and temporal distribution of evapotranspiration bay satellite remote sensing – A case study in Hupselse Beek**, The Netherlands, 2005, 114 p.

WERTH D.; AVISSAR, R. “The local and global effects of Amazon deforestation”. **J. Geophys Res.** 107(D20): artigo n. 8087, 2002.

WILLMONTT, C. J.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; ROWE, E. M.; ACKLESON, S. G.; O'DONNEELL, J. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.

Apoio



Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)