

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
*CAMPUS* DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
NÍVEL MESTRADO

**VERA LUCIA GRECO SYPPERRECK**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE MODELOS PARA ESTIMATIVAS  
DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA REGIÃO DE  
PALOTINA, PARANÁ**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON  
SETEMBRO/2006

**VERA LUCIA GRECO SYPPERRECK**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE MODELOS PARA ESTIMATIVAS  
DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA REGIÃO DE  
PALOTINA, PARANÁ**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Nível Mestrado, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: PROF. DR. ELCIO SILVÉRIO  
KLOSOWSKI

MARECHAL CÂNDIDO RONDON  
SETEMBRO/2006

**DEDICO**

A meu esposo Ademir

Ao meu filho João Pedro

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Dr. Elcio Silvério Klosowski pela orientação, dedicação, paciência e principalmente pela confiança depositada neste trabalho.

À Universidade Estadual do Oeste pela oportunidade para aperfeiçoar minha formação profissional.

Ao Instituto Agrônomo do Paraná IAPAR, pelos dados fornecidos para a realização desse trabalho.

Ao ex-Coordenador do mestrado Prof. Dr. José Renato Stangarlin e ao Coordenador Prof. Dr. Ubirajara Contro Malavasi pelas orientações e ensinamentos.

Ao meu irmão Marcelo e a minha Cunhada Silvia, pela ajuda, dedicação e colaboração no desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Alessandro Torres Campos pelo apoio e ensinamentos.

A Secretária Noili pela sua paciência e dedicação.

## RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi comparar métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em relação ao método Penman-Monteith -FAO. Os dados meteorológicos utilizados foram coletados na estação meteorológica da rede do IAPAR instalada em Palotina, Estado do Paraná. Os dados utilizados nas estimativas de evapotranspiração de referência corresponderam ao período de 1994 a 2003. Os métodos de estimativas da evapotranspiração de referência empregados foram Thornthwaite, Camargo, Hargreaves-Samani e Penman-Monteith - FAO cujos valores foram tomados como padrão de comparação para os outros métodos. As médias diárias da evapotranspiração de referência variaram entre 2,18 e 3,62  $\text{mm dia}^{-1}$ . Os resultados indicaram que, para a escala diária, os três métodos distintos de estimativa empregados apresentaram bom ajuste quando comparados ao método Penman-Monteith - FAO. Com coeficientes de correlação ( $r$ ) variando entre 0,78 e 0,80. O coeficiente de exatidão ou de concordância ( $d$ ) apresentou valores que variaram entre 0,65 a 0,73. Em relação ao método Penman-Monteith - FAO, o método de Hargreaves-Samani apresentou desempenho sofrível e os métodos de Thornthwaite e Camargo, mau desempenho, quando avaliados pelo índice ( $c$ ).

**Palavras-chave:** Irrigação, consumo de água e cultura de referência.

## ABSTRACT

The aim of this study was to compare the efficiency of three estimate methods for reference evapotranspiration with the FAO Penman-Monteith equation. Meteorological data used in this study were collected from the IAPAR meteorological station, located in Palotina, Paraná State. In order to estimate the reference evapotranspiration, the data available from 1994 to 2003 were collected. The performance of the Thornthwaite, Camargo and Hargreaves-Samani methods were compared to the FAO Penman-Monteith equation. The average of daily reference evapotranspiration ranged from 2.18 e 3.62 mm.day<sup>-1</sup>. The results indicated that the evaluated methods showed a good adjustment when compared to the FAO Penman-Monteith method, according to the daily scale. The correlation coefficient (r) ranged from 0.78 to 0.80. The coefficient of accuracy or agreement (d) presented values that ranged from 0.65 to 0.73. In comparison to the FAO Penman-Monteith method, the Hargreaves-Samani method demonstrated slight performance while the Thornthwaite and Camargo presented poor performance, evaluated by the index (c).

**Key words:** irrigation; water consuming; reference crop.

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1.</b> Valores do fator de ajuste (F) em função da temperatura média anual do local.....	25
<b>TABELA 2.</b> Critério de interpretação do desempenho dos métodos de estimativa da Eto, pelo índice c".....	31
<b>TABELA 3.</b> Resultados da análise de variância para regressão, referente as médias da temperatura do ar, umidade relativa, irradiância solar no topo da atmosfera, pressão real de vapor d'água e velocidade do vento.....	35
<b>TABELA 4.</b> Equações de regressão em função do mês, referente as médias da temperatura do ar, umidade relativa, irradiância solar no topo da atmosfera, pressão real de vapor d'água e velocidade do vento.....	36
<b>TABELA 5.</b> Valores médios mensais de evapotranspiração referência calculada pelos métodos de Thornthwaite (TH), Camargo (CA), Hagreaves-Samani (H-S) e Penman-Monteith (PM) .....	36
<b>TABELA 6.</b> Teste deTukey para as médias de evapotranspiração de referência dos métodos avaliados.....	38
<b>TABELA 7.</b> Coeficiente de determinação (r), índice de Willmott (d) e índice "c" como parâmetros de comparação entre os modelos.....	39

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Valores médios mensais da temperatura do ar de Palotina, entre 1994 a 2003.....	32
<b>FIGURA 2.</b> Valores médios mensais da umidade relativa do ar de Palotina, entre 1994 a 2003.....	33
<b>FIGURA 3.</b> Valores médios mensais da irradiância solar no topo da atmosfera entre 1994 a 2003.....	34
<b>FIGURA 4.</b> Valores médios mensais da pressão real de vapor d'água de Palotina entre 1994 a 2003.....	34
<b>FIGURA 5.</b> Valores médios mensais da velocidade do vento (m/s) de Palotina entre 1994 a 2003.....	35
<b>FIGURA 6.</b> Variação anual da evapotranspiração de referência média diária pelos métodos de Penman-Monteith – FAO , Thornthwaite, Camargo e Hargreaves-Samani.....	37
<b>FIGURA 7.</b> Relação entre a evapotranspiração de referência diária estimada pelo método de Penman-Monteith – FAO e pelo método de Thornthwaite .....	41
<b>FIGURA 8.</b> Relação entre a evapotranspiração de referência diária estimada pelo método de Penman-Monteith – FAO e pelo método de Camargo.....	41
<b>FIGURA 9.</b> Relação entre a evapotranspiração de referência diária estimada pelo método de Penman-Monteith – FAO e pelo método de Hargreaves Samani.....	42



## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>8</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>12</b>
2.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	12
2.2 FATORES QUE AFETAM A EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	13
2.3 MÉTODOS DE MEDIDAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	15
2.4 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	19
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO.....	23
3.2. ESTIMATIVAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	23
3.2.1 Método de Thornthwaite.....	23
3.2.2 Método de Camargo.....	24
3.2.3 Método de Hargreaves-Samani.....	25
3.2.4 Método de Penman-Monteith.....	27
3.2.5 Avaliação do Desempenho dos Modelos.....	30
3.2.6 Análise Estatística.....	31
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>43</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água e solo são recursos fundamentais do ambiente natural, bem como para as atividades agrícolas. A disponibilidade de recursos hídricos é essencial para o crescimento e desenvolvimento vegetal.

Tanto para o consumo humano, como para a produção agrícola os recursos hídricos estão cada vez mais escassos. Portanto, tornou-se necessário um planejamento mais eficiente da utilização da água, com desenvolvimento de metodologias que permitam estimar volumes cada vez mais exatos para obtenção de ótima produção nos cultivos agrícolas.

Com o crescimento populacional e a degradação do meio ambiente, a quantidade de água potável existente na natureza vem se tornando insuficiente para suprir as necessidades do homem. O aumento nas áreas de solos agricultáveis, para atender a demanda por alimentos vem impulsionando o uso da irrigação, tanto para tornar produtivas as regiões áridas e semi-áridas como para complementar as necessidades hídricas nas regiões úmidas.

A exploração dos recursos hídricos requer, então, uma atenção especial, principalmente para o problema de escassez de água que atinge várias regiões do Brasil. Portanto, além da necessidade de economia, a reciclagem e a reutilização aparecem como alternativas para a utilização racional da água, inclusive para a irrigação agrícola (Macêdo, 2001).

De acordo com pesquisas realizadas, constatou-se que a agricultura irrigada, atualmente representa cerca de 70% de água doce do mundo (Schultz, 2001). Na América Latina, a superfície irrigada é de aproximadamente 16 milhões de hectares, distribuída principalmente no México, Argentina, Brasil, Chile e Peru (Coelho et al., 2005). A área irrigada no Brasil corresponde a 18% da área cultivada, contribuindo com 42% da produção agrícola total (Chistofidis, 2002).

A aplicação de água por irrigação deve ser planejada de acordo com o balanço hídrico do solo, para que seu uso seja eficiente, tanto para atender as características biológicas da cultura como para o clima da região.

Então, a disponibilidade de água do solo para as plantas não depende apenas das precipitações pluviais, mas também da outra componente do balanço hídrico que corresponde às perdas de água do solo para a atmosfera, que ocorrem por evaporação e transpiração dos vegetais, processo denominado de evapotranspiração.

A transpiração corresponde à perda de água sob a forma de vapor e é o principal mecanismo, através do qual a água absorvida pelas plantas é perdida para o meio ambiente (Lopes, 1998). A evaporação corresponde à perda de água pela superfície do solo não vegetada, por uma superfície livre de água ou pela superfície das folhas, quando molhadas por chuva ou irrigação (Klar, 1988).

Pelo processo da evapotranspiração uma superfície vegetada pode perder água, de tal modo, que as condições hídricas inabilitem a planta de continuar seu ciclo de crescimento de modo satisfatório.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo comparar métodos de estimativa da evapotranspiração de referência propostos por Thornthwaite, Camargo e Hargreaves-Samani em relação ao método de Penman-Monteith, para a região de Palotina, Estado do Paraná.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A disponibilidade de água às plantas é um fator, importante para o seu crescimento e desenvolvimento (CARLESSO et al., 2000). A deficiência de água no solo afeta quase todos os aspectos relacionados ao crescimento das plantas, reduzindo a área foliar, diminuindo a fotossíntese e afetando, também, outros processos (BERGAMASCHI et al.1992).

Parte da água do solo consumida pelas plantas é transferida para atmosfera pelos processos de evaporação e transpiração. A evaporação é o processo físico pelo qual a água é perdida pelo solo, sob forma de vapor, sem participar das atividades biológicas da cultura (REICHARDT,1990). Enquanto que a transpiração se refere às perdas de água das plantas na forma de vapor, que ocorre nas folhas sendo controlada pelos estômatos (MOTA,1983).

O processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação e por transpiração é denominado de evapotranspiração (PEREIRA et al.2002)

A evapotranspiração foi o termo usado por Thornthwaite, no início da década de 40, para expressar a ocorrência simultânea dos processos de evaporação e transpiração que acontecem em uma superfície vegetada (PEREIRA et al. 1997),

A evapotranspiração de referência corresponde à água utilizada por uma cultura uniforme de porte baixo, verde e crescimento ativo, cobrindo totalmente o terreno e sem deficiência de água, ou seja, em nenhum instante a demanda atmosférica é restringida por falta d'água no solo, neste caso coincide com a evapotranspiração potencial. A evapotranspiração potencial é limitada apenas pelo balanço vertical de energia, ou seja, pelas condições do ambiente local (REICHARDT, 1990; DOORENBOS & PRUITT, 1997 e PEREIRA et al.1997).

De acordo com Camargo e Sentelhas (1997), a evapotranspiração potencial é um elemento macrometeorológico fundamental, como é a precipitação pluvial e representa a chuva teoricamente necessária para que não haja falta ou excesso de água no solo.

A evapotranspiração real corresponde a quantidade de água realmente utilizada por uma extensa superfície vegetada com grama, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo, com ou sem restrição hídrica (PEREIRA et al., 2002).

Para atender as reais necessidades hídricas de uma cultura através de reposição da água ao solo, é necessário conhecer a evapotranspiração da cultura ou evapotranspiração máxima como definida por Doorenbos & Kassam (1994). Durante o seu estágio de desenvolvimento, isto é, desde o plantio até a colheita, a cultura vai progressivamente crescendo e ocupando a área disponível do solo, ocorrendo, nestas condições, a evapotranspiração da cultura (Pereira et al., 1997). A evapotranspiração da cultura (Etc) pode ser obtida a partir da evapotranspiração de referência (Eto) empregando-se um fator de correção que é o coeficiente de cultura (Kc). Esse coeficiente varia com a cultura, estágio de desenvolvimento e o método de estimativa de Eto (BARBIERI, 1981; PERES et al. 1992).

## 2.2 FATORES QUE AFETAM A EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Sendo a água um recurso natural e essencial ao crescimento e desenvolvimento vegetal, existem fatores que influenciam na quantidade de água requerida pelas plantas (SOARES et al., 1999).

As condições climáticas determinam o valor da evapotranspiração de referência a qual é tomada para estudos comparativos de perdas de água pela vegetação em diferentes situações e locais (REICHARDT, 1990; MOHAN & ARUMUGAM, 1996; DALSSASSO et al., 1997).

A evapotranspiração é um processo físico de mudança de estado da água sendo influenciado por alguns fatores climáticos como: precipitação, velocidade do vento, razão de insolação, umidade relativa, temperatura máxima e mínima, além disso, é controlada pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica, por vapor de água e pelo suprimento de água do solo às plantas (ALLEN et al. 1998 e PEREIRA et al 2002).

A radiação solar é a maior fonte de energia e é capaz de mudar grandes quantidades de água líquida em vapor d'água. A quantidade potencial dessa energia que alcança a superfície é determinada pelo local e época do ano, devido às diferentes posições do sol. A radiação potencial difere nas várias latitudes e nas diferentes estações do ano. Quando se estudam os efeitos da radiação solar na evapotranspiração, deve-se considerar que nem toda a energia disponível é usada para vaporizar a água, parte dela é usada para aquecer a atmosfera e o perfil do solo (COUTO et al., 2002).

A temperatura do ar é uma variável que tem sua importância em estações meteorológicas pelo fato de ser um dos elementos climáticos mais disponíveis, na ausência de dados de radiação a temperatura pode ser usada como indicativo de energia no sistema estudado. A temperatura do ar aumenta devido a radiação solar absorvida pela atmosfera e o calor emitido pela terra. Dessa forma, a temperatura do ar interfere nas condições ambientais, interagindo com outras variáveis de importância para o processo de evapotranspiração (MEDEIROS, 2002)

A umidade do ar é uma variável que depende da temperatura e age indiretamente. À medida que a temperatura decresce numa mesma umidade absoluta do ar, haverá aumento na umidade relativa e queda na evaporação (KLAR, 1988). Quanto maior a umidade relativa, menor a demanda evaporativa e, portanto, menor a evapotranspiração (PEREIRA et al., 1997).

O aumento da velocidade do vento e da turbulência do ar faz a remoção do vapor d'água, transferindo grandes quantidades de ar acima da superfície evaporante, deste modo, cria uma condição favorável ao aparecimento de um gradiente de pressão de vapor, aumentando dessa forma o poder evaporante no local. Em condições áridas, pequenas variações na velocidade do vento, proporcionam grande variação na taxa de evapotranspiração (MEDEIROS, 2002)

De acordo com Silva et al. (2005) em regiões onde o processo advectivo é intenso, a importância relativa da radiação líquida decresce, e a transferência de calor sensível das áreas circunvizinhas contribuirá no processo evapotranspirativo com energia até maior que aquela disponível à área considerada, aumentando, dessa forma, a importância da velocidade do vento e da umidade relativa do ar na evapotranspiração.

Silveira & Andrade (2002), desenvolveram estudos com o objetivo de identificar quais das variáveis meteorológicas apresentavam maior influência no

processo de evapotranspiração na Região Litorânea do Estado do Ceará. Os resultados mostraram que as seis variáveis analisadas nas Bacias Metropolitana, Acaraú e Curu apresentaram coeficiente de correlação de 86%, 67% e 60%, respectivamente, com um valor absoluto superior a 0,3, expressando um alto índice de inter-relação entre as variáveis meteorológicas. Em ordem decrescente as variáveis climatológicas de maior importância para a estimativa da evapotranspiração foram: umidade relativa do ar, razão de insolação, temperatura máxima, precipitação total anual e velocidade do vento, sendo que, dentre as variáveis estudadas, as que mais se destacaram, ou que apresentaram, nas três bacias, maior peso nas equações, foram razão de insolação, precipitação total anual e umidade relativa.

Além dos fatores climáticos a evapotranspiração pode ser influenciada pelas características das plantas como: espécie, coeficiente de reflexão, estágio de desenvolvimento, altura da planta, profundidade do sistema radicular e também pelos fatores de manejo da cultura e do solo como: espaçamento e densidade de plantio, orientação do plantio, capacidade de armazenamento de água e impedimentos físicos e químicos (PEREIRA et al.,2002).

Dentro do contexto do manejo da irrigação, especialmente em regiões semi-áridas que se caracterizam por alto déficit hídrico, é fundamental conhecer os efeitos relativos das variáveis climáticas no processo de evapotranspiração de forma a se obter um uso racional do recurso água (SILVEIRA & ANDRADE, 2002).

### 2.3 MÉTODOS DE MEDIDAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evapotranspiração pode ser medida por meio de equipamentos denominados lisímetros ou evapotranspirômetros.

Hillel et al. (1969) citados por Aboukhaled et al. (1986) definiram os lisímetros como recipientes onde procura-se representar as condições naturais do sistema solo-água-planta, que possibilitam regular e controlar convenientemente os processos que ocorrem no perfil natural do solo.

Inicialmente, os lisímetros foram utilizados para estudar a drenagem profunda e a concentração de nutrientes extraídos do volume de solo, e mais recentemente

passaram a ser utilizados para determinar a evapotranspiração, sendo muito utilizados em pesquisa agrometeorológica (PEREIRA et al., 1997).

Conforme Aboukhaled et al. (1986) a lisimetria, basicamente, propicia o cálculo da medida volumétrica das águas que entram e saem do sistema que pode ou não ser coberto por vegetal.

Os lisímetros mais empregados são: o de drenagem; de lençol freático constante e o de pesagem.

Lisímetro de drenagem baseia-se no princípio de conservação de massa de água em um volume de solo. Este tipo de lisímetro funciona mais adequadamente em períodos longos de observação, em torno de dez dias, conforme Camargo (1962) citado por Pereira (2002) .

Cunha et al. (1995) avaliaram o efeito do clima sobre o consumo de água durante as fases do ciclo da cultivar IAC-165, de arroz-de-sequeiro, em Jaboticabal – SP, e para tanto utilizaram lisímetros de drenagem profunda, tipo “Thorntwaite-modificado” para determinação da evapotranspiração máxima da cultura. Para a estimativa da evapotranspiração de referência, foram utilizados os métodos Tanque classe A, Radiação Solar, Penman, Linacre e Hargreaves. Os resultados mostraram que a relação entre a evapotranspiração máxima e a evapotranspiração de referência aumentou com o desenvolvimento das plantas, atingindo valores máximos durante o subperíodo florescimento e enchimento dos grãos, diminuindo, em seguida, até a maturação fisiológica.

Carlesso et al.(2000) utilizaram lisímetro de drenagem para avaliar alterações de alguns parâmetros morfológicos de híbridos de milho submetidos a diferentes manejos de água para irrigação e relacionar o rendimento de grãos com as diferentes lâminas de irrigação aplicadas, na região de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. Os resultados obtidos mostraram que a utilização de lâminas de irrigação maiores que 30 mm ocasionam redução no rendimento de grãos e acúmulo de massa seca, e que a irrigação deve ser aplicada quando a evapotranspiração máxima da cultura indicar acúmulo de 20 a 25 mm.

Lisímetro de lençol freático constante é composto por uma caixa de cimento amianto acoplada em um dos lados na parte inferior e central um tubo de PVC que interliga a um tanque intermediário através de uma mangueira. Um tanque medidor cilíndrico com saída para o tanque intermediário, com tomada para um tubo de



escala graduada, fornece a leitura do volume de água requerido pela superfície evaporante (CURY & VILA NOVA, 1987) .

Klosowski & Lunardi (2002) utilizaram lisímetros de nível de lençol freático para determinar o consumo de água e o coeficiente de cultura do pimentão cultivado em ambiente protegido. O resultado apresentado para o consumo total de água pela cultura de pimentão, num ciclo de 198 dias, foi de 293,5 mm com média de 1,5 mm.dia<sup>-1</sup>. Sendo que o maior consumo hídrico foi observado no estágio compreendido entre o florescimento e a primeira colheita. O coeficiente de cultura variou entre 0,4 e 0,7 de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura.

Klosowski et al. (1999) utilizaram este mesmo tipo de lisímetros de nível de lençol freático, para determinar o consumo de água e o coeficiente de cultura (kc) da abóbora italiana, na região de Botucatu, Estado de São Paulo. Os resultados mostraram que o consumo total de água foi de 231,52 mm, com média de 3,31 mm por dia, para um ciclo de 70 dias. O período de maior demanda de água ocorreu entre o florescimento e desenvolvimento dos frutos. O coeficiente de cultura apresentou valores extremos entre 0,68 e 1,96, correspondentes às primeira e sexta semanas após o plantio.

Cury & Villa Nova (1989) determinaram os valores de coeficientes de cultura do repolho obtidos a partir de vários métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, e dados medidos por evapotranspirômetro de nível de lençol freático. Os resultados demonstraram que não se deve utilizar um coeficiente de cultura único anual, e que para maior precisão dos resultados deve-se empregar o coeficiente adequado para cada método de estimativa da evapotranspiração de referência.

Lisímetro de pesagem utiliza a medida automatizada de células de carga instaladas sob uma caixa impermeável, medindo a variação de massa desta. Quando as plantas do lisímetro consomem água, a massa do volume de controle diminui proporcionalmente a evapotranspiração (GOMIDE et al.,1997; BERGAMASCHI et al., 1997).

Miranda et al (1999) trabalharam com a construção, instalação e calibração de um lisímetro de pesagem em Paraipaba – CE. Estes autores concluíram que a instalação foi facilitada pela simplicidade do projeto com custo relativamente baixo. Os resultados da calibração do lisímetro mostraram que a correlação entre a massa-padrão de 200g e as leituras da balança foi linear ( $r^2 = 0,9994$ ) com erro inferior a 1% em uma faixa de 176 kg, equivalente a cerca de 80 mm de evapotranspiração. A

análise dos resultados obtidos pelo carregamento das massas-padrão de 200 g mostrou que o lisímetro apresenta melhor sensibilidade às variações de uma massa a partir de 400 g, o que equivale a uma lâmina d'água de 0,18mm.

Santiago et al. (2002) compararam as estimativas da evapotranspiração de referência pelo modelo de Penman-Monteith com medidas em lisímetro de pesagem automática. As médias dos valores medidos (y) e estimados (x), foram comparados e analisados na escala mensal e escala decendial no período anterior e posterior ao inverno. O valor de b variou entre 1,0784 e 1,0961 resultando em b médio ponderado pelo número de pontos igual a 1,0905, indicando que o valor da evapotranspiração de referência estimado pelo modelo de Penman-Monteith FAO-56 subestimou em nove por cento as medidas lisimétricas no primeiro período. No segundo período a variação foi pequena e esteve entre 0,9562 e 0,9664, com valor médio igual a 0,9622, representando superestimativa média inferior a quatro por cento. Quando combinou-se os dois períodos a subestimativa foi cerca de quatro por cento, indicando razoável correlação entre os valores medidos e estimados.

Medeiros (2002) avaliou o desempenho de um lisímetro de pesagem e de diferentes métodos na estimativa da evapotranspiração de referência nas escalas diárias, quinquidial e decendial, frente ao método de Penman-Monteith, para as condições climáticas de Paraipaba – CE. Nas três escalas de tempo avaliadas os resultados obtidos mostraram que os dados medidos em lisímetro se ajustaram de forma regular aos valores da evapotranspiração de referência estimado pelo método de Penman-Monteith. Com relação aos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência os que melhor se ajustaram aos valores obtidos por Penman-Monteith foram: Priestley & Taylor nas escalas diária e decendial, com desempenho bom e de Thonthwaite modificado na escala quinquidial, com desempenho muito bom.

Gonçalves et al. (2005) avaliaram o efeito da cobertura do solo com filme de polietileno azul no consumo de água da cultura da alface, no município de Araras - SP. O consumo de água foi medido em dois lisímetros de pesagem instalados no interior da estufa. Os resultados mostraram que o consumo médio de água foi de 4,17mm dia<sup>-1</sup> para o tratamento “solo descoberto” e de 3,11mm dia<sup>-1</sup> para o tratamento “solo coberto”. A cultura instalada no tratamento “solo coberto” foi mais eficiente no uso de água.

## 2.4 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

Para a estimativa da evapotranspiração de referência diversos pesquisadores propuseram modelos indiretos, com as mais diferentes concepções e números de variáveis envolvidas (MENDONÇA et al., 2003). A conveniência para utilizar um ou outro método depende de uma série de fatores como: a disponibilidade de dados meteorológicos e a escala de tempo requerida. Normalmente métodos como os de Thornthwaite e de Camargo, estimam bem a evapotranspiração de referência na escala mensal, enquanto que os métodos que envolvem o saldo da radiação apresentam boas estimativas na escala diária (PEREIRA et al., 2002).

Dentre os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, os métodos empíricos tem aplicabilidade quase universal, e resultam de correlações entre os elementos meteorológicos medidos em condições padrão e a evapotranspiração também medida em condições padronizadas. Os métodos combinados, entretanto, combinam os efeitos do balanço de energia com aqueles do poder evaporante do ar (PEREIRA et al., 1997).

Uns dos primeiros métodos definidos para se estimar a evapotranspiração de referência em uma região foi proposto por Thornthwaite em 1948. Ao desenvolver o conjunto de equações, Thornthwaite utilizou o balanço hídrico de bacias hidrográficas, tendo obtido a evapotranspiração potencial em lisímetros e empregando como variável independente a temperatura do ar (CAMARGO & CAMARGO, 2000).

Gomes et al (2005), estimaram a evapotranspiração de referência para 222 municípios do Estado de Piauí, pelo método de Thornthwaite em 1948. Os valores foram agrupados em classes de evapotranspiração de referência, com intervalos de 25 mm, formando mapas mensais. Os resultados da evapotranspiração de referência mensais variaram de 55,4 a 212,0 mm evidenciando a variação na demanda evapotranspirativa das diversas regiões do Estado. O período de fevereiro a julho apresentou os menores valores mensais da evapotranspiração de referência, enquanto de setembro a dezembro, os maiores valores. Esta tendência é um reflexo da variação espacial da temperatura média do ar mensal nas diferentes regiões daquele Estado.

Camargo & Camargo (1983) propuseram uma equação de estimativa mais simples da evapotranspiração de referência a partir da equação original de

Thornthwaite, porém com a mesma eficiência na estimativa da evapotranspiração de referência em período de 10 ou 30 dias. Neste método utiliza-se o dado da radiação solar extraterrestre diário, a temperatura média do período, fator de ajuste que varia com a temperatura média anual do local estudado e o número de dias do período considerado (PEREIRA et al.,1997).

Silva et al.(2005) trabalhando com os métodos de Thornthwaite e Camargo e comparando-os com o de Penman-Monteith, verificaram a influência da utilização de cada método de estimativa da evapotranspiração potencial diária sobre o dimensionamento econômico de um sistema de drenagem. De acordo com os autores, os valores de evapotranspiração obtidos pelos métodos de Thornthwaite e Camargo subestimaram, de maneira geral, aqueles obtidos pelo método de Penman-Monteith. Para a análise econômica, verificaram que os valores de espaçamentos entre drenos foram aproximadamente semelhantes para os três métodos, evidenciado que não há influência do método selecionado na simulação.

A partir de dados obtidos em lisímetros, cultivados com grama, na região de Davis, California (clima semi-árido), Hargreaves & Samani em 1985, propuseram uma equação de estimativa da evapotranspiração de referência diária, utilizando valores da temperatura máxima, mínima e temperatura média diária além do valor da radiação extraterrestre (PEREIRA et al.,2002).

Os métodos desenvolvidos por Hargreaves em 1974 e Hargreaves & Samani em 1982 foram avaliados por Sentelhas e Camargo (1996) para estimativa da evapotranspiração de referência para o Estado de São Paulo, comparando-as com dados obtidos em evapotranspirômetros. Tal comparação possibilitou a formulação de um novo método mais simplificado e adequado às condições paulistas.

De acordo com estes autores, o método de estimativa da evapotranspiração de referência de Hargreaves e Hargreaves e Samani não apresentaram viabilidade quando aplicados nas condições do Estado de São Paulo, superestimando demasiadamente esse elemento durante todos os meses do ano. Contudo, a simplificação do método de Hargreaves mostrou-se viável apresentando elevados níveis de concordância entre os dados estimados e medidos.

A evapotranspiração pode, ainda, ser estimada utilizando-se o método proposto por Penman-Monteith com a parametrização proposta pela FAO (Allen et al.,1998). Este método é considerado mais adequado para estimar a evapotranspiração de uma cultura na escala diária, por representar a influência da

componente do balanço de energia e da componente aerodinâmica (PEREIRA et al.,1997).

Chiew et al. (1995) avaliaram vários métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, comparando-os com o método de Penman-Monteith, em 16 regiões da Austrália. Os resultados obtidos mostraram que as estimativas da evapotranspiração de referência pelo método de Penman FAO 24 foi de 20 a 40 % mais elevada do que as estimativas pelo método de Penman-Monteith. Entretanto, o método da radiação comparado com o de Penman-Monteith apresentou valores semelhantes para estimativa diária da evapotranspiração de referência. O método de Blaney-Criddle, no qual se utiliza somente dados de temperatura, quando comparado ao de Penman-Monteith também apresentou valores semelhantes. As comparações mostraram que há uma correlação satisfatória entre os dados do tanque Classe A com o de Penman-Monteith para a evapotranspiração de referência.

Dantas Neto (1999) comparou diversos métodos para estimativa diária da evapotranspiração de referência (Eto) para Mossoró – RN, com aqueles estimados pelo método de Penman-Monteith. Os resultados indicam um melhor ajuste para o método de Penman, seguido do Radiação, Blaney-Criddle, Hargreaves-Samani e do Tanque Classe A. O emprego do método de Tanque Classe A necessitaria, possivelmente, de ajustes no coeficiente de tanque para melhores estimativas da evapotranspiração de referência.

Conceição (2002), avaliou métodos para estimativa da evapotranspiração de referência (Eto) para as condições da região noroeste do Estado de São Paulo. Os valores da evapotranspiração de referência obtidos por meio do Tanque Classe A, utilizando diferentes métodos para obtenção do coeficiente do tanque. Esses valores de evapotranspiração de referência foram comparados com os obtidos no método de Penman-Monteith. De acordo com o autor, o valor médio anual do  $K_p$ , determinado a partir da relação entre a evapotranspiração de referência PM e ECA, foi de 0,74. Para o período chuvoso o  $K_p$  médio foi de aproximadamente 0,80 e para o período seco foi de 0,70. A estimativa da evapotranspiração de referência por meio do tanque Classe A, empregando-se o modelo de Snyder para a determinação de  $K_p$ , foi a que proporcionou os maiores coeficientes de determinação e de confiança em relação a evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith.

Oliveira & Carvalho (1998), avaliaram a correlação entre diferentes métodos de determinação da evapotranspiração de referência e seu efeito na demanda de irrigação suplementar para o milho, nos municípios de Seropédica e Campos (RJ). A evapotranspiração de referência foi estimada diariamente pelos métodos de Penman-Monteith (PM), Penman-FAO (PN), Radiação-FAO (RA) e Hargreaves (HG). Os resultados mostraram um bom ajuste dos métodos de PN, RA e HG, se comparados com o método de PM. O ajuste da equação de PM com os dados obtidos da equação de HG forneceu estimativa satisfatória para diferentes épocas de semeadura, nas duas localidades estudadas.

Oliveira & Volpe (2003) compararam diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração de referência, para a região de Jaboticabal, Estado de São Paulo. Estes autores utilizaram dados coletados diariamente de estação meteorológica convencional e automática, comparando-os com os métodos de Penman, Penman-Monteith e tanque Classe A. Os valores obtidos pelo método de Penman foram de 17,4 a 21% superiores aos resultados do método de Penman-Monteith. Os métodos de Penman e Penman-Monteith, estimam valores inferiores da evapotranspiração de referência quando comparados ao tanque Classe A. As estimativas de evapotranspiração de referência determinada a partir de dados coletados em estação meteorológica convencional excederam em média de 7 a 10% os valores estimados utilizando dados em estação meteorológica automática, tanto para o método de Penman como para o método de Penman-Monteith.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido com informações meteorológicas obtidas na estação meteorológica do IAPAR, instalada em Palotina, estado do Paraná, correspondentes ao período entre 1994 e 2003.

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

O município de Palotina encontra-se localizado nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 24°18' S, longitude 53°55' W e altitude 310m.

O clima local é do tipo Cfa segundo a classificação de Köppen, sendo caracterizado como subtropical com temperaturas médias anuais entre 22°C e 23°C, apresentando verões quentes, totais de chuvas entre 1600 e 1800mm anuais, bem distribuídas durante o ano (IAPAR, 2006).

#### 3.2. ESTIMATIVAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evapotranspiração de referência foi estimada pelos métodos de Thornthwaite, Camargo, Hargreaves-Samani e de Penman-Monteith - FAO.

##### 3.2.1 Método de Thornthwaite

A equação de Thornthwaite estima a evapotranspiração potencial mensal padrão (ETPp, mm mês<sup>-1</sup>) para uma condição padrão de 12 horas de brilho solar e mês de 30 dias.

As equações que representam o método de Thornthwaite estão descritas abaixo:

$$ETP_p = 16 \left( 10 \frac{T_i}{I} \right)^a \quad T_i > 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

em que:

ETP<sub>p</sub> = evapotranspiração potencial padrão (mm);

T<sub>i</sub> = temperatura média mensal para um ano qualquer (°C);

I e a = Índice térmico regional.

Os índices térmicos regionais (I e a) foram determinados por:

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2T_i)^{1,514} \quad T_i > 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,7912 \times 10^{-2} I + 0,49239 \quad (3)$$

em que:

T<sub>i</sub> = temperatura média mensal normal climatológica (°C);

I = índice de calor da região;

i = subscrito representa o mês do ano;

a = função cúbica de I.

A estimativa da evapotranspiração mensal, em um mês qualquer, foi obtida a partir da evapotranspiração potencial padrão aplicando-se um fator de correção como pode ser observado na equação:

$$ETP = ETP_p \times \frac{N}{12} \times \frac{ND}{30} \quad (4)$$

em que:

ND = número de dias do período;

N = fotoperíodo médio mensal (horas).

### 3.2.2 Método de Camargo

Para simplificar a estimativa de evapotranspiração referência, a partir do método de Thornthwaite, Camargo & Camargo (1983) propuseram a seguinte equação:

$$ETP = F \times Q_0 \times T \times ND \quad (5)$$



em que:

ETP = evapotranspiração potencial ou de referência;

F = fator de ajuste que varia com a temperatura média anual do local conforme;

(Tabela 1)

Qo = radiação solar extraterrestre diária expressa em equivalente de evaporação, no período considerado ( $\text{mmd}^{-1}$ );

T = temperatura média do período ( $^{\circ}\text{C}$ );

ND = número de dias do período.

**TABELA 1.** Valores do fator de ajuste (F) em função da temperatura média anual do local.

Temperatura média anual ( $^{\circ}\text{C}$ )	F
Até 23,0	0,01
24,0	0,0105
25,0	0,011
26,0	0,0115
27,0	0,012

Fonte: Camargo & Camargo (1983).

### 3.2.3 Método de Hargreaves – Samani

Usando dados obtidos em lisímetros na região de Davis, California (clima semi-árido), com gramado, Hargreaves & Samani em 1985, propuseram a seguinte equação para estimativa de evapotranspiração de referência diária ( $\text{mm d}^{-1}$ ) (PEREIRA et al., 1997).

$$ET_o = 0,0023 \times Q_o (T_{\max} - T_{\min})^{0,5} (T + 17,8) \quad (6)$$

em que:

Eto = evapotranspiração de referência;

Qo = radiação solar incidente no topo da atmosfera terrestre ( $\text{mm d}^{-1}$ );

Tmax = temperatura máxima ( $^{\circ}\text{C}$ );

Tmin = temperatura mínima ( $^{\circ}\text{C}$ );

T = temperatura média diária ( $^{\circ}\text{C}$ ).

A radiação solar extraterrestre diária utilizada no método de Camargo e de Hargreaves-Samani pode ser estimada a partir distância relativa Terra - Sol (Equação 7), declinação solar (Equação 9) e angulo horário (Equação 11).

Distância relativa Terra-Sol  $(D_m/D)^2$ .

$$\left(\frac{D_m}{D}\right)^2 = 1,000110 + 0,034221 \cos x + 0,001280 \sin x + 0,000719 \cos 2x + 0,000077 \sin 2x \quad (7)$$

em que:

X = conversão de um dia Juliano em ângulo.

O valor de X pode ser calculado em radianos e dado por:

$$X = \frac{2\pi(DJ - 1)}{365} \quad (8)$$

em que:

DJ = número do dia do ano ou dia juliano.

A declinação solar ( $\delta$ ) proposta por Robertson & Russelo (Varejão-Silva, 2000).

$$\delta = 0,3964 + 3,631 \sin F - 22,97 \cos F + 0,03838 \sin 2F - 0,3885 \cos 2F + 0,07659 \sin 3F - 0,1587 \cos 3F - 0,01021 \cos 4F \quad (9)$$

em que:

F = conversão de um dia Juliano em ângulo.

O valor de F calculado em graus, podendo ser obtido por:

$$F = \frac{360 \times DJ}{365} \quad (10)$$

em que:

DJ = número do dia do ano ou dia Juliano.

Ângulo horário (h):

$$h = \arccos(-\operatorname{tg}\phi \times \operatorname{tg}\delta) \quad (11)$$

em que:

h = ângulo horário (graus);

$\phi$  = latitude do local (graus);

$\delta$  = declinação solar (graus).

Radiação solar incidente no topo da atmosfera terrestre ( $Q_0$ ).

$$Q_0 = 37,60 \left( \frac{D_m}{D} \right)^2 \left( \frac{\pi}{180} h \operatorname{sen} \phi \operatorname{sen} \delta + \cos \phi \cos \delta \operatorname{sen} h \right) \quad (12)$$

em que:

$(D_m/D)^2$  = fator que expressa a variação da densidade de fluxo de radiação que atinge uma superfície normal aos raios (adimensional);

h = ângulo horário (graus);

$\phi$  = latitude do local (graus);

$\delta$  = declinação solar (graus).

Fotoperíodo (N):

$$N = \frac{2 \times h}{15} \quad (13)$$

em que:

h = Ângulo horário.

### 3.2.4 Método Penman-Monteith – FAO

O método Penman-Monteith – FAO é considerado o mais adequado para as estimativas da evapotranspiração de referência porque se baseia em princípios físicos e considera todos os fatores climáticos que afetam a evapotranspiração de referência (Lee et al.; 2004), podendo ser representado pela equação:

$$ET_o = \frac{0,408s(Rn - G) + \gamma \frac{900}{t + 273} v(e_s - e_a)}{s + \gamma(1 + 0,34v)} \quad (14)$$

em que:

$s$  = Declividade da curva de pressão de vapor ( $\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$ );

$Rn$  = Radiação líquida disponível à superfície ( $\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ );

$G$  = Densidade de fluxo de calor para o solo ( $\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ), na escala diária  $G = 0$ ;

$\gamma$  = Constante psicométrica,  $0,0622 \text{ kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$  e  $900 =$  fator de conversão;

$t$  = Temperatura de bulbo seco ( $^\circ\text{C}$ );

$v$  = Velocidade do vento registrada a 2 metros de altura ( $\text{m.s}^{-1}$ );

$e_s$  = Pressão de saturação à temperatura de bulbo seco ( $\text{kPa}$ );

$e_a$  = Pressão real ou atual de vapor d'água ( $\text{kPa}$ ).

A declividade da curva de pressão de vapor ( $s$ ) pode ser determinada como segue:

$$s = \frac{4098e_s}{(t + 237,3)^2} \quad (15)$$

em que:

$e_s$  = Pressão de saturação à temperatura de bulbo seco ( $\text{kPa}$ );

$t$  = Temperatura de bulbo seco ( $^\circ\text{C}$ ).

A radiação líquida ( $Rn$ ) é composta do balanço de ondas curtas (BOC) e do balanço de ondas longas (BOL):

$$Rn = BOL + BOC \quad (16)$$

Balanço de ondas curtas (BOC):

$$BOC = Rg \times (1 - \alpha) \quad (17)$$

em que:

$R_g$  = Irradiância solar global (graus);

$\alpha$  = Coeficiente de reflexão (adimensional).

O coeficiente de reflexão ( $\alpha$ ) foi assumido como um valor médio para uma superfície gramada sendo igual a 0,25.

Irradiância solar global ( $R_g$ ):

$$R_g = Q_o \left( 0,19 + 0,45 \frac{n}{N} \right) \quad (18)$$

em que:

$Q_o$  = Irradiância solar no topo da atmosfera ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );

$n$  = Insolação (horas);

$N$  = Fotoperíodo (horas).

Balanco de ondas longas (BOL) para climas úmidos (Pereira et al,2002):

$$\text{BOL} = - \left[ 4,903 \times 10^{-9} \times \text{Tar}^4 \times (0,56 - 0,25\sqrt{e}) \times \left( 0,1 + 0,9 \times \frac{n}{N} \right) \right] \quad (19)$$

em que:

BOL = balanço de ondas longas ( $\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ );

$\text{Tar}$  = temperatura média diária do ar (K);

$e$  = pressão atual de vapor d'água na atmosfera (kPa);

$n$  = insolação (horas);

$N$  = fotoperíodo (horas).

A pressão de saturação à temperatura de bulbo seco ( $e_s$ ) e a pressão real ou atual ( $e$ ) de vapor d'água, podem ser determinadas como segue:

$$e_s = 0,61078 \times 10^{\left( \frac{t \times 7,5}{t + 237,3} \right)} \quad t > 0^\circ\text{C} \quad (20)$$

$$e = \frac{\text{UR} \times e_s}{100} \quad (21)$$

em que:

t = temperatura de bulbo seco (°C);

es = Pressão de vapor saturação à temperatura de bulbo seco (kPa);

e = Pressão real ou atual de vapor d'água (kPa);

UR = Umidade relativa do ar (%).

### 3.2.5 Avaliação do desempenho dos modelos.

O estudo comparativo entre os métodos de Thornthwaite, Camargo e Hargreaves-Samani em relação ao de Penman-Monteith - FAO foi efetuado utilizando-se o índice de Willmott (1981) expresso em função do modelo:

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (22)$$

em que:

d = Índice de Willmott;

P<sub>i</sub> = o valor médio diário na escala mensal de evapotranspiração de referência estimado por um dos modelos;

O<sub>i</sub> = o valor médio diário na escala mensal de evapotranspiração de referência calculado pelo método de Penman-Monteith - FAO;

O = a média dos valores calculado pelo método de Penman-Monteith - FAO.

Como parâmetro estatístico de comparação foi também utilizado o índice "c" adotado por Camargo e Sentelhas (1997). Este índice serve como indicador de desempenho dos métodos, reunindo os índices de precisão "r" determinado a partir de regressão linear e o índice de Willmott "d", sendo expresso da seguinte forma:

$$c = r \times d \quad (23)$$

O critério adotado para interpretar o desempenho dos métodos pelo índice "c", para os valores médios diários para a escala mensal de evapotranspiração de referência são apresentados na Tabela 2.

**TABELA 2.** Critério de interpretação do desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, pelo índice "c"

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

**Fonte:** Camargo & Sentelhas (1997)

### 3.2.6 Análise Estatística

Para a análise da variância dos métodos foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado – DIC. A comparação das médias de cada método foi feita pelo teste de Tukey e a diferença mínima significativa ao nível de 1% e 5% de probabilidade. A análise da variação dos fatores meteorológicos do período em estudo foi feita por meio da análise de regressão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. VARIAÇÃO DOS FATORES METEOROLÓGICOS NO PERÍODO DE 1994 A 2003

Nas Figuras 1, 2 e 5, observa-se a variação dos fatores meteorológicos como temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, obtidos na estação meteorológica de Palotina. Os valores médios da irradiância solar no topo da atmosfera e da pressão real de vapor d'água determinados por meio de equações empíricas estão representados nas Figuras 3 e 4.

A Figura 1 mostra a variação da temperatura média do ar correspondente ao período em estudo. O valor médio diário máximo foi de 27,1°C para o mês de janeiro, e o valor mínimo foi de 18,4°C para o mês de julho.

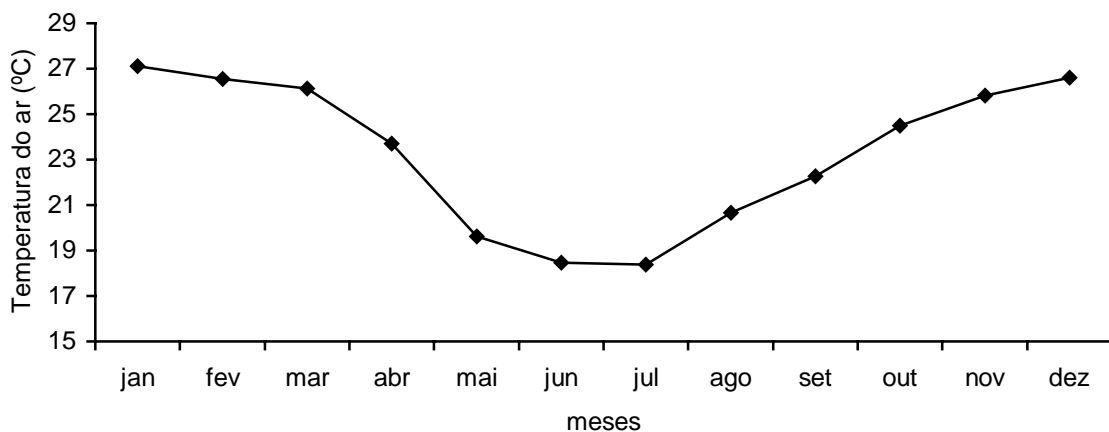


FIGURA 1. Valores médios mensais da temperatura do ar de Palotina, entre 1994 a 2003.

Carvalho & Stipp (2004) desenvolveram estudo com objetivo de contribuir ao estudo do balanço hídrico no Estado do Paraná, segundo o método de Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955). Após a análise do balanço hídrico para a



série temporal disponível para quarenta municípios do Estado do Paraná, observaram que as temperaturas médias mais elevadas são registrada no verão, no trimestre dezembro, janeiro e fevereiro em 75% dos municípios, com valores entre 25,7°C e 17,5°C. As temperaturas médias mais baixas correspondem ao inverno, no trimestre junho, julho e agosto em 50% dos municípios, os municípios como Guairá e Cascavel próximo à Palotina, apresentam registros de maiores temperaturas no trimestre dezembro a fevereiro. Nestes dois municípios, as menores temperaturas ocorrem entre junho e agosto, de forma semelhante ao que se observa para o município de Palotina.

Na Figura 2 visualiza-se a média diária da umidade relativa do ar, para o período estudado, cujo menor valor foi de 66,24% para o mês de setembro e o maior de 78,53% para o mês de fevereiro.

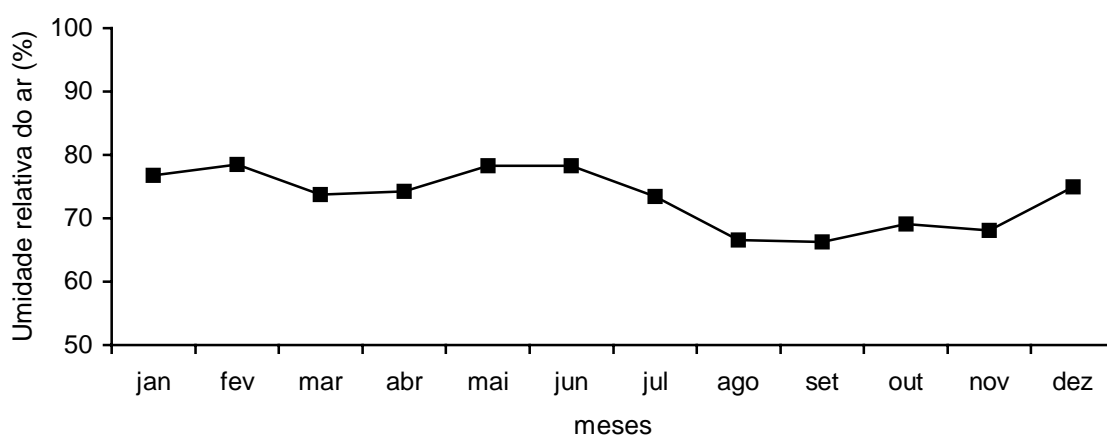


FIGURA 2. Valores médios mensais da umidade relativa do ar de Palotina, entre 1994 a 2003.

Figueiredo et al. (2002) comparando a evapotranspiração de referência pelos métodos de Penman-Monteith e do tanque Classe "A", para as condições de Minas Gerais. Obtiveram registro em estação meteorológica, durante a realização do experimento, de valores médios de umidade relativa do ar iguais a 72,43%. Para o posto meteorológico, onde estava instalado o tanque Classe "A", os valores médios umidade relativa do ar foram de 73%. Para as condições de Palotina o valor médio de umidade relativa do ar da série estudada foi de 72,3%.

Na Figura 3 foram apresentados os valores médios diários na escala mensal da irradiância solar no topo da atmosfera.

De acordo com a Figura 3 observa-se que a média mensal da irradiância solar no topo da atmosfera, ficou em torno de  $42,39\text{MJm}^{-2}\text{ dia}^{-1}$  e  $42,97\text{MJm}^{-2}\text{ dia}^{-1}$  para os meses de janeiro e dezembro e para os meses de junho e julho ficou em torno de  $21,89\text{MJm}^{-2}\text{ dia}^{-1}$  e  $22,66\text{MJm}^{-2}\text{ dia}^{-1}$ , respectivamente.

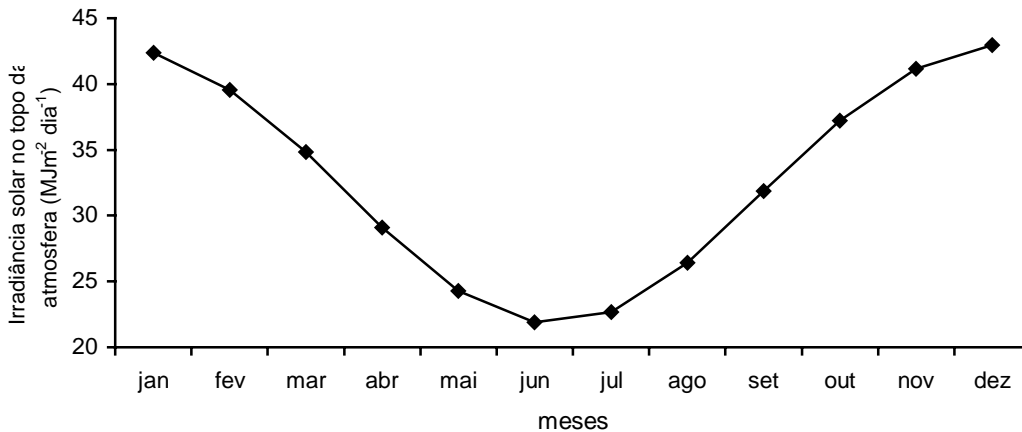


FIGURA 3. Valores médios mensais da irradiância solar no topo da atmosfera ( $\text{MJm}^{-2}\text{ dia}^{-1}$ ) entre 1994 a 2003.

Os maiores valores de irradiância solar no topo da atmosfera no período de verão ocorrem em função da declinação solar, fazendo com que uma superfície plana perpendicular aos raios solares na porção mais externa da atmosfera receba maior quantidade de energia por unidade de área e tempo nesta época do ano.

A Figura 4 mostra os valores médios da pressão real de vapor d'água, os valores médios mensais de pressão real de vapor variaram de 1,58 kPa no mês de julho até 2,75 kPa para o mês de janeiro.

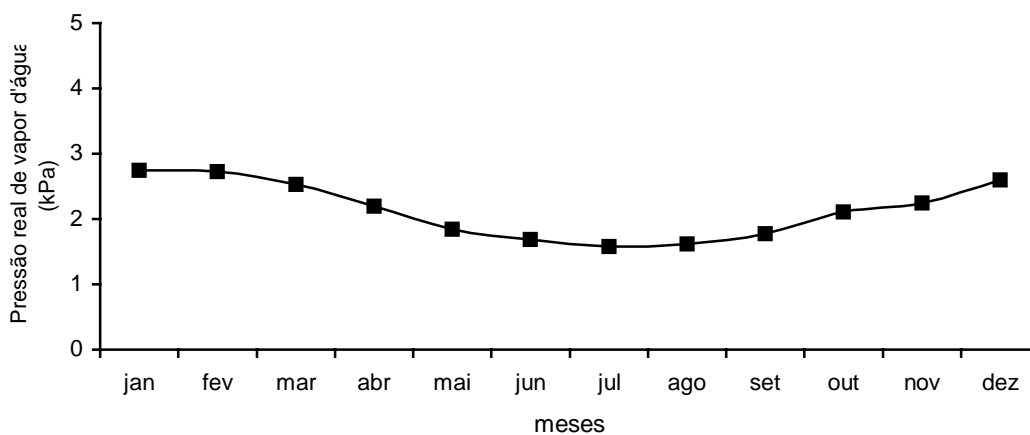


FIGURA 4. Valores médios mensais da pressão real de vapor d'água (KPa) de Palotina, entre 1994 a 2003.

Na Figura 5 foram apresentados os valores médios diários para a escala mensal da velocidade do vento. A velocidade do vento no período em estudo, ajustada para a altura de 2 m variou de  $1,30 \text{ ms}^{-1}$  (maio) a  $1,97 \text{ ms}^{-1}$  (setembro).

Figueiredo et al. (2002), trabalhando nas condições de Minas Gerais, compararam dados obtidos de evapotranspiração de referência ( $E_{to}$ ) pelo método de Penman-Monteith e do tanque Classe "A", verificaram que dentre os fatores meteorológicos avaliados, a velocidade do vento foi a que mais influenciou na determinação da evapotranspiração de referência. Estes autores concluíram então, que, na obtenção da evapotranspiração de referência por meio do tanque Classe "A", para fins de manejo da irrigação, deve-se fazer ajuste nos meses em que a velocidade do vento for maior.

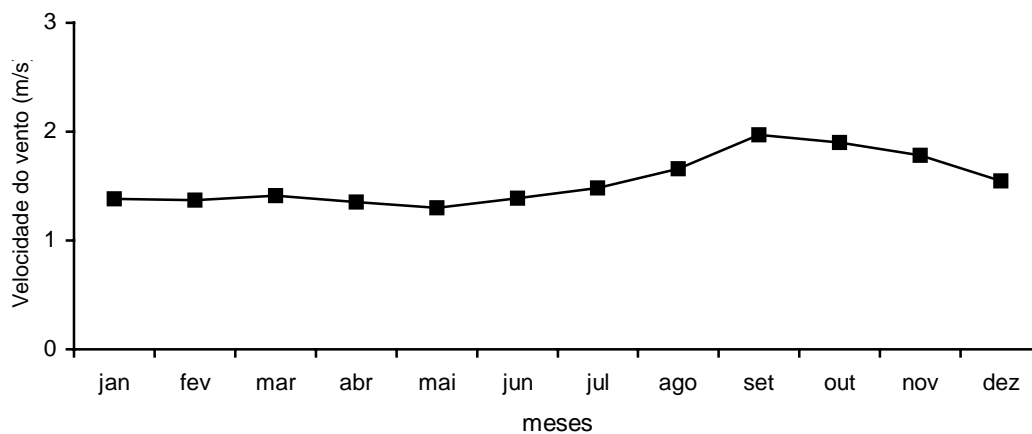


FIGURA 5. Valores médios mensais da velocidade do vento (m/s) de Palotina, entre 1994 a 2003.

Nas Tabelas 3 e 4 foram apresentados os valores dos quadrados médios e das equações de regressão, referentes às médias mensais da temperatura do ar, umidade relativa do ar, irradiância solar no topo da atmosfera, pressão real de vapor d'água e velocidade do vento, referente ao período de 1994 a 2003.

TABELA 3. Resultado da análise de variância para regressão, referentes as médias da temperatura do ar (TS), umidade relativa (UR), irradiância solar no topo da atmosfera (Qo), pressão real de vapor d'água ( $e_a$ ) e velocidade do vento (vv).

Cv	QM					
	GL	Ts	UR	Qo	$e_a$	vv
Regr. Linear	1	1,3585	88,9938	5,9724	0,2405	0,3116
Regr. Quadr.	1	96,3861	5,4105	615,1899	1,6506	0,0001
Regr. Cúbica	1	0,2647	53,7014	4,4358	0,0839	0,1622
Resíduo	8	2,9112	10,4505	7,2893	0,0157	0,0136
$R^2$		0,8058	0,3841	0,9082	0,9003	0,8134

TABELA 4. Equações de regressão em função do mês, referentes a temperatura do ar (TS), umidade relativa (UR), irradiância solar no topo da atmosfera (Qo), pressão real de vapor d'água ( $e_a$ ) e velocidade do vento (vv).

TS	$Y = 32,1028 - 3,5909x + 0,2687x^2$	$R^2 = 0,8058$
UR	$Y = 78,3137 - 0,7888x$	$R^2 = 0,3841$
Qo	$Y = 52,1300 - 8,6216x + 0,6789x^2$	$R^2 = 0,9082$
$e_a$	$Y = 3,4748 - 0,4982x + 0,0352x^2$	$R^2 = 0,9003$
Vv	$Y = 1,7609 - 0,3515x + 0,0732x^2 - 0,0037x^3$	$R^2 = 0,8134$

x =variável independente (meses do ano)

A partir dos valores dos quadrados médios e das equações de regressão ajustadas em função do mês depara-se que para a temperatura do ar, umidade relativa do ar, irradiância solar no topo da atmosfera, pressão real de vapor d'água e velocidade do vento, o melhor ajuste foi obtido por equação quadrática, linear, quadrática, quadrática e cúbica, respectivamente.

#### 4.2. VALORES ESTIMADOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

As estimativas de valores médios diários na escala mensal da evapotranspiração de referência para a região de Palotina, no período em estudo, foram apresentados na Tabela 3 e Figura 6.

TABELA 5. Valores médios diários na escala mensal de evapotranspiração referência calculada pelos métodos de Thornthwaite (TH), Camargo (CA), Hargreaves-Samani (H-S) e Penman-Monteith – FAO (PM)

Meses	TH (mmdia <sup>-1</sup> )	CA (mmdia <sup>-1</sup> )	H-S (mmdia <sup>-1</sup> )	PM (mmdia <sup>-1</sup> )
Janeiro	5,42	5,53	4,15	2,77
Fevereiro	4,94	5,02	3,85	2,49
Março	4,58	4,35	3,50	2,43
Abril	3,31	3,11	2,98	1,83
Mai	1,87	2,13	2,25	1,20
Junho	1,59	1,66	2,03	1,08
Julho	1,62	1,72	2,28	1,26
Agosto	2,30	2,35	2,89	1,83
Setembro	2,92	3,10	3,23	2,37
Outubro	3,92	4,12	3,68	2,83
Novembro	4,73	4,95	4,10	3,13
Dezembro	5,25	5,41	4,24	2,91
<b>Média</b>	<b>3,54</b>	<b>3,62</b>	<b>3,27</b>	<b>2,18</b>

Na Tabela 3 e Figura 6 pode-se observar que os métodos que empregam como variável de entrada valores de temperatura do ar (Thornthwaite, Camargo e Hargreaves-Samani) apresentam valores médios diários na escala mensal muito próximos.

Os maiores valores observados ocorreram entre outubro e março, reflexo da maior disponibilidade de energia no sistema solo-planta-atmosfera, especialmente para o fluxo de calor latente, neste período do ano. Para os métodos de Thornthwaite, Camargo e Hargreaves-Samani o valor médio estimado da evapotranspiração de referência variou entre 3,27 e 3,62 mmdia<sup>-1</sup>.

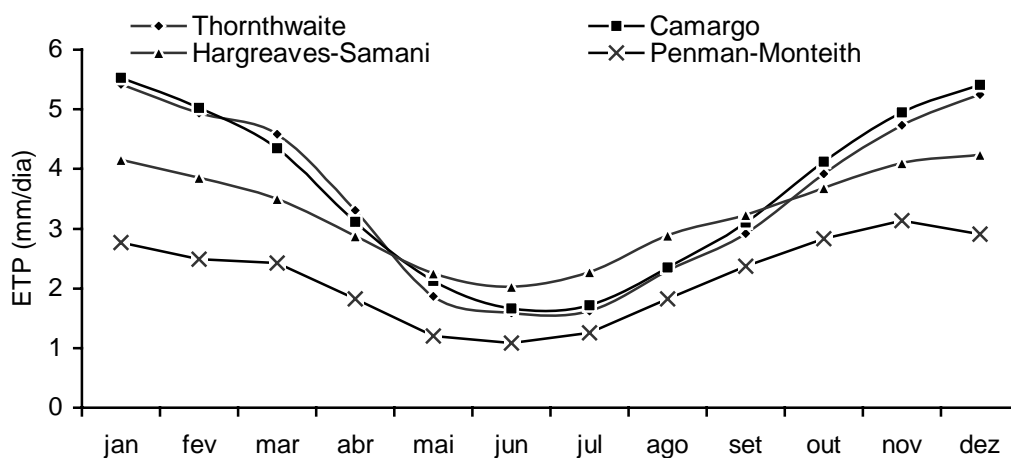


FIGURA 6. Variação mensal da evapotranspiração diária pelos métodos de Penman-Monteith – FAO, Thornthwaite, Camargo e Hargreaves-Samani.

Na Tabela 6 encontram-se os resultados da análise de variância da comparação entre os métodos de Thornthwaite, Camargo, Hargreaves-Samani e Penman-Monteith - FAO. Aplicando o teste de Tukey verificou diferença significativa ao nível de cinco por cento (5%) para os métodos de Thornthwaite e Camargo em relação ao método Penman-Monteith - FAO. Os métodos de Thornthwaite, Camargo e Hargreaves-Samani não diferiram entre si ao nível de 5%. Não houve diferença estatística ao nível de 5% entre os métodos de Hargreaves-Samani e Penman-Monteith - FAO.

As estimativas pelo método Thornthwaite, Camargo e Hargreaves-Samani superestimaram a evapotranspiração de referência quando se compara com os valores obtidos pelo método Penman-Monteith – FAO, cujo valor médio foi de 2,18  $\text{mm dia}^{-1}$ . A evapotranspiração de referência estimada por este método depende da disponibilidade de energia à superfície e também da demanda atmosférica por vapor de água, possível razão pela qual seus valores diferem dos demais métodos empregados. Esta demanda é definida por um efeito combinado de temperatura, umidade relativa e velocidade do vento (ALLEN et al., 1998 e PEREIRA et al., 2002).

TABELA 6. Teste de Tukey para as médias de evapotranspiração de referência dos métodos avaliados.

Ordem	Tratamento	Número de repetições	Evapotranspiração de referência média	Nível de significância	
				5%	1%
1	2	Camargo	12	3,320833	a A
2	1	Thornthwaite	12	3,537500	a A
3	3	Hargreaves-Samani	12	3,265000	ab A
4	4	Penman-Monteith – FAO	12	2,177500	b A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

D.M.S. 5% = 1,26255

D.M.S. 1% = 1,56316

Klosowski & Galvani (1997), empregaram os métodos de Thornthwaite, Camargo e Penman simplificado, para estimar a evapotranspiração da região de

Maringá, Paraná. Os valores de evapotranspiração de referência médios diários variaram de 3,11 a 3,83 mm dia<sup>-1</sup>, com total anual entre 1135 e 1398 mm, dependendo do método de estimativa empregado. Quando comparados ao método do tanque Classe "A", estes modelos apresentaram bom desempenho.

Fietz et al. (2005) observaram que, para as condições da região de Dourados (MS), os valores médios diários da evapotranspiração de referência variaram de 3,16 a 5,09 mm dia<sup>-1</sup>. O modelo de Penman-Monteith foi o que estimou mais satisfatoriamente a evapotranspiração de referência diária. O método de Hargreaves-Samani apresentou um desempenho satisfatório, enquanto o método de Camargo obteve desempenho insatisfatório. Este método apresentou tendência de subestimar a evapotranspiração de referência diária, quando comparado com medidas tomadas em lisímetro.

Em outro trabalho semelhante, Oliveira et al. (2001), para algumas localidades de Goiás e do Distrito Federal, avaliaram diferentes modelos de estimativa da evapotranspiração de referência e compararam com o modelo de Penman-Monteith. Para as localidades estudadas, os resultados mostraram que os valores da evapotranspiração de referência foram melhor estimados pelos modelos de Penman e Hargreaves seguidos do da Radiação e que ambos os modelos superestimaram a evapotranspiração de referência, quando comparados com a de Penman-Monteith.

#### 4.3 Comparação entre os Métodos

Na Tabela 4 encontram-se os valores do coeficiente de correlação ( $r$ ), o índice de exatidão ou concordância ( $d$ ) de Willmot e o índice de desempenho ( $c$ ) para as estimativas de evapotranspiração na região de Palotina, Paraná.

TABELA 7. Coeficiente de correlação (r), índice de Willmott (d) e índice desempenho “c” como parâmetros de comparação entre os modelos.

R				d				C			
PM	TH	CA	H-S	PM	TH	CA	H-S	PM	TH	CA	H-S
1,0	0,78	0,80	0,78	1,0	0,65	0,65	0,73	1,0	0,51	0,52	0,57

Como se observa na Tabela 7, o método de Camargo apresentou o melhor ajuste, determinado pelo do coeficiente de correlação, cujo valor foi de 0,80, seguido do método de Thornthwaite e Hargreaves-Samani que também mostraram um bom ajuste (0,78), quando comparados ao método de Penman-Monteith – FAO.

Mendonça et al. (2003) compararam valores de evapotranspiração de referência obtidos em lisímetro de pesagem, com valores resultantes de vários métodos de estimativas, para a região Norte Fluminense, Estado do Rio de Janeiro. Os resultados obtidos indicam que, para períodos decendiais, os coeficientes de determinação ( $r^2$ ) apresentaram valores de 0,82 para os métodos de Penman-Monteith, Linacre e Jensen-Haise. Os métodos da Radiação Solar, Hargreaves-Samani, Makkink, do tanque Classe A e do Atmômetro apresentaram valores de 0,80, 0,79, 0,79, 0,66 e 0,71, respectivamente, atenderam satisfatoriamente à estimativa da evapotranspiração, com exceção do método do Atmômetro. Desta forma, apresentando bons ajustamentos para períodos maiores que sete dias.

De acordo com a Tabela 7, o índice de exatidão do método de Hargreaves-Samani foi o que apresentou maior valor (0,73), enquanto os métodos de Thornthwaite e Camargo apresentaram valores iguais a (0,65).

Conceição et al. (2005), trabalhando com dados do município de Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, compararam valores diários da evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO, e pelo método de Camargo, Thornthwaite e Hargreaves-Samani. Os valores dos coeficientes de exatidão obtidos pelos autores foram 0,81, 0,79 e 0,84, respectivamente.

Os valores obtidos pelo índice “c” de desempenho (Tabela 7) indicam que quando comparados com o método de Penman-Monteith - FAO, o método de Hargreaves-Samani apresentou desempenho igual a 0,57 sendo considerado



“sofrível” e os métodos de Thornthwaite e Camargo, apresentaram mau desempenho com índices iguais a 0,51 e 0,52, respectivamente.

No entanto, estes resultados diferem daqueles obtidos por Conceição (2003) que avaliou diferentes métodos de estimativas de evapotranspiração de referência, comparando-os com o método de Penman-Monteith, para a região noroeste de Estado de São Paulo. Para o método de Camargo o desempenho foi regular, enquanto que, o método de Thornthwaite e Hargreaves-Samani apresentaram coeficientes “c” iguais a 0,66 e 0,82, respectivamente, sendo classificados como de bom e muito bom desempenho.

As Figuras 7, 8 e 9 mostram as relações entre os dados médios diários de evapotranspiração de referência estimados pelo método de Penman-Monteith - FAO e pelos métodos propostos por Thornthwaite, Camargo e Hargreaves-Samani, para a região de Palotina.

Camargo & Sentelhas (1997) verificaram o desempenho de alguns métodos de estimativa por meio de correlação com valores obtidos em evapotranspirômetros no Estado de São Paulo. Os resultados obtidos mostraram que o desempenho foi considerado muito bom para os métodos de Camargo e Thornthwaite, de desempenho iguais a 0,81 e 0,79, respectivamente. O desempenho dos métodos de Penman-Monteith ( $c = 0,73$ ) e Hargreaves modificado ( $c = 0,71$ ) foi considerado bom.

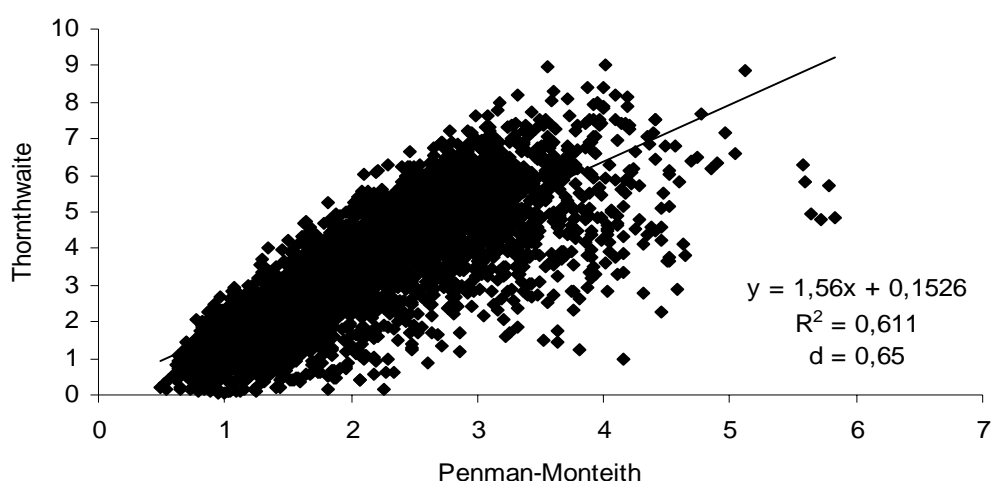


FIGURA 7. Relação entre a Eto diária estimada pelo método de Penman-Monteith – FAO e pelo método de Thornthwaite.

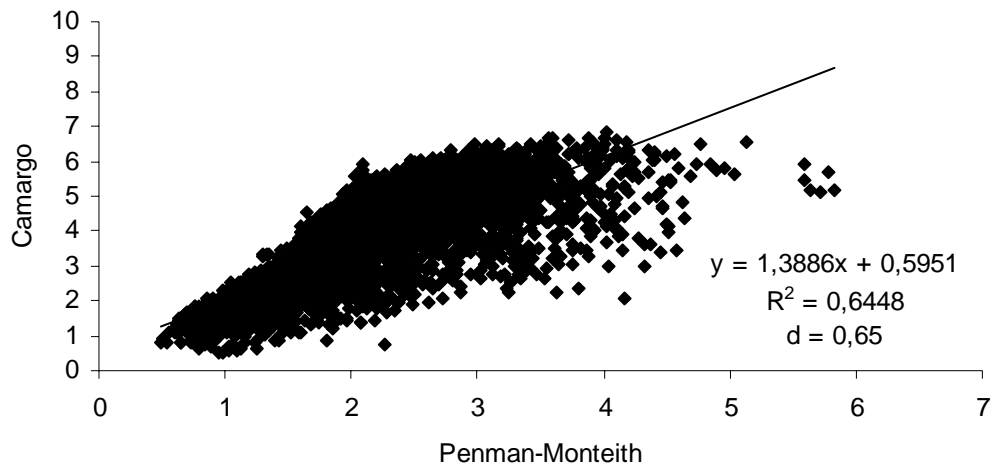


FIGURA 8. Relação entre a Eto diária estimada pelo método de Penman-Monteith – FAO e pelo método de Camargo.

Da Figura 7 e 8, depreende-se que o coeficiente de determinação para o método de Camargo em relação ao Penman-Monteith - FAO foi de 0,6448, um pouco superior ao obtido para método de Thornthwaite, cujo valor foi de 0,611.

Silva et al (2005) para a região de Piracicaba, São Paulo, empregando os métodos de Thornthwaite e Camargo e comparando-os com o de Penman-Monteith, obtiveram valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) iguais a 0,2661 e 0,4462, respectivamente.



FIGURA 9. Relação entre a Eto diária estimada pelo método de Penman-Monteith – FAO e pelo método de Hargreaves-Samani.

Na Figura 9 observa-se que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para o método de Hargreaves-Samani, em relação ao método de Penman-Monteith - FAO foi de 0,6034. Sentelhas & Camargo (1996) obtiveram para o método de Hargreaves-Samani um valor de  $R^2$  igual a 0,41 na escala decenal e 0,67 na escala mensal, quando comparados com dados obtidos em evapotranspirômetros, para distintas regiões do Estado de São Paulo.

## 5 CONCLUSÃO

A evapotranspiração de referência obtida com quatro métodos distintos para a região de Palotina-PR, variou entre 2,18 e 3.62 mm.dia<sup>-1</sup>.

Os resultados indicaram que, para a escala diária, os métodos avaliados apresentaram bom ajuste, para os coeficientes de correlação e para o índice de Willmott “d”, quando comparados ao método de Penman-Monteith - FAO.

Em relação ao método de Penman-Monteith - FAO, o método Hargreaves-Samani apresentou desempenho sofrível, e os métodos de Thornthwaite e Camargo, mau desempenho, quando avaliados pelo índice (c).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUKHALED, A.; ALFARO, J.F.; SMITH, M. Los lisímetros. FAO Estudio Riego y Drenaje Paper 392, Rome, 60p. 1986.

ALLEN, R.G. ;PEREIRA, A.L.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, 1998."não pag."

BARBIERI, V. Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*). 1981. 82p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

BERGAMASCHI,H.;ROSA,L.M.G.; SANTOS, A.O.; et al. Automação de um lisímetro de pesagem através de estação meteorológica, a campo. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 10, Piracicaba, 1997. p.222-224.

BERGAMASCHI,H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. In: BERGAMASCHI,H (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: EDUFRGS, 1992. p.25-32.

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

CAMARGO, A.P. & CAMARGO, M.B.P. Teste de uma equação simples da evapo(transpi)ração potencial baseada na radiação solar extraterrestre e na temperatura média do ar. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 3. Campinas, p. 229-244. 1983.

CAMARGO, A.P. de; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n.1, p.89-97, 1997.

CARLESSO, R.; PEITER, M.X.; CHRISTOFARI, C.DI P.; WOLSCHICH, D.; PETRY,M.T. Manejo da irrigação do milho a partir da evapotranspiração máxima da cultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.20, n.1,p.15-23, 2000.

CARVALHO, S.M.; STIPP, N.A.F. Contribuição ao estudo do Balanço Hídrico no Estado do Paraná: Uma proposta de classificação qualitativa. **Geografia**, Londrina, v.13, n.1, p.57-71, 2004.

CHIEW, F.H.S.; KAMALADASA, N.N.; MALANO, H.M.; McMAHON, T.A. Penma-Monteith, FAO-24 reference crop evapotranspiration and class-A pan data in Austrália. **Agricultural Water management**, v.28, n.1, p.9-21, 1995.

CHISTOFIDIS, D. Irrigação, A fronteira hídrica na produção de alimentos. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília: ABID, n.54, p.46-55, 2002.

COELHO, E.F.; FILHO, M.A.C.; OLIVEIRA, S.L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, v.7, n.1, p.57-60, 2005.

CONCEIÇÃO, M.A.F. Reference evapotranspiration baseal on class A pan evaporation. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.59, n.3, p.417-420, 2002.

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

CONCEIÇÃO, M.A.F.; MANDELLI, F. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Bento Gonçalves, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n.2, p.303-307, 2005.

COUTO, L.; SANS, L.M.A. Requerimento de água das culturas. Circular Técnica 20, Embrapa, 2002.

CURY, D.M.; VILA NOVA, N.A. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) do repolho (*Brassica oleracea* var. capitata L.). **Científica**, São Paulo, v.17, n.1, p.109-119, 1989

CURY, D.M.; VILA NOVA, N.A. Autilização de um evapotranspirômetro com lençol freático de nível constante na determinação da demanda de água de hortaliça. **Engenharia Agrícola**, v.14, p.91-93, 1987.

DALSASSO, L.C.M.; HELDWEIN, A.B.; BURIOL, G.A.; SCHNEIDER, F.M.; STRECK, N.A.; DALMAGO, G. A. Consumo d'água do tomateiro tipo salada em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, p. 61-7, 1997.

DANTAS NETO, F.S. Avaliação de métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Mossoró-RN. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.7, n.1, p.46-55. 1999.

DOORENBOS, J. & KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33), Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, FAO, 1994. 306p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Necessidades hídricas das culturas. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997. 204p.

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

FIGUEIREDO, F.P.; MANTOVANI, E.C.; SOARES, A. A.; COSTA, L.C.; RAMOS, M.M.; OLIVEIRA, F.G. Análise comparativa das estimativas da evapotranspiração de referência, pelos métodos de Penman-Monteith e tanque Classe "A", nas condições edafoclimáticas do Norte de Minas Gerais. **Unimontes Científica**, v.4, n.2, 2002.

GOMES, A. A. N.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; MEDEIROS, R.M. Evapotranspiração de referência mensal para o Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p.560-564, 2005.

GOMIDE, R.L.; OLIVEIRA, C.S.G.; FACCIOLI, G.G. Protótipo de um lisímetro de pesagem automática para estudos em casa de vegetação. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 10, Piracicaba, 1997. p.225-227.

GONÇALVES, A.O.; FAGNANI, M.A.; PERES, J.G. Efeitos da cobertura do solo com filme de polietileno azul na consumo de água da cultura da alface cultivada em estufa. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.622-631, 2005.

IAPAR. Cartas climáticas do Paraná. Disponível em: [http://200.201.27.14/Site/Sma/Cartas\\_Climaticas/Classificacao\\_Climatica.htm](http://200.201.27.14/Site/Sma/Cartas_Climaticas/Classificacao_Climatica.htm). 2006.

KLAR, A. E. A água no sistema solo-planta-atmosfera. 2ª ed. São Paulo, Nobel 1988.

KLOSOWSKI, E.S.; GALVANI, E. Estimativa de evapotranspiração potencial para a região de Maringá: Estudo comparativo entre os métodos do tanque classe A, Thornthwaite, Camargo e Penman simplificado. **Revista UNIMAR**, Maringá, v.19, n.4, p.1113-1124, 1997.

KLOSOWSKI, E.S.; LUNARDI, D.M.C. Determinação do coeficiente de cultura de pimentão (*Capsicum annum* L.) cultivado em ambiente protegido. **Energia na agricultura**, Botucatu, v.17, n.4, p.33-42, 2002.

KLOSOWSKI, E.S.; LUNARDI, D.M.C.; SANDANIELO, A. Determinação do consumo de água e do coeficiente de cultura da abóbora na região de Botucatu. SP. **Revista**

**Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3 n.3, p.409-412, 1999.

LEE, T.M.; NAJIM,M.M.M.;AMINUL,M.H. Estimating evapotranspiration of irrigated rice at the west coast of the Peninsular of Malaysia. **Journal of Applied Irrigation Science**, v.39, n.1, p.103-117, 2004.

LOPES, S.G.B.C. *Biologia, Introdução ao estudo dos seres vivos*. V.2, 3ª ed., Ed. Saraiva, 1998.

MACÊDO, J.A.B. DE, *Águas & Águas*. São Paulo, ed.Varela, p. 505, 2001.

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

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

MIRANDA, F.R.; YODER,R.E.; SOUZA,F. Instalação e calibração de um lisímetro de pesagem no projeto de irrigação Curu-Paraipaba, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.107-110, 1999.

MOHAN, S.; ARUMUGAM,N. Relative importance of meteorological variables in evapotranspiration: factor analysis approach. *Water Resouces Management, India*, v.10,p.1-20, 1996.

MOTA, F.S. **Meteorologia agrícola**. São Paulo: Nobel,1983, 376p.

OLIVEIRA, M.A.A.DE; CARVALHO, D.F DE. Estimativa da evapotranspiração de referência e da demanda suplementar de irrigação para o milho (*Zea mays L.*) em Seropédica e Campos, estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambienta**, Campina Grande, v.2, n.2, p.132-135, 1998.

OLIVEIRA, A. D.; VOLPE, C.A. Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, utilizando dados de estações meteorológicas convencional e automática. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11,n.2, p.253-260, 2003.

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**, v.31, n.2, p.121-126, 2001.

PERES, J. G., SCÁRDUA, R., VILLA NOVA, N.A. Coeficiente de cultura (kc) para cana-de-açúcar: ciclo de cana soca. **Álcool e Açúcar**, v.62, p.34-42, 1992.

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

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

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole , 1990. 188p.

SANTIAGO, A.V.;PEREIRA, A.R.; FOLEGATTI, M.V.;MAGGIOTTO, S.R. Evapotranspiração de referencia medida por lisímetro de pesagem e estimada por Penman-Monteith (FAO-56), nas escalas mensal e decendial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. Santa Maria, V.10, n.1, p.57-66, 2002.

SCHULTZ, B. Os conflitos mundiais para os usos múltiplos da água. **Irrigação& Tecnologia Moderna**, ABID, n.51, p.37-38, 2001.

SENTELHAS, P.C; CAMARGO,A. P.DE. Equação para a estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, baseada no método de Hargreaves – 1974. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p.77-81,1996.

SILVA, K.O; MIRANDA,J.H; DUARTE,S.N; FOLEGATTI, M.V. Análise de método de estimativa de evapotranspiração na otimização de sistema de drenagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.2, p.161-165, 2005.

SILVA, L.D.B.; FOLEGATTI, M.V.; VILA NOVA,N.A. Evapotranspiração do capim Tanzânia obtida pelo método de razão de Bowen e lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.705-712, 2005.

SILVEIRA, S.S.; ANDRADE, E.M. DE. Análise de componente principais na investigação da estrutura multivariada da evapotranspiração. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.22,n.2, p.173-177, 2002.

SOARES, A.A.; FARIA, R.A . DE.; SEDIYAMA, G.C.; RIBEIRO, C.A.A. Evapotranspiração de referência e precipitação provável no estado de Minas Gerais visando a elaboração de projetos de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.18,n.4, p. 14-28, 1999.

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

WILLMOTT, C. J. On the validation of model. **Phys. Geogr.**,v. 2, p. 184-94, 1981.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca da UNIOESTE – Campus de Marechal Cândido Rondon – PR., Brasil)

S994a	Syperreck, Vera Lucia Greco Avaliação de desempenho de modelos para estimativas de evapotranspiração de referência para região de Palotina, Paraná / Vera Lucia Greco Syperreck. – Marechal Cândido Rondon, 2006 48 p.  Orientador: Prof. Dr. Elcio Silvério Klosowski  Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2006.  1. Evapotranspiração. 2. Evapotranspiração - Método de Thornthwaite. 3. Evapotranspiração - Método de Camargo. 4. Evapotranspiração - Método de Hargreaves-Samani. 5. Evapotranspiração - Penman-Monteith. 6. Irrigação. 7. Consumo de água e cultura de referência I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.  CDD 21.ed. 551.572 CIP-NBR 12899
-------	--

Ficha catalográfica elaborada por Marcia Elisa Sbaraini Leitzke CRB-9/539