



**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE  
DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO,  
NO INTERIOR DE CASA DE VEGETAÇÃO, EM  
LAVRAS-MG**

**ADÃO WAGNER PÊGO EVANGELISTA**

**1999**

47747

33462 MFN.

**ADÃO WAGNER PÊGO EVANGELISTA**

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO, NO INTERIOR DE CASA DE VEGETAÇÃO,  
EM LAVRAS-MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Geraldo Magela

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
1999

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Evangelista, Adão Wagner Pêgo

Avaliação de métodos de determinação da evapotranspiração, no interior de casa de vegetação, em Lavras-MG. / Adão Wagner Pêgo Evangelista. -- Lavras : UFLA, 1999.

79 p. : il.

Orientador: Geraldo Magela Pereira.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Evapotranspiração potencial. 2. Casa de vegetação. 3. Estação meteorológica automática. 4. Soilcontrol. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título

CDD-551.572

-631.583

**ADÃO WAGNER PÊGO EVANGELISTA**

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO, NO INTERIOR DE CASA DE VEGETAÇÃO,  
EM LAVRAS-MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 04 de Agosto de 1999

Prof. Antônio Augusto Aguilhar Dantas

UFLA

Prof. Élio Lemos da Silva

UFLA

  
Prof. Geraldo Magela Pereira  
UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL

**À minha querida esposa, Neuzeni; à minha filha Valéria e aos meus pais, pelo estímulo, amizade, paciência, orientação e amor, dedico este trabalho.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade concedida para realização deste trabalho.

A Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade de realização do curso e pelos ensinamentos.

Ao professor Geraldo Magela Pereira, pela orientação segura, pela confiança e apoio incondicionais.

Ao professor Antônio Augusto Aguilhar Dantas, pelas valiosas contribuições e sugestões apresentadas.

Ao aluno Rodrigo Tenório de Vasconcelos, em seu trabalho de iniciação científica, pela estimável contribuição na coleta de dados.

A todos os amigos, em especial ao Claudionor Camilo da Costa, Flávio Vasconcelos Godinho e à Maria Emilia Borges, pelo apoio, amizade e companheirismo ao longo do curso.

Ao Conselho nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Aos professores do Departamento de Engenharia pela convivência e incentivo.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia, pela colaboração na montagem e condução do experimento.

Ao setor de Olericultura do Departamento de Agricultura, pela cessão da casa de vegetação.

À minha família.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para o sucesso deste trabalho.

# SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE SÍMBOLOS.....	i
RESUMO.....	iii
ABSTRACT .....	vi
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	3
2.1 Evapotranspiração .....	4
2.2 Elementos meteorológicos .....	8
2.2.1 Temperatura do ar.....	9
2.2.2 Umidade relativa do ar.....	9
2.2.3 Radiação solar global .....	10
2.3 Efeito da cobertura plástica sobre os elementos meteorológicos .....	11
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 Caracterização da área experimental .....	14
3.2 Métodos utilizados para estimativa da evapotranspiração potencial .....	18
3.2.1 Método de Penman-Monteith (método padrão).....	18
3.2.1.1 Calor latente de evaporação.....	19
3.2.1.2 Declividade da curva de pressão de vapor da água.....	19
3.2.1.3 Pressão de saturação do vapor d'água a temperatura do ar.....	20
3.2.1.4 Saldo de Radiação.....	20
3.2.1.5 Saldo de radiação de ondas curtas .....	21
3.2.1.6 Radiação solar global.....	21
3.2.1.7 Coeficientes da equação de Angström .....	22
3.2.1.8 Comprimento astronômico do dia.....	22
3.2.1.9 Ângulo horário do pôr do sol .....	23

3.2.1.10 Declinação solar.....	23
3.2.1.11 Radiação no topo da atmosfera.....	23
3.2.1.12 Distância relativa terra sol.....	24
3.2.1.13 Saldo de radiação de ondas longas.....	24
3.2.1.14 Temperatura virtual máxima diária.....	25
3.2.1.15 Temperatura virtual mínima diária .....	25
3.2.1.16 Pressão parcial de vapor.....	25
3.2.1.17 Coeficiente psicrométrico.....	26
3.2.1.18 Constante psicrométrica modificada .....	26
3.2.1.19 Fluxo de calor no solo .....	26
3.2.2 Método de Penman modificado.....	26
3.2.3 Método de Blaney-Cridde.....	28
3.2.4 Método de Radiação .....	29
3.2.5 Método de Makkink.....	29
3.2.6 Método do tanque Classe A.....	30
3.2.7 Método do Atmômetro modificado .....	30
3.3 Análise Estatística .....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	33
4.1 Variações dos elementos meteorológicos internos e externos à casa de vegetação . .....	33
4.2 Comparação de métodos para períodos diários, dentro da casa de vegetação .....	35
4.3 Comparação de métodos para períodos de sete dias, dentro da casa de vegetação .....	41
4.4 Comparação de métodos para períodos de quinze dias, dentro da casa de vegetação.....	46
4.5 Comparação de métodos para períodos mensais, dentro da casa de vegetação .....	51



4.6 Comparação de métodos de determinação da evapotranspiração potencial, fora da casa de vegetação .....	56
4.7 Comparação entre os valores de evapotranspiração potencial determinados dentro e fora da casa de vegetação .....	59
5 CONCLUSÕES .....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65
ANEXOS .....	71

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\lambda$	calor latente de evaporação ( $\text{MJ.kg}^{-1}$ );
$\gamma$	coeficiente psicrométrico ( $\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$ );
$\sigma$	constante de Stefan-Boltzmann ( $4,903.10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \text{ K}^{-4}$ );
$\gamma^*$	constante psicrométrica modificada ( $\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$ );
$\omega_s$	ângulo horário do pôr do sol (rad);
a e b	coeficientes da equação de Angström;
Atmôm.	método do Atmômetro modificado ( $\text{mm.dia}^{-1}$ );
B.C.	método de Blaney-Criddle ( $\text{mm.dia}^{-1}$ );
c	fator de correção da FAO;
$\gamma$	coeficiente psicrométrico ( $\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$ );
d	índice de concordância ou ajuste;
$\delta$	declinação solar (rad);
$d_r$	distância relativa terra sol;
$e_a$	pressão parcial de vapor (kPa);
$e_s$	pressão de saturação de vapor (kPa);
ET	evapotranspiração ( $\text{mm.dia}^{-1}$ );
$ET_p$	evapotranspiração potencial ( $\text{mm.dia}^{-1}$ );
$ET_c$	evapotranspiração de cultura ( $\text{mm.dia}^{-1}$ );
G	fluxo de calor no solo;
J	dia juliano;
$K_c$	coeficiente de cultura;
$K_p$	coeficiente de tanque;
$\phi$	latitude do local;
Makkink (Ext.)	método de Makkink externo à casa de vegetação ( $\text{mm.dia}^{-1}$ );

Makkink (Int.)	método de Makkink interno à casa de vegetação ( $\text{mm.dia}^{-1}$ );
N	comprimento astronômico do dia (h);
n	número de horas de brilho solar (h);
P. Modif.	método de Penman modificado ( $\text{mm.dia}^{-1}$ );
P. Monteith	método de Penman-Monteith ( $\text{mm.dia}^{-1}$ );
r	coeficiente de correlação;
$R_a$	radiação no topo da atmosfera ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );
$R_b$	saldo de radiação de ondas longas ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );
$R_n$	saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );
$R_{ns}$	saldo de radiação de ondas curtas ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );
s	declividade da curva de pressão de vapor ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );
SEE	erro padrão da estimativa ( $\text{mm.dia}^{-1}$ );
T	temperatura média do ar ( $^\circ\text{C}$ );
T.C.A.	método do tanque Classe A ( $\text{mm.dia}^{-1}$ );
$T_{kn}$	temperatura virtual mínima diária ( $^\circ\text{C}$ );
$T_{kx}$	temperatura virtual máxima diária ( $^\circ\text{C}$ );
Tmax	temperatura máxima do período ( $^\circ\text{C}$ );
Tmin	temperatura mínima do período ( $^\circ\text{C}$ );
$T_s$	temperatura do bulbo seco ( $^\circ\text{C}$ );
$T_u$	temperatura do bulbo úmido ( $^\circ\text{C}$ );
$U_2$	velocidade média do vento a 2 m ( $\text{m.s}^{-1}$ );
Ud	velocidade média do vento durante o dia ( $\text{m.s}^{-1}$ );
Un	velocidade média do vento durante a noite ( $\text{m.s}^{-1}$ );
UR	umidade relativa do ar (%);
Urmax	umidade relativa máxima diária (%);
W	fator de ponderação que depende da temperatura;

## RESUMO

**EVANGELISTA, Adão Wagner Pêgo. Avaliação de Métodos de Determinação da Evapotranspiração, no Interior de Casa de Vegetação, em Lavras-MG. Lavras: UFLA, 1999. 79p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Agrícola)\***

A planta no interior da casa de vegetação está num ambiente diferente do externo. Objetivou-se, no presente trabalho, estimar a evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) dentro e fora da casa de vegetação, utilizando-se o método de Penman-Monteith, considerado padrão, bem como avaliar o desempenho dos quatro métodos de estimativa da  $ET_p$  propostos pela FAO, além do método de Makkink e do Atmômetro modificado SOILCONTROL, na região de Lavras-MG. O experimento foi realizado na Universidade Federal de Lavras, durante o período de fevereiro a maio do ano de 1999. Instalou-se uma estação agrometeorológica automática, um tanque Classe A e três atmômetros modificado, numa casa de vegetação de 350 m<sup>2</sup>, cultivada com pimentão. Os dados foram coletados diariamente e analisados estatisticamente. Com base nos resultados, verificou-se no interior da casa de vegetação uma redução de cerca de 26% dos valores de radiação solar global. Os valores de evapotranspiração potencial obtidos dentro da casa de vegetação, foram inferiores aos encontrados a céu aberto, para todos os métodos estudados, com exceção do método de Blaney-Criddle. Os métodos de Penman modificado e Makkink apresentaram um excelente desempenho na estimativa da  $ET_p$ , quando comparados com o método de Penman-Monteith. Porém, os métodos de Blaney-Criddle e do Atmômetro modificado SOILCONTROL não estimaram com precisão a  $ET_p$ , no interior da casa de vegetação

---

\*Orientador: Geraldo Magela Pereira, DEG-UFLA.

## ABSTRACT

EVANGELISTA, Adão Wagner Pêgo. **Evaluation of Methods of Determination of Evapotranspiration Inside Greenhouse in Lavras-MG.** Lavras: UFLA, 1999. 79p. (Dissertation - Master Program in Agricultural Engineering)\*

The plant inside the greenhouse is in an atmosphere different from the outside. It was aimed, in the present work, to estimate the potential evapotranspiration (ET<sub>p</sub>) inside and outside the greenhouse, by utilizing the method of Penman-Monteith, considered a pattern, as well as to evaluate the performance of the four methods of estimation of ET<sub>p</sub> proposed by FAO, besides the method of Makkink and of the modified Atmometer SOILCONTROL, in the region of Lavras-MG. The experiment was accomplished in the Federal University of Lavras, during the period of february to may of the year of 1999. An automatic broadcasting station, tank Class A and three modified atmometers, in a greenhouse of 350 m<sup>2</sup>, cultivated with pepper was set up. The data were collected daily and analyzed statistically. On the basis of the results, a reduction of about 26% of the values of global solar radiation was verified inside the greenhouse. The values of potential evapotranspiration obtained inside the greenhouse, inferior to those found in the open sky, for all the methods studied except for the method of Blaney-Criddle. The methods of modified Penman and Makkink presented an excellent performance in the estimation of ET<sub>p</sub>, as compared with the method of Penman-Monteith. Even so, the methods of Blaney-Criddle and of the modified Atmometer SOILCONTROL did not estimate ET<sub>p</sub> accurately inside the greenhouse.

---

\* Adviser: Geraldo Magela Pereira, DEG-UFLA.

# 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento do momento correto de aplicação da irrigação e da quantidade de água requerida pela cultura são de suma importância para se propor um manejo adequado das irrigações, de modo a dotar o solo de água facilmente utilizável pelas plantas, com um consumo mínimo de energia, evitando-se aplicações excessivas ou deficientes de água, as quais podem acarretar doenças, lixiviação de nutrientes, perdas de solo, gasto adicional de energia e insumos, etc.

A utilização de casas de vegetação, principalmente para o cultivo de plantas ornamentais e hortaliças, tem aumentado muito nos últimos cinco anos, nas diversas regiões do país. As vantagens da utilização desses ambientes fechados ou semi-fechados são muitas. Como exemplo, podemos citar a maior proteção quanto aos fenômenos climáticos (geadas, excesso de chuvas, queda acentuada da temperatura durante a noite), proteção do solo contra lixiviação, redução dos custos com fertilizantes e defensivos. As colheitas nesses ambientes excedem sensivelmente às que se obtêm a céu aberto, conforme afirmação de Oliveira (1995).

As plantas no interior das casas de vegetação estão num ambiente diferente do externo. O consumo de água no interior das casas de vegetação é possivelmente menor, principalmente pela atenuação que ocorre na irradiância incidente e na menor taxa de renovação do ar junto às plantas (Robledo e Martin, 1981; Buriol, Streck e Petry, 1993). Portanto, quando se cultiva em casa de vegetação, deve-se estar atento às diferenças no ambiente quando se compara com o cultivo a céu aberto, no que diz respeito à temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e, conseqüentemente, a evapotranspiração.

Segundo Doorenbos e Pruitt (1977), para a determinação das necessidades hídricas das culturas, o método usual está baseado na estimativa da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ). A estimativa da  $ET_c$  envolve um processo que se desenvolve em duas etapas. Na primeira, estima-se a evapotranspiração de uma cultura de referência ( $ET_0$ ), geralmente utilizando-se de equação empírica. Na segunda etapa, a  $ET_c$  é obtida multiplicando-se  $ET_0$  por um coeficiente de cultura ( $K_c$ ) que integra as características da cultura.

Portanto, considerando que a cobertura plástica da casa de vegetação, além de alterar os elementos meteorológicos, também impede a entrada de água de chuva, torna-se importante um melhor entendimento das exigências hídricas das plantas cultivadas no seu interior, visto que na maioria das vezes a irrigação será o único veículo de suprimento de água às plantas.

Dentre as dificuldades que os produtores irrigantes da região têm encontrado, ao adotarem o cultivo em casas de vegetação, destaca-se a falta de informações específicas sobre a evapotranspiração dos cultivos nesse ambiente protegido. Assim sendo, na maioria das vezes, a irrigação em casa de vegetação está sendo feita somente baseada no senso prático do irrigante.

Em face do exposto, este estudo teve como objetivos:

- a) Estimar a evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) dentro e fora (céu aberto) da casa de vegetação, utilizando-se o método de Penamun-Monteith, considerado padrão.
- b) Avaliar o desempenho dos quatro métodos de estimativa da  $ET_p$  propostos pela FAO, além do método de Makkink e do Atmômetro modificado da SOILCONTROL modelo JR-120.
- c) Comparar os valores de evapotranspiração potencial obtidos dentro e fora da casa de vegetação, em Lavras-MG.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A evaporação e a transpiração são processos físicos semelhantes. A evaporação é definida como o processo físico pelo qual um líquido é transferido para o estado gasoso. Segundo Matzenauer, Maluf e Sutili (1991), a intensidade de evaporação da água do solo está condicionada à energia calórica e ao regime de ventos, interagindo com o tipo de solo, lençol freático, cobertura vegetal e latitude. Esse mesmo autor afirma ainda que o processo de evaporação da água que passa através da planta é chamado de transpiração. Os vegetais, através de suas raízes, retiram do solo a água necessária às suas atividades vitais, restituindo a maior parte dela à atmosfera em forma de vapor.

O processo de evapotranspiração é definido como sendo a evaporação de toda a superfície de um certo local mais a transpiração das plantas no mesmo local e durante um determinado período. Thornthwaite (1948) conceitua a evapotranspiração como sendo a quantidade máxima de água utilizada por uma extensa área vegetada, em crescimento ativo, sob condições ótimas de umidade do solo.

Normalmente em casa de vegetação utiliza-se a técnica da cobertura do solo com polietileno preto, o qual reduz a evaporação, pois a área de solo exposta ao ar torna-se menor e, ainda, a área de solo irrigada está coberta pelo plástico. Este é um fator adicional que altera o consumo d'água em relação ao ambiente externo onde, geralmente, esta técnica é pouco utilizada (Buriol, Streck e Petry, 1993).

Com o objetivo de padronizar a evapotranspiração para uma dada região, houve a necessidade de definir a evapotranspiração potencial para uma cultura de referência ( $ET_0$ ), a qual segundo Doorembos e Pruitt (1977), corresponde a



quantidade de água perdida para a atmosfera, por uma superfície de solo totalmente coberta por grama, de altura uniforme entre oito a quinze centímetros, em crescimento ativo e sem restrições hídricas.

## 2.1 Evapotranspiração

Smith (1991) propôs que se adote uma definição padronizada para a evapotranspiração de referência, com vistas, principalmente, à utilização do modelo de Penman-Monteith. A evapotranspiração de referência seria aquela de uma cultura hipotética, apresentando as seguintes características fixas: altura de 12 cm, resistência do dossel de  $69 \text{ s.cm}^{-1}$  e poder refletor (albedo) de 23%.

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) pode ser determinada de diferentes maneiras. De acordo com Burman *et al.* (1983), ela pode ser obtida a partir de medidas diretas ou estimada a partir de elementos climáticos, utilizando-se de modelos ou métodos teóricos empíricos. No primeiro grupo, entre outros, estão incluídos os diferentes tipos de lisímetros e o balanço de água no solo, enquanto no segundo estão enquadrados, segundo Jensen, Burman e Allen (1990), os modelos, como os de Penman, Thornthwaite, Blaney e Criddle, Jensen e Haise, Priestley e Taylor, Hargreaves, entre outros e, também, evaporímetros como o tanque Classe A e o Atmômetro modificado. Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997) observam que, de acordo com os princípios envolvidos no seu desenvolvimento, os métodos de estimativa da evapotranspiração se agrupam em cinco categorias, ou seja: métodos empíricos, métodos aerodinâmicos, método que utiliza o balanço de energia, métodos combinados e o método da correlação dos turbilhões.

Segundo Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997), muitos dos métodos empíricos utilizados para determinação da evapotranspiração de referência têm

aceitação quase que unânime, enquanto outros são bastante criticados e até desprezados. Os critérios utilizados para rejeição nem sempre são bem esclarecidos, pois inúmeros métodos empíricos têm aceitação quase universal.

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) propõe cinco métodos de estimativa de evapotranspiração: o de Penman-Monteith, o de Penman modificado, o de Blaney - Criddle, o da Radiação e do tanque Classe A, todos com coeficientes de correção, apresentados em forma de tabelas e gráficos por Doorenbos e Pruitt (1977). As dificuldades existentes em programas computacionais, para se trabalhar com tabelas e gráficos, levaram Frevert (1983) e Allen e Pruitt (1991) a ajustarem equações às tabelas e gráficos, por meio de análises de regressão.

Blaney e Criddle, em 1950, desenvolveram uma equação com base na simples correlação, entre evapotranspiração, temperatura do ar e brilho solar. A equação vem sendo revisada e é utilizada pela sua simplicidade. Entretanto, a equação só é aplicável para períodos superiores a um mês e a sua precisão é limitada (Wright, 1985).

Hashemi e Habibian (1977) advertem que os métodos de estimativa da evapotranspiração, apoiados em temperatura do ar, tendem a produzir erros grosseiros, quando usados em regiões com clima consideravelmente diferente daquele em que as equações foram desenvolvidas.

Sediyama (1988) adverte que o uso da equação de Blaney e Criddle deve ser feito com muito critério, quando utilizada nas regiões: equatoriais, onde as temperaturas permanecem constantes, enquanto outros parâmetros climáticos podem ser muito variáveis; costeiras, onde a temperatura média do ar é influenciada pela temperatura do mar, tendo pouco efeito com a mudança periódica da radiação; de altitudes elevadas, onde a temperatura média é baixa,

enquanto a razão de insolação pode ser elevada; e em climas com larga variabilidade em horas de brilho solar, durante o decorrer das estações do ano.

O método de Makkink foi desenvolvido em 1957 utilizando dados de evapotranspiração potencial de um gramado em um lisímetro de lençol freático constante, obtendo uma correlação entre evapotranspiração potencial diária e a radiação solar no nível da superfície (Pereira, Villa Nova e Sediyaama, 1997).

O método da radiação, proposto pela FAO, tem sua origem na equação de Makkink, desenvolvida em 1957, adaptando-se melhor às condições climáticas da Holanda (Jensen, 1974). Doorenbos e Pruitt, em 1977, desenvolveram coeficientes para a equação de Makkink, envolvendo informações de 10 localidades, das quais sete foram cultivadas com grama, sendo registrada uma variação máxima de temperatura de 10°C, de uma localidade para outra (Hargreaves, 1984)

O método de Penman é classificado por Jensen (1974) como método combinado, pois associa os efeitos do balanço de energia e dos termos aerodinâmicos na estimativa da evapotranspiração. Segundo Tanner (1967), o método de Penman, em princípio, não é empírico. Apenas alguns de seus parâmetros são estimados por fórmulas empíricas, tal como a função do vento, ajustada por Doorenbos e Pruitt em 1977, que utiliza dados coletados em diferentes condições climáticas.

O método de Penman, recomendado pela FAO, foi baseado no original de 1948 e os seus coeficientes de correção também foram desenvolvidos por Doorenbos e Pruitt em 1977 (Hargreaves, 1984).

A FAO, em 1990, em uma reunião onde estavam presentes mais de 14 especialistas em evapotranspiração, decidiu em uma resolução adotar o método de Penman-Monteith como o mais adequado para estimar a evapotranspiração de uma cultura, por evitar o uso do  $K_c$  na conversão de  $ET_o$  em  $ET_c$ . Segundo

Pereira, Villa Nova e Sediyaama (1997), essa resolução necessita de algumas parametrizações propostas como representativas de uma cultura hipotética, tratando-se, portanto, de uma estimativa de evapotranspiração de referência.

A estimativa da evapotranspiração de referência pode ser feita por atmômetros. Atmômetros são instrumentos que têm por finalidade a determinação do poder evaporativo do ar. São vários os tipos existentes, entre eles podem-se citar o evaporímetro de Piche, que utiliza um disco de papel de filtro como superfície evaporante e o Atmômetro de Livingston, que consiste de uma cápsula porosa ligada a um reservatório de água para medida da evaporação.

Com o objetivo de tornar mais eficiente o funcionamento dos evaporímetros de superfície porosa, Altenhofen (1985) desenvolveu um equipamento e o denominou de Atmômetro modificado, que consiste em uma cápsula porosa, recoberta com um produto especial de cor verde, interligada a um reservatório de água destilada por um tubo de sucção. O nível de água é lido através de uma escala graduada em milímetros fixada na parede do reservatório. A quantidade de água evaporada é determinada pela variação do nível de água.

Pereira e Coelho (1992) citam que o Atmômetro modificado tem sido muito utilizado para manejo da irrigação entre os agricultores americanos, por apresentar uma série de vantagens em relação ao tanque de evaporação, como baixo custo, melhor portabilidade e operacionalidade no campo, menor acúmulo de energia durante o dia, o que pode alterar as medidas do tanque devido a evaporação no período noturno.

Atualmente, no mercado nacional, são comercializados dois tipos de Atmômetros modificados: o Atmômetro modificado SEEI, com dimensões semelhantes ao modelo desenvolvido por Altenhofen (1985) e o fabricado pela SOILCONTROL, com dimensões inferiores ao SEEI, apresentando superfície evaporante em formato cônico (Pereira, 1998).

Pereira (1998), estudando o desempenho do Atmômetro da SEEI, verificou que este aparelho estima satisfatoriamente a evapotranspiração de referência.

Outro equipamento bastante utilizado para determinação indireta da evapotranspiração é o tanque Classe A. A evapotranspiração de referência é determinada multiplicando-se a evaporação do tanque por um coeficiente de correção (coeficiente do tanque, “ $K_p$ ”) a ser determinado para as condições locais, de acordo com Doorenbos e Pruitt (1977).

Prados (1986), trabalhando com tomateiro em casa de vegetação, concluiu que o método do tanque evaporimétrico com coeficientes do tanque ( $K_p$ ) igual a 1 (um) estima melhor a evapotranspiração de referência no interior de casa de vegetação.

Em locais onde a advecção de calor sensível é insignificante a evaporação da água em tanques pode fornecer boas estimativas da evapotranspiração. Já em locais, onde a advecção é considerável, o método irá subestimar a evapotranspiração, provavelmente pela menor rugosidade da superfície da água, em relação à cultura, tendo, portanto, menor interceptação dessa energia adicional (Rosenberg, 1974).

Tanner (1967) afirma que a correlação, entre a evapotranspiração de referência e evaporação da água do tanque é alta, em períodos semanais a mensais. Esse fato fica mais evidente em regiões úmidas, onde o clima é variável.

## **2.2 Elementos meteorológicos**

Segundo Doorenbos e Pruitt (1977), os elementos meteorológicos agem de forma conjunta no processo de evapotranspiração, sendo difícil a sua distinção de importância. De maneira geral, em uma dada região, quanto maior for a

disponibilidade de energia solar, temperatura do ar, velocidade do vento, e quanto menor a umidade relativa do ar, maior deverá ser a taxa de evaporação e transpiração.

Chang (1971) caracterizou a importância relativa da radiação líquida, umidade relativa e velocidade do vento sobre o processo da evapotranspiração, estabelecendo a respectiva ordem de grandeza para esses elementos: 80:6:14, evidenciando o principal efeito da radiação solar global.

### **2.2.1 Temperatura do ar**

Os processos de transpiração e fotossíntese respondem diretamente à temperatura da folha e são indiretamente afetados pela reação estomática. A transpiração, em geral, aumenta com a temperatura, a menos que o estresse hídrico cause fechamento estomático que reverta essa tendência.

O efeito da temperatura do ar na temperatura das folhas é duplo. A temperatura do ar não apenas fornece a referência para a qual a temperatura das folhas tende, mas também sua elevação aumenta o déficit de pressão de vapor, aumentando a perda de calor latente, fazendo com que haja um diferencial entre a temperatura da folha e do ar. Portanto, a temperatura do ar, interferindo na temperatura das folhas, indiretamente interfere nos processos metabólicos e na transpiração da cultura (Jones, 1992).

### **2.2.2 Umidade relativa da ar**

Pela lei de Dalton, das pressões parciais, sabe-se que numa mistura gasosa cada gás exerce uma pressão parcial independente da presença dos demais gases. Portanto, o vapor d'água contido num recipiente exerce o que se chama de

pressão parcial de vapor. Quando a pressão parcial de vapor ( $e_a$ ) é menor que a pressão de saturação ( $e_s$ ) diz-se que existe um déficit de saturação de vapor que é representado pela diferença ( $e_s - e_a$ ). Aumentando-se a temperatura aumenta-se a capacidade de retenção de água pelo ar devido ao aumento do nível energético das moléculas. O ar funciona, então, como um reservatório que se expande ou contrai com o aumento ou decréscimo, respectivamente, da temperatura (Pereira, 1994).

A umidade relativa do ar é determinada pela relação entre a pressão parcial de vapor e a pressão de saturação de vapor.

Jolliet e Bailey (1992) observaram aumento da transpiração com o aumento do déficit de pressão de vapor, ou seja, com a diminuição da umidade relativa. Esse aumento da transpiração foi muito mais intenso em plantas adultas que em plantas jovens.

### **2.2.3 Radiação solar global**

Segundo Jones (1992), a radiação solar é a principal fonte de energia para as plantas e a maior parte dessa energia é convertida em calor, impulsionando o processo de transpiração e também alterando a temperatura dos tecidos vegetais com conseqüências para a taxa dos processos metabólicos e o balanço entre eles.

Embora a energia disponível resultante do saldo de radiação possa ser utilizada nos diversos processos naturais (fotossíntese, evapotranspiração, aquecimento do solo, das plantas e do ar), os processos de fotossíntese e de aquecimento das plantas podem ser considerados quantitativamente insignificantes. Portanto, toda vez que a superfície estiver umedecida, a energia disponível será preferencialmente utilizada na evaporação. Como esse processo não é totalmente eficiente, há ainda uma sobra de energia que é utilizada no

aquecimento do solo e do ar. No entanto, quanto maior a deficiência hídrica, menor será a evaporação e maior a parte da energia disponível que será utilizada no aquecimento, resultando em grandes variações na temperatura (Pereira, Villa Nova e Sedyama, 1997).

O efeito da radiação na transpiração é complexo: o aquecimento das folhas aumenta o gradiente de pressão de vapor entre o dossel e o ambiente, enquanto que a abertura dos estômatos reduz a resistência à transferência de vapor. Esses fatos podem combinar-se em uma estreita relação entre radiação, temperatura e umidade relativa dentro de estufas, resultando empiricamente em uma relação linear entre transpiração e radiação (Jones, 1992).

### **2.3 Efeito da cobertura plástica sobre os elementos meteorológicos.**

O cultivo em estufa apresenta diferenças no ambiente quando comparado com o cultivo a céu aberto, no que diz respeito à temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e, conseqüentemente, a evapotranspiração.

No interior da estufa, a evapotranspiração é, em geral, menor do que a verificada externamente, o que atribui basicamente a parcial opacidade da cobertura plástica à radiação solar e à redução da ação dos ventos, que são os principais fatores da demanda evaporativa da atmosfera, embora a temperatura do ar e a umidade relativa, em alguns momentos, possam ser respectivamente maior e menor no interior da estufa do que a céu aberto, o que contribuiria para maior evapotranspiração. A diferença entre a evapotranspiração interna e externa varia de acordo com as condições meteorológicas; em geral a evapotranspiração no interior fica em torno de 60-80% da verificada no exterior (Farias *et al.*, 1993).



O material plástico mais empregado atualmente na agricultura é o polietileno de baixa densidade (PEBD). O PEBD é um material que apresenta boa transparência à radiação solar, deixando passar em média 70% a 80% da radiação solar, podendo esse percentual atingir, no máximo, 95% (Buriol, Streck e Petry, 1993).

A irradiância no interior das estufas é menor que a verificada externamente, devido à reflexão e à absorção pelo material da cobertura plástica. Os tipos de materiais normalmente utilizados, além de causarem a redução da radiação solar, possuem efeito seletivo, permitindo a passagem de certas faixas espectrais e reduzindo a transmitância de outras faixas de comprimento de onda. Pode-se dizer que a quantidade de energia solar não transmitida é função do tipo de cobertura plástica e do ângulo de incidência dos raios solares, que são condicionados pela orientação da estufa, inclinação da cobertura e posição do sol (Seeman, 1979).

Segundo Seeman (1979), durante o dia, o saldo de radiação sendo positivo, faz com que a superfície do solo aqueça a parcela de ar próxima a ela, gerando um processo convectivo. Dentro de estufas, esse processo é interrompido pela cobertura plástica, que impede a ascensão do ar quente, provocando a elevação da temperatura (efeito estufa).

Scatolini (1996) relata um maior efeito da cobertura plástica sobre as temperaturas máximas com valores variando de 1,2 °C a 4,4 °C acima das observadas externamente. Esse autor cita vários trabalhos em que a temperatura média do ar é maior no interior da estufa e outros nos quais não encontraram diferenças significativas entre a temperatura média dentro e fora da estufa. Com relação às temperaturas mínimas do ar, estas tendem a ser iguais ou ligeiramente superiores à observada externamente, sendo afetadas pelo manejo da ventilação das estufas durante o dia, através de abertura e fechamento de cortinas laterais.

Rodrigues (1997), trabalhando com projeto, construção e teste de casa de vegetação na região de Viçosa - MG, no período de junho a agosto de 1996, observou que durante o período experimental, no interior da casa de vegetação, a amplitude de temperatura (média) foi de 20 °C, com a temperatura máxima absoluta (média) de 30 °C e a temperatura mínima absoluta (média) de 10 °C, enquanto que no exterior da mesma a amplitude de temperatura (média) foi de 21 °C, com a temperatura máxima (média) de 29 °C e a temperatura mínima (média) de 8 °C.

O valor médio da temperatura mínima do ar no interior de estufas cobertas com PEBD tende a ser igual ou ligeiramente superior, quando comparado com o ambiente externo (Buriol, Streck e Petry, 1993).

Os valores da umidade relativa do ar são muito variáveis e estão relacionados com a temperatura do ar. A umidade relativa do ar varia exponencialmente com a variação da temperatura, e, para um mesmo conteúdo de vapor d'água no ar, a umidade relativa é inversamente proporcional à temperatura. Desta forma, durante o período diurno, com o aumento da temperatura, a umidade relativa diminui no interior da estufa, tornando-se inferior à verificada externamente e, durante a noite, a umidade relativa aumenta bastante, chegando próxima a 100%, devido à queda da temperatura e à retenção do vapor d'água pela cobertura plástica (Tanaka e Genta, 1992).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área experimental

Este trabalho foi conduzido no setor de Olericultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Lavras situa-se na região sul de Minas Gerais, a 21° 14' latitude sul e 45° de longitude oeste, numa altitude média de 910 m. A temperatura média anual do ar é de 19,3 °C e o total anual de precipitação de 1530 mm.

O experimento foi desenvolvido no período de 01 de Fevereiro a 31 de Maio de 1999, em uma casa de vegetação do tipo “Capela”, estrutura de madeira com dimensões de 10 x 35,0 m, com uma altura na parte central de 3,5 m e pé direito de 2,0 m, coberta por um filme de polietileno transparente de baixa densidade (PEBD), com aditivo anti-ultravioleta e espessura de 150 µm (0,15 mm). As laterais da mesma foram fechadas com tela plástica transparente (Figura 1). A casa de vegetação foi cultivada com pimentão.

Foram instalados dentro da casa de vegetação, 3 (três) atmômetros modificado da SOILCONTROL modelo JR 120, um tanque Classe A e uma estação agrometeorológica automática portátil da ELLE INTERNATIONAL modelo MM 900 equipada com sensores de determinação da radiação solar global, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar . A disposição dos aparelhos meteorológicos dentro da casa de vegetação pode ser vista na Figura 2.

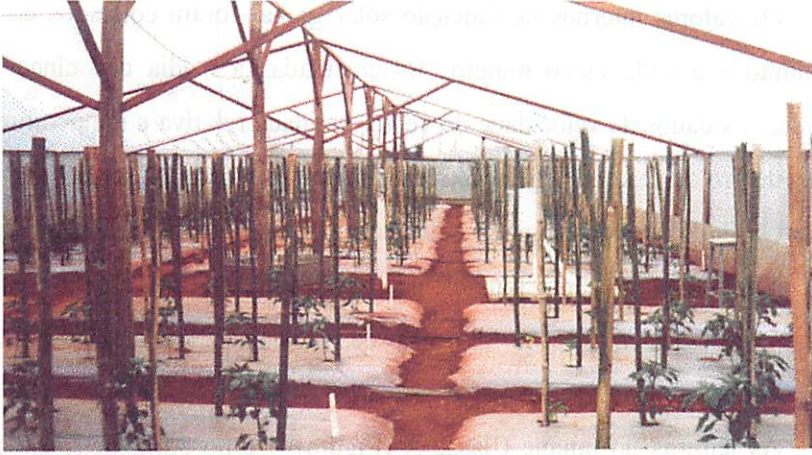


FIGURA 1 - Vista geral da casa de vegetação

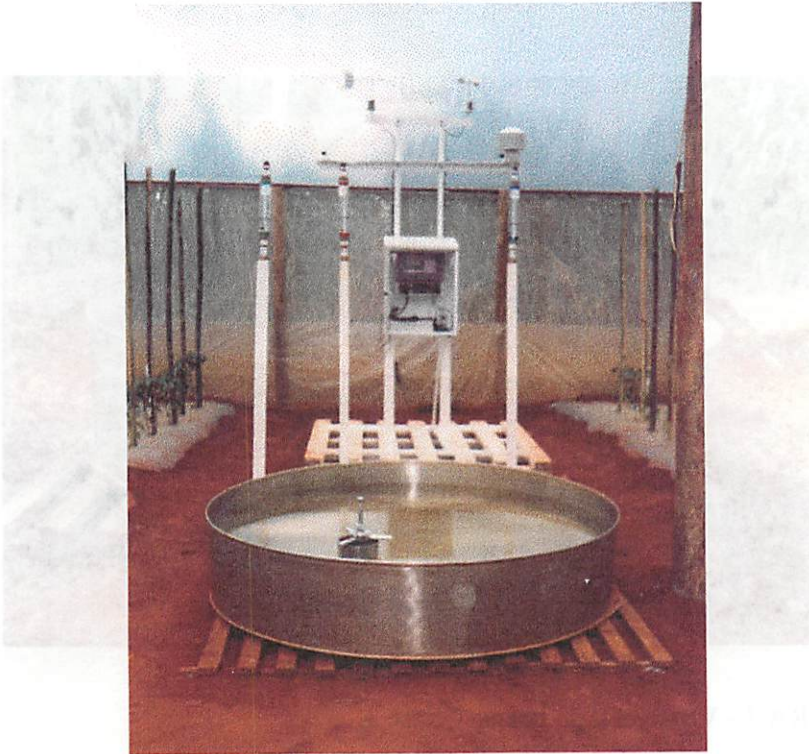


FIGURA 2 - Vista geral da disposição dos aparelhos meteorológicos

Os valores internos de radiação solar global foram coletados de minuto em minuto e a cada cinco minutos foi calculadas a média dos cinco valores coletados; os dados de velocidade do vento, umidade relativa e temperatura do ar obtidos dentro da casa de vegetação foram coletados a cada 30 minutos.

Os dados meteorológicos coletados externamente à casa de vegetação, foram obtidos na Estação Climatológica Principal da Universidade Federal de Lavras, localizada a 500 m da casa de vegetação, durante o período do experimento.

As leituras no tanque Classe A (Figura 3) e no Atmômetro modificado (Figura 4) foram feitas diariamente às 8 horas no período de horário de verão, e às 7 horas no horário normal.



FIGURA 3 - Vista geral do tanque Classe A

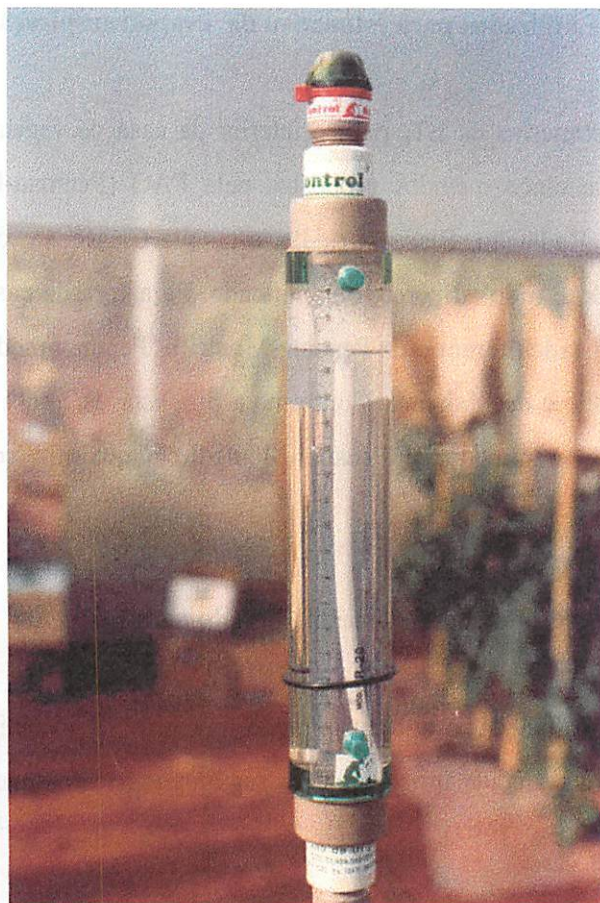


FIGURA 4 - Vista geral do Atmômetro modificado.

O cálculo da evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) foi realizado, utilizando-se uma planilha eletrônica, para períodos de 1 (um) dia, 7, 15 e 30 dias (mensal), utilizando parâmetros meteorológicos médios, de acordo com o número de dias de cada período.

### 3.2 Métodos utilizados para estimativa da evapotranspiração potencial (ET<sub>p</sub>)

A estimativa da ET<sub>p</sub> para o interior da casa de vegetação foi realizada, utilizando os cinco métodos propostos pela FAO (Penman-Monteith, Penman modificado, Radiação, Blaney-Cridle, e tanque Classe A), o método proposto por Makkink, e o do Atmômetro modificado. Para fora da casa de vegetação os métodos utilizados foram o de Penamn-Monteith, Penman modificado, Radiação, Blaney-Cridle e de Makkink. Conforme a proposta de Smith (1991), adotou-se como padrão o método de Penamn-Monteith, o qual foi comparado com os demais.

#### 3.2.1 Método de Penman-Monteith (método padrão)

A estimativa da evapotranspiração potencial pelo método de Penman-Monteith, foi realizada utilizando-se a seguinte equação, segundo Pereira, Villa Nova e Sediayama (1997):

$$ET_p = \frac{s}{(s + \gamma^*)} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{(s + \gamma^*)} \frac{900}{(T + 275)} U_2 (e_s - e_a) \dots \dots \dots (1)$$

em que:

ET<sub>p</sub> = evapotranspiração potencial (mm.dia<sup>-1</sup>);

s = declividade da curva de pressão de saturação de vapor (kPa °C<sup>-1</sup>);

R<sub>n</sub> = saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

G = fluxo de calor no solo;

λ = calor latente de evaporação (MJ.kg<sup>-1</sup>);

e<sub>a</sub> = pressão parcial de vapor (kPa);

- $e_s$  = pressão de saturação de vapor (kPa);
- $\gamma$  = coeficiente psicrométrico (kPa.°C<sup>-1</sup>);
- $\gamma^*$  = constante psicrométrica modificada (kPa.°C<sup>-1</sup>);
- T = Temperatura média do ar (°C);
- $U_2$  = velocidade média do vento a 2 m (m.s<sup>-1</sup>).

### 3.2.1.1 Calor latente de evaporação ( $\lambda$ )

O calor latente de evaporação é a quantidade de energia necessária para evaporar a massa de 1 g de água estando esta à temperatura T, sendo uma função linear de sua temperatura.

$$\lambda = 2,501 - (2,361 \times 10^{-3})T \dots\dots\dots (2)$$

em que:

- $\lambda$  = calor latente de evaporação (MJ.kg<sup>-1</sup>);
- T = temperatura do ar (°C).

Segundo Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997), sendo o calor latente de evaporação uma função fraca da temperatura, foi utilizado um valor constante de 2,45 MJ.kg<sup>-1</sup>.

### 3.2.1.2 Declividade da curva de pressão de saturação de vapor (s)

O valor da declividade da curva de pressão de vapor da água, foi calculado pela seguinte equação (Pereira, Villa Nova e Sedyama, 1997):



$$s = \frac{4098.e_s}{(T + 237,3)^2} \dots\dots\dots (3)$$

em que:

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

$e_s$  = pressão de saturação de vapor da água ( $\text{kPa}$ );

$T$  = temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ ).

### 3.2.1.3 Pressão de saturação do vapor d'água à temperatura do ar ( $e_s$ )

A pressão de saturação do vapor da água foi estimada pela equação de Tetens (Pereira, Villa Nova e Sedyama, 1997):

$$e_s = 0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27T}{T + 237,3}\right) \dots\dots\dots (4)$$

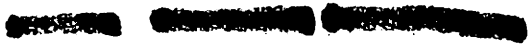
em que:

$e_s$  = pressão de saturação de vapor da água à temperatura do ar ( $\text{kPa}$ );

$T$  = temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ ).

### 3.2.1.4 Saldo de radiação ( $R_n$ )

$$R_n = R_{ns} + R_b \dots\dots\dots (5)$$



em que:

$R_n$  = saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );

$R_{ns}$  = saldo de radiação de ondas curtas ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );

$R_b$  = saldo de radiação de ondas longas ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ).

### 3.2.1.5 Saldo de radiação de ondas curtas ( $R_{ns}$ )

$$R_{ns} = (1 - r) \cdot R_s \dots\dots\dots (6)$$

em que:

$r$  = albedo (cultura hipotética) = 0,23;

$R_s$  = radiação solar global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ).

### 3.2.1.6 Radiação solar global ( $R_s$ )

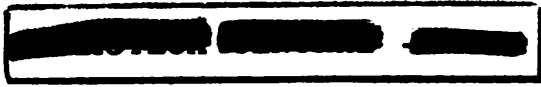
Para o interior da casa de vegetação a radiação solar global foi determinada diretamente por um piranômetro acoplado à estação agrometeorológica automática portátil. Para o exterior à casa de vegetação a radiação solar incidente foi determinada através da equação de Angström (Pereira, Villa Nova e Sedyama, 1997).

$$R_s = \left( a + b \cdot \frac{n}{N} \right) \cdot R_a \dots\dots\dots (7)$$

em que:

$R_s$  = radiação solar global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );

$n$  = número de horas de brilho solar (h);



a e b = coeficientes da equação de Angström;

$R_a$  = radiação no topo da atmosfera ( $MJ m^{-2} dia^{-1}$ );

N = comprimento astronômico do dia (h).

### 3.2.1.7 Coeficientes da equação de Angström

Para os locais entre as latitudes  $0^\circ$  e  $60^\circ$ , em que as constantes a e b não são conhecidas, podem-se utilizar os valores propostos por Glover e McCullosh (1958) ou sejam:

$$a = 0,29 \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (8)$$

$$b = 0,52 \dots\dots\dots (9)$$

em que:

$\varphi$  = latitude do local.

### 3.2.1.8 Comprimento astronômico do dia (N)

$$N = \frac{24 \cdot \omega_s}{\pi} \dots\dots\dots (10)$$

em que:

$\omega_s$  = ângulo horário do pôr do sol (rad).

### 3.2.1.9 Ângulo horário do pôr do sol ( $\omega_s$ )

$$\omega_s = \arccos(-\tan \varphi \cdot \tan \delta) \dots\dots\dots (11)$$

em que:

$\omega_s$  = ângulo horário do pôr do sol (rad);

$\delta$  = declinação solar (rad);

$\varphi$  = latitude do local (rad).

### 3.2.1.10 Declinação solar ( $\delta$ )

$$\delta = 0,4093 \cdot \text{sen} \left( \frac{2\pi}{365} \cdot J - 1,405 \right) \dots\dots\dots (12)$$

em que:

$\delta$  = declinação solar (rad);

J = dia juliano.

### 3.2.1.11 Radiação no topo da atmosfera ( $R_a$ )

$$R_a = 37,586 \cdot d_r \cdot (\omega_s \cdot \text{sen} \varphi \cdot \text{sen} \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \text{sen} \omega_s) \dots\dots\dots (13)$$

em que:

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

$\omega_s$  = ângulo horário do pôr do sol (rad);

$\delta$  = declinação solar (rad);

$\varphi$  = latitude do local (rad);

$d_r$  = distância relativa terra sol.

### 3.2.1.12 Distância relativa terra sol ( $d_r$ )

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J\right) \dots\dots\dots (14)$$

### 3.2.1.13 Saldo de radiação de ondas longas ( $R_b$ )

$$R_b = -\left(0,9 \cdot \frac{n}{N} + 0,1\right) \cdot (0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{e_a}) \cdot \sigma \cdot (T_{kx}^4 + T_{kn}^4) \frac{1}{2} \dots\dots\dots (15)$$

em que:

$R_b$  = saldo de radiação de ondas longas ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann ( $4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \text{ K}^{-4}$ );

$e_a$  = pressão atual de vapor da água (kPa);

$T_{kx}$  = temperatura virtual máxima diária ( $^{\circ}\text{C}$ );

$T_{kn}$  = temperatura virtual mínima diária ( $^{\circ}\text{C}$ ).

### 3.2.1.14 Temperatura virtual máxima diária ( $T_{kx}$ )

$$T_{kx} = T_{\max} + 273 \dots\dots\dots (16)$$

em que:

$T_{\text{lox}}$  = temperatura virtual máxima diária (°C);

$T_{\text{max}}$  = temperatura máxima diária (°C).

### 3.2.1.15 Temperatura virtual mínima diária ( $T_{\text{kn}}$ )

$$T_{\text{kn}} = T_{\text{min}} + 273 \dots\dots\dots (17)$$

em que:

$T_{\text{kn}}$  = temperatura virtual mínima diária (°C);

$T_{\text{min}}$  = temperatura mínima diária (°C).

### 3.2.1.16 Pressão parcial de vapor ( $e_a$ )

A pressão parcial de vapor da água foi determinada pela seguinte equação (Pereira, Villa Nova e Sedyama, 1997):

$$e_a = e_{s(T_u)} - \gamma(T_s - T_u) \dots\dots\dots (18)$$

em que:

$e_a$  = pressão parcial de vapor (kPa);

$e_{s(T_u)}$  = pressão de saturação do vapor da água à temperatura do bulbo úmido (kPa);

$T_s$  = temperatura do bulbo seco (°C);

$T_u$  = temperatura do bulbo úmido (°C);

$\gamma$  = coeficiente psicrométrico (kPa.°C<sup>-1</sup>).

### 3.2.1.17 Coeficiente psicrométrico ( $\gamma$ )

$$\gamma = 0,0016286 \cdot \frac{P}{\lambda} \dots\dots\dots(19)$$

em que:

$\gamma$  = coeficiente psicrométrico (kPa. °C<sup>-1</sup>);

P = pressão atmosférica (kPa);

$\lambda$  = calor latente de evaporação (MJ.kg<sup>-1</sup>).

### 3.2.1.18 Constante psicrométrica modificada ( $\gamma^*$ )

$$\gamma^* = \gamma \cdot (1 + 0,33 \cdot U_2) \dots\dots\dots(20)$$

em que:

$\gamma^*$  = constante psicrométrica modificada (kPa. °C<sup>-1</sup>);

$\gamma$  = coeficiente psicrométrico (kPa. °C<sup>-1</sup>);

$U_2$  = velocidade média do vento a 2 m de altura (m.s<sup>-1</sup>).

### 3.2.1.19 Fluxo de calor no solo (G)

Para os balanços estudados, G foi considerado igual a zero.

### 3.2.2 Método de Penman modificado (Doorenbos e Pruitt, 1977)

$$ET_p = c \cdot [W \cdot R_n + (1 - W) \cdot 0,27 \cdot (1 + 0,00625 \cdot U_2) \cdot (e_s - e_{s(t)})] \dots\dots\dots (21)$$

em que:

$ET_p$  = evapotranspiração potencial (mm. dia<sup>-1</sup>);

$c$  = fator de correção da FAO;

$W$  = fator de ponderação que depende da temperatura;

$R_n$  = radiação líquida (mm.dia<sup>-1</sup>);

$U_2$  = velocidade média do vento a 2 m de altura do solo (km.dia<sup>-1</sup>);

$e_s$  = pressão de saturação de vapor à temperatura média diária (hPa);

$e_{s(t)}$  = pressão de saturação de vapor à temperatura de ponto de orvalho média (hPa).

O fator de correção da FAO foi ajustado por Frevert (1983) e Allen e Pruitt (1991)

$$c = 0,892 - 0,0781 U_d + 0,00219 U_d R_s + 0,000402 UR_{max} R_s + 0,000196 (U_d/U_n) U_d UR_{max} + 0,0000198 U_d/U_n U_d UR_{max} R_s + 0,00000236 (U_d) UR_{max} R_s - 0,0000086 (U_d/U_n)^2 U_d UR_{max} - 0,000000292 U_d/U_n (U_d) (UR_{max})^2 R_s - 0,0000161 UR_{max} (R_s)^2 \dots\dots\dots(22)$$

em que:

$U_d$  = velocidade média do vento durante o dia (m.s<sup>-1</sup>);

$U_n$  = velocidade média do vento durante a noite (m.s<sup>-1</sup>);

$UR_{max}$  = umidade relativa máxima diária (%);

$R_s$  = radiação solar global à superfície (mm. dia<sup>-1</sup>);

$U_d/U_n = 2$  valor recomendado por Doorenbos e Pruitt (1977) para o caso da indisponibilidade ou inconfiabilidade dos dados.



O fator de ponderação é definido pela equação:

$$W = 0,483 + 0,01.Tu \dots\dots\dots (23)$$

em que:

Tu = temperatura do bulbo úmido (°C).

**3.2.3 Método de Blaney-Criddle (Pereira, Villa Nova e Sedyama, 1997)**

$$ET_p = a + b.[p.(0,46.T + 8,13)] \dots\dots\dots (24)$$

em que:

ET<sub>p</sub> = evapotranspiração potencial (mm.dia<sup>-1</sup>);

a e b = fatores de correção da FAO;

p = porcentagem de horas de brilho solar diária em relação ao total anual,  
para um dado mês e latitude;

T = temperatura média do dia (°C).

Os fatores de correção da FAO, a e b, foram ajustados por Allen e Pruitt (1991).

$$a = 0,0043.UR_{\min} - \frac{n}{N} - 1,41 \dots\dots\dots (25)$$

$$b = 0,908 - 0,00483 UR_{\min} + 0,7949 \frac{n}{N} + 0,0768[\ln(Ud + 1)]^2 - 0,0038 UR_{\min} \frac{n}{N} - 0,000433 UR_{\min} Ud + 0,281 \ln(Ud+1) \ln(n/N + 1) - 0,00975.\ln(Ud + 1)[\ln(UR_{\min} + 1)]^2 \ln(n/N+1)..... (26)$$

em que:

URmin = umidade relativa mínima (%);

n/N = razão entre horas de brilho solar atual e possíveis.

### 3.2.4 Método de Radiação (Pereira, Villa Nova e Sediyaama, 1997)

$$ET_p = r.(W.Rs) \dots\dots\dots (27)$$

em que:

ET<sub>p</sub> = evapotranspiração potencial (mm. dia<sup>-1</sup>);

r = fator de correção da FAO.

O fator de correção da FAO, foi ajustado por Frevert (1983):

$$r = 1,066 - 0,00128 UR_{med} + 0,045 Ud - 0,0002 UR_{med} Ud - 0,0000315 (UR_{med})^2 - 0,001103 (Ud)^2 \dots\dots\dots (28)$$

em que:

UR<sub>med</sub> = umidade relativa média (%).

### 3.2.5 Método de Makkink (Pereira, Villa Nova e Sediyaama, 1997)

$$ET_p = 0,61.W.Rs - 0,12 \dots\dots\dots (29)$$

em que:

ET<sub>p</sub> = evapotranspiração potencial (mm. dia<sup>-1</sup>);

### 3.2.6 Método do tanque Classe A

$$ET_p = K_p \cdot EV \dots\dots\dots (30)$$

em que:

$ET_p$  = evapotranspiração potencial (mm. dia<sup>-1</sup>);

$K_p$  = coeficiente do tanque;

$EV$  = evaporação da água medida em Tanque Classe A (mm. dia<sup>-1</sup>).

O coeficiente de tanque Classe A ( $K_p$ ) utilizado, foi o recomendado por Prados (1986),  $K_p=1,0$  para o interior de casa de vegetação.

### 3.2.7 Método do Atmômetro modificado

$$ET_p = L_2 - L_1 \dots\dots\dots (31)$$

em que:

$ET_p$  = evapotranspiração potencial (mm. dia<sup>-1</sup>);

$L_1$  = Leitura do dia, (mm);

$L_2$  = Leitura do dia anterior, (mm).

## 3.3 Análise Estatística

A metodologia adotada para comparação dos resultados foi proposta por Allen *et al.* (1989) e fundamenta-se no erro padrão da estimativa (SEE), calculado como segue:

$$SEE = \left( \frac{\sum (y - \bar{y})^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (32)$$

em que:

- SEE = erro padrão da estimativa (mm dia<sup>-1</sup>);
- y = ET<sub>p</sub> obtida pelo método padrão (mm dia<sup>-1</sup>);
- $\bar{y}$  = ET<sub>p</sub> estimada pelos demais métodos (mm dia<sup>-1</sup>);
- n = número de observações.

A hierarquização das estimativas da evapotranspiração foi feita com base nos valores do erro padrão da estimativa (SEE), do coeficiente de correlação (r) e do coeficiente angular (b) das respectivas regressões. A melhor alternativa é aquela que apresentar maior r, menor SEE e b próximo da unidade.

A precisão é dada pelo coeficiente de determinação 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 em relação aos observados. Matematicamente essa aproximação é dada por um índice designado de concordância ou ajuste, representado pela letra "d" (Willmott, Ckleson e Davis, 1985). Seus valores variam de zero, para nenhuma concordância a 1 (um), para a concordância perfeita.

O índice é dado pela seguinte expressão (Willmott, Ckleson e Davis, 1985):

$$d = 1 - \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum ((|P_i - O_i|) + (|O_i - O|))^2} \dots\dots\dots (33)$$

em que:

$d$  = índice de concordância ou ajuste;

$O_i$  =  $ET_p$  obtida pelo método padrão ( $\text{mm dia}^{-1}$ );

$P_i$  =  $ET_p$  estimada pelos demais métodos ( $\text{mm dia}^{-1}$ );

$O$  = média dos valores obtidos pelo método padrão ( $\text{mm dia}^{-1}$ );

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Variações dos elementos meteorológicos internos e externos à casa de vegetação

A Tabela 1 apresenta valores médios diários dos elementos meteorológicos coletados internamente e externamente à casa de vegetação, no período em estudo (01 de fevereiro a 31 de maio de 1999).

TABELA 1 - Elementos meteorológicos médios diários monitorados dentro e fora da casa de vegetação para todo o período experimental. Fev/99 a maio/99. Lavras, MG.

Variáveis	Dados Externos			Dados Internos		
	méd. <sup>(1)</sup>	máx. <sup>(2)</sup>	mín. <sup>(3)</sup>	méd. <sup>(1)</sup>	máx. <sup>(2)</sup>	mín. <sup>(3)</sup>
Temperatura do ar (°C)	20,7	27,7	15,8	22,3	33,8	15,9
Umidade relativa do ar (%)	74,5	85,5	55,8	71,3	92,9	40,7
Radiação solar (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	19,3	-	-	14,3	-	-

(1) Valor médio do período

(2) Valor médio das máximas do período

(3) Valor médio das mínimas do período

Durante o período de estudo, observou-se que as temperaturas no interior da casa de vegetação foram sempre mais altas que no exterior, o que já era esperado, devido à interrupção do processo convectivo pela cobertura plástica que impede a passagem do ar quente para o exterior. Foi encontrada uma diferença de

1,6; 6,2; e 0,11 °C respectivamente, para temperaturas média, máxima e mínima, resultados próximos aos citados por Scatolini (1996), que encontrou diferença entre temperaturas máximas interna e externa à casa de vegetação, variando de 1,2 a 4,4 °C.

Verificou-se umidade relativa média do ar no interior da casa de vegetação 3,2% inferior à determinada a céu aberto. Durante a noite, devido a impermeabilidade do plástico à água e à baixa taxa de renovação do ar no interior da casa de vegetação, a umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação atingiu valores próximos a 100%, que condizem com os encontrados por Tanaka e Genta (1992).

Os valores de radiação solar global obtidos no interior da casa de vegetação foram menores do que aqueles determinados externamente (Figura 5), isto devido à reflexão e à absorção pelo material da cobertura plástica. Em média, ao longo do dia, a transmissividade da cobertura plástica foi de 74%. Valor próximo do encontrado por Buriol, Streck e Petry, (1993).

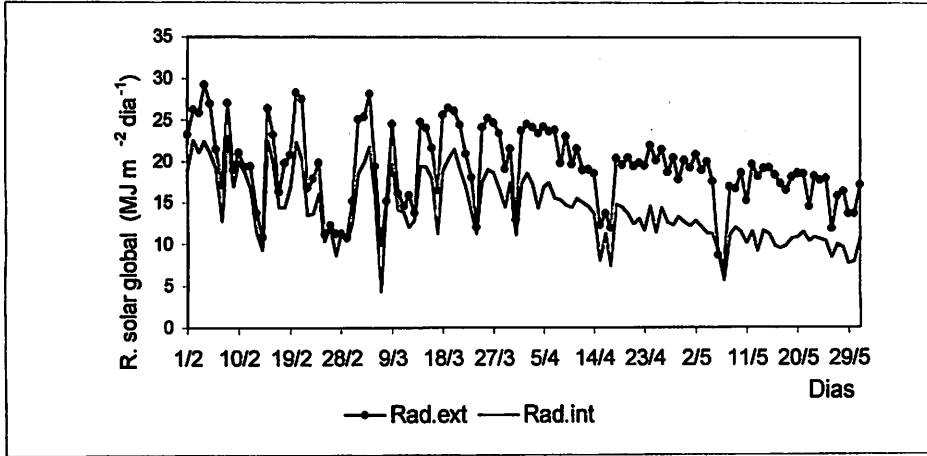


FIGURA 5 - Valores diários de radiação solar global obtidos no interior e fora da casa de vegetação

#### 4.2 Comparação de métodos para períodos diários, dentro da casa de vegetação

Analisando as Figuras 6 e 7 verifica-se que, em média, os valores de evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) estimados pelo método do tanque Classe A e de Radiação, foram superiores aos valores de  $ET_p$  determinados pelo método de Penman-Monteith, considerado como padrão.

Porém, a  $ET_p$  estimada pelo método do Atmômetro modificado da SOILCONTROL foi muito superior à obtida pelo método de Penman-Monteith, necessitando, portanto, ajustar um coeficiente de correção para condições de casa de vegetação.



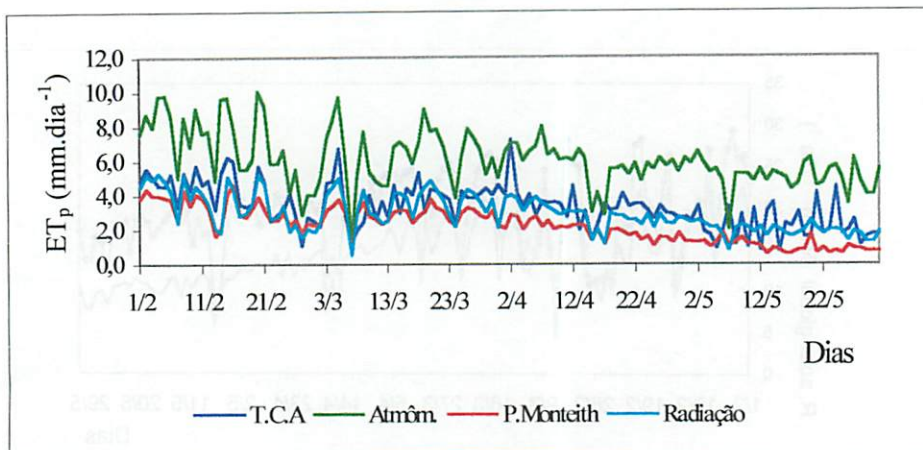


FIGURA 6 - Evapotranspiração potencial diária, estimada pelo método de Penman- Monteith, Radiação, tanque Classe A e pelo Atmômetro modificado, dentro da casa de vegetação.

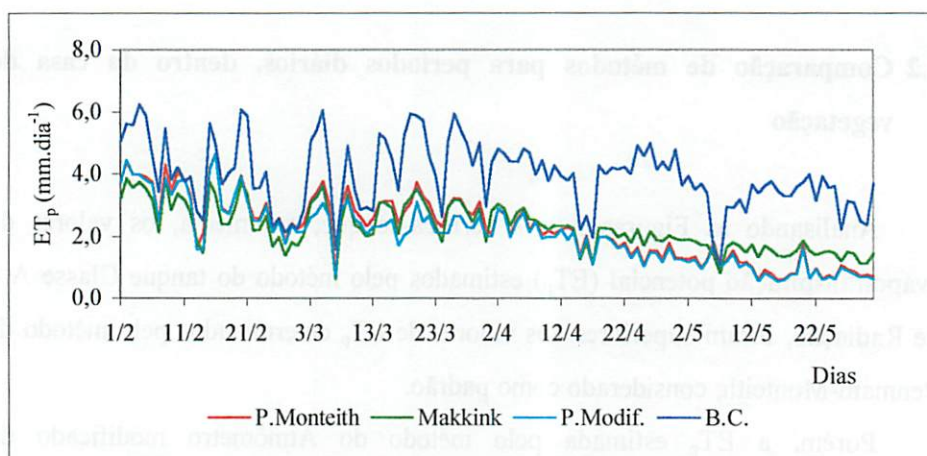


FIGURA 7 - Evapotranspiração potencial diária, estimada pelo método de Penman- Monteith, Makkink, Penman modificado e Blaney-Criddle, dentro da casa de vegetação.

O método de Blaney-Criddle, também não estimou adequadamente a  $ET_p$ , provavelmente devido ao fato da calibração do mesmo ter sido feita para condições externas, não levando em consideração as mudanças nos elementos meteorológicos no interior da casa de vegetação, principalmente a temperatura do ar no qual o modelo é baseado; portanto, a correção proposta por Doorembos e Pruitt (1977) não se ajustou para condições de casa de vegetação. Nesse ambiente a temperatura média do ar foi superior à temperatura média externa; entretanto, a  $ET_p$  depende mais da radiação solar, que chega no interior da casa de vegetação, concordando com Chang (1971).

Os métodos de Penman, modificados, e de Makkink, que consideram os aspectos aerodinâmicos e de radiação, apresentaram boas estimativas, decorrentes de seus valores, os quais foram muito próximos aos determinados pelo método de Penman-Monteith (Padrão).

Para permitir uma análise quantitativa das estimativas da  $ET_p$ , fez-se um estudo comparativo com base em uma análise de regressão de cada um dos métodos estudados, em relação aos valores determinados pelo método de Penman-Monteith (Padrão). Os resultados encontram-se na Tabela 2.

TABELA 2 - Resumo das análises estatísticas entre os métodos avaliados e o método de Penman-Monteith (Padrão) e média dos valores de  $ET_p$  diária, determinados pelos métodos de Penman-Monteith, Penman modificado, Radiação, Blaney-Cridle, Makkink, T.C.A e do Atmômetro modificado, dentro da casa de vegetação.

Método	a	b	SEE	r	d	$ET_p$ (mm.dia <sup>-1</sup> )
Penman-Monteith	-	-	-	-		2,23
Penman modificado	0,01	0,92	0,29	0,98	0,98	2,06
Makkink	0,81	0,66	0,46	0,91	0,93	2,28
Radiação	0,86	0,93	0,87	0,97	0,84	2,93
T.C.A.	1,38	0,88	1,46	0,70	0,69	3,35
Blaney-Cridle	2,42	0,69	2,00	0,69	0,52	3,97
Atmômetro modificado	3,51	1,13	3,99	0,71	0,42	6,04

a e b = coeficientes da equação de regressão

SEE = erro padrão da estimativa

r = coeficiente de correlação

d = índice de ajuste

A evapotranspiração estimada pelos métodos de Penman, modificados, e Makkink, forneceram estimativas de  $ET_p$  altamente correlacionadas com os valores da  $ET_p$  determinados pelo método de Penman-Monteith ( $r = 0,98$ ; SEE 0,29;  $d = 0,98$  e  $r = 0,91$  SEE = 0,46;  $d = 0,93$ ) enquanto os métodos do Atmômetro modificado e de Blaney-Cridle não foram capazes de estimar a  $ET_p$  com precisão. O método do tanque Classe A, com coeficiente de tanque igual a 1 ( $K_p = 1$ ) proposto por Prados (1986) também não estimou com precisão a  $ET_p$ , necessitando, portanto, de ajustes, para condições de casa de vegetação.

Nas Figuras 8 e 9 pode-se observar o comportamento de cada método em relação ao método de Penman-Monteith, por meios de gráficos 1:1 para os elementos meteorológicos medidos dentro da casa de vegetação.

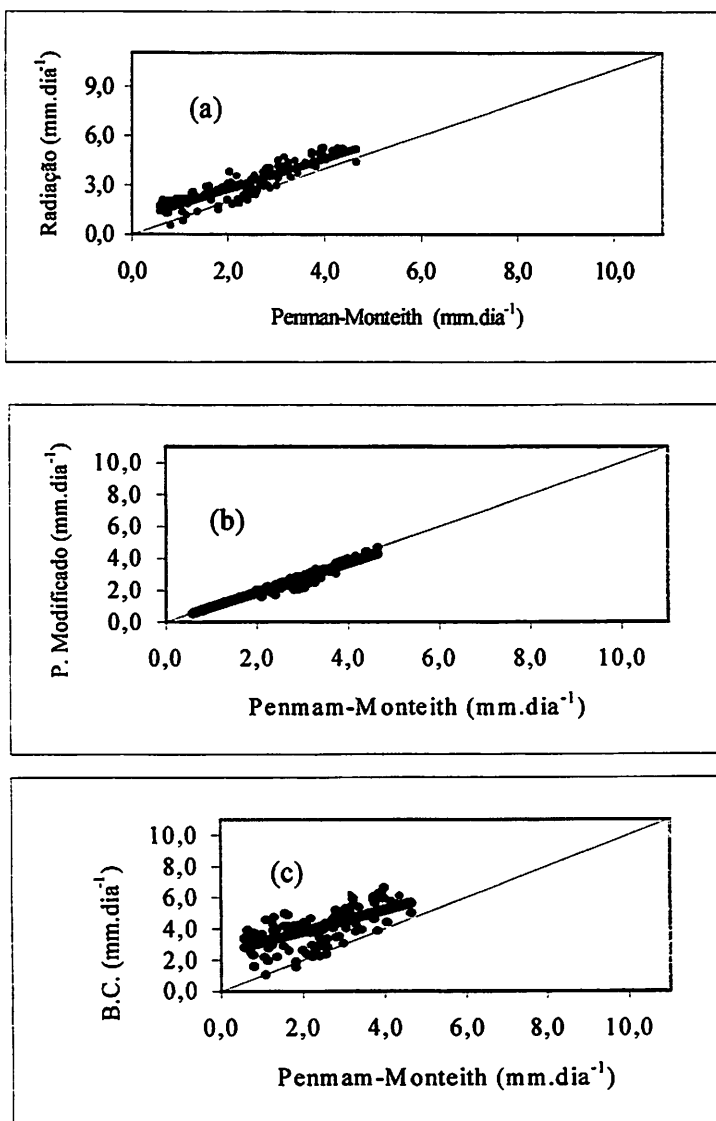


FIGURA 8 - Relação entre evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ), determinada pelo método de Penman-Monteith e o método de Radiação (a), Penman modificado (b) e Blaney-Criddle (c), dentro de casa de vegetação, para períodos diários.

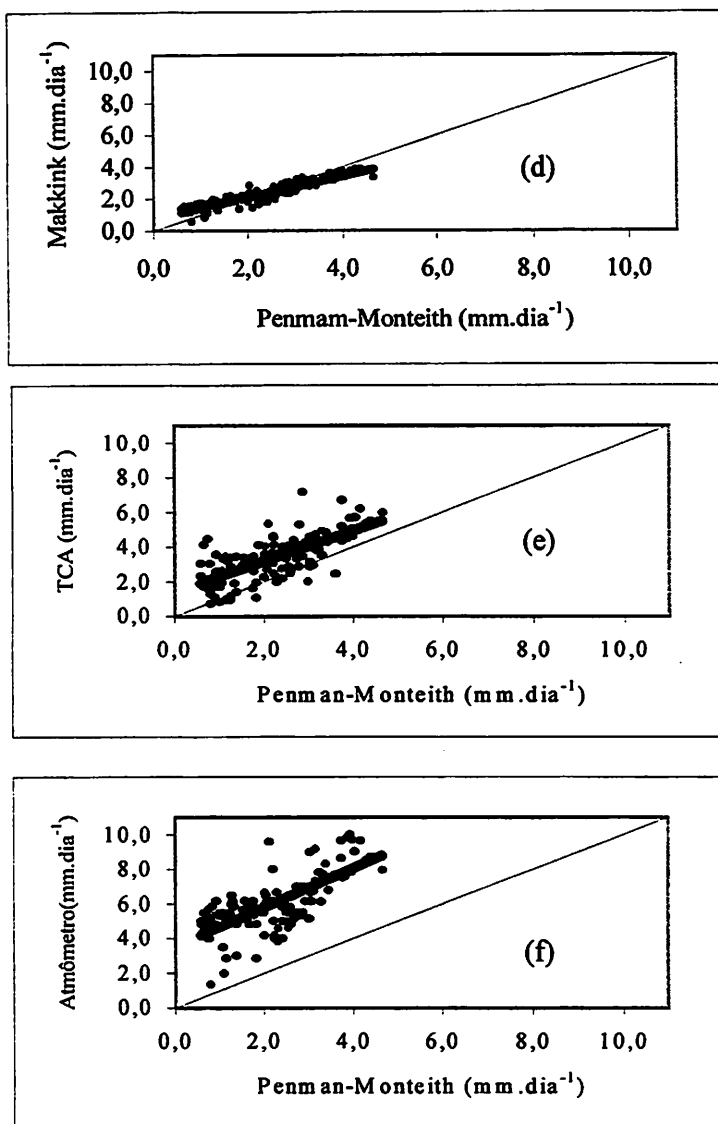


FIGURA 9 - Relação entre evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ), determinada pelo método de Penman-Monteith e o método de Makkink (d), Tanque Classe A (e), e do Atmômetro modificado (f), dentro da casa de vegetação para períodos diários.

### 4.3 Comparação de métodos para períodos de sete dias, dentro da casa de vegetação

Analisando as Figuras 10 e 11 pode-se verificar que, em média, os valores de  $ET_p$  estimados pelos métodos de Blaney-Cridde, tanque Classe A e do Atmômetro modificado, são maiores que os valores obtidos pelo método padrão, enquanto o método de Makkink, Radiação e Penman Modificado apresentam valores muito próximos aos valores determinados pelo método de Penman-Monteith (Padrão).

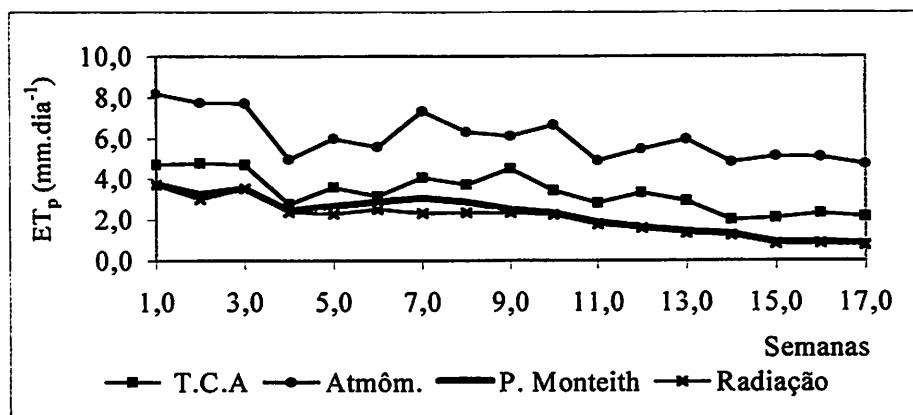


FIGURA 10 - Evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) para períodos de sete dias, estimada pelo método de Penman-Monteith, Radiação, tanque Classe A e pelo Atmômetro modificado, dentro da casa de vegetação.

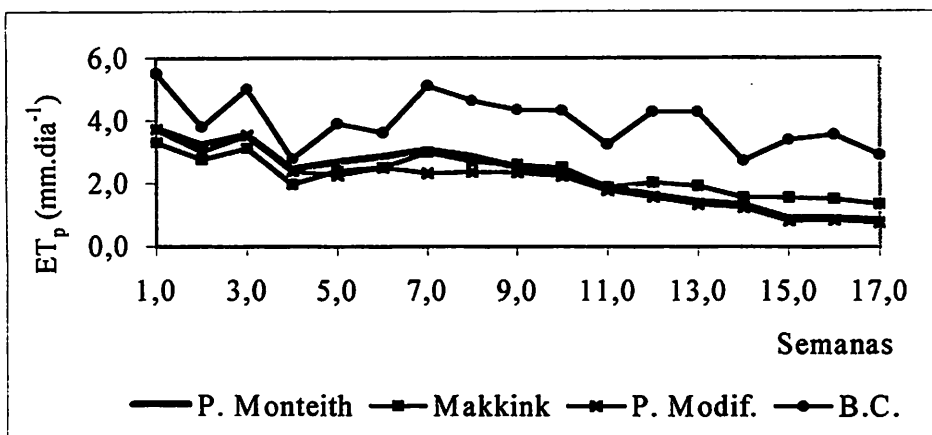


FIGURA 11 - Evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) para períodos de sete dias, estimados pelo método de Penman-Monteith, Makkink, Penman modificado e Blaney-Criddle, dentro da casa de vegetação.

Analisando a Tabela 3 observa-se que as correlações entre os valores de  $ET_p$  obtidas pelo método de Radiação e Makkink ( $r = 0,94$  e  $r = 0,96$ ) com o método de Penman-Monteith foram bastante altas, assim como os seus respectivos índices de ajuste ( $d = 0,98$  e  $d = 0,93$ ) e com baixos valores do erro padrão da estimativa ( $SEE = 0,79$  e  $SEE = 0,41$ ). Porém, comparando os métodos de Blaney-Criddle com o de Penman-Monteith, considerado o padrão, a correlação baixou bastante ( $r = 0,66$ ), reforçando a necessidade de ajuste desse modelo para o interior de casa de vegetação.

O método do Atmômetro modificado da SOILCONTROL foi o que apresentou o menor índice de ajuste para períodos de sete dias, com um alto valor do erro padrão da estimativa, resultados diferentes dos encontrados por Pereira (1998), onde o Atmômetro modificado da SEEI estimou com precisão a  $ET_p$ .

Portanto, o Atmômetro modificado utilizado neste experimento necessita de um coeficiente de correção ou de modificações estruturais, para melhorar o seu desempenho na estimativa da  $ET_p$ , em condições de casa de vegetação. Vale ressaltar que a avaliação do Atmômetro modificado SEEI, realizado por Pereira (1998), ocorreu em condições de ambiente externo (céu aberto).

TABELA 3 - Resumo das análises estatísticas entre os métodos avaliados e o método de Penman-Monteith (Padrão) e média dos valores de  $ET_p$ , determinados pelos métodos de Penman-Monteith, Penman modificado, Radiação, Blaney-Cridle, Makkink, T.C.A e do Atmômetro modificado, para períodos de sete dias, dentro da casa de vegetação.

Método	a	b	SEE	r	d	$ET_p$ (mm.dia <sup>-1</sup> )
Penman-Monteith	-	-	-	-	-	2,24
Penman modificado	1,38	0,88	0,27	0,88	0,70	2,07
Radiação	1,06	0,88	0,79	0,94	0,98	2,94
Blaney-Cridle	2,68	0,58	1,93	0,66	0,48	3,98
Makkink	0,91	0,61	0,41	0,96	0,93	2,28
T.C.A.	1,38	0,88	1,24	0,88	0,70	3,36
Atmômetro modificado	3,83	0,98	3,96	0,83	0,36	6,04

Nas Figuras 12 e 13, pode-se observar o comportamento de cada método em relação ao modelo de Penman-Monteith, por meios de gráficos 1:1.



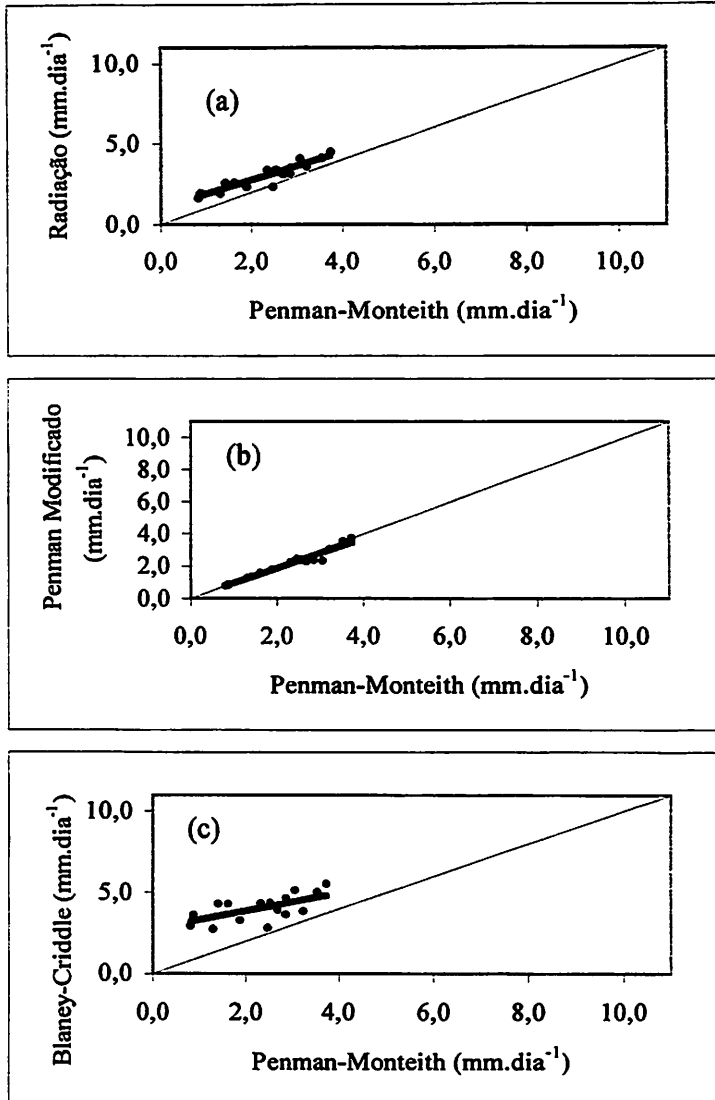
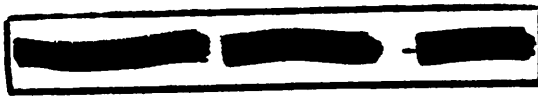


FIGURA 12 - Relação entre evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ), determinada pelo método de Penman-Monteith e o método de Radiação (a), Penman modificado (b) e Blaney-Criddle (c), dentro de casa de vegetação, para períodos de sete dias.

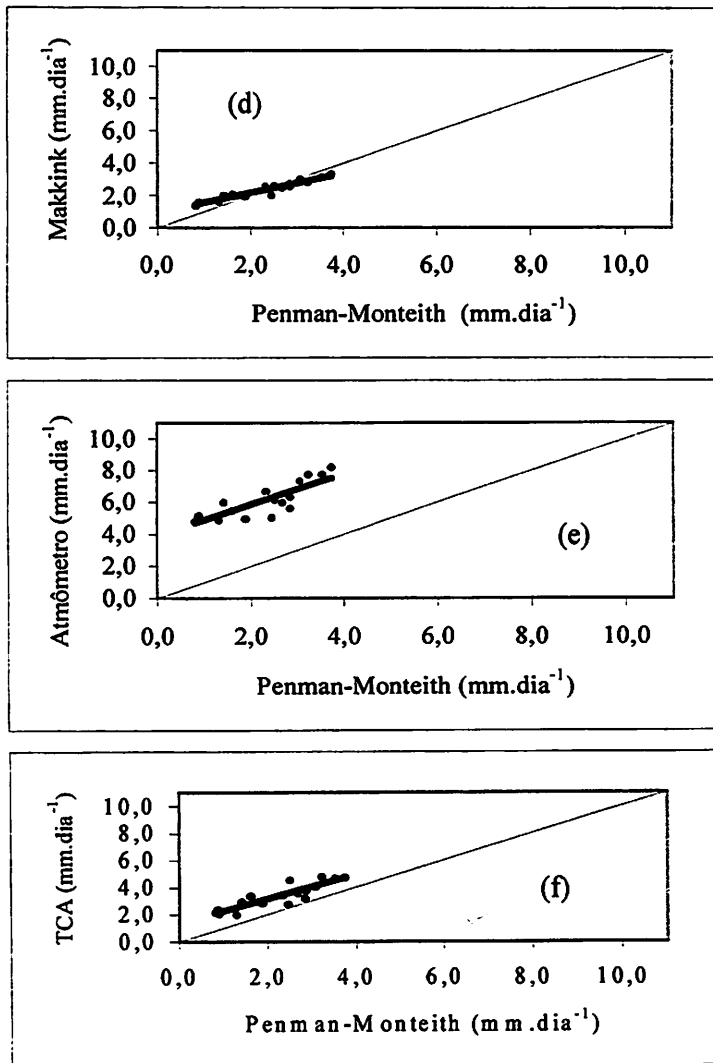


FIGURA 13 - Relação entre evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ), determinada pelo método de Penman-Monteith e o método de Makink (d), tanque Classe A (e), e do Atmômetro modificado (f), dentro da casa de vegetação, para períodos de sete dias.

#### 4.4 Comparação de métodos para períodos de quinze dias, dentro da casa de vegetação

Analisando as Figuras 14 e 15 observou-se que todos os métodos estudados apresentam maiores valores de  $ET_p$ , em relação ao método padrão, com exceção do método de Penmam modificado que apresenta valores um pouco menores que os valores determinados pelo método de Penmam-Monteith.

Os valores da  $ET_p$ , estimados pelos métodos de Blaney-Criddle e do Atmômetro modificado da SOILCONTROL foram muito superiores aos valores obtidos pelo método de Penman-Monteith, considerado como padrão.

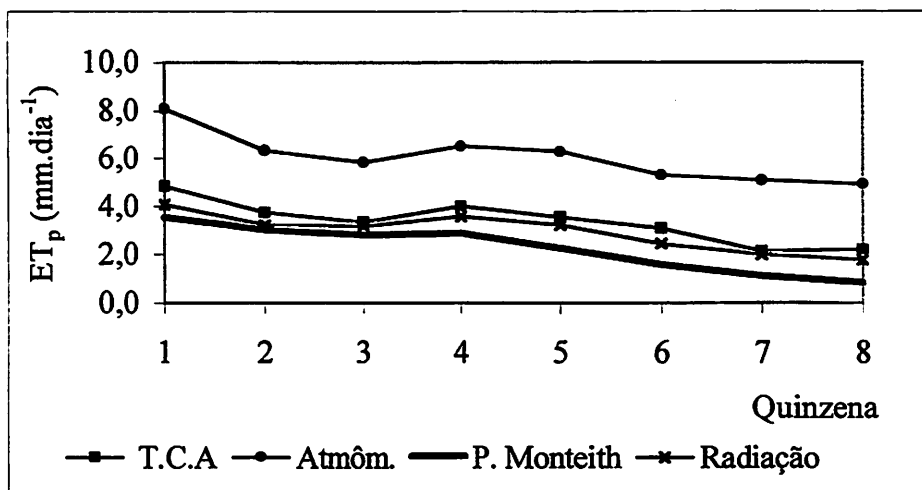


FIGURA 14 - Evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) para períodos de quinze dias, estimada pelo método de Penman-Monteith, Radiação, tanque Classe A e pelo Atmômetro modificado, dentro da casa de vegetação.

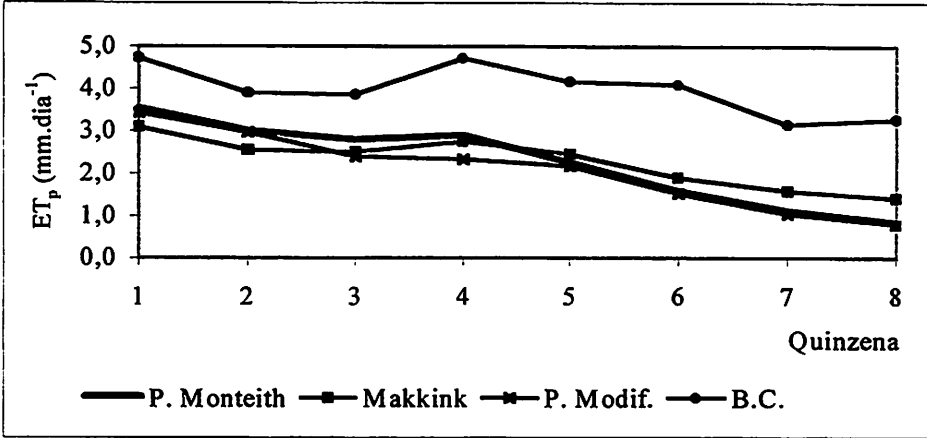


FIGURA 15 - Evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) para períodos de quinze dias, estimada pelo método de Penman-Monteith, Makkink, Penman modificado e Blaney-Criddle, dentro da casa de vegetação.

Na Tabela 4 está apresentado o resumo das análises estatísticas dos métodos avaliados para períodos de quinze dias. Dentre os resultados pode-se destacar que os métodos que mais se aproximam dos valores de Penman-Monteith foram os de Penman modificados ( $r = 0,98$ ,  $d = 0,98$  e  $SEE = 0,27$ ) e Makkink ( $r = 0,98$ ,  $d = 0,93$  e  $SEE = 0,42$ ). Os métodos do Atmômetro modificados SOILCONTROL e de Blaney-Criddle obtiveram os menores valores de coeficientes de correlação e ajuste ( $r = 0,89$ ,  $d = 0,33$  e  $r = 0,81$ ,  $d = 0,42$  respectivamente), e altos valores de SEE, reforçando a necessidade de ajustes para os modelos, para condições de casa de vegetação.

TABELA 4 - Resumo das análises estatísticas entre os métodos avaliados e o método de Penman-Monteith (Padrão) e média dos valores de  $ET_p$ , determinados pelos métodos de Penman-Monteith, Penman modificados, Radiação, Blaney-Criddle, Makkink, T.C.A e do Atmômetro modificado, para períodos de quinze dias, dentro da casa de vegetação.

Método	a	b	SEE	r	d	$ET_p$ (mm.dia <sup>-1</sup> )
Penman-Monteith	-	-	-	-	-	2,26
Penman modificado	0,03	0,91	0,27	0,98	0,98	2,09
Radiação	1,17	0,79	0,80	0,97	0,83	2,96
Blaney-Criddle	2,89	0,48	1,95	0,81	0,42	3,99
Makkink	0,96	0,59	0,42	0,98	0,93	2,29
T.C.A.	1,42	0,87	1,25	0,94	0,70	3,38
Atmômetro modificado	3,99	0,92	4,10	0,89	0,33	6,07

As Figuras 16 e 17 confirmam o que foi citado anteriormente, pelo qual todos os métodos estudados apresentaram valores de  $ET_p$  maiores que os valores de  $ET_p$  obtidos pelo método de Penman-Monteith, com exceção do método de Penman modificado, cujos valores possuem uma concordância muito boa com os valores estimados pelo método de Penman-Monteith, isto pode ser visualizado por um alinhamento muito próximo da reta 1:1.

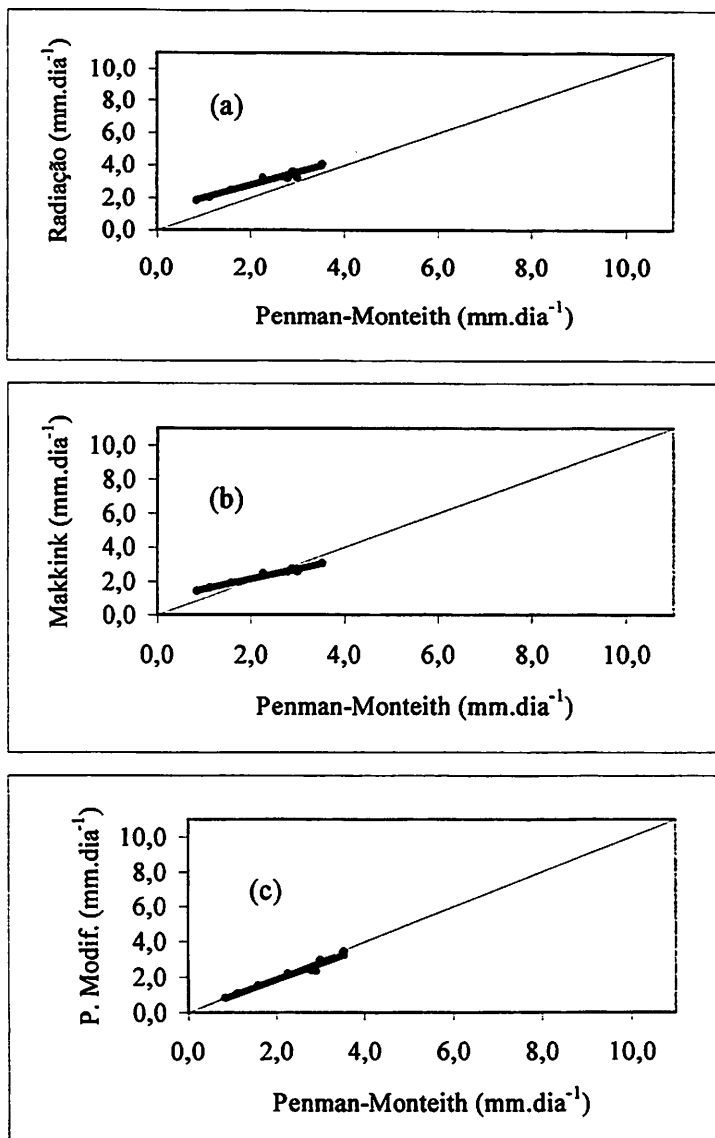


FIGURA 16 - Relação entre evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ), determinada pelo método de Penman-Monteith e o método de Radiação (a), Makkink (b) e Penman modificado (c), dentro de casa de vegetação para períodos de quinze dias.

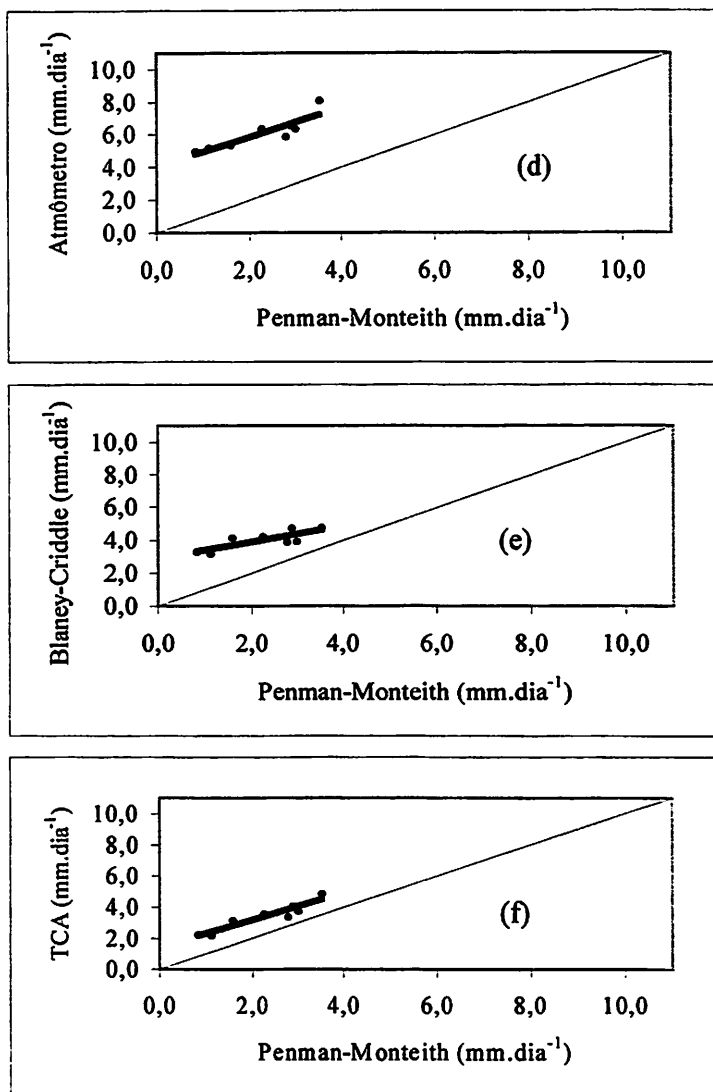


FIGURA 17 - Relação entre evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ), determinada pelo método de Penman-Monteith e o método do Atmômetro modificado SOILCONTROL (d), Blaney-Criddle (e), e tanque Classe A (f), dentro da casa de vegetação para períodos de quinze dias.

#### 4.5 Comparação de métodos para períodos mensais, dentro da casa de vegetação

As Figuras 18 e 19 mostram o comportamento dos métodos estudados para o período mensal, em que se observa novamente que os valores de  $ET_p$ , determinados pelos métodos de Blaney-Cridde, Radiação, Atmômetro modificado, Makkink e tanque Classe A, são maiores que os valores de  $ET_p$ , determinados pelo método de Penman-Monteith, e os valores estimados pelo método de Penmam modificado são muito próximos dos valores determinados pelo método padrão.

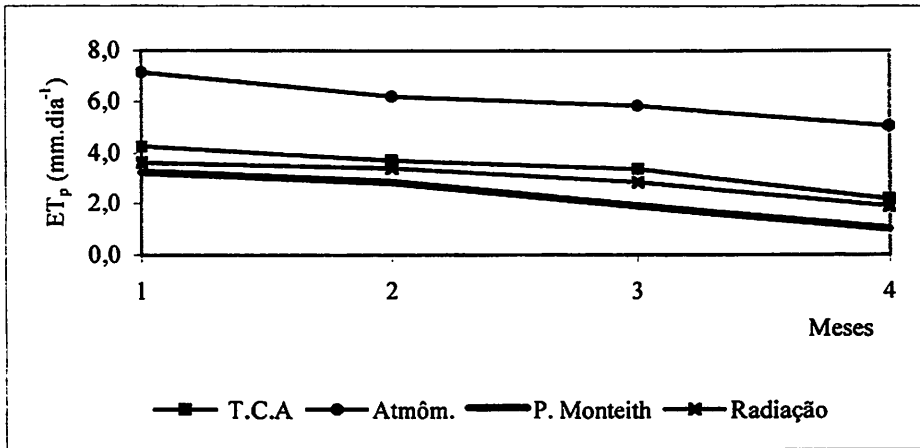


FIGURA 18 - Evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) para períodos mensais, estimada pelo método de Penman-Monteith, Radiação, tanque Classe A e pelo Atmômetro modificado, dentro da casa de vegetação.



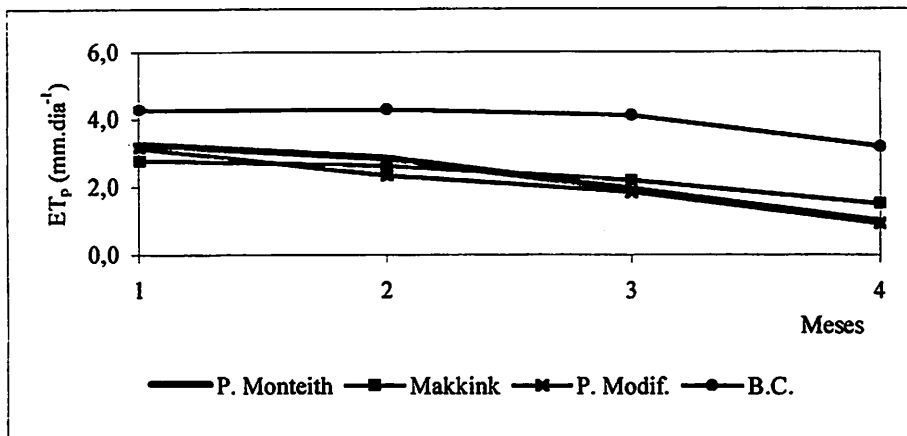


FIGURA 19 - Evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) para períodos mensais, estimada pelo método de Penman-Monteith, Makkink, Penman modificado e Blaney-Criddle, dentro da casa de vegetação.

Observa-se na Tabela 5 que houve uma boa correlação entre todos os métodos estudados e o método de Penman-Monteith para períodos mensais, com o valor de "r" acima de 0,9.

Entre os métodos comparados, o de Penman modificado e Makkink apresentaram um bom desempenho na estimativa da  $ET_p$ , para todos os períodos estudados dentro da casa de vegetação, e os métodos de Blaney-Criddle e do Atmômetro modificado SOILCONTROL, foram os que apresentaram os piores resultados.

TABELA 5 - Resumo das análises estatísticas entre os métodos avaliados e o método de Penman-Monteith (Padrão) e média dos valores de  $ET_p$ , determinados pelos métodos de Penman-Monteith, Penman modificado, Radiação, Blaney-Criddle, Makkink, T.C.A e do Atmômetro modificado, para períodos mensais dentro da casa de vegetação.

Método	a	b	SEE	r	d	$ET_p$ (mm.dia <sup>-1</sup> )
Penman-Monteith	-	-	-	-	-	2,25
Penman modificado	0,03	0,91	0,28	0,98	0,98	2,08
Radiação	1,25	0,75	0,85	0,99	0,81	2,95
Blaney-Criddle	2,92	0,47	2,08	0,90	0,42	3,98
Makkink	1,02	0,56	0,45	0,99	0,92	2,29
T.C.A.	1,47	0,84	1,31	0,98	0,69	3,37
Atmômetro modificado	4,18	0,83	4,41	0,96	0,30	6,06

Nas Figuras 20 e 21 pode-se observar o comportamento de cada método em relação ao método de Penman-Monteith, por meio de gráficos 1:1.

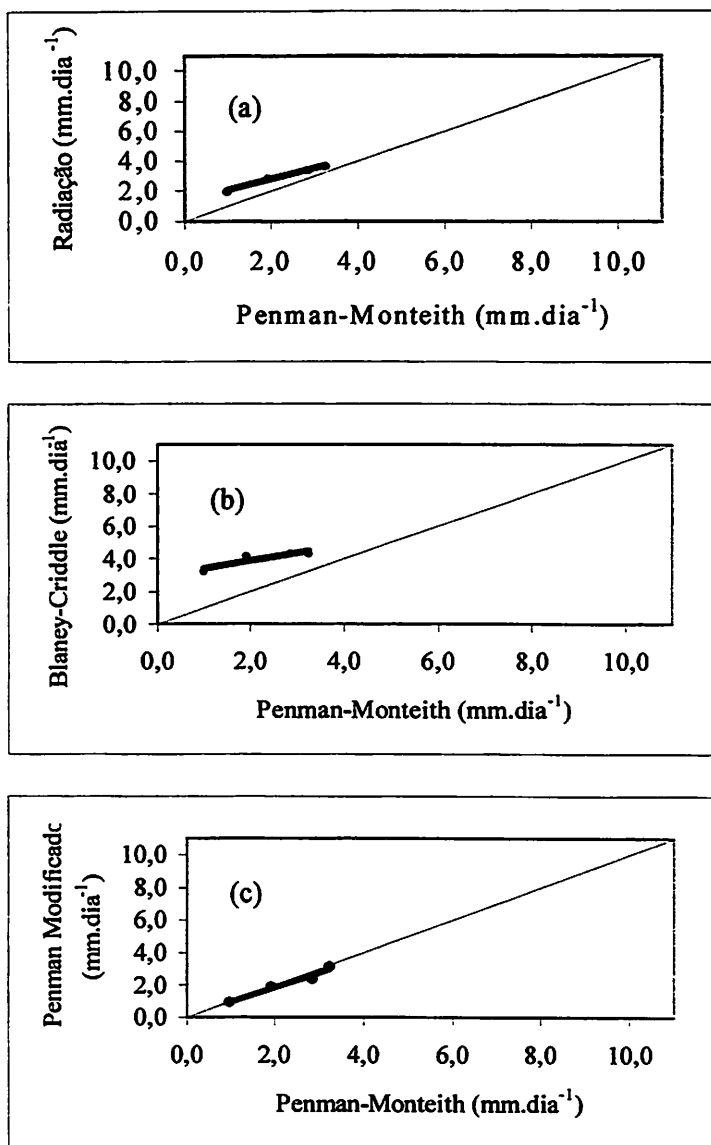


FIGURA 20 - Relação entre evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ), determinada pelo método de Penman-Monteith e o método de Radiação (a), Blaney-Criddle (b) e Penman modificado (c), dentro de casa de vegetação para períodos mensais.

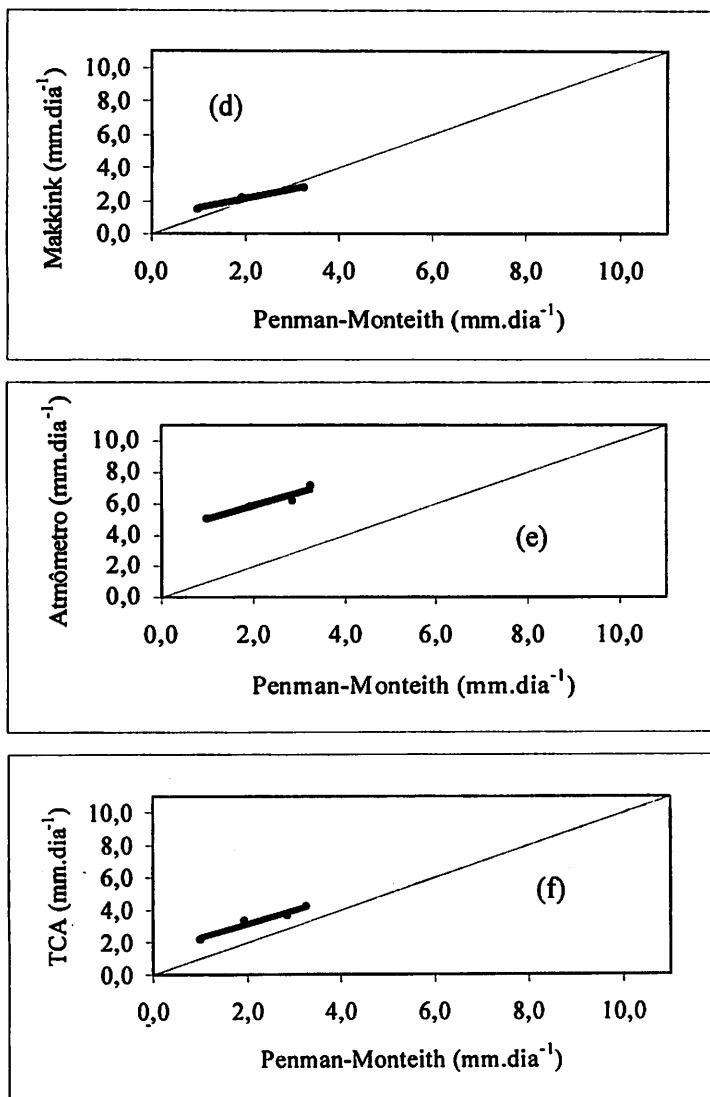


FIGURA 21 - Relação entre evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ), determinada pelo método de Penman-Monteith e o método de Makkink (d), Atmômetro modificado (e), e do tanque Classe A (f), dentro da casa de vegetação para períodos mensais.

#### 4.6 Comparação de métodos de determinação da evapotranspiração potencial, fora da casa de vegetação

Nas Figuras 22 e 23 são mostrados o comportamento de cada método estudado externamente (céu aberto) à casa de vegetação para períodos diários. Nota-se que os métodos de Radiação e de Blaney-Criddle obtiveram maiores valores de  $ET_p$  em relação ao método padrão, enquanto os métodos de Makkink e Penman modificado obtiveram menores valores de  $ET_p$ ; observa-se também que o comportamento entre os modelos estudados se aproxima muito do de Penman-Monteith (Padrão).

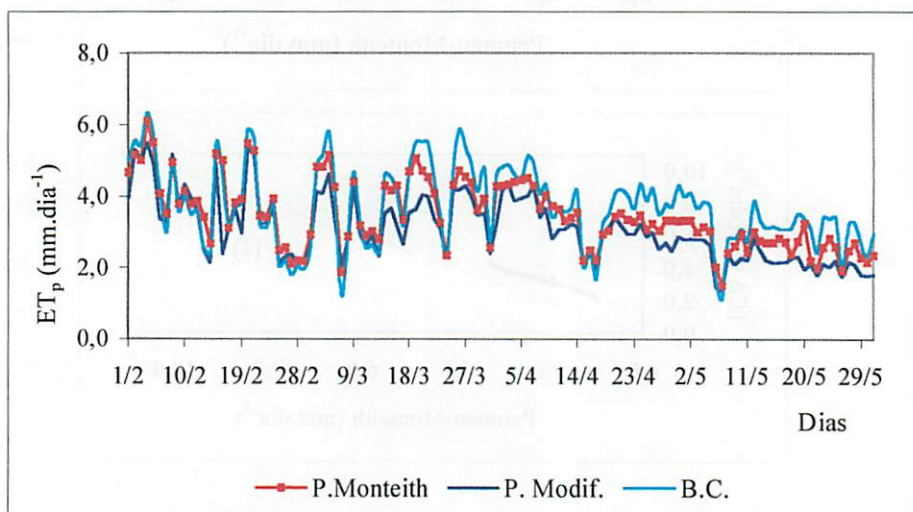


FIGURA 22 - Evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) para períodos diários, estimadas pelo método de Penman-Monteith, Penman modificado e Blaney-Criddle, fora da casa de vegetação (céu aberto).

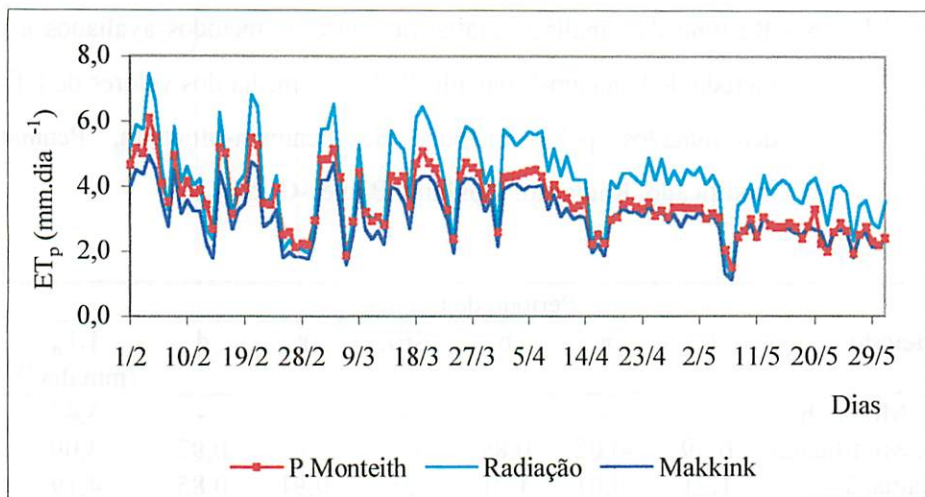


FIGURA 23 - Evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) para períodos diários, estimada pelo método de Penman-Monteith, Makkink e Radiação, fora da casa de vegetação.

Analisando a Tabela 6 observa-se que, considerando todos os períodos estudados, em geral os valores de  $ET_p$  estimados pelos métodos de Penman modificado e Makkink, foram 22 e 11%, respectivamente, maiores que os valores de  $ET_p$  determinados pelo método de Penman-Monteith, enquanto os métodos de Blaney-Criddle e Radiação foram 7 e 20% menores, respectivamente.

Dentre os resultados encontrados, pode-se destacar que para todos os períodos de estudo ocorreram boas estimativas de  $ET_p$  para todos os métodos avaliados, com coeficiente de correlação ( $r$ ) acima de 0,90.

Comparando o método de Blaney-Criddle com os demais, verifica-se que os indicadores SEE e índice de ajuste ( $d$ ) deste, apontam-no como capaz de estimar a  $ET_p$  com maior precisão.

TABELA 6 - Resumo das análises estatísticas entre os métodos avaliados e o método de Penman-Monteith (Padrão) e média dos valores de  $ET_p$ , determinados pelos métodos de Penman-Monteith, Penman modificado, Radiação, Makkink, Blaney-Cridle.

Período de um dia							
Método	K	a	b	SEE	r	d	$ET_p$ (mm.dia <sup>-1</sup> )
P. Monteith	-	-	-	-	-	-	3,47
P. Modificado	0,89	-0,02	0,89	0,54	0,92	0,97	3,09
Radiação	1,21	-0,01	1,21	0,91	0,91	0,85	4,19
Makkink	0,89	0,21	0,83	0,48	0,96	0,93	3,10
B.C.	1,08	0,01	1,07	0,50	0,93	0,94	3,70
Período de sete dias							
	K	a	b	SEE	r	d	$ET_p$ (mm.dia <sup>-1</sup> )
P. Monteith	-	-	-	-	-	-	3,48
P. Modificado	0,78	-0,09	0,91	0,44	0,97	0,79	2,71
Radiação	1,21	0,76	0,98	0,82	0,90	0,78	4,20
Makkink	0,89	0,50	0,75	0,46	0,97	0,89	3,10
B.C.	1,07	0,52	0,92	0,41	0,92	0,93	3,70
Período de quinze dias							
	K	a	b	SEE	r	d	$ET_p$ (mm.dia <sup>-1</sup> )
P. Monteith	-	-	-	-	-	-	3,49
P. Modificado	0,78	-0,48	1,03	0,42	0,99	0,91	2,73
Radiação	1,20	1,56	0,76	0,82	0,90	0,69	4,20
Makkink	0,89	0,78	0,66	0,48	0,98	0,83	3,10
B.C.	1,07	1,12	0,75	0,38	0,92	0,90	3,70
Período de trinta dias							
	K	a	b	SEE	r	d	$ET_p$ (mm.dia <sup>-1</sup> )
P. Monteith	-	-	-	-	-	-	3,49
P. Modificado	0,78	-0,52	1,04	0,45	1,00	0,89	2,72
Radiação	1,20	2,05	0,61	0,87	0,90	0,63	4,20
Makkink	0,89	0,95	0,52	0,51	0,97	0,78	3,10
B.C.	1,07	1,40	0,67	0,38	0,95	0,88	3,70

OBS.: A razão K corresponde à relação entre os valores estimados pelos métodos estudados e os valores obtidos pelo método de Penman-Monteith.

Portanto, a classificação dos métodos quanto a sua capacidade de estimar a  $ET_p$ , obedecem à seguinte ordem; 1º Blaney-Criddle, 2º Makkink, 3º Penman modificado e 4º Radiação, resultados diferentes dos encontrados para determinação da evapotranspiração potencial dentro da casa de vegetação, onde o método de Blaney-Criddle não apresentou resultados satisfatórios. Desta forma fica clara a necessidade de ajuste na correção proposta por Doorenbos e Pruitt (1977), para condições de casa de vegetação.

#### **4.7 Comparação entre os valores de evapotranspiração potencial determinados dentro e fora da casa de vegetação.**

Observa-se nas Figuras 24, 25, 26 e 27 que, em média, para todos os métodos estudados, os valores da evapotranspiração potencial determinados dentro da casa de vegetação foram inferiores aos valores estimados externamente, com exceção do método de Blaney-Criddle, em que os valores determinados dentro da casa de vegetação foram ligeiramente superiores aos valores estimados internamente.



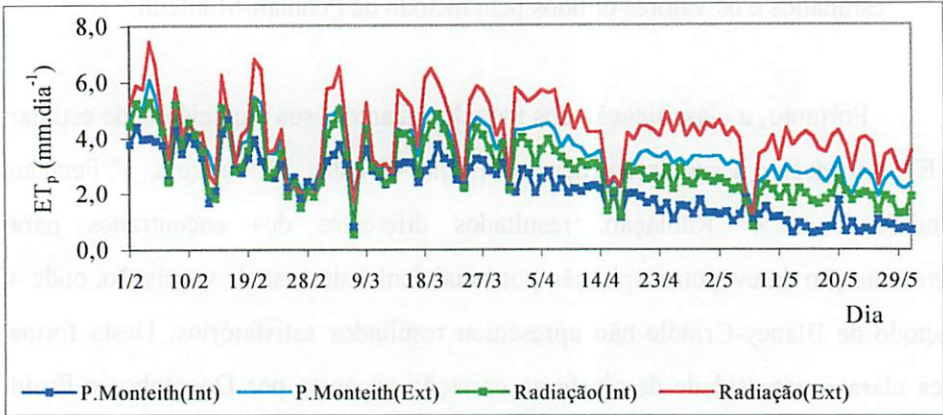


FIGURA 24 - Evolução dos valores diários de  $ET_p$ , estimados pelos métodos de Penman-Monteith e de Radiação, obtidos dentro e fora da casa de vegetação.

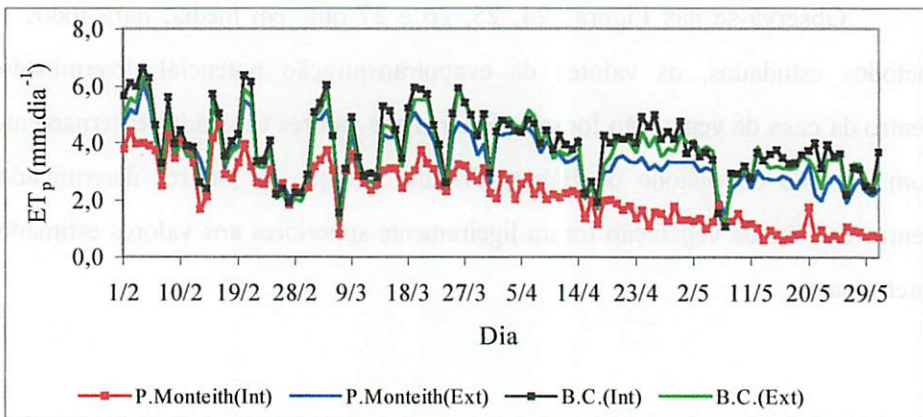


FIGURA 25 - Evolução dos valores diários de  $ET_p$ , estimados pelos métodos de Penman-Monteith e de Blaney-Criddle, determinados dentro e fora da casa de vegetação.

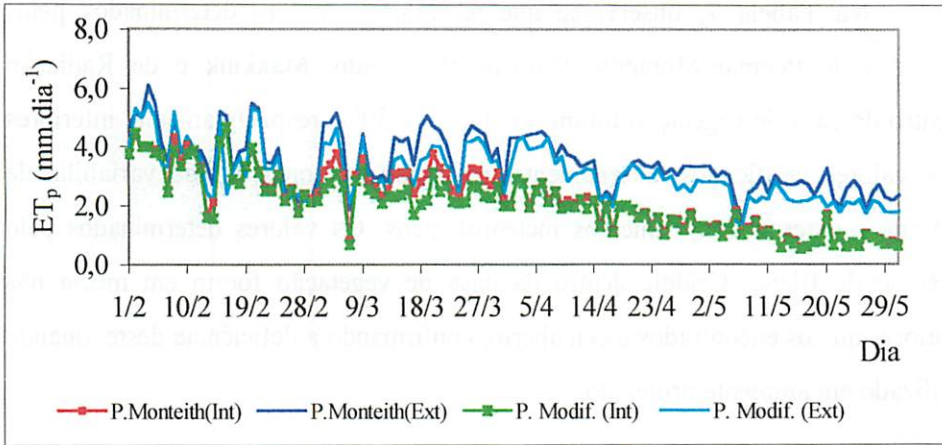


FIGURA 26 - Evolução dos valores diários de  $ET_p$ , estimados pelos métodos de Penman-Monteith e de Penman modificado, determinados dentro e fora da casa de vegetação.

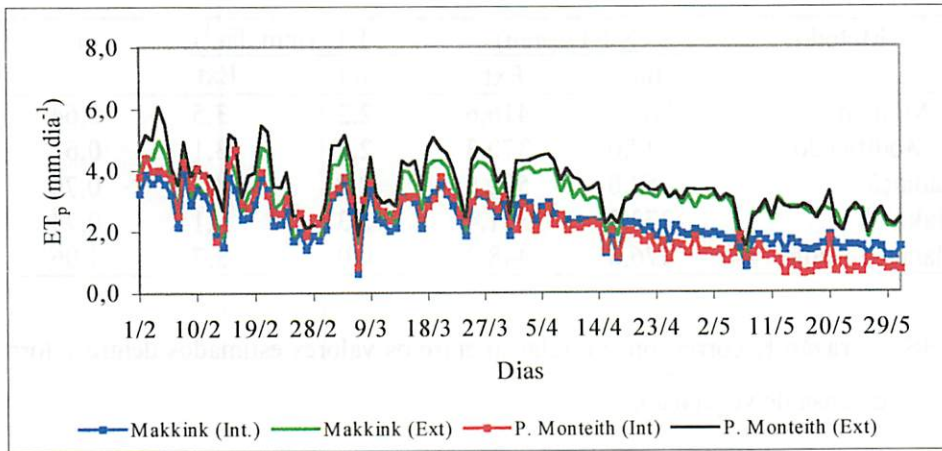


FIGURA 27 - Evolução dos valores diários de  $ET_p$ , estimados pelos métodos de Penman-Monteith e de Makkink, determinados dentro e fora da casa de vegetação.

Na Tabela 7, observa-se que os valores de  $ET_p$  determinados pelos métodos de Penman-Monteith, Penman modificado, Makkink e de Radiação dentro da casa de vegetação foram 36, 33, 26 e 30%, respectivamente, inferiores aos valores verificados externamente, refletindo as condições de variabilidade interna e externa dos elementos meteorológicos. Os valores determinados pelo método de Blaney-Criddle dentro da casa de vegetação foram em media 6% maiores que os encontrados a céu aberto, confirmando a deficiência deste, quando utilizado em ambiente protegido.

TABELA 7 - Valores totais e médios diários de evapotranspiração potencial determinados dentro e fora da casa de vegetação para cada método estudado, e a razão K.

Método	$\Sigma ET_p$ (mm)		$ET_p$ (mm.dia <sup>-1</sup> )		K
	Int.	Ext.	Int.	Ext	
P. Monteith	267,7	416,6	2,2	3,5	0,64
P. Modificado	247,0	370,3	2,1	3,1	0,67
Radiação	352,0	502,8	2,9	4,2	0,70
Makkink	273,2	371,4	2,3	3,1	0,74
Blaney-Criddle	476,8	448,2	4,0	3,7	1,06

OBS.: A razão K corresponde à relação entre os valores estimados dentro e fora da casa de vegetação.

Os valores de evapotranspiração potencial diários determinados pelos métodos estudados, internamente e externamente à casa de vegetação, encontram-se nas Tabelas 1A e 2A.

## 5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, pode-se chegar às seguintes conclusões:

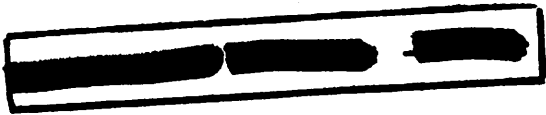
1. Verificou-se no interior da casa de vegetação uma redução de cerca de 26% dos valores de radiação solar global, devido à perda de transmissividade decorrente do plástico, um polietileno de baixa densidade de 150  $\mu\text{m}$ .
2. Os valores de evapotranspiração potencial obtidos dentro da casa de vegetação, foram inferiores aos encontrados a céu aberto, para todos os métodos estudados, com exceção do modelo de Blaney-Criddle.
3. Os métodos de Blaney-Criddle, Radiação, Makkink, tanque Classe A e do Atmômetro modificado SOILCONTROL obtiveram valores maiores de  $ET_p$  em relação ao método de Penman-Monteith, enquanto os valores de  $ET_p$  determinados pelo método de Penman modificado, foram menores que os determinados pelo método padrão (Penman-Monteith).
4. Os métodos de Penman modificados e Makkink apresentaram um excelente desempenho na estimativa da evapotranspiração potencial, com correlações e índices de ajuste altos comparados ao método padrão, para todos os períodos estudados, no interior de casa de vegetação.
5. Os métodos de Blaney-Criddle e do Atmômetro modificado SOILCONTROL não estimaram com precisão a  $ET_p$  para todos os períodos estudados, dentro

da casa de vegetação, quando comparados com o método de Penman-Monteith.

6. Para fora da casa de vegetação (céu aberto), o método de Blaney-Criddle apresentou bons resultados na estimativa da evapotranspiração potencial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O. Reference evapotranspiration factors. **Journal of Irrigation and Drainage engineering**, New York, v.117, n.5, p.758-72, 1991.
- ALLEN, R. G.; JENSEN, M. E.; WRIGHT, J. L.; BURMAN, R. D. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, p.650-62, 1989.
- ALTENHOFEN, J. A modified atmometer for on-farm evapotranspiration determination. In CONFERENCE ON ADVANCES IN EVAPOTRANSPIRATION. Chicago, 1985. **Proceedings**. Sr. Joseph: ASAE, 1985.p.177-184.
- BURIOL, G. A.; STRECK, N. A.; PETRY, C. Transmissividade à radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. **Ciência Rural**, Santa Maria: v.25, n.1, p.1-4, 1993.
- BURMAN, R. D.; NIXON, P. R.; WRIGHT, J. L.; PRUITT, W. O. Water requirements. In: JENSEN, M. E., **Design and operation of farm irrigation system**. St. Joseph: ASAE, p.189-232, 1983.
- CHANG, J. **Climate and agriculture**. Chicago: Aldine Publishing, 1971. 296 p.



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

FARIAS, J. R. B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S. R.; BERLATO, M.A. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.31-36, 1993.

FREVERT, D. K. Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. **Journal of Irrigation and Drainage engineering**, New York, v.109, n.2, p.265-70, 1983.

GLOVER, J.; McCULLOCH, J. S. F., The empirical relation between solar and hours of sunshine. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.84 p.172-175, 1958.

HARGREAVES, G. H. Estimation of FAO evaporatranspiration coefficient. **Journal of Irrigation and Drainage engineering**, New York, v.110, n.2, p.257-59, 1984.

HASHEMI, F.; HABIBIAN, M. T. Limitation of temperature-based methods in estimating crop evapotranspiration in arid-zone agricultural development projects. **Agricultural meteorology**, Amsterdam, v.20, n.3, p.237-47, 1977.

JENSEN, M. E. **Consumptive use of water and irrigation water requirements.** New York: ASCE, 1974. 215 p.

- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332p.
- JOLLIET, O.; BAILEY, B. J. The effects of climate on tomato transpiration in greenhouses: Measurements and model comparisons. **Agricultural and forest meteorology**, v. 58, p.43-62, 1992.
- JONES, H. G. **Plants and microclimate**. Cambridge: University Press 2° ed, 1992, 428 p.
- MATZZENAUER, R.; MALUF, J. R.; SUTILI, V.R. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura para o feijão. 1991. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7, Viçosa, 1991. **Anais...** Viçosa: SBA, 1991. p.235-236.
- OLIVEIRA, M. R. V. O Emprego de casas de vegetação no Brasil: Vantagens e Desvantagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.8, p.1049-1060, 1995.
- PEREIRA, A. S.; COELHO, R. D. Determinação da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) através de atmômetros modificados em condições tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21, Santa Maria, 1992. **Anais...** Santa Maria: SBEA, 1992. p.637-647.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997, 183 p.



- PEREIRA, F. A., Desempenho do modelo de Penman-Monteith e dois evaporímetros na estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) em relação a um lisímetro de pesagem. Piracicaba: ESALQ, 1998. 87 p. (Tese de Mestrado em Engenharia Agrícola)**
- PRADOS, N.C. Contribución al estudio de los cultivos enarenados en Almeria: necesidades hidricas y extracción del nutrientes del cultivo de tomate de crecimiento indeterminado en abrigo de polietileno. Almeria: Espana, 1986, 195p.**
- ROBLEDO, F. P.; MARTIN, L.V. Aplicación de los plásticos en la agricultura. Madri: Mundi-Prensa, 1981. 552p.**
- RODRIGUES, T. C., Construção e teste de casa de vegetação para a produção de alface na região de Viçosa - MG. Viçosa: UFV, 1997. 61 p. (Tese de Mestrado em Engenharia Agrícola).**
- ROSENBERG, N. J. Microclimate: The biological environment. New York: John Wiley & Sons, 1974. 315 p.**
- SCATOLINI, M. E. Estimativa da evapotranspiração da cultura de crisântemo em estufa a partir de elementos meteorológicos. Piracicaba: ESALQ, 1996. 71 p. (Tese de Mestrado em Engenharia Agrícola).**
- SEDIYAMA, G. C. Necessidades de água para os cultivos. Brasília: ABEAS, 1988. 143 p.**

SEEMAN, J. Greenhouse climate. In: SEEMAN, *et al.*, **Agrometeorology**. New York: Springer-Verlag, p. 167-178, 1979.

SMITH, M. (Ed.) **Report on the consultation on procedures for revision of FAO guidelines for predictions of crop water requirements**. Rome: FAO, 1991. 45p.

TANAKA, M.; GENTA, H. **Control del medio ambiente bajo invernadero y tunel plástico**. Solto: Uruguay: Estación Experimental de Citricultura, 61p. 1982.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v.38, n.1, p.55-94, 1948.

TANNER, C. B. Measurement of evapotranspiration. In: HAGAN, R.; HAISE, H. R.; EDMISTER, T. W., Eds. **Irrigation of agricultural lands**, Madison: 1967. p. 320-29.

VILLA NOVA, N. A.; RICHARD, K. Evaporação e evapotranspiração. In: RAMOS, F. *et al.* **Engenharia Hidrológica**. Rio de Janeiro: ABRH/UFRJ, 1989. Cap 3, p. 145-197.

WILLMOTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIS, R.E. Statistics for evaluation and comparasion of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90 n. C5. p.8995-9005, 1985.

WRIGHT, J. L. Evapotranspiration and Irrigation water requirements. In:  
AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Advances in  
evapotranspiration**. Chicago, 1985. p. 103-105.

## ANEXOS

### ANEXO A

Página

TABELA 1A	Valores diários de evapotranspiração potencial estimados pelos métodos de Penman-Monteith, T.C.A., Atmômetro modificado, Radiação, Makkink, Penman modificado e Blaney-Criddle, dentro da casa de vegetação.....	72
TABELA 2A	Valores diários de evapotranspiração potencial estimados pelos métodos de Penman-Monteith, Radiação, Makkink, Penman modificado e Blaney-Criddle, fora da casa de vegetação.....	76

TABELA 1A - Valores diários de evapotranspiração potencial estimados pelos métodos de Penman-Monteith, T.C.A., Atmômetro modificado, Radiação, Makkink, Penman modificado e Blaney-Criddle, dentro da casa de vegetação.

Data	P. Monteith (mm)	T.C.A (mm)	Atmôm. (mm)	Radiação (mm)	Makkink (mm)	P. Modif. (mm)	B.C. (mm)
1/2	3,8	4,8	7,5	4,4	3,2	3,7	5,7
2/2	4,4	5,5	8,7	5,2	3,9	4,4	6,1
3/2	4,0	5,0	7,9	4,9	3,6	4,0	6,0
4/2	4,0	4,6	9,8	5,3	3,8	4,0	6,6
5/2	3,9	4,5	9,8	4,9	3,5	3,8	6,3
6/2	3,7	5,2	8,7	4,2	3,2	3,7	4,6
7/2	2,5	3,4	5,0	2,4	2,1	2,5	3,3
8/2	4,3	5,3	8,5	5,2	3,9	3,9	5,6
9/2	3,4	4,3	6,8	3,7	2,8	3,3	4,0
10/2	4,0	5,7	9,1	4,5	3,4	3,7	4,4
11/2	3,8	4,6	7,6	4,1	3,2	3,8	3,9
12/2	3,3	4,9	7,7	3,5	2,8	3,2	3,8
13/2	1,7	3,2	4,8	2,1	1,9	1,6	2,6
14/2	2,1	5,3	9,6	1,8	1,5	1,6	2,4
15/2	4,2	6,2	9,7	5,1	3,8	4,2	5,7
16/2	4,7	6,0	8,0	4,4	3,3	4,7	5,0
17/2	2,9	3,5	5,5	2,8	2,4	2,9	3,5
18/2	2,7	3,3	5,5	3,0	2,4	2,7	4,1
19/2	3,3	3,5	6,1	3,5	2,9	3,3	4,3
20/2	3,9	5,7	10,0	5,2	3,7	3,9	6,4
21/2	3,2	4,7	9,2	4,7	3,3	3,1	6,1
22/2	2,6	2,5	5,8	2,6	2,2	2,5	3,3
23/2	2,6	2,9	5,8	2,7	2,2	2,5	3,4
24/2	3,1	3,1	6,7	3,5	2,7	3,0	4,1
25/2	2,2	4,1	4,2	1,9	1,7	2,1	2,2
26/2	2,6	2,8	5,5	2,4	2,0	2,5	2,4
27/2	1,8	1,1	2,8	1,5	1,4	1,8	1,9
28/2	2,4	2,7	4,0	2,1	1,8	2,4	2,2
1/3	2,2	2,5	4,0	1,9	1,7	2,1	2,2
2/3	2,4	2,2	5,0	2,4	2,0	2,2	2,9
3/3	3,2	4,7	7,3	4,1	3,1	2,6	5,1
4/3	3,4	4,8	8,3	4,5	3,3	2,7	5,4

Continua...

TABELA 1A. Cont.

Data	P. Monteith (mm)	T.C.A (mm)	Atmôm. (mm)	Radiação (mm)	Makkink (mm)	P. Modif. (mm)	B.C. (mm)
5/3	3,7	6,7	9,7	5,0	3,6	3,0	6,0
6/3	3,0	2,9	6,2	3,4	2,6	2,6	4,2
7/3	0,8	1,3	1,3	0,5	0,6	0,7	1,6
8/3	3,0	2,0	5,2	3,0	2,5	2,8	3,1
9/3	3,6	2,4	7,7	4,3	3,3	3,2	4,9
10/3	2,8	4,0	5,3	2,9	2,4	2,6	3,5
11/3	2,6	2,6	4,8	2,7	2,3	2,4	2,8
12/3	2,3	3,6	4,6	2,4	2,0	2,1	2,9
13/3	2,6	2,8	4,6	2,5	2,1	2,3	2,8
14/3	3,0	4,6	6,8	4,1	3,1	2,3	5,3
15/3	3,1	3,0	7,1	4,1	3,1	2,4	5,1
16/3	3,1	4,4	6,7	3,9	2,9	2,5	4,5
17/3	2,4	4,0	5,8	2,7	2,1	1,7	3,4
18/3	2,8	5,3	7,0	4,0	3,0	2,0	5,2
19/3	3,0	3,1	9,0	4,4	3,2	2,2	5,9
20/3	3,7	4,4	7,7	4,8	3,5	3,1	5,9
21/3	3,3	4,3	7,8	4,3	3,2	2,5	5,7
22/3	3,1	4,0	6,8	3,7	2,8	2,7	4,6
23/3	2,5	3,7	5,5	2,8	2,3	2,1	3,9
24/3	2,3	2,2	3,8	2,2	1,8	2,1	2,6
25/3	2,9	4,3	6,2	3,7	2,9	2,1	5,0
26/3	3,2	3,9	7,8	4,3	3,2	2,7	5,9
27/3	3,2	3,8	7,3	4,1	3,1	2,6	5,4
28/3	2,8	4,1	6,7	3,6	2,8	2,3	5,0
29/3	2,7	4,4	5,2	3,0	2,5	2,3	4,3
30/3	3,1	4,0	6,2	3,8	2,9	2,6	5,0
31/3	2,2	4,6	5,0	2,1	1,8	2,0	2,9
1/4	2,0	4,0	6,5	3,8	2,8	2,0	4,4
2/4	2,9	7,2	7,0	4,0	3,0	2,9	4,8
3/4	2,7	4,1	7,0	3,8	2,9	2,7	4,6
4/4	2,0	3,4	6,0	3,1	2,3	2,0	4,4
5/4	2,5	4,1	6,5	3,6	2,8	2,5	4,4
6/4	2,8	2,9	6,8	3,9	2,9	2,8	4,8
7/4	2,2	3,7	8,0	3,5	2,5	2,1	4,7
8/4	2,5	3,5	6,3	3,3	2,5	2,5	4,0

Continua...

TABELA 1A. Cont.

Data	P. Monteith (mm)	T.C.A (mm)	Atmôm. (mm)	Radiação (mm)	Makkink (mm)	P. Modif. (mm)	B.C. (mm)
9/4	2,0	3,6	6,7	3,1	2,4	1,9	4,4
10/4	2,2	3,5	6,0	2,9	2,2	2,0	3,8
11/4	2,1	2,7	6,2	3,1	2,4	2,0	4,3
12/4	2,2	4,6	6,0	3,0	2,3	2,2	3,9
13/4	2,3	2,0	6,7	3,1	2,3	1,9	3,8
14/4	2,2	3,1	6,2	2,9	2,2	2,2	4,0
15/4	1,4	1,4	3,0	1,4	1,3	1,3	2,2
16/4	2,0	2,3	4,2	2,1	1,8	2,0	2,6
17/4	1,1	3,5	2,8	1,2	1,1	1,1	1,9
18/4	2,0	3,1	5,5	3,0	2,3	2,0	4,3
19/4	2,0	3,2	5,5	2,8	2,3	2,0	4,0
20/4	1,9	4,1	5,7	2,8	2,2	1,8	4,2
21/4	1,6	3,3	5,2	2,5	2,0	1,6	4,1
22/4	1,8	3,5	5,8	2,6	2,1	1,7	4,2
23/4	1,4	3,5	4,8	2,3	1,8	1,3	4,0
24/4	1,6	3,1	5,8	2,9	2,2	1,6	4,9
25/4	1,1	2,6	5,5	2,2	1,7	1,0	4,6
26/4	1,6	3,4	6,2	2,9	2,2	1,5	5,0
27/4	1,5	2,9	5,7	2,4	1,9	1,4	4,1
28/4	1,3	2,9	6,0	2,3	1,8	1,2	4,4
29/4	1,8	2,6	5,3	2,7	2,0	1,7	4,1
30/4	1,3	2,7	6,2	2,6	1,9	1,3	4,8
1/5	1,3	2,5	5,8	2,4	1,9	1,3	3,6
2/5	1,3	3,4	6,5	2,5	1,9	1,2	3,9
3/5	1,3	1,9	5,9	2,4	1,8	1,2	3,5
4/5	1,0	1,7	5,3	2,1	1,7	1,0	3,7
5/5	1,2	0,9	5,5	2,2	1,7	1,2	3,4
6/5	1,8	2,0	4,8	1,7	1,4	1,7	1,5
7/5	1,1	3,4	2,0	0,8	0,8	1,0	1,1
8/5	1,2	1,2	5,2	2,0	1,7	1,2	2,9
9/5	1,5	2,9	5,2	2,3	1,8	1,4	2,9
10/5	1,2	1,0	5,2	2,1	1,7	1,0	3,2
11/5	1,2	3,2	4,8	1,8	1,5	1,1	2,8
12/5	1,0	0,8	5,5	2,2	1,7	1,0	3,7
13/5	0,6	3,1	4,8	1,6	1,3	0,6	3,4

Continua...

TABELA 1A. Cont.

Data	P. Monteith (mm)	T.C.A (mm)	Atmôm. (mm)	Radiação (mm)	Makkink (mm)	P. Modif. (mm)	B.C. (mm)
14/5	0,9	3,6	5,3	2,2	1,7	0,8	3,6
15/5	0,8	0,7	5,2	2,0	1,6	0,7	3,8
16/5	0,6	2,4	5,0	1,7	1,4	0,5	3,5
17/5	0,6	2,2	4,3	1,6	1,3	0,6	3,3
18/5	0,8	3,0	4,7	1,8	1,4	0,8	3,3
19/5	0,8	1,6	5,8	2,0	1,6	0,8	3,6
20/5	1,7	1,6	6,2	2,5	1,9	1,6	3,7
21/5	0,7	4,2	4,5	2,1	1,5	0,6	4,0
22/5	1,0	1,7	4,7	1,8	1,4	0,9	3,1
23/5	0,6	2,0	5,5	2,0	1,5	0,6	3,9
24/5	0,8	4,5	5,7	2,0	1,5	0,7	3,5
25/5	0,6	1,7	5,0	1,9	1,5	0,6	3,6
26/5	1,1	2,0	3,5	1,4	1,2	1,0	2,2
27/5	0,9	2,6	6,2	1,9	1,5	0,9	3,1
28/5	0,9	1,1	4,8	1,8	1,4	0,8	3,1
29/5	0,7	1,6	4,0	1,3	1,1	0,7	2,5
30/5	0,8	1,7	4,0	1,3	1,2	0,7	2,4
31/5	0,7	1,7	5,5	1,9	1,4	0,6	3,7
Total	267,7	401,8	724,2	352,0	273,2	247,0	476,8
Média	2,2	3,3	6,0	2,9	2,3	2,1	4,0



TABELA 2A - Valores diários de evapotranspiração potencial estimados pelos métodos de Penman-Monteith, Radiação, Makkink, Penman modificado e Blaney-Criddle, fora da casa de vegetação.

Data	P.Monteith (mm)	Radiação (mm)	Makkink (mm)	P. Modif. (mm)	B.C. (mm)
1/2	4,6	5,2	4,0	4,0	5,0
2/2	5,2	5,9	4,5	5,3	5,6
3/2	5,0	5,8	4,4	5,0	5,4
4/2	6,1	7,4	4,9	5,5	6,3
5/2	5,5	6,6	4,5	5,0	5,8
6/2	4,1	4,5	3,5	3,4	4,2
7/2	3,5	3,2	2,7	3,3	3,0
8/2	4,9	5,8	4,5	5,2	5,0
9/2	3,8	4,1	3,1	3,7	3,6
10/2	4,1	4,6	3,5	4,3	4,0
11/2	3,8	4,0	3,2	3,9	3,5
12/2	3,9	4,2	3,2	3,6	3,6
13/2	3,4	2,7	2,2	2,5	2,5
14/2	2,7	2,4	1,8	2,1	2,4
15/2	5,2	6,3	4,4	4,9	5,5
16/2	5,0	4,8	3,9	2,4	4,6
17/2	3,1	3,0	2,7	3,1	3,2
18/2	3,8	4,1	3,3	3,6	3,7
19/2	3,9	4,3	3,5	3,0	3,8
20/2	5,5	6,8	4,7	5,3	5,9
21/2	5,3	6,4	4,6	5,2	5,6
22/2	3,5	3,5	2,7	3,2	3,2
23/2	3,4	3,6	2,9	3,2	3,1
24/2	3,9	4,3	3,3	3,7	3,8
25/2	2,5	2,0	1,8	2,1	2,1
26/2	2,6	2,3	2,0	2,3	2,2
27/2	2,1	2,0	1,8	2,4	1,8
28/2	2,2	2,0	1,8	2,2	2,1
1/3	2,2	1,9	1,7	2,1	1,9
2/3	2,9	3,0	2,5	2,6	2,5

Continua...

TABELA 2A. Cont.

Data	P.Monteith (mm)	Radiação (mm)	Makkink (mm)	P. Modif. (mm)	B.C. (mm)
3/3	4,8	5,8	4,2	4,1	4,9
4/3	4,8	5,8	4,2	4,1	5,1
5/3	5,1	6,5	4,7	4,6	5,8
6/3	4,3	4,1	3,2	3,4	4,2
7/3	1,9	1,7	1,6	2,1	1,2
8/3	2,9	3,0	2,5	2,8	2,8
9/3	4,4	5,3	4,1	4,3	4,7
10/3	3,2	3,2	2,7	2,9	3,3
11/3	2,9	3,0	2,4	2,7	2,6
12/3	3,0	3,1	2,6	2,9	2,7
13/3	2,8	2,7	2,2	2,3	2,4
14/3	4,3	5,7	4,0	3,5	4,6
15/3	4,2	5,4	3,9	3,7	4,5
16/3	4,3	5,1	3,5	3,2	4,1
17/3	3,3	3,7	2,7	2,6	3,2
18/3	4,7	6,1	4,1	3,5	4,7
19/3	5,0	6,5	4,3	3,6	5,5
20/3	4,7	6,0	4,3	4,0	5,5
21/3	4,5	5,5	4,1	4,0	5,5
22/3	4,1	4,7	3,4	3,4	4,4
23/3	3,3	3,6	2,9	3,1	3,5
24/3	2,3	2,2	1,9	2,3	2,3
25/3	4,3	5,3	4,0	4,2	4,8
26/3	4,7	5,8	4,2	4,2	5,9
27/3	4,6	5,7	4,2	4,3	5,4
28/3	4,4	5,2	4,0	4,0	4,9
29/3	3,6	4,1	3,2	3,5	4,1
30/3	3,9	4,6	3,6	3,5	4,8
31/3	2,6	2,5	2,1	2,4	2,7
1/4	4,3	5,8	3,9	3,3	4,6
2/4	4,3	5,5	4,0	4,2	4,8
3/4	4,3	5,3	4,1	4,3	4,9

Continua...

TABELA 2A. Cont.

Data	P.Monteith (mm)	Radiação (mm)	Makkink (mm)	P. Modif. (mm)	B.C. (mm)
4/4	4,4	5,5	3,9	3,9	4,6
5/4	4,4	5,7	4,0	3,9	4,5
6/4	4,5	5,6	4,0	4,0	5,1
7/4	4,3	5,7	4,0	4,3	4,9
8/4	3,7	4,4	3,3	3,4	4,1
9/4	4,0	5,2	3,7	3,7	4,3
10/4	3,7	4,3	3,1	2,8	3,4
11/4	3,6	4,9	3,3	3,1	3,7
12/4	3,3	4,2	3,0	3,1	3,6
13/4	3,4	4,2	3,1	3,2	3,7
14/4	3,5	4,2	3,0	3,2	4,1
15/4	2,2	2,3	1,9	2,1	2,0
16/4	2,5	2,6	2,2	2,4	2,5
17/4	2,2	2,2	1,8	1,9	1,7
18/4	3,0	4,2	3,0	2,9	3,2
19/4	3,0	3,9	3,1	3,1	3,5
20/4	3,4	4,4	3,3	3,4	4,1
21/4	3,5	4,4	3,2	3,2	4,2
22/4	3,3	4,2	3,2	2,9	4,0
23/4	3,3	4,0	3,1	2,9	3,7
24/4	3,5	4,9	3,4	3,2	4,4
25/4	3,1	4,2	3,1	2,9	3,9
26/4	3,2	4,8	3,3	3,0	4,2
27/4	3,0	4,1	2,9	2,5	3,5
28/4	3,3	4,5	3,2	2,7	3,8
29/4	3,3	4,0	2,7	2,5	3,7
30/4	3,3	4,5	3,1	2,9	4,3
1/5	3,3	4,3	3,0	2,8	4,0
2/5	3,3	4,6	3,2	2,8	4,1
3/5	3,0	4,1	2,9	2,8	3,7
4/5	3,1	4,3	3,1	2,8	3,9
5/5	3,0	3,9	2,7	2,7	3,7

Continua...

TABELA 2A. Cont.

Data	P.Monteith (mm)	Radiação (mm)	Makkink (mm)	P. Modif. (mm)	B.C. (mm)
6/5	2,0	1,7	1,3	1,5	1,7
7/5	1,5	1,2	1,1	1,3	1,1
8/5	2,4	3,4	2,6	2,3	2,8
9/5	2,6	3,6	2,5	2,1	2,8
10/5	3,0	4,1	2,8	2,3	3,1
11/5	2,4	3,2	2,3	2,2	2,8
12/5	3,0	4,3	3,1	2,8	3,9
13/5	2,8	3,7	2,8	2,5	3,4
14/5	2,7	4,0	2,8	2,2	3,1
15/5	2,7	4,2	2,8	2,1	3,2
16/5	2,8	4,0	2,7	2,2	3,1
17/5	2,7	3,6	2,5	2,2	3,1
18/5	2,4	3,5	2,5	2,3	3,1
19/5	2,7	4,1	2,8	2,3	3,5
20/5	3,3	4,3	2,7	1,9	3,4
21/5	2,2	3,7	2,6	2,1	3,1
22/5	2,0	2,8	2,0	1,8	2,4
23/5	2,6	3,9	2,6	2,1	3,4
24/5	2,8	4,0	2,6	2,0	3,4
25/5	2,6	3,8	2,7	2,2	3,4
26/5	1,9	2,3	1,8	1,7	2,1
27/5	2,5	3,4	2,4	2,2	3,3
28/5	2,7	3,5	2,6	2,1	3,3
29/5	2,3	2,9	2,1	1,8	2,7
30/5	2,2	2,7	2,1	1,8	2,3
31/5	2,4	3,5	2,4	1,8	3,0
Total	416,6	502,8	371,4	370,3	448,2
Média	3,5	4,2	3,1	3,1	3,7