

**UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES TANQUES
EVAPORIMÉTRICOS EM AMBIENTE
PROTEGIDO**

RAIMUNDO PINHEIRO LOPES FILHO

2000

RAIMUNDO PINHEIRO LOPES FILHO

**UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES TANQUES EVAPORIMÉTRICOS EM
AMBIENTE PROTEGIDO**

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 a obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Geraldo Magela Pereira

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

2000

Ficha catalográfica preparada pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da UFLA

Lopes Filho, Raimundo Pinheiro

Utilização de diferentes tanques evaporimétricos em ambiente protegido / Raimundo Pinheiro Lopes Filho.--Lavras: UFLA, 2000.
79p.: il.

Orientador: Geraldo Magela Pereira
Dissertação (Mestrado) - UFLA
Bibliografia.

1. Tanque evaporimétrico. 2. Ambiente protegido. 3. Evapotranspiração. 4. Penman-Monteith I Universidade Federal de Lavras. II. Título

CDD-631.587

RAIMUNDO PINHEIRO LOPES FILHO

**UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES TANQUES EVAPORIMÉTRICOS EM
AMBIENTE PROTEGIDO**

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 a obtenção do título de "Mestre".


APROVADA em 24 de agosto de 2000

Prof. Antônio Augusto Aguilar Dantas

UFLA

Prof. Elio Lemos da Silva

UFLA


Prof. Geraldo Magela Pereira

UFLA

(Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS - BRASIL

**À minha querida Luiza, à minha mãe e aos meus
irmãos, pelo amor e incentivo, dedico.**

AGRADECIMENTOS

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, em especial à EMBRAPA AMAPÁ, pela concessão de todo o apoio necessário à realização desta importante etapa do meu aperfeiçoamento profissional.

Ao professor Geraldo Magela Pereira, pela valiosa orientação ao longo do curso.

Ao professores do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, pelos proveitosos ensinamentos.

Aos colegas Júlio Fernandes César, Felizardo Adenilson Rocha e Carlos Rogério Melo, pela amizade construída e consolidada durante o curso.

Ao aluno de graduação Rodrigo Tenório de Vasconcelos, pela colaboração prestada durante a fase de coleta de dados.

Ao Setor de Olericultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, pela cessão da casa de vegetação.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1 O cultivo de plantas sob cobertura de plástico	4
2.2 Evapotranspiração.....	6
2.2.1 Histórico e conceitos	6
2.2.2 Principais fatores que influenciam a evapotranspiração	9
2.2.3 Métodos de estimativa da evapotranspiração	11
2.2.3.1 Método do tanque Classe A	14
2.2.3.2 Método de Penman-Monteith-FAO	18
2.2.4 Estimativa da evapotranspiração em ambiente protegido	21
3 MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1 Caracterização da área experimental	26
3.2 Estimativa da evapotranspiração de referência	29
3.2.1 Calor latente de evaporação	30
3.2.2 Declividade da curva de pressão de saturação de vapor	30
3.2.3 Pressão de saturação do vapor d'água à temperatura do ar	30
3.2.4 Saldo de radiação (R_n)	31
3.2.5 Saldo de radiação de ondas curtas	31
3.2.6 Radiação solar global	31
3.2.7 Saldo de radiação de ondas longas	31
3.2.8 Comprimento astronômico do dia	32
3.2.9 Ângulo horário do pôr do sol.....	32
3.2.10 Declinação solar	33

3.2.11 Temperatura virtual máxima diária.....	33
3.2.12 Temperatura virtual mínima diária.....	33
3.2.13 Pressão parcial de vapor	34
3.2.14 Coeficiente psicrométrico	34
3.2.15 Constante psicrométrica modificada	34
3.2.16 Fluxo de calor no solo	35
3.3 Cálculo dos coeficientes dos tanques (Kp)	35
3.4 Calibração dos tanques evaporimétricos	36
3.5 Correlação entre as evaporações medidas nos evaporímetros	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 Variação dos elementos meteorológicos no interior da casa de vegetação, durante o período experimental	38
4.2 Evapotranspiração de referência e evaporação nos tanques evaporimétricos	40
4.3 Relação entre as evaporações medidas nos três evaporímetros	43
4.4 Calibração do tanque Classe A e valores específicos de Kp.....	49
4.5 Calibração do minitanque metálico e valores específicos de Kp.....	55
4.6 Calibração do minitanque de plástico e valores específicos de Kp...	60
5 CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS	74

RESUMO

LOPES FILHO, Raimundo Pinheiro. **Utilização de diferentes tanques evaporimétricos em ambiente protegido.** Lavras: UFLA, 2000. 79p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Agrícola, Irrigação e Drenagem)*

Tem aumentando no Brasil área de cultivos em ambiente protegido e os produtores não dispõem de informações técnicas sobre o consumo de água pelas plantas, as quais subsidiem um adequado manejo da irrigação dos vegetais cultivados nesse ambiente. Neste trabalho objetivou-se estimar a evapotranspiração de referência (ET_o) no interior de uma casa de vegetação e avaliar a evaporação ocorrida em três tanques evaporimétricos (tanque Classe A, minitanque metálico e minitanque de plástico), para os quais obteve-se coeficientes de tanque (K_p) necessários à estimativa da ET_o a partir dos valores de evaporação. O estudo foi conduzido em uma casa de vegetação com cobertura de plástico, situada na Universidade Federal de Lavras, na cidade de Lavras-MG, no período de fevereiro a maio de 2000. A ET_o foi estimada pelo método de Penman-Monteith-FAO, com base em dados meteorológicos coletados em uma estação agrometeorológica automática. A evaporação foi medida com um único micrômetro de gancho, assentado sobre poços tranquilizadores colocados no interior de cada tanque evaporimétrico. As evaporações medidas no minitanque metálico e minitanque de plástico foram, em média, superiores à evaporação do tanque Classe A em 13,82% e 6,60%, respectivamente. Os valores de coeficientes de tanque (K_p) variaram de 0,25 a 0,93 para o tanque Classe A, de 0,23 a 0,85 para o minitanque metálico e de 0,30 a 0,95 para o minitanque de plástico. Com a utilização dos coeficientes de tanque (K_p) obtidos neste estudo, é possível substituir o tanque Classe A pelo minitanque metálico ou minitanque de plástico, com a vantagem de se usar um equipamento de menor custo e manejo mais fácil, além de se obter um aumento da área útil de cultivo no interior de casas de vegetação.

Comitê de orientação: Geraldo Magela Pereira, DEG-UFLA (orientador)
Elio Lemos da Silva, DEG-UFLA

ABSTRACT

LOPES FILHO, Raimundo Pinheiro. Use of Different Evaporation Pans under Protected Environment. Lavras: UFLA, 2000. 79p. (Dissertation-Master of Science in Agricultural Engineering, Irrigation and Drainage)*

In Brazil there has been an increase in cultivated area under protected environment and the farmers do not have available information on water use by the plants that subsidize a suitable irrigation scheduling of plants under such condition. This study was aimed at estimating the Reference Crop Evapotranspiration (ET_o) inside a greenhouse and evaluating the evaporation measured in three evaporation pans (Class A Pan, Metallic Minipan and Plastic Minipan), which determined their pan coefficients (K_p) necessary for estimating ET_o from the evaporation data. The study took place inside a plastic covered greenhouse, at Federal University of Lavras, Lavras, State of Minas Gerais, Brazil, in the period between February and May/2000. ET_o was determined by the Penman-Monteith-FAO method with the use of meteorological data gathered from an automatic meteorological station. A single hooked micrometer screw, set on steadfast wells installed inside every evaporation pan measured evaporation. The mean evaporation rates measured in Metallic Minipan and Plastic Minipan were, respectively, 13.82% and 6.60% higher than that measured in Class A Pan. The K_p values varied from 0.25 to 0.93 for Class A Pan, from 0.23 to 0.85 for Metallic Minipan and from 0.30 to 0.95 for Plastic Minipan. By using the pan coefficients (K_p) found in this study it is possible to substitute Class A Pan by Metallic Minipan or Plastic Minipan, with the advantage of using an instrument of lower acquisition cost and easier handling, besides adding more useful area for cultivation inside greenhouses.

*Guidance committee: Geraldo Magela Pereira, DEG-UFLA (Major professor)
Elio Lemos da Silva, DEG-UFLA

1 INTRODUÇÃO

A técnica de irrigação é de grande importância para a agricultura brasileira, principalmente quando se considera que no país está havendo um aumento da área de cultivo em casas de vegetação (ambiente protegido), sendo a irrigação, na maioria das vezes, o único modo de se fornecer água às plantas cultivadas sob tais condições. Em razão desse aumento, vem crescendo também a demanda por conhecimentos relativos ao manejo da irrigação para as culturas produzidas em condições de ambiente protegido.

O fato de cobertura de plástico provocar modificações no balanço de radiação em relação ao ambiente externo, alterando portanto o consumo de água (evapotranspiração) das plantas cultivadas em ambiente protegido, faz com que algumas metodologias e resultados de pesquisas apropriados para ambiente aberto, sejam inadequados para cultivos protegidos. De acordo com Evangelista (1999), a evapotranspiração no interior de casas de vegetação é menor do que a verificada externamente devido à parcial opacidade da cobertura plástica à radiação solar e à redução da ação dos ventos, principais fatores que alteram a demanda evaporativa da atmosfera.

Apesar da importância dos cultivos em casas de vegetação, principalmente de hortaliças e plantas ornamentais, ainda são insuficientes os resultados de pesquisa que subsidiem o aproveitamento do potencial dessa tecnologia nas diferentes regiões climáticas do país. Nesse aspecto, há necessidade de serem quantificados, dentre outros, os efeitos dos fatores climáticos sobre o consumo de água das várias culturas e os níveis de umidade do solo capazes de promover uma produtividade ótima, sendo essas informações imprescindíveis para o correto controle da irrigação pelos operadores e técnicos de projetos de irrigação. A carência de tais informações apresenta-se como uma

das dificuldades que os produtores da região de Lavras têm encontrado ao adotarem cultivos em casas de vegetação. Disso resulta que, na maioria das vezes, a irrigação é feita com base apenas no senso prático dos irrigantes, por meio de práticas de manejo inadequadas.

Quanto ao consumo de água pelas plantas, normalmente têm sido utilizados diferentes métodos para se estimar a evapotranspiração das culturas. Como procedimento usual, inicialmente determina-se ou estima-se a evapotranspiração potencial de uma cultura de referência. Em uma segunda etapa, essa evapotranspiração, chamada de evapotranspiração de referência (ETo), é então multiplicada por um coeficiente (Kc) específico da cultura de interesse, obtendo-se assim a evapotranspiração potencial dessa cultura a partir da evapotranspiração de referência. Esse é o chamado processo de duas etapas para se determinar a evapotranspiração de uma cultura. Finalmente, tendo-se a estimativa do volume de água evapotranspirado potencialmente pela cultura de interesse e conhecendo-se as características físico-hídricas do solo onde ela é cultivada, pode-se estimar a lâmina de irrigação a ser aplicada em seu cultivo.

Dentre os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, visando o correto manejo da irrigação, o tanque evaporimétrico Classe A-FAO tem sido muito usado, principalmente devido à sua praticidade e precisão aceitável. Atualmente, esse tipo de tanque também vem sendo empregado no interior de casas de vegetação para o controle da irrigação, entretanto, por ser um equipamento de custo relativamente elevado e o espaço no interior das casas de vegetação ser limitado, tem-se procurado, como alternativa, adotar tanques de evaporação com dimensões reduzidas.

A agricultura em ambiente protegido no Brasil passou a ganhar importância somente nas últimas duas décadas, sendo, portanto, uma prática recente. Em razão disso, são incipientes os estudos de evapotranspiração específicos para cultivos nesse ambiente, capazes de subsidiar um correto

manejo de irrigação. Assim, neste trabalho propõe-se obter informações relativas à evapotranspiração de referência (ET_o) em condições de ambiente protegido, na região de Lavras-MG, durante os meses de verão-outono. Para tanto, foram estabelecidos os seguintes objetivos:

1-Estimar a evapotranspiração de referência (ET_o) específica para o interior de uma casa de vegetação, utilizando-se uma estação agrometeorológica automática para a aquisição das variáveis climáticas necessárias à determinação da ET_o pelo Método de Penman-Monteith-FAO, considerado padrão.

2-Propor a utilização de três diferentes tipos de tanques evaporimétricos: tanque Classe A, minitanque metálico e minitanque de plástico em condições de ambiente protegido, com o fim de recomendar o uso dos mesmos na estimativa da ET_o.

3-Avaliar o nível de correlação entre a evaporação medida no tanque Classe A-FAO e as medidas no minitanque metálico e no minitanque de plástico, no interior da casa de vegetação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O cultivo de plantas sob cobertura de plástico

Ao analisar a plasticultura no país, Martins (1996) considera que, a despeito dos recentes avanços obtidos com essa prática, é necessário, em uma perspectiva de longo prazo, entender o cultivo sob plástico como um agrossistema e seus vínculos com os princípios de sustentabilidade, ou seja, uma atividade agrícola que considere as dimensões sociais, econômicas e ambientais. Isso exige contemplar as características agroclimáticas e de exploração agrícola, bem como os limites socioeconômicos e tecnológicos das distintas realidades regionais. Nesse contexto, o autor faz alusão à Região Sudeste, citando que, nela a plasticultura tem tido como objetivo principal as espécies de importância econômica e que tradicionalmente já são cultivadas a campo, ampliando os períodos tradicionais de cultivo. Existe ainda a possibilidade de se cultivar espécies que normalmente somente seriam viáveis em regiões de climas mais favoráveis.

Oliveira (1995) cita as vantagens do uso dos ambientes fechados e semi-fechados no cultivo de plantas, esclarecendo que as casas de vegetação cobertas com plásticos podem proporcionar uma maior proteção às plantas contra fenômenos climáticos adversos tais como, geadas, granizo, excesso de chuva, sol muito forte durante o dia e queda acentuada da temperatura durante a noite. Elas também reduzem a lixiviação do solo e promovem uma adequada proteção contra pragas e doenças, além de permitir obter uma produção duas ou três vezes maior do que as obtidas em cultivos de campo, uma vez que as plantas cultivadas sob plástico não sofrem influência dos fatores negativos observados a céu aberto. O autor acrescenta que, na expansão dos cultivos de plantas

ornamentais e hortaliças em estufas, tem-se buscado maior produtividade, melhor qualidade e barateamento de produtos durante a entressafra.

De acordo com Fernandes, Folegatti e Pereira (1997), no interior das estufas cobertas com plástico as condições ambientais são bastante diferentes daquelas encontradas a céu aberto. A cobertura de plástico é impermeável aos líquidos, o que impede a entrada de água da chuva. Portanto, é de extrema importância um melhor conhecimento das exigências hídricas das plantas no interior de estufas, a fim de se aplicar corretamente a irrigação. Ressalte-se que a irrigação é, na maioria das vezes, o único modo de fornecer água às plantas cultivadas sob condições de estufa.

O principal objetivo da irrigação é proporcionar aos cultivos quantidade suficiente de água para prevenir o estresse hídrico, que pode causar redução na produção ou baixa qualidade do produto colhido. O momento de iniciar a irrigação, a duração e a quantidade de água a aplicar são determinados em função das condições climáticas, da capacidade de retenção de água do solo e das características da planta (estágio de crescimento e extensão do sistema radicular). A necessidade de irrigação pode ser determinada por vários métodos, quais sejam: observação da cultura, estresse hídrico das plantas, balanço de água no solo, potencial de água no solo ou na planta, medidas diretas do consumo de água pelas plantas (em lisímetros) ou estimadas através de informações climatológicas (Burman, 1983).

Moss et al. (1986) afirmam que, para o correto suprimento de água aos cultivos em estufa, são necessárias pelo menos duas informações: a) o balanço de energia no interior da estufa e b) as exigências hídricas das plantas em cada estágio de crescimento. Em muitas instalações (estufas ou casas de vegetação), a irrigação é automatizada em função de alguns parâmetros climáticos ou pelo valor do potencial de água no solo. A interação das variáveis ambientais não é levada em consideração, impossibilitando a prática do manejo da irrigação de

forma mais precisa. Constata-se, assim, que são recomendáveis estudos detalhados relacionando a evapotranspiração com os elementos meteorológicos no interior das instalações.

2.2 Evapotranspiração

2.2.1 Histórico e conceitos

Sediyama (1996) realizou uma ampla e interessante abordagem sobre o estudo da evapotranspiração ao longo da história, cujos pontos principais são relatados a seguir. A evaporação e a transpiração ocuparam posição de destaque na história dos povos da Antigüidade, principalmente na cosmologia da Grécia Antiga. O interesse formal na área da evaporação começou no período de 600 a 500 anos a.C. com Aristóteles, para quem a evaporação e o vento eram exalações diferentes causadas pelo calor solar, não havendo entre os fenômenos qualquer relação de causa-efeito. Posteriormente, ao longo da evolução dos conceitos relacionados ao assunto, Descartes estabeleceu uma relação de causa-efeito entre a evaporação e o vento, afirmando que a primeira é causada pelo calor do sol enquanto o vento era o ar em movimento que resultava da evaporação. Em 1802, Dalton teorizou que a evaporação, partindo de qualquer superfície úmida, deveria ser consequência dos efeitos combinados do vento, da umidade do ar e das características físicas das superfícies.

Resultados de estudos conduzidos por vários pesquisadores ao longo do século XIX anunciaram, para as primeiras décadas do século XX, o início da era moderna dos estudos dos fenômenos da evaporação, com aplicações de técnicas que podem ser atribuídas às categorias de transporte de massa, transporte aerodinâmico ou do perfil de vento, balanço de energia, as combinações dessas técnicas, além das técnicas empíricas. Na segunda metade do século XX, o

desenvolvimento de instrumentos de medição e facilidades proporcionadas pela informática, incentivaram sobremaneira os estudos atuais da evaporação e da transpiração dos vegetais de interesse econômico.

A água é um elemento essencial ao metabolismo vegetal, uma vez que participa de sua constituição e do processo de fotossíntese. Todavia, a planta transfere para a atmosfera, via transpiração, cerca de 90% da água retirada do solo. Essa água adicionada à parcela que evapora da superfície do solo, normalmente representa o consumo de água no sistema solo-planta, sendo esse fenômeno denominado evapotranspiração (Silva, 1996).

Azevedo (1999) relata que o conceito de evapotranspiração potencial foi introduzido por Thornthwaite em 1948 e é definido como a perda de água por uma superfície de solo úmido suficientemente grande, com suprimento contínuo e adequado de água, coberto completamente por vegetação de baixo porte em crescimento ativo, de modo a tornar desprezível o efeito advectivo.

Segundo Sedyama (1996), também em 1948, Penman definiu evapotranspiração potencial como "a quantidade de água transpirada por unidade de tempo por uma cultura de porte baixo e verde, cobrindo totalmente a superfície do solo, com altura uniforme e sem deficiência hídrica", tendo em seus estudos, considerado a grama como a cultura de porte baixo.

Penman estabeleceu também uma fórmula baseada nos processos físicos da evaporação, o que permitiu estimar a taxa de evaporação da água livre partindo de elementos climáticos relevantes. Essa fórmula integra os processos físicos relativos à radiação e à ação dos ventos, os quais, respectivamente, resultam em uma equação com dois termos: o energético e o aerodinâmico.

Quando as condições preconizadas para a evapotranspiração potencial não são atendidas, tem-se a evapotranspiração real (ET_a), que é aquela que ocorre em uma superfície vegetada, independente de sua área e das condições de umidade do solo (Sedyama, 1987).

O conceito de **evapotranspiração da cultura (ET_c)** foi formulado por Doorenbos e Pruitt (1977) para caracterizar a evapotranspiração de uma cultura agrônômica, livre de doenças, desenvolvendo-se em uma área de um ou mais hectares, sob condições otimizadas de solo, incluindo o suprimento de água e a fertilidade.

O termo **evapotranspiração de referência (ET_o)** tem sido adotado para evitar conflito entre as definições existentes para a evapotranspiração potencial. De acordo com Doorenbos e Pruitt (1977), o conceito de ET_o diz respeito à grama, em crescimento ativo e mantida a uma altura uniforme de 0,08 a 0,12m de altura e sem restrições de umidade. Esses autores recomendaram o método combinado de Penman como padrão para a estimativa da ET_o.

Em 1990, em um encontro técnico promovido pela Food and Agriculture Organization (FAO), reuniram-se em Roma, Itália, especialistas em evapotranspiração, a fim de reavaliar as recomendações propostas no Boletim FAO 24. Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997) relatam que várias proposições foram feitas nesse evento, dentre as quais a recomendação do uso da equação de Penman-Monteith como o novo método padrão para se estimar a ET_o. Essa proposição tem levado os pesquisadores a desenvolver trabalhos para avaliar essa equação e, de fato, tem-se verificado que ela tem gerado melhores resultados na determinação da evapotranspiração de uma cultura de referência e atende mais de perto à definição de evapotranspiração potencial de Penman.

A aplicação da equação de Penman-Monteith exigiu uma reformulação no conceito de evapotranspiração de referência (ET_o), a qual, atualmente, é tida como a taxa de evapotranspiração de uma cultura hipotética, com altura de 0,12m, resistência aerodinâmica da superfície de 69 s.m⁻¹ e albedo de 0,23. A equação de Penman-Monteith considerando esses parâmetros é simplesmente conhecida como método PM-FAO de determinação de ET_o.

Sediyama (1996) comenta que a importância da ETo está no fato de ela representar a primeira etapa de determinação da evapotranspiração de uma cultura. A segunda etapa é a transformação da ETo em evapotranspiração da cultura (ETc) de interesse, por meio da multiplicação da ETo por um coeficiente de cultivo (Kc) determinado empiricamente com base na relação:

$$Kc = ETc/ETo \dots\dots\dots(1)$$

Atualmente, este é o chamado processo de duas etapas para a determinação da evapotranspiração de uma cultura (ETc). Nos próximos anos, as perspectivas são de que as pesquisas irão se concentrar na determinação da ETc em uma única etapa (Sediyama, 1996).

2.2.2 Principais fatores que influenciam a evapotranspiração

A evapotranspiração é uma função dos fatores meteorológicos, do solo e da planta, sendo que o principal deles, que condiciona a evapotranspiração, é a radiação líquida (Villa Nova, Salatti e Matsui, 1976). Esta, quando disponível em uma dada superfície vegetada, é dividida em três frações básicas, respectivamente relacionadas aos seguintes fenômenos: aquecimento do ar, aquecimento do solo e evapotranspiração.

Além da radiação líquida, dois outros fatores meteorológicos também influenciam a evapotranspiração: a umidade do ar e a velocidade do vento. A esse respeito, Villa Nova (1987) ressalta que é difícil separar a ação de cada um desses elementos na evapotranspiração, pois os mesmos agem simultaneamente. No entanto, de modo geral, em uma dada circunstância, quanto maior for a disponibilidade de energia solar, maior a temperatura do ar e menor a umidade relativa, maior deverá ser a evapotranspiração.

Uma ampla abordagem sobre a relação dos principais elementos meteorológicos no interior de estufas com a evapotranspiração é encontrada no relato de Folegatti et al. (1997). Em ambiente protegido, esses autores avaliaram a evapotranspiração máxima da cultura do crisântemo medida em lisímetro e verificaram que a sua taxa variou de $0,9\text{mm.dia}^{-1}$ a $5,4\text{mm.dia}^{-1}$, tendo os valores mínimos sido observados em dias com baixos níveis de radiação solar global, elevados níveis de umidade relativa e baixa temperatura do ar, enquanto que os valores máximos ocorreram em dias com características meteorológicas inversas às citadas.

Quanto aos fatores relacionados ao solo, a importância de seu conteúdo de umidade pode ser observada no estudo de Ortega e Mediavilla (1996), no qual a evapotranspiração do cultivo da aveia foi determinada pela equação de Penman-Monteith e comparada com a evapotranspiração determinada pelo método do balanço hídrico do solo, sendo este último considerado padrão. Para períodos de cinco dias, os dados obtidos pela equação de Penman-Monteith mostraram-se adequadamente ajustados aos do balanço hídrico. O conteúdo de umidade do solo desempenhou um papel fundamental na quantidade de água transpirada pela cobertura vegetal sem, no entanto, ter apresentado efeito importante sobre o armazenamento de calor do solo. A fração da radiação líquida utilizada na evapotranspiração foi de 77,9%, quando o nível de umidade do solo esteve elevado, ao passo que com o conteúdo de água limitante, o consumo de energia chegou a ser de 48% da radiação líquida.

Em relação aos fatores relacionados à planta, é fato conhecido que os vegetais possuem, fisiologicamente, alguns mecanismos para alterar a evapotranspiração real, a fim de poupar água em condições desfavoráveis. Ometto (1981) esclarece que, quando a tensão de água no solo é bastante elevada, ou o déficit de saturação do vapor de água na atmosfera também for, o recurso adotado é o fechamento dos estômatos. Por outro lado, mesmo que a

tensão de água no solo seja bastante reduzida a até pelo menos a capacidade de campo, uma intensa radiação solar faz com que a planta, a fim de evitar quebra de condutibilidade hidráulica, altere a posição dos cloroplastos, diminuindo a intensidade da fotossíntese. Ainda com relação às plantas, o autor ressalta que as inúmeras variedades que compõem o reino vegetal possuem caracteres morfológicos bastante diversos, o que reflete em uma elevada diversidade de relações de troca com o ambiente. A diferença entre número de estômatos, capa cerosa, tamanho, espessura e geometria das folhas ocasiona diferentes perdas de água pela planta.

2.2.3 Métodos de estimativa da evapotranspiração

Normalmente a evapotranspiração potencial é medida em lisímetros, servindo os resultados obtidos com esses instrumentos como padrão para calibrar outros métodos de estimativa desse parâmetro climático. Segundo Jensen, Burman e Allen (1990), a estimativa da evapotranspiração de uma cultura qualquer envolve, primeiro, o cálculo de evapotranspiração potencial de uma cultura de referência (ET_o), sendo esta quase sempre a grama (*Paspalum notatum*). Posteriormente, aplicam-se coeficientes de cultivo (K_c) para se estimar a evapotranspiração da cultura.

De acordo com os princípios envolvidos no seu desenvolvimento, os métodos de estimativa da evapotranspiração podem ser agrupados em cinco categorias, segundo Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997):

a) **métodos empíricos** - método do tanque Classe A, método de Thornthwaite, método de Thornthwaite modificado por Camargo, método de Camargo, método de Makkink, método da Radiação Solar, método de Jensen-Haise, método de Linacre, Método de Hargreaves-Samani e método de Blaney-Criddle;

b) **método aerodinâmico** - é um método micrometeorológico com embasamento da dinâmica dos fluidos e transporte turbulento;

c) **métodos de balanço de energia** - método da razão de Bowen, método de Priestley-Taylor;

d) **métodos combinados** - são os que combinam os efeitos do balanço de energia com aqueles do poder evaporante do ar. Como exemplos, podem ser citados: método de Penman, método de Slatyer & McIlroy, método de Penman simplificado, método de Penman-Monteith, método de Penman-Monteith com parametrização proposta pela Food and Agriculture Organization (FAO). Neste último, a citada parametrização é proposta como sendo representativa de uma "cultura hipotética" semelhante à grama (*Paspalum notatum*) e, por esta razão, conclui-se que seu uso leva a uma estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o).

e) **método da correlação dos turbilhões** - Neste método é considerada a interação da atmosfera com a superfície evaporante, no aparecimento de turbilhões que se movem aleatoriamente, mudando constantemente de posição, misturando-se com turbilhões de outros níveis. Esse processo de agitação contínua, de mistura, resulta em um deslocamento horizontal e vertical, com o conseqüente transporte das propriedades atmosféricas (incluindo o vapor d'água) de um ponto a outro. Se o escoamento está plenamente ajustado às características aerodinâmicas da superfície, então, os transportes são predominantemente verticais. Este método só é aplicável com instrumental sofisticado, sendo justificado apenas em projetos de pesquisa, pois necessita de medidas das flutuações instantâneas das propriedades atmosféricas.

Algumas considerações sobre os métodos de estimativa da ET_o foram realizadas por Silva (1996), dentre elas a de que essa variável agrometeorológica pode ser obtida de diferentes formas, seja por meio de medidas diretas ou de forma indireta, a partir de fórmulas teóricas baseadas em dados de solo, dados

meteorológicos ou dados relativos às plantas. Os métodos diretos por meio de lisímetros têm maior precisão, porém, esses instrumentos são de uso restrito à pesquisa, devido ao seu elevado custo e às difíceis condições de manejo. Os lisímetros são classificados em três categorias: 1) não-pesável com lençol freático constante; 2) não-pesável com drenagem livre, utilizados em áreas com elevadas precipitações; 3) lisímetros pesáveis, em que a variação de massa do sistema é determinada por um mecanismo de pesagem. Avaliando o desempenho de diferentes lisímetros, da equação de Penman-Monteith e do método do tanque Classe A, na determinação da ETo, Silva et al. (1999) encontraram uma boa concordância entre os valores diários de ETo medida em lisímetro de pesagem e os determinados pelo método de Penman-Monteith. O lisímetro de drenagem, o lisímetro com lençol freático constante e o tanque Classe A apresentaram resultados inconsistentes em base diária, confirmando que esses instrumentos são indicados para a determinação de ETo para períodos de, no mínimo, cinco dias.

Para as localidades de Dourados-MS e Ponta Porã-MS, Alves Sobrinho et al. (1996) avaliaram cinco métodos de estimativa de ETo (Penman-FAO, Hargreaves, Radiação-FAO, Blaney-Cridle-FAO e tanque Classe A-FAO), tendo como padrão o método de Penman-Monteith-FAO. Foram encontradas excelentes estimativas de ETo mensal para todos os métodos avaliados, à exceção do método do tanque Classe A-FAO que apresentou estimativas poucos consistentes, sendo, portanto, necessário ajustar um coeficiente de tanque (K_p) para as regiões estudadas.

Aqueles autores recomendaram ajustar os métodos de Penman-FAO, Hargreaves, e Radiação-FAO pelo fato de terem superestimado a ETo. O método de Blaney-Ciddle-FAO mostrou um excelente ajuste aos dados obtidos com o método padrão, sendo suas estimativas válidas para as duas localidades, sem necessidade de qualquer correção. O método de Blaney-Cridle-FAO tem

ainda a vantagem de requerer somente dados de temperatura do ar, sendo, portanto, de fácil aplicação.

2.2.3.1 Método do tanque Classe A

Os tanques de evaporação medem o efeito integrado da radiação solar, vento, temperatura e umidade do ar sobre a evaporação de uma superfície de água livremente exposta. De modo análogo, a planta responde às mesmas variáveis climáticas, embora diversos fatores possam introduzir mudanças significativas nessa perda de água. Apesar desta possível limitação, Daker (1984) informa que existem vários trabalhos nos quais é demonstrado que há uma acentuada correlação entre a evapotranspiração potencial de uma cultura e a evaporação de uma superfície líquida livremente exposta.

Silva (1996) faz referências aos métodos usados para estimar a evapotranspiração potencial que envolvem a evaporação de uma superfície livre de água acondicionada em um tanque, mas chama a atenção para o fato de a taxa de evaporação variar com o tamanho do tanque e as condições de contorno. Neste método, a evapotranspiração de referência (E_{To}) é determinada multiplicando-se a evaporação do tanque por um coeficiente de correção (coeficiente do tanque, "Kp") a ser determinado experimentalmente para as condições locais, de acordo com o recomendado por Doorenbos e Pruitt (1977).

Dentre os vários tanques evaporimétricos citados na literatura, o mais utilizado é o Classe A, recomendado por Doorenbos e Pruitt (1977) para a estimativa de E_{To} em períodos de 10 dias. Esses autores citam as características principais de construção e instalação desse evaporímetro, quais sejam: forma circular, diâmetro de 121cm e profundidade de 25,4cm. É construído de chapa de ferro galvanizado ou de metal e fica assentado em um estrado de madeira, estando o fundo a 15,0cm do nível do terreno. Enche-se com água até 5,0cm da

borda e o nível da água não deve baixar mais do que 7,5cm além dessa borda. Renova-se regularmente a água para eliminar as impurezas sólidas sedimentadas ou em suspensão no interior do tanque. No cômputo da evapotranspiração de referência (ET_o), o uso do tanque Classe A assim caracterizado e aliado a coeficientes de tanque (K_p) tabelados por Doorembos e Pruitt (1997) é conhecido como o método do Tanque Classe A-FAO, ou simplesmente método TCA-FAO.

Snyder (1992), após comentar a ampla utilização do tanque Classe A na determinação da evapotranspiração potencial de uma cultura de referência (ET_o), para uso no planejamento e manejo da irrigação, esclarece que a taxa de evaporação do tanque Classe A (EV_t) e a taxa de ET_o dependem do local e das condições atmosféricas. Essas duas taxas são relacionadas por um coeficiente de tanque (K_p), o qual é determinado empiricamente pela equação:

$$K_p = ET_o/EV_t \dots\dots\dots(2)$$

Valores de K_p foram tabelados por Doorembos e Pruitt (1977) em função da extensão da bordadura em volta do tanque, da velocidade do vento e da umidade relativa do ar. Na época que esses autores tabelaram esses valores, havia poucos recursos eletrônicos de coleta, registro e processamento de dados. Atualmente, modernos equipamentos permitem automatizar essas tarefas, o que torna fácil a conversão da evaporação do tanque em ET_o, utilizando um K_p calculado por equações que levem em consideração a velocidade média do vento a 2,00m de altura, a umidade relativa média do ar e a dimensão da bordadura em volta do tanque (área-tampão). Um exemplo dessas equações é a desenvolvida por Snyder (1992).

Galvani et al. (1999b) salientam que é tarefa do pesquisador em agrometeorologia e áreas afins desenvolver modelos relativamente simples de

determinação da evapotranspiração, partindo de variáveis climáticas de fácil quantificação, baixo custo de aquisição e representando a integração do maior número de variáveis climáticas do local de interesse. A esse respeito, citam como exemplo a evaporação do tanque Classe A, parâmetro que integra as ações do vento, da radiação solar, umidade do ar, temperatura e insolação, dentre outros. Utilizando esse instrumento os autores compararam a evaporação nele observada com a evapotranspiração de referência (ET_o) medida em lisímetro de célula de carga e obtiveram uma boa correlação entre os valores medidos e os valores estimados pelo modelo proposto. A transformação da evaporação do tanque em evapotranspiração de referência (ET_o) baseou-se em coeficientes do tanque (K_p) obtidos de uma série de dados diários de velocidade do vento e umidade relativa do ar e nas dimensões da área em volta do tanque Classe A (área-tampão). Esses dados foram aplicados na equação proposta por Snyder (1992), a qual torna dispensáveis as tabelas de K_p recomendadas por Doorenbos e Pruitt (1977).

Lima e Silva (1997) determinaram o valor médio de K_p para as condições de Teresina-PI e estabeleceram uma equação de correlação entre a ET_o e a evaporação do tanque Classe A em condições de campo aberto e para períodos de cinco dias. Uma vez que os coeficientes da equação foram determinados para um microclima específico, os autores enfatizaram que os mesmos são válidos apenas para as condições climáticas do local onde foi realizado o estudo, reafirmando, assim, o caráter local de K_p.

Amorim et al. (1997), tendo como padrão a ET_o determinada pelo método Penman-Monteith-FAO, compararam quatro diferentes modelos matemáticos propostos para se determinar o coeficiente (K_p) do tanque Classe A. Nesse estudo verificou-se que o modelo proposto por Frevert (1983) foi o que melhor se ajustou aos dados medidos, porém, apresentando uma metodologia de desenvolvimento complexo. O segundo melhor modelo foi o de Snyder (1992)

que, em relação aos outros, tem a vantagem de basear-se em uma matemática simples e funcional, envolvendo o método dos mínimos quadrados.

Para as localidades de Dourados-MS e Ponta Porã-MS, Bonomo et al. (1996) calibraram os dados do tanque Classe A para a determinação da evapotranspiração de referência (ET_o), tendo como base uma série de dados de 10 anos. Os coeficientes de tanque (K_p) propostos por Doorenbos e Pruitt (1997) foram confrontados com coeficientes ajustados a partir da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (padrão). Encontrou-se uma subestimação da ET_o pelo método do TCA-FAO para o período de alta demanda evapotranspirativa (novembro a abril) e uma superestimação para os demais meses do ano. Os valores de K_p, tendo como referência a ET_o padrão, indicaram um K_p anual médio de 0,73 para Dourados, porém, com uma amplitude variando de 0,49 (julho) a 0,98 (fevereiro). Para Ponta Porã, o valor de K_p anual médio ajustado foi igual a 0,84, com os valores variando de 0,66 (julho) a 1,1 (janeiro).

Amorim, Sedyama e Mello (1997), em pesquisas realizadas na região semi-árida agrícola do nordeste brasileiro, empregaram dois procedimentos para estimar valores de coeficientes de tanque (K_p):

$$K_{p1} = \frac{ET_{o\text{ lisímetro}}}{E_{vTCA}} \dots\dots\dots(3)$$

em que:

K_{p1} = coeficiente do tanque Classe A;

$ET_{o\text{ lisímetro}}$ = evapotranspiração de referência medida em lisímetro de lençol freático constante (mm);

E_{vTCA} = lâmina evaporada do tanque Classe A (mm).

$$Kp_2 = \frac{ET_{OPM}}{EV_{TCA}} \dots\dots\dots(4)$$

em que:

- Kp_2 = coeficiente do tanque Classe A;
- ET_{OPM} = evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith (mm);
- EV_{TCA} = lâmina evaporada do tanque Classe A, (mm).

Foi ainda utilizado um modelo para cálculo de Kp por meio da equação proposta por Pereira et al. (1995), baseada no conceito de coeficiente máximo e no método de Penman-Monteith, em escala diária, para áreas gramadas cobrindo completamente o solo. Comparando Kp_1 e Kp_2 com os coeficientes tabelados por Doorembos e Pruitt (1977), os autores verificaram que a maioria dos valores de Kp_1 e Kp_2 foi menor do que os coeficientes tabelados, comprovando assim que o uso desses últimos resulta em forte tendência a superestimar a evapotranspiração de referência (ET_o). Devido a problemas operacionais e às limitações dos lisímetros de lençol freático constante, foi sugerido como modelo de maior confiança, para se estimar Kp , aquele proposto por Pereira et al. (1995) fundamentado no conceito de coeficiente máximo aliado ao método de Penman-Monteith.

2.2.3.2 Método de Penman-Monteith-FAO

A equação de Penman formulada em 1948 não incluiu a função de resistência da superfície evaporante para a transferência de vapor de água, segundo o relato de Sedyama (1996). Para aplicações práticas, Penman sugeriu uma equação empírica para a função devida ao vento. Posteriormente, com base na equação de Penman, Monteith (1965), citado por Sedyama (1996),

desenvolveu uma fórmula que incluiu a resistência do dossel (r_c) à difusão do vapor d'água e a resistência do ar (r_a) ao fluxo de vapor, a qual passou a ser chamada de equação de Penman-Monteith.

Quando aplicada no cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o), considerando os parâmetros preconizados pela FAO, ou seja, aqueles relativos à taxa de evapotranspiração de uma cultura hipotética, com altura de 0,12m, resistência aerodinâmica da superfície de 69 s.m⁻¹ e albedo de 0,23, a equação de Penman-Monteith é chamada de método PM-FAO de determinação de ET_o.

Silva (1996) cita que em inúmeros estudos tem sido comprovada a elevada precisão de determinação de evapotranspiração pelo método Penman-Monteith-FAO e, por esta razão, o mesmo vem sendo utilizado como um método padrão, válido inclusive para calibrar outros métodos de estimativas desse parâmetro meteorológico.

Sediyama (1996) enfatiza que a equação de Penman-Monteith é mais precisa quando utilizada em base horária e os valores somados para se obter a estimativa diária da ET_o. Contudo, quando se busca uma estimativa em base diária, são necessárias algumas simplificações empíricas e, mesmo assim, tem-se obtido inúmeros resultados muito confiáveis.

Um exemplo de aplicação da equação de Penman-Monteith no cálculo da evapotranspiração em uma única etapa é relatada por Kobaiashi et al. (1996) que, em ambiente protegido, determinaram a evapotranspiração da cultura do feijão por meio da equação de Penman-Monteith e a compararam com a evapotranspiração medida em minilímetros de pesagem, sendo os minilímetros representados por vasos com capacidade para 15 litros. A resistência do dossel foi expressa pela razão entre a resistência estomática (medida diretamente na planta, por porômetros) e o índice de área foliar (medido com um integrador eletrônico de área). Em intervalos diários, a

evapotranspiração calculada pela equação de Penman-Monteith foi subestimada, quando comparada com a medida nos minilísímetros.

Dantas Neto (1997) assinala que a adoção da metodologia de Penman-Monteith como padrão facilitou os trabalhos nos quais objetiva-se ajustar outros métodos de estimativa de evapotranspiração, sendo, portanto, uma opção prática para este fim. Contudo, recomenda estudá-la para condições locais. Em Mossoró-RN, fundamentado no modelo de Penman-Monteith como referencial, esse mesmo autor avaliou cinco equações para estimar a evapotranspiração da cultura de referência (E_{To}) e verificou que o modelo da Radiação-FAO foi o que melhor se ajustou ao modelo padrão, enquanto o método do tanque Classe A-FAO apresentou valores menos ajustados, possivelmente devido ao uso de um inadequado coeficiente do tanque (K_p).

As seguintes equações: 1) Penman-Monteith considerando o fluxo de calor no solo (G) igual a 10% da radiação líquida e a resistência do dossel (r_c) igual a $70s.m^{-1}$; 2) Penman-Monteith parametrizada pela FAO ($G = 0$ e $r_c=70s.m^{-1}$); 3) Penman-Monteith considerando $G=0$ e $r_c=59s.m^{-1}$; 4) Penman-Monteith considerando $G= 10\%$ da radiação líquida e $r_c=42s.m^{-1}$; 5) equação de Doorenbos e Pruitt (1977); todas adequadas para o cômputo de valores horários de E_{To} , foram aplicadas por Ventura et al. (1999) a dados provenientes de cinco localidades da Itália e cinco do estado da Califórnia-EUA, a fim de se verificar a validade dessas equações em várias condições climáticas. Para todas as localidades, os resultados obtidos com a equação de Penman-Monteith considerando $G=0$ e $r_c=42s.m^{-1}$, apresentaram melhor ajuste aos dados medidos em lisímetros, embora a equação de Doorenbos e Pruitt (1977) e as outras três formas da equação de Penman-Monteith, também tenham estimado a E_{To} de forma bastante confiável, quando comparadas com a de melhor ajuste.

A equação de Penman-Monteith também pode ser empregada para a determinação da resistência do dossel de uma cultura, sendo esse parâmetro

considerado como resíduo da citada equação. Um exemplo dessa aplicação foi apresentado por Peres et al. (1996) que confrontaram, em intervalos decendial e mensal, os dados de evapotranspiração da grama (*Paspalum notatum*) medida em lisímetros com a evapotranspiração estimada pela equação de Penman-Monteith. Na aplicação desta última foram considerados quatro valores de resistência do dossel: zero, 20 s.m^{-1} , 40 s.m^{-1} , 60 s.m^{-1} e 80 s.m^{-1} . Foi constatado que os valores que melhor representam as condições da evapotranspiração para a grama, situam-se entre 60 s.m^{-1} e 80 s.m^{-1} .

Com base em uma série de dados meteorológicos de quatro anos obtidos no município de Pentecostes-CE, Medeiros e Souza (1997), utilizando o software chamado REF-ET e considerando o método de Penman-Monteith-FAO como padrão, estimaram a ETo por meio de oito métodos: quatro combinados, um baseado na radiação solar, dois na temperatura do ar e um baseado na evaporação do tanque Classe A. Respaldo pelos resultados obtidos, foi recomendada a utilização do método de Blaney-Criddle-FAO, quando o único elemento meteorológico disponível for a temperatura do ar. Caso se disponha dos demais elementos meteorológicos, pode ser utilizado o método de Penman-Kimberly para o primeiro semestre do ano e Penman-Monteith-FAO para o segundo. Nesse mesmo estudo, constatou-se que o método do Tanque Classe A conduz a uma subestimativa de ETo e, portanto, o seu emprego sem uma devida calibração poderá resultar em uma quantidade de água insuficiente a ser repostada via irrigação.

2.2.4 Estimativas de evapotranspiração em ambiente protegido

Scatolini (1996) comparando 14 modelos matemáticos, sendo sete baseados em variáveis meteorológicas externas à estufa e sete baseados nas variáveis internas, verificou que, no caso das variáveis externas, o total de

[REDACTED]

evapotranspiração observado foi superestimado, com valores variando entre +15% e +18%. Já os modelos que utilizaram dados internos foram mais exatos e precisos, apresentando valores totais de evapotranspiração, em média, 2% superiores aos observados. Com este resultado, o autor concluiu que os modelos baseados nos elementos meteorológicos do interior da estufa são viáveis para a estimativa da evapotranspiração.

Considerando o elevado custo de um tanque Classe A e a limitação de espaço no interior de estufas, tem-se procurado adotar tanques de evaporação de dimensões reduzidas como alternativa para se estimar a evapotranspiração. Contudo, para o uso correto dessa opção, torna-se necessário comparar a evaporação da água medida no minitanque com a ocorrida em um tanque Classe A padrão, ambos submetidos às mesmas condições. Com esse propósito, Medeiros et al. (1997) correlacionaram a evaporação medida nesses dois evaporímetros, ambos submetidos às condições internas de uma estufa cultivada com pimentão e comprovaram que a evaporação do minitanque foi, em média, 15% superior à do tanque Classe A utilizado como padrão.

Prados (1986), citado por Evangelista (1999), trabalhando com tomateiro em casa de vegetação na Espanha, concluiu que, para esse ambiente, o método do tanque evaporimétrico com coeficiente do tanque igual à unidade ($K_p=1$) estima melhor a evapotranspiração. Entretanto, Evangelista (1999) ao utilizar o tanque Classe A no interior de casa de vegetação em Lavras-MG, com o coeficiente de tanque igual à unidade ($K_p=1$), concluiu que o mesmo não estimou com precisão a E_{To} , necessitando, portanto, de ajuste para as condições locais.

Também para as condições de ambiente protegido, Fernandes, Folegatti e Pereira (1997) avaliaram 10 métodos de estimativa da evapotranspiração da cultura do crisântemo, tendo sido utilizada como padrão a evapotranspiração medida em lisímetro de pesagem por células de carga. Dentre os métodos

estudados, o do tanque evaporimétrico não se ajustou satisfatoriamente aos dados medidos, sendo que as eventuais causas para tal desempenho foram: a utilização de um coeficiente (K_p) do tanque não específico para as condições de estufa, alteração do diâmetro do tanque utilizado no experimento e a não calibração deste tanque com um tanque Classe A. Cumpre observar que os autores não informam a magnitude da alteração do diâmetro do tanque estudado, porém, dada a já citada limitação de espaço em estufa, pode-se supor que esse diâmetro foi reduzido em relação ao tanque Classe A.

Gervásio e Lima (1996) citam que, com vistas ao manejo da irrigação, dentre os métodos para se estimar a evapotranspiração de referência a partir da evaporação de uma superfície de água livre, o método do tanque Classe A é um dos mais utilizados, devido a sua precisão das medidas de evaporação em períodos curtos. A evaporação ocorrida no tanque expressa ainda a integração dos diferentes fatores meteorológicos como a radiação solar, a umidade relativa do ar e a ação dos ventos. Considerando que esse tanque tem um custo relativamente alto, os autores propuseram a utilização de um outro, alternativo, (panela de alumínio) de menores dimensões e, portanto de menor custo e mais acessível aos produtores irrigantes. O tanque alternativo foi avaliado no interior de uma estufa e os valores de evaporação com ele obtidos foram comparados com os medidos em um tanque Classe A, instalado a seu lado. Na análise envolvendo as duas séries de dados obteve-se um índice de correlação de 94,85%, sendo que para valores elevados de evaporação (acima de 4,0mm) medida no tanque Classe A, a do tanque alternativo tendeu aos mesmos valores. Concluiu-se então que, o tanque alternativo pode ser um modo apropriado para se estimar a evapotranspiração em regiões tropicais, no entanto, para recomendação de seu uso necessita-se de mais estudos.

Farias, Bergamaschi e Martins (1994) estimaram a E_{To} no interior de estufa utilizando os métodos de Penman-Monteith e do tanque Classe A-FAO.

Também avaliaram o desempenho de um minitanque (diâmetro interno = 0,2m e altura = 0,25m) na determinação da ETo, partindo da evaporação verificada nesse instrumento. Os valores internos de ETo foram inferiores aos do ambiente externo, sendo a diferença atribuída à opacidade do filme de plástico, à radiação solar e à redução da ação dos ventos, que são os principais fatores da demanda evaporativa da atmosfera, embora em alguns momentos a temperatura e umidade relativa do ar tenham sido, respectivamente, maior e menor no interior da estufa, o que contribuiria para elevar a evapotranspiração. Quanto ao minitanque, obteve-se uma elevada correlação (r^2 de 0,79 a 0,81) quando confrontou-se a evaporação ocorrida nesse instrumento com a medida no tanque Classe A. Este resultado indicou a possibilidade de o minitanque substituir o tanque Classe A para estimar ETo no interior da estufa, o que pareceu ser mais aconselhável, visto ocupar uma área menor e contribuir menos para elevar a umidade relativa do ambiente, além de ter menor custo de aquisição e manejo mais prático.

Galvani et al. (1999a), em cultivo de alface (*Lactuca sativa*) em casa de vegetação, avaliaram a temperatura do ar, a umidade relativa, a evaporação do tanque Classe A e a radiação solar global e, partindo dessas variáveis, estimaram a evapotranspiração da cultura (ETc) pelos métodos do tanque Classe A-FAO, Penman Simplificado e Método da Radiação. Foi observado que as médias dos valores das evapotranspirações da cultura obtidos com os três métodos, foram de 17,2mm.semana⁻¹, 8,0mm.semana⁻¹ e 7,5mm.semana⁻¹, respectivamente, para o ambiente externo, casa de vegetação com orientação leste-oeste e casa de vegetação com orientação norte-sul, sendo que para as duas casas de vegetação a diferença entre os valores não foi significativa.

Em um estudo conduzido em casa de vegetação por Hossokawa, Matsura e Testezlaf (1998), os valores de ETo determinados pelo método de Penman-Monteith-FAO (considerado padrão) e pelo método da Radiação-FAO foram comparados e verificou-se que, em relação ao método padrão, o método

da Radiação-FAO superestimou a ETo. Contudo, os autores consideraram este método o mais indicado para estimar a ETo em ambiente fechado, por apresentar simplicidade nos cálculos e não requerer a medição de todos os elementos meteorológicos, ao contrário do que ocorre com o método combinado de Penman-Monteith-FAO.

Hossokawa, Matsura e Senge (1997) estimaram a ETo no interior de estufa e encontraram valores mensais para esse parâmetro que corresponderam a 65% e 70% da ETo ocorrida no ambiente externo, respectivamente, aos métodos de Penman-Monteith-FAO e Priestley-Taylor. Os principais fatores que contribuíram para uma menor ETo interna foram a perda de radiação devida à opacidade da cobertura de plástico e à redução da velocidade do vento. Nessas condições, o termo energético e o termo aerodinâmico da equação de Penman-Monteith representaram, respectivamente, 96,5% e 3,5% no valor da ETo, resultado que comprovou a reduzida influência da velocidade do vento na estimativa da ETo em ambiente protegido.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi instalado no Setor de Olericultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA) na cidade de Lavras-MG, localizada a 21° 14' latitude sul e 45° de longitude oeste, em uma altitude média de 910m. A temperatura média anual do ar é de 19,3°C e o total anual de precipitação é de 1531mm (Brasil, 1992).

O período de estudo estendeu-se de 1° de fevereiro a 31 de maio de 2000, ou seja, durante o verão-outono. Foi utilizada uma casa de vegetação do tipo “capela”, construída em estrutura de madeira com dimensões de 10 x 35,0m, altura na parte central de 3,5m e pé direito de 2,0m, coberta por um filme de polietileno transparente de baixa densidade (PEBD), com aditivo anti-ultravioleta e espessura de 150µm (0,15mm). As laterais da mesma foram fechadas com tela de plástico transparente.

No interior da casa de vegetação foram instalados:

a) um Tanque Classe A, construído em chapa de aço inoxidável, na forma circular, com 121cm de diâmetro e 25,4cm de profundidade, devidamente apoiado sobre estrado de madeira a 15cm de altura acima da superfície do terreno. O custo desse tanque com o seu respectivo estrado foi de R\$1.400,00, contudo se fosse construído em chapa de ferro galvanizado, o custo se reduziria para R\$700,00; .

b) 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,

c) um minitanque metálico de forma circular, construído em chapa galvanizada com 60,5cm de diâmetro (50% do diâmetro do tanque Classe A), 25,4cm de profundidade, devidamente apoiado sobre estrado de madeira, este com altura de 15cm acima da superfície do terreno. O custo do conjunto minitanque metálico-estrado foi de R\$380,00;

d) um minitanque de plástico de forma retangular, representado por uma caixa de plástico azul, com as dimensões de 55,5 cm (comprimento) x 39,0 cm (largura) x 29,5cm (altura). Trata-se de um tanque de baixo custo (cerca de R\$15,00) e facilmente encontrado no comércio de embalagens. O custo do conjunto minitanque de plástico-estrado foi de R\$ 35,00.

Esse instrumental e sua disposição no interior da casa de vegetação estão representados nas Figuras 1 e 2.

Os valores internos de radiação solar global foram coletados de minuto em minuto, sendo que a cada cinco minutos era calculada e registrada 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 registrados a cada 30 minutos, durante todo o período do experimento, com exceção do período de 6 a 14 de março, devido à falta de energia na estação agrometeorológica automática.

A pressão atmosférica local e o número de horas de brilho solar, necessários ao cálculo de alguns parâmetros da equação de Penman-Monteith, foram obtidos na Estação Climatológica Principal da Universidade Federal de Lavras, localizada a 300m da casa de vegetação.

Diariamente, às 10:00h TMG (7:00h horário local), foram efetuadas as leituras das lâminas evaporadas do tanque Classe A, do minitanque metálico e do minitanque de plástico. Nessas medições, utilizou-se um único micrômetro de gancho, o qual ficava apoiado sobre poços tranquilizadores metálicos, devidamente instalados no interior de cada tanque evaporimétrico.



FIGURA 1 - Vista geral do experimento.



FIGURA 2 - Vista geral dos tanques evaporimétricos: minitanque de plástico (a), tanque Classe A (b) e minitanque metálico (c).

3.2 Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)

Para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) no interior da casa de vegetação, foi utilizado o método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO, sendo o mesmo considerado método padrão, cuja expressão matemática, descrita por Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997), é:

$$ET_o = \frac{s}{(s + \gamma^*)} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{(s + \gamma^*)} \frac{900}{(T + 275)} U_2 (e_s - e_a) \dots\dots(5)$$

em que:

ET_o = evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹);

s = declividade da curva de pressão de saturação de vapor (kPa °C⁻¹);

R_n = saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹);

G = fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹);

λ = calor latente de evaporação (MJ.kg⁻¹);

e_a = pressão parcial de vapor (kPa);

e_s = pressão de saturação de vapor (kPa);

γ = coeficiente psicrométrico (kPa.°C⁻¹);

*γ** = constante psicrométrica modificada (kPa.°C⁻¹);

T = temperatura média do ar (°C);

U₂ = velocidade média do vento a 2 m (m.s⁻¹).

Alguns parâmetros dessa equação foram estimados a partir de outras variáveis, obtidas empiricamente. São os seguintes:

3.2.1 Calor latente de evaporação (λ)

$$\lambda = 2,501 - (2,361 \times 10^{-3})T \dots\dots\dots (6)$$

em que:

λ = calor latente de evaporação (MJ.kg⁻¹);

T = temperatura do ar (°C).

3.2.2 Declividade da curva de pressão de saturação de vapor (s)

$$s = \frac{4098.e_s}{(T + 237,3)^2} \dots\dots\dots (7)$$

em que:

s = declividade da curva de pressão de vapor (kPa.°C⁻¹);

e_s = pressão de saturação de vapor da água (kPa);

T = temperatura do ar (°C).

3.2.3 Pressão de saturação do vapor d'água à temperatura do ar (e_s)

$$e_s = 0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27.T}{T + 237,3}\right) \dots\dots\dots (8)$$

em que:

e_s = pressão de saturação de vapor da água à temperatura do ar (kPa);

T = temperatura do ar (°C).

3.2.4 Saldo de radiação (Rn)

$$R_n = R_{ns} + R_b \dots\dots\dots(9)$$

em que:

R_n = saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹);

R_{ns} = saldo de radiação de ondas curtas (MJ m⁻² dia⁻¹);

R_b = saldo de radiação de ondas longas (MJ m⁻² dia⁻¹).

3.2.5 Saldo de radiação de ondas curtas (R_{ns})

$$R_{ns} = (1 - r)R_s \dots\dots\dots(10)$$

em que:

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

R_s = radiação solar global (MJ m⁻² dia⁻¹).

3.2.6 Radiação solar global (R_s)

A radiação solar global foi determinada diretamente por um piranômetro acoplado à estação agrometeorológica automática portátil.

3.2.7 Saldo de radiação de ondas longas (R_b)

$$R_b = -\left(0,9 \cdot \frac{n}{N} + 0,1\right) \left(0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}\right) \sigma \cdot (T_{bx}^4 + T_{bx}^4) \frac{1}{2} \dots\dots\dots(11)$$

em que:

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

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

N = comprimento astronômico do dia (h).

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

e_a = pressão parcial de vapor da água (kPa);

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

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

3.2.8 Comprimento astronômico do dia (N)

$$N = \frac{24 \cdot \omega_s}{\pi} \dots\dots\dots(12)$$

em que:

ω_s = ângulo horário do pôr do sol (rad).

3.2.9 Ângulo horário do pôr do sol (ω_s)

$$\omega_s = \arccos(-\tan \varphi \cdot \tan \delta) \dots\dots\dots(13)$$

em que:

ω_s = ângulo horário do pôr do sol (rad);

δ = declinação solar (rad);

φ = latitude do local (rad).

3.2.10 Declinação solar (δ)

$$\delta = 0,4093 \cdot \text{sen}\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J - 1,405\right) \dots\dots\dots(14)$$

em que:

δ = declinação solar (rad);

J = dia juliano.

3.2.11 Temperatura virtual máxima diária (T_{kn})

$$T_{kn} = T_{max} + 273 \dots\dots\dots(15)$$

em que:

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

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

3.2.12 Temperatura virtual mínima diária (T_{kn})

$$T_{kn} = T_{min} + 273 \dots\dots\dots(16)$$

em que:

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

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

3.2.13 Pressão parcial de vapor (e_a)

$$e_a = e_{s(T_u)} - \gamma(T_s - T_u) \dots\dots\dots(17)$$

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 termômetro de bulbo seco (°C);

T_u = temperatura do termômetro de bulbo úmido (°C);

γ = coeficiente psicrométrico (kPa.°C⁻¹).

3.2.14 Coeficiente psicrométrico (γ)

$$\gamma = 0,0016286 \cdot \frac{P}{\lambda} \dots\dots\dots(18)$$

em que:

γ = coeficiente psicrométrico (kPa.°C⁻¹);

P = pressão atmosférica local (kPa);

λ = calor latente de evaporação (MJ.kg⁻¹).

3.2.15 Constante psicrométrica modificada (γ^*)

$$\gamma^* = \gamma \cdot (1 + 0,33 U_2) \dots\dots\dots(19)$$

em que:

γ^* = constante psicrométrica modificada (kPa.°C⁻¹);

γ = coeficiente psicrométrico (kPa.°C⁻¹);

U_2 = velocidade média do vento a 2 m de altura (m.s⁻¹).

3.2.16 Fluxo de calor no solo (G)

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi determinada em base diária e, nessa circunstância, o fluxo de calor no solo (G) foi considerado igual a zero, aceitando-se as justificativas dadas por Pereira, Villa Nova e Sediya (1997) para esse procedimento.

3.3 Cálculo dos coeficientes dos tanques (K_p)

Especificamente para as condições internas da casa de vegetação, foi determinado, diariamente, para cada tanque evaporimétrico (tanque Classe A, minitanque metálico e minitanque de Plástico), o respectivo coeficiente de tanque (K_p), por meio da equação:

$$K_p = \frac{ET_o}{EV} \dots\dots\dots(20)$$

em que:

K_p = coeficiente do tanque evaporimétrico;

EV = evaporação no tanque evaporimétrico considerado (mm.dia⁻¹);

ET_o = evapotranspiração de referência pela equação de Penman-Monteith - FAO (mm.dia⁻¹).

Visando facilitar a estimativa de ETo e dos valores de Kp, foram elaboradas, previamente, planilhas eletrônicas, por meio das quais foram calculadas as equações citadas.

3.4 Calibração dos tanques evaporimétricos

O ajustamento dos valores de Kp medidos foi realizado pela análise de regressão, sendo as variáveis consideradas as evaporações médias medidas nos tanques evaporimétricos e os seus respectivos coeficientes de tanques (Kp). Para cada mês estudado foram calculadas as frequências, as evaporações médias e as evapotranspirações médias, relativas aos intervalos de evaporação representados pelas faixas de 0 - 1mm, 1 - 2mm, 2 - 3mm, 3 - 4mm, 4 - 5 mm e 5 - 6mm. Esse procedimento permitiu obter, para cada mês, equações de regressão que expressaram as tendências apresentadas pelo valor de Kp frente às variações das evaporações ocorridas nos tanques evaporimétricos. O grau de associação entre as variáveis foi avaliado por meio dos coeficientes de correlação (r), cuja interpretação baseou-se na escala empírica adaptada de Crespo (1993) e Francisco (1982), apresentada na Tabela 1.

3.5 Correlação entre as evaporações medidas nos evaporímetros

A análise comparativa de desempenho dos tanques constou da determinação das equações de regressão linear com os valores de evaporação medidos do tanque Classe A e nos minitanques evaporimétricos (minitanque metálico e minitanque de plástico). Um único fenômeno (a evaporação) foi medido em três recipientes com características diferentes e, por esta razão, a análise da relação funcional entre as variáveis constou de determinação de

TABELA 1 - Interpretação dos valores do coeficiente de correlação (r),

valor de r 	Interpretação
0,6 a 1,0	É forte a correlação entre as variáveis em estudo. É possível tirar conclusões sobre o comportamento simultâneo das mesmas.
0,3 a 0,6	Há uma correlação relativamente fraca entre as variáveis em análise.
0,0 a 0,3	A correlação é muito fraca. Nada se pode concluir sobre as variáveis em estudo.

Obs. Adaptada de Crespo (1993) e Francisco (1982).

equações de retas pelo método do eixo principal reduzido, conforme recomendações de Menk e Igue (1992). Os parâmetros calculados foram:

- a) inclinação da reta (b) e o seu erro padrão (S_b);
- b) o intercepto (a) e seu erro padrão (S_a);
- c) desvio-padrão da diagonal (S_d);
- d) coeficiente de dispersão relativo ao eixo principal;
- e) coeficiente de correlação (r), cuja interpretação baseou-se também na Tabela 1.

Um valor de b próximo da unidade, um intercepto próximo a zero, baixos valores dos erros e desvio-padrão, bem como um reduzido coeficiente de dispersão, são indicativos de que os valores de evaporação dos tanques em comparação são muito semelhantes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variação dos elementos meteorológicos no interior da casa de vegetação durante o período experimental

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios e totais dos elementos meteorológicos medidos no interior da casa de vegetação ao longo do período experimental. Observa-se que, em fevereiro e março, os valores relativos à temperatura do ar, são superiores aos de abril e maio, sendo a maior diferença verificada entre os meses de fevereiro e maio. Assim, considerando esse elemento meteorológico, fica caracterizado o período estudado em duas fases distintas. A primeira, envolvendo os meses de fevereiro e março, correspondente ao final do verão e a segunda, representada pelos meses de abril e maio, ao início do outono.

Observa-se, ainda na Tabela 2, que as médias mensais referentes à umidade relativa do ar mantiveram-se muito próximas, atingindo 74% em fevereiro e março, 70% em abril e 72% em maio.

A velocidade do vento, apresentou valores médios diários que variaram de zero em fevereiro a $0,13 \text{ m.s}^{-1}$ em abril, sendo esses valores bem reduzidos, o que era esperado, pois a cobertura de plástico e as telas laterais da casa de vegetação reduzem sobremaneira a ação dos ventos no interior da mesma.

Os valores de radiação solar incidente (total mensal) apresentaram uma evolução semelhante à da temperatura média do ar, qual seja, foram seguidamente decrescentes, variando de 441 MJ.m^{-2} em fevereiro até 333 MJ.m^{-2} em maio.

TABELA 2 - Evolução das variáveis meteorológicas registradas no interior da casa de vegetação durante o período experimental.

Elemento meteorológico	MESES			
	Fevereiro	Março*	Abril	Maió
<i>Valores médios diários</i>				
Temperatura máxima (° C)	35,0	34,4	32,8	28,7
Temperatura média (° C)	24,1	23,7	21,3	18,1
Temperatura mínima (° C)	18,3	18,1	15,0	11,7
Umidade relativa máxima (%)	94	94	93	93
Umidade relativa média (%)	74	74	70	72
Umidade relativa mínima (%)	43	44	39	43
Velocidade do vento (m/s)	0,00	0,10	0,13	0,09
<i>Valores totais</i>				
Radiação solar incidente (MJ.m ⁻²)	441	311	420	333
Insolação (hora)**	171	190	267	260
Evaporação-TCA (mm)	100,84	96,67	92,56	68,13
ETo-Penman-Monteith-FAO (mm)	78,43	52,22	54,17	29,64

* Dados relativos a somente 22 dias do mês, exceto evaporação-TCA e insolação, medidas em 31 dias.

** Coletada em estação agrometeorológica a 300m da casa de vegetação

Os valores de horas de brilho solar (insolação) tiveram tendência oposta à da radiação solar incidente, ou seja, apresentaram seguidamente acréscimo ao longo do período experimental, registrando-se valores mínimos de 171h.mês⁻¹ em fevereiro e 260h.mês⁻¹ em maio. Durante o verão (dezembro a março), quando ocorrem as precipitações na região, a presença de nuvens é mais acentuada do que no início do outono, sendo esta a razão para serem mais elevados os valores de horas de brilho solar em abril e maio.

A Tabela 2 contém ainda os totais mensais da evaporação medida no tanque Classe A (Evap.TCA) e da evapotranspiração de referência (ETo) determinada pelo método de Penman-Monteith-FAO, dois parâmetros influenciados pela umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar. Uma vez que a umidade relativa média do ar não apresentou acentuadas variações (mínima mensal de 70% e máxima de 74%) ao longo do período experimental e a velocidade do vento manteve-se com valores médios muito reduzidos (máximo de $0,13\text{m.s}^{-1}$), provavelmente suas influências na Evap.TCA e na ETo foram menos significativas. No entanto, observa-se que tanto a Evap.TCA quanto a ETo apresentaram valores decrescentes ao longo do período estudado. A Evap.TCA atingiu 100,84mm em fevereiro, 96,67mm em março, 92,56mm em abril e 68,13mm em maio, enquanto que a ETo foi de 78,43mm em fevereiro, 54,15 em abril e 29,64 mm em maio, valores que acompanham a tendência decrescente dos valores totais de radiação solar incidente (441MJ.m^{-2} em fevereiro, 420MJ.m^{-2} em abril e 333MJ.m^{-2} em maio) e de temperatura média do ar ($24,1^{\circ}\text{C}$ em fevereiro, $21,3^{\circ}\text{C}$ em abril e $18,1^{\circ}\text{C}$ em maio).

Portanto, é plausível supor que a radiação solar tenha sido o elemento meteorológico que teve maior influência sobre a Evap.TCA e a ETo, o que é compatível com a afirmação de Fernandes, Folegatti e Pereira (1997) que, em seus estudos, identificaram a radiação solar como o fator que mais impacto exerceu sobre a evapotranspiração no interior de estufas.

4.2 Evapotranspiração de referência e evaporação nos tanques evaporimétricos

A Figura 3 possibilita uma análise da evolução dos valores da ETo e das evaporações medidas no tanque Classe A (Evap.TCA), no minitanque metálico

(Evap.MM) e no minitanque de plástico (Evap.MP). Confrontando-se os valores de ETo com a evaporação medida nos três evaporímetros, observa-se que os valores de ETo mantiveram-se quase sempre inferiores aos valores de evaporação, o que é fisicamente explicado pela existência, na cultura hipotética de referência implícita no conceito de ETo, das resistências estomática e aerodinâmica do dossel, fatores inexistentes na evaporação de uma superfície de água livremente exposta, como ocorre nos tanques evaporimétricos.

Observa-se ainda que, para os três evaporímetros, no período que se estende do início do experimento até aproximadamente o 60º dia (final de março), os valores de ETo estão mais próximos dos de evaporação, inclusive acompanhando as variações desta última. No período restante, nota-se uma tendência a decréscimos nos valores de evaporação, acompanhados por uma redução mais acentuada dos valores de ETo, a qual, nesse período, distancia-se dos valores de evaporação. Em resumo, nos dois meses finais do período estudado houve decréscimo, tanto nos valores de ETo quanto nos da evaporação, sendo que a diferença entre ETo e evaporação não mantém a mesma proporção verificada nos valores desses parâmetros nos dois meses iniciais.

O fato de os valores de evaporação serem acentuadamente mais elevados do que os de ETo nos meses de abril e maio, pode ser explicado pela evaporação noturna que continua a ocorrer nos evaporímetros após o período de luz. As medições de evaporação foram realizadas às 7:00h de cada dia, contabilizando-se, portanto, a evaporação ocorrida no período de 24h. Já a ETo foi calculada levando-se em consideração o período de 12 horas (horas de luz), pois admitiu-se que durante a noite os estômatos da cultura de referência permanecem fechados, como ocorre na maioria das culturas, circunstâncias em que a transpiração é bastante reduzida. Essa conjectura está baseada nos relatos

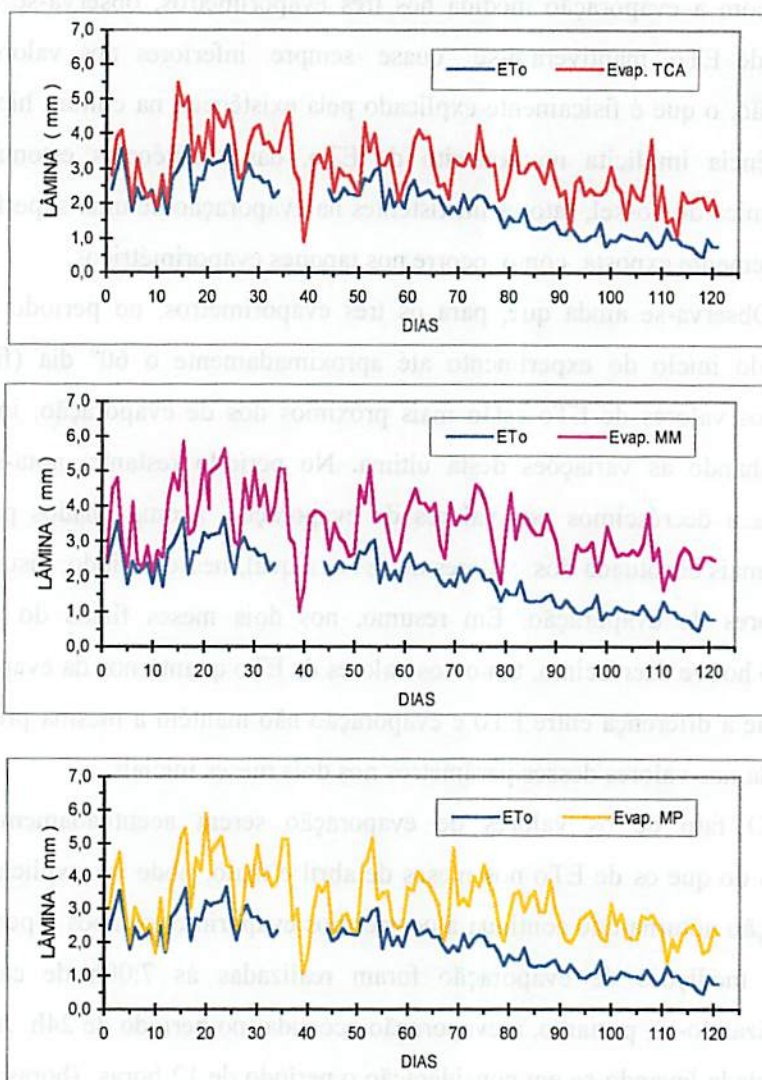


FIGURA 3 - Evolução dos valores diários de evapotranspiração de referência (ETo) e das evaporações ocorridas no tanque Classe A (Evap. TCA), no minitanque metálico (Evap.MM) e no minitanque de plástico (Evap.MP).

de Stone e Silveira (1995) que fazem referência à possível significância da evaporação noturna no total evaporado em 24h, ao mesmo tempo que recomendam fazer a distinção entre evaporação diurna e noturna do tanque Classe A.

Em ocasiões de reduzida demanda atmosférica, como nos meses de abril e maio, a parcela da evaporação noturna provavelmente representa uma porcentagem significativa da evaporação total do período de 24h. Já para o período de maior demanda atmosférica (fevereiro e março), possivelmente, a parcela de evaporação noturna representa uma menor porcentagem da evaporação total de 24h. Isso confere, em fevereiro e março, uma maior relevância à evaporação ocorrida no período de 12h, o que favorece também o registro de maior concordância entre as variações de ETo e evaporação, pois ambas estão praticamente representando fenômenos ocorridos somente no período de luz.

Entretanto, os valores de coeficiente de tanque (K_p) obtidos nesse estudo, para cada evaporímetro, refletem a situação descrita e, portanto, permitirão, para todo o período de estudo, a determinação de ETo partindo dos valores de evaporação.

4.3 Relação entre as evaporações medidas nos três evaporímetros

Na Figura 4 é apresentada a evolução da evaporação medida nos três evaporímetros. São comparadas, a evaporação do tanque Classe A (Evap.TCA) com as evaporações do minitanque metálico (Evap.MM) e do minitanque de plástico (Evap.MP). Constata-se uma tendência semelhante na evolução das evaporações medidas no minitanque metálico e no minitanque de plástico, com ambos os evaporímetros apresentando valores com variações análogas às do tanque Classe A.

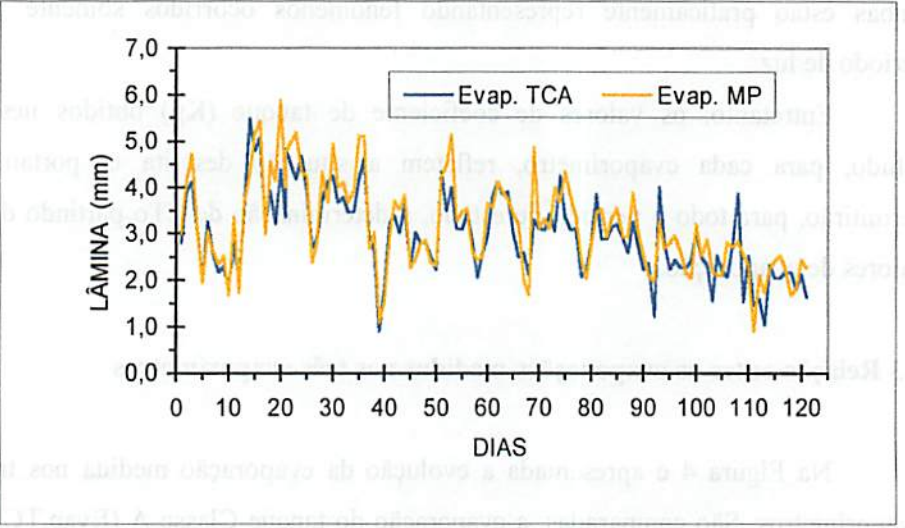
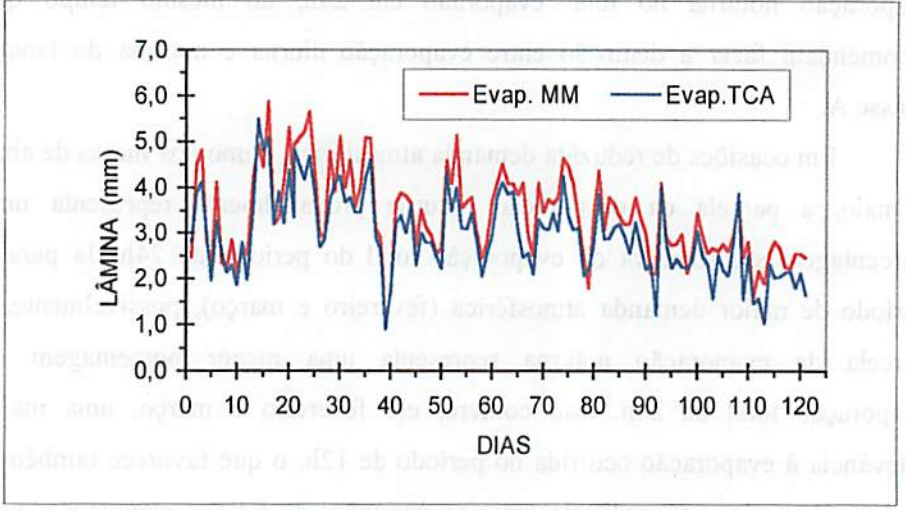


FIGURA 4 - Comparação entre a evaporação diária medida no tanque Classe A (Evap.TCA) e as evaporações medidas no minitanque metálico (Evap. MM) e no minitanque de plástico (Evap.MP).

Nota-se uma leve superestimativa da Evap.MM em relação à Evap.TCA, provavelmente devido à superfície de água em contato com a atmosfera no minitanque metálico ser menor do que no tanque Classe A. Possivelmente, no primeiro tanque, o ganho de energia da massa de água advindo da transferência da energia calorífica acumulada nas paredes metálicas do evaporímetro, ocorre mais rápida e mais homogênea do que no tanque que contém uma maior superfície de água. Essas circunstâncias devem levar ao registro de uma maior evaporação no evaporímetro que apresenta a menor superfície de água, isto é, o minitanque metálico. Isso está de acordo com Farias, Bergamaschi e Martins (1994) que citam o fato de a evaporação normalmente decrescer com o aumento da superfície de água, devido a fatores aerodinâmicos e às diferenças na transferência de energia entre a superfície de água e a atmosfera. Assim, tanques com diferentes superfícies de água livremente expostas, podem ocasionar lâminas diferentes de evaporação, quando submetidos às mesmas condições.

No presente estudo, tem-se a situação em que, de um lado há o tanque Classe A, que possui paredes metálicas, e de outro lado, há um minitanque com paredes de plástico que apresenta uma reduzida superfície evaporante e acondiciona um volume de água muito inferior ao do tanque Classe A. Na Figura 4 observa-se que as evaporações nesses dois instrumentos foram muito semelhantes ao longo de todo o período experimental. No tanque Classe A poderia ocorrer uma maior evaporação, visto que suas paredes metálicas armazenam e posteriormente transferem à massa d'água uma energia extra, além da demanda atmosférica. O tanque de plástico, por sua vez, tem suas paredes feitas de um material que armazena pouca energia calorífica a ser transferida à massa d'água, porém, acondiciona um menor volume desse líquido e este, ao receber energia, aquece-se mais rápido e homogênea do que o conteúdo no tanque Classe A. Como as evaporações em ambos os tanques foram muito semelhantes, pode-se inferir que novamente a menor superfície evaporante,

fator que favorece uma maior evaporação, elevou os valores de evaporação medidos no tanque de plástico, fazendo com que os mesmos atingissem valores semelhantes e, em algumas situações, até um pouco superiores aos medidos no tanque Classe A.

Na Tabela 3 e Figura 5 estão os parâmetros da regressão linear pelo método do eixo principal reduzido, destinados à verificação da relação entre as lâminas evaporadas dos três diferentes tipos de evaporímetros. A elevada similaridade observada entre os valores medidos nos três instrumentos pode ser constatada tanto pelos coeficientes angulares (valores de b) das equações, que aproximaram-se da unidade (1,067; 1,097 e 1,029), como pelos coeficientes de correlação (valores de r) que atingiram índices entre 0,87 e 0,91, os quais refletem uma forte correlação entre as variáveis em análise. Também confirmam a semelhança entre as evaporações, os reduzidos valores dos coeficientes de dispersão encontrados nas equações (12,4%; 14,95% e 12,35%).

Os desvios-padrões das evaporações medidas foram menores que 1,00mm, sendo de 0,86mm para o tanque Classe A, 0,92mm para o minitanque metálico e 0,95mm para o minitanque de plástico.

Tendo como referência a evaporação do tanque Classe A, nota-se na Tabela 1A que a mesma foi, em média, superada em 13,82% pela evaporação medida no minitanque metálico e em 6,60% pela do minitanque de plástico.

Na Figura 5 observa-se que as retas de regressão aproximam-se bastante do eixo 1:1, confirmando mais uma vez a semelhança entre as evaporações medidas nos três evaporímetros, o que permite inferir que, para fins práticos, quaisquer dos três instrumentos medem, com boa precisão, a evaporação de uma superfície livre de água, no interior de casas de vegetação. podendo, inclusive,

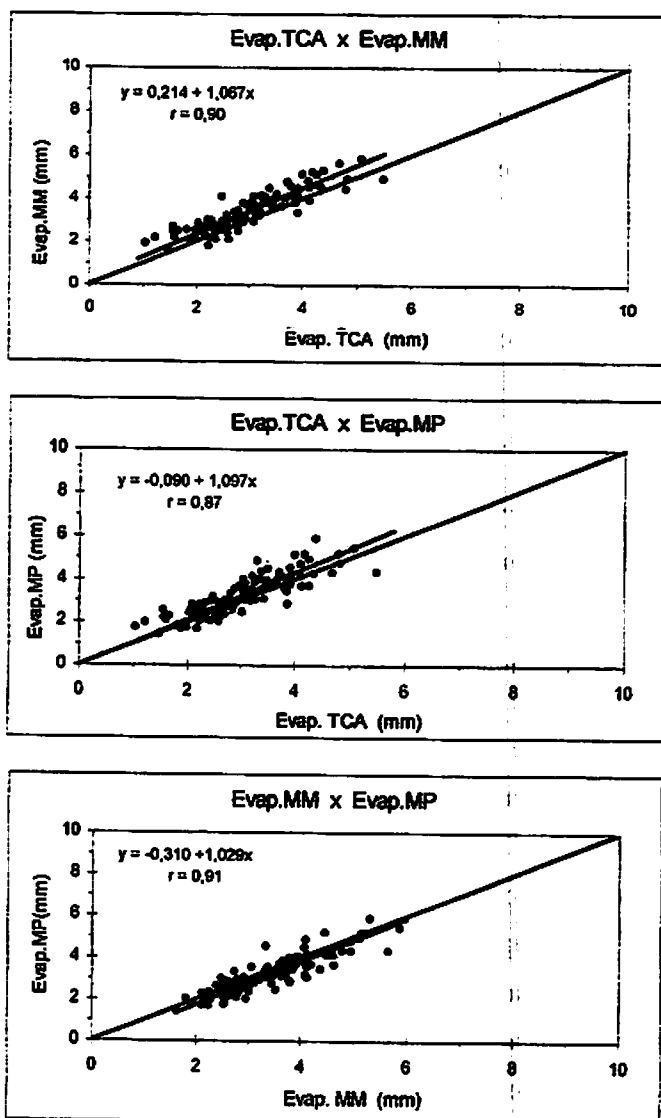


FIGURA 5 - Regressão linear pelo método do eixo principal reduzido, entre a evaporação diária medida no tanque Classe A (Evap. TCA) e as evaporações diárias medidas no minitanque metálico (Evap.MM) e no minitanque de plástico (Evap.MP).

haver a substituição do tanque Classe A por um dos dois minitanques estudados, desde que sejam utilizados os respectivos coeficientes de tanque (K_p), determinados conforme descrito nos relatos a seguir. Essa substituição apresenta algumas vantagens, quais sejam: menor custo de aquisição do evaporímetro alternativo, facilidade de manejo e ganho de área útil para plantio no interior da casa de vegetação.

TABELA 3 - Resultados da análise de regressão linear pelo método do eixo principal reduzido, entre a evaporação do tanque Classe A (Evap.TCA), a evaporação do minitanque metálico (Evap.MM) e a Evaporação do Minitanque de Plástico (Evap.MP).

Parâmetro	Evap.TCA	Evap.TCA	Evap.MM
	x Evap.MM	x Evap.MP	x Evap.MP
	$x = \text{Evap.TCA};$ $y = \text{Evap.MM}$	$x = \text{Evap.TCA};$ $y = \text{Evap.MP}$	$x = \text{Evap.MM};$ $y = \text{Evap.MP}$
Coefficiente a	0,214	-0,090	-0,310
Coefficiente b	1,067	1,097	1,029
Erro de a (mm)	0,134	0,156	0,143
Erro de b (mm)	0,043	0,051	0,041
Desvio padrão da Evap.TCA (mm)	0,86	0,86
Desvio padrão da Evap.MM (mm)	0,92	0,92
Desvio padrão da Evap.MP (mm)	0,95	0,95
Coefficiente de dispersão (%)	12,40	14,95	12,35
Coefficiente de correlação (r)	0,90	0,87	0,91

4.4 Calibração do tanque Classe A e valores específicos de K_p

Nas Tabelas 4 a 7 e Figuras 6 a 9 estão os valores empregados na determinação dos coeficientes de tanque (K_p) para o tanque Classe A, em cada mês estudado. Nota-se que em fevereiro a maior frequência (10 dias) de evaporação ocorreu no intervalo entre 3,0 e 4,0mm. Para os meses seguintes, a maior frequência e a faixa de evaporação onde ela ocorreu, foram, respectivamente: 10 dias com evaporações na faixa entre 3,0 e 4,0mm para o mês de março, 16 dias na faixa entre 3,0 e 4,0 mm para abril e 21 dias entre 2,0 e 3,0mm para maio. Constata-se, portanto, um decréscimo dos valores de evaporação desde o início das observações em fevereiro até o final em maio. Este decréscimo também pode ser constatado na Tabela 1A.

Para o mês de fevereiro, os valores médios de evaporação do tanque Classe A e das evapotranspirações de referência médias (Tabela 4), aplicados na Equação 20, resultaram na obtenção de coeficientes de tanque (K_p) que variaram de 0,90 para os menores valores de evaporação a 0,62 para os maiores. Para este mês, na Figura 6 está expressa a tendência linear e a respectiva equação encontrada para a relação Evaporação média/ K_p médio, sendo que os coeficientes de tanque (K_p) ajustados, calculados pela citada equação, são específicos para o mês de fevereiro e para as faixas de evaporação consideradas. Com essa equação é possível estimar o K_p para quaisquer valores de evaporação que se encontrem entre os limites inferior e superior das evaporações medidas naquele mês.

Futuramente, para a utilização de uma equação semelhante a esta no mês de fevereiro de qualquer ano, é necessário que a metodologia ora aplicada seja repetida em um maior número de anos, a fim de que os coeficientes de tanque obtidos sejam representativos das condições climáticas do mês considerado, pois sabe-se que as variáveis meteorológicas variam de um ano

para o outro. Nesse contexto, a equação ora apresentada configura-se como uma primeira aproximação no estabelecimento para o tanque Classe A instalado em ambiente protegido, de uma relação entre a evaporação e o K_p , para o mês de fevereiro.

Análise semelhante foi realizada para os meses de março, abril e maio do ano de 2000, podendo os resultados de calibração do tanque Classe A para esses meses, serem visualizados nas Tabelas 5 a 7 e Figuras 7 a 9 . Vale salientar que os comentários sobre a utilização dos coeficientes de tanque (K_p) e equações nos anos vindouros, relatados na análise do mês de fevereiro, são válidos também para os meses de março, abril e maio.

TABELA 4 - Distribuição de freqüência das evaporações medidas no tanque Classe A e valores médios de evaporação, evapotranspiração de referência (ETo média) e coeficiente do tanque (Kp médio), relativos ao mês de fevereiro/2000.

MÊS: fevereiro / 2000		Evaporímetro: tanque Classe A			
FAIXA DE EVAPORAÇÃO Mm	Freqüência	Evaporação média mm	ETo média mm	Kp médio	
				observado	ajustado*
0 - 1	-	-	-	-	-
1 - 2	3	1,94	1,75	0,90	0,93
2 - 3	7	2,61	2,35	0,90	0,87
3 - 4	10	3,51	2,72	0,77	0,79
4 - 5	7	4,44	3,27	0,74	0,71
5 - 6	2	5,28	3,30	0,62	0,64

* $K_p = 1,0898 - 0,0849x$; sendo x igual à evaporação média.

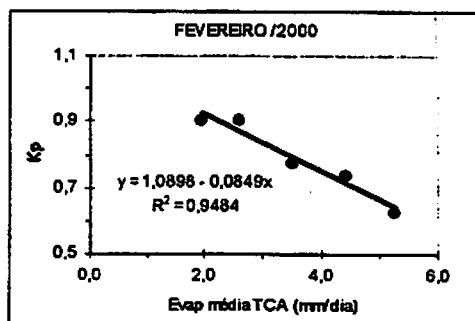


FIGURA 6 - Regressão linear entre as evaporações médias de cada faixa de evaporação (Evap. média) e seus respectivos coeficientes de tanque (Kp médio), para o evaporímetro tanque Classe A (TCA), relativa ao mês de fevereiro/2000.

TABELA 5 - Distribuição de freqüência das evaporações medidas no tanque Classe A e valores médios de evaporação, evapotranspiração de referência (ETo média) e coeficiente do tanque (Kp médio), relativos ao mês de março/2000.

MÊS: março / 2000		Evaporímetro: tanque Classe A			
FAIXA DE EVAPORAÇÃO mm	Freqüência	Evaporação média mm	ETo média mm	Kp médio	
				observado	ajustado*
0 - 1	-	-	-	-	-
1 - 2	-	-	-	-	-
2 - 3	9	2,57	2,18	0,85	0,83
3 - 4	10	3,42	2,42	0,71	0,74
4 - 5	3	4,20	2,82	0,67	0,65
5 - 6	-	-	-	-	-

* $K_p = 1,1145 - 0,1098x$; sendo x igual à evaporação média.

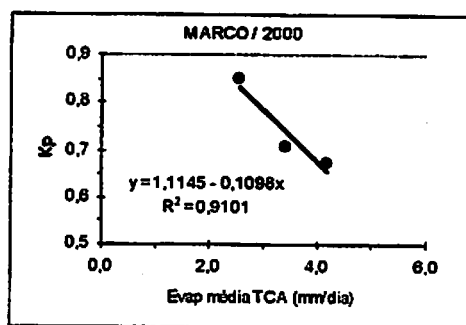


FIGURA 7 - Regressão linear entre as evaporações médias de cada faixa de evaporação (Evap. média) e seus respectivos coeficientes de tanque (Kp médio), para o evaporímetro tanque Classe A (TCA), relativa ao mês de março/2000.

TABELA 6 - Distribuição de freqüência das evaporações medidas no tanque Classe A e valores médios de evaporação, evapotranspiração de referência (ETo média) e coeficiente do tanque (Kp médio), relativos ao mês de abril/2000.

MÊS: abril / 2000		Evaporímetro: tanque Classe A			
FAIXA DE EVAPORAÇÃO mm	Freqüência	Evaporação média mm	ETo média Mm	Kp médio	
				observado	ajustado*
0 - 1	-	-	-	-	-
1 - 2	-	-	-	-	-
2 - 3	12	2,54	1,58	0,62	0,62
3 - 4	16	3,56	1,92	0,57	0,57
4 - 5	2	4,19	2,22	0,53	0,53
5 - 6	-	-	-	-	-

* $K_p = 0,7616 - 0,0556x$; sendo x igual à evaporação média.

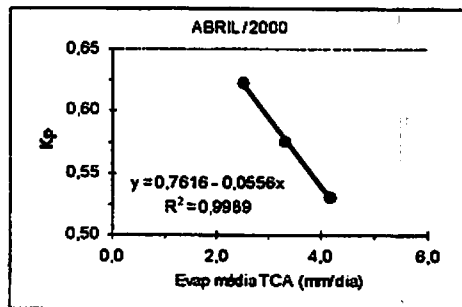


FIGURA 8 - Regressão linear entre as evaporações médias de cada faixa de evaporação (Evap. média) e seus respectivos coeficientes de tanque (Kp médio), para o evaporímetro tanque Classe A (TCA), relativa ao mês de abril/2000.

TABELA 7 - Distribuição de freqüência das evaporações medidas no tanque Classe A e valores médios de evaporação, evapotranspiração de referência (ETo média) e coeficiente do tanque (Kp médio), relativos ao mês de maio/2000.

MÊS: maio / 2000		Evaporímetro: tanque Classe A			
FAIXA DE EVAPORAÇÃO mm	Freqüência	Evaporação média mm	ETo média mm	Kp médio	
				observado	ajustado*
0 - 1	-	-	-	-	-
1 - 2	8	1,49	0,93	0,63	0,60
2 - 3	21	2,35	0,93	0,40	0,45
3 - 4	2	3,47	0,94	0,27	0,25
4 - 5	-	-	-	-	-
5 - 6	-	-	-	-	-

* $Kp = 0,8627 - 0,177x$; sendo x igual à evaporação média.

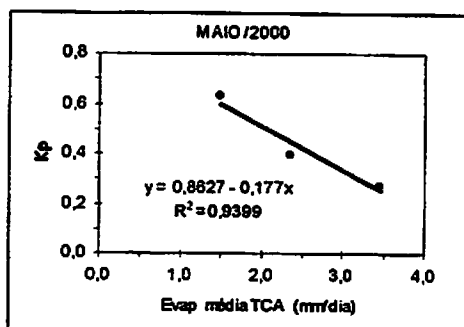


FIGURA 9 - Regressão linear entre as evaporações médias de cada faixa de evaporação (Evap. média) e seus respectivos coeficientes de tanque (Kp médio), para o evaporímetro tanque Classe A (TCA), relativa ao mês de maio/2000.

4.5 Calibração do minitanque metálico e valores específicos de K_p

Para o mês de fevereiro, os valores médios de evaporação do minitanque metálico e das evapotranspirações de referência médias apresentados na Tabela 8, aplicados na Equação 20, resultaram na obtenção de coeficientes de tanque (K_p) que variaram de 0,88 para os menores valores de evaporação a 0,63 para os maiores. Para este mês, na Figura 10 está expressa a tendência linear e sua respectiva equação encontrada para a relação evaporação média/ K_p médio, sendo os coeficientes de tanque (K_p) ajustados, calculados através da citada equação, específicos para o mês de fevereiro, para o minitanque metálico e para as faixas de evaporação consideradas.

Análise semelhante foi feita para os meses de março, abril e maio do ano de 2000 e os resultados de calibração do minitanque metálico para esses meses podem ser visualizados nas Tabelas 9 a 11 e Figuras 11 a 13. A utilização dos coeficientes de tanque (K_p) e equações nos anos vindouros fica condicionada à repetição da metodologia em um maior número de anos, pelas razões já citadas por ocasião da análise da calibração do tanque Classe A.

TABELA 8 - Distribuição de freqüência das evaporações medidas no minitanque metálico e valores médios de evaporação, evapotranspiração de referência (ETo média) e coeficiente do tanque (Kp médio), relativos ao mês de fevereiro/2000.

MÊS: fevereiro / 2000		Evaporímetro: minitanque Metálico			
FAIXA DE EVAPORAÇÃO mm	Freqüência	Evaporação média mm	ETo média mm	Kp médio	
				observado	ajustado*
0 - 1	-	-	-	-	-
1 - 2					
2 - 3	10	2,54	2,24	0,88	0,85
3 - 4	5	3,48	2,54	0,73	0,77
4 - 5	10	4,50	2,93	0,65	0,68
5 - 6	4	5,51	3,46	0,63	0,60

* $Kp = 1,0598 - 0,0841x$; sendo x igual à evaporação média.

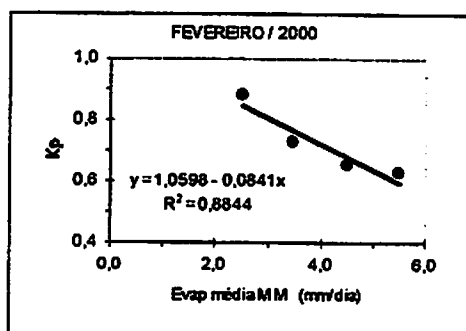


FIGURA 10 - Regressão linear entre as evaporações médias de cada faixa de evaporação (Evap. média) e seus respectivos coeficientes de tanque (Kp médio), para o evaporímetro minitanque metálico (MM), relativa ao mês de fevereiro/2000.

TABELA 9 - Distribuição de freqüência das evaporações medidas no minitanque metálico e valores médios de evaporação, evapotranspiração de referência (ETo média) e coeficiente do tanque (Kp médio), relativos ao mês de março/2000.

MÊS: março / 2000		Evaporímetro: minitanque metálico			
FAIXA DE EVAPORAÇÃO mm	Freqüência	Evaporação média mm	ETo média mm	Kp médio	
				observado	ajustado*
0 - 1	-	-	-	-	-
1 - 2	-	-	-	-	-
2 - 3	6	2,70	2,14	0,79	0,77
3 - 4	10	3,57	2,33	0,65	0,68
4 - 5	4	4,32	2,59	0,60	0,61
5 - 6	2	5,12	2,86	0,56	0,54

* $Kp = 1,0211 - 0,0943x$; sendo x igual à evaporação média.

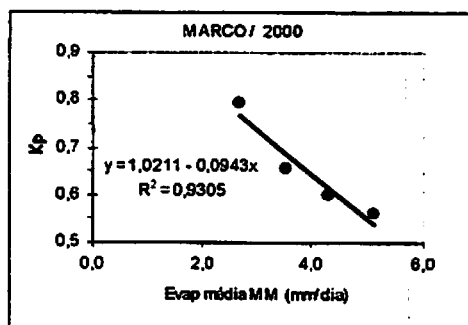


FIGURA 11 - Regressão linear entre as evaporações médias de cada faixa de evaporação (Evap. média) e seus respectivos coeficientes de tanque (Kp médio), para o evaporímetro minitanque metálico (MM), relativa ao mês de março/2000.

TABELA 10 - Distribuição de frequência das evaporações medidas no minitanque metálico e valores médios de evaporação, evapotranspiração de referência (ETo média) e coeficiente do tanque (Kp médio), relativos ao mês de abril/2000.

MÊS: abril / 2000		Evaporímetro: minitanque metálico				
FAIXA DE EVAPORAÇÃO mm	Frequência	Evaporação média mm	ETo média mm	Kp médio		
				observado	ajustado*	
0 - 1	-	-	-	-	-	
1 - 2	1	1,79	1,30	0,73	0,72	
2 - 3	3	2,65	1,76	0,67	0,63	
3 - 4	16	3,48	1,63	0,47	0,55	
4 - 5	10	4,25	2,14	0,50	0,46	
5 - 6	-	-	-	-	-	

* $Kp = 0,9143 - 0,1061x$; sendo x igual à evaporação média.

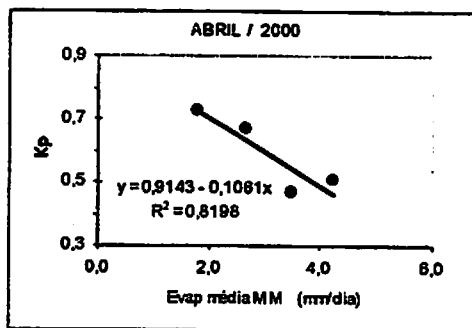


FIGURA 12 - Regressão linear entre as evaporações médias de cada faixa de evaporação (Evap. média) e seus respectivos coeficientes de tanque (Kp médio), para o evaporímetro minitanque metálico (MM), relativa ao mês de abril/2000.

TABELA 11 - Distribuição de freqüência das evaporações medidas no minitanque metálico e valores médios de evaporação, evapotranspiração de referência (ETo média) e coeficiente do tanque (Kp médio), relativos ao mês de maio/2000.

MÊS: maio / 2000		Evaporímetro: minitanque metálico			
FAIXA DE EVAPORAÇÃO mm	Freqüência	Evaporação média mm	ETo média mm	Kp médio	
				observado	ajustado*
0 - 1	-	-	-	-	-
1 - 2	2	1,73	1,14	0,65	0,61
2 - 3	27	2,56	0,94	0,37	0,44
3 - 4	2	3,63	0,94	0,26	0,23
4 - 5	-	-	-	-	-
5 - 6	-	-	-	-	-

* $K_p = 0,9649 - 0,2035x$; sendo x igual à evaporação média.

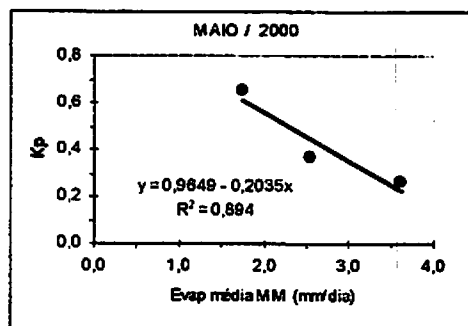


FIGURA 13 - Regressão linear entre as evaporações médias de cada faixa de evaporação (Evap. média) e seus respectivos coeficientes de tanque (Kp médio), para o evaporímetro minitanque metálico (MM), relativa ao mês de maio/2000.

4.6 Calibração do minitanque de plástico e valores específicos de K_p

Para o mês de fevereiro, os valores médios de evaporação do minitanque de plástico e das evapotranspirações de referência médias apresentados na Tabela 12, aplicados na Equação 20, resultaram na obtenção de coeficientes de tanque (K_p) que variaram de 0,97 para os menores valores de evaporação a 0,62 para os maiores. Para este mês, na Figura 14 está expressa a tendência linear e sua respectiva equação encontrada para a relação evaporação média/ K_p médio, sendo os coeficientes de tanque (K_p) ajustados, calculados por meio da citada equação, específicos para o mês de fevereiro, para o minitanque de plástico e para os faixas de evaporação consideradas.

Análise semelhante foi feita para os meses de março, abril e maio do ano de 2000, podendo os resultados de calibração do minitanque de plástico para esses meses serem visualizados nas Tabelas 13 a 15 e Figuras 15 a 17.

A utilização dos coeficientes de tanque (K_p) e equações nos anos vindouros para o minitanque de plástico, fica também condicionada à repetição da metodologia em um maior número de anos, pelas razões já citadas por ocasião da análise da calibração do tanque Classe A.

TABELA 12 - Distribuição de freqüência das evaporações medidas no minitanque de plástico e valores médios de evaporação, evapotranspiração de referência (ETo média) e coeficiente do tanque (Kp médio), relativos ao mês de fevereiro/2000.

MÊS: fevereiro / 2000		Evaporímetro: minitanque de plástico			
FAIXA DE EVAPORAÇÃO mm	Freqüência	Evaporação média mm	ETo média mm	Kp médio	
				observado	ajustado*
0 - 1	-	-	-	-	-
1 - 2	3	1,79	1,75	0,97	0,95
2 - 3	7	2,67	2,28	0,86	0,87
3 - 4	5	3,36	2,64	0,79	0,80
4 - 5	10	4,35	3,06	0,70	0,71
5 - 6	4	5,42	3,35	0,62	0,60

* $K_p = 1,127 - 0,0964x$; sendo x igual à evaporação média.

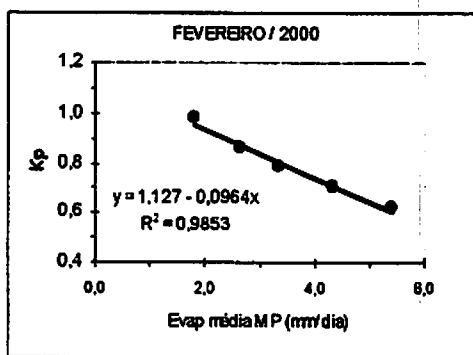


FIGURA 14 - Regressão linear entre as evaporações médias de cada faixa de evaporação (Evap. média) e seus respectivos coeficientes de tanque (Kp médio), para o evaporímetro minitanque de plástico (MP), relativa ao mês de fevereiro/2000.

TABELA 13 - Distribuição de freqüência das evaporações medidas no minitanque de plástico e valores médios de evaporação, evapotranspiração de referência (ETo média) e coeficiente do tanque (Kp médio), relativos ao mês de março/2000.

MÊS: março/ 2000		Evaporímetro: minitanque de plástico			
FAIXA DE EVAPORAÇÃO mm	Freqüência	Evaporação média mm	ETo média mm	Kp médio	
				observado	ajustado*
0 - 1	-	-	-	-	-
1 - 2	-	-	-	-	-
2 - 3	9	2,52	2,15	0,85	0,82
3 - 4	7	3,63	2,37	0,65	0,70
4 - 5	5	4,36	2,67	0,61	0,63
5 - 6	1	5,14	2,94	0,57	0,54

* $Kp = 1,0886 - 0,1063x$; sendo x igual à evaporação média.

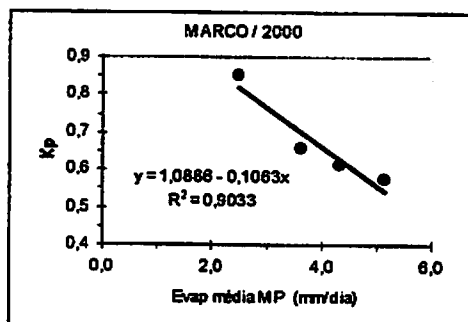


FIGURA 15 - Regressão linear entre as evaporações médias de cada faixa de evaporação (Evap. média) e seus respectivos coeficientes de tanque (Kp médio), para o evaporímetro minitanque de plástico (MP), relativa ao mês de março/2000.

TABELA 14 - Distribuição de freqüência das evaporações medidas no minitanque de plástico e valores médios de evaporação, evapotranspiração de referência (ETo média) e coeficiente do tanque (Kp médio), relativos ao mês de abril/2000.

MÊS: abril / 2000		Evaporímetro: minitanque de plástico			
FAIXA DE EVAPORAÇÃO mm	Freqüência	Evaporação média mm	ETo média mm	Kp médio	
				observado	ajustado*
0 - 1	-	-	-	-	-
1 - 2	-	-	-	-	-
2 - 3	9	2,48	1,53	0,62	0,62
3 - 4	18	3,50	1,89	0,54	0,54
4 - 5	3	4,44	2,10	0,47	0,47
5 - 6	-	-	-	-	-

* $Kp = 0,9031 - 0,0746x$; sendo x igual à evaporação média.

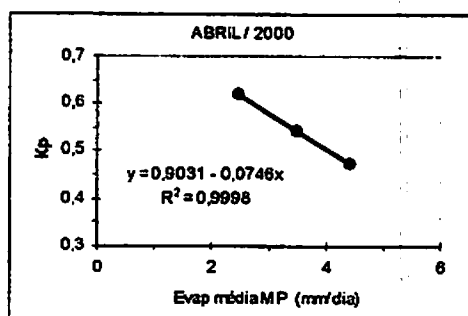


FIGURA 16 - Regressão linear entre as evaporações médias de cada faixa de evaporação (Evap. média) e seus respectivos coeficientes de tanque (Kp médio), para o evaporímetro minitanque de plástico (MP), relativa ao mês de abril/2000.

TABELA 15 - Distribuição de freqüência das evaporações medidas no minitanque de plástico e valores médios de evaporação, evapotranspiração de referência (ETo média) e coeficiente do tanque (Kp médio), relativos ao mês de maio/2000.

MÊS: maio / 2000		Evaporímetro: minitanque de plástico			
FAIXA DE EVAPORAÇÃO mm	Freqüência	Evaporação média mm	ETo média mm	Kp médio	
				observado	ajustado*
0 - 1	-	-	-	-	-
1 - 2	5	1,72	1,01	0,59	0,56
2 - 3	24	2,45	0,94	0,38	0,43
3 - 4	2	3,23	1,04	0,32	0,30
4 - 5	-	-	-	-	-
5 - 6	-	-	-	-	-

* $Kp = 0,8605 - 0,174x$; sendo x igual à evaporação média.

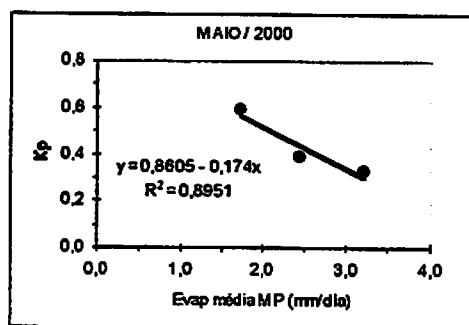


FIGURA 17 - Regressão linear entre as evaporações médias de cada faixa de evaporação (Evap. média) e seus respectivos coeficientes de tanque (Kp médio), para o evaporímetro minitanque de plástico (MP), relativa ao mês de maio/2000.

5 CONCLUSÕES

Com base nas condições experimentais e nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

a) as evaporações ocorridas no minitanque metálico e no minitanque de plástico foram, em média, 13,82% e 6,60% superiores a evaporação do tanque Classe A, respectivamente;

b) os valores de coeficientes de tanque (K_p) determinados para os evaporímetros estudados, variaram de 0,25 a 0,93 para o tanque Classe A, de 0,23 a 0,85 para o minitanque metálico e de 0,30 a 0,95 para o minitanque de plástico;

c) para estimativa da evapotranspiração de referência (E_{To}) no interior de casa de vegetação, o tanque Classe A pode ser substituído pelo minitanque metálico ou minitanque de plástico, com a vantagem de se utilizar um instrumento de menor custo e de operação mais fácil, principalmente se adotado o minitanque de plástico, além de se obter um aumento da área útil de plantio.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES SOBRINHO, T.; BONOMO, R.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. Estimativa da Evapotranspiração de Referência (Eto) para Dourados e Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25., 1996, Bauru. Anais... Bauru: SBEA, 1996. CD-ROM.
- AMORIM, M. C. ; SEDIYAMA, G. C.; MELLO, J. L. P. Modelo para coeficiente de tanque classe "A" para o semi-árido agrícola do nordeste brasileiro. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. Anais... Campina Grande: SBEA, 1997. CD-ROM
- AMORIM, M. C. ; SEDIYAMA, G. S.; SOBRINHO, J. E.; RODRIGUES, L. N. Avaliação da Evapotranspiração de Referência estimada por diferentes modelos de coeficiente de Tanque Classe "A". In. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. Anais... Piracicaba: ESALQ/USP, 1997. p.683-685.
- AZEVEDO, B. M. Evapotranspiração de referência obtida com a razão de Bowen, lisímetro de pesagem e equação de Penman-Monteith utilizando sistemas automáticos. Piracicaba: ESALQ, 1999. 87p. (Tese- Doutorado em Agronomia).
- BONOMO, R.; ALVES SOBRINHO, T.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. Calibração do tanque classe A para a determinação da

Evapotranspiração de referência (ET_o) para Dourados e Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25., 1996, Bauru. Anais... Bauru: SBEA, 1996. CD-ROM .

BRASIL. Ministério da Agricultura. Normais Climatológicas 1961-1990. Brasília, 1992.

BURMAN, R.F. Water requirements. In JENSEN, M.E. Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph: The American Society of Agricultural Engineers, 1983. p.189-231

CRESPO, A. A. Estatística. 9. ed. São Paulo: Saraiva, 1993. p.152. 224p

DAKER, A. Irrigação e Drenagem. A água na Agricultura. 6.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1984. v.3, p. 74-77. 543p.

DANTAS NETO, F. S. Avaliação de métodos para estimativa da Evapotranspiração de Referência (ET_o) para Mossoró-RN. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. Anais... Campina Grande: SBEA, 1997. CD-ROM

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

EVANGELISTA, A. W. P. Avaliação de métodos de determinação da evapotranspiração, no interior de casa de vegetação, em Lavras - MG.

Lavras: UFLA, 1999. 79p. (Dissertação - Mestrado em Irrigação e Drenagem).

FARIAS, J. R. B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S. R. Evapotranspiração no interior de estufas plásticas. *Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria*, v. 2, p. 17-22, 1994.

FERNANDES, A. L. T.; FOLEGATTI, M. V.; PEREIRA, A. R. Estimativa da evapotranspiração da cultura do crisântemo cultivado em estufa a partir de 10 métodos empíricos. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. Anais... Piracicaba: ESALQ/USP, 1997. p.677-679.

FOLEGATTI, M. V.; SCATOLINI, M. E.; PAZ, V. P. S.; PEREIRA, A. R.; FRIZZONE, J. A. Efeitos da cobertura plástica sobre os elementos meteorológicos e evapotranspiração da cultura de crisântemo em estufa. *Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria*, v. 5, n. 2, p. 155-163, 1997.

FRANCISCO, W. de. *Estatística: Síntese da teoria, exercícios propostos e resolvidos*. São Paulo: Atlas, 1982. p.205. 221p.

FREVERT, D.K. Estimation of FAO Evapotranspiration Coefficients. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, New York*, v.109, n.2, p.265-270, June 1983.

GALVANI, E.; DANTAS, R. T.; ESCOBEDO, J. F.; KLOSOWISKI, E. S., Parâmetros meteorológicos em cultura de alface (*Lactuca sativa, L.*)

cultivada em casas de vegetação com orientações Leste-Oeste, Norte-Sul e condições externas. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 157- 163, 1999a.

GALVANI, E.; SILVA, M. A. A.; ESCOBEDO, J. F.; CUNHA, A. R.; PEREIRA, A. B.; KLOSOWSKI, E. S.; VILLA NOVA, N. A. Modelo de estimativa de evapotranspiração potencial (ET_o) a partir de lâmina d'água evaporada em tanque classe "A". In. SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1., Botucatu. Anais... Botucatu:UNESP/FCA, 1999b. p.127-132.

GERVÁSIO, E. S.; LIMA, L. A. Uso de um evaporímetro alternativo e sua comparação com o tanque "classe A". In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25., 1996, Bauru. Anais... Bauru: SBEA, 1996. CD-ROM.

HOSSOKAWA, T; MATSURA, E.E.; SENGE, M. Avaliação de Penman-Monteith e de Priestley-Taylor na estimativa da Evapotranspiração no interior de estufa. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. Anais... Campina Grande: SBEA, 1997. CD-ROM.

HOSSOKAWA, T; MATSURA, E.E.; TESTEZLAF, R. Estudos dos elementos meteorológicos na estimativa da Evapotranspiração Potencial em casa de vegetação. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas, MG. Anais... Poços de Caldas: SBEA, 1998. p.40-42.

- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. Evapotranspiration and irrigation water requirements. New York: ASCE, 1990. 332p.**
- KOBAYASHI, M. K.; SEDIYAMA, G. C.; GOMIDE, R. L.; MEDEIROS, P. C.; DURÃES, F. O. Evapotranspiração do feijoeiro medida em mini-lisímetro pelo método de Penman-Monteith em casa de vegetação. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25., 1996, Bauru. Anais... Bauru: SBEA, 1996. CD-ROM.**
- LIMA, M. G. ; SILVA, A. A. G., Evapotranspiração de Referência vs Evaporação do Tanque Classe "A" para o Município de Teresina. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. Anais... Piracicaba: ESALQ/USP, 1997. p.701-703.**
- MARTINS, S. R. Desafios da plasticultura brasileira: limites sócioeconômicos e tecnológicos frente as novas e crescentes demandas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 14, n. 2, p.133-138, fev. 1996.**
- MEDEIROS, J. F. ; PEREIRA, F. A. C.; FOLEGATTI, M. V.; PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A., Comparação entre a evaporação em Tanque Classe A padrão e em minitanque, instalados em estufa e estação meteorológica. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. Anais... Piracicaba: ESALQ/USP, 1997. p.228-230.**
- MEDEIROS, T. A.; SOUZA, F. Estimativa da Evapotranspiração de Referência (ET_o) pelo software REF-ET com base em dados médios obtidos no período de 1974 a 1978 (Pentecoste-Ceará). In. CONGRESSO BRASILEIRO DE**

ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. Anais...
Campina Grande: SBEA, 1997. CD-ROM.

MENK, J. R. F.; IGUE, T.; Relacionamento de dados de solos entre métodos analíticos: o caso da análise granulométrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, SP, v.16, p. 143-152. maio/ago. 1992.

MOSS, G. L. ; MEYER, C. P.; CERESA, A.; SALE, P. J. M., SHELL, G.S. A Technique for Accurately Measuring Water Use by Greenhouse crops. *Hortscience*, Alexandria, v.20, n.5, p.877-879. Oct. 1986.

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, ago. 1995.

OMETTO, J. C. *Bioclimatologia Vegetal*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. p. 257-259. 440p.

ORTEGA, S.; MEDIAVILLA, A. Aplicacion de la equacion de Penman-Monteith en Talca, VII region de Chile. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25., 1996, Bauru. Anais... Bauru: SBEA, 1996. CD-ROM.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; PEREIRA, A. S.; BARBIERI, V. A. A model for the Class A pan coefficient. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.76, p. 75-82, 1995.

- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C.**
Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p
- PERES, J. G.; PEREIRA, A. R.; FRIZZONE, J. A.; VILLA NOVA, N. A.**
Determinação da resistência do dossel da grama para condições de evapotranspiração potencial. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 4, n. 1 p. 55-60, 1996.
- SCATOLINI, M. E. Estimativa da evapotranspiração da cultura do crisântemo em estufa a partir de elementos meteorológicos. Piracicaba: ESALQ, 1996. 71p. (Dissertação - Mestrado em Irrigação e Drenagem)**
- SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: Histórico, evolução e análise crítica. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. i - xii, 1996.**
- SEDIYAMA, G. C. Necessidades de água para os cultivos. Brasília: ABEAS, 1987. 143p.**
- SILVA, F. C. Uso de dispositivo lisimétrico para medida da evapotranspiração de referência. Piracicaba: ESALQ, 1996. 62p (Dissertação - Mestrado em Irrigação e Drenagem).**
- SILVA, F. C.; FOLEGATTI, M. V.; PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.**
Uso de dispositivo lisimétrico para medida da evapotranspiração de referência. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 19-33, 1999.

SNYDER, R. L. Equation for Evapotranspiration Pan to Evapotranspiration Conversions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 118, n.1, p.977-980, Jan/Feb. 1992

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

VENTURA, F.; SPANO, D.; DUCE, P.; SNYDER, R. L., An evaluation of common evapotranspiration equations. **Irrigation Science**, Berlim, v.18, n.4, p. 163-170, May 1999.

VILLA NOVA, N.A. Principais métodos de estimativa de aplicação de água de irrigação. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Física e Meteorologia. 1987. 22p.

VILLA NOVA, N.A.; SALATTI, E.; MATSUI, E. Estimativa da evapotranspiração na Bacia Amazônica. **Acta Amazonica**, Manaus, v.6, n.2, p.215-258, jun.1976.

ANEXOS

Anexo A

Página

TABELA 1A	Valores de evapotranspiração de referência determinada pelo método de Penman-Monteith-FAO e de evaporações medidas no tanque Classe A (Evap.TCA), no minitanque metálico (Evap. MM) e no minitanque de plástico (Evap MP).....	75
-----------	--	----

TABELA 1A - Valores de evapotranspiração de referência determinada pelo método de Penman-Monteith-FAO (ET_o.PM-FAO) e de evaporações medidas no Tanque Classe A (Evap.TCA), no Minitanque Metálico (Evap. MM) e no Minitanque de Plástico (Evap.MP)

Dia	ET_o.PM-FAO	Evap. TCA	Evap. MM	Evap. MP
	mm	mm	mm	mm
1/2	2,38	2,80	2,48	2,99
2/2	2,97	3,91	4,49	4,11
3/2	3,56	4,11	4,81	4,71
4/2	2,74	3,08	2,92	3,06
5/2	1,78	1,97	2,25	1,96
6/2	2,45	3,27	4,12	3,06
7/2	2,09	2,59	2,38	2,64
8/2	2,21	2,16	2,24	2,34
9/2	2,37	2,30	2,86	2,52
10/2	1,78	1,87	2,10	1,68
11/2	2,49	2,81	2,74	3,34
12/2	1,69	1,98	2,52	1,74
13/2	2,76	3,52	4,20	3,68
14/2	2,94	5,48	4,94	4,34
15/2	3,26	4,80	4,46	5,20
16/2	3,65	5,07	5,86	5,43
17/2	2,04	3,19	3,20	2,99
18/2	2,73	3,92	3,34	4,54
19/2	2,67	3,22	4,12	4,14
20/2	3,25	4,38	5,30	5,88
21/2	3,09	3,36	3,92	4,02
22/2	3,15	4,82	4,94	4,76
23/2	3,25	4,18	5,22	5,18

...continua...

TABELA 1A, Cont.

Dia	ETo.PM-FAO mm	Evap. TCA mm	Evap. MM mm	Evap. MP mm
24/2	3,68	4,68	5,64	4,33
25/2	2,66	3,94	4,42	4,25
26/2	2,05	2,70	3,02	2,38
27/2	2,85	2,88	2,89	2,80
28/2	3,12	3,72	4,78	4,32
29/2	2,77	4,13	3,92	3,68
1/3	2,78	4,26	5,10	4,93
2/3	2,59	3,69	3,99	4,01
3/3	2,63	3,78	4,60	4,11
4/3	2,17	3,47	3,59	3,69
5/3	2,36	3,48	4,01	3,94
6/3	-	4,21	5,08	5,12
7/3	-	4,61	5,06	5,10
8/3	-	2,94	3,11	2,67
9/3	-	2,63	2,91	3,02
10/3	-	0,90	0,99	1,07
11/3	-	1,82	1,73	1,57
12/3	-	3,22	3,68	2,94
13/3	-	3,39	3,88	3,71
14/3	-	3,02	3,82	3,53
15/3	2,40	3,61	3,67	3,84
16/3	2,05	2,31	2,76	2,27
17/3	2,16	3,02	3,52	2,46
18/3	2,44	2,80	3,12	2,78
19/3	2,26	2,82	2,96	2,86
20/3	2,25	2,52	2,56	2,40
21/3	2,21	2,23	2,67	2,31
22/3	2,373	4,34	4,58	4,26

...continua...

TABELA 1A, Cont.

Dia	ETo.PM-FAO	Evap.	Evap.	Evap.
	mm	TCA	MM	MP
		mm	mm	mm
23/3	2,64	3,50	4,08	4,49
24/3	2,94	4,00	5,14	5,14
25/3	3,05	3,12	3,56	3,28
26/3	1,80	3,09	3,69	3,48
27/3	2,39	3,45	3,79	3,54
28/3	1,91	2,84	3,02	2,62
29/3	2,17	2,06	2,45	2,43
30/3	1,87	2,58	2,81	2,52
31/3	2,44	2,96	3,71	3,66
1/4	2,66	3,82	4,12	3,56
2/4	2,21	4,12	4,51	4,13
3/4	2,29	3,86	4,09	3,89
4/4	2,38	3,92	4,08	3,76
5/4	2,17	3,06	3,85	3,45
6/4	2,20	2,48	4,09	3,16
7/4	1,90	2,58	2,95	2,02
8/4	1,70	2,11	2,51	2,68
9/4	1,90	3,30	4,10	4,86
10/4	1,73	3,12	3,47	3,12
11/4	2,24	3,08	3,74	3,31
12/4	1,84	3,43	3,64	3,10
13/4	2,10	3,05	3,79	3,99
14/4	2,23	4,26	4,63	3,68
15/4	2,18	3,38	4,47	4,34
16/4	1,89	3,08	4,08	3,80
17/4	1,92	3,12	3,32	3,38
18/4	1,68	2,08	2,48	2,48
19/4	1,30	2,23	1,79	2,03

...continua ...

TABELA 1A, Cont.

Dia	ETo.PM-FAO mm	Evap. TCA mm	Evap. MM mm	Evap. MP mm
20/4	1,62	2,80	3,45	2,78
21/4	1,48	3,86	4,37	3,45
22/4	1,48	2,88	3,07	3,54
23/4	1,85	2,89	3,78	2,93
24/4	1,33	3,14	3,65	3,33
25/4	1,26	3,20	3,38	3,55
26/4	1,31	2,93	3,19	2,94
27/4	1,28	2,58	3,22	2,92
28/4	1,40	3,26	3,78	3,88
29/4	1,47	2,72	3,36	3,04
30/4	1,16	2,22	3,02	2,54
1/5	1,10	2,36	2,10	2,12
2/5	1,32	1,22	2,14	1,98
3/5	1,14	2,62	2,10	2,26
4/5	0,96	2,76	2,91	2,68
5/5	0,93	2,24	2,74	2,82
6/5	1,06	2,44	2,78	2,96
7/5	1,11	2,28	2,98	2,60
8/5	1,45	2,26	2,14	2,18
9/5	0,76	2,43	2,53	2,04
10/5	0,95	3,06	3,45	3,20
11/5	0,91	2,51	2,95	2,52
12/5	1,12	2,33	2,57	2,87
13/5	1,06	1,56	2,68	2,20
14/5	0,99	2,53	2,62	2,12
15/5	0,98	2,21	2,77	2,10
16/5	0,92	2,08	2,62	2,82
17/5	1,17	2,83	2,94	2,71

Continua ...

TABELA 1A, Cont.

Dia	ETo.PM-FAO	Evap. TCA	Evap. MM	Evap. MP
	mm	mm	mm	mm
18/5	0,94	3,87	3,80	2,84
19/5	0,73	1,55	2,48	2,54
20/5	0,86	2,52	2,82	2,34
21/5	1,29	1,46	1,61	1,40
22/5	0,98	1,59	2,18	2,10
23/5	1,00	1,04	1,91	1,74
24/5	0,82	2,33	2,58	2,28
25/5	0,77	2,04	2,83	2,43
26/5	0,73	2,07	2,69	2,54
27/5	0,56	2,16	2,28	2,26
28/5	0,46	2,18	2,23	1,68
29/5	0,99	1,82	2,55	1,82
30/5	0,77	2,13	2,56	2,44
31/5	0,77	1,65	2,48	2,27
TOTAL	-	358,20	407,72	381,85
K*	-	1,00	1,1382	1,0660

* K=Evap.Tanque Alternativo/Evap.Tanque Classe A