



Ministério da  
Ciência e Tecnologia



INPE-00000-TDI/0000

## **DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO BRASIL UTILIZANDO DADOS DAS ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS**

Elton Alex Silva

Relatório Final do PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO  
CIENTÍFICA – PIBIC INPE/CNPq, orientada pelo Dr. Carlos Frederico Angelis.

O original deste documento está disponível em:

< <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@.....> >

INPE  
Cachoeira Paulista  
2010

Publicado por:

**esta página é responsabilidade do SID**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Gabinete do Diretor – (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 – CEP 12.245-970

São José dos Campos – SP – Brasil

Tel.: (012) 3945-6923

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: [pubtc@sid.inpe.br](mailto:pubtc@sid.inpe.br)

**Solicita-se intercâmbio**

**We ask for exchange**

**Publicação Externa – É permitida sua reprodução para interessados.**



Ministério da  
Ciência e Tecnologia



**A INICIAÇÃO CIENTÍFICA NO INSTITUTO NACIONAL DE  
PESQUISAS ESPACIAIS: DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO BRASIL UTILIZANDO DADOS DAS  
ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)**

**Elton Alex Silva (INPE, Bolsista PIBIC/CNPq)**

**E-mail: [elton.alex@cptec.inpe.br](mailto:elton.alex@cptec.inpe.br)**

**Dr. Carlos Frederico Angelis (DSA/CPTEC/INPE, Orientador)**

**E-mail: [carlos.angelis@cptec.inpe.br](mailto:carlos.angelis@cptec.inpe.br)**

**COLABORADORES**

**Dra. Luciana Rossato**

**Ms. Sergio Caldas**

INPE

Cachoeira Paulista

Junho de 2010

Silva, Elton Alex.

Cutter Distribuição espaço-temporal da evapotranspiração no Brasil utilizando dados de estações automáticas / Elton Alex Silva. – Cachoeira Paulista: INPE, 2010.

00p. ; (INPE-0000 -TDI/00)

Grau (Bolsista PIBIC/CNPq) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, 2010.

Orientador: Dr. Carlos Frederico Angelis

Copyright@ 2010 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright@ 2010 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

## **AGRADECIMENTOS**

Este é um momento muito especial para mim e, de alguma forma, para todos que participaram deste projeto. Agradeço a Deus que sempre me ampara nos momentos mais duros e angustiantes, que me ilumina e dá forças sempre que preciso. A minha família e a minha querida Adna Sabará Lemes, que nos momentos difíceis estiveram sempre ao meu lado.

Serei eternamente grato a Dra Luciana Rossato e a Sergio Caldas com quem trabalhei neste projeto, pessoas sensacionais, profissionais brilhantes, sempre atenciosos e encorajadores.

Finalmente ao meu orientador Dr. Carlos Frederico Angelis que acreditou em meu potencial, que me ensinou muito com seu exemplo de dedicação e seriedade, obrigado por me dar a oportunidade de trabalhar na Divisão de Satélites e Pesquisas Ambientais, um lugar onde fiz amigos e aprendi muito mais do que imaginava.

## RESUMO

Elton Alex Silva<sup>1</sup> (DSA, Bolsista PIBIC/CNPq).  
Dr. Carlos Frederico Angelis<sup>2</sup> (DSA/INPE, Orientador).

A evapotranspiração, processo composto pela soma da evaporação total do solo e da transpiração das superfícies das plantas, é uma importante variável no ciclo hidrológico. Para a sua determinação diferentes métodos são propostos, sendo que alguns têm aceitação unânime e outros são bastante criticados e/ou até mesmo desprezados. A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) considera o método Penman-Monteith como método padrão, mas a quantidade de dados requeridos limita a determinação da evapotranspiração, uma vez que estas nem sempre estão disponíveis em grande escala. Porém, outro método que estima a evapotranspiração com desempenho similar ao de Penman-Monteith é o método de Priestley-Taylor. Este consiste de uma simplificação da equação de Penman, considerando somente o termo energético, corrigido por um coeficiente de ajuste ( $\alpha$ ), cujo valor original é de 1,26. Considerando que o parâmetro ( $\alpha$ ) de Priestley-Taylor varia de acordo com as condições de umidade regional, relacionadas ao tamanho da área tampão e a advecção de calor sensível, Sentelhas et al. (2002) analisou a variação sazonal do parâmetro de Priestley-Taylor para estimativa diária da evapotranspiração de referência para o período seco e úmido. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi estimar a evapotranspiração de referência diária a partir do método de Priestley-Taylor, conforme metodologia proposta por Sentelhas et al. (2002), com dados das estações meteorológicas e agrometeorológicas durante o período de 2002 até o presente. Para o período úmido (outubro a março), o valor de  $\alpha$  foi de 0,97 e de 1,32 para o período seco (abril a setembro). As informações requeridas no cálculo da evapotranspiração foram obtidas das plataformas de coleta de dados (PCD's) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Os resultados foram validados com dados medidos obtidos no sítio experimental da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), durante o ano de 1996, apresentando coeficiente de correlação igual a 0,81. No entanto devido à ausência de dados medidos, os resultados também foram comparados com o método de Penman-Monteith, cujo método é considerado padrão. Finalmente observou-se que o método de Priestley-Taylor apresentou alta correlação com o método Penman-Monteith, principalmente para o período úmido (coeficiente acima de 0,9). Resultado similar ao encontrados com os valores medidos "in situ". Assim, considerando essa alta correlação, os dados diários da evapotranspiração (estimados para os métodos de Penman-Monteith e Priestley-Taylor) foram disponibilizados no site da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do CPTEC/INPE para acesso aos usuários no seguinte link(<http://satelite.cptec.inpe.br>), os quais servirão de subsídios principalmente para fins agrícolas.

## **SPATIAL-TEMPORAL DISTRIBUTION OF EVAPOTRANSPIRATION OVER BRAZIL USING DATA COLLECTION PLATFORMS (DCPs)**

### **ABSTRACT**

The evapotranspiration process consists of the sum total of evaporation from soil and transpiration from plant surfaces is an important variable in the hydrological cycle. For your determination different methods are proposed, and some have received unanimous approval and others are widely criticized and / or even disparaged. The United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) considers Penman-Monteith method as the standard method, but the amount of data required complicates the determination of evapotranspiration, since these are not always available on a large scale. However, another method that estimates the evapotranspiration with performance similar to the Penman-Monteith method is the Priestley-Taylor. This method is a simplification of the Penman equation, considering only the energetic term, corrected by an adjustment coefficient ( $\alpha$ ), whose original value is 1.26. Whereas the parameter ( $\alpha$ ) of Priestley-Taylor varies according the conditions humidity regional, related to the size of the tampion area and the advection of sensible heat, Sentelhas et al. (2002) examined the seasonal variation of Priestley-Taylor parameter for estimating daily reference Thus, the objective was to estimate daily reference evapotranspiration using the Priestley-Taylor method, according to methodology proposed by Sentelhas et al. (2002), with data from weather stations and weather variables during the period 2002 to the present.evapotranspiration during the dry and wet. Thus, the objective was to estimate daily reference evapotranspiration using the Priestley-Taylor method, according to methodology proposed by Sentelhas et al. (2002), with data from weather stations during the period 2002 to the present. For the wet season (October to March), the value of  $\alpha$  was 0.97 and 1.32 during the dry season (April to September). The information required in the calculation of evapotranspiration were obtained from data collection platforms (DCP's) of Center for Weather Forecasting and Climate Studies (CPTEC). The results were validated with measured data obtained in the experimental site of the Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo (ESALQ / USP) for the year 1996, showing a correlation coefficient equal to 0.81. However due to lack of measured data, the results were also compared with the Penman-Monteith, whose method is standard. Finally it was observed that the method of Priestley-Taylor showed high correlation with the Penman-Monteith method, especially for the wet period (coefficient above 0.9). Results similar to those found with values measured in situ. Thus, considering the high correlation, the data of daily evapotranspiration (estimated for the Penman-Monteith, Priestley and Taylor) will be at the site of the Satellite Division and Environmental Systems CPTEC / INPE for users to access in following link ([http : / satelite.cptec.inpe.br](http://satelite.cptec.inpe.br)), which will provide grants primarily for agricultural purposes.

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 – Representação do Ciclo da Água na Planta. ....	5
2.2 – Representação Esquemática do Ciclo Hidrológico.....	6
2.3 – Tanques Classe A .....	9
2.3 – PCD Automática.....	10
3.1 – Distribuições geográficas das PCDs no Brasil .....	19
3.2 – Ilustração da base de dados com as informações requeridas no método de Priestley-Taylor e os valores obtidos da evapotranspiração .....	21
3.3 – Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Agosto de 2004 e Setembro de 2004 (Período Seco).....	36
3.4 – Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Dezembro de 2004 e Janeiro de 2005 (Período Úmido)....	37
3.5 – Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Agosto de 2005 e Setembro de 2005 (Período Seco).....	38
3.6 – Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Dezembro de 2005 e Janeiro de 2006 (Período Úmido)....	39
3.7 – Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Agosto de 2006 e Setembro de 2006 (Período Seco).....	40
3.8 – Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Dezembro de 2006 e Janeiro de 2007 (Período Úmido)....	41



3.9 – Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Agosto de 2007 e Setembro de 2007 (Período Seco).....	42
3.10– Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Dezembro de 2007 e Janeiro de 2008 (Período Úmido)....	43
3.11 – Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Agosto de 2008 e Setembro de 2008 (Período Seco).....	44
3.12– Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Dezembro de 2008 e Janeiro de 2009 (Período Úmido)....	45
3.13– Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Agosto de 2009 e Setembro de 2009 (Período Seco).....	46
3.14– Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Dezembro de 2009 e Janeiro de 2010 (Período Úmido)....	47

## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Agosto e Setembro de 2004 (Período Seco).....	23
3.2 - Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Dezembro de 2004 e Janeiro de 2005 (Período Úmido).....	24
3.3 - Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Agosto e Setembro de 2005 (Período Seco).....	25
3.4 - Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Dezembro de 2005 e Janeiro de 2006 (Período Úmido).....	26
3.5 - Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Agosto e Setembro de 2006 (Período Seco).....	27
3.6 - Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Dezembro de 2006 e Janeiro de 2007 (Período Úmido) .....	28
3,7 - Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Agosto e Setembro de 2007(Período Seco).....	29
3.8 - Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Dezembro de 2007 e Janeiro de 2008 (Período Úmido).....	30
3.9 - Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Agosto e Setembro de 2008(Período Seco).....	31
3.10-Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Dezembro de 2008 e Janeiro de 2009 (Período Úmido).....	32

3.11-Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Agosto e Setembro de 2009(Período Seco).....	33
3.12-Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Dezembro de 2009 e Janeiro de 2010 (Período Úmido).....	34

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	3
2.1. Evaporação.....	3
2.2. Transpiração.....	4
2.3. Evapotranspiração.....	6
2.3.1. Evapotranspiração Potencial (ETP) .....	7
2.3.2. Evapotranspiração de Oásis .....	7
2.3.3. Evapotranspiração de Referência (ETo) .....	7
2.3.4. Evapotranspiração Real .....	8
2.3.5. Evapotranspiração de Cultura (ETc).....	8
2.4. Métodos para Estimar Evapotranspiração .....	8
2.4.1. Métodos Empíricos .....	10
2.4.2. Método do Tanque Classe A.....	10
2.4.3. Método de THORNTHWAITE .....	11
2.4.4. Método de RADIAÇÃO SOLAR .....	12
2.4.5. Método Aerodinâmico .....	12
2.4.6. Métodos de Balanço de Energia .....	13
2.4.7. Método de PRIESTLEY – TAYLOR.....	14
2.4.8. Métodos Combinados .....	15
2.4.9. Método de PENMAN – MONTEITH .....	15
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	18
3.1. Atividades Realizadas.....	20
4. CONCLUSÃO .....	48
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49

## 1. INTRODUÇÃO

A evapotranspiração é o resultado da soma do processo de evaporação total do solo e da transpiração das superfícies das plantas, além de ser uma importante variável no ciclo hidrológico, no monitoramento de secas e na previsão de safras das culturas.

Para a sua determinação diferentes métodos são propostos, sendo que alguns têm aceitação unânime e outros são bastante criticados e/ou até mesmo desprezados Pereira (1997, p.41). Tais métodos variam do mais simples (como o método de Thornthwaite, que estima a partir de dados de temperatura num balanço hídrico em escala mensal) até o mais complexo (como o método de Penman-Monteith, considerado como o método padrão pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), além de ser aplicado em diferentes escalas temporais). Apesar do método Penman-Monteith ser considerado padrão, a quantidade de informações requeridas no cálculo limita a determinação da evapotranspiração, uma vez que estas nem sempre estão disponíveis em grande escala (como por exemplo, no território brasileiro).

Porém, outro método que estima a evapotranspiração com desempenho similar ao de Penman-Monteith é o método de Priestley-Taylor. Este consiste de uma simplificação da equação de Penman, considerando somente o termo energético, corrigido por um coeficiente de ajuste ( $\alpha$ ), cujo valor original é de 1,26. Esse parâmetro incorpora a energia adicional ao processo de evapotranspiração, além de ser proveniente do termo aerodinâmico que foi desprezado do método de Penman.

Considerando que o parâmetro de Priestley-Taylor ( $\alpha$ ) varia de acordo com as condições de umidade regional, relacionadas ao tamanho da área tampão e à advecção de calor sensível (Sentelhas et al., 2000), analisaram a variação sazonal do parâmetro de Priestley-Taylor para estimativa diária da evapotranspiração de referência para o seco e úmido. Os resultados mostraram que, para o período úmido, o valor de  $\alpha$  é de 0,97 e de 1,32 para o período seco.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho é estimar a evapotranspiração de referência diária para todo o território brasileiro, utilizando o método de Priestley-Taylor ajustado

por Sentelhas et al. (2000). As informações requeridas no cálculo da evapotranspiração serão obtidas das plataformas de coleta de dados (PCDs) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Os resultados serão validados com dados medidos “in situ” e disponibilizados diariamente no site da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do CPTEC.

A partir deste estudo espera-se obter informações diárias de ETo para todo o território brasileiro, de modo que estes resultados possam trazer contribuições significativas em diversos estudos relacionados as pesquisas hidrológicas e meteorológicas. Além disso, tal informação será de fundamental importância para a agricultura, uma vez que esta variável permite avaliar o desempenho da cultura e verificar a necessidade de irrigação o que irá representar uma maior precisão dos cálculos realizados para desenvolver esse processo.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Evaporação

A Evaporação é o processo em que a água passa da fase líquida para a fase gasosa, isso ocorre devido a influência do calor latente de evaporação que em média corresponde a ( $\lambda E = 2,45 \text{ MJ/kg}$  (a  $20^\circ\text{C}$ )) e que representa a quantidade de energia necessária para causar a mudança de fase.

Alguns são os fatores que interferem na evaporação entre eles estão o *vento*, a *umidade*, a *temperatura* e a *radiação solar*.

#### *O Vento*

O vento age no arrastar as parcelas de ar mais úmidas localizadas na camada limite pouco profunda, trocando-as por outras mais secas. Sem o vento, o processo de evaporação cessaria tão logo o ar atingisse a saturação, uma vez que estaria esgotada sua capacidade de sorver vapor d'água.

#### *A Umidade*

O ar seco tem maior capacidade de absorver vapor d'água adicional que o ar úmido, desta forma, a medida em que ele se aproxima da saturação, a taxa de evaporação diminui, tendendo a se anular, caso não haja vento para promover a substituição desse ar.

#### *A Temperatura*

A elevação da temperatura ocasiona uma maior pressão de saturação do vapor (es), adquirindo o ar uma capacidade adicional de conter vapor d'água.

#### *A Radiação Solar*

A energia necessária para o processo de evaporação tem como fonte elementar o sol; a incidência de sua radiação varia com a latitude, clima e estação do ano. O que exige que

na falta de equipamentos as formulas para calcular a radiação solar diária ajustem-se as latitudes do local observado.

## **2.2. Transpiração**

A água constitui um elemento essencial para a manutenção da vida na terra. Os vegetais, para desempenhar suas necessidades fisiológicas, retiram a água do solo através de suas raízes, retêm uma pequena fração e devolvem o restante através das superfícies folhosas, sob forma de vapor d'água, pelo processo de transpiração.

A transpiração é a evaporação da água que foi utilizada nos diversos processos metabólicos necessários para o desenvolvimento e crescimento das plantas.

Os fatores intervenientes na transpiração são praticamente os mesmos associados à evaporação (vento, temperatura e umidade). A luz age como fator limitante, uma vez que é responsável pela abertura dos estômatos. Sendo assim, a transpiração é considerada quase que desprezível durante as horas sem insolação.

Este é um processo complexo que ocorre nas folhas das plantas. Ainda verificou-se que, em certos casos, a transpiração tem uma importância fisiológica indiscutível (SALISBURY e ROSS, 1992):

### *No transporte de Nutrientes Minerais*

Os minerais que são absorvidos pelas raízes movem-se para a parte aérea no fluxo de transpiração. Embora também haja movimento de sais minerais em plantas que não transpiram, não há dúvidas que o fluxo de transpiração permite que a absorção de sais minerais a partir do solo se processe a uma taxa mais elevada.

### *Turgidez Ótima*

Verificou-se experimentalmente que as plantas num ambiente de 100 % de umidade relativa não crescem tão bem como em situações em que existe uma certa transpiração. Pensa-se que existe uma turgidez ótima acima e abaixo da qual as funções celulares das plantas são menos eficientes. Se as plantas não podem transpirar, as células tornam-se demasiadamente túrgidas e as células não crescem à mesma taxa que quando existe uma certa carência hídrica.



### *Resfriamento das Folhas*

Na natureza a transpiração desempenha um papel muito importante no arrefecimento das folhas. A evaporação da água é um processo muito importante no arrefecimento de qualquer corpo. Quando 1 g de água se evapora a 20 °C absorve 2.45 kJ do ambiente (calor latente de vaporização). As plantas evaporam grandes quantidades de água para a atmosfera e assim, dissipam grandes quantidades de energia.

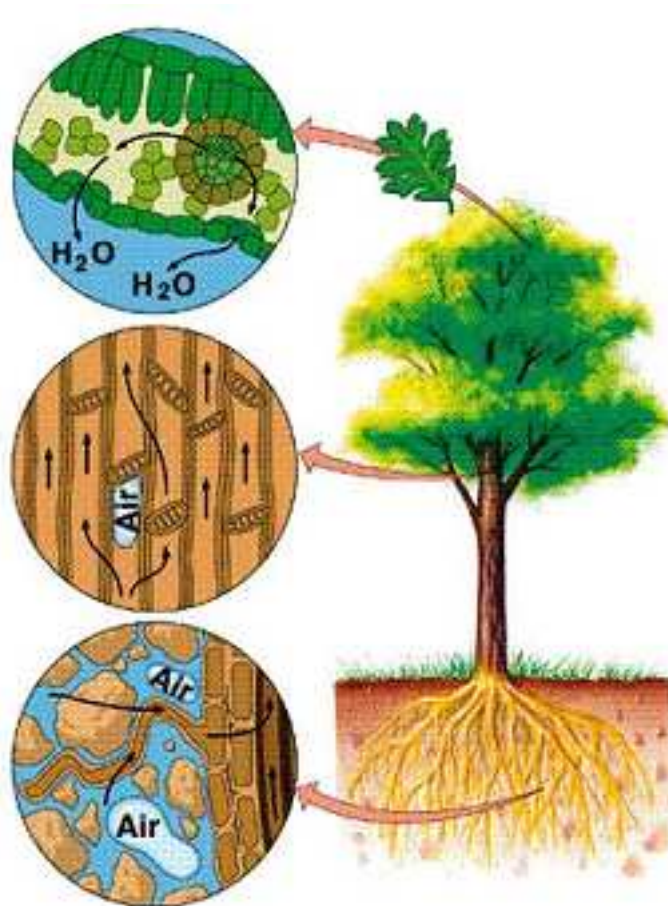


Fig. 2.1 - Representação do Ciclo da Água na Planta.

FONTE: ESALQ/USP – 2009

### 2.3. Evapotranspiração

Como já foi dito a evapotranspiração (ET) é o resultado da soma do processo de (E) evaporação total do solo e da (T) transpiração das superfícies das plantas e é uma importante variável no ciclo hidrológico. O ciclo hidrológico constitui-se da troca contínua de água entre a hidrosfera e a atmosfera, a água que está no solo, águas superficiais, subterrâneas e das plantas (figura 2.2).

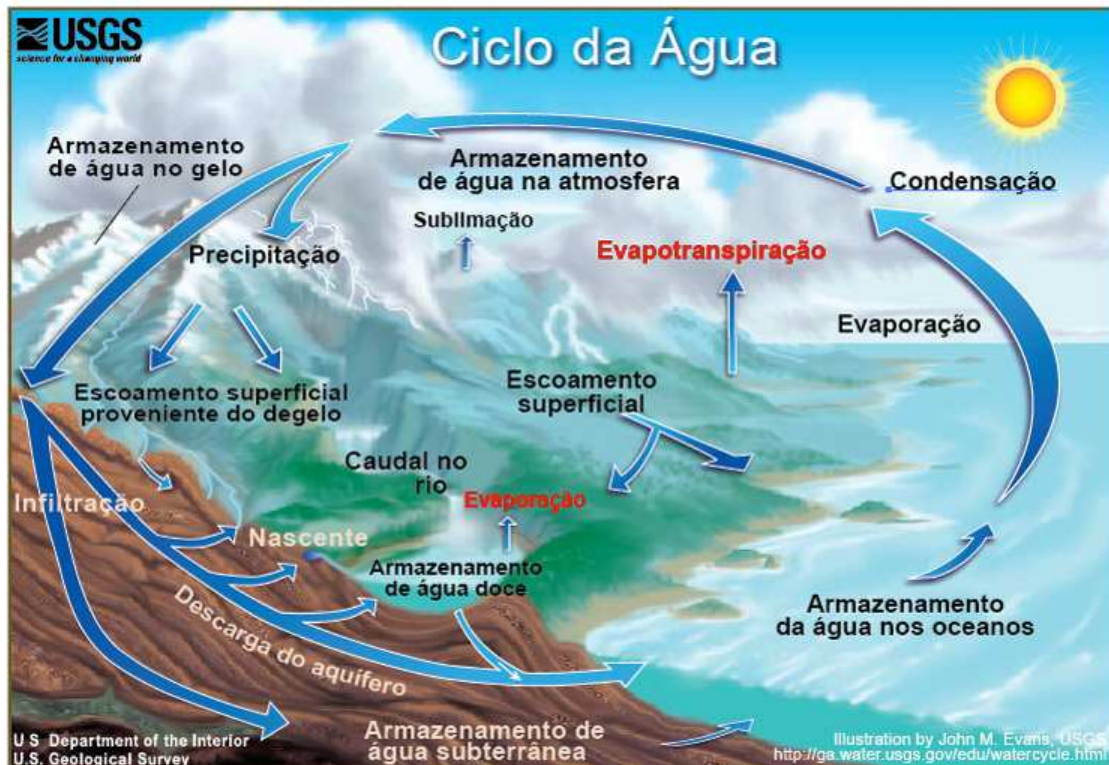


Fig. 2.2 - Representação Esquemática do Ciclo Hidrológico.

FONTE: United States Geological Survey (USGS)

Existem conceitos importantes sobre evapotranspiração e que devem ser evidenciados para o entendimento deste trabalho, como por exemplo: Evapotranspiração Potencial (ETP), Evapotranspiração de Oásis, Evapotranspiração de Referência (ET<sub>o</sub>), Evapotranspiração Real e Evapotranspiração de Cultura (ET<sub>c</sub>).

### **2.3.1. Evapotranspiração Potencial (ETP)**

Conceito inserido por Thornthwaite e que está em constante aperfeiçoamento corresponde à máxima evaporação de um solo que recebe água de forma irrestrita e tem uma grande superfície vegetada e em crescimento ativo.

Essa condição faz com que a demanda atmosférica seja suprida totalmente. A grama é a vegetação padrão, pois é encontrada facilmente nos postos meteorológicos. Os resultados obtidos são expressos em mm a mesma medida utilizada para verificar a quantidade de chuva.

### **2.3.2. Evapotranspiração de Oásis**

Nesta situação encontramos o inverso da ETP, uma vez que na Evapotranspiração de Oásis existe uma pequena quantidade de área vegetada cercada por grande área seca e que interfere diretamente...

### **2.3.3. Evapotranspiração de Referência (ET<sub>o</sub>)**

Existem algumas definições para ET<sub>o</sub> por exemplo JENSE (at al.1971) e DOORENBOS & PRUITT (1977) tem critérios próprios como a altura da cultura diferente, mas a que melhor pode ser utilizada para representar o que se faz necessário neste momento foi definida por SMITH(1991), onde a ET<sub>o</sub> está sendo obtida em uma cultura hipotética, com altura fixa de 12 cm, albedo igual a 0,23, e resistência da cobertura ao transporte de vapor de água igual a 69 s m<sup>-1</sup>, com isso está representado a ET<sub>o</sub> de uma área gramada, de altura uniforme e crescimento ativo, cobertura total do solo e com constante abastecimento de água.

### **2.3.4. Evapotranspiração Real**

Está relacionada ao resultados obtidos sobre qualquer condição e pode ter qualquer valor. Pode apresentar valores de evapotranspiração de Oásis, de cultura, referênciou outra qualquer.

### **2.3.5. Evapotranspiração de Cultura (ETc)**

Tratá-se da evapotranspiração de uma cultura em dada fase de seu desenvolvimento, sem restrição fase de seu desenvolvimento, sem falta de água, em ótimas condições de crescimento e com ampla área de bordadura para evitar a advecção de calor sensível de áreas próximas. Assim ETc depende das condições meteorológicas, expressas por meio da ETP (ou ETo), do tipo de cultura (maior ou menor resistência à seca) e da área foliar.

## **2.4. Métodos para Estimar Evapotranspiração**

Muitos são os métodos para se estimar o coeficiente de evapotranspiração, cada qual possui características diferentes que os fazem ser utilizadas levando em consideração as limitações que cada método apresenta.

Alguns métodos têm maior reconhecimento que outros, os quais são fortemente criticados e até mesmo ignorados, mas os critérios que levam a discordância na utilização de alguns métodos nem sempre são bem esclarecidos, pois inúmeros métodos possuem uma característica empírica e mesmo assim possuem aceitação quase que incondicional.

Segundo PEREIRA (at al.1997), podemos dividir os métodos de estimativa em cinco grupos:

- Empíricos
- Aerodinâmicos
- Balanço de Energia
- Combinados
- Correlação dos Turbilhões

Para melhor compreensão este trabalho irá abordar alguns métodos considerados importantes pela FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação), para mostrar que cada qual tem suas qualidades e situações em que melhor podem ser utilizados.

Um ponto importante, a saber, é grande dificuldade encontrada na Evapotranspiração, que teoricamente é um assunto bem simples, mas esbarra no fato de que as medições exigem equipamentos específicos como, por exemplo (figura 2.3), o tanque classe A, Tanque GGI-3000 e PCD's (Plataformas de Coletas de Dados) e com isso a medida evapotranspiração transforma-se em uma atividade trabalhosa e com custo elevado.



Figura 2.3 – PCD  
ESALQ /USP – 2009



Figura 2.4 - Tanques Classe A  
ESALQ /USP – 2009

#### **2.4.1. Métodos Empíricos**

Quando falamos de métodos empíricos não estamos tratando de algo amador e sem qualidade, já que muitos são os métodos que produzem resultados mais precisos do que os mais genéricos e fisicamente mais realistas (PEREIRA, 1997).

Segundo Pereira “Métodos empíricos são resultantes de correlações entre a evapotranspiração medida em condições mais padronizadas e os elementos meteorológicos medidos em postos também padrões”. Com isso percebe-se a seriedade de um método empírico sendo que alguns são fortemente aplicados, pois os resultados obtidos tem sido considerados precisos.

#### **2.4.2. Método do Tanque Classe A**

O método do Tanque Classe A foi adequado do método de estimativa de Evapotranspiração de Lago para se estimar Evapotranspiração de Referência, é um método muito utilizado, também indicado pela FAO, e que geralmente é utilizado para estimar a evapotranspiração de cultura em projetos de irrigação. O método formulado

por DOORENBONS & PRUITT (1977) foi obtido sob diferentes situações climáticas o que aumenta sua credibilidade e emprego nos mais diferentes tipos de climas.

Foi realizada a seguinte correção da formula:

$$E_L = K_p ECA$$

Onde:

$$K_p = 0.66$$

$$E_{To} = EL$$

Este tipo de correção deve ser realizada devido aos fatores que influenciam no cálculo da ETo como por exemplo: albedo, rugosidade e resistência estomática da vegetação.

Abaixo temos imagens de Tanques Classe A, onde são feitas as medições.

### 2.4.3. Método de THORNTHWAITE

Este método foi baseado no balanço hídrico de energia de bacias hidrográficas e em medições em lisímetros e foi proposto por em 1948 por THORNTHWAITE para estimar a evapotranspiração potencial (ETP) mensal. Este é um método de estimativa mensal e que utiliza um período de insolação de 12 horas. A Evapotranspiração potencial média padrão possui a seguinte equação:

$$ETP_p = \frac{16(10 \underline{T_i})^a}{I}$$

$$T_i > 0^\circ C$$

$$A = 6,75 \cdot 10^{-2} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I + 0,49239$$

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

Um dos pontos negativos deste método esta no fato de excluir do cálculo de I (índice de calor da região) os meses em que a temperatura média mensal ficar menor que 0°C.

Caso as médias diárias de insolação sejam menores de 12 horas e os dias diferentes de 30 utiliza-se a seguinte correção:

$$ETP = ETP_p \frac{N}{12} \frac{ND}{30}$$

Onde o N corresponde à insolação média mensal e o ND ao número de dias no mês. Segundo PEREIRA & CAMARGO (1989) concluíram que o método de Thornthwaite é apropriado para o cálculo de ETP se levar em conta a área de bordadura, mas não sendo adequado para condições de oásis por subestimar os resultados.

#### **2.4.4. Método de RADIAÇÃO SOLAR**

Este método que é conhecido também com FAO-24 da Radiação adaptada do método de MAKKINK possui a seguinte equação simplificada:

$$ET_o = c W R_s$$

Mas esta equação foi modificada por FREVERT et al. (1983, apud PEREIRA et al., 1997, p.50) para facilitar o cálculo em sistemas automatizados de computadores e evitar interpolações em nomogramas e quadros resultando na seguinte equação:

$$ET_o = c_o + c_l W R_s$$

$$c_l = a_0 + a_1 UR + a_2 U_d + a_3 UR U_d + a_4 UR^2 + a_5 U_d^2$$

Onde:

$$c_o = 0,3 \text{ mm d}^{-1} \quad a_0 = 1,0656 \quad a_1 = -0,0012795 \quad a_2 = 0,044953$$

$$a_3 = 0,00020033 \quad a_4 = 0,000032508 \quad a_5 = -0,0011026$$

UR é a umidade relativa média (%),  $U_d$  é a velocidade média do vento de dia e a 2 m de altura.

Mas esse método também necessitou da seguinte adaptação:

$$U_2 = U_z (2/z)^{0,2}$$

Pois é comum que as medições nos postos meteorológicos sejam feitas a mais de 2 metros de altura o que leva a se fazer essa relação.

#### **2.4.5. Método Aerodinâmico**

Segundo Pereira (at al. 1997, p.58), Este é um método micrometeorológico, com base físico-teórico da dinâmica dos fluídos e transporte turbulento, ou seja, considera que o



escoamento atmosférico acima de uma superfície natural rugosa é predominantemente turbulento, onde existe mistura contínua na camada de ar que interage com a superfície. Esse método possui algumas peculiaridades, pois o coeficiente de transferência turbulenta varia com Z. Depende ainda das condições de escoamento assim, o coeficiente de transferência turbulenta deve ser determinado para cada instante.

#### 2.4.6. Métodos de Balanço de Energia

Segundo HARTMANN (1994, apud ROSSATO 2001, p.49) “O balanço de energia representa a contabilidade das interações dos diversos tipos de energia com a superfície. Em condições atmosféricas normais, o suprimento principal de energia para a superfície é dado pela radiação solar”. O saldo total de radiação da superfície ( $R_n$  – net radiation) é dado por:

$$R_n = OC^\downarrow(1-r) + (OL^\downarrow - OL^\uparrow)$$

Onde:

$OC^\downarrow$  = Radiação solar de ondas curtas..

$OL^\downarrow$  = Radiação de ondas longas emitida pela atmosfera.

$OL^\uparrow$  = Radiação de ondas longas emitida pela superfície.

Em todos os casos as setas indicam o sentido da energia.

Outra forma de estimar o saldo de radiação é através da razão de insolação:

$$R_n = a + b \frac{n}{N}$$

Mas fica claro que o balanço de radiação depende das condições de nebulosidades, pois a presença de nuvens segundo Pereira et al. (1997), afeta significativamente o balanço de radiação de ondas longas que é a variável de maior preocupação nesta equação.

#### 2.4.7. Método de PRIESTLEY – TAYLOR

O método de PRIESTLEY – TAYLOR pode ser encarado como uma variante do método de balanço de energia ou como uma simplificação do método de PENMAN (PEREIRA apud al., 1997).

O método considera ainda que a ETP proveniente do termo aerodinâmico, ou seja, do poder evaporante do ar, é uma porcentagem da ETP condicionada pelo termo energético. Assim, mesmo levando em consideração o balanço de energia, esse método apresenta um componente empírico.

SENTELHAS et al.(2000) reforça que este método para estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é uma simplificação do método de PENMAN, em que permanece apenas o termo radiativo corrigido por um coeficiente empírico de ajuste ( $\alpha$ ) conhecido como parâmetro de PRIESTLEY - TAYLOR. Desta forma foi proposta a seguinte equação para o cálculo da taxa de evapotranspiração potencial:

$$\lambda ET_o = \alpha W (R_n - G) \quad (1)$$

Esse parâmetro ( $\alpha$ ) incorpora a energia adicional ao processo de evapotranspiração e que é proveniente do termo aerodinâmico descartado. Analisando medidas realizadas em diversos locais, em dias imediatamente após ocorrência de chuvas maiores que 20mm, ou seja, sob condições de mínima advecção regional, PRIESTLEY & TAYLOR (1972) mostraram que a variou de 1,08 a 1,34, com média de 1,26. Isso significa que naquelas condições o termo aerodinâmico contribuiu, em média, com 26% da energia total convertida em calor latente.

SENTELHAS(2000) afirma que  $\alpha$  varia com as condições climatológicas, com a cobertura do terreno, e com a escala de tempo adotada, e ainda que mostra que para melhor uso desse método, especialmente para o manejo da irrigação, técnica utilizada nas épocas ou regiões secas quando normalmente a área tampão é inadequada, é conveniente a adoção distinta de valores de  $\alpha$  para cada condição de advecção. Por isso SENTELHAS(2000) utilizou dois valores distintos para  $\alpha$  levando em consideração os

períodos secos onde o alfa é um valor bem mais próximo do normal e os mais úmidos onde o  $\alpha$  assume um valor inferior ao normal encontrado na fórmula.

#### **2.4.8. Métodos Combinados**

Os métodos combinados são assim chamados por estes utilizarem os efeitos do balanço de energia e os do poder evaporante do ar. O método considerado como o primeiro desta categoria é o de PENMAN (1948), este método utiliza conceitos físicos corretos, mas devido às inúmeras correções adotadas assume um caráter empírico.

#### **2.4.9. Método de PENMAN – MONTEITH**

O Método de PENMAN – MONTEITH (1965) é importante para se compreender os processos físicos e biológicos que controlam a evapotranspiração afirma Pereira et al. (1997), é o método padrão internacional, de acordo com o Boletim Irrigation and Drainage 56 da FAO e será um do método de referência deste trabalho junto com o método de PRIESTLEY – TAYLOR.

Ao avaliar PENMAN-MONTEITH (1965) verifica-se que a modificação deste consistiu principalmente na entrada das propriedades encontradas na vegetação, e nos conceitos que são obtidos como resistência da vegetação e resistência aerodinâmica. Isto porque estes são fatores determinantes no grau de oposição da vegetação a perda de água em forma de vapor, a qual varia de acordo com o tipo de vegetação e sua fase de desenvolvimento. (SCHIRMBECK, 2005).

A principal função deste modelo é estimar o fluxo de calor latente que pode ser transformado em unidades de água evapotranspirada através da seguinte fórmula :

$$ET_{mm/dia} = \left( \frac{\lambda ET}{\lambda} \right) = \left( \frac{MJ}{m^2 / dia} \right) \times \left( \frac{kg}{MJ} \right) \times \left( \frac{m^3}{1000kg} \right) \times \left( \frac{1000mm}{m} \right) = \left( \frac{mm}{dia} \right)$$

onde:

$ET$  = evapotranspiração, expressa em  $mm/dia$ ;

$\lambda ET$  = fluxo de calor latente, expresso em  $MJ/m^2/dia$ ;

$\lambda$  = calor latente de vaporização, expresso em  $MJ/kg$ ;

$\frac{m^3}{1000kg}$  = densidade d'água;

$\frac{1000mm}{m}$  = fator de conversão de metro para milímetro.

Este modelo de evapotranspiração foi desenvolvido com a função de estimar resultados para um curto espaço de tempo horas ou dias, por exemplo. A seguir a formula do método de PENMAN – MONTEITH (1948):

$$\lambda ET_o = \frac{\Delta \times (R_n - G) + \rho \times C_p \times \frac{(e_a - e_d)}{r_a}}{\Delta + \lambda \times \left( 1 + \frac{r_c}{r_a} \right)}$$

onde:

$\lambda ET_o$  = Fluxo de calor latente, expresso em  $MJ/m^2/t$ , sendo  $t$  o período para qual se estima a evapotranspiração;

$\Delta$  = Inclinação da curva de pressão de vapor, expresso em  $kPa/^\circ C$ ;

$R_n$  = Radiação neta, expresso em  $MJ/m^2/t$ ;

$G$  = Fluxo de calor do solo, expresso em  $MJ/m^2/t$ ;

$\rho$  = Densidade do ar, expresso em  $kg/m^3$ ;

$C_p$  = Calor específico do ar úmido a uma pressão constante, expresso em  $MJ/kg/^\circ C$ ;

$e_a$  = Pressão de vapor do ar, expresso em  $kPa$ ;

$e_d$  = Pressão de saturação de vapor, expresso em kPa;

$\lambda$  = Calor latente de vaporização, expresso em MJ/kg;

$r_c$  = Resistência do cultivo, expresso em t/m;

$r_a$  = Resistência aerodinâmica, expresso em t/m;

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o cálculo da evapotranspiração, média diária, foram coletados dados diários de temperatura do ar máxima e mínima, de radiação solar acumulada, de pressão atmosférica e de umidade relativa das plataformas de coleta de dados (PCD) distribuídas em todo o território nacional, cujas informações são disponibilizadas pelo CPTEC/INPE.

A PCD constitui-se de uma rede de estações automáticas remotas que coletam, armazenam e transmitem, via satélite, dados meteorológicos, como: temperaturas do ar, máxima e mínima; umidade relativa do ar; direção e velocidade dos ventos; radiação solar; pressão atmosférica; precipitação pluviométrica; temperatura e umidade do solo a 10, 20 e 40 cm de profundidade. A transmissão dos dados é feita via satélite a cada 3 (três) horas.

Existem três tipos de PCDs:

- Meteorológicas
- Hidrometeorológicas
- Agrometeorológicas

Cada tipo pode coletar diferentes parâmetros de acordo com os sensores nelas instalados. As meteorológicas podem fornecer informações de direção e velocidade do vento, precipitação, umidade relativa, entre outras. As hidrometeorológicas são utilizadas para coletar dados referentes às bacias hidrográficas, podendo fornecer medições de parâmetros como nível e profundidade do rio, temperatura da água, quantidade de precipitação, entre outros. E as agrometeorológicas podem fornecer informações de temperatura, precipitação, umidade do solo entre outras relacionadas à meteorologia e também às atividades agrícolas. Por possuírem carregadores de bateria e painéis solares, existem diversas PCDs distribuídas em todo o território nacional, conforme ilustra a Figura 1.



Figura 3.1: Distribuição geográfica das PCDs no Brasil.

FONTE: <http://satelite.cptec.inpe.br/PCD>

Considerando que as PCDs hidrometeorológicas não possuem dados de radiação solar, neste trabalho utilizaram-se somente as informações das PCDs meteorológicas e agrometeorológicas.

A partir da elaboração da base dados, calculou-se a evapotranspiração para todo o território nacional através da equação de Priestley-Taylor, a qual é dada por (Sentelhas et al., 2000):

$$\alpha ETo = \alpha W (Rn - G) \quad (1)$$

em que  $\alpha$  é o parâmetro de Priestley-Taylor;  $Rn$  o saldo diário de radiação ( $MJm^{-2}d^{-1}$ );  $G$  a densidade de fluxo de calor sensível no solo ( $MJm^{-2}d^{-1}$ );  $l = 2,45MJ kg^{-1}$  o calor latente de evaporação utilizado para conversão de unidades; e  $W$  um fator de ponderação dependente da temperatura do ar ( $T$ , em  $^{\circ}C$ ) e do coeficiente psicrométrico, o qual é calculado da seguinte forma:

$$W = 0,407 + 0,0145 T \quad \text{para } 0 < T < 16 \text{ }^{\circ}C \quad (2)$$

e

$$W = 0,483 + 0,0100 T \quad \text{para } 16,1 < T < 32 \text{ }^{\circ}C \quad (3)$$

O saldo de radiação foi calculado utilizando a metodologia proposta por Allen et al. (1998), a qual considera dados de radiação solar acumulada obtida de cada PCD.

Desse modo, estimou-se a evapotranspiração de referência diária para cada PCD distribuída no território nacional.

Para a validação dos resultados, realizou-se uma pesquisa com diversos especialistas da área a fim de obter dados medidos para comparar com a estimada pelo método de Priestley-Taylor.

Finalmente, o algoritmo utilizado para a estimativa da evapotranspiração média diária será operacionalizado para o monitoramento diário em todo o território nacional e os dados serão disponibilizados diariamente no site da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do CPTEC. Com o intuito que o acesso às informações seja de forma rápida e correta, a linguagem de programação utilizada para a consulta ao banco de dados foi a Linguagem de Consulta Estruturada (SQL).

### **3.1. Atividades Realizadas**

- Levantamento dos dados das estações agrometeorológicas e meteorológicas do CPTEC/INPE durante o período de janeiro de 1996 a dezembro de 1998 (período selecionado para validação) e janeiro de 2002 até o presente.
- Elaboração do algoritmo em SQL para a estimativa da evapotranspiração obtida a partir do método de Priestley-Taylor (1972) e ajustado para o período seco e úmido conforme sugerido por Sentelhas et al. (2000);
- Organização do banco de dados com as informações geográficas de cada PCD para todo o Brasil, incluindo dados de temperatura máxima e mínima, radiação solar acumulada, pressão atmosférica e umidade relativa e os resultados da evapotranspiração de referência, em mm/dia, conforme ilustra a Figura 2.



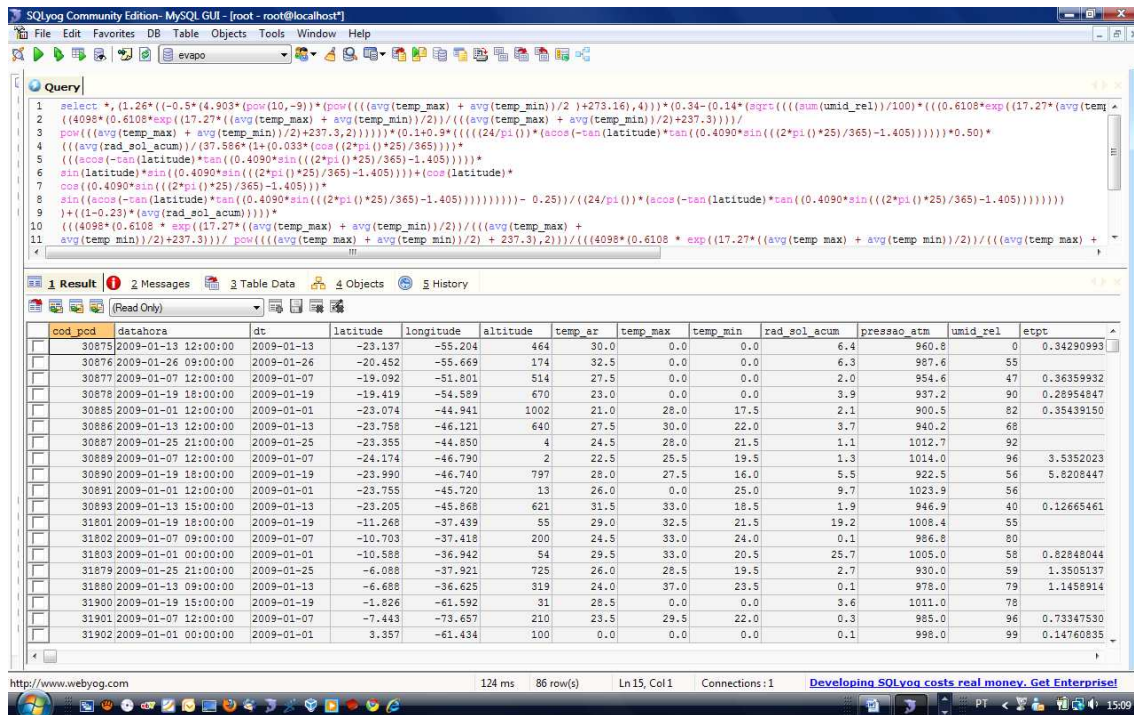


Figura 3.2: Ilustração da base de dados com as informações requeridas no método de Priestley-Taylor, bem como com os valores obtidos da evapotranspiração.

- Levantamento de dados medidos de evapotranspiração para a validação dos dados obtidos neste trabalho, consultando diversos pesquisadores da área.
- Comparação da ETo estimada pelo método de Priestley-Taylor com os dados de lisímetro. Os resultados foram comparados com dados medidos obtidos no sítio experimental da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), a qual está situada no município de Piracicaba – SP (Latitude: 22°42’30”S e Longitude: 47°30’00”W). A região é classificada como de clima sub-tropical úmido, com verão chuvoso e seca de inverno, com as temperaturas médias mensais variando de 24,8°C no verão a 17,1°C no inverno, sendo a média anual igual a 21,4°C. As chuvas são da ordem de 1278 mm anuais, sendo cerca de 1.000mm de outubro a março, e 278mm de abril a setembro, considerando-se o período de 1917 a 1997 (Sentelhas et al., 1998).
- Comparação da ETo estimada pelo método de Priestley-Taylor com a ETo estimada pelo método Priestley e Taylor.

A falta de dados foi um ponto crítico encontrado no decorrer do desenvolvimento deste trabalho, pois duas foram às dificuldades encontradas: a primeira foi encontrar dados medidos de evapotranspiração para comparar; e a segunda encontrar dados que satisfizessem os requisitos exigidos por cada método. Por essa razão tornou-se necessário filtrar os dados recebidos antes da realização do cálculo.

Após a análise dos dados, a evapotranspiração potencial foi estimada através do modelo de Priestley e Taylor e de Penman-Monteith, utilizando-se médias diárias, de temperatura do ar, de umidade relativa do ar, de insolação total e de pressão atmosférica, os quais foram registrados nas PCD's.

Para o método do PRISTLEY E TAYLOR realizou-se o ajuste do parâmetro proposto por Sentelhas (2000, p.52).

Os resultados obtidos da evapotranspiração estimada pelos métodos de Priestley-Taylor e de Penman-Monteith, bem como a correlação entre os métodos, estão expostos nas tabelas de 1 a 12 (discriminadas pelo período úmido e seco).

Tabela 3.1 – Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Agosto e Setembro de 2004 (Período Seco).

Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação	Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação
2004-08-01	3,08	3,47	0,83	2004-09-01	6,2	5,51	0,47
2004-08-02	2,94	2,69		2004-09-02	5,04	5,77	
2004-08-03	3,41	3,97		2004-09-03	4,39	5,52	
2004-08-04	3,79	4,57		2004-09-04	4,78	5,32	
2004-08-05	3,66	3,88		2004-09-05	4,65	5,77	
2004-08-06	3,44	3,67		2004-09-06	4,95	6,09	
2004-08-07	3,23	3,95		2004-09-07	4,82	5,77	
2004-08-08	3,02	3,07		2004-09-08	4,8	3,77	
2004-08-09	3,18	3,24		2004-09-09	4,87	3,69	
2004-08-10	3,03	2,95		2004-09-10	4,9	3,89	
2004-08-11	3,19	3,68		2004-09-11	4,74	5,97	
2004-08-12	3,33	3,09		2004-09-12	5,4	5,37	
2004-08-13	3,56	3,5		2004-09-13	5,27	5,57	
2004-08-14	3,5	3,42		2004-09-14	4,99	5,33	
2004-08-15	3,35	3,47		2004-09-15	4,71	5,42	
2004-08-16	3,52	4,12		2004-09-16	4,7	5,25	
2004-08-17	3,22	3,85		2004-09-17	3,99	2,9	
2004-08-18	3,47	4,5		2004-09-18	4,31	4,47	
2004-08-19	3,71	4,79		2004-09-19	4,83	6,03	
2004-08-20	3,61	5,12		2004-09-20	4,78	5,87	
2004-08-21	3,95	5,31		2004-09-21	5,03	6,18	
2004-08-22	3,82	5,4		2004-09-22	4,88	6,07	
2004-08-23	3,71	5,59		2004-09-23	4,87	6,65	
2004-08-24	3,68	4,84		2004-09-24	5,14	7,05	
2004-08-25	3,87	5,56		2004-09-25	5,51	9,23	
2004-08-26	3,93	4,75		2004-09-26	5,02	6,99	
2004-08-27	3,86	5,24		2004-09-27	5,21	6,96	
2004-08-28	3,79	4,36		2004-09-28	4,81	5,31	
2004-08-29	3,45	4,13		2004-09-29	5,86	5,68	
2004-08-30	3,46	2,9		2004-09-30	4,48	4,06	

Tabela 3.2 – Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Dezembro de 2004 e Janeiro de 2005 (Período Úmido).

Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação	Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação
2004-12-01	5,02	4,01	0,96	2005-01-01	5,38	4,48	0,95
2004-12-02	5,11	4,25		2005-01-02	5,43	4,91	
2004-12-03	3,85	2,63		2005-01-03	4,49	3,26	
2004-12-04	4,95	4,07		2005-01-04	3,98	2,46	
2004-12-05	4,53	3,25		2005-01-05	3,82	3,16	
2004-12-06	5,12	4,09		2005-01-06	4,94	3,83	
2004-12-07	5,46	4,86		2005-01-07	5,41	4,61	
2004-12-08	5,6	5,25		2005-01-08	5,42	4,97	
2004-12-09	4,89	3,99		2005-01-09	5,18	4,32	
2004-12-10	4,54	3,83		2005-01-10	4,61	3,26	
2004-12-11	5,01	4,44		2005-01-11	4,24	3,01	
2004-12-12	5,03	4,07		2005-01-12	5,13	4,2	
2004-12-13	3,96	2,38		2005-01-13	5,22	4,34	
2004-12-14	4,89	3,6		2005-01-14	5,53	4,97	
2004-12-15	5,2	4,28		2005-01-15	4,96	3,77	
2004-12-16	5,4	4,54		2005-01-16	5,37	4,49	
2004-12-17	5,64	5,15		2005-01-17	4,91	3,78	
2004-12-18	5,56	4,86		2005-01-18	4,92	3,87	
2004-12-19	4,96	3,99		2005-01-19	4,04	2,67	
2004-12-20	4,53	3,64		2005-01-20	4,36	3,32	
2004-12-21	3,78	2,5		2005-01-21	4,25	2,4	
2004-12-22	3,49	2,46		2005-01-22	5,23	4,41	
2004-12-23	4,58	3,53		2005-01-23	4,71	3,5	
2004-12-24	4,97	3,9		2005-01-24	5,3	4,42	
2004-12-25	5,08	4,41		2005-01-25	4,88	4,13	
2004-12-26	5,02	4,27		2005-01-26	3,89	2,65	
2004-12-27	4,82	3,43		2005-01-27	4,18	3,02	
2004-12-28	5,6	5,48		2005-01-28	4,49	3,6	
2004-12-29	5,42	4,65		2005-01-29	4,69	3,37	
2004-12-30	5,68	5,12		2005-01-30	4,96	4,02	
2004-12-31	5,15	4,2		2005-01-31	5,54	5,16	

Tabela 3.3 – Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Agosto e Setembro de 2005 (Período Seco).

Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação	Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação
2005-08-01	3,57	4,06	0,94	2005-09-01	4,1	3,72	0,94
2005-08-02	3,57	4,27		2005-09-02	3,07	2,66	
2005-08-03	3,31	3,91		2005-09-03	4,15	4,26	
2005-08-04	3,44	4,1		2005-09-04	3,71	3,53	
2005-08-05	3,61	4,24		2005-09-05	4,11	4,09	
2005-08-06	3,37	3,77		2005-09-06	4,41	4,8	
2005-08-07	3,48	4,25		2005-09-07	4,43	4,79	
2005-08-08	3,51	4,17		2005-09-08	3,98	3,61	
2005-08-09	2,51	2,74		2005-09-09	3,72	3,19	
2005-08-10	2,49	2,45		2005-09-10	4,9	5,44	
2005-08-11	2,96	3,44		2005-09-11	4,75	5,76	
2005-08-12	3,2	3,83		2005-09-12	4,57	4,48	
2005-08-13	3,38	4,23		2005-09-13	3,46	3,24	
2005-08-14	3,61	4,8		2005-09-14	4,03	4,06	
2005-08-15	3,63	4,59		2005-09-15	4,56	5,19	
2005-08-16	3,51	5,05		2005-09-16	4,66	5,5	
2005-08-17	3,72	4,93		2005-09-17	4,39	4,42	
2005-08-18	3,54	4,55		2005-09-18	3,01	2,49	
2005-08-19	3,59	4,5		2005-09-19	3,94	3,98	
2005-08-20	3,71	4,74		2005-09-20	4,08	4,42	
2005-08-21	3,84	4,25		2005-09-21	4,31	4,33	
2005-08-22	3,82	5,18		2005-09-22	3,7	3,05	
2005-08-23	3,78	4,63		2005-09-23	3,72	3,35	
2005-08-24	4,04	5,23		2005-09-24	3,9	3,38	
2005-08-25	3,6	4,31		2005-09-25	2,68	2,03	
2005-08-26	3,64	5,27		2005-09-26	3,34	2,56	
2005-08-27	4,15	5,64		2005-09-27	2,86	3,06	
2005-08-28	3,98	5,83		2005-09-28	4,03	4,24	
2005-08-29	4,62	6,12		2005-09-29	4,24	4,55	
2005-08-30	4,78	7,04		2005-09-30	4,49	4,82	
2005-08-31	3,73	5,11					

Tabela 3.4 – Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Dezembro de 2005 e Janeiro de 2006 (Período Úmido).

Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação	Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação
2005-12-01	4,15	2,92	0,95	2006-01-01	4,59	3,65	0,98
2005-12-02	3,96	2,34		2006-01-02	4,07	2,42	
2005-12-03	4,43	3,59		2006-01-03	4,42	3,61	
2005-12-04	5,06	4,19		2006-01-04	4,21	2,65	
2005-12-05	4,47	3,05		2006-01-05	3,52	1,82	
2005-12-06	4,17	3,16		2006-01-06	4,05	2,45	
2005-12-07	3,34	2,44		2006-01-07	5,34	4,8	
2005-12-08	3,59	2,81		2006-01-08	5,4	4,71	
2005-12-09	3,05	1,49		2006-01-09	5,02	4,05	
2005-12-10	5,56	5,16		2006-01-10	5,34	4,68	
2005-12-11	4,82	4,31		2006-01-11	5,11	4,21	
2005-12-12	3,6	2,52		2006-01-12	5,24	4,42	
2005-12-13	4,48	3,44		2006-01-13	5,2	4,33	
2005-12-14	5,12	4,19		2006-01-14	5,35	4,64	
2005-12-15	5,47	4,81		2006-01-15	5,53	4,93	
2005-12-16	5,26	4,71		2006-01-16	5,68	5,55	
2005-12-17	4,57	3,55		2006-01-17	6,02	6,35	
2005-12-18	4,7	3,55		2006-01-18	5,48	4,56	
2005-12-19	3,84	2,21		2006-01-19	5,48	4,88	
2005-12-20	4,86	3,85		2006-01-20	5,57	4,97	
2005-12-21	4,81	3,71		2006-01-21	5,45	4,74	
2005-12-22	4,73	3,47		2006-01-22	5,79	5,57	
2005-12-23	5,06	3,83		2006-01-23	5,63	5,2	
2005-12-24	5,53	4,74		2006-01-24	5,38	4,54	
2005-12-25	5,1	4,29		2006-01-25	5,77	5,57	
2005-12-26	4,69	3,78		2006-01-26	5,63	4,78	
2005-12-27	4,75	3,7		2006-01-27	5,39	4,66	
2005-12-28	5,09	4,15		2006-01-28	5,26	4,16	
2005-12-29	4,55	3,01		2006-01-29	4,5	3,14	
2005-12-30	-	-		2006-01-30	4,38	3,18	
2005-12-31	-	-		2006-01-31	-	-	

Tabela 3.5 – Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Agosto e Setembro de 2006 (Período Seco).

Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação	Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação
2006-08-01	2,99	3,2	0,77	2006-09-01	3,57	2,98	0,91
2006-08-02	3,47	4,11		2006-09-02	3,06	2,69	
2006-08-03	3,96	5,75		2006-09-03	3,19	2,53	
2006-08-04	3,68	4,87		2006-09-04	3,83	3,58	
2006-08-05	3,92	5,04		2006-09-05	3,88	3,27	
2006-08-06	3,7	4,82		2006-09-06	3,84	3,48	
2006-08-07	3,79	4,87		2006-09-07	4,2	4,35	
2006-08-08	3,58	4,25		2006-09-08	4,61	5,91	
2006-08-09	3,91	5,64		2006-09-09	4,31	4,34	
2006-08-10	3,59	5,12		2006-09-10	4,19	4,55	
2006-08-11	3,98	5,24		2006-09-11	4,8	5,77	
2006-08-12	3,8	5,19		2006-09-12	4,44	4,29	
2006-08-13	3,78	5,46		2006-09-13	4,83	5,56	
2006-08-14	3,8	6,62		2006-09-14	4,61	4,6	
2006-08-15	3,81	5,83		2006-09-15	5,31	6,73	
2006-08-16	4,06	5,96		2006-09-16	5,46	5,14	
2006-08-17	4,04	6,2		2006-09-17	4,57	4,42	
2006-08-18	4,3	5,71		2006-09-18	4,49	4,67	
2006-08-19	3,76	5		2006-09-19	4,57	4,93	
2006-08-20	3,75	4,49		2006-09-20	4,39	4,63	
2006-08-21	3,7	4,39		2006-09-21	3,68	3,55	
2006-08-22	3,37	3,98		2006-09-22	3,44	2,78	
2006-08-23	3,51	3,86		2006-09-23	4,76	6,08	
2006-08-24	3,5	5,48		2006-09-24	4,31	4,68	
2006-08-25	4,1	5,5		2006-09-25	4,28	4,67	
2006-08-26	4,22	5,59		2006-09-26	4,65	5,21	
2006-08-27	3,81	4,96		2006-09-27	4,79	5,55	
2006-08-28	3,39	4,51		2006-09-28	4,61	5,35	
2006-08-29	3,52	4,27		2006-09-29	4,33	4,25	
2006-08-30	3,56	4,11		2006-09-30	4,26	4,05	
2006-08-31	3,7	4,74					

Tabela 3.6 – Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Dezembro de 2006 e Janeiro de 2007 (Período Úmido).

Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação	Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação
2006-12-01	4,98	4,2	0,95	2007-01-01	3,91	3,33	0,91
2006-12-02	4,76	3,82		2007-01-02	4,15	2,76	
2006-12-03	5,22	4,41		2007-01-03	4,4	3,02	
2006-12-04	4,52	3,55		2007-01-04	4,82	3,8	
2006-12-05	4,83	3,72		2007-01-05	4,1	2,54	
2006-12-06	4,5	3,04		2007-01-06	3,81	2,4	
2006-12-07	4,69	3,53		2007-01-07	4,56	3,93	
2006-12-08	4,86	3,66		2007-01-08	5,02	4,12	
2006-12-09	4,56	2,9		2007-01-09	5	4,14	
2006-12-10	4,48	3,52		2007-01-10	4,89	3,62	
2006-12-11	5,23	5,03		2007-01-11	4,77	3,78	
2006-12-12	3,83	2,29		2007-01-12	5,33	4,57	
2006-12-13	-	-		2007-01-13	4,83	3,74	
2006-12-14	-	-		2007-01-14	4,19	2,91	
2006-12-15	-	-		2007-01-15	4,12	2,97	
2006-12-16	-	-		2007-01-16	4,59	3,13	
2006-12-17	5,17	4,39		2007-01-17	4,47	3,14	
2006-12-18	5,55	5,02		2007-01-18	4,67	3,43	
2006-12-19	4,86	3,48		2007-01-19	5,59	5,07	
2006-12-20	4,88	3,83		2007-01-20	4,84	3,49	
2006-12-21	4,16	3		2007-01-21	4,95	3,89	
2006-12-22	5,28	4,42		2007-01-22	4,8	3,29	
2006-12-23	5,36	4,48		2007-01-23	4,11	2,87	
2006-12-24	5,38	4,48		2007-01-24	5,09	4,31	
2006-12-25	5,52	5,02		2007-01-25	4,92	3,87	
2006-12-26	4,76	3,62		2007-01-26	5,02	4,13	
2006-12-27	5,65	5,11		2007-01-27	4,06	2,27	
2006-12-28	4,74	3,78		2007-01-28	4,67	3,86	
2006-12-29	4,91	4,17		2007-01-29	4,85	4,1	
2006-12-30	4,5	3,24		2007-01-30	4,64	3,35	
2006-12-31	3,95	2,7		2007-01-31	5,03	3,81	



Tabela 3.7 – Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Agosto e Setembro de 2007 (Período Seco).

Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação	Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação
2007-08-01	3,13	3,2	0,58	2007-09-01	4,34	4,6	0,57
2007-08-02	3,27	3,77		2007-09-02	4,61	5,55	
2007-08-03	3,22	3,88		2007-09-03	4,85	5,76	
2007-08-04	3,44	4,2		2007-09-04	4,95	5,29	
2007-08-05	3,51	4,3		2007-09-05	4,73	4,67	
2007-08-06	3,59	4,42		2007-09-06	4,54	4,73	
2007-08-07	3,64	4,85		2007-09-07	4,52	4,9	
2007-08-08	3,88	4,88		2007-09-08	4,63	5,43	
2007-08-09	3,64	4,54		2007-09-09	4,6	5,32	
2007-08-10	3,52	4,68		2007-09-10	4,87	5,16	
2007-08-11	3,58	4,51		2007-09-11	4,53	4,6	
2007-08-12	3,78	4,93		2007-09-12	4,8	5,43	
2007-08-13	3,58	4,42		2007-09-13	4,96	5,76	
2007-08-14	3,8	4,03		2007-09-14	4,79	5,3	
2007-08-15	3,75	4,56		2007-09-15	4,29	4,17	
2007-08-16	3,45	4,56		2007-09-16	4,75	6,12	
2007-08-17	3,59	5,32		2007-09-17	5,44	5,64	
2007-08-18	3,51	4,64		2007-09-18	5,28	5,34	
2007-08-19	3,57	4,81		2007-09-19	4,83	6,06	
2007-08-20	3,6	4,7		2007-09-20	4,82	6,86	
2007-08-21	3,52	4,79		2007-09-21	4,89	6,8	
2007-08-22	4,17	4,85		2007-09-22	5,22	6,87	
2007-08-23	3,83	5,08		2007-09-23	5,1	6,57	
2007-08-24	3,86	5,35		2007-09-24	5,15	5,12	
2007-08-25	3,63	5,55		2007-09-25	4,68	4,35	
2007-08-26	3,54	5,79		2007-09-26	4,7	5,08	
2007-08-27	3,88	4,72		2007-09-27	5,07	6,5	
2007-08-28	3,62	4,41		2007-09-28	5,11	5,79	
2007-08-29	3,76	4,93		2007-09-29	5,08	5,57	
2007-08-30	3,94	5,05		2007-09-30	4,96	5,55	
2007-08-31	3,88	5,24					

Tabela 3.8 – Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Dezembro de 2007 e Janeiro de 2008 (Período Úmido).

Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação	Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação
2007-12-01	4,92	3,26	0,92	2008-01-01	5,72	5,11	0,98
2007-12-02	5,78	4,25		2008-01-02	5,29	4,54	
2007-12-03	5,39	4		2008-01-03	4,73	3,67	
2007-12-04	5,93	5,4		2008-01-04	5,54	4,92	
2007-12-05	5,51	4,75		2008-01-05	4,9	3,88	
2007-12-06	5,33	4,38		2008-01-06	4,03	2,19	
2007-12-07	5,67	5,27		2008-01-07	4,94	4,13	
2007-12-08	4,8	3,75		2008-01-08	5,2	4,32	
2007-12-09	5,22	4,22		2008-01-09	5,11	4	
2007-12-10	5,23	4,35		2008-01-10	4,91	3,65	
2007-12-11	4,54	3,28		2008-01-11	5,57	5	
2007-12-12	4,79	3,77		2008-01-12	5,2	4,54	
2007-12-13	4,83	3,9		2008-01-13	4,7	3,68	
2007-12-14	4,87	3,82		2008-01-14	3,73	2,51	
2007-12-15	5,24	4,31		2008-01-15	3,89	2,68	
2007-12-16	5,28	4,34		2008-01-16	4,64	3,5	
2007-12-17	5,72	5,15		2008-01-17	5,02	4,22	
2007-12-18	5,42	4,67		2008-01-18	5,16	4,37	
2007-12-19	4,87	3,96		2008-01-19	4,6	3,82	
2007-12-20	4,28	2,6		2008-01-20	4,99	4,1	
2007-12-21	4,63	3,56		2008-01-21	4,56	2,93	
2007-12-22	5,32	4,49		2008-01-22	3,98	2,64	
2007-12-23	5,05	3,91		2008-01-23	4,26	3,2	
2007-12-24	5,16	4,13		2008-01-24	4,33	3,17	
2007-12-25	5,09	4,09		2008-01-25	5,1	4,37	
2007-12-26	5,24	4,28		2008-01-26	4,31	2,73	
2007-12-27	5,49	4,89		2008-01-27	3,6	2,11	
2007-12-28	5,13	3,89		2008-01-28	3,63	2,2	
2007-12-29	5,67	5,06		2008-01-29	3,47	1,98	
2007-12-30	5,72	5,15		2008-01-30	4,03	2,69	
2007-12-31	5,76	5,15		2008-01-31	5,04	3,96	

Tabela 3.9 – Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Agosto e Setembro de 2008 (Período Seco).

Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação	Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação
2008-08-01	3,43	4,73	0,81	2008-09-01	4,54	4,17	0,88
2008-08-02	3,75	4,15		2008-09-02	4,48	5,58	
2008-08-03	2,41	2,28		2008-09-03	4,35	4,98	
2008-08-04	3,13	3,82		2008-09-04	4,79	6,12	
2008-08-05	2,43	2,3		2008-09-05	4,64	5,73	
2008-08-06	3,35	4,03		2008-09-06	5,51	5,81	
2008-08-07	3,81	4,54		2008-09-07	3,32	2,71	
2008-08-08	3,57	3,78		2008-09-08	4,63	5,54	
2008-08-09	3,4	4,19		2008-09-09	5	5,62	
2008-08-10	3,5	4,75		2008-09-10	5,51	6,67	
2008-08-11	3,59	4,65		2008-09-11	4,89	6,99	
2008-08-12	3,9	5,3		2008-09-12	5,09	6,96	
2008-08-13	3,84	5,82		2008-09-13	4,9	4,32	
2008-08-14	3,85	5,04		2008-09-14	4,19	4,08	
2008-08-15	3,6	5,28		2008-09-15	4,65	4,87	
2008-08-16	3,92	5,46		2008-09-16	4,8	5,11	
2008-08-17	3,92	5,47		2008-09-17	4,63	4,73	
2008-08-18	3,76	5,61		2008-09-18	4,24	4,1	
2008-08-19	3,92	5,39		2008-09-19	4,54	4,47	
2008-08-20	3,8	5,13		2008-09-20	3,83	3,49	
2008-08-21	3,82	5,26		2008-09-21	2,74	1,99	
2008-08-22	3,55	5,35		2008-09-22	3,1	2,43	
2008-08-23	4,08	5,21		2008-09-23	3,46	2,8	
2008-08-24	3,98	5,27		2008-09-24	4,07	3,14	
2008-08-25	3,75	5,35		2008-09-25	4,29	3,69	
2008-08-26	3,71	5,36		2008-09-26	3,7	3,24	
2008-08-27	3,97	5,56		2008-09-27	4,31	4,78	
2008-08-28	3,72	5,83		2008-09-28	4,27	3,65	
2008-08-29	4,35	4,62		2008-09-29	4,49	4,03	
2008-08-30	3,58	3,36		2008-09-30	4,64	4,92	
2008-08-31	3,19	3,51					

Tabela 3.10 – Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Dezembro de 2008 e Janeiro de 2009 (Período Úmido).

Datas	ETo_PM	ETo_PT	Correlação	Datas	ETo_PM	ETo_PT	Correlação
2008-12-01	5,1	3,8	0,95	2009-01-01	4,88	4,09	0,94
2008-12-02	5,58	4,86		2009-01-02	5	4	
2008-12-03	5,15	4,17		2009-01-03	4,52	3,49	
2008-12-04	4,82	3,61		2009-01-04	3,86	2,38	
2008-12-05	4,62	2,86		2009-01-05	4,53	3,28	
2008-12-06	5,68	4,78		2009-01-06	5	3,86	
2008-12-07	5,26	3,98		2009-01-07	4,75	3,35	
2008-12-08	5,36	4,34		2009-01-08	5,52	4,95	
2008-12-09	5,5	4,76		2009-01-09	5,79	5,47	
2008-12-10	5,76	4,98		2009-01-10	5,3	4,57	
2008-12-11	5,43	4,47		2009-01-11	5,16	4,2	
2008-12-12	4,89	4,1		2009-01-12	5,54	5,06	
2008-12-13	4,53	3,46		2009-01-13	5,28	4,23	
2008-12-14	4,53	3,31		2009-01-14	5,21	4,09	
2008-12-15	4,45	2,89		2009-01-15	4,16	3,16	
2008-12-16	4,25	3,35		2009-01-16	4,72	3,35	
2008-12-17	5	3,97		2009-01-17	4,71	3,78	
2008-12-18	5,1	4		2009-01-18	4,35	3,39	
2008-12-19	5,33	4,45		2009-01-19	4,86	3,51	
2008-12-20	5,3	4,52		2009-01-20	4,7	3,81	
2008-12-21	5,05	4,1		2009-01-21	4,58	3,56	
2008-12-22	4,75	3,93		2009-01-22	4,73	4,16	
2008-12-23	5,77	5,53		2009-01-23	4,34	3,32	
2008-12-24	5,4	4,57		2009-01-24	3,93	3,17	
2008-12-25	4,33	2,72		2009-01-25	4,09	2,54	
2008-12-26	4,36	2,93		2009-01-26	3,92	3,08	
2008-12-27	3,36	2		2009-01-27	3,83	2,66	
2008-12-28	5,04	4,23		2009-01-28	4,07	2,93	
2008-12-29	5,21	4,15		2009-01-29	5,18	4,46	
2008-12-30	5,26	4,14		2009-01-30	4,87	3,89	
2008-12-31	4,63	3,81		2009-01-31	5,36	4,55	

Tabela 3.11 – Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Agosto e Setembro de 2009 (Período Seco).

Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação	Datas	ET <sub>o</sub> _PM	ET <sub>o</sub> _PT	Correlação
2009-08-01	3,67	4,99	0,95	2009-09-01	4,14	4,5	0,96
2009-08-02	3,5	4,02		2009-09-02	4,51	5,36	
2009-08-03	3,27	3,8		2009-09-03	4,63	5,27	
2009-08-04	3,62	5,43		2009-09-04	3,35	2,96	
2009-08-05	3,67	3,52		2009-09-05	3,36	2,62	
2009-08-06	3,62	5,1		2009-09-06	2,99	2,65	
2009-08-07	3,71	4,84		2009-09-07	4,43	5,04	
2009-08-08	3,75	5,23		2009-09-08	4,02	3,67	
2009-08-09	3,77	5,17		2009-09-09	2,48	2,27	
2009-08-10	2,5	2,16		2009-09-10	3,58	3,27	
2009-08-11	3,27	3,51		2009-09-11	4,31	4,76	
2009-08-12	3,43	4,34		2009-09-12	4,39	4,78	
2009-08-13	3,81	4,93		2009-09-13	4,45	5,23	
2009-08-14	3,59	4,63		2009-09-14	-	-	
2009-08-15	3,82	4,55		2009-09-15	4,66	6,25	
2009-08-16	3,72	4,81		2009-09-16	4,94	5,09	
2009-08-17	3,9	5,23		2009-09-17	4,39	5,19	
2009-08-18	3,41	3,79		2009-09-18	4,73	5,94	
2009-08-19	2,34	3		2009-09-19	3,17	2,71	
2009-08-20	1,94	1,53		2009-09-20	4,04	4,28	
2009-08-21	1,92	1,5		2009-09-21	4,17	4,65	
2009-08-22	2,7	3		2009-09-22	3,16	2,34	
2009-08-23	1,87	1,89		2009-09-23	2,97	2,35	
2009-08-24	2,42	2,23		2009-09-24	2,97	2,37	
2009-08-25	2,45	2,54		2009-09-25	3,91	4,14	
2009-08-26	2,75	2,88		2009-09-26	4,65	5,66	
2009-08-27	3,43	4,15		2009-09-27	5,01	6,35	
2009-08-28	3,46	4,56		2009-09-28	4,51	4,56	
2009-08-29	3,92	4,87		2009-09-29	3,46	3,76	
2009-08-30	3,95	5,05		2009-09-30	3,97	4,23	
2009-08-31	3,88	5,29					

Tabela 3.12 – Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Dezembro de 2009 e Janeiro de 2010 (Período Úmido).

datas	ETo_PM	ETo_PT	Correl	datas	ETo_pm	ETo_PT	Correl
2009-12-01	4,92	3,6	0,96	2010-01-01	4,72	3,85	0,95
2009-12-02	5,34	4,34		2010-01-02	5,19	4,62	
2009-12-03	4,83	3,48		2010-01-03	5,66	5,29	
2009-12-04	4,25	3,51		2010-01-04	5,85	5,66	
2009-12-05	4,05	3,09		2010-01-05	5,74	5,17	
2009-12-06	4,48	3,36		2010-01-06	5,41	4,46	
2009-12-07	3,88	2,41		2010-01-07	5,11	5,12	
2009-12-08	4,25	2,72		2010-01-08	4,42	3,34	
2009-12-09	4,68	3,64		2010-01-09	5,73	5,53	
2009-12-10	4,56	3,34		2010-01-10	5,07	4,1	
2009-12-11	4,98	3,78		2010-01-11	5,24	4,49	
2009-12-12	5,07	4,47		2010-01-12	5,03	4,21	
2009-12-13	4,59	2,96		2010-01-13	5,35	4,49	
2009-12-14	4,3	2,91		2010-01-14	4,92	3,52	
2009-12-15	4,99	4,09		2010-01-15	4,92	4,38	
2009-12-16	5,09	4,05		2010-01-16	4,61	3,46	
2009-12-17	4,92	3,77		2010-01-17	5,3	5,41	
2009-12-18	5,43	4,62		2010-01-18	5,19	4,27	
2009-12-19	5,41	4,58		2010-01-19	5,39	4,42	
2009-12-20	5,62	5		2010-01-20	5,53	4,98	
2009-12-21	5,54	4,79		2010-01-21	4,55	3,55	
2009-12-22	5,29	4,57		2010-01-22	4,3	3,15	
2009-12-23	5,74	5,29		2010-01-23	4,08	2,66	
2009-12-24	5,36	4,53		2010-01-24	4,74	3,73	
2009-12-25	5,37	4,65		2010-01-25	4,65	3,34	
2009-12-26	4,8	3,77		2010-01-26	5,19	4,33	
2009-12-27	4,66	3,5		2010-01-27	4,22	2,88	
2009-12-28	4,44	3,21		2010-01-28	4,23	2,73	
2009-12-29	3,76	2,18		2010-01-29	3,61	2,09	
2009-12-30	4,32	2,81		2010-01-30	4,09	2,77	
2009-12-31	5,09	4,04		2010-01-31	4,69	3,45	

Analisando os resultados apresentados nas tabelas anteriores, verifica que a evapotranspiração estimada pelo método de Priestley-Taylor está bem correlacionada (coeficientes de correlação próximos a 1) com o método de Penman-Monteith. Porém, o coeficiente de correlação foi baixo para cidade de Barretos (SP) durante os meses de Agosto e Setembro de 2004 (Período Seco). Isto pode ser explicado pelo fato de ter ocorrido uma possível falha na coleta dos dados neste período, já que o ano de 2004 teve registros de El Niño de fraca intensidade, e não foi verificado nenhum outro episódio climático que poderia influenciar no resultado.

Outra característica observada nos resultados é que, em comparação com o método de Penman-Monteith, a evapotranspiração estimada pelo método de Priestley-Taylor é superestimada durante o período seco e no período úmido subestimada. Um exemplo desta variabilidade para a cidade de Barretos (SP) é ilustrada nas Figuras 3.13 a 3.24.

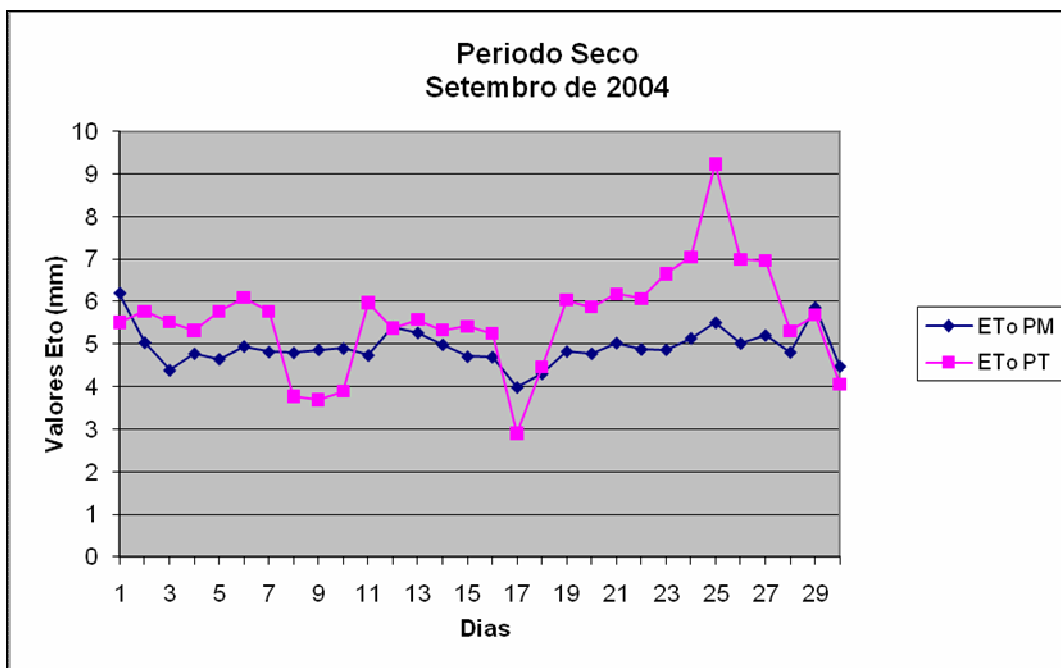
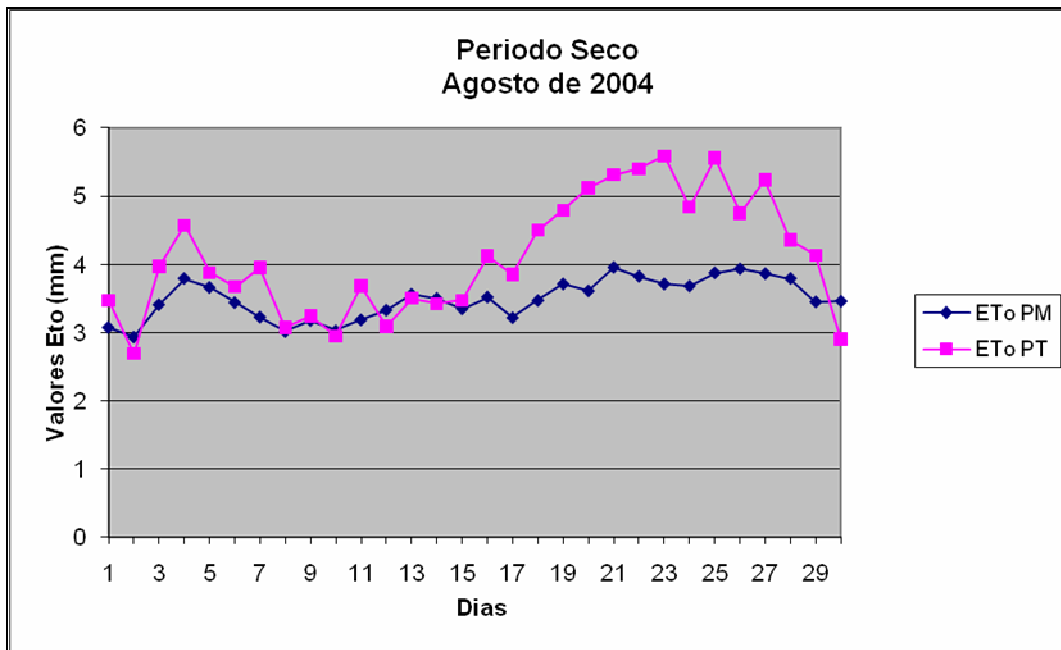


Figura 3.13: Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Agosto de 2004 e Setembro de 2004 (Período Seco).



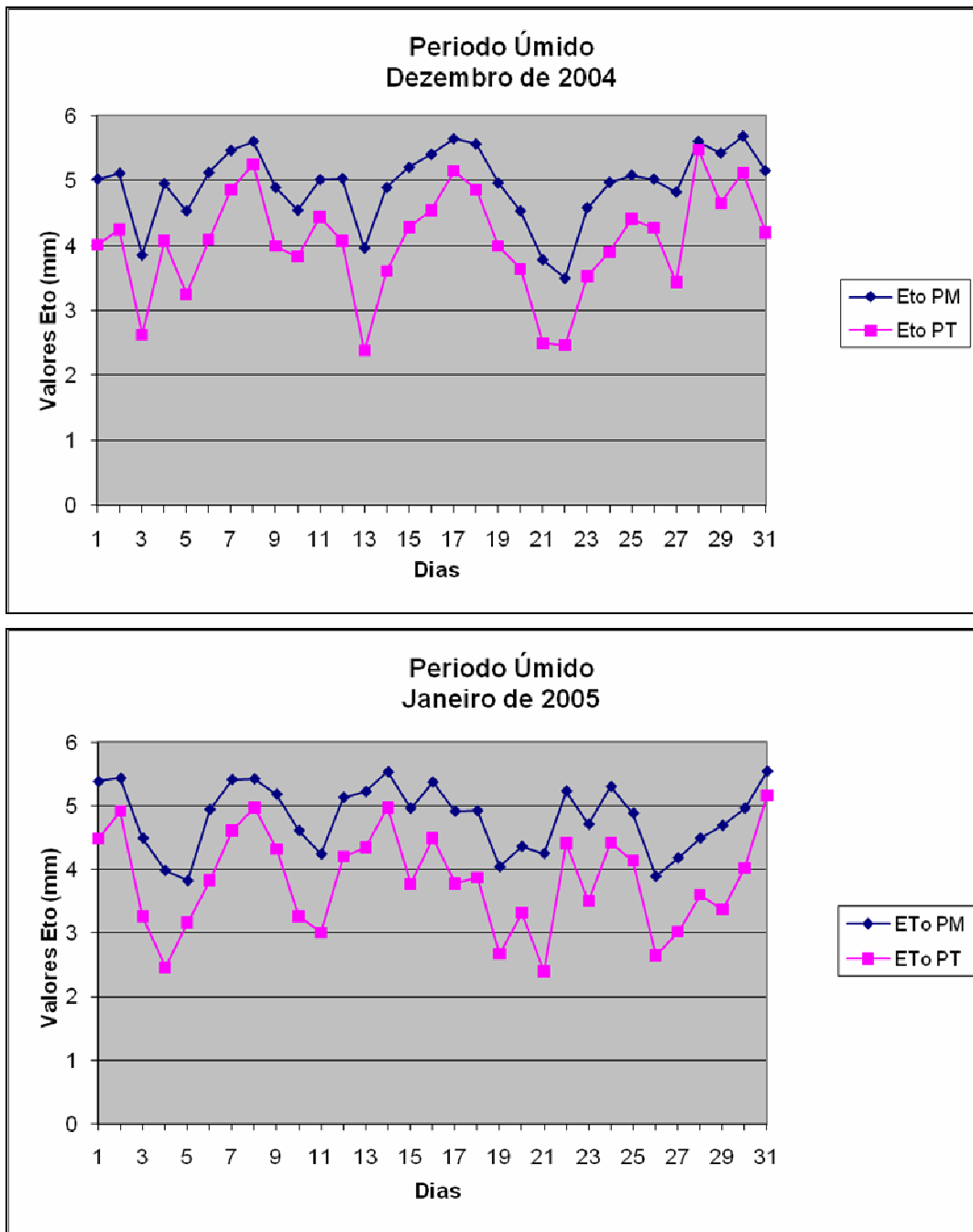


Figura 3.14: Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Dezembro de 2004 e Janeiro de 2005 (Período Úmido).

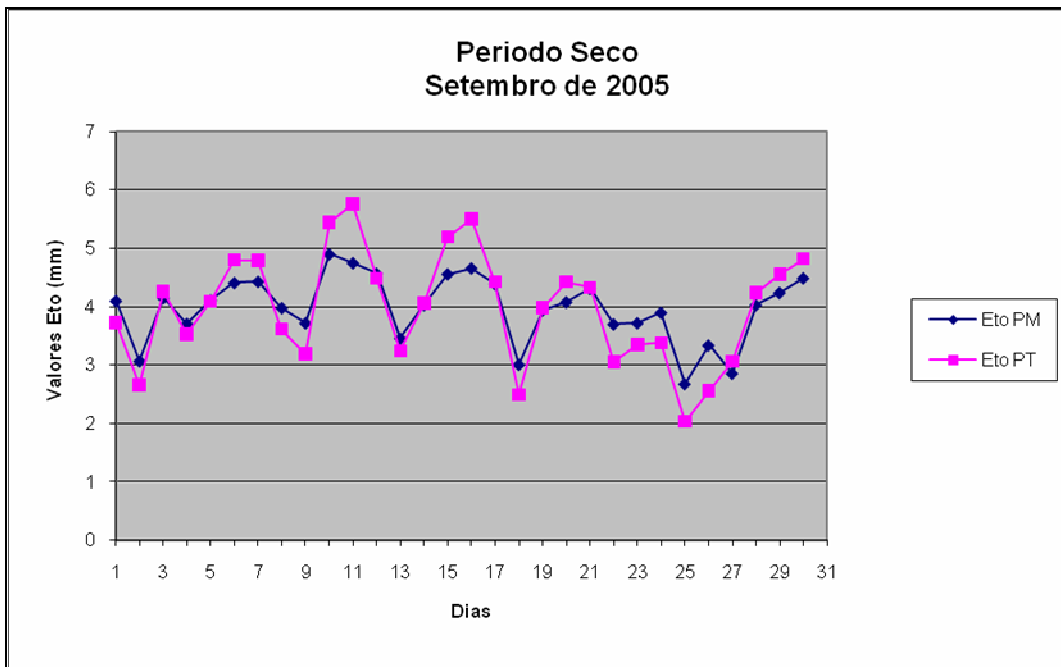
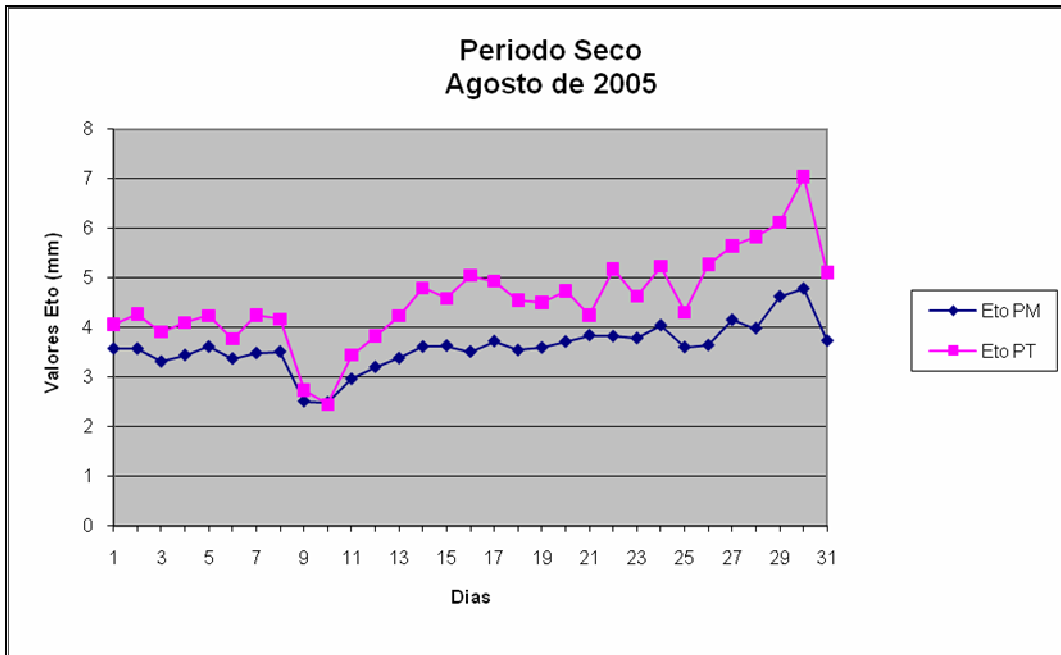


Figura 3.15: Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Agosto de 2005 e Setembro de 2005 (Período Seco).

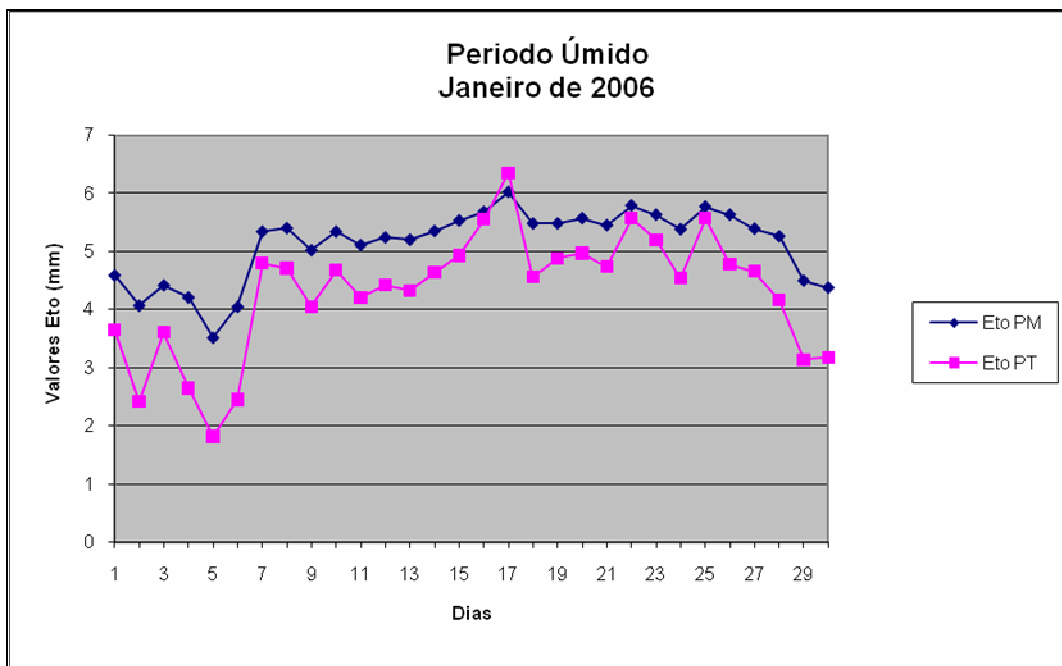
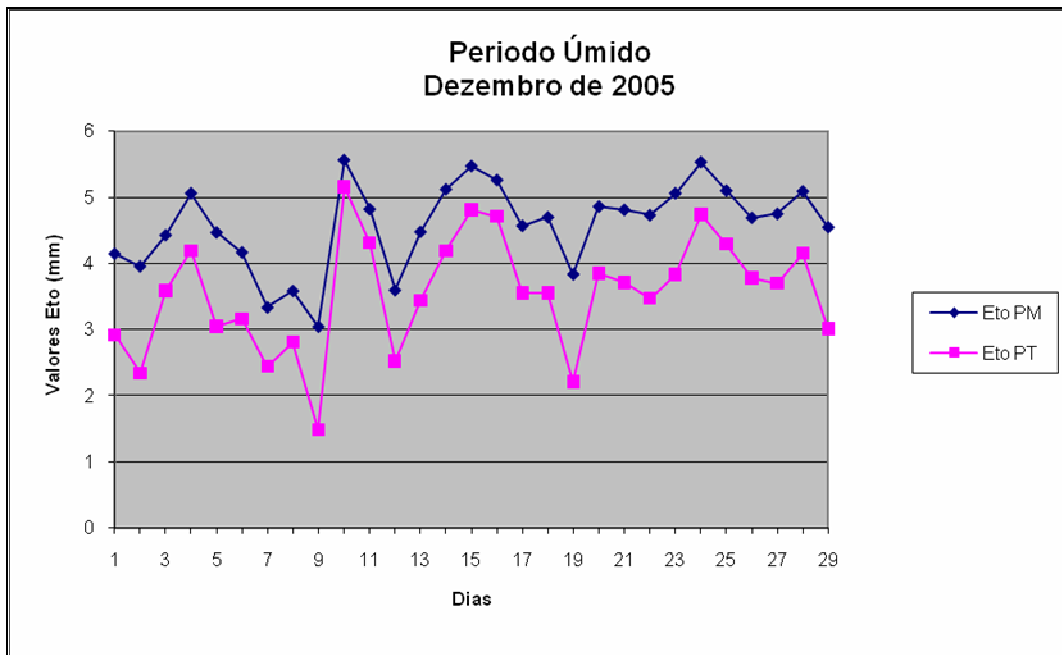


Figura 3.16: Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Dezembro de 2005 e Janeiro de 2006 (Período Úmido).

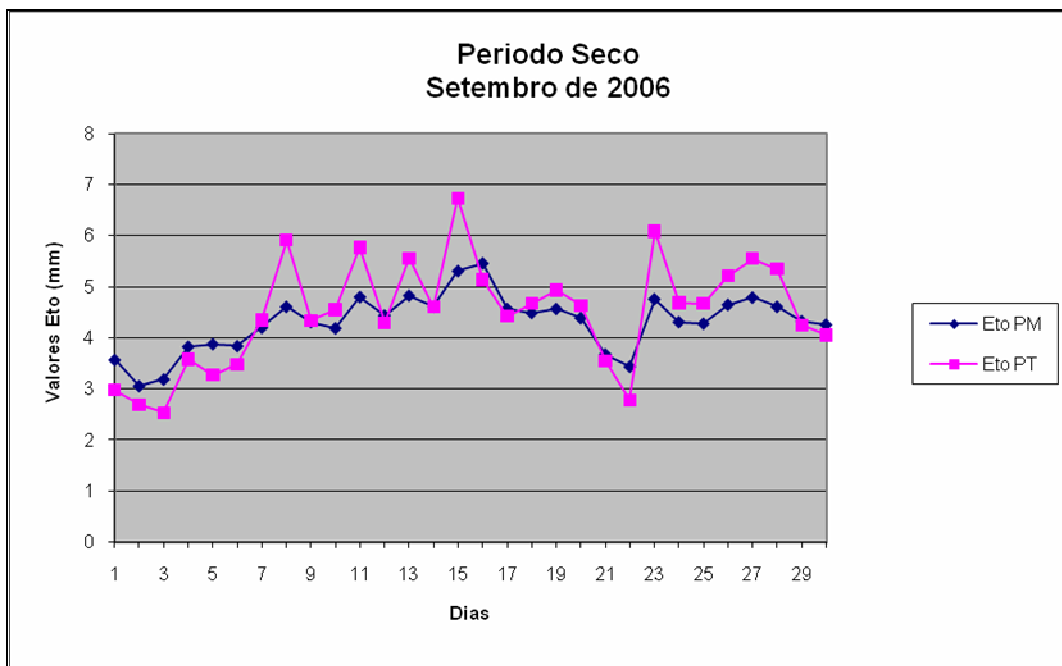
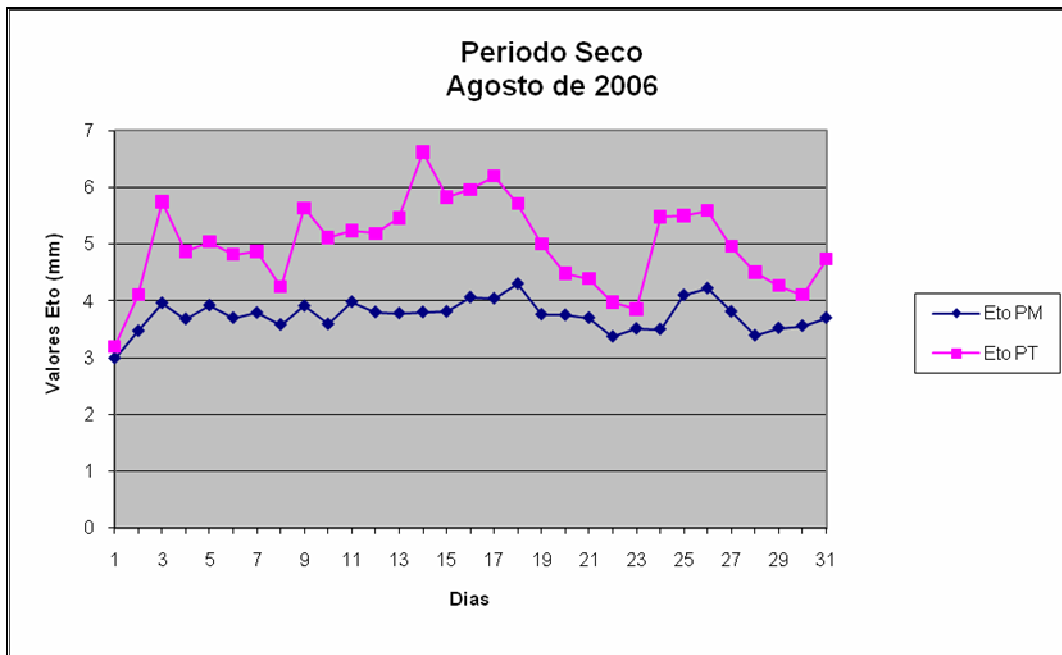


Figura 3.17: Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Agosto de 2006 e Setembro de 2006 (Período Seco).

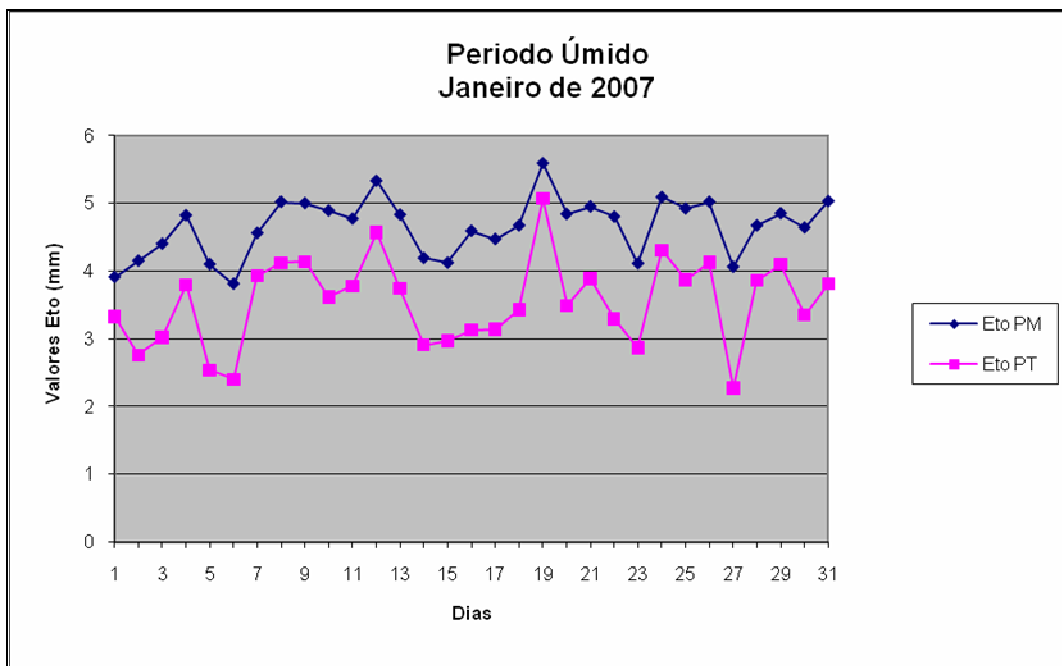
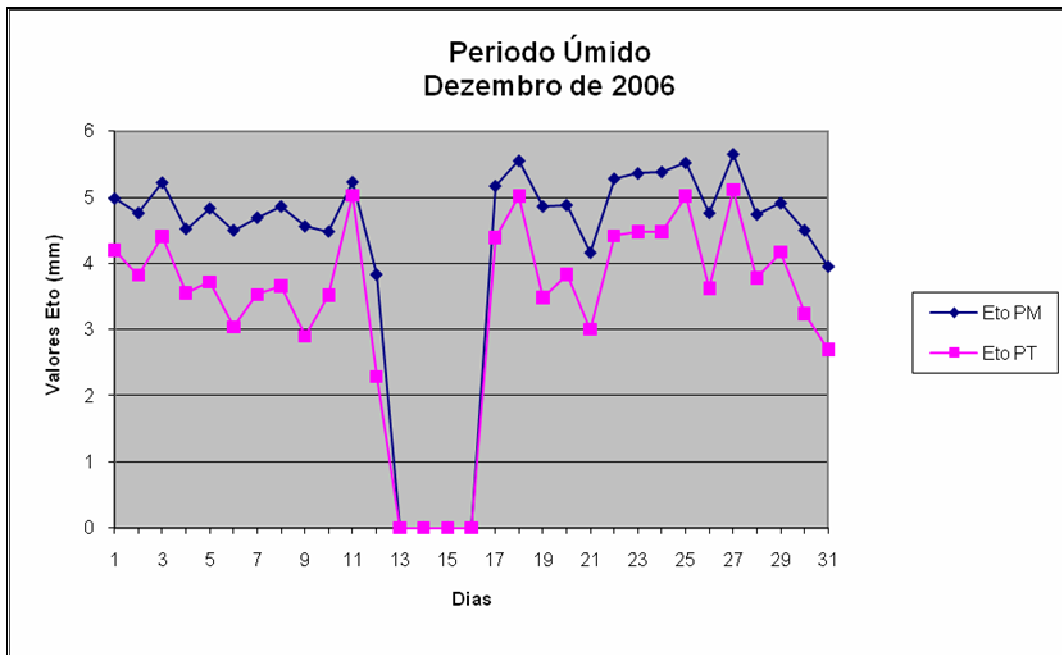


Figura 3.18: Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Dezembro de 2006 e Janeiro de 2007 (Período Úmido).

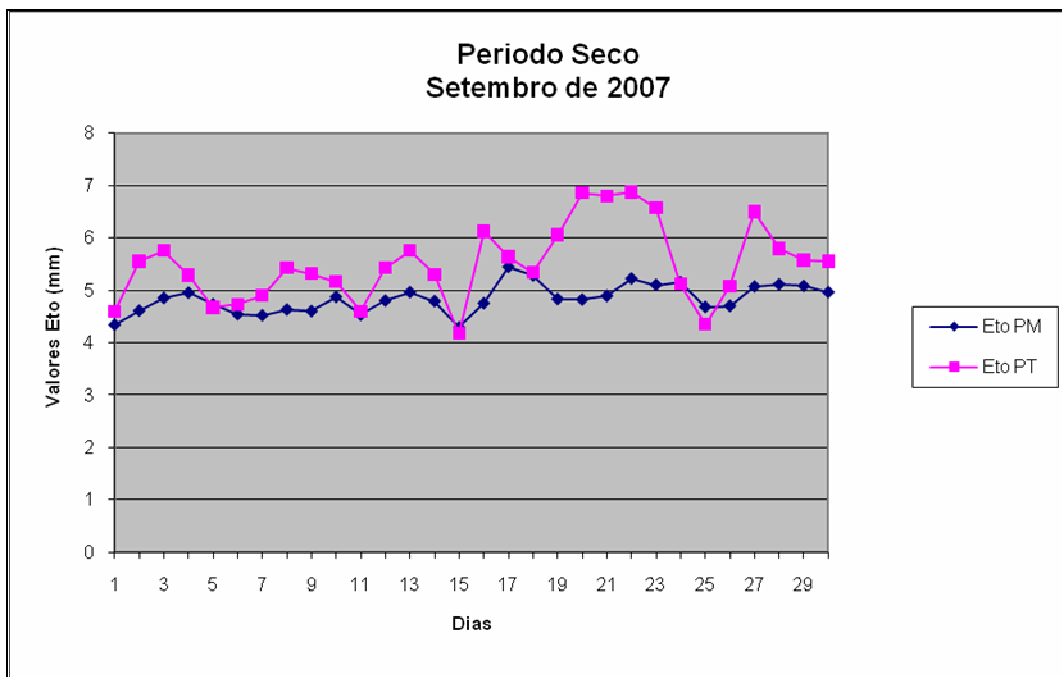
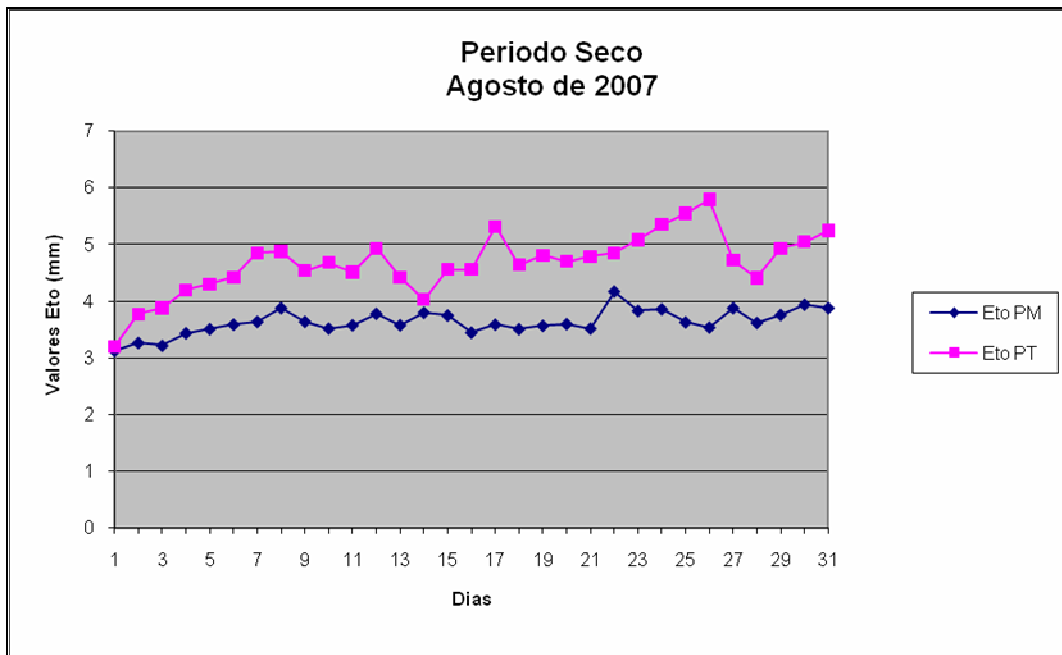


Figura 3.19: Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Agosto de 2007 e Setembro de 2007 (Período Seco).

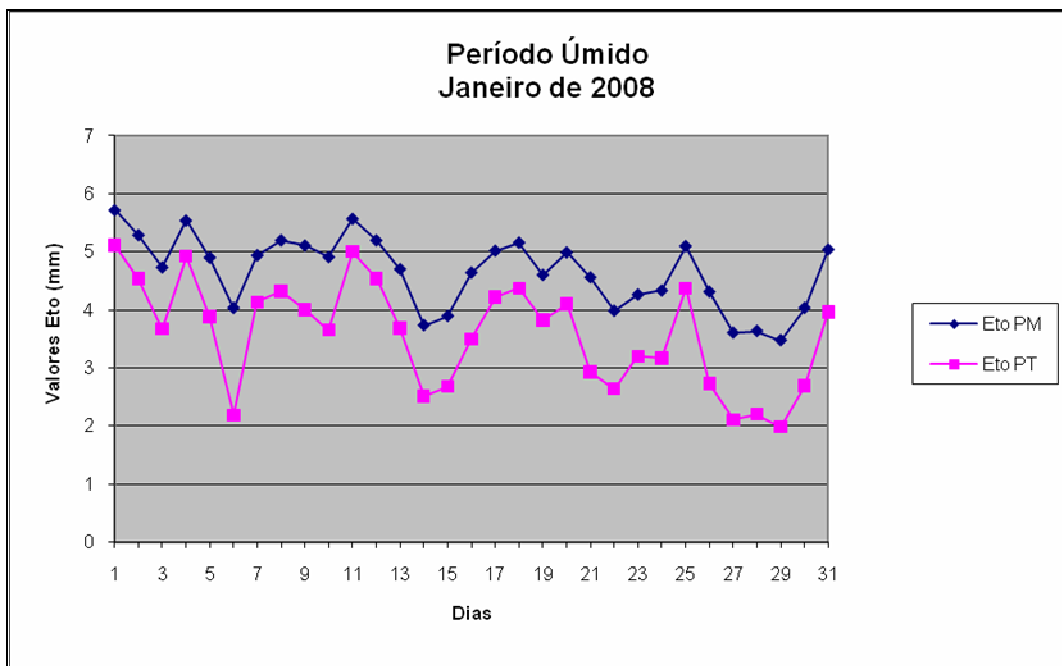
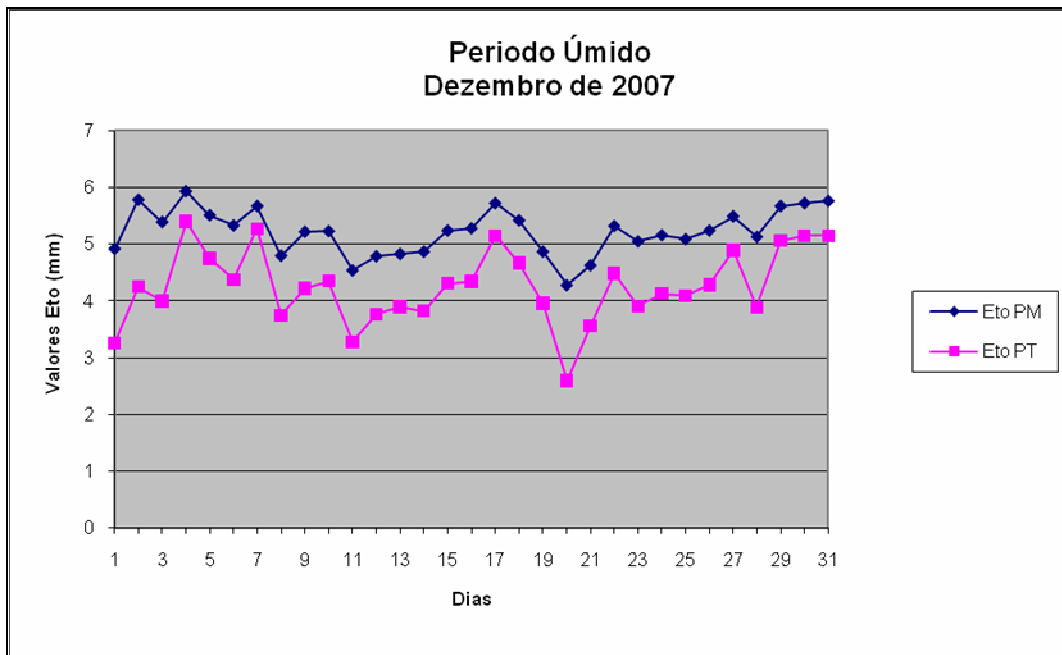


Figura 3.20: Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Dezembro de 2007 e Janeiro de 2008 (Período Úmido).

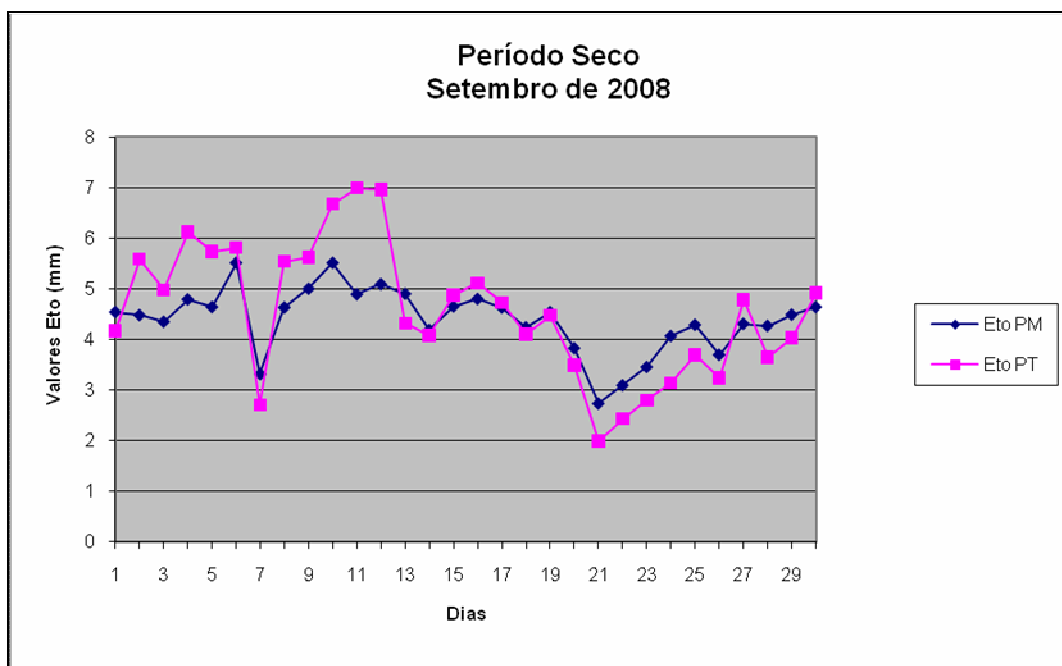
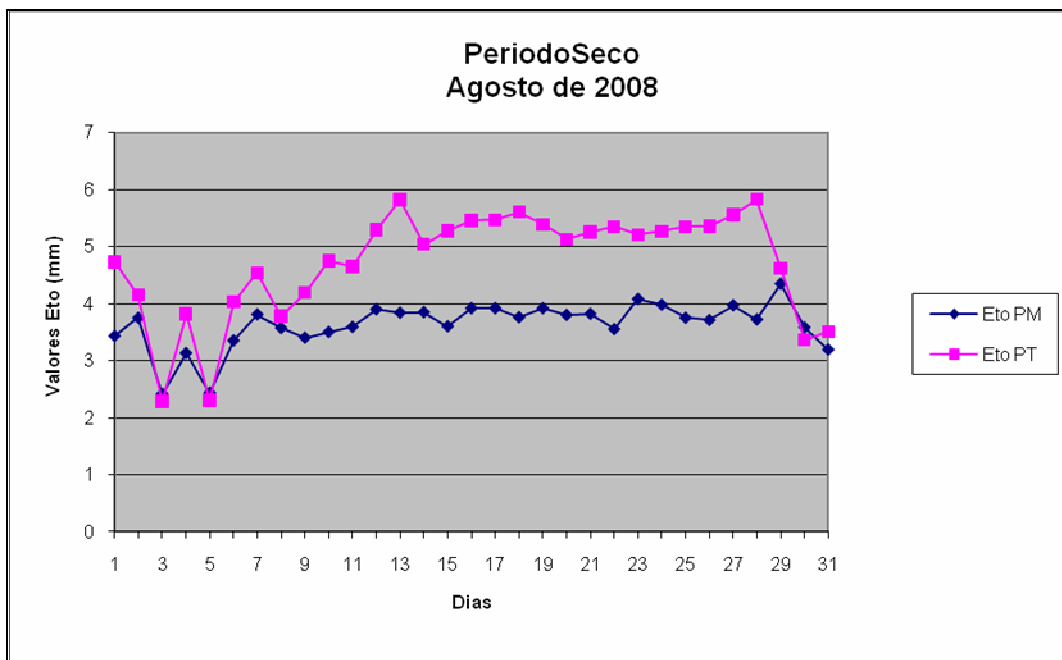


Figura 3.21: Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Agosto de 2008 e Setembro de 2008 (Período Seco).



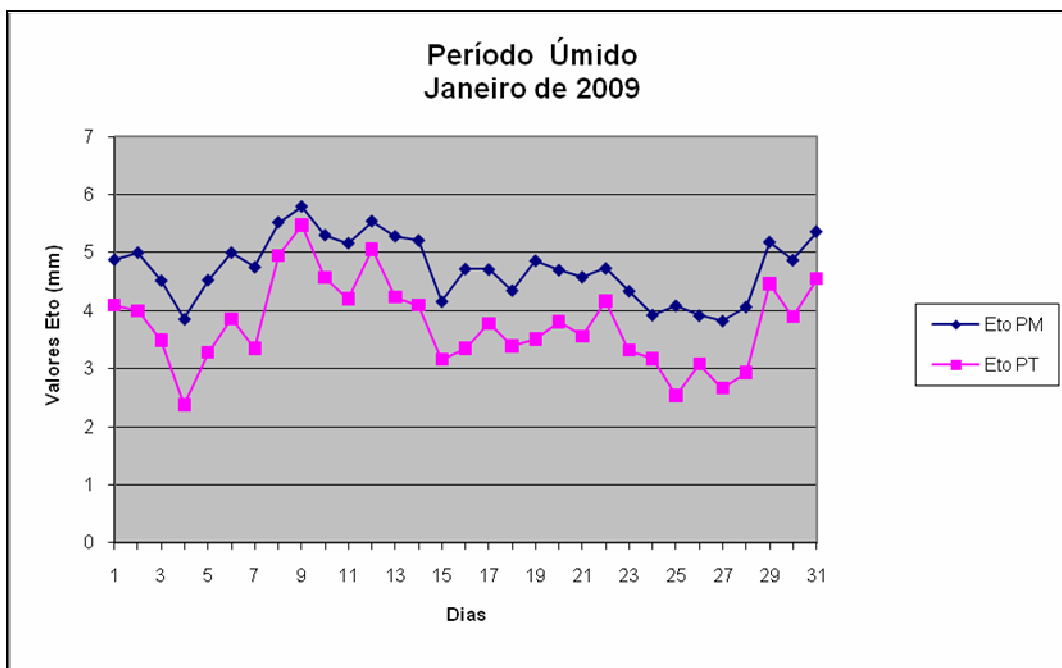
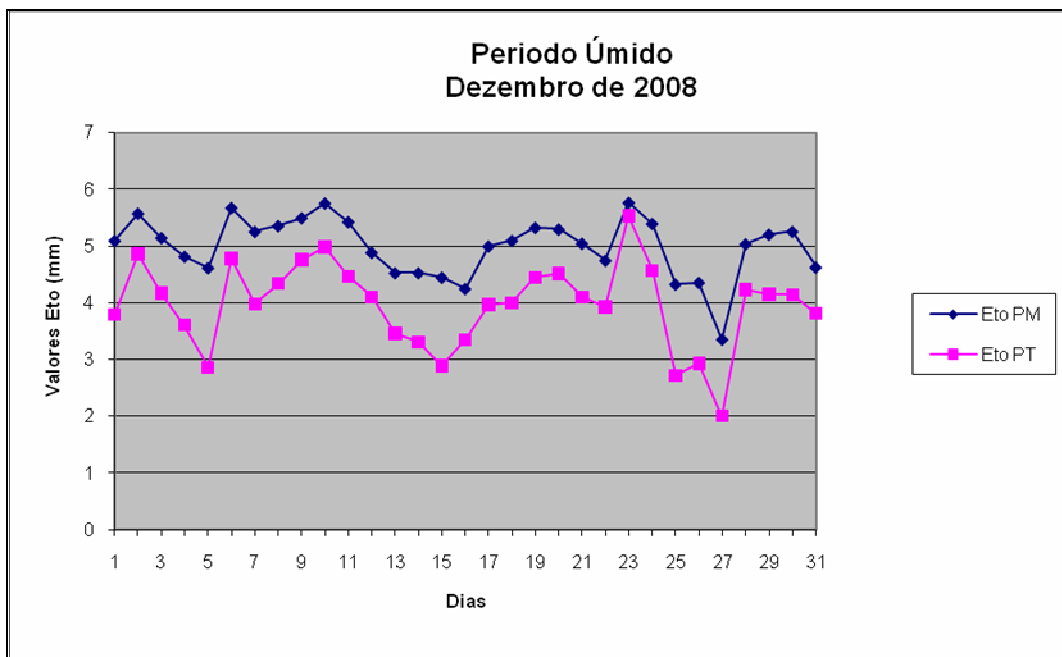


Figura 3.22: Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Dezembro de 2008 e Janeiro de 2009 (Período Úmido).

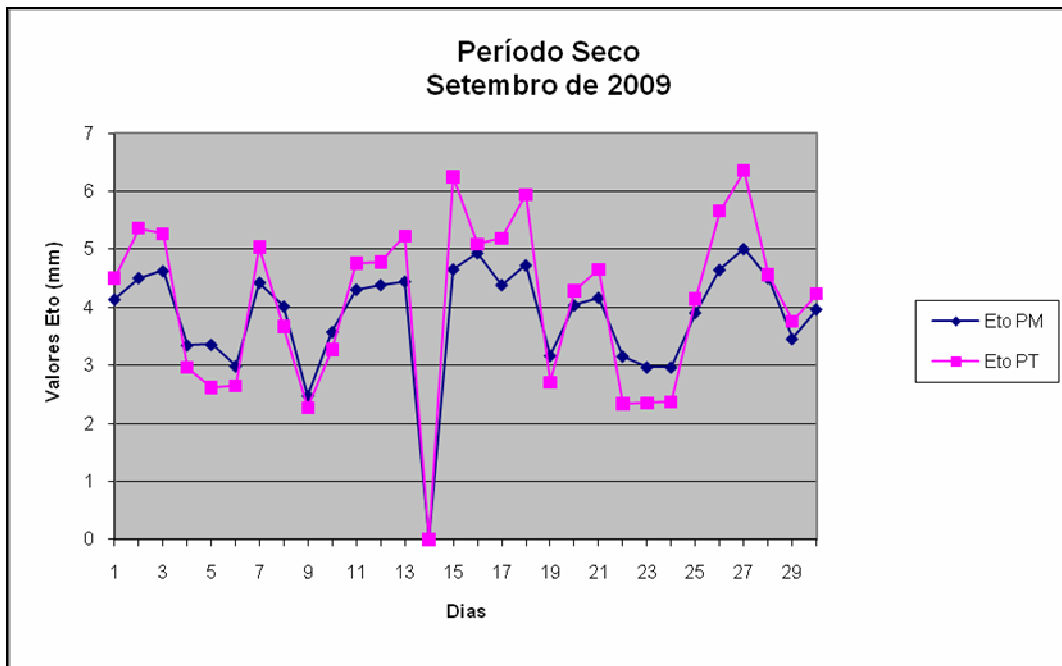
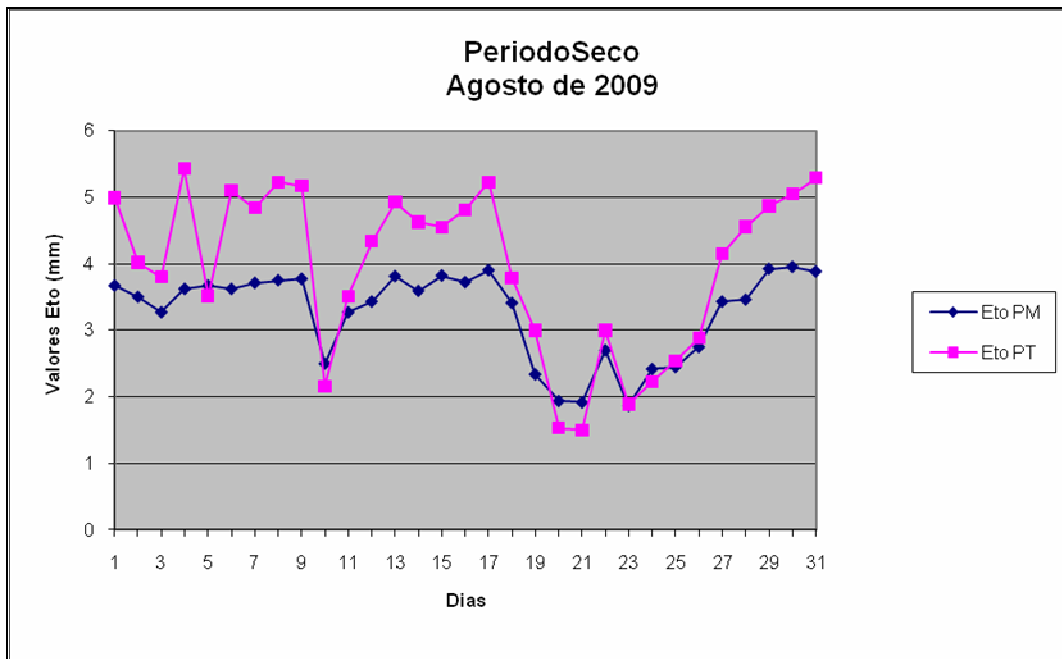


Figura 3.23: Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Agosto de 2008 e Setembro de 2008 (Período Seco).

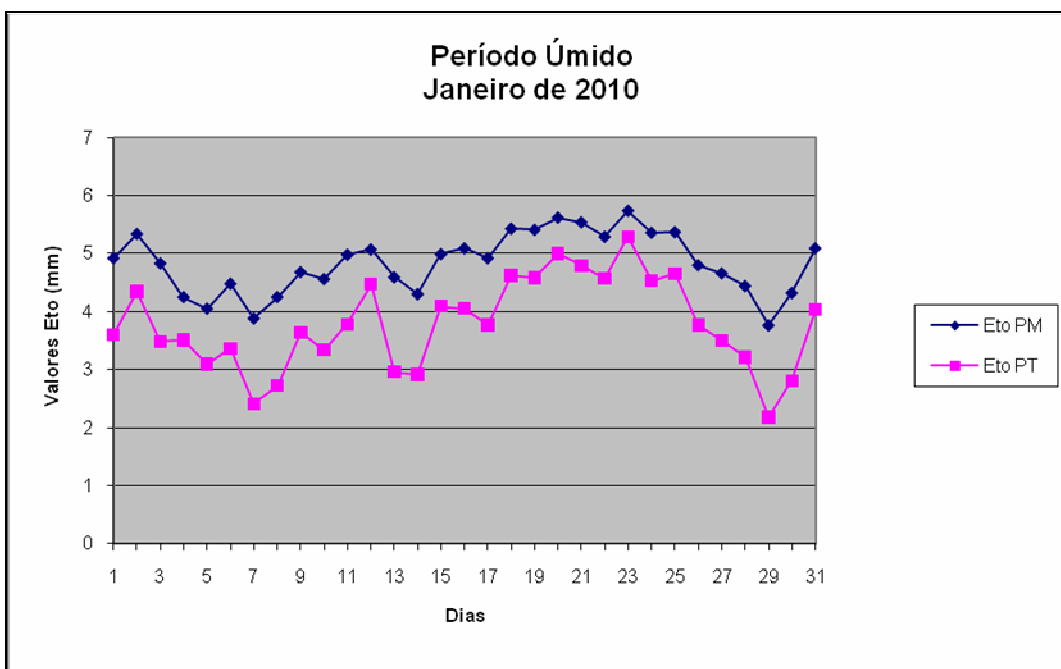
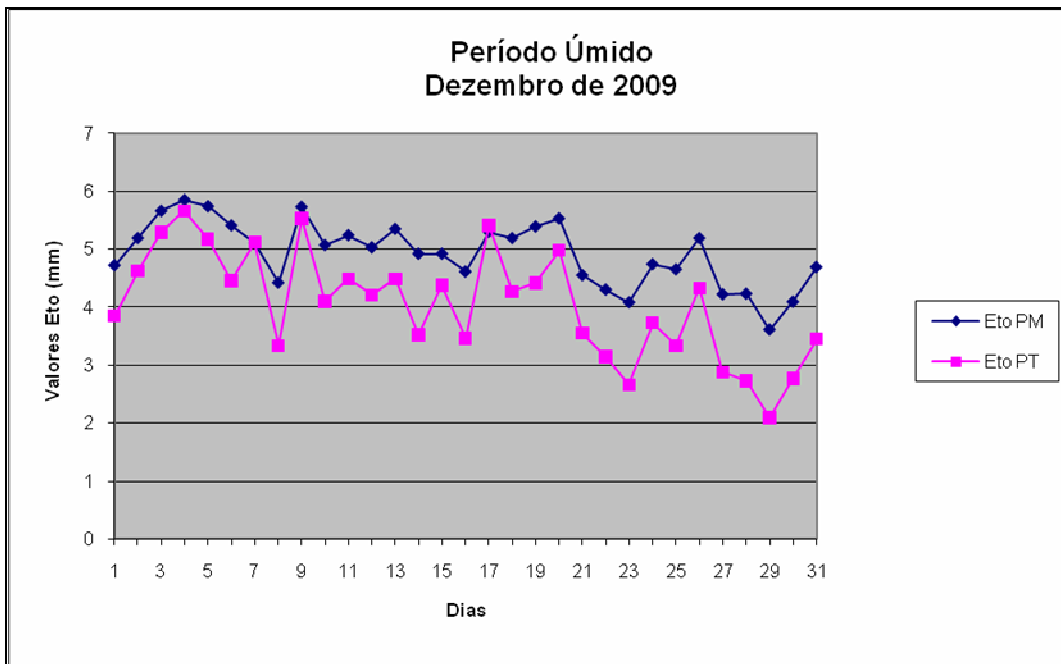


Figura 3.24: Gráfico de Comparação da Evapotranspiração de Referência Diária estimada pelos métodos de Priestley e Taylor e Perman Monteith para cidade de Barretos (SP) durante o mês Dezembro de 2009 e Janeiro de 2010 (Período Úmido).

#### 4. CONCLUSÃO

A evapotranspiração de referência diária foi estimada a partir do método de Priestley-Taylor, conforme metodologia proposta por Sentelhas et al. (2002), com dados das estações meteorológicas e agrometeorológicas durante o período de 2002 até o presente. Para o período úmido (outubro a março), o valor de  $\alpha$  foi de 0,97 e de 1,32 para o período seco (abril a setembro). As informações requeridas no cálculo da evapotranspiração foram obtidas das plataformas de coleta de dados (PCD's) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Os resultados foram validados com dados medidos obtidos no sítio experimental da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), durante o ano de 1996, apresentando coeficiente de correlação igual a 0,81. No entanto devido à ausência de dados medidos, os resultados também foram comparados com o método de Penman-Monteith, cujo método é considerado padrão. Finalmente observou-se que o método de Priestley-Taylor apresentou alta correlação com o método Penman-Monteith, principalmente para o período úmido (coeficiente acima de 0,9). Resultado similar ao encontrados com os valores medidos "in situ". Assim, considerando essa alta correlação, os dados diários da evapotranspiração (estimados para os métodos de Penman-Monteith e Priestley-Taylor) serão disponibilizados no site da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do CPTEC/INPE para acesso aos usuários no seguinte link (<http://satelite.cptec.inpe.br>), os quais servirão de subsídios principalmente para fins agrícolas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome, Italy: FAO Irrigation and Drainage Paper, n. 56, 1998. 300p

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

PRIESTLEY, C.H.B., TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. Monthly Weather Rev., Washington, v. 100, p. 81-92, 1972.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. Plant physiology. 4.ed. California: Wadsworth Publishing Company, 1992. 682p.

SENTELHAS P. C, PEREIRA A R, FOLEGATTI M V, PEREIRA, F A C., VILLA NOVA, N. A. e MAGGIOTTO, S. R. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 49-53, 2000.

SENTELHAS P. C. Estimativa diária da Evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica e convencional. Tese de Doutorado. ESALQ:USP, 1998. 112p.