



**III Workshop Internacional de Inovações  
Tecnológicas na Irrigação**

**&**

**II Conferência sobre Recursos  
Hídricos do Semiárido Brasileiro**

**8 a 11 de junho de 2010  
Fortaleza - Ceará - Brasil**

# **EQUAÇÕES EMPÍRICAS PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA PARA PARNAÍBA E SANTA ROSA DO PIAUÍ<sup>1</sup>**

**Aderson Soares de Andrade Júnior<sup>2</sup>; Michel Alves Barros<sup>3</sup>; Francisco Edinaldo  
Pinto Mousinho<sup>4</sup>; Edson Alves Bastos<sup>5</sup>; Darlan Leão Braga<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Parte do Trabalho de Conclusão do Curso de Agronomia - UFPI do segundo autor.

<sup>2</sup> Pesquisador, Embrapa Meio-Norte, Caixa Postal 01, CEP 64006-220, Teresina, PI. Fone (86) 3089-9160.  
E-mail: aderson@cpamn.embrapa.br.

<sup>3</sup> Estudante de Pós-Graduação em Agronomia, CCA - UFPI, Teresina, PI.

<sup>4</sup> Professor, CCA - UFPI, Teresina, PI.

<sup>5</sup> Pesquisador, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI.

<sup>6</sup> Estudante de Graduação em Agronomia, CCA - UFPI, Teresina, PI.

**RESUMO:** A estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é importante para o manejo da água e para o dimensionamento dos sistemas de irrigação, sendo necessário estudos, ajustes e avaliações para a sua plena utilização. O objetivo deste trabalho foi o de desenvolver equações empíricas para estimativa de ET<sub>o</sub>, a partir de dados diários oriundos de estações agrometeorológicas automáticas, por meio da técnica de análise de regressão linear múltipla para estimar a ET<sub>o</sub> em Parnaíba e Santa Rosa do Piauí, PI. Os elevados coeficientes de determinação e os reduzidos erros padrão de estimativa indicam que as equações empíricas propostas podem ser aplicadas para a estimativa da ET<sub>o</sub> diária nos dois locais estudados.



---

**Palavra-chave:** manejo de irrigação, evapotranspiração, estação automática.

## EMPIRICAL EQUATIONS FOR ESTIMATING THE DAILY REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION FOR PARNAÍBA AND SANTA ROSA DO PIAUÍ

**ABSTRACT:** The estimation of reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) is important to water management and for the irrigation design systems, requiring studies, assessments and adjustments to its full use. This study aimed to develop empirical equations to estimate ET<sub>o</sub> in Parnaíba and Santa Rosa do Piauí, PI, Brazil, from daily data derived from automatic weather stations, using the technique of multiple linear regression analysis. The high coefficients of determination and low standard errors of estimate indicate that the empirical equations may be implemented for the estimation of daily ET<sub>o</sub> in both districts.

**Keywords:** irrigation management, evapotranspiration, automatic weather station.

### INTRODUÇÃO

A estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é importante para o manejo da água e para o dimensionamento dos sistemas de irrigação, sendo necessário estudos, ajustes e avaliações para a sua plena utilização. A disponibilidade de dados meteorológicos e a escala de tempo em que se deseja realizar o estudo são aspectos determinantes para a escolha do método mais adequado para a sua estimativa.

Vários métodos de estimativas de ET<sub>o</sub> vêm sendo desenvolvidos e testados, variando desde os métodos mais simples, que requerem apenas dados de temperaturas mensais, até métodos mais complexos, baseados em modelos físicos que exigem uma série de dados de entrada, como os modelos de Penman e suas modificações (Hatfield & Allen, 1996).

Dadas as dificuldades instrumentais normalmente envolvidas nas determinações direta e indireta da evapotranspiração em condições naturais, os métodos empíricos que utilizam dados climáticos têm sido empregados em condições agrônomicas e climáticas diferentes daquelas onde tais modelos foram originalmente desenvolvidos (Rocha & Loureiro, 2000). Vários desses métodos têm aplicação quase universal, sendo que, alguns métodos desenvolvidos e calibrados localmente produzem melhores resultados do que aqueles mais genéricos e fisicamente mais reais (Pereira et al., 1997).



Os métodos empíricos são resultantes de correlações entre a evapotranspiração medida em condições padronizadas e os elementos meteorológicos medidos em postos padrões (Pereira et al., 1997). Bonomo (1999) relata que, em condições de manejo de irrigação e em locais distantes de estações meteorológicas completas, a utilização de métodos simplificados, baseados em tanques de evaporação ou temperatura do ar, justifica-se em virtude de sua utilização e interpretação dos resultados e o custo relativamente baixo, quando comparados a outras possibilidades.

Para Parnaíba e Teresina, PI, Andrade Júnior et al. (2003) propuseram um método empírico para a estimativa da ETo na escala diária, fundamentado na utilização de elementos meteorológicos de simples medição e habitualmente coletados na maioria das estações meteorológicas convencionais (temperatura média do ar e umidade relativa média do ar).

Dessa forma, com base no método de estimativa de ETo diária proposto por Andrade Júnior et al. (2003), o presente trabalho teve por objetivo, desenvolver equações empíricas para estimativa de ETo, a partir de dados diários oriundos de estações agrometeorológicas automáticas, através da técnica de regressão linear múltipla para estimar a evapotranspiração de referência em Parnaíba e Santa Rosa do Piauí, PI.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

As equações empíricas para estimativa da ETo, para os dois locais, foram obtidas com base no procedimento proposto por Andrade Júnior et al. (2003), usando a análise de regressão linear múltipla, envolvendo as variáveis meteorológicas: temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR), déficit de saturação ("s) e a ETo estimada pelo método de Penman-Monteith ajustado pela FAO (Allen et al., 1998).

Os dados diários de temperatura do ar e umidade relativa do ar foram obtidos de duas estações agrometeorológicas automáticas da marca Metos, modelo Metos Compact C907-C, localizada no Distrito de Irrigação Tabuleiros Litorâneos do Piauí (S 03°00'33,4"; W 41°47' 21,5" e 55 m de altitude), em Parnaíba, PI, e Campo Experimental da Embrapa Meio-Norte / CODEVASF (S 06°50'54,9"; W 42°13'02,5" e 187 m de altitude), em Santa Rosa do Piauí, PI.

A estação é composta por um datalogger (512 Kb) para armazenamento de dados e os sensores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar global, velocidade e direção do vento e chuva. O intervalo de armazenamento de dados é de 12 em 12 minutos para cada variável climática,

totalizando 120 registros diários para cada sensor. O trabalho foi desenvolvido com dados coletados nos períodos entre 2005 a 2008. Os dados foram divididos em três períodos distintos: período seco, período chuvoso e anual. Estabeleceu-se como período seco, o período compreendido pelos meses de junho a novembro e o período chuvoso entre os meses de dezembro a maio (Tabela 1).

**Tabela 1.** Períodos selecionados com seus respectivos anos, meses e dias com disponibilidade de dados para as localidades estudadas.

<b>Estações</b>	<b>Período</b>	<b>Anos</b>	<b>Nº de Meses</b>	<b>Dias com dados disponíveis</b>
DITALPI	Seco	2005 a 2008	24	732
	Chuvoso	2005 a 2008	21	638
	Anual	2005 a 2008	45	1370
S. Rosa do Piauí	Seco	2005 a 2008	22	671
	Chuvoso	2005 a 2008	19	578
	Anual	2005 a 2008	41	1249

Essa estratégia objetivou avaliar possíveis diferenças nas equações de estimativa da ETo em função da época do ano. Para a realização da análise de regressão linear múltipla usou-se o Microsoft Excel 2003. Adotou-se que o termo independente das equações fosse igual a zero ( $a = 0$ ). Isso é explicado porque há uma tendência da ETo estimada aproximar de zero quanto menor for a colaboração do termo T e maior do termo UR (Andrade Júnior et al., 2003).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

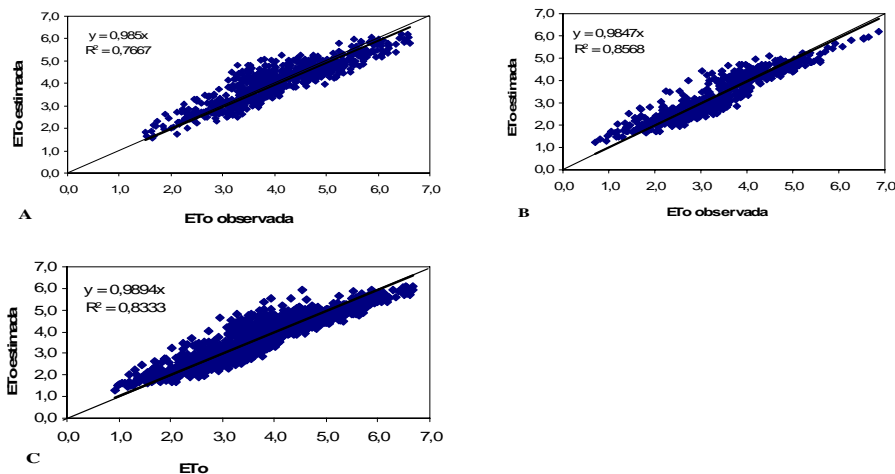
A Tabela 2 apresenta as equações de regressão, os coeficientes de correlação de Pearson ( $R^2$ ) e o erro padrão da estimativa da ETo para as estações selecionadas nos períodos seco, chuvoso e anual para as estações utilizadas no estudo. O coeficiente de correlação de Pearson ( $R^2$ ) apresentou valores superiores a 0,70, para todos os períodos avaliados, excetuando-se o encontrado para a estação de Santa Rosa do Piauí, no período seco ( $R^2 = 0,53$ ). A estação DITALPI foi a que apresentou os maiores valores de  $R^2$  para os três períodos avaliados sendo estes superiores a 0,80, provavelmente, por causa do maior número de registros diários usados na análise de regressão. Esse comportamento se assemelha aos obtidos por Andrade Júnior et al. (2003). Os sinais dos coeficientes da T (+) e da UR (-) possuem coerência em termos de significado físico, já que a ETo diária aumenta com o acréscimo da T e redução da UR. A utilização dos dados anuais proporcionou equações de regressão com maiores coeficientes de determinação quando comparados às regressões feitas utilizando-se separadamente os valores de acordo com a época do ano (seca ou chuvosa).

**Tabela 2.** Equações de regressão e coeficiente de correlação de Pearson ( $R^2$ ) para os locais selecionados nos períodos seco, chuvoso e anual.

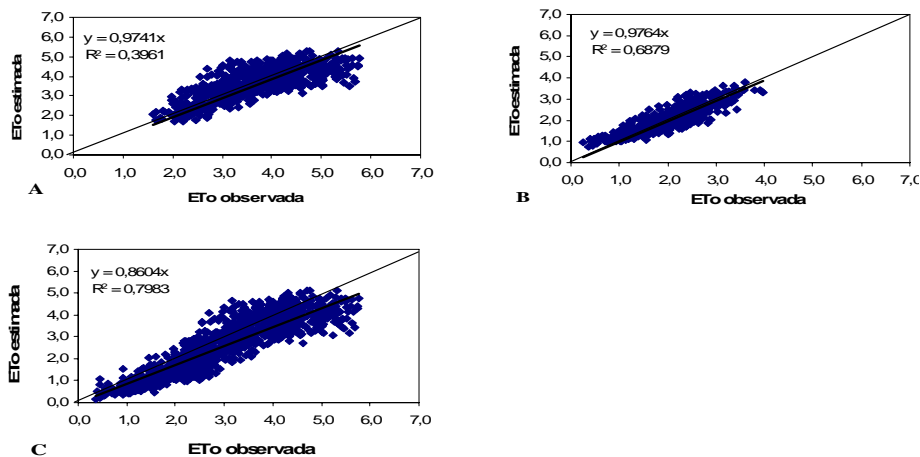
Estações	Período	Equações	$R^2$	Erro padrão (mm)
DITALPI	Seco	$ET_o = 0,06588 T - 0,00513 UR + 3,12144 \Delta s$	0,81	0,439
	Chuvoso	$ET_o = 0,19001 T - 0,03305 UR + 1,69351 \Delta s$	0,87	0,381
	Anual	$ET_o = 0,16102 T - 0,02644 UR + 2,02448 \Delta s$	0,85	0,421
S. Rosa do Piauí	Seco	$ET_o = 0,10440 T - 0,00972 UR + 0,54146 \Delta s$	0,53	0,639
	Chuvoso	$ET_o = 0,19495 T - 0,03692 UR - 0,21906 \Delta s$	0,74	0,338
	Anual	$ET_o = 0,14471 T - 0,02472 UR + 0,30983 \Delta s$	0,79	0,547

T – temperatura do ar média diária ( $^{\circ}C$ ); UR – umidade relativa do ar média diária (%) e  $\Delta s$  – déficit de saturação de vapor de água na atmosfera (kPa).

As Figuras 1 e 2 mostram a relação entre os dados diários de  $ET_o$  estimados pelo método de Penman-Monteith e pelos métodos propostos, para os municípios de Paranaíba e Santa Rosa do Piauí, respectivamente. Houve uma ligeira tendência das equações empíricas propostas subestimarem os valores de  $ET_o$  em relação a Penman - Monteith. Porém, sem qualquer consequência significativa de cunho prático, em termos de manejo de irrigação, uma vez que os erros padrões de estimativa não foram superiores a  $0,65 \text{ mm dia}^{-1}$ .



**Figura 1.** Relação entre a  $ET_o$  diária estimada pelo método de Penman-Monteith ( $ET_o$ -PM) e pelas equações empíricas propostas, para o município de Paranaíba, PI. (A) seco, (B) chuvoso e (C) anual.



**Figura 2.** Relação entre a ETo diária estimada pelo método de Penman-Monteith (ETo-PM) e pelas equações empíricas propostas, para o município de Santa Rosa do Piauí, PI. (A) seco, (B) chuvoso e (C) anual.

É importante enfatizar que não foi possível a validação das equações empíricas, haja vista a reduzida série de dados disponíveis, a qual foi utilizada para a geração das equações. Contudo, como as estações permanecem em operação, posteriormente, será efetuado a validação dessas equações com uma série de dados maior e distinta da usada na geração.

## CONCLUSÕES

(i) Os elevados coeficientes de determinação e os reduzidos erros padrão de estimativa indicam que as equações empíricas propostas podem ser aplicadas para a estimativa da ETo diária nos dois locais estudados;

(ii) As equações empíricas propostas para o período anual apresentaram maiores coeficientes de determinação quando comparados com as equações geradas para cada época do ano.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop e evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300 p (Irrigation and Drainage Paper, 56).



---

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BASTOS, E.A.; SENTELHAS, P. C.; SILVA, A.A.G. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para Parnaíba e Teresina, Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 63-68, 2003.

BONOMO, R. **Análise de irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais**. 1999. 224 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa.

HATIFIELD, J.; ALLEN, R. G. Evapotranspiration estimates under deficient water supplies. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.122, n.5, p.301-308, set/out, 1996.

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

ROCHA, J. P.; LOUREIRO, R. S. Variabilidade média mensal de variáveis meteorológicas em Caxiuanã. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2000, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: SBMET, 2000. CD-ROM.

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