



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO  
MUNICÍPIO DE CAPIM - PB**

**EDNALDO ARAÚJO MENDONÇA**

Campina Grande – PB  
2008

**EDNALDO ARAÚJO MENDONÇA**

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO  
MUNICÍPIO DE CAPIM - PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande como requisito para a obtenção do Grau de Mestre.

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO**

AGROMETEOROLOGIA E MICROMETEOROLOGIA

**SUB-ÁREA**

CLIMATOLOGIA AGRÍCOLA

**ORIENTADOR**

PROF. DR. RENILSON TARGINO DANTAS

Campina Grande – PB  
2008

UFCG - BIBLIOTECA - CAMPUS I	
2795	25-09-08

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

M539e

2008 Mendonça, Ednaldo Araújo.

Estimativa da evapotranspiração de referência no município de Capim  
PB / Ednaldo Araújo Mendonça. — Campina Grande, 2008.

114f. : il. Color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de  
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientador: Prof. Dr. Renilson Targino Dantas.

1. Evapotranspiração. 2. Agricultura. 3. Tanque Classe A. I. Título.

CDU – 551.57(043)

EDNALDO ARAÚJO MENDONÇA

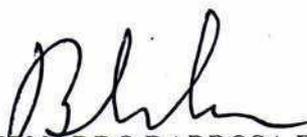
ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO MUNICÍPIO DE  
CAPIM – PB

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 07/7/2008

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. RENILSON TARGINO DANTAS  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. CARLOS HENRIQUE DE AZEVEDO FARIAS  
União Agrícola Ltda.  
Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, Paraíba

Dedico à minha esposa Jeanne Ligia Barbosa Mendonça e meus filhos, Morganna Ellen Barbosa Mendonça e Victor Felipe Barbosa Mendonça, pela participação, estímulo, renúncia e amor, pois foram esses detalhes, acrescido das forças provindas de Deus, que permitiram a concretização desse momento.

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, por me guiar e iluminar, permitindo a consolidação de mais uma fase da minha vida.

A minha esposa e meus filhos que confiaram totalmente em minha pessoa, que se dedicaram, estando-os sempre presentes, ajudando-me nas dificuldades e vibrando com cada vitória alcançada.

Ao Prof. Dr. Renilson Targino Dantas, que desde o ingressar até a conclusão desse curso me orientou e incentivou.

Ao Dr. Carlos Henrique de Azevedo Farias pela grande contribuição no andamento da pesquisa.

A Destilaria Miriri S.A. por toda assistência voltada para o bom desenvolvimento desse trabalho.

A coordenação do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande pelo empenho, buscando sempre o engrandecimento do nosso curso.

Ao corpo docente do Curso, por compartilharem comigo importante parcela dos seus conhecimentos.

Ao corpo discente de Pós-Graduação, pelos momentos e expectativas compartilhadas durante as aulas.

A secretária Divanete Cruz Rocha, pela paciência, amizade e orientação no processamento burocrático, mas essencial desse trabalho.

Enfim, a todas as pessoas que participaram de forma direta ou indireta da concretização desse estudo.

"Se tens que lidar com água, consulta  
primeiro a experiência,  
depois a razão"

Leonardo da Vinci

## RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de estimar a evapotranspiração de referência diária para o município de Capim - PB utilizando os métodos empíricos de Penman, Penman-Monteith, Hargreaves e Samani, Linacre, Priestley-Taylor e Radiação. Sendo posteriormente correlacionados, por estação do ano, com a estimativa da evapotranspiração de referência do método do tanque Classe A, usado na Destilaria Miriri e o de Penman-Monteith, sugerido pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. Para isso foram coletados valores diários da temperatura do ar, umidade relativa do ar, irradiação solar, pressão atmosférica e velocidade do vento da estação meteorológica automática, modelo 555ES, instalada em propriedade da empresa citada anteriormente na Fazenda Capim II, no período de 01 de outubro de 2005 a 31 de março de 2008, os quais foram registrados em intervalo de 3 horas. Foi verificado que as correlações das estimativas referenciadas nesta pesquisa com a do tanque Classe A não tiveram bons ajustes, cujos coeficientes de correlação obtiveram baixos valores. Por sua vez, as correlações obtidas com o método de Penman-Monteith, destacaram-se as com os métodos de Penman, Radiação e Priestley-Taylor cujos coeficientes foram superiores a 0,70, de modo que, neste caso, sugere-se o uso da equação do método de Radiação para estimar a evapotranspiração de referência na Destilaria Miriri S.A., por depender dentre as três e até mesmo a de Penman-Monteith, a que necessita de menor quantidade de dados meteorológicos.

## **ABSTRACT**

This study aimed to estimate the daily evapotranspiration of reference for the city of Capim-PB using the methods of empirical Penman, Penman-Monteith, Hargreaves and Samani, Linacre, Priestley-Taylor and Radiation. These methods were then correlated, according to each season, with the estimate of evapotranspiration reference of Class A tank method, used in Miriri Distillery and the Penman-Monteith, suggested by the United Nations Food and Agriculture Organization. For that were collected daily values of air temperature, relative humidity, solar radiation, atmospheric pressure and wind speed of automatic weather stations, 555ES model, installed in the company's property previously mentioned in Capim II Farm, during the period from October 1<sup>st</sup>, 2005 to March 31<sup>st</sup>, 2008, which were recorded at intervals of 3 hours. Was found that the correlations of estimates referenced in this research with the Class A tank did not have good adjustments, besides obtaining low values of coefficients of correlation. In turn, the correlations made with the Penman-Monteith method were highlighted with the methods of Penman, Radiation and Priestley-Taylor whose coefficient more than 0.70, so that, in this case, it is suggested the use of the Radiation method equation to estimate evapotranspiration of reference in Distillery Miriri S.A., due to its dependence among the three, and even that of Penman- Monteith, which requires the least amount of meteorological data.

---

## SUMÁRIO

	<b>pág.</b>
RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	xii
LISTA DE QUADROS .....	xiv
LISTA DE TABELAS .....	xv
LISTA DE EQUAÇÕES .....	xvii
SIGLAS .....	xix
NOMENCLATURAS CIENTÍFICAS .....	xx
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>23</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>26</b>
2.1. Objetivo geral .....	26
2.2. Objetivos específicos .....	26
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>27</b>
3.1. Aspectos climáticos, geográficos e econômicos da região .....	27
3.1.1. Topografia .....	27
3.1.2. Hidrografia .....	28
3.1.2.1. Bacia hidrográfica do rio Mamanguape .....	29
3.1.2.2. Bacia hidrográfica do rio Miriri .....	30
3.1.3. Economia .....	31
3.1.4. Climatologia .....	31
3.1.5. Vegetação, relevo e solo .....	32
3.2. Efeitos da precipitação pluvial na agricultura .....	33
3.3. Efeitos da temperatura do ar na agricultura .....	36
3.4. Efeitos da irradiação solar na agricultura .....	38
3.5. Efeitos da umidade relativa do ar na agricultura .....	42
3.6. Efeitos do vento na agricultura .....	44
3.7. Evapotranspiração .....	46
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>54</b>
4.1. Dados .....	54
4.2. Estação meteorológica .....	55
4.3. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> ) .....	59

4.3.1. Método de Penman (EToP).....	59
4.3.2. Método de Penman – Monteith (EToPM) .....	63
4.3.2.1. Demonstrativo do método.....	63
4.3.2.2. Estimativa através do método de Penman – Monteith (EToPM).....	68
4.3.3. Método de Hargreaves e Samani (EToHS).....	68
4.3.4. Método de Linacre (EToL) .....	69
4.3.5. Método de Priestley – Taylor (EToPT) .....	70
4.3.6. Método de Radiação (EToR) .....	71
4.3.7. Método do tanque Classe A (EToA).....	71
4.4. Método Estatístico.....	72
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>74</b>
5.1. Primavera de 2005 .....	74
5.1.1. Evapotranspiração de referência na primavera de 2005 .....	74
5.1.2. Correlações dos métodos estimados na primavera de 2005.....	75
5.2. Verão de 2006 .....	76
5.2.1. Evapotranspiração de referência no verão de 2006 .....	76
5.2.2. Correlações dos métodos estimados no verão de 2006.....	78
5.3. Outono de 2006.....	79
5.3.1. Evapotranspiração de referência no outono de 2006 .....	79
5.3.2. Correlações dos métodos estimados no outono de 2006 .....	80
5.4. Inverno de 2006 .....	81
5.4.1. Evapotranspiração de referência no inverno de 2006 .....	81
5.4.2. Correlações dos métodos estimados no inverno de 2006 .....	83
5.5. Primavera de 2006 .....	84
5.5.1. Evapotranspiração de referência na primavera de 2006 .....	84
5.5.2. Correlações dos métodos estimados na primavera de 2006.....	85
5.6. Verão de 2007 .....	86
5.6.1. Evapotranspiração de referência no verão de 2007 .....	86
5.6.2. Correlações dos métodos estimados no verão de 2007.....	87
5.7. Outono de 2007 .....	89
5.7.1. Evapotranspiração de referência no outono de 2007 .....	89
5.7.2. Correlações dos métodos estimados no outono de 2007 .....	90
5.8. Inverno de 2007 .....	91
5.8.1. Evapotranspiração de referência no inverno de 2007 .....	91

5.8.2. Correlações dos métodos estimados no inverno de 2007 .....	92
5.9. Primavera de 2007 .....	93
5.9.1. Evapotranspiração de referência na primavera de 2007 .....	93
5.9.2. Correlações dos métodos estimados na primavera de 2007.....	94
5.10. Verão de 2008 .....	96
5.10.1. Evapotranspiração de referência no verão de 2008 .....	96
5.10.2. Correlações dos métodos estimados no verão de 2008.....	97
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>99</b>
<b>7. SUGESTÕES.....</b>	<b>99</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>100</b>

---

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág</b>
Figura 01 – Zona da Mata Norte – PB .....	27
Figura 02 – Representações geográficas da bacia hidrográfica do rio Mamanguape.....	29
Figura 03 – Representações geográficas da bacia hidrográfica do rio Miriri .....	30
Figura 04 – Zona canavieira do Estado da Paraíba.....	31
Figura 05 – Mapa de reconhecimento de solo do município de Capim – PB.....	32
Figura 06 – Esquema representando a evapotranspiração .....	46
Figura 07 – Esquema representando a evapotranspiração de referência .....	48
Figura 08 – Esquema representando a evapotranspiração da cultura .....	48
Figura 09 – Sensor ultra-sônico da PCD instalada no município de Capim – PB.....	55
Figura 10 – Sensores de temperatura e umidade relativa do ar da PCD instalada no município de Capim – PB.....	56
Figura 11 – Sensor de radiação solar global da PCD instalada no município de Capim – PB.....	57
Figura 12 – Estrutura da PCD onde é colocado o sensor de pressão atmosférica. ....	58
Figura 13 – Evapotranspiração de referência (ETo) na primavera de 2005 no município de Capim-PB.....	74
Figura 14 – Evapotranspiração de referência (ETo) no verão de 2006 no município de Capim-PB.....	77
Figura 15 – Evapotranspiração de referência (ETo) no outono de 2006 no município de Capim-PB.....	79
Figura 16 – Evapotranspiração de referência (ETo) no inverno de 2006 no município de Capim-PB.....	82
Figura 17 – Evapotranspiração de referência (ETo) na primavera de 2006 no município de Capim-PB.....	84
Figura 18 – Evapotranspiração de referência (ETo) no verão de 2007 no município de Capim-PB.....	87
Figura 19 – Evapotranspiração de referência (ETo) no outono de 2007 no município de Capim-PB.....	89
Figura 20 – Evapotranspiração de referência (ETo) no inverno de 2007 no município de Capim-PB.....	91

Figura 21 – Evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> ) na primavera de 2007 no município de Capim-PB.....	94
Figura 22 – Evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> ) no verão de 2008 no município de Capim-PB.....	96

---

## LISTA DE QUADROS

	<b>pág.</b>
Quadro 01 – Demonstrativo dos cursos e acumulações d'água do município de Capim – PB.....	28
Quadro 02 – Faixas do espectro solar e efeitos sobre as plantas .....	41
Quadro 03 – Relação entre valores dos coeficientes e suas correlações.....	72

---

## LISTA DE TABELAS

pág.

Tabela 01 – Variáveis independentes com a variável EToA na primavera de 2005 no município de Capim-PB.....	75
Tabela 02 – Variáveis independentes com a variável EToPM na primavera de 2005 no município de Capim-PB.....	76
Tabela 03 – Variáveis independentes com a variável EToA no verão de 2006 no município de Capim-PB.....	78
Tabela 04 – Variáveis independentes com a variável EToPM no verão de 2006 no município de Capim-PB.....	78
Tabela 05 – Variáveis independentes com a variável EToA no outono de 2006 no município de Capim-PB.....	80
Tabela 06 – Variáveis independentes com a variável EToPM no outono de 2006 no município de Capim-PB.....	81
Tabela 07 – Variáveis independentes com a variável EToA no inverno de 2006 no município de Capim-PB.....	83
Tabela 08 – Variáveis independentes com a variável EToPM no inverno de 2006 no município de Capim-PB.....	83
Tabela 09 – Variáveis independentes com a variável EToA na primavera de 2006 no município de Capim-PB.....	85
Tabela 10 – Variáveis independentes com a variável EToPM na primavera de 2006 no município de Capim-PB.....	86
Tabela 11 – Variáveis independentes com a variável EToA no verão de 2007 no município de Capim-PB.....	88
Tabela 12 – Variáveis independentes com a variável EToPM no verão de 2007 no município de Capim-PB.....	88
Tabela 13 – Variáveis independentes com a variável EToA no outono de 2007 no município de Capim-PB.....	90
Tabela 14 – Variáveis independentes com a variável EToPM no outono de 2007 no município de Capim-PB.....	91
Tabela 15 – Variáveis independentes com a variável EToA no inverno de 2007 no município de Capim-PB.....	92

Tabela 16 – Variáveis independentes com a variável EToPM no inverno de 2007 no município de Capim-PB.....	93
Tabela 17 – Variáveis independentes com a variável EToA na primavera de 2007 no município de Capim-PB.....	95
Tabela 18 – Variáveis independentes com a variável EToPM na primavera de 2007 no município de Capim-PB.....	95
Tabela 19 – Variáveis independentes com a variável EToA no verão de 2008 no município de Capim-PB.....	97
Tabela 20 – Variáveis independentes com a variável EToPM no verão de 2008 no município de Capim-PB.....	98

---

## LISTA DE EQUAÇÕES

	pág.
Equação 01 – Evapotranspiração de referência (método de Penman) .....	59
Equação 02 – Declinação de curva de saturação do vapor .....	59
Equação 03 – Pressão de saturação do vapor.....	59
Equação 04 – Pressão de saturação do vapor – temperatura máxima e mínima.....	60
Equação 05 – Coeficiente psicrométrico .....	60
Equação 06 – Termo aerodinâmico .....	60
Equação 07 – Pressão real do vapor.....	60
Equação 08 – Função da velocidade .....	60
Equação 09 – Conversão da velocidade do vento a 10m para 2m .....	61
Equação 10 – Saldo de radiação .....	61
Equação 11 – Saldo de radiação de ondas curtas.....	61
Equação 12 – Saldo de radiação de ondas longas.....	61
Equação 13 – Radiação solar em dias sem nebulosidade .....	62
Equação 14 – Radiação no topo da atmosfera .....	62
Equação 15 – Distância relativa Terra – Sol.....	62
Equação 16 – Ângulo horário do por do sol .....	62
Equação 17 – Declinação solar .....	62
Equação 18 – Evaporação (método de Penman-Monteith) .....	63
Equação 19 – Evapotranspiração de referência (método de Penman-Monteith) .....	63
Equação 20 – Resistência superficial da vegetação .....	64
Equação 21 – Índice da área foliar ativo.....	64
Equação 22 – Índice da área foliar de uma cultura específica .....	64
Equação 23 – Resistência aerodinâmica .....	64
Equação 24 – Calor específico do ar à pressão constante.....	65
Equação 25 – Massa específica do ar.....	65
Equação 26 – Temperatura virtual .....	66
Equação 27 – Produto do calor específico e massa específica .....	66
Equação 28 – Evapotranspiração de referência (método de Hargreaves e Samani) .....	68
Equação 29 - Evapotranspiração de referência (método de Linacre) .....	69
Equação 30 – Temperatura média do ar ao nível do mar.....	69

Equação 31 – Temperatura do ponto de orvalho .....	69
Equação 32 – Evapotranspiração de referência (método de Priestley – Taylor) .....	70
Equação 33 – Calor latente de vaporização da água .....	70
Equação 34 – Evapotranspiração de referência (método de Radiação) .....	71
Equação 35 – Fator de correção do método de radiação.....	71
Equação 36 - Evapotranspiração de referência (método do tanque Classe A) .....	71
Equação 37 - Coeficiente do tanque Classe A .....	71
Equação 38 - Coeficiente de correlação de Pearson .....	72
Equação 39 – Variação da variável independente .....	73
Equação 40 – Variação da variável dependente.....	73

---

## SIGLAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

ASPLAN - Associação de Plantadores de Cana da Paraíba

CBERS – China-Brazil Earth Resources Satellite

CBH-LN – Comitê das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte - PB

CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO – Food and Agriculture Organization (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

PCD – Plataforma de Coleta de Dados

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

SCD – Satélite de Coleta de Dados

SEMARH – Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais

SEVAP – Sistema de Estimativa da Evapotranspiração

U.S.W.B. – Serviço Meteorológico Norte Americano

---

## NOMENCLATURAS CIENTÍFICAS

$z$	-	Altitude
$W_s$	-	Ângulo horário do pôr do sol
$\arccos$	-	Arco cosseno
$c_p$	-	Calor específico do ar à pressão constante
$\lambda$	-	Calor latente de vaporização da água
$r$	-	Coefficiente de correlação (Pearson)
$R^2$	-	Coefficiente de determinação
$K_c$	-	Coefficiente de cultura
$\alpha$	-	Coefficiente de reflexão ou albedo
$K_p$	-	Coefficiente do tanque Classe A
$K_t$	-	Coefficiente empírico
$y$	-	Coefficiente psicrométrico
$\sigma$	-	Constante de Stefan-Boltzman
$R$	-	Constante do gás ideal
$G_{sc}$	-	Constante solar
$\cos$	-	Cosseno
$\delta$	-	Declinação solar
$J$	-	Dia Juliano
$D_r$	-	Distância relativa Terra - Sol
$E_v$	-	Evaporação do tanque Classe A
$ET$	-	Evapotranspiração
$ET_c$	-	Evapotranspiração da cultura
$ET_{oHS}$	-	Evapotranspiração de referência (método de Hargreaves e Samani)
$ET_{oL}$	-	Evapotranspiração de referência (método de Linacre)
$ET_{oP}$	-	Evapotranspiração de referência (método de Penman)
$ET_{oPM}$	-	Evapotranspiração de referência (método de Penman-Monteith)
$ET_{oPT}$	-	Evapotranspiração de referência (método de Priestley-Taylor)
$ET_{oA}$	-	Evapotranspiração de referência (método do tanque Classe A)
$ET_o$	-	Evapotranspiração de referência

exp -	Exponencial
Fr -	Fator de correção
G -	Fluxo de calor no solo
f(U) -	Função da velocidade
$\Delta$ -	Inclinação da curva de saturação do vapor d'água
IAF <sub>ativo</sub> -	Índice de área foliar ativo
IAF -	Índice de área foliar de uma cultura específica
ITU -	Índice de temperatura-umidade
$\phi$ -	Latitude
Ln -	Logaritmo natural
$\rho_a$ -	Massa específica do ar
$\rho$ -	Nível de significância
$\pi$ -	pi
P -	Pressão atmosférica
Es -	Pressão de saturação do vapor
e(Tx) -	Pressão de saturação do vapor à temperatura máxima
e(Ti) -	Pressão de saturação do vapor à temperatura mínima
e -	Pressão real do vapor
Ra -	Radiação no topo da atmosfera
Rso -	Radiação solar em dia sem nebulosidade
Rs -	Radiação solar global
$\varepsilon$ -	Razão entre a massa molecular do vapor d'água e a massa molecular do ar seco
Ra -	Resistência aerodinâmica
Rs -	Resistência superficial da vegetação
rl -	Resistência estomática na folha bem iluminada
Rn -	Saldo de radiação
Rns -	Saldo de radiação de ondas curtas
Rnl -	Saldo de radiação de ondas longas
sen -	Seno
tan -	Tangente
T -	Temperatura do ar
Td -	Temperatura do ponto de orvalho

- $T_{nm}$  - Temperatura média do ar ao nível do mar
- $T_v$  - Temperatura virtual
- $E_a$  - Termo aerodinâmico
- $UR$  - Umidade relativa do ar
- $U_{10}$  - Velocidade do vento a 10 metros de altura
- $U_2$  - Velocidade do vento a 2 metros de altura

---

## 1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos de uma região devem ser analisados de forma muito séria por toda a sociedade, pois a água é a substância mais importante para a sobrevivência das espécies animal e vegetal. Sendo assim, a necessidade do controle das reservas hídricas é fundamental para a existência de vida no planeta. Um dos setores de maior consumo mundial de água é a agricultura, daí a preocupação, nesse setor, de se fazer cada vez mais o uso racional desse valioso líquido.

De acordo com Lemos<sup>1</sup> (2004) o crescimento populacional e a demanda de água pela agricultura e indústria, motivam o aumento do consumo global de água em cerca de 3070 km<sup>3</sup>/ano. Previam-se para o ano 2000 desperdícios de água na agricultura em cerca de 2500 km<sup>3</sup>/ano pelo uso errado de métodos na irrigação, valor que superaria o da indústria que perderia cerca de 117 km<sup>3</sup>/ano, do setor doméstico que entornaria em 64,5 km<sup>3</sup>/ano e mais ainda o dos reservatórios hídricos pela evaporação, que seria cerca de 220 km<sup>3</sup>/ano, totalizando 2901,5 km<sup>3</sup>/ano (Daher<sup>2</sup>, 2003 e Amanthea, 2004). Ou seja, se esses desperdícios pudessem ser evitados, a média economizada praticamente supriria o aumento de consumo global de água.

Na agricultura o aumento de 1% na eficiência do uso da água de irrigação isso nos países em desenvolvimento de clima semi – árido ou árido, resultaria um ganho médio considerável de água (Christofidis, 2002). Então, para se conquistar economia hídrica na agricultura é necessário obter uma irrigação mais próxima do ideal e para tanto, se necessita de estudos mais aprofundados que leve em consideração principalmente os aspectos meteorológicos da região, como também, se fazer estimativas mais confiáveis para o manejo dessa técnica, e nesse contexto a estimativa adequada da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é de grande importância.

As plantas estão diretamente ligadas ao suprimento de água do solo e terão disposição assegurada se a pressão hidráulica nas folhas estiver em seu perfeito funcionamento biológico; portanto, maior parte dessa água percorre a planta das raízes até as folhas transferindo-a para a atmosfera pelo processo de transpiração. Dessa forma, os solos vegetados perdem água para a atmosfera por duas formas principais, evaporação direta do solo e transpiração feita pelas plantas e a resultante dessa perda de água para a atmosfera compreende a evapotranspiração.

De acordo a Food and Agriculture Organization (FAO – 56), a definição da ET<sub>o</sub> está relacionada a uma superfície de cultura que se assemelha a um gramado de altura uniforme de

---

<sup>1</sup> Presidente do Instituto Brasil PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente).

<sup>2</sup> Secretário Executivo do PNUMA.

0,12m, regada, crescendo ativamente, sombreando completamente o solo, com albedo de 0,23 e resistência superficial de  $70 \text{ s.m}^{-1}$ .

Devido à importância do processo de transferência de água para a atmosfera na forma de vapor e a sua complexidade, envolvendo característica do solo, da vegetação e da atmosfera, muito esforço tem sido despendido, por pesquisadores do mundo inteiro, na compreensão e estabelecimento de métodos de estimativa desse processo (Henrique, 2006).

Os métodos de estimativa da evapotranspiração estão divididos em métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos estimam a evapotranspiração de referência diretamente por meio de lisímetros, balanço hídrico e controle de umidade no solo, sendo métodos difíceis e onerosos (Pereira et al., 1997). Para Vanzela et al. (2007), os métodos indiretos estimam em função da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e do coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>). Este método, no entanto, necessita do conhecimento das variáveis climáticas, por meio de modelos que estimam a ET<sub>o</sub>. Esses modelos podem ser simples, como os baseados na temperatura, até os mais complexos, que envolvem o balanço de energia, como o de Penman-Monteith.

Então, a estimativa adequada da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) consiste no principal parâmetro a ser considerado no dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação, uma vez que totaliza a quantidade de água utilizada nos processos de evaporação e transpiração pela cultura durante determinado período. A ET<sub>c</sub> é obtida através da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) corrigida pelo coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>), sendo este dependente do tipo e estágio de desenvolvimento da cultura (Oliveira et al., 2001).

A estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é de fundamental importância para o dimensionamento de sistemas e para o manejo da água de irrigação, o que requer a adoção de estudos, avaliações e ajustes para sua correta utilização. A escolha de um método de estimativa da ET<sub>o</sub> depende de uma série de fatores, tais como, a disponibilidade de dados meteorológicos e a escala de tempo desejada. Métodos complexos, como o de Penman – Monteith, que apesar de ser adotado pela FAO como o método padrão de estimativa da ET<sub>o</sub> na escala diária, exigem grande número de variáveis meteorológicas e, por isso, tem aplicação limitada, somente sendo utilizados quando há disponibilidade de todos os dados necessários (Andrade Junior et al., 2003).

Como alternativa, destaca-se o uso dos métodos empíricos de estimativa da ET<sub>o</sub>, os quais, por serem desenvolvidos e calibrados localmente, não podem ter aplicação universal, porém apresentam melhores resultados do que aqueles mais genéricos e fisicamente mais reais (Pereira et al., 2002).

Existem vários métodos de cálculo da  $ET_o$ , onde os mesmos variam dos mais simples aos mais complexos que necessitam de minuciosas correlações com os valores medidos; portanto, se torna notável que estimar a evapotranspiração de referência para cada região é fundamental até mesmo porque as variáveis meteorológicas apresentam dinâmicas diferentes de acordo com cada local.

No Brasil ainda é limitado o número de estações meteorológicas automáticas para uma boa cobertura do território nacional. Só a título de informação, em Israel, país que possui extensão de território semelhante à do Estado de Sergipe, existem 70 estações meteorológicas automáticas (Santana, 2003). A comunidade científica brasileira contabiliza um grande prejuízo histórico no que diz respeito a dados meteorológicos, motivo que dificulta estudos nas mais diversas áreas. Isso pôde ser comprovado na última reunião que ocorreu em Bruxelas em 2007 no Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, onde o relatório brasileiro foi considerado precário de informações, principalmente em relação à Amazônia e o Nordeste, diferentemente do Sul. Conforme os últimos levantamentos, o Brasil possui cerca de 320 estações meteorológicas oficiais onde muitas delas foram instaladas há pouco tempo (Garcia, 2007).

O município de Capim – PB, região que possui grande potencial para o cultivo da cana de açúcar. Conseqüentemente, o demonstrativo da evapotranspiração assume conceito importante. Assim sendo, esta região tem importância estratégica para o desenvolvimento da agricultura na Paraíba, daí a necessidade de se realizar trabalhos científicos neste local, dentre os quais, se destaca a estimativa da evapotranspiração de referência.

---

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

O presente estudo tem como objetivo estimar a evapotranspiração de referência diária para o município de Capim-PB.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Coletar, analisar e organizar todos os dados meteorológicos de entrada necessários para o desenvolvimento da pesquisa.
- Estimar a evapotranspiração de referência pelos métodos de Penman, Penman-Monteith, Hargreaves e Samani, Linacre, Priestley-Taylor e Radiação.
- Através de procedimentos estatísticos, verificar, quais métodos de estimativa da evapotranspiração de referência se correlacionam com o método do tanque Classe A, usado na Destilaria Miriri e o método de Penman-Monteith sugerido pela FAO.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Aspectos climáticos, geográficos e econômicos da região

##### 3.1.1. Topografia

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2005), o município de Capim – PB foi criado em 1997, dista 40 km da capital João Pessoa de onde é feito seu principal acesso pela BR 101. Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2007) a população consiste em 5207 habitantes e área territorial de 78 km<sup>2</sup>. Logo, a densidade demográfica é de aproximadamente de 67 hab/km<sup>2</sup>.

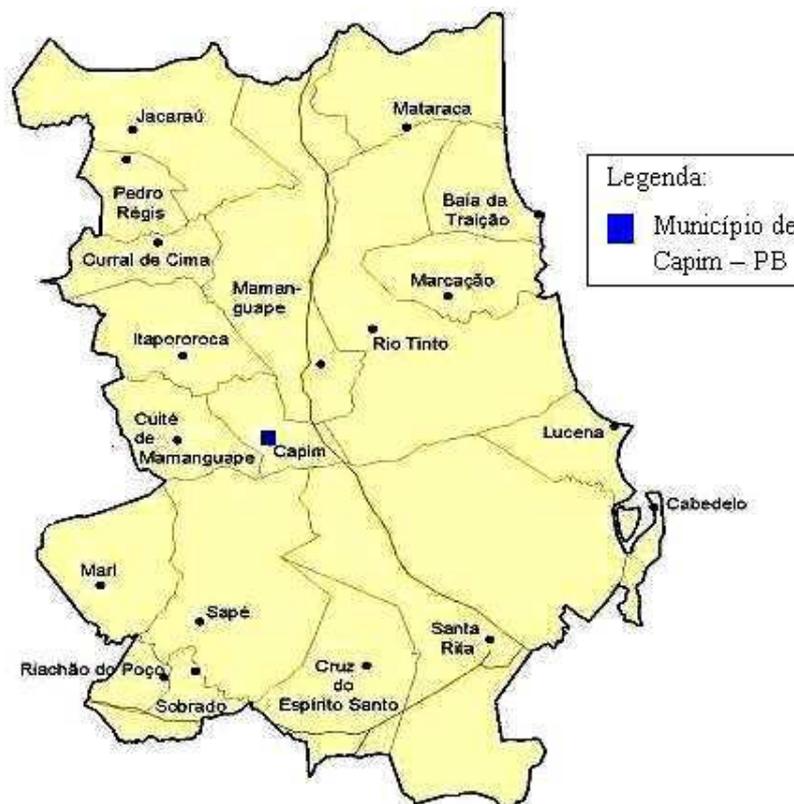


Figura 1 - Zona da Mata Norte - PB<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Figura adaptada, fonte: <http://sit.mda.gov.br/caderno.php?ac=buscar&territorio=103>

O município representa 0,1385% do Estado, 0,005% da Região Nordeste e 0,0009% de todo o território brasileiro, localizado na Microrregião do Litoral Norte e na Mesorregião da Zona da Mata do Estado da Paraíba, está inserido na unidade Geoambiental dos Tabuleiros Costeiros e possui limites com os municípios de Sapé (23 km), Cuité de Mamanguape (9,5km), Itapororoca (15 km), Mamanguape (9 km), Rio Tinto (15 km) e Santa Rita (28 km) (Ministério de Minas e Energia, 2005).

### 3.1.2. Hidrografia

O município de Capim encontra-se incluído nos domínios das bacias hidrográficas dos rios Mamanguape e Miriri (SEMARH, 2004). Os principais cursos e acumulações d'água são representados no Quadro 1.

**Quadro 1** - Demonstrativo dos cursos e acumulações d'água do município de Capim - PB.

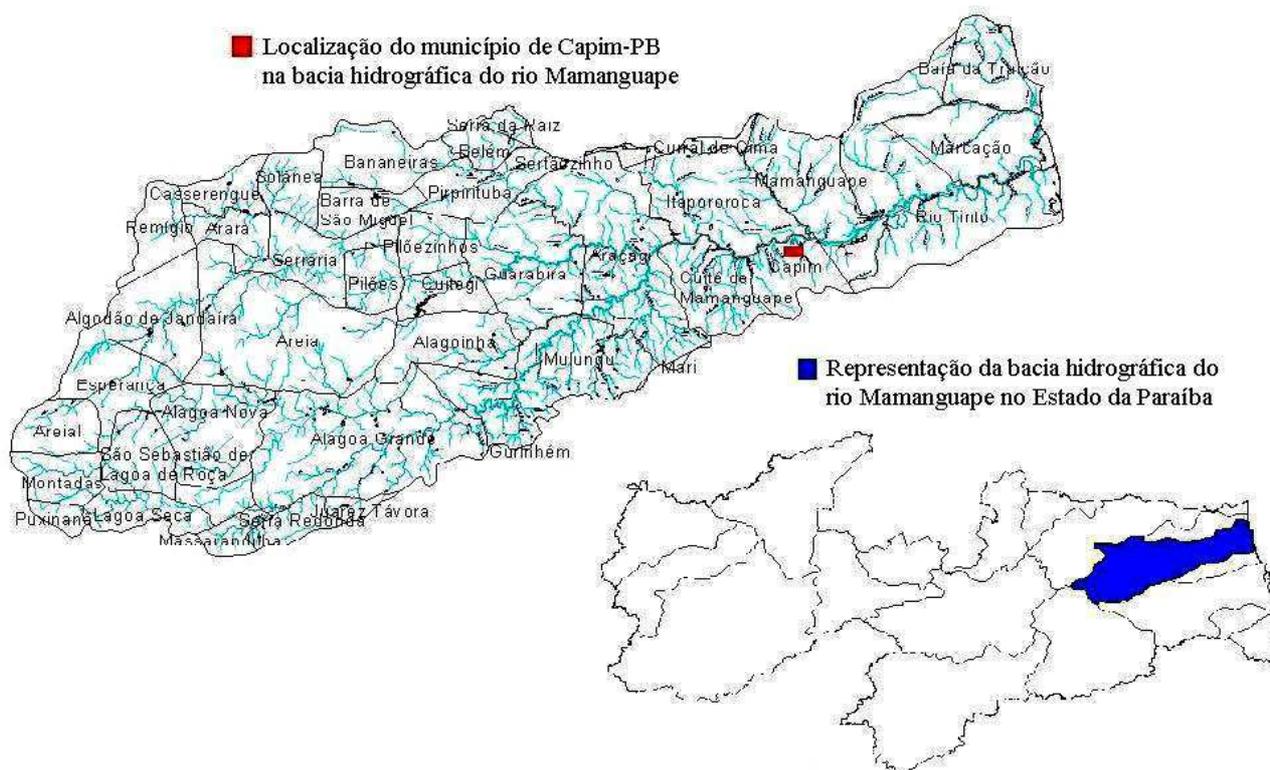
<b>Cursos e acumulações</b>	<b>Nomes</b>
Rios	Mamanguape e Miriri
Riachos	Vargem Comprida, Cafundó, Moira, Ribeiro, Pindoba, Varjota e Cana Brava
Lagoas	Telha, Carapucema e Açude de Almacega

Fonte: SEMARH, 2004

Os principais cursos d'água têm regime de escoamento perene e o padrão de drenagem é o dendrítico.

### 3.1.2.1. Bacia hidrográfica do rio Mamanguape

De acordo ao Comitê das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte - PB – CBH-LN (2004), a bacia hidrográfica do rio Mamanguape abrange 43 municípios, onde Capim possui uma área inserida nessa bacia que corresponde a 66,5% de toda sua área.



**Figura 2** - Representações geográficas da bacia hidrográfica do rio Mamanguape<sup>4</sup>

A bacia hidrográfica do rio Mamanguape é localizada no extremo leste do Estado da Paraíba, entre as latitudes 6°41'57" e 7°15'58" sul e longitudes 34°54'37" e 36° a oeste de Greenwich. Limita-se ao norte com as bacias hidrográficas dos rios Curimataú e Camaratuba, a oeste com a bacia do Curimataú, ao sul com a dos rios Paraíba e Miriri e a leste com o Oceano Atlântico e essa bacia drena uma área que mede cerca de 3525 km<sup>2</sup> (SEMARH, 2004).

<sup>4</sup> Figura adaptada, fonte: [www.aesa.pb.gov.br/comites/litoral\\_norte/proposta](http://www.aesa.pb.gov.br/comites/litoral_norte/proposta)





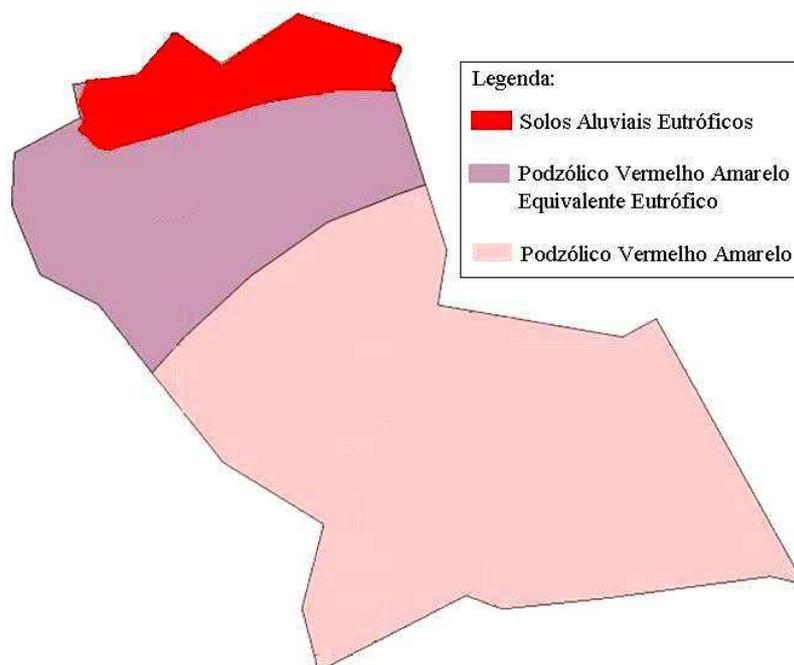
### 3.1.5. Vegetação, relevo e solo

A vegetação natural que predomina a região das duas bacias hidrográficas as quais Capim está incluída é da floresta Atlântica (Caducifólia, Subcaducifólia e Subperenifólia) e ecossistemas como restingas, cerrados e manguezais.

O relevo dessas bacias não supera os 200 metros pelo fato de estar situado na Depressão Sublitorânea; assim sendo, é uma região baixa com superfícies colinosas de relevos suaves ondulados e vales abertos e pouco profundos.

A região possui solos de tipo: - Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico, Bruno Não Cálcico Planossólico, Litólico Eutrófico, Planossolo Solódico, Terra Roxa Estruturada Eutrófica e Afloramentos de Rochas, além de apresentar predominância de terrenos sedimentares, de areias pertencentes ao grupo barreiras, mangues, terrenos influenciados das marés, arenitos, variegados e calcários (SEMARH, 2004).

Conforme informações da Embrapa Solos (2006) a distribuição do solo do município de Capim é formada por solos Aluviais Eutróficos, Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico e Podzólico Vermelho Amarelo.



**Figura 5** - Mapa de reconhecimento de solo do município de Capim - PB.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Figura adaptada, fonte: [www.uep.cnps.embrapa.br/solos](http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos)

---

### 3.2. Efeitos da precipitação pluvial na agricultura

O conhecimento dos fatores climáticos é de grande importância para o manejo racional da irrigação. Estes fatores permitem com uma aproximação bastante considerada estimar a evapotranspiração.

A água desempenha um papel vital no crescimento dos vegetais e na produção de todos os cultivos. Ela transporta os nutrientes químicos para as plantas, é o principal constituinte do tecido vegetal e um reagente na fotossíntese. A umidade do solo é significativa para a agricultura, e é controlada pela precipitação pluvial, evapotranspiração e pelas características do solo (Alves Sobrinho et al., 2004).

De acordo com Camargo (1971) a relação entre a precipitação e a evapotranspiração é representada no balanço hídrico. Para saber se uma região apresenta deficiência ou excesso de água durante o ano, é indispensável correlacionar dois componentes opostos do balanço hídrico, a precipitação, que oferece a umidade para o solo e a evapotranspiração, que recolhe a umidade do solo.

A chuva é a precipitação de água no estado líquido, resultado da condensação do vapor de água existente na atmosfera, onde a quantificação da precipitação lançada por unidade superficial, em uma unidade de tempo pode ser constatada por intermédio de um aparelho meteorológico, o pluviômetro, onde o mesmo é escalonado em milímetros, ou seja, a cada milímetro de precipitação coletado corresponderá um litro de chuva por metro quadrado.

A precipitação mensal acumulada resulta do somatório volumétrico de água caída em todos os dias do mês, de forma semelhante, para a precipitação acumulada anual que é o resultado da soma do volume de precipitação dos meses do ano.

A implantação correta dos sistemas de irrigação, a quantificação de aplicação de água em uma cultura e a aplicação de adubação são fatores fundamentais para um bom desenvolvimento na produção agrícola, mas esses fatores só poderão ser reconhecidos de forma correta se conhecer os efeitos da lâmina de água total aplicada no solo, onde esta lâmina é resultante das águas providas de precipitações e da irrigação (Bernardo, 2006).

Uma das preocupações quanto às chuvas é a intensidade e a frequência de suas ocorrências, pelos seus efeitos potencialmente danosos, quando em excesso ou por escassez. O conhecimento das probabilidades de ocorrência de chuva é de suma importância no planejamento agrícola, possibilitando o plantio em época adequada (Murta et al., 2005).

A precipitação pluviométrica é fundamental na caracterização do clima de uma região, tendo ligação direta nas alternâncias de rendimento das culturas e é entendida em Hidrologia como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre (Tucci, 1997).

A precipitação varia de acordo a extensão do globo e isso se dá devido a fatores tais como: relevo, relação de distância entre oceanos e continente, correntes marítimas, latitude e outros. Mas se pode obter um panorama pluviométrico de determinadas regiões de forma mais simplificada e para tanto se faz necessário analisar locais que apresentem valores iguais de precipitação e em um mapa conciliá-los através de linhas isoeitas (Carvalho, 2005).

A precipitação pluvial de um determinado local pode ser estimada, dentre outras formas, em termos probabilísticos, mediante modelos teóricos de distribuição ajustados a uma série de dados. Os modelos gerados, após a comprovação da aderência dos dados à distribuição teórica, podem fornecer informações úteis para o planejamento de muitas atividades, dentre elas a agrícola (Fietz et al., 1997).

Segundo Figueiredo & Martins (2007) o fenômeno da precipitação apresenta uma grande variabilidade, quer no espaço, quer no tempo. Por esta razão, torna-se difícil medir com precisão a quantidade de água que cai no solo durante a ocorrência de uma precipitação cujo impacto pode ser muitas vezes catastrófico; por esse motivo se torna necessário usar equipamentos mais sofisticados para o monitoramento das precipitações pluviais, ou seja, a pluviometria do ponto de vista de um radar meteorológico pode ser de grande importância para inserir informações inéditas na tecnologia da agricultura, possibilitando um melhor manejo das atividades agrícolas levando-se em consideração as variações espaciais e temporais da chuva e os seus efeitos na produtividade de vários tipos de culturas agrícolas.

A precipitação é um dos componentes meteorológicos que apresenta maior variabilidade quantitativa de uma região para outra (Almeida, 2001). Tanto ela, como a temperatura, se distribuem irregularmente no globo terrestre, onde normalmente os valores mais considerados de precipitação se registram nas regiões equatoriais, enquanto nas regiões tropicais e polares registram-se os menores valores.

De acordo com Nobre & Assad (2005), o Ministério da Agricultura identifica que as principais causas de perdas na agricultura brasileira são causadas por excesso ou falta de chuva e os estudos de riscos climáticos permitem formar o Zoneamento Agrícola do Brasil que serve para orientar parcialmente a liberação dos créditos agrícola, e esses estudos são baseados nas análises de séries históricas de precipitação pluvial e temperatura.

Gnadlinger (2007) relata que em 2004 o Brasil teve um aumento de 21% na produção de grãos, mas isso representa pouco, pois o semi-árido brasileiro não consegue alimentar sua população dignamente, pelo fato que boa parte das pessoas que vivem da agricultura não obtém uma boa produção devido à irregularidade das precipitações pluviométricas.

O Nordeste do Brasil, que tem proximidade com a latitude de 0°, possui considerada incidência de insolação durante todo o ano; sendo assim a quantidade de energia que chega sobre a superfície proporciona uma elevada demanda de evapotranspiração se tornando superior à quantidade precipitante de chuva e essa situação de déficit hídrico é corrigida na agricultura por meio de irrigação (Silva, 2007).

A faixa costeira paraibana possui clima tropical quente e úmido e é caracterizado pela ausência de chuvas de verão. Mas, na época de ocorrência de chuva a mesma é conhecida no Nordeste como “inverno” que corresponde à estação chuvosa e não ao inverno propriamente dito.

O município de Capim possui grande parte de suas terras ocupadas com plantio de cana-de-açúcar, o suprimento ideal de água para o desenvolvimento dessa cultura varia entorno de 1200 a 2500 mm/ano (Blackburn, 1984; Doorembos & Kassan, 1979). No Brasil, nas áreas canavieiras a média anual de precipitação pluviométrica varia de 1100 a 1500 mm/ano (Alfonsi et al., 1987), portanto, para se obter uma produção satisfatória onde é atingido o potencial genético da cana-de-açúcar é necessário o auxílio da irrigação, mas se deve considerar o respeito aos critérios essenciais do uso desse recurso natural que é a água (Farias et al., 2007).

---

### 3.3. Efeitos da temperatura do ar na agricultura

A temperatura do ar indica o quanto o mesmo está aquecido ou resfriado pela energia solar e superfície terrestre. Determinados fatores como, radiação, advecção de massas de ar, correntes marítimas, aquecimento diferencial da terra e da água e posição geográfica, podem regular a temperatura do ar, pois a mesma é variável, no tempo e no espaço.

No momento que o balanço de radiação de uma região sofre influência a temperatura do ar também sofrerá e isso é ocasionado devido à altura do Sol que é determinada pela latitude, hora e dia do ano, como também, a nebulosidade e a natureza de cobertura da terra.

O diferencial da terra e da água se apresenta na comparação entre as variações de temperatura no globo, pois no Hemisfério Norte que é coberto por 61% de água e 39% de terra a variação de temperatura no mesmo é mais elevada que no Hemisfério Sul, que tem 81% de água contra 19% de terra (Grimm, 1999).

O efeito dos elementos climáticos sobre os animais, não acontece de forma isolada, mas de forma combinada. A sensação de temperatura que o corpo humano sente é frequentemente afetada por vários fatores que controlam o conforto térmico os mais significativos são: vento, radiação solar, umidade relativa e temperatura do ar. Thom<sup>8</sup> (1958) citado por (Grimm, 1999), desenvolveu o avaliador do conforto térmico denominado como Índice de Temperatura – Umidade (ITU), baseado em condições de temperatura e umidade do ar.

Do conjunto de variáveis meteorológicas, a temperatura do ar proporciona maiores e diretos efeitos significativos sobre animais e plantas no que diz respeito aos processos fisiológicos, esse fator é considerado importante no setor agrícola em estudos de planejamento (Henrique, 2006).

Na região Nordeste do Brasil, o planejamento agrícola é analisado em detalhes, pois a escassez de áreas que possuem aptidão climática para certos tipos de cultura, é restrita, da mesma forma, as áreas com condições térmicas favoráveis para determinadas produções agrícolas também são pequenas (Sediyama et al., 1998), além da região nordestina se deparar com esta situação, o fato de a restrita existência e má distribuição de estações meteorológicas, tornam inviável o planejamento agropecuário nordestino (Medeiros et al., 2005).

A confirmação da atuação da temperatura do ar na demanda evaporativa está ligada a radiação solar absorvida pela atmosfera e o calor emitido pela superfície cultivada. O ar aquecido na camada próxima a cultura além de transferir energia para a planta na forma de calor sensível,

---

<sup>8</sup>THOM, E.C. *Cooling degress: Day air-conditioning, heating, and ventilating*. Transactions of the American Society of Heating, Refrigerating and Air - Conditioning Engineers, Atlanta, 1958.

elevando as taxas evapotranspiratórias, também interfere na atividade fotossintética das plantas. As reações da fotossíntese se tornam menores em situações que a temperatura do ar é menor e maiores com o aumento dessa variável meteorológica, salientando que, cada cultura possui seus limites de resistência térmica (Teixeira et al., 2004).

No caso do ciclo vegetativo da cana-de-açúcar, que conforme Bray (1980), é formado pelas fases, germinação, perfilhamento, crescimento e maturação, em que a planta apresenta mudanças em função da ação do ambiente e para cada fase é exigida uma característica climática. Na fase de crescimento da cana-de-açúcar a produção de sacarose nos colmos se torna favorável se o período for de baixa temperatura ou de deficiência hídrica, cessando assim o crescimento e iniciando-se a de maturação.

No Brasil o ciclo da cultura da cana é de 12 a 18 meses e no Nordeste do País é de 12 a 14 meses e é necessário que haja, durante o ciclo anual, pelo menos um período de repouso, para redução ou interrupção do crescimento da planta para que os produtos assimilados sejam armazenados no colmo da cana, em vez de serem utilizados no processo de crescimento. Os fatores que têm maior influência nesse repouso são baixa temperatura e deficiência de umidade (Scardua & Rosenfeld, 1987).

O valor limite da temperatura do ar para a cana-de-açúcar é de 20°C, temperatura base abaixo da qual o desenvolvimento da cultura é considerado nulo e para a germinação a temperatura base é de 21°C, obtendo seu ponto satisfatório em torno de 32°C (Barbieri et al., 1979). De acordo com Fauconier & Bassereau (1975), o crescimento da cana se torna máximo no intervalo de temperatura de 30 a 34°C e demorado abaixo de 25°C e acima de 35°C e se torna nulo acima de 38°C.

---

### 3.4. Efeitos da irradiação solar na agricultura

A nossa principal fonte de energia é o Sol que torna possível a sustentação da vida na Terra. Sendo assim, a nossa fonte praticamente estável de calor é a luz provinda desse astro. A radiação solar que atinge a superfície da Terra é um elemento de fundamental importância para os diversos processos que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera. Do total de radiação que chega à superfície, parte é imediatamente refletida, parte é transmitida e outra é absorvida pelas plantas de forma diferenciada, dentro do espectro solar (Leitão & Oliveira, 2000).

Todo processo da vida é uma complexa seqüência de trocas de energia. O desenvolvimento de um vegetal ou o processamento de alimentos em um animal são demandas bioquímicas, de transformação energética. A vida é a mais elaborada forma já identificada de processamento de matéria e de informação, necessitando de energia para a sustentação de seus processos. Uma simples folha de qualquer vegetal não poderia se formar se não fosse a energia radiante recebida do Sol, que permite a fotossíntese (Menezes & Canato Júnior, 2001).

A radiação solar é fundamental para os vegetais que produzem, a partir da fotossíntese, os chamados carboidratos ou hidratos de carbono (açúcares, amido e celulose). Os açúcares fazem parte de alimentos, que são misturas heterogêneas de composição variável e que têm como função fornecer parte da energia para a sobrevivência dos seres vivos, ou seja, têm função energética (Pitombo & Lisboa, 2001). O açúcar da cana é o exemplo mais comum de sacarose.

A luminosidade está diretamente ligada ao processo de síntese fotossintética, tendo como fonte de energia, a radiação solar. A sua redução determina menor armazenamento de açúcares e acumulação de amido nas folhas, alterando assim, todo o processo de síntese e prejudicando a eficiência das plantas de cana (Barbieri, 1993).

O estômato é uma estrutura epidérmica que controla a entrada e saída de gases da planta. A abertura dos estômatos depende de diversos fatores, tais como: luminosidade, concentração de gás carbônico e a quantidade de água disponível. Assim, em condições ideais de temperatura e concentração de gás carbônico atmosférico, a taxa de fotossíntese aumenta progressivamente em função do aumento de luminosidade. O valor de intensidade luminosa a partir da qual a taxa de fotossíntese deixa de aumentar é denominado ponto de saturação luminosa (Amabis e Martho, 2001).

Na superfície da Terra, a radiação solar condiciona a evaporação da água em superfícies líquidas e do solo úmido e é necessária para o desenvolvimento vegetal, além de ser fundamental às

atividades do ser humano (Henrique, 2006). O processo de energia na Terra deve levar em consideração o solo, os oceanos e atmosfera que permitem o transporte de energia em um ciclo, tornando a temperatura do sistema em situações propícias para o desenvolvimento dos seres no globo.

Um dos principais elementos climatológicos que compromete a evaporação da água do solo e a transpiração das plantas é a radiação solar, fator condicionante das temperaturas do ar e do solo (Pereira et al., 2002). Em relação às práticas de manejo da água na agricultura, o saldo de radiação solar é um dos fundamentais parâmetros atuantes na perda de água pelos vegetais, na decomposição da matéria orgânica e nos processos metabólicos e biológicos (Ometto et al., 1973; Critchfield, 1974).

A energia radiante do Sol quando ultrapassa a atmosfera é submetida a transformações complicadas. Da camada exterior da atmosfera até chegar à superfície da Terra, a energia radiante é absorvida e espalhada. Devido ao espalhamento desta energia observa-se ao nível da superfície do solo, não somente radiação solar direta, na forma de um feixe de raios solares paralelos, mas também a radiação difusa provinda de cada ponto do céu. As radiações solares, direta e difusa constituem a radiação solar global (Assis, 2005).

Para Fontana & Oliveira (1996), a radiação solar global ( $R_s$ ) é um componente meteorológico considerável para o cálculo da evapotranspiração, realização de zoneamentos agroclimáticos, estabelecimento e utilização de modelos de crescimento e produção na agricultura.

A radiação solar é medida por instrumentos como os radiômetros, actinógrafos bimetálicos e piranômetros, que também medem a radiação difusa, sendo este último o mais utilizado no Brasil, mas não tão disponível (Dornelas, 2006).

A obtenção do saldo de radiação ( $R_n$ ) é muito importante para a agricultura, ou seja, é a variável básica na estimativa da evapotranspiração, como também, na determinação do balanço hídrico que juntos são fundamentais para a utilização racional dos recursos hídricos. O saldo de radiação é a quantidade de energia que sobra na superfície, onde a mesma será utilizada nos processos de aquecimento do ar e do solo, na fotossíntese e como calor latente. Mas apesar de tão importante, no Brasil, os dados disponíveis de radiação solar são limitados (Leivas et al., 2007). De acordo Thornton & Running (1999), a medida da radiação solar é de grande valor para os estudos na agrometeorologia, o número de estações que procedem ao seu registro diário na superfície terrestre é muito restrito, quando comparado com o número daquelas que registram a temperatura e a precipitação. Os fatores que impossibilitam a aquisição de dados sobre radiação solar são o alto

custo dos instrumentos meteorológicos que medem essa variável e a manutenção dos mesmos (Menezes et al., 2003).

Segundo Gates (1965) e citado por Leitão & Oliveira (2000), os vegetais absorvem cerca de 50% da radiação de ondas curtas incidentes e 97% da radiação de ondas longas proveniente da atmosfera. A razão entre as radiações de ondas curtas refletidas e incidentes é denominada coeficiente de reflexão ou albedo.

O albedo é o fator de reflexão de uma superfície difusora calculado pela porcentagem da energia refletida em relação à incidente. Dependendo de sua capacidade de armazenamento de energia, uma superfície que reflete mais, acarreta maior aquecimento do ar durante o dia e maior resfriamento a noite, influenciando a amplitude térmica da região (Campos, 2001).

O coeficiente de reflexão de uma superfície vegetada varia ao longo do período diurno, em função do ângulo de elevação do Sol e ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, em função do grau de cobertura vegetal, tipo e estado de umidade do solo, condições de umidade do ar e da quantidade e tipo de cobertura de nuvens (Blad & Baker, 1972; Leitão, 1989; Azevedo et al., 1990).

De acordo com Ayoade (1983) os raios solares verticais geralmente produzem albedo menor que os raios solares oblíquos ou inclinados; desta forma, o albedo de uma superfície é elevado após o nascer e antes do pôr-do-sol, enquanto seus menores valores ocorrem em torno do meio dia.

A radiação solar se distribui em diferentes faixas de comprimentos de onda que terão diferentes efeitos sobre as plantas, sendo a faixa que abrange a luz visível detectada pela retina humana compreendida entre 0,36 e 0,74  $\mu\text{m}$  (Liu et al., 2003). A Comissão Holandesa de Irradiação Vegetal (1953) citado por (Mota, 1989) estabeleceu os efeitos específicos causados por determinadas faixas do espectro solar, estabelecendo oito divisões, com características próprias. A Quadro 2 mostra os efeitos da radiação solar sobre as plantas.

**Quadro 2** - Faixas do espectro solar e efeitos sobre as plantas.

Comprimento de onda	Efeitos
Maior que 1,0 $\mu$ m	Não causa danos às plantas e é absorvido, o aproveitamento é sob a forma de calor, sem que haja interferência com os processos biológicos.
Entre 1,0 $\mu$ m e 0,72 $\mu$ m	Exerce efeito sobre o crescimento das plantas, o trecho mais próximo a 1,0 $\mu$ m é importante para o fotoperiodismo, germinação de sementes, controle de floração e coloração do fruto.
Entre 0,72 $\mu$ m e 0,61 $\mu$ m	Esta região espectral é fortemente absorvida pela clorofila e gera forte atividade fotossintética, apresentando em vários casos, também, forte atividade fotoperiódica.
Entre 0,61 $\mu$ m e 0,51 $\mu$ m	Região espectral de baixo efeito fotossintético e de fraca ação sobre a formação da planta.
Entre 0,51 $\mu$ m e 0,40 $\mu$ m	Região mais fortemente absorvida pelos pigmentos amarelos e pela clorofila e de grande atividade fotossintética, exercendo ainda vigorosa ação na formação da planta.
Entre 0,40 $\mu$ m e 0,32 $\mu$ m	Esta faixa exerce efeitos nocivos na formação do vegetal, as plantas tornam-se mais baixas e as folhas mais grossas.
Entre 0,32 $\mu$ m e 0,28 $\mu$ m	É prejudicial à maioria das plantas.
Menor de 0,28 $\mu$ m	Mata rapidamente as plantas submetidas a esta faixa de radiação solar.

Fonte: <http://www.geografia.fflch.usp.br>

Se aceita hoje que, entre as condições planetárias básicas para que possa existir vida tal como a conhecemos, seja essencial a presença de água no estado líquido, em quantidade suficiente e energia solar em quantidade adequada, fornecendo luz e calor (Pitombo e Lisboa, 2001).

---

### 3.5. Efeitos da umidade relativa do ar na agricultura

O vapor d'água obtido pela evaporação da água do solo e das superfícies líquidas não é estático, sendo constantemente levado pelas correntes aéreas e mediante condições favoráveis, volta ao estado sólido ou líquido. A concentração do vapor d'água na atmosfera é muito variável, tanto no espaço quanto no tempo. Um ambiente é dito saturado a uma determinada temperatura quando possuir a quantidade máxima possível de vapor d'água àquela temperatura; nessas condições, a pressão de vapor se torna saturada. Para cada temperatura, encontra-se um único valor de pressão de vapor de saturação. A pressão de saturação depende exclusivamente da temperatura ambiente (Oliveira 2002).

A umidade relativa do ar úmido, submetido a uma determinada temperatura, é o quociente entre a pressão parcial do vapor e a pressão de saturação àquela temperatura (citado por Varejão-Silva, 2001).

Além da pressão parcial de vapor, existem outras variáveis envolvidas na quantificação do teor de vapor d'água presente no ar. Dentre elas, a razão de mistura e a umidade relativa são as mais empregadas. A razão de mistura do ar úmido, submetido a uma dada pressão atmosférica e a uma determinada temperatura, é o quociente entre a massa de vapor (usualmente em gramas) e a massa de ar seco (usualmente em kg) na qual o vapor está contido e a umidade relativa do ar úmido, submetido a uma determinada temperatura e pressão, é a relação percentual entre o vapor d'água contido no ar e o vapor que o mesmo ar poderia conter se estivesse saturado, a idênticas temperatura e pressão. Normalmente a umidade relativa é expressa em porcentagem e atinge 100% quando o ar está saturado (Oliveira 2002).

O significado simplificado da umidade relativa do ar (UR) é a quantidade de água que existe na atmosfera na forma de vapor com relação ao total máximo que poderia existir, na temperatura observada, conforme o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura – CEPAGRI (2007), onde o mesmo foi solicitado pela Defesa Civil do Município de Campinas – SP para pesquisar e desenvolver um escala psicrométrica para indicação de níveis de umidade relativa do ar prejudiciais à saúde humana. A pesquisa realizada constatou que na região de Campinas a umidade relativa do ar se torna mais baixa principalmente no final do inverno e início da primavera, no período da tarde entre 12 e 16 horas e a escala formulada sugere que quando a UR se encontrar entre 20 a 30% é dado como estado de atenção, entre 12 e 20% estado de alerta e abaixo de 12% estado de emergência.

Na agricultura a umidade relativa do ar se torna essencial, pois esta variável meteorológica pode originar danos aos cultivos agrícolas. Deste modo, essa componente com outras variáveis meteorológicas como, baixas temperaturas, chuvas fortes e ventos intensos, forma um quadro desagradável ou mesmo extremamente danoso para as plantas (Sediyama et al., 2007).

Diversas espécies de fungo são parasitas e causam doença em plantas e em animais, inclusive em nossa espécie. Certos fungos podem causar infecções graves, com lesões profundas na pele e em órgãos internos da pessoa. Nas plantas, os fungos causam doenças como o ferrugem, que ataca o cafeeiro e outras plantas economicamente importantes (Amabis e Martho, 2001).

Os fungos são os principais agentes prejudiciais de determinadas culturas, mas com base em conhecimentos de Epidemiologia e Fitopatologia, agregado com dados meteorológicos locais como temperatura e umidade relativa do ar se pode prever qual tipo de fungo que pode atacar a plantação e assim evitar ou reduzir as perdas em lavouras; portanto, para cada doença de planta corresponde uma temperatura e uma umidade que propicia o seu desenvolvimento (Barreto, 2000).

Segundo Bastos (2005) a importância da umidade do ar deve-se principalmente ao fato de estar relacionada pela influência na demanda evaporativa da atmosfera e assim pode-se dizer que quando muito baixa ou muito elevada torna-se prejudicial para a maioria das plantas. Umidade relativa abaixo de 60% pode ser prejudicial por aumentar a taxa de transpiração e acima de 90% reduz a absorção de nutrientes, devido a redução da transpiração, além de favorecer a propagação de doenças fúngicas.

De acordo com Delgado et al. (2007) a aplicação de equações para a previsão da umidade relativa do ar é essencial na agricultura, visto que esta variável meteorológica extrema pode causar danos principalmente aos cultivos agrícolas. O uso de métodos de estimativa da umidade relativa do ar pode ser de grande utilidade, tanto ao setor agrícola como a qualquer outro.

Em um país tropical como o Brasil, para se obter uma boa produção, o aquecimento pode se tornar um problema. Já o resfriamento não é desejado em países onde o clima é temperado, ou seja, para cada momento da produção, são necessárias variadas faixas de temperatura e umidade relativa, medidas essas que são extremamente importantes não só na agricultura, como também na zootecnia e engenharia (Le Divich & Reinaldo, 1989).

---

### 3.6. Efeitos do vento na agricultura

A análise dessa variável não é muito simples, vez que o aquecimento e o resfriamento do solo e da atmosfera derivam da diferença de pressão atmosférica, que promove o movimento do ar, originando assim a dinâmica complexa desse escoamento. Portanto, o vento se torna fraco, moderado ou forte dependendo da diferença entre as zonas de alta pressão atmosférica e as de baixa, sendo a topografia local também um fator que influencia a velocidade do vento.

O monitoramento do vento tanto no aspecto de sua velocidade como direção é de fundamental importância em várias áreas, como: engenharia, saúde, segurança pública, ecologia e agricultura.

Na engenharia é analisada com cuidado a força gerada pelos ventos em edificações altas, como também acidentes causados pela ação do vento em construções leves, tais como pavilhões, coberturas de estádios, ginásios cobertos e outros (Gonçalves et al., 2004).

Na saúde, de acordo Ferreira (2003), devido à modernização tecnológica os poluentes atuais lançados na atmosfera são cada vez mais incolores e relativamente inodoros, porém os mesmos são extremamente nocivos ao meio ambiente e à saúde das pessoas e esse último fator é facilmente constatado, pois quando ocorrem algumas mudanças meteorológicas como a diminuição da velocidade do vento em regiões de grande concentração de poluentes, observa-se então o aumento em internamentos de crianças com problemas respiratórios nos hospitais.

O monitoramento do vento é utilizado para garantir a eficácia nos atendimentos realizados durante casos de emergência, como incêndios florestais, vazamentos de substâncias tóxicas e escoamento de poluentes, e isso só é possível através da análise de informações coletadas em estações meteorológicas automáticas que fornecem com exatidão os dados sobre velocidade e direção do vento (Monteiro, 2007).

O manejo racional da irrigação requer, além do conhecimento de parâmetros climáticos, de características das culturas, dos solos e dos recursos hídricos, o conhecimento da distribuição e quantidade de água da região (Furukawa et al., 1994). Portanto, na irrigação por aspersão a velocidade do vento deve ser considerada, pois não é recomendado usar essa técnica agrícola em locais de ventos fortes e constantes. O vento afeta a uniformidade de distribuição de água e em regiões de baixa umidade relativa do ar e de temperaturas altas, a perda de água por evaporação pode atingir valores altos, favorecendo a incidência de doenças nas plantas (Silveira & Stone, 2004).

Componente do clima como o vento, pode exercer influência no efeito desejado da irrigação de uma determinada cultura, promovendo desse modo desperdícios no que diz respeito à energia elétrica nos componentes de bombeamento da irrigação e os desvios das gotículas de água para parte externa da área irrigada (Azevedo, 1998).

A velocidade do vento é um componente importante no processo de evapotranspiração, pois a remoção do vapor d'água está ligada, em grande parte, com a dinâmica do vento, pois o ar acima da cultura vai se tornando gradativamente saturado com vapor d'água e se não há reposição de ar seco, a evapotranspiração da cultura decresce (Teixeira & Lima Filho, 2004).

A opção por produtos agrícolas adequados e o uso da técnica correta para a aplicação do mesmo, devem ser fatores decisivos para obter medidas eficazes para evitar qualquer prejuízo para o meio ambiente. O uso de defensivos agrícolas, também é desaconselhável quando na presença de vento forte, pois o mesmo é sem dúvida alguma, um fator que acoplado a dimensão e peso das gotas pulverizadas do defensivo influenciará no local de deposição das mesmas, ou seja, podendo derivá-las a outros lugares que não o alvo desejado (Christofolletti, 1992), como exemplo, as reservas hídricas locais.

O comércio nacional de defensivos agrícolas movimentava mais de 2 bilhões de dólares anuais. Pelo menos 30% dos defensivos agrícolas aplicados sofrem perda, ou seja, é propagado fora da área para onde foi dirigido e isso acontece devido ao vento, se na aplicação do mesmo fosse possível a diminuição de 10% do desvio seriam economizados em média 60 milhões de dólares, valendo salientar que o fundamental não é só a economia financeira; mas, a extinção ou diminuição da contaminação do meio ambiente (Saab, 2004).

### 3.7. Evapotranspiração

A água pode retornar para a atmosfera através de dois processos naturais; por intermédio de evaporação e transpiração. A evaporação pode ocorrer pelo processo o qual a água se transforma do estado líquido para vapor e a transpiração é comum através dos vegetais, onde os mesmos são capazes de absorver a água dos solos e evaporá-la a partir de suas folhas; por conseguinte, a evaporação juntamente com a transpiração representa uma grande importância no ciclo da água no que diz respeito ao solo-atmosfera.

A evapotranspiração (ET) é a totalização de água cedida para a atmosfera através da transpiração da superfície das plantas e a evaporação do solo; portanto, a estimativa da evapotranspiração de uma determinada região ou cultura se torna fator importante para desenvolver balanços hídricos mais confiáveis, que poderão envolver cálculos da necessidade de irrigação na agricultura.

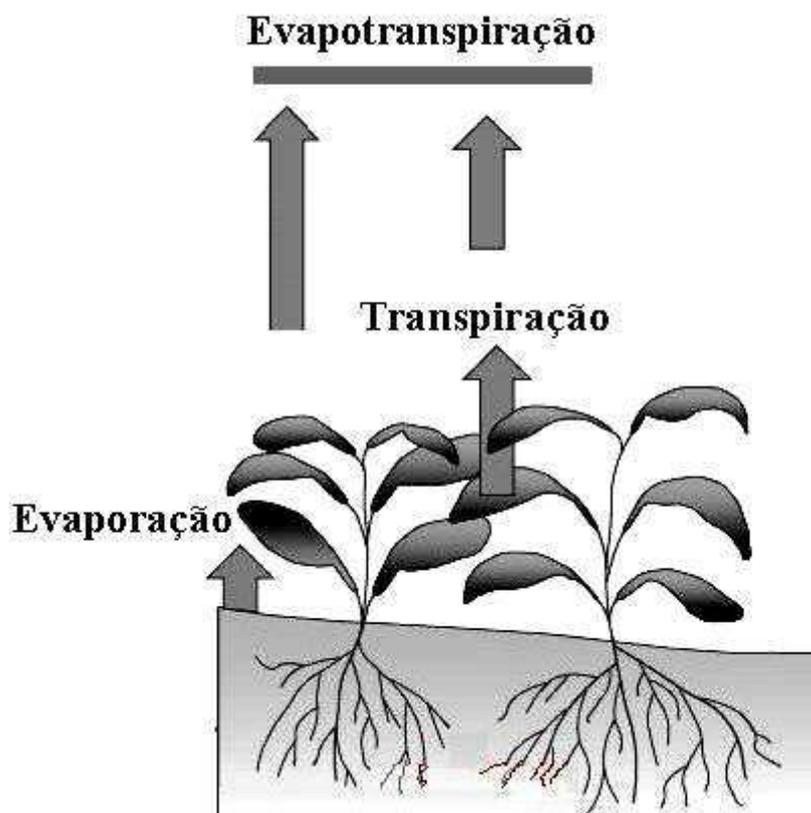


Figura 6 – Esquema representando a evapotranspiração.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Figura adaptada, fonte: FAO – 56.

A evapotranspiração pode ser definida como um processo combinado de transferência de água do solo para atmosfera, incluindo o processo de transpiração através dos tecidos vegetais (Turco et al., 2005). O estudo mais aprofundado da estimativa da evapotranspiração é de extrema importância na agricultura, pois a adaptação ideal do uso da água na irrigação de acordo às necessidades hídricas está implicitamente ligada com o conhecimento da evapotranspiração das culturas. O Instituto da Água (2001) avalia que a disponibilidade de dados sobre a evapotranspiração das culturas permitiria economizar, em média, 20% da água consumida pela irrigação no Brasil.

A necessidade de se obter produção agrícola cada vez melhor e o respeito ao meio ambiente em relação ao uso racional dos recursos hídricos na agricultura originaram o avanço dos estudos na área da evapotranspiração.

Doorenbos & Pruitt (1977) definiram a evapotranspiração de referência sendo a transferência de água de uma área extensa de solo gramado, com altura constante entre 8 a 15 cm, em crescimento ativo, sombreando completamente o solo, não possuindo limitação de água no solo. Já Smith et al. (1991) redefiniram a ETo como sendo a perda de água por uma cultura hipotética, com altura uniforme de 12 cm, albedo correspondente à 0,23 e resistência de cobertura a propagação de vapor de água igual a  $70 \text{ s m}^{-1}$ , o que representaria a evapotranspiração de um gramado verde, de altura constante, em perfeito crescimento ativo cobrindo por inteiro a área do solo e sem déficit de água.

Semelhantemente, Pozzebon et al. (2003) conceituam evapotranspiração de referência (ETo) como sendo a água que é evaporada do solo e transpirada pelas plantas em uma superfície coberta por vegetação específica rasteira, uniformemente distribuída, em fase de crescimento ativo, em solo com perfeita condutibilidade hídrica e mantido sempre úmido, próximo à capacidade de campo, ou seja, a ETo expressa a demanda evaporativa da atmosfera de um local específico, numa época do ano e não considera as características da cultura e fatores do solo, sendo função dos fatores do tempo.



**Figura 7** - Esquema representando a evapotranspiração de referência.<sup>10</sup>

A evapotranspiração da cultura pode ser estimada a partir da  $ET_0$ , refere-se a evapotranspiração de uma área com vegetação rasteira, na qual são feitas as medições meteorológicas, para obtenção de um conjunto consistente de dados de coeficientes de cultura ( $K_c$ ), para serem utilizados na determinação da evapotranspiração de outras culturas agrícolas (Franco et al., 2007).

Na elaboração de um projeto de irrigação, é freqüente usar a estimativa da evapotranspiração de referência, calculada a partir dos dados climáticos da região; assim estimada é então relacionado por um coeficiente relativo à cultura em questão, o coeficiente de cultura, obtendo-se a evapotranspiração da cultura (Doorenbos & Pruitt, 1977; Allen et al., 1998). Para se determinar a quantidade de água a ser aplicada na irrigação, deve-se conhecer a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), que engloba a evapotranspiração de referência, ou seja, a  $ET_c$  é determinada multiplicando-se a evapotranspiração de referência da região pelo coeficiente da cultura, denominado  $K_c$  (Conceição, 2005).



**Figura 8** - Esquema representando a evapotranspiração da cultura.<sup>11</sup>

Assim se observa que para o processo de irrigação se tornar ideal são necessárias informações sobre a evapotranspiração de referência, que por sinal não é muito fácil adquiri-las,

<sup>10</sup> Figura adaptada, fonte: FAO – 56.

<sup>11</sup> Figura adaptada, fonte: FAO – 56.

pelo fato de que as demandas físicas a serem analisadas são muito complexas, pois envolve um agregado de fatores meteorológicos (Lemon et al., 1957).

Torna-se complicado analisar separadamente a ação de cada um dos elementos meteorológicos na evapotranspiração, pois os mesmos agem interligados, como exemplo, quanto maior for a disponibilidade de energia solar, temperatura do ar, velocidade do vento e, quanto menor for a umidade relativa de uma dada região, maior deverá ser a taxa de evapotranspiração (Villa Nova, 1987).

De acordo Jolliet (1994), componentes meteorológicas podem afetar a evapotranspiração, dentre elas a umidade relativa do ar, que pode influenciar no desenvolvimento do índice foliar pelas interações com a fotossíntese ou por mudanças na condutância estomática. A radiação solar é a principal fonte de energia para as plantas, impulsionando o processo de transpiração e alterando a temperatura dos tecidos vegetais com conseqüências para os processos metabólicos; então uma vez modificada essa variável, modifica-se a evapotranspiração (Jones, 1992).

A evapotranspiração de referência é governada pelos fatores do tempo, a exemplo da radiação solar, velocidade do vento, umidade e temperatura do ar, ou seja, é razoável inferir que, qualquer alteração nos fatores meteorológicos, afeta a transpiração, dessa forma, é necessário conhecer as condições específicas de um local ou região a fim de estimar o consumo de água pelas plantas em diferentes locais de cultivo (Denmead & Shaw, 1962).

Uma das principais aplicações dos dados meteorológicos na agricultura é a estimativa da evapotranspiração de referência para determinados locais, essas informações assumem importância significativa na melhoria de uso da água na agricultura (Carlesso, 2007).

Diversos métodos de estimativa da evapotranspiração têm sido desenvolvidos e analisados, variando desde métodos elementares, que requerem pouco dados como temperatura mensal até métodos complexos firmados em modelos físicos, que necessitam de um acervo de dados de entrada, tais como os modelos de Penman e suas modificações (Hatfield & Allen, 1996). Por esse motivo, Oliveira et al. (2001) sugerem o cuidado em avaliar com extrema cautela o grau de exatidão de cada modelo de estimativa antes de utilizá-lo para nova condição, pois a existência de diversos modelos para estimar a ETo é comum serem agrupados a condições climáticas e agronômicas onde alguns podem ser bem complexos.

De acordo com Sedyama et al. (2003) o conhecimento do nível ótimo de água necessária às culturas irrigadas para cada tipo de solo e clima é extremamente importante e os principais métodos de estimativa da ETo são apresentados em cinco grupos:

- Método de balanço de água, que consideram a entrada e saída de água.
- Método das correlações de turbilhões que é limitado pela complexidade dos equipamentos exigidos.
- Método do balanço de energia, que relaciona a transferência de energia para a superfície evaporante, associando-se a porção de energia que é convertida em fluxo de calor latente.
- Método aerodinâmico, que estabelece o fluxo de massa de vapor por meio do coeficiente de transporte.
- Método combinado associa os conceitos do balanço de energia e aerodinâmico.

Segundo Santiago (2001), pela complexidade e ao alto custo dos dispositivos de medidas da ETo, diversos métodos de estimativa têm sido propostos, tais como: Penman, Penman-Monteith, Thornthwaite, Camargo, Tanque Classe A, Hargreaves e Samani, Priestley-Taylor, Jensen-Haise, Linacre, e outros modificados.

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) e a Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem, referenciam o método de Penman-Monteith, como padrão de estimativa da evapotranspiração de referência, a partir de dados meteorológicos, sendo usado também para avaliar outros métodos (Smith et al., 1991; Allen et al., 1998).

Sentelhas & Camargo (1997) avaliaram o desempenho de vinte métodos de estimativa da evapotranspiração, em três localidades do Estado de São Paulo, mediante dados obtidos em lisímetros e constataram que as melhores estimativas foram pelos métodos de Camargo, Thornthwaite, Thornthwaite com índice de calor "T" e Priestley-Taylor; já os métodos de Penman-Monteith, Penman, Hargreaves modificado, Makking e Blaney-Criddle modificado, tiveram bom desempenho, enquanto os demais métodos mostraram desempenho bem inferior, entre as quais os métodos da Radiação Solar e Linacre.

Amorim Neto et al. (1985) fizeram pesquisa relacionada aos métodos mais usados na determinação da evapotranspiração de referência para regiões semi-áridas e concluíram que os de Benavides e Lopes, Linacre, Tanque Classe A e Penman-Monteith são os mais adequados a serem utilizados em períodos mínimo de dez dias.

Numa apreciação das equações mais usadas para a determinação da evapotranspiração feita pela American Association of Civil Engineers, na qual foram usados dados obtidos em 10 diferentes regiões do mundo, constatou-se que não existe um método que utilize dados climáticos e que possa ser universalmente adequado em todos os tipos de climas, principalmente em regiões tropicais e regiões altas, sem algum tipo de calibração local ou regional (Burman et al., 1983).

A diversidade de resultados alcançados pelos diferentes métodos, quase sempre, são causas de preocupações dos pesquisadores, isto é, qual método estima a evapotranspiração de referência corretamente. A ausência de certos elementos climáticos registrados nas áreas irrigadas pode conduzir os técnicos a utilizar métodos mais simples quando, certamente, outro método que envolve dados adicionais poderia fornecer resultados mais representativos da realidade (Sediyama et al., 2003).

Na manipulação da irrigação, conduzido através de estimativa de evapotranspiração, os equipamentos mais usados são o tanque Classe A e a estação meteorológica automática, em que o primeiro citado é um dos métodos mais utilizados para estimativa da ETo no manejo da irrigação e se baseia na medição da evaporação da água em um tanque padronizado, cujo valor é convertido em evapotranspiração de referência por meio de coeficientes específicos dependentes do clima, do tipo de tanque e da bordadura circundante (Doorenbos & Pruitt, 1977; Allen et al., 1998).

O tanque Classe A foi desenvolvido pelo Serviço Meteorológico Norte Americano (U.S.W.B.) e é de uso generalizado, inclusive no Brasil (Pereira et al., 1997). Pelo fato de que a operacionalidade do tanque Classe A ser de extrema facilidade e o mesmo possuir baixo custo, esse evaporímetro se torna o mais utilizado para o monitoramento da evapotranspiração (Bernardo, 1995). O autor entende que métodos baseados em muitos dados meteorológicos têm na prática uma aplicação trabalhosa, não só pela complexidade do cálculo, mas também por exigir grande número de elementos meteorológicos fornecidos somente por estações meteorológicas específicas.

No caso do uso do tanque Classe A, a medição da lâmina de água evaporada e sua conversão em evapotranspiração exigem que o irrigante faça cálculos muito simples e tenha certo conhecimento técnico sobre irrigação, o que tem dificultado seu uso generalizado no manejo da água na agricultura irrigada. Este aspecto relativo ao uso do tanque Classe A constitui uma desvantagem, haja vista que dificulta a tomada de decisão do irrigante quanto ao momento de efetuar a próxima irrigação e em relação à quantidade de água a ser aplicada; o que interfere na definição do tempo de funcionamento do equipamento de irrigação (Oliveira et al., 2008).

Para Albuquerque et al. (1997) os métodos padrão recomendados pela FAO necessitam da obtenção da evapotranspiração de referência, que, por sua vez, pode ser estimada através da evaporação da água do tanque Classe A. Porém para a determinação de ETo e ETc há necessidade de coeficientes empíricos. Contudo, muitas vezes, esses coeficientes estimados não têm revelado de maneira satisfatória as verdadeiras condições da ETc para um determinado local e cultura específica. Por outro lado, há uma grande dificuldade a ser vencida quando se desejam medir esses coeficientes. Couto & Sans (2002) consideram que até mesmo a variação na cor do tanque e o uso de tela de proteção contra pássaros podem refletir na perda de água, assim como a sua localização no campo, em função de solo vegetado ou solo nu, proporciona alteração nos resultados.

De acordo com Souza & Yoder (1994), no nordeste brasileiro, o método de estimativa de evapotranspiração de referência proposto por Hargreaves (1974), vem sendo utilizado para determinação da ETc, embora ainda não seja o mais apropriado, por resultar em superestimativa nas condições de semi-aridez do Nordeste.

O método de Hargreaves e Samani foi concretizado na Califórnia em condições semi-áridas, a partir de dados adquiridos em lisímetros gramado (Pereira et al., 1997). A equação aplicada utiliza um coeficiente empírico fixo para regiões costeiras e outro para regiões continentais.

Samani (2000) desenvolveu uma equação quadrática, dos dados coletados de 65 estações climatológicas nos Estados Unidos, para convencionar esse coeficiente empírico em função da amplitude térmica da região considerada.

Mendonça et al. (2003) objetivaram comparar os valores de ETo obtidos em lisímetro de pesagem com grama na região Norte Fluminense – RJ, com os valores resultantes da utilização de oito métodos incluindo de Makkink, Linacre, Jensen-Haise, Hargreaves e Samani, concluíram que quando se dispõe somente de dados de temperatura máxima e mínima, o método de Hargreaves e Samani apresenta adequada precisão para se estimar a ETo na região, sobretudo para períodos superiores a 7 e 10 dias.

O método de Penman (1948) não inclui a função de resistência à transferência de vapor d'água em sua equação original, enquanto a equação combinada de Penman-Monteith (Monteith, 1985) considera o termo aerodinâmico e a resistência da superfície de uma cobertura vegetal.

Vescove & Turco (2005), fazendo a comparação entre três métodos de estimativa da ETo para região de Araraquara – SP, verificaram que o método de Makkink subestimou a evapotranspiração no período inverno-primavera, mais do que no período verão-outono em relação aos métodos de Radiação Solar e do Tanque Classe A.

Já o método de Linacre é uma simplificação do método de Penman, onde variáveis como déficit de saturação e radiação líquida, foram substituídas por funções da temperatura do ar e, além disso, existe também, uma expressão empírica usada para calcular a diferença entre a temperatura média e a temperatura de ponto de orvalho, que foi desenvolvida a partir de dados obtidos em diferentes localidades da África e América do Sul (Pereira et al., 1997).

Na América do Sul, mais especificamente no Brasil, o uso de estações meteorológicas automáticas é recente. Porém, sua utilização nas áreas rurais vem crescendo continuamente. A confiabilidade da ETo estimada depende da qualidade dos dados meteorológicos utilizados no seu cálculo. A qualidade conferida aos dados inicia-se na determinação do intervalo de medidas das variáveis meteorológicas pelos sensores. É importante que esse intervalo assegure adequadamente as alterações meteorológicas que ocorreram entre medidas consecutivas. Por isso, é importante que seja estabelecida uma rotina de inspeção e/ou verificação automática dos dados enviados pelas Plataformas de Coletas de Dados - PCD's que formam a rede de estações, além das rotineiras verificações visuais (Carlesso, 2007).

Apesar de uma diversidade de estudos sobre evapotranspiração, o Litoral Norte Paraibano ainda é muito pobre de dados nessa linha, mas com o avanço brando mais consistente de pesquisas nessa região pode-se ocasionar enormes contribuições no aspecto relacionado ao meio ambiente e o desenvolvimento dos estudos agrometeorológicos.

---

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Dados

Os valores diários de entrada, utilizados no desenvolvimento do presente trabalho são:

- Velocidade do vento a 10 m
- Temperaturas máxima, mínima e média do ar
- Umidade relativa do ar
- Irradiação solar global
- Pressão atmosférica
- Dia Juliano
- Latitude, longitude e altitude

Os dados anteriores, com exceção dos quatro últimos, foram coletados através da Plataforma de Coleta de Dados (PCD) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A PCD está instalada na Fazenda Capim II de propriedade da Destilaria Miriri S.A., localizada no município de Capim - PB (6,94° S; 35,12° W; 103 m). O período de coleta abrange de 01 de outubro de 2005 a 31 de março de 2008, os quais foram registrados em intervalos de 3 horas.

Outros dados agregados a pesquisa, correspondem ao tanque Classe A existente na região de estudo que foram usados para cálculos de irrigação durante o período citado anteriormente, os mesmos foram disponibilizados pela própria destilaria.

---

## 4.2. Estação meteorológica

De acordo com CPTEC/INPE, a estação meteorológica automática, modelo 555ES, usada na pesquisa possui retransmissão pelos satélites SCD (Satélite de Coleta de Dados) e CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite) e processamento pelo próprio Centro. Os satélites SCD são usados para a coleta de dados ambientais, principalmente para os setores meteorológico, hidrológico, energético e agrícola. Já os satélites da série CBERS são voltados ao sensoriamento remoto através de imagens digitais.

De acordo ao CPTEC a PCD é munida de vários sensores, tais como:

- Sensor ultra-sônico de vento, que determina a direção e a velocidade horizontal do vento. Possui um circuito eletrônico com um micro-controlador que captura e processa os sinais e realiza comunicação serial com a PCD. Esse sensor possui um arranjo de três transdutores ultra-sônicos igualmente espaçados no plano horizontal, formando um triângulo equilátero, assim medindo o tempo de trânsito, isto é, o tempo que a onda de ultra-som leva para se deslocar de um transdutor para o outro. O tempo de trânsito é medido em ambas as direções, resultando os tempos de trânsito direto e reverso. O tempo de trânsito depende da velocidade do vento ao longo do caminho da onda de ultra-som.



**Figura 9** - Sensor ultra-sônico da PCD instalada no município de Capim - PB.

- Sensores de temperatura e umidade relativa do ar, este ajuste de sensores foi projetado para aplicações meteorológicas e seus respectivos elementos sensoriais estão localizados dentro de um único envoltório protegido por um filtro poroso, o qual garante que ambos estejam mostrando as mesmas condições e protegidos contra poeira e água. O sensor de temperatura do ar é um resistor de platina que contém uma calibração estável entre resistência elétrica e temperatura. As variações de resistência são medidas por um circuito eletrônico que apresenta em sua saída uma tensão contínua com 1,0 V representando 70°C e 0 (zero) V representando 30°C. Já o sensor de umidade relativa do ar é um filme higroscópico posicionado entre dois eletrodos, constituindo um capacitor de capacitância que depende da umidade absorvida pelo filme higroscópico, pois o mesmo se torna o dielétrico do capacitor. A capacitância medida é convertida numa tensão contínua com correção automática, onde a saída de tensão é 0 (zero) V representa 0% de umidade relativa e 1,0 V representa 100%.



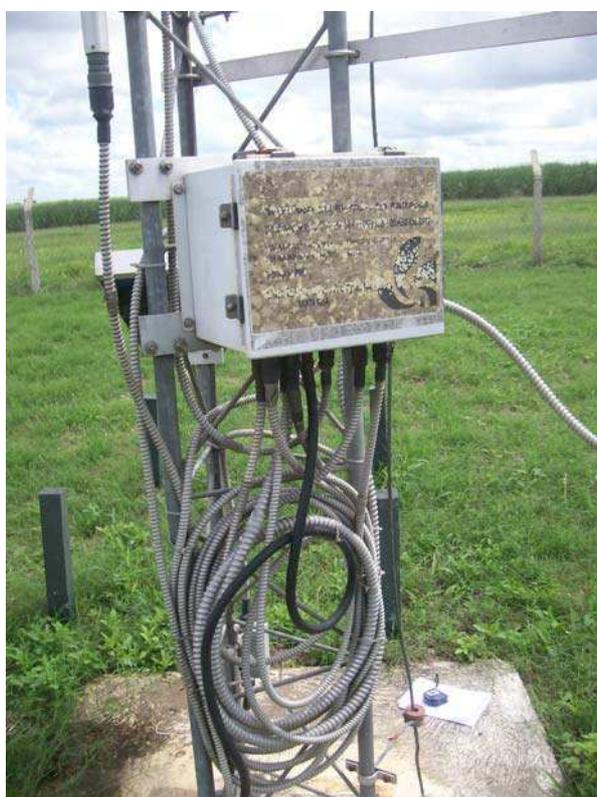
**Figura 10** - Sensores de temperatura e umidade relativa do ar da PCD instalada no município de Capim - PB.

- Sensor de radiação solar global funciona fornecendo uma corrente elétrica proporcional a radiação solar recebida do hemisfério centrado na direção perpendicular ao eixo de montagem do dispositivo sensor. Esse componente é uma junção semicondutora p-n, formada por um material com deficiência de elétrons - semicondutor n, e outro material com excesso de elétrons semicondutor p. Quando a radiação solar incidente à junção semicondutora p-n atinge um nível de energia capaz de ionizar os átomos, uma corrente elétrica proporcional a esta radiação é produzida nos terminais da junção semicondutora p-n. O sensor é calibrado para medir a radiação solar total recebida, ou seja, a radiação direta e difusa.



**Figura 11** - Sensor de radiação solar global da PCD instalada no município de Capim - PB.

- Sensor de pressão atmosférica o funcionamento desse componente baseia-se na variação da capacitância de uma cápsula de cerâmica. A deformação simétrica da cápsula de cerâmica é proporcional à pressão a que está submetida. Eletrodos de ouro embebidos no interior da cápsula formam o capacitor variável. Quando a pressão aumenta, os eletrodos se aproximam um do outro, aumentando a capacitância. Esse sensor é capaz de medir a pressão de qualquer gás ou líquido compatível com o elemento sensorial, o mesmo tem aquecimento instantâneo e resposta rápida. Pode ser montado em qualquer orientação: vertical ou horizontal é montado no interior na estrutura da PCD, através de tubo plástico, com um orifício externo onde é realizada a tomada de pressão atmosférica.



**Figura 12** – Estrutura da PCD onde é colocado o sensor de pressão atmosférica.

Processaram-se todos os valores de entrada, dados secundários e as estimativas de evapotranspiração de referência através de planilhas do software Excel<sup>®</sup>. Os métodos usados na pesquisa para estimar a ETo estão citados na próxima seção desse trabalho.

---

### 4.3. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo)

#### 4.3.1. Método de Penman (EToP)

De acordo Doorenbos & Pruitt (1997) a equação original de Penman (1948) possui dois termos importantes, o aerodinâmico e o energético e esse método é um dos mais empregados, onde a mesma estima a evaporação da água e a evapotranspiração da grama irrigada segundo:

$$EToP = \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot Rn \right] + \left[ \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot Ea \right] \quad (1)$$

Em que EToP (mm dia<sup>-1</sup>),  $\Delta$  é a inclinação da curva de saturação do vapor da água em kPa °C<sup>-1</sup>,  $\gamma$  é o coeficiente psicrométrico em kPa °C<sup>-1</sup>, Rn é o saldo de radiação convertido em mm.dia<sup>-1</sup> e Ea é o termo aerodinâmico convertido em mm dia<sup>-1</sup>.

O procedimento de cálculo de todas as variáveis da equação (1) é apresentado a seguir.

**a)**  $\Delta$  (inclinação da curva de saturação do vapor da água)

$$\Delta = 4908 \cdot \frac{es}{(T + 237,3)^2} \quad (2)$$

Em que es é a pressão de saturação do vapor em kPa e T é a temperatura média em °C.

**b)** es (pressão de saturação do vapor)

$$es = \frac{e(Tx) + e(Ti)}{2} \quad (3)$$

Em que e(Tx) e e(Ti) são pressões de saturação do vapor à temperatura, máxima e mínima, respectivamente, ambas em kPa.

c)  $e(T_x)$  e  $e(T_i)$  (pressões de saturação do vapor à temperatura máxima e mínima)

$$e(T_*) = 0,611 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T_*}{T_* + 237,3}\right) \quad (4)$$

Na equação (4) o  $T_*$  representa  $T_x$  ou  $T_i$ , ambos em °C.

d)  $y$  (coeficiente psicrométrico)

$$y = 0,665 \times 10^{-3} \cdot P \quad (5)$$

Em que  $P$  é a pressão atmosférica em kPa; vale salientar que, a PCD fornece o valor da pressão atmosférica em mb, portanto o mesmo é multiplicado pelo fator 0,1.

e)  $E_a$  (termo aerodinâmico)

$$E_a = f(U) \cdot (e_s - e) \quad (6)$$

Em que  $f(U)$  é função da velocidade do vento e a nomenclatura  $(e)$  representa a pressão real do vapor em kPa.

f)  $e$  (pressão real do vapor)

$$e = e_s \cdot \left(\frac{UR}{100}\right) \quad (7)$$

UR é a umidade relativa média do ar.

g)  $f(U)$  (função da velocidade)

$$f(U) = 6,43 \cdot (1 + 0,526 \cdot U_2) \quad (8)$$

A função (8) derivou-se de  $f(U) = m \cdot (a + b \cdot U_2)$ , onde  $a$  e  $b$  são fatores adimensionais,  $m$  é dado em  $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$  e  $U_2$  é a velocidade do vento a 2 m em  $\text{m s}^{-1}$ , porém a PCD fornece o valor da

velocidade do vento a 10 m ( $U_{10}$ ) de altura. De acordo com Allen et al. (1998) a  $U_{10}$  é convertida para ( $U_2$ ) ambas em  $m\ s^{-1}$ , através da relação a seguir:

**h)**  $U_2$  (conversão da velocidade do vento a 10 m para 2 m)

$$U_2 = U_{10} \cdot \frac{4,87}{\ln 672,58} \quad (9)$$

**i)**  $Rn$  (saldo de radiação)

$$Rn = Rns - Rnl \quad (10)$$

O  $Rns$  é o saldo de radiação de ondas curtas e o  $Rnl$  é o saldo de radiação de ondas longas, ambos em  $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ .

**j)**  $Rns$  (saldo de radiação de ondas curtas)

$$Rns = (1 - \alpha) \cdot Rs \quad (11)$$

Em que  $Rs$  é a radiação solar global em  $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$  e  $\alpha$  é o coeficiente de reflexão ou albedo que de acordo com Allen et al. (1998) para grama hipotética assume-se  $\alpha = 0,23$ .

**k)**  $Rnl$  (saldo de radiação de ondas longas)

$$Rnl = \sigma \cdot \left[ \frac{T_x^4 + T_i^4}{2} \right] \cdot (0,34 - 0,14\sqrt{e}) \cdot \left[ 1,35 \cdot \frac{Rs}{Rso} - 0,35 \right] \quad (12)$$

A nomenclatura  $\sigma$  representa a constante de Stefan-Boltzann que corresponde a  $4,903 \times 10^{-9}$   $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ , as temperaturas são dadas em kelvin e  $Rso$  é a radiação solar em dias sem nebulosidade em  $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ .

**l)** Rso (radiação solar em dias sem nebulosidade)

$$R_{so} = (0,75 + 2 \times 10^{-5} \cdot z) R_a \quad (13)$$

Onde  $z$  é a altitude em m e  $R_a$  é a radiação no topo da atmosfera em  $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ .

**m)**  $R_a$  (radiação no topo da atmosfera)

$$R_a = \left( \frac{24 \cdot 60}{\pi} \right) \cdot G_{sc} \cdot dr \cdot [W_s \cdot \text{sen}(\phi) \cdot \text{sen}(\delta) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \text{sen}(W_s)] \quad (14)$$

De acordo Varejão-Silva (2001) e Oliveira (2007),  $W_s$  é o ângulo horário do pôr do sol em rad,  $\phi$  é a latitude dada em rad,  $\delta$  é a declinação solar em rad,  $dr$  é a distância relativa Terra – Sol e  $G_{sc}$  é a constante solar que assume o valor de  $0,0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$ . A latitude é expressa em radiano positivo para o hemisfério norte e negativo para o hemisfério sul (Allen et al., 1998).

**n)**  $dr$  (distância relativa Terra – Sol)

$$dr = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot J}{365}\right) \quad (15)$$

Onde  $J$  é dia Juliano.

**o)**  $W_s$  (ângulo horário do por do sol)

$$W_s = \arccos[-(\tan \phi)(\tan \delta)] \quad (16)$$

**p)**  $\delta$  (declinação solar)

$$\delta = 0,409 \cdot \text{sen}\left[\left(\frac{2\pi \cdot J}{365}\right) - 1,39\right] \quad (17)$$

## 4.3.2. Método de Penman – Monteith (EToPM)

### 4.3.2.1. Demonstrativo do método

De acordo com Collischonn (2007) as equações para cálculo da evapotranspiração (ET) são do tipo empírico ou de base física. A principal equação da ET de base física é a equação de Penman- Monteith, representada na equação (18)

$$\lambda \cdot ET = \left[ \frac{\Delta \cdot (R_N - G) + \rho_a \cdot c_p \cdot \frac{(es - e)}{r_a}}{\Delta + \gamma \cdot \left( 1 + \frac{r_s}{r_a} \right)} \right] \quad (18)$$

Em que ET é a taxa de evaporação da água é dada em  $m \ s^{-1}$ ,  $\lambda$  é o calor latente de vaporização em  $MJ \ kg^{-1}$ ,  $\Delta$  é a inclinação da curva de saturação do vapor da água em  $kPa \ ^\circ C^{-1}$ ,  $R_N$  é o saldo de radiação em  $MJ \ m^{-2} \ s^{-1}$ ,  $G$  é o fluxo de calor no solo em  $MJ \ m^{-2} \ s^{-1}$ ,  $\rho_a$  é a massa específica do ar em  $kg \ m^{-3}$ ,  $c_p$  é o calor específico do ar à pressão constante em  $MJ \ kg^{-1} \ ^\circ C^{-1}$ ,  $es$  é a pressão de saturação do vapor dada em kPa,  $e$  é a pressão real de vapor de água no ar em kPa,  $\gamma$  é a constante psicrométrica em  $kPa \ ^\circ C^{-1}$ ,  $r_s$  é a resistência superficial da vegetação em  $s \ m^{-1}$  e  $r_a$  é a resistência aerodinâmica em  $s \ m^{-1}$ .

Em maio de 1990 foi recomendado pela FAO a adaptação desse método para um padrão de evapotranspiração de referência (ETo), onde passaria a considerar, a resistência estomática no valor de  $70 \ s \ m^{-1}$ , a altura da grama em  $0,12 \ m$ , o albedo constante, de  $0,23$ , que se assemelha à taxa de evapotranspiração de uma extensa superfície de relva verde, de altura uniforme, em crescimento ativo, permitindo toda área estar sombria e sem carência hídrica (Allen, 1989; Smith, 1991). Derivando-se assim da equação (18) a equação (19).

$$EToPM = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_N - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot U_2 \cdot (es - e)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (19)$$

Observa-se que a expressão  $\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)$  da equação (19) deriva da expressão  $\Delta + \gamma \cdot \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)$  da equação (18). De acordo a FAO-56,  $r_s$  é a resistência superficial da vegetação e é dada por:

$$r_s = \frac{r_l}{IAF_{ativo}} \quad (20)$$

Onde  $r_l$  é a resistência estomática na folha bem iluminada que possui valor médio em relação a uma única folha de  $100 \text{ s m}^{-1}$  sob circunstâncias ideal de campo,  $IAF_{ativo}$  representa o índice de área foliar ativo, ou seja, índice da área da folha que contribui ativamente a transferência de vapor para a superfície (adimensional), que pode ser calculado através da equação (21) (Allen et al., 1989).

$$IAF_{ativo} = 0,5 \cdot IAF \quad (21)$$

Em que  $IAF$  é o índice de área foliar de uma cultura específica, onde:

$$IAF = 24 \cdot h \quad (22)$$

Em que  $h$  é a altura média da cultura, no caso da grama  $0,12\text{m}$ , sendo assim  $r_s$  se apresenta como:

$$r_s = \frac{100}{0,5 \cdot 24 \cdot 0,12} \cong 70 \text{sm}^{-1}$$

A resistência aerodinâmica ( $r_a$ ) é dada pela equação (23).

$$r_a = \frac{208}{U_2} \quad (23)$$

Onde  $U_2$  representa a velocidade do vento a 2 m de altura em  $\text{m s}^{-1}$ .

Portanto:

$$\Delta + \gamma \left( 1 + \frac{r_s}{r_a} \right) \Rightarrow \Delta + \gamma \left[ 1 + \frac{70}{\left( \frac{208}{U_2} \right)} \right] \Rightarrow \Delta + \gamma (1 + 0,34.U_2) \quad (I)$$

Em que a expressão (I) é dada em kPa °C<sup>-1</sup>.

Já a expressão  $\Delta(R_N - G)$  da equação (18) se apresenta com o fator 0,408 na equação (19). De acordo a FAO-56,  $R_N$  e  $G$  representam energia disponível por unidade de área expressadas em MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, para convertê-las em mm dia<sup>-1</sup> é usado o mencionado fator de conversão, como  $\Delta$  é dado em kPa °C<sup>-1</sup>, logo:

$$0,408.\Delta.(R_N - G) \quad (II)$$

A expressão (II) é dada em mm dia<sup>-1</sup> kPa °C<sup>-1</sup>.

A expressão  $\left[ \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot U_2 \right]$  da equação (19) deriva da expressão  $\frac{c_p \rho_a}{r_a}$  da equação (18) e

como:

$$c_p = \frac{\gamma \cdot \varepsilon \cdot \lambda}{P} \quad (24)$$

Onde  $c_p$  é o calor específico do ar à pressão constante em MJ kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>,  $\varepsilon$  é a razão entre a massa molecular do vapor d'água e a massa molecular do ar seco de valor 0,622,  $\lambda$  é o calor latente de vaporização de valor 2,45 MJ kg<sup>-1</sup>,  $\gamma$  é o coeficiente psicrométrico em kPa °C<sup>-1</sup> e  $P$  é a pressão atmosférica em kPa.

A equação (25) determina a massa específica do ar ( $\rho_a$ ) em kg m<sup>-3</sup>, segundo a FAO-56 é:

$$\rho_a = \frac{P}{T_v \cdot R} \quad (25)$$

Em que  $R$  é a constante do gás ideal de valor 0,287 kJ kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> e  $T_v$  é a temperatura virtual em k.

A temperatura virtual é representada por:

$$T_v = 1,01.(T + 273) \quad (26)$$

Onde T é temperatura do ar em °C.

Logo, substituindo a equação (26) na equação (25) e isolando P na mesma, como também, na equação (24), podendo igualá-las:

$$c_p \cdot \rho_a = \frac{\gamma \cdot \varepsilon \cdot \lambda}{1,01.(T + 273).R} \quad (27)$$

Aplicando a equação (27) e (23) na expressão  $\frac{c_p \rho_a}{r_a}$ , obtêm-se:

$$\frac{c_p \cdot \rho_a}{r_a} = \frac{\gamma \cdot \varepsilon \cdot \lambda \cdot U_2}{1,01.(T + 273).R.208} = \frac{\gamma \cdot 0,622 \cdot 2,45 \cdot U_2}{1,01.(T + 273) \cdot 0,287 \cdot 208} = \frac{\gamma \cdot 1,524 \cdot U_2}{60,3.(T + 273)} \quad [\text{em MJ m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ s}^{-1}]$$

Para converter a expressão em MJ.m<sup>-2</sup>.°C<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>, aplica-se o fator de conversão 86400, então:

$$\frac{c_p \cdot \rho_a}{r_a} = \frac{\gamma \cdot 1,524 \cdot U_2}{60,3.(T + 273)} \cdot 86400 = \frac{\gamma \cdot 2183,6 \cdot U_2}{(T + 273)} \quad [\text{em MJ m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ dia}^{-1}]$$

Usando o fator de conversão 0,408, transformando MJ m<sup>-2</sup> °C<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> para mm °C<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>.  
Consegue-se:

$$\frac{c_p \cdot \rho_a}{r_a} = \frac{\gamma \cdot 2183,6 \cdot U_2}{(T + 273)} \cdot 0,408 \Leftrightarrow \frac{c_p \cdot \rho_a}{r_a} \cong \frac{\gamma \cdot 900 \cdot U_2}{(T + 273)} \quad [\text{em mm } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ dia}^{-1}] \quad (\text{III})$$

Analisando a equação (19), resta a expressão a seguir:

$$(es - e) \tag{IV}$$

Que representa o déficit de pressão de vapor do ar para a altura de referência, em kPa.

Então fazendo uma analogia da equação (19) com as expressões (I), (II), (III) e (IV) e suas respectivas unidades, teremos a unidade final da EToPM.

$$EToPM = \frac{0,408.\Delta.(R_N - G) + y.\frac{900}{T + 273}.U_2.(es - e)}{\Delta + y.(1 + 0,34.U_2)}$$

$$EToPM = \frac{(II) + (III).(IV)}{(I)} = \left[ \frac{\left( \frac{mm.kPa}{dia.^{\circ}C} \right) + \left( \frac{mm}{dia.^{\circ}C} \cdot \frac{kPa}{1} \right)}{\left( \frac{kPa}{^{\circ}C} \right)} \right] \Leftrightarrow EToPM = [mmdia^{-1}]$$

#### 4.3.2.2. Estimativa através do método de Penman – Monteith (EToPM)

Conforme a seção anterior desse trabalho a equação (19) representa o método de estimativa da evapotranspiração de referência através da equação de Penman-Monteith.

$$EToPM = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_N - G) + y \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot U_2 \cdot (e_s - e)}{\Delta + y \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)}$$

Em que EToPM é a evapotranspiração de referência em mm.dia<sup>-1</sup>,  $\Delta$  é a inclinação da curva de saturação do vapor no ponto correspondente a temperatura do ar em kPa °C<sup>-1</sup> (equação 2),  $R_N$  é o saldo de radiação em MJ m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> (equação 10),  $y$  é o coeficiente psicrométrico em kPa °C<sup>-1</sup> (equação 5),  $U_2$  é a velocidade do vento a 2 m de altura do solo em m s<sup>-1</sup>,  $T$  é a temperatura do ar em °C,  $e_s$  é a pressão de saturação do vapor em kPa (equação 3), a pressão real do vapor se apresenta por  $(e)$  em kPa (equação 7) e  $G$  é a densidade do fluxo de calor no solo expresso em MJm<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>.

Conforme a FAO-56, para períodos diários, o fluxo de calor no solo é considerado relativamente pequeno podendo ser ignorado, sendo assim:

$$G_{\text{dia}} \approx 0$$

#### 4.3.3. Método de Hargreaves e Samani (EToHS)

A estimativa da evapotranspiração pelo método de Hargreaves e Samani é feita a partir da temperatura do ar. Na falta dos dados de umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, a equação a seguir pode ser usada (Schirmbeck, 2005):

$$EToHS = 0,0023 \cdot Kt \cdot (T + 17,8) \cdot (\sqrt{T_x - T_i}) \cdot Ra \quad (28)$$

EToHS é a evapotranspiração de referência dada em mm dia<sup>-1</sup>,  $T$  é a temperatura do ar em °C,  $Ra$  é a radiação solar no topo da atmosfera (equação 14) em MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, onde o resultado de  $Ra$  é convertido para mm dia<sup>-1</sup> pelo fator 0,408 (Oliveira, 2007). O  $Kt$  é o coeficiente empírico que é adotado em 0,162 para regiões continentais (Conceição e Mandelli, 2005).

---

#### 4.3.4. Método de Linacre (EToL)

O método de Linacre é um método empírico sugerido para a estimativa da evapotranspiração de referência e é aplicável por ser simples e de fácil uso pelo motivo de requerer apenas dados de temperatura, altitude e latitude do lugar (Linacre, 1977):

$$EToL = \frac{700 \cdot \frac{T_{NM}}{100 - \phi} + 15 \cdot (T - T_d)}{(80 - T)} \quad (29)$$

Em que a EToL é a evapotranspiração de referência em mm dia<sup>-1</sup>,  $\phi$  é a latitude em graus,  $T_{NM}$  é temperatura média do ar ao nível do mar,  $T_d$  é a temperatura do ponto de orvalho e  $T$  é a temperatura do ar, todas as temperaturas são em °C.

a)  $T_{NM}$  (temperatura média do ar ao nível do mar)

$$T_{NM} = T + 0,006 \cdot z \quad (30)$$

Onde  $z$  é a altitude em m e  $T$  é a temperatura do ar em °C.

b)  $T_d$  (temperatura do ponto de orvalho)

$$T_d = \frac{237,3 \cdot \ln\left(\frac{es}{0,611}\right)}{17,27 - \ln\left(\frac{es}{0,611}\right)} \quad (31)$$

Em que  $es$  é a pressão de saturação do vapor (equação 3) em kPa.

---

#### 4.3.5. Método de Priestley – Taylor (EToPT)

A estimativa da evapotranspiração de referência feita através do método de Priestley-Taylor (1972) compõe-se em um ajustamento do método de Penman, onde permanece o saldo de radiação, ordenado por um fator de correção ( $\alpha$ ) denominado como parâmetro de Priestley-Taylor.

$$EToPT = \frac{\alpha \cdot \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) R_N - G}{\lambda} \quad (32)$$

Em que EToPT é evapotranspiração de referência em ( $\text{kg m}^{-2} \text{ dia}^{-1} = \text{mm dia}^{-1}$ ),  $R_N$  é o saldo de radiação (equação 10) em  $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ,  $\Delta$  é a inclinação da curva de saturação do vapor (equação 2) em  $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $\gamma$  é o coeficiente psicrométrico (equação 5) em  $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $\lambda$  é o calor latente de vaporização da água em  $\text{MJ kg}^{-1}$ ,  $G$  é a densidade do fluxo de calor do solo em  $\text{MJm}^2\text{dia}^{-1}$  (adotado como  $G_{\text{dia}} = 0$ ) e  $\alpha$  é o coeficiente que incorpora a energia potencial ao processo de evapotranspiração caracterizada do termo aerodinâmico, que de acordo com Priestley & Taylor (1972) pode variar de 1,08 a 1,34 de valor, mas a média usual é 1,26.

Em que  $\lambda$  (calor latente de vaporização da água) é representado por:

$$\lambda = 2,501 - (0,002361.T) \quad (33)$$

Onde T é a temperatura média em  $^\circ\text{C}$ .

#### 4.3.6. Método de Radiação (EToR)

O método de radiação possui o fator de correção ( $fr$ ) que depende da velocidade do vento ( $U_2$ ) e da umidade relativa média do ar ( $UR$ ).

$$EToR = fr \cdot \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \cdot R_s \quad (34)$$

Onde EToR é a evapotranspiração de referência dada em MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e convertida para mm dia<sup>-1</sup>,  $R_s$  é a radiação solar global incidente na superfície em MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>,  $\Delta$  é a inclinação da curva de saturação do vapor (equação 2) em kPa °C<sup>-1</sup>,  $\gamma$  é o coeficiente psicrométrico (equação 5) em kPa °C<sup>-1</sup>. O  $fr$  é o fator de correção que pode ser calculado através da equação (35) (Frevert et al., 1983).

(35)

$$fr = 1,066 - (1,28 \times 10^{-3} \cdot UR) + (4,5 \times 10^{-2} \cdot U_2) - (2 \times 10^{-4} \cdot UR \cdot U_2) - [3,15 \times 10^{-5} \cdot (UR)^2] - [1,103 \times 10^{-3} \cdot (U_2)^2]$$

#### 4.3.7. Método do tanque Classe A (EToA)

O método de estimar a evapotranspiração de referência através do tanque Classe A é clássico por decorrência de sua simplicidade, a partir da evaporação analisada no tanque (Doorenbos e Pruitt, 1977).

$$EToA = K_p \cdot Ev \quad (36)$$

O coeficiente do tanque Classe A é representado por  $K_p$  onde pode variar com as condições de contorno do tanque, velocidade do vento e umidade relativa do ar,  $Ev$  é a evaporação registrada no tanque em mm dia<sup>-1</sup>, assim a EToA é a evapotranspiração de referência expressa em mm dia<sup>-1</sup>. De acordo com Snyder (1992),  $K_p$  é dado por:

$$K_p = 0,482 + 0,024 \cdot \ln(F) - 0,000376 \cdot U + 0,0045 \cdot UR \quad (37)$$

Onde  $F$  representa a distância (tamanho) da área de bordadura, em m,  $U$  é a velocidade em Km dia<sup>-1</sup> e  $UR$  é a umidade relativa do ar em %.

#### 4.4. Método Estatístico

Métodos estáticos de correlação implicam na coleta de dados com o objeto de determinar se, e em que grau, existe a correlação entre duas amostras x e y.. Esse grau de correlação é apresentado pelo coeficiente de correlação, ou seja, se existir relação entre as variáveis estudadas significa que um grupo de dados está associado a outro grupo, onde procedimentos correlacionais são utilizados com o objetivo de estabelecer a confiabilidade e validade de certos tipos de estudos (Levin, 1987).

O coeficiente de correlação pode variar de 0 a +1 ou de 0 a -1. Silva & Barros Filho (2003) sugerem as correlações apresentadas na Tabela 3.

**Quadro 3 - Relação entre valores dos coeficientes e suas correlações.**

<b>Valores dos coeficientes</b>	<b>Correlação</b>
Igual a 1	Perfeita positiva
De 0,7 a 0,99	Muito forte positiva
De 0,3 a 0,69	Moderada positiva
De 0,01 a 0,29	Fraca positiva
Igual a zero	Nenhuma
De - 0,01 a - 0,29	Fraca negativa
De - 0,30 a - 0,69	Moderada negativa
De - 0,70 a - 0,99	Muito forte negativa
Igual a - 1	Perfeitamente negativa

Então as correlações positivas significam variáveis diretamente correlacionadas, enquanto que as correlações negativas representam variáveis inversamente correlacionadas e as nulas não se correlacionam.

Um dos métodos para identificar coeficientes de correlação é o de Pearson (r), onde o mesmo é mais preciso e indicado para número elevado de 30 dados coletados (Levin, 1987).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (38)$$

Onde  $x_i$  e  $y_i$  são os valores medidos de ambas as variáveis. As médias aritméticas de ambas as variáveis  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$ , são representadas por:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (39)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i \quad (40)$$

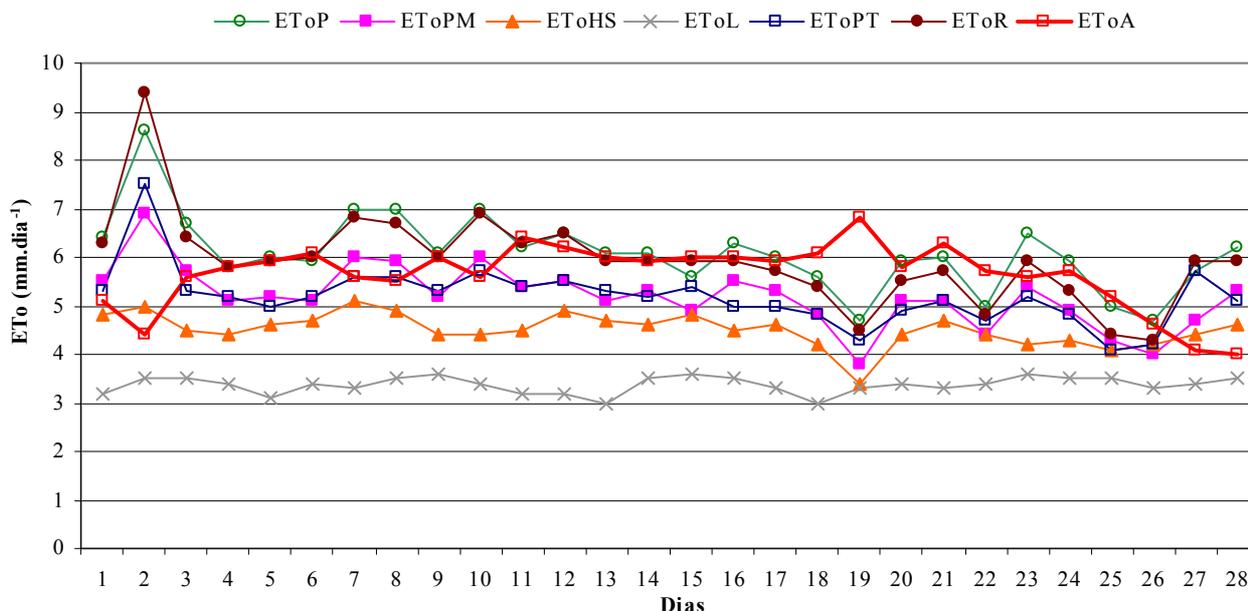
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Primavera de 2005

Foi adotado como referência para a estação da primavera de 2005 no município de Capim – PB, o mês de novembro.

#### 5.1.1. Evapotranspiração de referência na primavera de 2005

As estimativas da ETo foram calculadas pelos métodos de Penman (EToP), Penman-Monteith (EToPM), Hargreaves e Samani (EToHS), Linacre (EToL), Priestley-Taylor (EToPT), Radiação (EToR) e tanque Classe A (EToA) e as mesmas estão representadas na Figura 13.



**Figura 13** - Evapotranspiração de referência (ETo) na primavera de 2005 no município de Capim - PB.

Na Figura 13 estão representados os valores diários da evapotranspiração de referência (ETo). Nela observa-se que a EToP, EToPM e EToR tiveram variações e comportamentos bem semelhantes durante todo mês, variando ambas entre 3,8 e 9,4 mm dia<sup>-1</sup>, onde em especial o ajuste entre a EToP e EToPM ocorre pelo fato de, o método de Penman-Monteith ter sido desenvolvido com base na equação de Penman. A EToPT se apresenta com menor valor de 4,1 mm dia<sup>-1</sup> no vigésimo quinto dia do mês e o maior de 7,5 mm dia<sup>-1</sup> no segundo, esse último pelo fato de ser, no

período, o dia de maior acúmulo de radiação solar global. Por sua vez, a linha da EToL mostra que a mesma variou entre 3,0 e 3,6 mm dia<sup>-1</sup> e a EToHS oscilou praticamente entre 4,0 e 5,0 mm dia<sup>-1</sup>, o mesmo não aconteceu no décimo nono dia, em que o valor foi de 3,4 mm dia<sup>-1</sup>, pois no mês, foi o dia em que a temperatura máxima obteve seu menor valor. Já a EToA oscilou entre 4,0 e 6,8 mm dia<sup>-1</sup> sem praticamente nenhuma semelhança com as demais ETo.

### 5.1.2. Correlações dos métodos estimados na primavera de 2005

Na Tabela 1 estão dispostos os valores do coeficiente de correlação (r) da EToP, EToPM, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToA, na primavera de 2005 no município de Capim – PB.

**Tabela 1** - Variáveis independentes com a variável EToA na primavera de 2005 no município de Capim - PB.

Variáveis	r	Correlação
EToP-EToA	-0,22	fraca -
EToPM-EToA	-0,17	fraca -
EToHS-EToA	-0,19	fraca -
EToL-EToA	-0,27	fraca -
EToPT-EToA	-0,29	fraca -
EToR-EToA	-0,23	fraca -

Por intermédio da Tabela 1, verifica-se que as correlações entre todas as estimativas de evapotranspiração de referência com a EToA foram fracas na primavera de 2005 e que todos os coeficientes de correlação (r) obtiveram valores muito baixos; evidenciando-se a correlação entre EToPM e EToA que assumiu  $r = -0,17$ . Já Vescove e Turco (2005), comparando métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara – SP, constataram que a EToA com o método padrão da FAO (EToPM) no período inverno - primavera de 2005 obteve  $R^2 = 0,626$ .

Na Tabela 2 são apresentadas as correlações da EToP, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToPM.

**Tabela 2** - Variáveis independentes com a variável EToPM na primavera de 2005 no município de Capim - PB.

<b>Variáveis</b>	<b>r</b>	<b>Correlação</b>
EToP-EToPM	0,98	muito forte +
EToHS-EToPM	0,73	muito forte +
EToL-EToPM	0,15	fraca +
EToPT-EToPM	0,85	muito forte +
EToR-EToPM	0,94	muito forte +

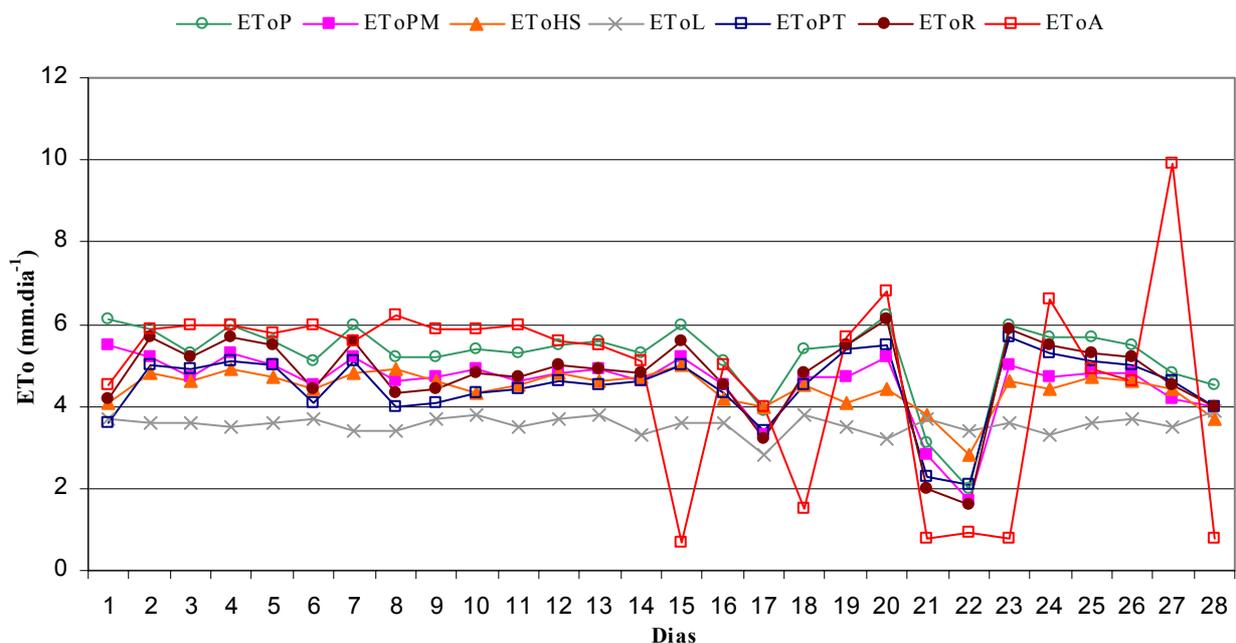
As correlações da EToPM com EToP, EToR e EToPT foram muito fortes. Analisando-se esta tabela, constata-se que a EToHS obteve  $r = 0,73$  e a EToL se faz fraca, ambas correlacionadas com a estimativa do método de Penman-Monteith. Outros resultados foram observados por Silva et al. (2005) usando dados da estação Meteorológica de Petrolina – PE, usando então o modelo de Sistema de Estimativa da Evapotranspiração – SEVAP, constatando que, entre os métodos de Hargreaves e de Penman-Monteith apresentaram coeficiente de determinação acima de 0,60 nos períodos diários sugerindo, assim, que na ausência de dados de insolação e de velocidade do vento, a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith pode ser substituída com razoável precisão pelo método de Hargreaves. Por outro lado, o método de Linacre não oferece estimativas confiáveis da evapotranspiração, em razão do baixo coeficiente de determinação com o método padrão da FAO.

## 5.2. Verão de 2006

Como referência a estação de verão de 2006 no município de Capim – PB foi adotado o mês de fevereiro.

### 5.2.1. Evapotranspiração de referência no verão de 2006

Na Figura 14 são representas as estimativas da ETo calculadas pelos métodos de Penman (EToP), Penman-Monteith (EToPM), Hargreaves e Samani (EToHS), Linacre (EToL), Priestley-Taylor (EToPT), Radiação (EToR) e tanque Classe A (EToA).



**Figura 14** - Evapotranspiração de referência (ETo) no verão de 2006 no município de Capim – PB.

Observa-se pela Figura 14 que a EToP e EToR praticamente se ajustaram durante todo mês de fevereiro de 2006, exceto no primeiro dia, devido no mesmo ter ocorrido o maior valor da variável velocidade do vento, que proporciona acréscimo no valor da estimativa do método de Penman em relação ao de Radiação e durante o período seus valores variam de 1,6 a 6,2 mm dia<sup>-1</sup>. A linha que representa a EToPM mostra que o menor valor foi de 1,7 mm dia<sup>-1</sup> e o maior de 5,5 mm dia<sup>-1</sup>, se ajustando muito bem com as duas estimativas anteriores. Já a EToPT se ajustou melhor com a EToR e sua variação foi de 2,1 a 5,7 mm dia<sup>-1</sup>, enquanto que a EToL e EToHS obtiveram o menor valor de 2,8 mm dia<sup>-1</sup> e os maiores valores 3,9 e 5,0 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente.

A EToA entre o primeiro e décimo quarto dia do mês teve oscilação de 4,5 a 6,2 mm dia<sup>-1</sup> e do décimo quinto ao último dia do mês, as oscilações se tornaram muito mais acentuadas, variando de 0,7 a 9,9 mm dia<sup>-1</sup>, constatando-se que nessa época ocorreram precipitações na região e isso possivelmente pode ter influenciado nos dados junto ao tanque Classe A.

### 5.2.2. Correlações dos métodos estimados no verão de 2006

Na Tabela 3 são dispostos os valores do coeficiente de correlação ( $r$ ) da EToP, EToPM, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToA no verão de 2006 no município de Capim – PB.

**Tabela 3** - Variáveis independentes com a variável EToA no verão de 2006 no município de Capim - PB.

<b>Variáveis</b>	<b>r</b>	<b>Correlação</b>
EToP-EToA	0,39	moderada +
EToPM-EToA	0,40	moderada +
EToHS-EToA	0,41	moderada +
EToL-EToA	-0,22	fraca -
EToPT-EToA	0,38	moderada +
EToR-EToA	0,40	moderada +

Os coeficientes de correlação entre a EToA e as demais ETo assumiram valores baixos, embora se observe que, algumas correlações se tornaram moderadas, essa talvez, seja a única pequena mudança em relação às correlações obtidas na primavera de 2005, mas ao mesmo tempo constata-se que a correlação com a EToL permanece fraca.

As correlações da EToP, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToPM, no verão de 2006 no município de Capim – PB, são representadas na Tabela 4.

**Tabela 4** - Variáveis independentes com a variável EToPM no verão de 2006 no município de Capim - PB.

<b>Variáveis</b>	<b>r</b>	<b>Correlação</b>
EToP-EToPM	0,99	muito forte +
EToHS-EToPM	0,82	muito forte +
EToL-EToPM	0,22	fraca +
EToPT-EToPM	0,81	muito forte +
EToR-EToPM	0,90	muito forte +

Entre a EToPM e as demais ETo, se destacam as correlações muito fortes, EToPM com EToP e EToR que obtiveram os dois maiores valores de  $r$ , iguais a 0,99 e 0,90, respectivamente. Observa-se, também, que a correlação EToPM com EToHS obteve-se  $r = 0,82$ . Já a correlação EToPM com EToL se destaca em ser a mais fraca; da mesma forma Henrique (2006) constatou que

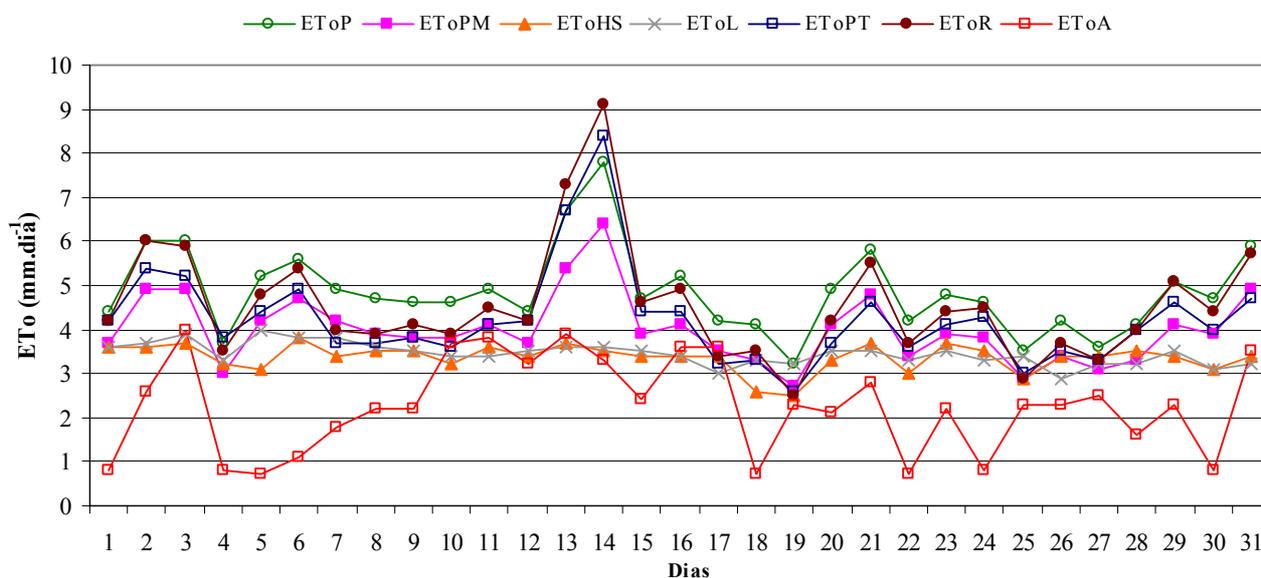
no verão de 2004 em Campina Grande – PB o pior ajuste com o método de Penman-Monteith foi o método de Linacre.

### 5.3. Outono de 2006

Na estação de outono de 2006 no município de Capim – PB é referenciado o mês de maio.

#### 5.3.1. Evapotranspiração de referência no outono de 2006

As representações das estimativas da ETo calculadas pelos métodos de Penman (EToP), Penman-Monteith (EToPM), Hargreaves e Samani (EToHS), Linacre (EToL), Priestley-Taylor (EToPT), Radiação (EToR) e tanque Classe A (EToA) estão na Figura 15.



**Figura 15** - Evapotranspiração de referência (ETo) no outono de 2006 no município de Capim – PB.

Para o outono de 2006 observa-se que as EToP, EToPT e EToR se ajustam muito bem entre si, destacando-se o ajuste um pouco melhor entre as ETo de Priestley-Taylor e Radiação, onde ambas assumiram o menor valor no décimo nono dia do mês, entorno de  $3,0 \text{ mm dia}^{-1}$  e o maior no décimo quarto com valor médio de  $8,5 \text{ mm dia}^{-1}$  e isso ocorre, pelo fato de serem respectivamente os dias do mês de menor e maior acumulo de radiação solar global, destacando-se o menor que obteve o valor de  $9,9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Segundo Henrique (2006), no outono de 2004 em Campina Grande – PB o menor valor observado foi de  $5,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  devido ao grande aparecimento de

nuvens carregadas com chuvas, pois o outono e inverno foram considerados épocas com chuvas em abundância na região.

A estimativa pelo método Penman- Monteith obteve  $2,7 \text{ mm dia}^{-1}$  como menor valor do mês e o maior  $6,4 \text{ mm dia}^{-1}$  e as linhas que representam EToL e EToHS mostram que as mesmas não se ajustam, onde a EToL variou entre  $3,0$  e  $4,0 \text{ mm dia}^{-1}$  durante todo mês e a EToHS entre  $2,5$  e  $3,8 \text{ mm dia}^{-1}$ . Já a EToA obteve oscilações muito acentuadas durante quase todo mês, variando os valores de  $0,7$  a  $4,0 \text{ mm dia}^{-1}$ , assim não se ajustando com nenhuma dos modelos de evapotranspiração de referência.

### 5.3.2. Correlações dos métodos estimados no outono de 2006

Os valores do coeficiente de correlação ( $r$ ) da EToP, EToPM, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToA no outono de 2006 no município de Capim – PB, são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5** - Variáveis independentes com a variável EToA no outono de 2006 no município de Capim - PB.

Variáveis	r	Correlação
EToP-EToA	0,41	moderada +
EToPM-EToA	0,41	moderada +
EToHS-EToA	0,34	moderada +
EToL-EToA	0,01	fraca -
EToPT-EToA	0,32	moderada +
EToR-EToA	0,37	moderada +

Das correlações entre a EToA e as demais estimativas, não se destaca nenhuma de maior representatividade, ou seja, todos os coeficientes de correlação tiveram valores baixos, embora tenham sido melhores do que na primavera de 2005. Oliveira et al. (2008), com o objetivo de avaliarem a evapotranspiração de referência (ETo) na bacia experimental do Riacho Gameleira - PE, utilizando-se lisímetro de pesagem hidráulica e vários métodos indiretos, constataram que o método do tanque Classe A superestimou os valores da ETo, comparados ao do lisímetro, como também, no resumo estatístico referente às equações de regressão linear e ao desempenho dos métodos de cálculos da evapotranspiração de referência em 115 observações diárias a EToA obteve um mau desempenho.

As correlações da EToP, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToPM, no outono de 2006 no município de Capim – PB são mostradas na Tabela 6.

**Tabela 6** - Variáveis independentes com a variável EToPM no outono de 2006 no município de Capim - PB.

<b>Variáveis</b>	<b>r</b>	<b>Correlação</b>
EToP-EToPM	1,00	muito forte +
EToHS-EToPM	0,58	moderada +
EToL-EToPM	0,52	moderada +
EToPT-EToPM	0,91	muito forte +
EToR-EToPM	0,96	muito forte +

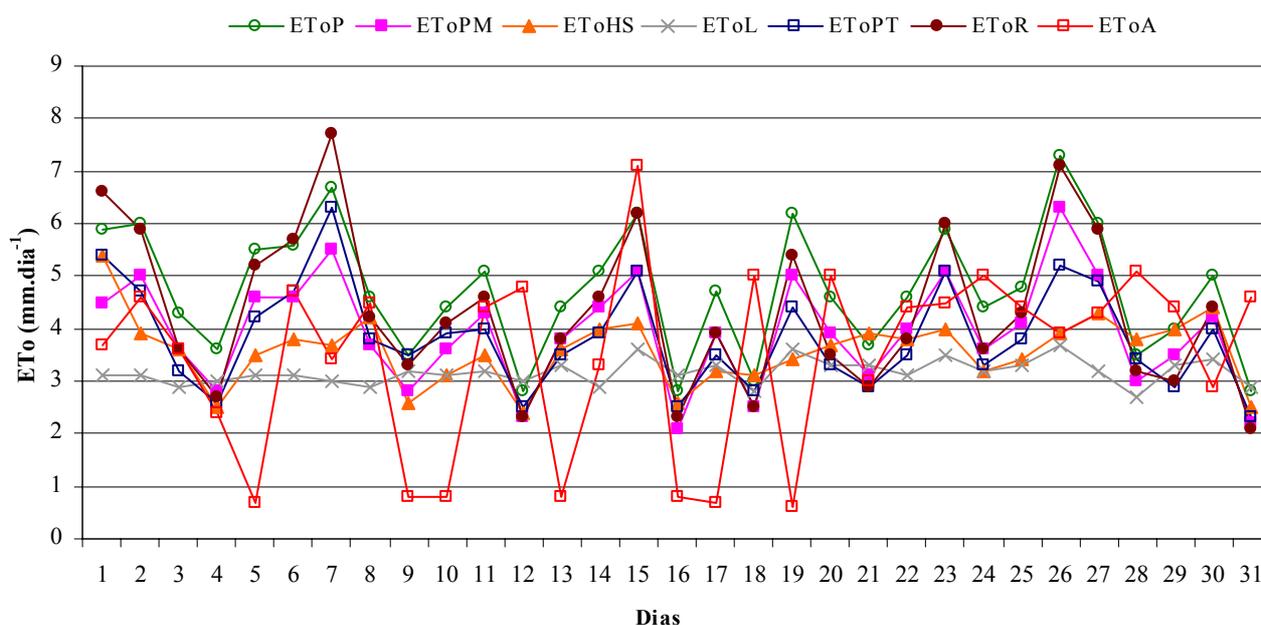
Constata-se que as correlações entre a EToPM com EToP, EToPT e EToR foram muito fortes no outono de 2006 no município de Capim – PB, com r igual a 1,00, 0,91 e 0,96, respectivamente; ao mesmo tempo é evidenciado que a correlação da EToPM com EToR em maio se tornou mais representativa. Da mesma forma, Oliveira e Carvalho (1998) realizaram estudo com o objetivo de se avaliar a correlação entre diferentes métodos utilizados na estimativa da evapotranspiração de referência nos municípios de Seropédica e Campos, RJ em relação ao método padrão (EToPM), e constataram que a EToR apresentou boa correlação, com valores de  $R^2$  iguais ou maiores que 0,95, permitindo a utilização da equação como forma de estimativa de ETo, nas duas localidades estudadas.

#### **5.4. Inverno de 2006**

Foi adotado como referência para a estação do inverno de 2006 no município de Capim – PB, o mês de agosto.

##### **5.4.1. Evapotranspiração de referência no inverno de 2006**

As estimativas da ETo foram calculadas pelos métodos de Penman (EToP), Penman-Monteith (EToPM), Hargreaves e Samani (EToHS), Linacre (EToL), Priestley-Taylor (EToPT), Radiação (EToR) e tanque Classe A (EToA) e as mesmas estão representadas na Figura 16.



**Figura 16** - Evapotranspiração de referência (ETo) no inverno de 2006 no município de Capim – PB.

Observa-se pela Figura 16 que a EToPT se ajustou melhor com a EToR, onde os menores valores obtidos foram 2,3 e 2,1 mm dia<sup>-1</sup> e os maiores 6,3 e 7,0 mm dia<sup>-1</sup>, concomitantemente. Também a EToPM e EToP se ajustam muito bem durante todo mês de agosto, onde respectivamente os maiores valores assumidos para ambas estimativas ocorreu no vigésimo sexto dia com 6,3 e 7,3 mm dia<sup>-1</sup> e os menores com 2,8 e 2,2 mm dia<sup>-1</sup> no décimo segundo, décimo sexto e trigésimo primeiro dia do referido mês. Mas, se observa pela linha que representa a EToHS, que para o inverno de 2006 esta estimativa não se ajusta com as demais, com uma variação média de 3,0 mm dia<sup>-1</sup>, onde o maior valor obtido acontece no primeiro dia do mês e o menor no décimo segundo e último. Da mesma forma, Henrique (2006) constatou que foram poucos os dias da estação de inverno de 2004 em Campina Grande que as linhas da ETo Hargreaves e Samani se ajustou com as estimativas analisadas.

A EToL do primeiro ao décimo quarto dia do mês variou um pouco acima ou abaixo de 3,0 mm dia<sup>-1</sup> e a partir do décimo quinto dia ao término do mês as oscilações se tornaram um tanto mais acentuadas, mostrando que a temperatura média do ar na região nesse período sofreu mais oscilações. Destaque-se, também, que a EToA nos primeiros vinte dias do mês se apresenta com variações bem marcantes, diminuindo mais o ritmo dessas oscilações nos últimos dez dias do mês; provavelmente, isso ocorre devido ao fato da precipitação acumulada variar muito de um dia para outro na região até o dia 21, onde obteve precipitação pluvial acumulada em 67 mm e já no final do

mês estando com 68 mm, ou seja, só acumulando 1 mm, mostrando que nos últimos dias praticamente as chuvas cessaram.

#### 5.4.2. Correlações dos métodos estimados no inverno de 2006

Na Tabela 7 são dispostos os valores do coeficiente de correlação ( $r$ ) da EToP, EToPM, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToA no inverno de 2006 no município de Capim – PB.

**Tabela 7** - Variáveis independentes com a variável EToA no inverno de 2006 no município de Capim - PB.

<b>Variáveis</b>	<b>r</b>	<b>Correlação</b>
EToP-EToA	0,10	fraca +
EToPM-EToA	0,12	fraca +
EToHS-EToA	0,31	moderada +
EToL-EToA	-0,09	fraca -
EToPT-EToA	0,12	fraca +
EToR-EToA	0,12	fraca +

Praticamente todas as correlações realizadas na estação de inverno de 2006 com a EToA foram fracas, não se diferenciando do que já foi analisado nas estações anteriores.

Na Tabela 8 as correlações da EToP, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToPM, no inverno de 2006 no município de Capim – PB são representadas.

**Tabela 8** - Variáveis independentes com a variável EToPM no inverno de 2006 no município de Capim - PB.

<b>Variáveis</b>	<b>r</b>	<b>Correlação</b>
EToP-EToPM	0,99	muito forte +
EToHS-EToPM	0,63	moderada +
EToL-EToPM	0,56	moderada +
EToPT-EToPM	0,90	muito forte +
EToR-EToPM	0,94	muito forte +

A EToPM correlacionada com as estimativas dos modelos, EToP, EToR e EToPT, obteve correlações muito fortes, alcançando valores de  $r$ , respectivos a 0,99, 0,94 e 0,90. As correlações da

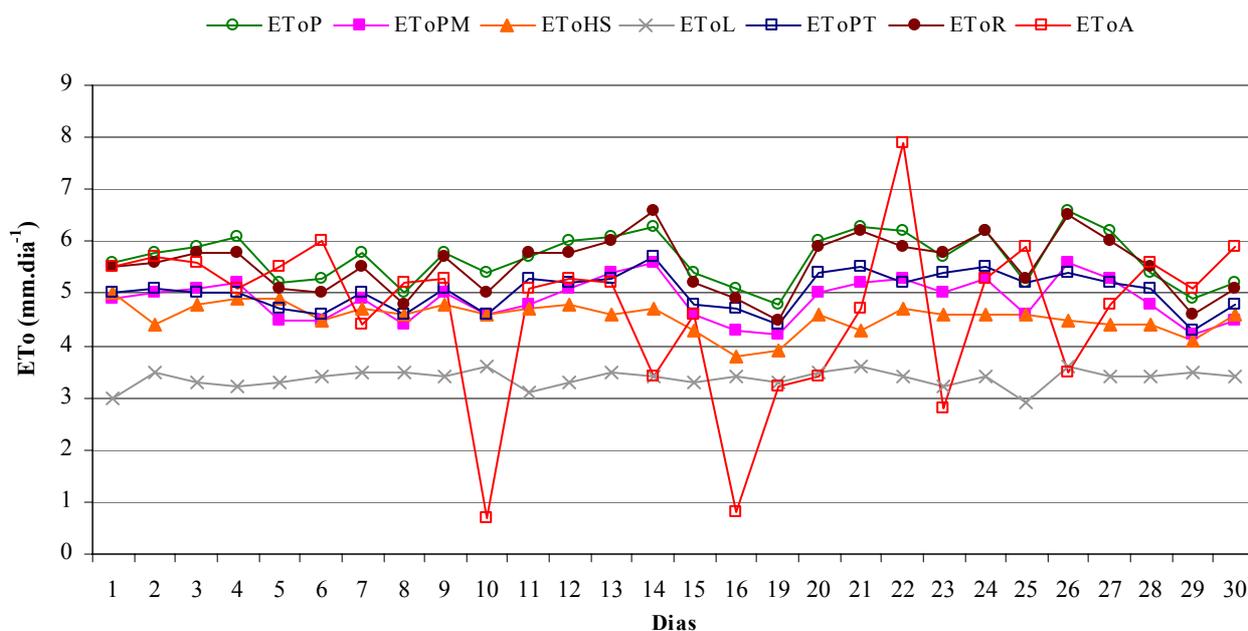
EToPM com EToHS e EToL, adquirem correlações moderadas com coeficientes de correlação ainda baixos, quando comparados aos obtidos pelas outras estimativas.

## 5.5. Primavera de 2006

Foi adotado como referência para estação de primavera de 2006 no município de Capim – PB, o mês de novembro.

### 5.5.1. Evapotranspiração de referência na primavera de 2006

A Figura 17 representa as estimativas calculadas pelos métodos de Penman (EToP), Penman-Monteith (EToPM), Hargreaves e Samani (EToHS), Linacre (EToL), Priestley-Taylor (EToPT), Radiação (EToR) e tanque Classe A (EToA) .



**Figura 17** - Evapotranspiração de referência (ETo) na primavera de 2006 no município de Capim – PB.

Constata-se pela Figura 17 que a EToPT e EToR se ajustam consideravelmente, onde o menor valor obtido no mês de novembro para as duas estimativas é em torno de 4,4 mm.dia<sup>-1</sup> e os maiores assumem valores iguais a 5,7 mm dia<sup>-1</sup> para EToPT e 6,6 mm dia<sup>-1</sup> para EToR. Nota-se também que, a EToPM varia em 1,4 mm dia<sup>-1</sup> e a EToP em 1,8 mm dia<sup>-1</sup> e ambas se ajustam de forma considerada.

As estimativas EToHS e EToL não se apresentam com nenhum ajuste com as demais, onde os menores valores são de 3,8 e 2,9 mm dia<sup>-1</sup> e maiores, 5,0 e 3,6 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Bem como na primavera de 2004 em Campina Grande – PB a variação da estimativa da evapotranspiração de referência pelo método Hargreaves e Samani variou aproximadamente entre 3,3 mm dia<sup>-1</sup> a 5,4 mm dia<sup>-1</sup> (Henrique, 2006). Por outro lado, evidencia-se que na primavera de 2006 no município de Capim - PB a EToA nos seis primeiros dias do mês oscilou entre 5,1 a 6,0 mm dia<sup>-1</sup> e do sétimo ao último dia do mês se tornaram mais acentuadas as variações, onde as mesma variam de 0,7 a 7,9 mm dia<sup>-1</sup>.

### 5.5.2. Correlações dos métodos estimados na primavera de 2006

A seguir, na Tabela 9 são representados os valores do coeficiente de correlação (r) da EToP, EToPM, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToA na primavera de 2006 no município de Capim – PB.

**Tabela 9** - Variáveis independentes com a variável EToA na primavera de 2006 no município de Capim - PB.

Variáveis	r	Correlação
EToP-EToA	0,12	fraca +
EToPM-EToA	0,16	fraca +
EToHS-EToA	0,42	moderada +
EToL-EToA	-0,25	fraca -
EToPT-EToA	0,09	fraca +
EToR-EToA	0,12	fraca +

A EToA obteve praticamente correlações fracas com todas as demais estimativas durante o mês de novembro de 2006, como também, pode se evidenciar que durante todo as estações do ano de 2006 esse quadro a princípio não foi mudado; a única correlação que se apresenta diferente de fraca é a com EToHS, que se apresenta moderada, mas com pouca representatividade.

Na primavera de 2006 no município de Capim – PB são representadas na Tabela 10, as correlações da EToP, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToPM.

**Tabela 10** - Variáveis independentes com a variável EToPM na primavera de 2006 no município de Capim - PB.

<b>Variáveis</b>	<b>r</b>	<b>Correlação</b>
EToP-EToPM	0,97	muito forte +
EToHS-EToPM	0,45	moderada +
EToL-EToPM	0,15	fraca +
EToPT-EToPM	0,86	muito forte +
EToR-EToPM	0,97	muito forte +

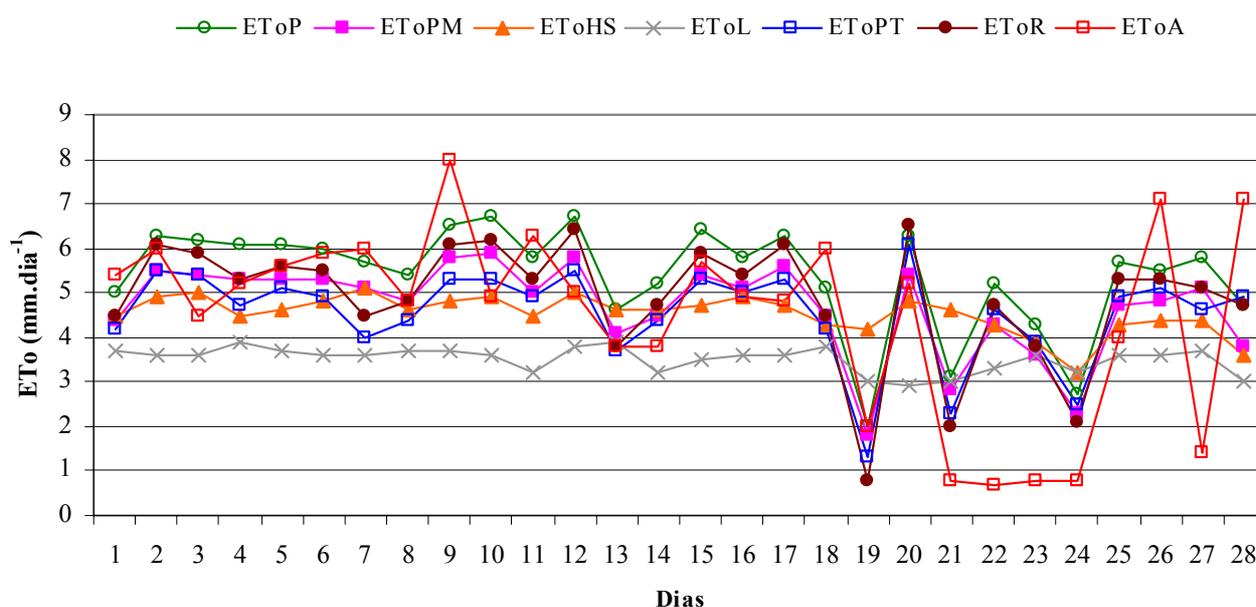
Observa-se que as correlações muito fortes foram as EToPM com EToP de valor  $r = 0,97$ , EToPM com EToR de valor  $r = 0,97$  e EToPM com EToPT de  $r = 0,86$ . Mostrando que, durante todo o ano de 2006 essa situação praticamente se manteve constante. Já a correlação EToPM com EToHS obteve  $r = 0,45$  e a EToPM com EToL o coeficiente de correlação assumiu o valor de  $0,15$ , ou seja, muito baixos comparados com os anteriores.

## 5.6. Verão de 2007

O mês de fevereiro foi adotado como referência para estação de verão de 2007 no município de Capim – PB.

### 5.6.1. Evapotranspiração de referência no verão de 2007

As estimativas foram calculadas pelos métodos de Penman (EToP), Penman-Monteith (EToPM), Hargreaves e Samani (EToHS), Linacre (EToL), Priestley-Taylor (EToPT), Radiação (EToR) e tanque Classe A (EToA) e as mesmas estão representadas na Figura 18.



**Figura 18** - Evapotranspiração de referência (ETo) no verão de 2007 no município de Capim – PB.

A EToPT e EToR se ajustam consideravelmente, obteve-se os menores valores no décimo nono dia do mês com valores de 1,3 e 0,8 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente, enquanto os maiores no dia seguinte com 6,1 e 6,5 mm dia<sup>-1</sup>, isso ocorre devido à radiação solar global acumulada variar de forma considerável entre os dias citados anteriormente. As linhas que representam EToP e EToPM, mostram que as duas estimativas se ajustam muito bem, onde o menor valor obtido foi de 1,8 mm dia<sup>-1</sup> para a EToPM e a maior para a EToP com 6,7 mm dia<sup>-1</sup>, nota-se também que, ambas se ajustam com EToPT e EToR. Logo, a EToL oscilou próximo de 3,0 mm dia<sup>-1</sup> e um pouco abaixo de 4,0 mm.dia<sup>-1</sup> o que mostra novamente que a temperatura do ar na região sofre oscilações muito pequenas, enquanto a EToHS variou entre 3,2 mm.dia<sup>-1</sup> e próximo de 5,0 mm.dia<sup>-1</sup>, onde as mesmas não se ajustam com as demais estimativas. Nessa estação, verifica-se que a EToA obteve seu menor valor entorno de 0,8 mm dia<sup>-1</sup> do vigésimo primeiro ao vigésimo quarto dia, onde se salienta que, nesses quatro dias a precipitação pluvial acumulada obteve o valor de 26,25 mm .

### 5.6.2. Correlações dos métodos estimados no verão de 2007

Os valores do coeficiente de correlação (r) da EToP, EToPM, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToA no verão de 2007 no município de Capim – PB, são dispostos na Tabela 11.

**Tabela 11** - Variáveis independentes com a variável EToA no verão de 2007 no município de Capim - PB.

<b>Variáveis</b>	<b>r</b>	<b>Correlação</b>
EToP-EToA	0,62	moderada +
EToPM-EToA	0,63	moderada +
EToHS-EToA	0,41	moderada +
EToL-EToA	0,28	fraca +
EToPT-EToA	0,62	moderada +
EToR-EToA	0,63	moderada +

Verifica-se que, os valores dos coeficientes de correlação são pouco representativos, onde se destaca a correlação, EToA com EToL que obteve o menor valor, semelhantemente ao verão de 2006.

Na tabela 12 são representadas as correlações da EToP, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToPM, no verão de 2007 no município de Capim – PB.

**Tabela 12** - Variáveis independentes com a variável EToPM no verão de 2007 no município de Capim - PB.

<b>Variáveis</b>	<b>r</b>	<b>Correlação</b>
EToP-EToPM	0,99	muito forte +
EToHS-EToPM	0,72	muito forte +
EToL-EToPM	0,53	moderada +
EToPT-EToPM	0,91	muito forte +
EToR-EToPM	0,96	muito forte +

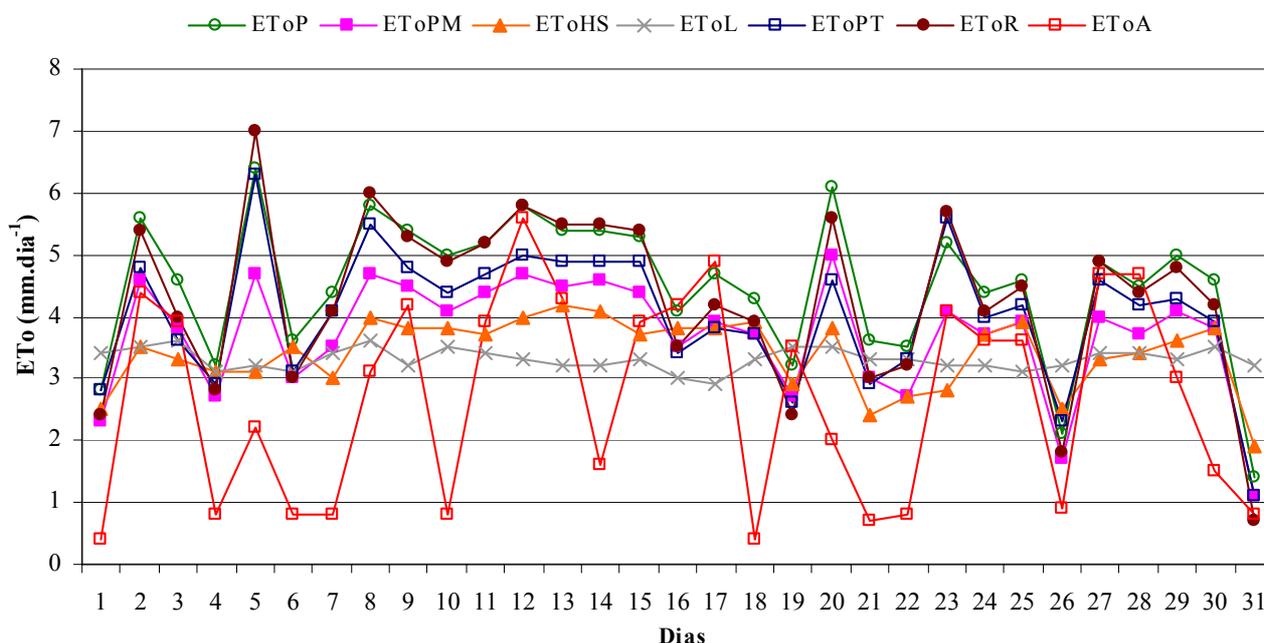
As correlações, EToPM com EToP, EToPT e EToR, obtiveram valores de r acima de 0,91, onde se enfatiza a correlação EToPM com EToHS que obteve o coeficiente de correlação igual a 0,72, caso semelhante ocorreu no verão de 2006, onde essa correlação se tornou um pouco mais considerada. Mandelli et al. (2005), compararam valores estimados com as equações de Hargreaves e Samani e outras, com o método Penman-Monteith utilizando o coeficiente de desempenho, concluíram que os métodos de estimativa de ETo que empregam a radiação solar incidente apresentaram desempenho superiores aos que utilizam somente valores da temperatura do ar e que dentre os métodos que utilizam somente a temperatura do ar o de Hargreaves e Samani foi o que apresentou o melhor desempenho para o município de Bento Gonçalves, RS.

## 5.7. Outono de 2007

Foi adotado como referência para estação de outono de 2007 no município de Capim – PB, o mês de maio.

### 5.7.1. Evapotranspiração de referência no outono de 2007

As estimativas foram calculadas pelos métodos de Penman (EToP), Penman-Monteith (EToPM), Hargreaves e Samani (EToHS), Linacre (EToL), Priestley-Taylor (EToPT), Radiação (EToR) e tanque Classe A (EToA) e as mesmas estão representadas na Figura 19.



**Figura 19** - Evapotranspiração de referência (ETo) no outono de 2007 no município de Capim – PB.

As linhas que representam EToP, EToPT e EToR no mês de maio de 2007 mostram ajustes bem considerados entre as mesmas, como também com a EToPM. Onde o maior valor obtido nas três primeiras estimativas citadas ocorre no quinto dia do mês e o menor no último. Portanto, com o objetivo de realizar o estudo comparativo das equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência em comparação ao método universal padrão Penman-Monteith FAO, para as condições climáticas dos municípios de Sooretama, Cachoeiro de Itapemirim e Venda Nova do Imigrante, localizados respectivamente, nas regiões Norte, Sul e Serrana do Estado do Espírito Santo; Reis et al. (2007) constataram que os métodos de estimativa de ETo para as quatro escalas temporais estudadas os melhores resultados foram obtidos por Penman, Priestley-Taylor e Radiação.

A EToHS apresentou pequenos ajustes com a EToPM e seu maior valor apresentado no mês foi de 4,2 mm dia<sup>-1</sup>, enquanto o menor de 1,9 mm dia<sup>-1</sup>. Já a EToL variou em 0,7 mm dia<sup>-1</sup> sempre próximo da faixa de 3,3 mm dia<sup>-1</sup> e não se ajustando com as demais estimativas. Enquanto a EToA durante todo mês oscilou de forma muito acentuada, não se ajustando com nenhuma das estimativas e obtendo valor máximo e mínimo, iguais a 5,6 e 0,4 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente.

### 5.7.2. Correlações dos métodos estimados no outono de 2007

Na Tabela 13 estão dispostos os valores do coeficiente de correlação (r) da EToP, EToPM, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToA no outono de 2007 no município de Capim – PB.

**Tabela 13** - Variáveis independentes com a variável EToA no outono de 2007 no município de Capim - PB.

<b>Variáveis</b>	<b>r</b>	<b>Correlação</b>
EToP-EToA	0,52	moderada +
EToPM-EToA	0,54	moderada +
EToHS-EToA	0,46	moderada +
EToL-EToA	-0,05	fraca -
EToPT-EToA	0,49	moderada +
EToR-EToA	0,51	moderada +

Quase todas as correlações da EToA com as demais estimativas foram moderadas, mas com r obtendo valores não representativos. Ressaltando-se a correlação EToA com EToL em ser fraca com r = - 0,05.

As correlações da EToP, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToPM, no outono de 2007 no município de Capim – PB são representadas na tabela 14.

**Tabela 14** - Variáveis independentes com a variável EToPM no outono de 2007 no município de Capim - PB.

Variáveis	r	Correlação
EToP-EToPM	0,99	muito forte +
EToHS-EToPM	0,79	muito forte +
EToL-EToPM	0,20	fraca +
EToPT-EToPM	0,92	muito forte +
EToR-EToPM	0,96	Muito forte +

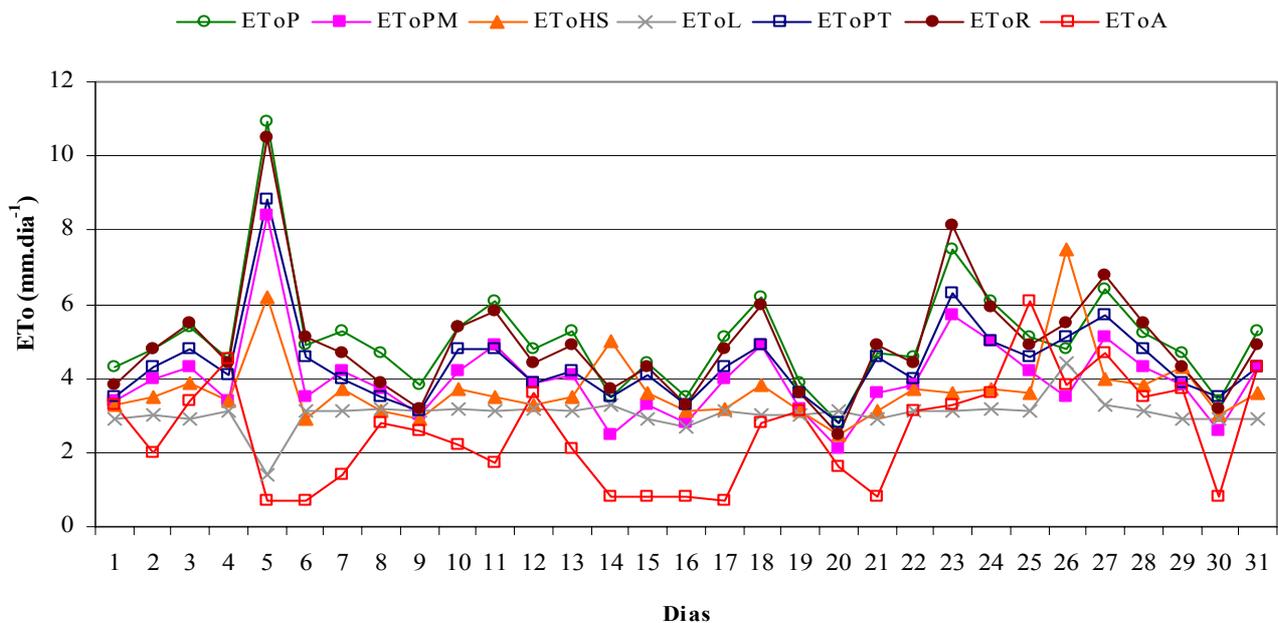
As correlações da EToPM com EToP, EToPT e EToR ficaram com valores de r em média de 0,95, justificando assim os ajustes apresentados na Figura 19. Enfatiza-se também a correlação da EToPM com EToHS que obteve  $r = 0,79$ . Já a correlação entre EToPM com EToL se faz fraca.

### 5.8. Inverno de 2007

Para estação de inverno de 2007 no município de Capim – PB, o mês de agosto foi adotado como referência.

#### 5.8.1. Evapotranspiração de referência no inverno de 2007

Penman (EToP), Penman-Monteith (EToPM), Hargreaves e Samani (EToHS), Linacre (EToL), Priestley-Taylor (EToPT), Radiação (EToR) e tanque Classe A (EToA) são as estimativas de evapotranspiração de referência, representadas na Figura 20.



**Figura 20** - Evapotranspiração de referência (ETo) no inverno de 2007 no município de Capim – PB.

As estimativas, EToP, EToPM, EToPT e EToR se ajustam de forma considerável, se destacando um pouco mais entre EToP e EToPM. Onde o valor mínimo obtido pelas estimativas citadas ocorre no vigésimo dia do mês, pois nessa data a radiação solar global acumulada obtida equivale a  $11 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , nesse caso, a menor do mês, ainda assumiu também o maior valor de precipitação pluviométrica acumulada de 5,0 mm e maior umidade relativa, em 92%. Henrique (2006) evidenciou que os valores da umidade relativa do ar no outono de Campina Grande – PB em 2004 estiveram praticamente acima de 80% e isso se origina pelo fato desses valores estarem associados à precipitação, tendo em vista que este período coincide com a estação chuvosa e baixas temperaturas.

As linhas que representam a EToL, EToHS e EToA indicam que as mesmas não se ajustam com nenhuma das estimativas e verifica-se que do décimo quarto dia ao décimo sétimo dia do mês a EToA se manteve entorno de  $0,8 \text{ mm dia}^{-1}$ .

### 5.8.2. Correlações dos métodos estimados no inverno de 2007

Na Tabela 15 são representados os valores do coeficiente de correlação (r) da EToP, EToPM, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToA no inverno de 2007 no município de Capim – PB.

**Tabela 15** - Variáveis independentes com a variável EToA no inverno de 2007 no município de Capim - PB.

Variáveis	r	Correlação
EToP-EToA	0,06	fraca +
EToPM-EToA	0,12	fraca +
EToHS-EToA	0,11	fraca +
EToL-EToA	0,33	moderada +
EToPT-EToA	0,05	fraca +
EToR-EToA	0,08	fraca +

Praticamente todas as correlações da EToA com as demais estimativas se apresentaram fracas, não se diferenciando do que ocorreu no inverno de 2006.

As correlações da EToP, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToPM, no inverno de 2007 no município de Capim – PB, são representadas na Tabela 16.

**Tabela 16** - Variáveis independentes com a variável EToPM no inverno de 2007 no município de Capim - PB.

<b>Variáveis</b>	<b>r</b>	<b>Correlação</b>
EToP-EToPM	0,99	muito forte +
EToHS-EToPM	0,41	moderada +
EToL-EToPM	-0,50	moderada -
EToPT-EToPM	0,93	muito forte +
EToR-EToPM	0,95	muito forte +

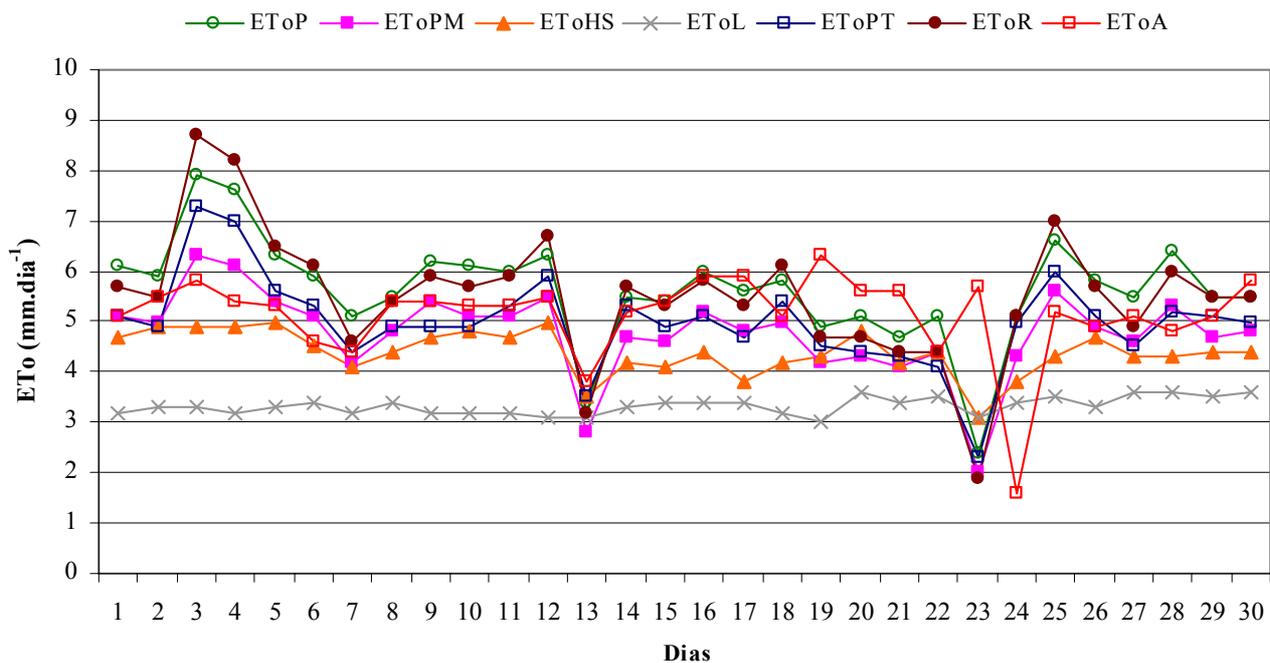
As correlações muito fortes são as entre EToPM com EToP, EToPT e EToR, em que  $r = 0,93$  foi o menor valor constatado entre as três. Enquanto as correlações moderadas foram obtidas com a EToHS e EToL, mas de coeficientes de correlação mínimos entre os demais.

## **5.9. Primavera de 2007**

Foi adotado como referência para estação de primavera de 2007 no município de Capim – PB, o mês de novembro.

### **5.9.1. Evapotranspiração de referência na primavera de 2007**

As estimativas foram calculadas pelos métodos de Penman (EToP), Penman-Monteith (EToPM), Hargreaves e Samani (EToHS), Linacre (EToL), Priestley-Taylor (EToPT), Radiação (EToR) e tanque Classe A (EToA) e as mesmas estão representadas na Figura 21.



**Figura 21** - Evapotranspiração de referência (ETo) na primavera de 2007 no município de Capim – PB.

Verifica-se que as linhas que representam a EToPM, EToP, EToPT e EToR se ajustam muito bem, evidenciando a linha da EToHS que na primavera de 2007 no município de Capim – PB, se ajusta um pouco melhor em alguns períodos do mês com a EToPM. Constata-se também que, a EToL se apresenta de forma um pouco mais harmônica no que diz respeito a suas variações de média  $0,6 \text{ mm dia}^{-1}$  entornando na faixa de  $3,3 \text{ mm dia}^{-1}$ , pois se constata que a temperatura do ar na região, variou apenas em  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Enquanto que em Campina Grande – PB no inverno de 2004 a temperatura do ar variou de  $20,2 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $24,3 \text{ }^\circ\text{C}$  (Henrique, 2006).

A EToA que está demonstrada na figura 21 variou em  $4,7 \text{ mm dia}^{-1}$ , com oscilações pouco harmônicas.

### 5.9.2. Correlações dos métodos estimados na primavera de 2007

Os valores dos coeficientes de correlação (r) da EToP, EToPM, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToA na primavera de 2007 no município de Capim – PB, são representados na Tabela 17.

**Tabela 17** - Variáveis independentes com a variável EToA na primavera de 2007 no município de Capim - PB.

<b>Variáveis</b>	<b>r</b>	<b>Correlação</b>
EToP-EToA	0,19	fraca +
EToPM-EToA	0,21	fraca +
EToHS-EToA	0,30	moderada +
EToL-EToA	-0,09	fraca -
EToPT-EToA	0,11	fraca +
EToR-EToA	0,17	fraca +

Todas as correlações feitas com a EToA em novembro de 2007 se apresentaram praticamente fracas. Ressaltando-se que as correlações fracas e a única moderada se tornam semelhantes ao que se refere à primavera de 2006, percebendo-se também que durante o ano de 2007 as correlações com a EToA não obtiveram representatividade.

Na tabela 18 são dispostas as correlações da EToP, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToPM, na primavera de 2007 no município de Capim – PB.

**Tabela 18** - Variáveis independentes com a variável EToPM na primavera de 2007 no município de Capim - PB.

<b>Variáveis</b>	<b>r</b>	<b>Correlação</b>
EToP-EToPM	0,99	muito forte +
EToHS-EToPM	0,80	muito forte +
EToL-EToPM	0,17	fraca +
EToPT-EToPM	0,93	muito forte +
EToR-EToPM	0,96	muito forte +

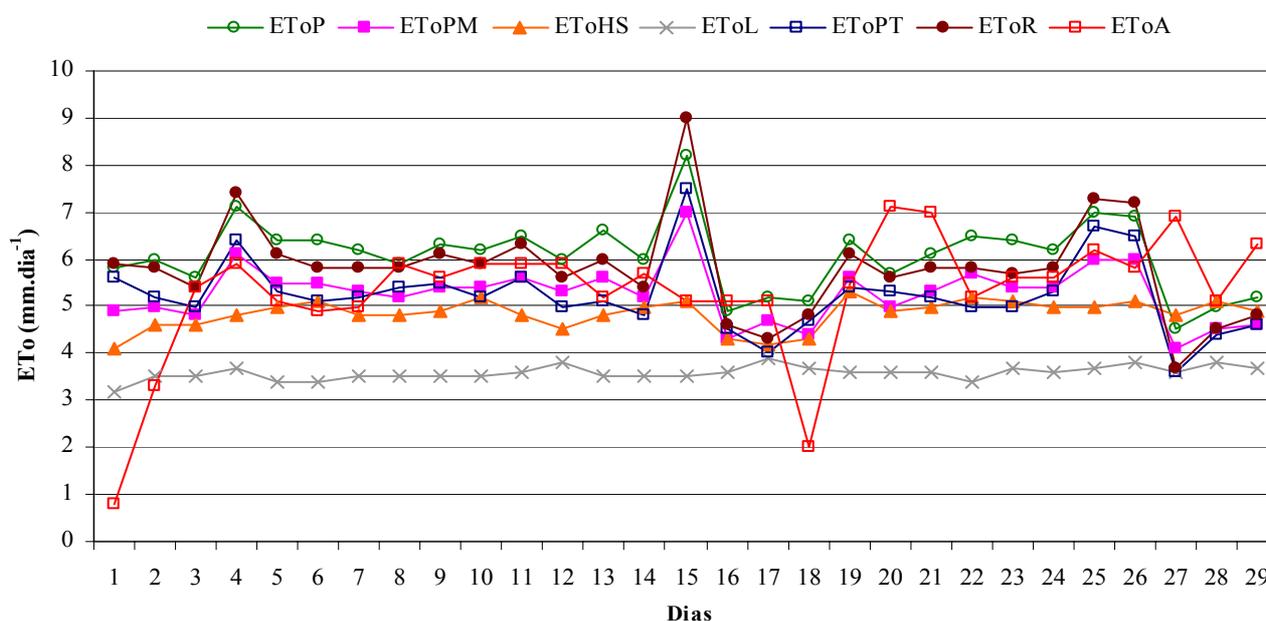
Observa-se que  $r = 0,99$  se deu para correlação da EToPM com EToP,  $r = 0,96$  para a EToPM com EToR e  $r = 0,93$  para a EToPM com EToPT, mostrando assim que para todo o ano de 2007 essas correlações se tornaram muito fortes. Pode-se destacar também a correlação um pouco mais expressiva entre EToPM e EToHS, obtendo coeficiente de correlação igual a 0,80 se tornando praticamente semelhante com o que ocorreu no outono do mesmo ano e no verão de 2006. Enquanto que, a correlação da EToPM com EToL é fraca, onde se comprova que durante a ano analisado, esse quadro não mudou.

## 5.10. Verão de 2008

Para a estação de verão de 2008 no município de Capim – PB, o mês de fevereiro, foi adotado com referência.

### 5.10.1. Evapotranspiração de referência no verão de 2008

Na Figura 22 as estimativas foram calculadas pelos métodos de Penman (EToP), Penman-Monteith (EToPM), Hargreaves e Samani (EToHS), Linacre (EToL), Priestley-Taylor (EToPT), Radiação (EToR) e tanque Classe A (EToA).



**Figura 22** - Evapotranspiração de referência (ETo) no verão de 2008 no município de Capim – PB.

As estimativas, EToPM, EToP, EToPT e EToR demonstram bons ajustes entre as mesmas, se destacando um pouco melhor, entre EToPM com EToP e EToPT com EToR, fato esse que praticamente se estende por todas as estações de ano analisadas nesse trabalho. A EToL obteve no verão de 2008 o valor máximo de 3.9 mm dia<sup>-1</sup> e o mínimo de 3.2 mm dia<sup>-1</sup>, ou seja, variou em 0,7 mm dia<sup>-1</sup>, variação essa que se mantém praticamente em todas as estações as quais são citadas nessa pesquisa.

As linhas que representam a EToHS e EToA mostram que não ocorre ajustes das mesmas com as demais, onde a EToA se apresenta com variação muito elevada, entorno de 6,3 mm dia<sup>-1</sup>.

### 5.10.2. Correlações dos métodos estimados no verão de 2008

Na Tabela 19 são representados os valores do coeficiente de correlação ( $r$ ) da EToP, EToPM, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToA no verão de 2008 no município de Capim – PB.

**Tabela 19** - Variáveis independentes com a variável EToA no verão de 2008 no município de Capim - PB.

Variáveis	r	Correlação
EToP-EToA	0,10	fraca +
EToPM-EToA	0,17	fraca +
EToHS-EToA	0,56	moderada +
EToL-EToA	0,38	moderada +
EToPT-EToA	-0,005	fraca -
EToR-EToA	0,04	fraca +

Todas as correlações feitas no mês de fevereiro de 2008 no município de Capim – PB com EToA, foram praticamente fracas e com valores de coeficientes de correlação, baixos. Destacando-se de forma não muito expressiva a correlação EToA com EToHS, onde  $r = 0,56$ . Ressaltando-se que a correlação entre EToPM e EToA não só no verão de 2008, como também na primavera de 2005 e em todas as estações de 2006 e 2007, se apresenta sem muita representatividade e da mesma forma, Turco et al. (2008) em estudo que teve por objetivo avaliar métodos de estimativa da evapotranspiração de referência e comparando-se com o método de Penman-Monteith recomendado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura como método padrão para estimativa da ETo, para Jaboticabal – SP, constataram que alguns dos métodos estudados são diferentes da EToPM inclusive o do tanque Classe A, ou seja, quando foi aplicada a metodologia de análise de dados considerando os erros da ETo não se estabeleceu uma relação linear.

Esse quadro de correlações fracas pode também estar interligado com o uso inadequado do tanque Classe A que requer muitos cuidados, tanto na coleta dos dados como na obtenção do  $K_p$ . Oliveira et al. (2005) em estudos comparativos dos métodos usados em vários tipos de tanques realizados na região semi-árida do Estado da Paraíba, mais precisamente no Cariri e Sertão paraibano, chegaram à seguinte observação, em todos os períodos do ano tanto numa região como em outra o índice de correção da evaporação  $K_p$  do tanque Classe A tradicionalmente usado como sendo 0,70 não foi obtido, ou seja, os valores encontrados estão em torno de 10% acima do padrão.

Isso implica que os valores de evaporação corrigidos com  $K_p$  de 0,70 na região estudada representam estimativas incorretas.

As correlações da EToP, EToHS, EToL, EToPT e EToR como variáveis independentes com a variável dependente EToPM, no verão de 2008 no município de Capim – PB, são dispostas na Tabela 20.

**Tabela 20** - Variáveis independentes com a variável EToPM no verão de 2008 no município de Capim - PB.

<b>Variáveis</b>	<b>r</b>	<b>Correlação</b>
EToP-EToPM	0,99	muito forte +
EToHS-EToPM	0,53	moderada +
EToL-EToPM	-0,13	fraca -
EToPT-EToPM	0,88	muito forte +
EToR-EToPM	0,95	muito forte +

As correlações muito fortes no verão de 2008 da EToPM com as demais estimativas são com: EToP, EToPT e EToR. Enquanto que, a correlação com a EToHS o coeficiente de correlação obteve valor de 0,53. Já a correlação mais fraca da EToPM se apresenta com a EToL de  $r = -0,13$  tornando-se a menos representativa, situação não muito diferente dos anos de 2006 e 2007, analisados nessa pesquisa, onde a média diária da EToL em fevereiro de 2008 obtida foi de 3,6 mm dia<sup>-1</sup>. Na pesquisa de Mendonça et al. (2003) que fizeram análises de várias estimativas de evapotranspiração de referência em Campos dos Goytacazes na região norte fluminense no Rio de Janeiro, constataram que a média diária no mês de fevereiro de 2000 para o método de Linacre, foi de 4,5 mm dia<sup>-1</sup>. Como também, Oliveira et al. (2008) ao avaliarem várias estimativas de evapotranspiração de referência em Gameleira, PE, utilizando-se lisímetro de pesagem hidráulica evidenciaram que a ETo estimada pelo método da Radiação foi o que mais se ajustou aos valores obtidos no lisímetro.

---

## **6. CONCLUSÕES**

Relacionando os objetivos propostos com os resultados adquiridos, atingiram-se as seguintes conclusões:

- 1) A estimativa da evapotranspiração de referência pelo método do tanque Classe A usado na Destilaria Miriri S.A., correlacionou-se muito pouco com os métodos de estimativa citados na pesquisa.
- 2) A estimativa da evapotranspiração de referência de Penman-Monteith sugerida pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura como padrão, se correlacionou consideravelmente em todas as estações referenciadas nesse estudo, com as estimativas feitas pelos métodos de Penman, Priestley-Taylor e Radiação.

## **7. SUGESTÕES**

- 1) Dentre as estimativas que se correlacionaram melhor com a padrão, sugere-se o uso da estimativa da evapotranspiração de referência através do método de Radiação para a Destilaria Miriri S.A., por ser a mais prática no seu cálculo.
- 2) A instalação de lisímetros na área de estudo.

---

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, *Proposta de Instituição do Comitê das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte*, 2004. Disponível em: <www.aesa.pb.gov.br/comites/litoral\_norte/proposta.doc. Acesso em: 15 dez. 2007.

ALBUQUERQUE, P. E. P. de; KLAR, A. E.; GOMIDE, R. L. *Estimativa da evapotranspiração máxima do feijoeiro em função do índice de área foliar e da evaporação da água do tanque Classe A*. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 183-187, 1997.

ALLEN, R. G.; JENSEN, M. E.; WRIGHT, J. L. *Operational estimates of reference evapotranspiration*. Agronomy Journal, v. 81, p.650-662, 1989.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D.; SMITH, M. - *Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy, p.297-301, 1998.

ALMEIDA, H. A. DE. *Probabilidade de ocorrência de chuva no Sudeste da Bahia*. Ilhéus, 2001.

ALVES SOBRINHO, R.; GATTI, F.; ZAMPARONI, C. *O clima e a agricultura*. ENGEIO, 2004.

AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. *Origem da vida, citologia, histologia e embriologia*. Ed. Moderna, São Paulo, 2001.

AMANTHEA, N. R. *De volta para o futuro: O aquífero Guarani como alternativa viável ao desenvolvimento da região de Londrina*. UEM e UEL, Dissertação, Londrina, 2004.

AMORIM NETO, M. da S.; OLIVEIRA, C. A. V.; SILVA, D. da S. *Avaliação de diferentes métodos para a estimativa de evapotranspiração potencial em regiões semi-áridas*. In: IV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Londrina-PR. Anais: Campinas, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia IAPAR, p. 211-229, 1985.

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

ASAE, Monograph, n. 3, p.189-225, 1983.

ASPLAN - Associação de Plantadores de Cana da Paraíba, *Zona Canavieira da Paraíba*. 2008. Disponível em: <<http://www.asplanpb.com.br>>. Acesso em: 21 mar. 2008

ASSIS, P. C. de O.; LACERDA, R. D. de; AZEVEDO, H. M. de; NETO, J. D.; FARIAS, C. H. de A. *Resposta dos parâmetros tecnológicos da cana de açúcar a diferentes lâminas de irrigação e adubação*. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.4, n.2, 2004.

ASSIS, S. V. de. *Radiação solar*. UFP, Pelotas, 2005

AYOADE, J.O. *Introdução à climatologia para os trópicos*. Amsterdam: Ed. Bertrand Brasil S.A. 2a ed., p.332, 1983

AZEVEDO, P.V.; LEITÃO, M.M.V.B.R.; SOUZA, I.F. *Balanco de radiação sobre culturas, nas condições semi-áridas do cariri paraibano*. Congresso Brasileiro de Meteorologia, Salvador, BA. Anais... I, p. 33-38, 1990.

AZEVEDO, H.J. de. *Influência de elementos do clima no desempenho de sistemas de irrigação por aspersão na região Norte Fluminense*. Viçosa MG: UFV. 145p. Tese Doutorado, 1998.

BARBIERI, V; BACCHI, O.O.S.; VILLA NOVA, N.A. *Análise do fator temperatura média do ar no desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar*. Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Mossoró-RN, 1979.

BARBIERI, V. *Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar: um modelo matemático-fisiológico de estimativa*. Piracicaba, Tese (Doutorado em Agronomia), 1993.

BARRETO, M. *Sistema de previsão de ocorrência de doenças em vários cultivos*. Unesp e Sociedade Nacional de Agricultura, São Paulo, 2000.

BASTOS, T. X. *Sistema de produção da pimenteira-do-reino*. Embrapa Amazônia Oriental, Sistemas de Produção, 01 ISSN 1809-4325, Versão Eletrônica, 2005

BERNARDO, S. *Manual de Irrigação*. Viçosa, Imprensa Universitária, p.657, 1995.

BERNARDO, S. *Manejo da Irrigação na Cana-de-açúcar*. Universidade Estadual do Norte Fluminense - CCTA/UENF, 2006.

BLACKBURN, F. *Sugar – cane*. Longman, New York, p. 414, 1984.

BLAD, B.L.; BAKER, D.G. *Reflected radiation from a soybean crop*. Agronomy Journal, Madison, v.64, p.277-280, 1972.

BRAY, S. C. *A cultura da cana-de-açúcar no Vale do Paranapanema*. Tese de Doutorado, FFLCH, USP, São Paulo, 1980.

BRUTSAERT, W. *Evaporation into the atmosphere: theory, history, and applications*. Boston, Reidel Publishing Co., 1982. p. 299.

BURMAN, R. D.; LARAMIE, W. Y.; NIXOX, P. R.; WRIGHT, J. L. & PRUITT, W. O. *Water requirements*. In: JENSEN, M. E. (ed.) *Design and operation of farm irrigation systems*. Michigan,

CAMARGO, A. P. *Balanço hídrico no Estado de São Paulo*. Campinas, IAC, Boletim Técnico, n. 116, 1971.

CAMPOS, E. *Sociedade e crise ambiental*. São Paulo: Ed. Pueri Domus, Escolas Associadas, 2001.

CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; TROIS, C. *Rede de estações meteorológicas para prover a necessidade de irrigação das culturas*. UFSM, Santa Maria-RS, 2007.

CARVALHO, A. J. de S. *Construção de um gráfico termo-pluviométrico*. 2005.

CBH-LN – Comitê das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte, *Proposta de Instituição do Comitê das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte*, conforme resolução nº 1, Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba, 2004.

CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura. *Escala Psicrométrica para indicação de níveis de umidade relativa do ar prejudiciais à saúde humana*. 2007.

CPTEC/INPE – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br>>. Acesso diversificado durante toda pesquisa.

CEPLAC. Boletim Técnico n. 182, p.32, 2001.

CHRISTOFIDIS, D. *Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos*. Irrigação em Tecnologia Moderna, Brasília: ABID, n.54, p. 46-55, 2002.

CHRISTOFOLETTI, J. C. *Manual shell de máquinas e técnicas de aplicação de defensivos agrícolas*. São Paulo.122 p, 1992.

COLLISCHONN, W. *Evapotranspiração*. UFRGS, Porto Alegre, Apostila 5, Hidrologia, p.11, 2007.

CONCEIÇÃO, M. A. F. *Uvas cultivares BRS Morena, BRS Clara e BRS Linda*. Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves – RS, 2005.

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

COUTO, L.; SANS, L. M. A. *Requerimentos das águas das culturas*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Circular Técnica n. 20, Sete Lagoas, 2002.

CRITCHFIELD, H.J. *General Climatology*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, p.447, 1974.

DAHER, Ricardo. *Água*. Instituto Brasil PNUMA – Comitê Brasileiro do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – 2003. Disponível em: <[http://www.brasilpnuma.org.br/pordentro/saibamais\\_agua.htm](http://www.brasilpnuma.org.br/pordentro/saibamais_agua.htm)>. Acesso em: 21 mar. 2008.

DELGADO, R. C.; SEDIYAMA, G. C.; ANDRADE, R. G.; MENEZES, S. J. M. da C. de. *Modelos para prognósticos da umidade relativa do ar em escala horária no município de Muriaé, MG*. Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, Taubaté, Brasil, IPABHi, p. 295-300, 2007.

DENMEAD, O. T.; SHAW, R. H. *The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn*. Agronomy Journal, Amsterdam, v. 52, p. 272-274, 1962.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. *Guidelines for predicting crop water requirements*. In: Irrigation and Drainage, Roma, FAO, p.144-198, Paper 24, 1977.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. *Necessidades hídricas das culturas*. Trad. H. R. Gheyi, J. E. C. Metri, F. A. V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, p.204, (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 24), 1997.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. *Yield response to water*. (Irrigation and Drainage, Paper 33), Rome, FAO, p. 193, 1979.

DORNELAS, K. D. S.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. S. *Coefficientes médios da equação de Angström-Prescott, radiação solar e evapotranspiração de referência em Brasília* Pesq. agropec. bras., Brasília, v.41, n.8, p.1213-1219, 2006

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (solos), *Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solo do Município de Capim – PB*, Embrapa Solos, UEP, Recife, 2006. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos>>. Acesso em: 10 mar. 2008.

FARIAS, C. H. de A.; NETO, J. D.; FERNANDES P. D.; GHEIY, H. R., *Índice de área foliar em cana de açúcar sob diferentes níveis de irrigação e zinco na Paraíba*. Revista Caatinga, Mossoró, v. 20, n. 4, p. 45-55, 2007.

FAUCONIER, R.; BASSEREAU, D. *La caña de azúcar*. Barcelona, Blume, p. 433, 1975.

FERREIRA, C. C. D. *Clima e saúde: Doenças respiratórias do inverno, em Belo Horizonte*. Engenharia Ambiental, IETEC, Belo Horizonte, 2003.

FIETZ, C. R.; URCHEI, M. A.; FRIZZONE, J. A.; FOLEGATTI, M. V. *Probabilidade de ocorrência de períodos secos e chuvosos na região de Dourados, MS*. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Piracicaba. Anais... Piracicaba: SBA, v. 1, p. 101-103, 1997.

FIGUEIREDO, J. C. & MARTINS, D. *Pluviometria para a região central do Estado de São Paulo utilizando ecos de radar meteorológico*. Revista Energia na Agricultura, Botucatu, v. 22, n.4, p. 79-97, 2007.

FONTANA, D.C.; OLIVEIRA, D. *Relação entre radiação solar global e insolação para o Estado do Rio Grande do Sul*. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.4, p.87-91, 1996.

FRANCO, R. A. M.; HAGA, K. I.; HERNANDEZ, F. B. T. *Evaporação do solo mais transpiração vegetal igual a evapotranspiração*. Unesp, São Paulo, 2007.

FURUKAWA, M.C.; BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; RAMOS, M.M. *Avaliação da irrigação por pivô central na região de Rio Verde - GO*. Ceres, Viçosa, v.41, n.233, p.36-49, 1994.

GARCIA, Rafael. *Restrição a dado faz país ter “buraco” climático*. Ambiente em foco, 2007. Disponível em: <<http://www.ambienteemfoco.com.br/?m=20070406>>. Acesso em: 04 mar. 2008.

GATES, D.M. *Radiant energy, its receipt and disposal*. Agricultural Meteorology , Meteorology Monograph. v.6, p.1-26. Boston: American Meteorological Society, 1965

GNADLINGER, J. *Programa uma terra- duas águas (P 1+2): água de chuva para os animais e para agricultura no semi-árido brasileiro*. Associação Brasileira de Captação e Manejo de água de Chuva, 2007.

GONÇALVES, R. M.; SALES, J. J.; MALITE, M.; MUNIAR NETO, J. *Ação do Vento nas Edificações*. EESC/USP, São Paulo, 2004.

GRIMM, A. M. *Meteorologia básica*. Versão eletrônica, UFPR, 1999. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap3/cap3-5.html>>. Acesso em: 03 dez. 2007.

HARGREAVES, G. H. *Potential evapotranspiration and irrigation requirements for northeast Brazil*. Logan: Utah State University, p. 123, 1974.

HATFIELD, 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, 1996.

HENRIQUE, F. de A. N., *Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande – PB*, Dissertação de mestrado, UFCG, 2006.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, *Contagem da População em 2007*, publicado no Diário Oficial da União de 05/10/2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/PB.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2008.

INSTITUTO DA ÁGUA - *Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água. Versão preliminar*. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa, 210 p., 2001.

JENSEN, M.E.; HAISE, H.R. *Estimating evapotranspiration from solar radiation*. Journal of Irrigation Drainage Division, ASCE, New York, v.89, n.1, p.15-41, 1963.

JOLLIET, O. *Hortitrans, a model for predicting and optimizing humidity and transpiration in greenhouses*. Journal of Agricultural Engineering Resources, London, n. 57, p. 23-37, 1994.

JONES, H.G. *Plants and microclimate*. ed.2, Cambridge University Press. Cambridge, U.K., 429 p. 1992.

LE DIVICH, J.; REINALDO, D. *Effes de l'environnement thermique sur les performance du porc en croissance*. Journées Rech. Porcine en France, Paris, v.21, p.221-9, 1989.

LEITÃO, M. de M.V.B.R. *Balanço de radiação e energia numa cultura de soja irrigada*. Campina Grande, PB:UFPB, Dissertação Mestrado, DCA/CMM – TD, n.3, p.110, 1989.

LEITÃO, M. de M.V.B. R.; OLIVEIRA, G. M. de O., *Influência da irrigação sobre o albedo*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.2, p.214-218, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, 2000.

LEIVAS, J.; GUSSO, A.; FONTANA, D. C.; BERLATO, M. *Estimativa do balanço de radiação na superfície partir de imagens do satélite ASTER*. Anais XIII, Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 255-262, 2007.

LEMON, E. R.; GLASSER, A. M.; SATTERWHITE, L. E. *Some aspects of the relationship of soil, plant and meteorological factor to evapotranspiration*. Soil Sc. Soc. Amer. Proc., 21. p. 464-468, 1957.

LEMOS, Haroldo Mattos de. *O século 21 e a crise da água*. Água - Associação Guardiã da Água – 2004. Disponível em: <[http://www.agua.bio.br/botao\\_d\\_S.htm](http://www.agua.bio.br/botao_d_S.htm)>. Acesso em: 21 mar. 2008.

LEVIN, JACK. *Estatística Aplicada a Ciências Humanas*. Ed.2. São Caetano do Sul, SP: Harba, 1987.

LIMA, E. P. *Graus-dia, temperatura base e coeficientes de cultura para cafeeiros arábica em fase de implantação*. Tese (Doutorado), p.116, Lavras : UFLA, Lavras 2006.

LIMA, W. de P., *Manejo de Bacias Hidrográficas*. Introdução à Hidrologia. Apostila, USP, p. 14, São Paulo, 2007.

LINACRE, E.T. *A simple formula for estimating evapotranspiration rates in various climates, using temperature data alone*. Agricultural Meteorology, Amsterdam, v.18, n.1, p.409-424, 1977.

LIU, W. T. H.; KANAZAWA, P. S. *Variabilidade climática e previsões: aplicabilidade dos satélites de observações ambientais como instrumento de planejamento do desenvolvimento local*. Revista Internacional de Desenvolvimento Local, 2003.

LUNARDI, D. M. C.; LUNARDI, M. A.; FURLAN, M. A. *Efeito da umidade da superfície do solo no desempenho do método de Penman original e modificado*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.6, n.1, p.88-92, 2002

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

MAKKINK, G. F. *Exzamenno de la formula de Penman*. Neth. Journal Agricultural Science, Amsterdam, v.5, n.1, p.290-305, 1957.

MEDEIROS, S. de S.; CECÍLIO, R. A.; MELO JÚNIOR, J. C. F. de.; SILVA JÚNIOR, J. L. C. da., *Estimativa e especialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol.9, n.2, Campina Grande, 2005.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F. de.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. *Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) na região Norte Fluminense, RJ*. Rev. bras. eng. agríc. ambient. vol.7 no.2 Campina Grande, 2003.

MENEZES, L. C.; CANATO JÚNIOR, O. *O Mundo da Energia*. São Paulo: Ed. Pueri Domus, Escolas Associadas, 2001.

MENEZES, E. A.; DANTAS, R. T.; LIMA, J. A. *Análise dos coeficientes de regressão múltipla para extrapolação da estimativa da irradiação solar global em localidades distintas no estado da Paraíba*. In: XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Santa Maria – RS, p. 747-748, 2003.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, *Projeto: Cadastro de Fontes de abastecimento por água Subterrânea no Estado da Paraíba*, 2005.

MONTEIRO, R. *Monitorar direção e velocidade dos ventos é questão de segurança para empresas*. Monitoramento Ambiental, Informativo eletrônico, 2007. Disponível em: <<http://www.agsolve.com.br>>. Acesso em 15 jan. 2008.

MONTEITH, J. L. *Evaporation from land surfaces: progress in analysis and prediction since 1948*. In: National Conference on advances in evapotranspiration, Proceedings. St. Joseph, ASAE Chicago, 1985.

MOTA, F. S., *Meteorologia Agrícola*. Ed. Nobel S/A. São Paulo, 1989.

MURTA, R. M.; TEODORO, S. M.; BONONO, P.; CHAVES, M. A. *Precipitação pluvial mensal em níveis de probabilidade pela distribuição gama para duas localidades do sudoeste da Bahia*. Ciências agrotec., Lavras, v. 29, n. 5, p. 988-994, 2005.

NOBRE, C. A.; ASSAD, E. D. *O aquecimento e o impacto na Amazônia e na agricultura brasileira* Scientific American Brasil, 2005.

OLIVEIRA, M. A. A. de; CARVALHO, D. F. de. *Estimativa da evapotranspiração de referência e da demanda suplementar de irrigação para o milho em Seropédica e Campos, Estado do Rio de Janeiro*. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v.2, n.2, p.132-135, 1998

OLIVEIRA, L. F. C. de; CARVALHO, D. F. de; ROMÃO, P. A.; CORTÊS, F. C. *Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para algumas localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal*. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v.31, n.2, p.121-126, 2001.

OLIVEIRA, G. A.de. *Método estatístico no auxílio à previsão de nevoeiro para o aeródromo de Guarulhos*. Dissertação de Mestrado, UFSC, Santa Catarina, 2002.

OLIVEIRA, G. M. de.; LEITÃO, M. de M. V. B. R.; GALVÃO, C. de O.; LEITÃO, T. J. V. *Estimativa da evaporação e análise do uso do coeficiente do tanque “Classe A” nas regiões do Cariri e Sertão da Paraíba*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 10. n.4. p. 73 – 83. Outubro/dezembro 2005.

OLIVEIRA, A. S. de. *Fundamentos de Meteorologia e Climatologia*. NEAS/UFRB, (apostila), p.6, 2007.

OLIVEIRA, R. A.; TAGLIAFERRE, C.; SEDIYAMA, G. C.; MATERAM, F. J. V., CECON, P. R. *Desempenho do irrigâmetro na estimativa de referência*. Rev. bras. eng. agríc. ambient. v.12 n.2 Campina Grande, 2008.

OLIVEIRA, L. M. M. de; MONTENEGRO, S. M. G. L.; AZEVEDO, J. R. G. de; SANTOS, F. X., *Evapotranspiração de referência na bacia experimental do riacho Gameleira, PE, utilizando-se lisímetro e métodos indiretos*. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, UFRPE, Recife, v.3, n.1, p. 58-67, 2008.

OMETTO, J.C.; PERRIES, A.; ITIES, B. *Sur l'estimation de la radiation solaire globale et radiation nette*. Versailles: Centre National de Recherche Agronomique, p.11, 1973.

PENMAN, H. L. *Evaporation: an introductory survey*. *Neth. J. Agric. Sci.* v. 4, pp. 9-29, 1956.

PEREIRA. A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. *Evapotranspiração*. Piracicaba: FEALQ, p. 183, 1997.

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

PITOMBO, L. R. M.; LISBOA, J. C. F. *Matérias e substâncias*. São Paulo: Ed. Pueri Domus, Escolas Associadas, 2001.

POZZEBON, E. J.; CUNHA, P.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, L. M. C. *Procedimentos para pedidos de outorga de direito de uso da água para irrigação*. Workshop sobre Água, Agricultura e Meio Ambiente no Estado de São Paulo, 2003.

PRIESTLEY, C.H.B.; TAYLOR, R.J. *On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters*. Monthly Weather Review, Washington, v.100, n.1, p.81-92, 1972.

SAAB, O. J. G. A. *Indicador de velocidade do vento*. Ciências Agrárias, Londrina, v. 25, n. 1, p. 21-26, 2004.

SAMANI, Z. *Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Reston, v. 126, n. 4, p. 265-267, 2000.

SANTANA, Marcos O. *Sistema de geoespacialização da demanda de irrigação suplementar para o Estado de Minas Gerais*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande – PB, v.7, n.1, p.57-63, 2003.

SANTIAGO, A. V. *Evapotranspiração de referência medida por lisímetro de pesagem e estimada por Penman-Monteith (FAO-56), na escala: mensal e decendial*. Piracicaba: ESALQ, p.37, Dissertação Mestrado, 2001.

SANTOS, A. O.; BERGAMASCHI, H.; CUNHA, G. R. *Avaliação de métodos para a estimativa de evapotranspiração máxima da alfafa*. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 2, p 37 – 42, 1994.

SANTOS, A. O.; BERGAMASCHI, H.; CUNHA, G. R. *Necessidades hídricas da alfafa: Coeficiente de cultura (Kc) no período pós-corte*. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 37-40, 1996.

SCARDUA, R.; ROSENFELD, V. *Irrigação da cana-de-açúcar*. In: PARANHOS, S.B. *Cana-de-Açúcar: cultivo e utilização*. Campinas, Fundação Cargill, v.1, cap.3, p.373-431, 1987.

SCHIRMBECK, J. *Estimativa da evapotranspiração regional em área de ocorrência do sistema aquífero guarani – Vale do Rio dos Sinos – RS: uma aplicação de técnicas de sensoriamento remoto*. UNISINOS/PPGEO, São Leopoldo-RS, 2005.

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO - PB e UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA. *Atlas Geográfico do Estado da Paraíba*. João Pessoa, p. 99, 1985.

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.; MELO JÚNIOR, J. C. F.de. *Modelos para estimativas das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual no Estado de Minas Gerais*. Revista Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.6, n.1, p.57-61, 1998.

SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, A.; LEAL, B. G. *Irrigação versus sistema solo-planta-clima*. Universidade Federal de Viçosa, Apostila, p.10, 2003.

SEDIYAMA, G. C.; DELGADO, R. C.; ANDRADE, R. G.; MENEZES, S. J. M. C. *Modelos para prognósticos da umidade relativa do ar em escala horária no município de Muriaé, MG*. Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul, Taubaté, p.295-300, 2007.

SEMARH – Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais, *Mapeamento de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape*, 2004.

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

SILVA, D. da; BARROS FILHO, J. *Estatística*. USP, Apostila, 2003.

SILVA, V. de. P. R. da; FILHO, A. F. B.; SILVA, B. B. da.; CAMPOS, J. H. B. da C., *Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência*. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient. vol.9 no.4 Campina Grande Oct./Dec. 2005.

SILVA, M. T. *Zoneamento de risco climático para a cultura do amendoim no Estado do Rio Grande do Norte*. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.7, n. 2, 2007.

SILVEIRA, P. M. da. e STONE, L. F., *Irrigação do feijoeiro*, Embrapa Arroz e Feijão, 2004

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

SMITH, M.; SEGEREN, A.; PEREIRA, L. S.; PERRIER, A.; ALLEN, R. *Reporter in the expert consultation on procedures for revision of FAO guideline for prediction of crop water requirements perfected*. Rome: FAO, p.45-54, 1991.

SOUZA, F. de; YODER, R. *ET estimation in the northeast of Brazil: Hargreaves or Penman-Monteith equation*. St. Joseph: ASAE, p.6. (AESAs. Paper, 942545), 1994.

SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.118, n.6, p.977-80, 1992.

REIS, E. F. dos; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. de O.; PEZZOPANE, M.; TAGLIAFERRE, C. *Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do Estado do Espírito Santo no período seco*. UFES, ISSN 0718-3429, Vol. 25, Nº 3; 75-84, 2007.

TEIXEIRA, A. H. de C.; FILHO, J. M. P. L., *Cultivo da mangueira*, Embrapa Semi-árido, 2004.

THORNTON, P.E.; RUNNING, S.W. *Improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity and precipitation*. Agric. Forest. Meteorol., v.93, p.211-228, 1999.

TUCCI, C. E. M. *Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 2, n. 2, jul./dez. 1997.

TURCO, J. E. P.; FARIA, M. T.; FERNANDES, E. J. *Influência da forma de obtenção do saldo de radiação na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência*. Irriga, Botucatu, v. 10, n. 3, p. 215-228, 2005.

TURCO, J. E. P.; PERECIN, D.; PINTO JR, D. L. *Influência da acurácia de instrumentos de medida na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência*. Irriga, Botucatu, v.13, n.1, p. 63-80, 2008.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FERREIRA, E. J. S. *Desempenho da estimativa da evapotranspiração de referência em Ilha Solteira - SP*. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Bonito, 2007.

VAREJÃO-SILVA, M. A. *Meteorologia e Climatologia*. Ed. Pax, ed. 2, Brasília, 2001.

VESCOSE, H. V.; TURCO, J. E. P. *Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a Região de Araraquara – SP*. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.25, n.3, p.713-721, 2005.

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