

# ESTIMATIVA DA DEMANDA HÍDRICA DO REPOLHO EM AGRICULTURA FAMILIAR NO SEMIÁRIDO

*Eduardo Silva dos Santos<sup>1</sup>, Abelardo Antônio de Assunção Montenegro<sup>2</sup>, José Roberto Lopes da Silva<sup>3</sup>, Hugo Manoel Henrique<sup>4</sup> & Vivaldo José Tavares Araújo<sup>5</sup>*

**RESUMO** --- O estudo foi desenvolvido em lote experimental da Fazenda Nossa Senhora do Rosário, Pesqueira-PE, situada em vale aluvial na Região Agreste do Estado de Pernambuco. O objetivo foi avaliar o consumo hídrico da cultura do repolho. A evapotranspiração da cultura total foi de 492,92 mm e uma evapotranspiração de referência acumulada de 301,14 mm para um ciclo de 71 dias após o transplante das mudas. Verificou-se que os métodos de Jensen-Haise e Priestley & Taylor podem ser utilizados para estimativa da  $ET_0$  diária, na ausência de variáveis utilizadas para estimativa da  $ET_0$  pelo método de Penman-Monteith.

**ABSTRACT** --- The study was conducted in an Experimental plot at Nossa Senhora do Rosário Farm, Pesqueira-PE, located in an alluvial valley of the agreste region of Pernambuco State. The objective was to evaluate the water consumption of cabbage. Crop evapotranspiration total was 492.92 mm and a reference evapotranspiration accumulated of 301.14 mm for one cycle of 71 days after transplanting. It was verified that the methods of Jensen-Haise e Priestley & Taylor can be applied for estimate daily  $ET_0$ , where data availability is limited for applying the Penman\_Monteith Method.

**Palavras-chave:** coeficiente de cultivo, evapotranspiração de referência, consumo hídrico.

---

1) Msc em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Av. Dom Manoel de Medeiros, S/N, Dois Irmãos, Recife-PE. e-mail: silvaufupe@yahoo.com.br.

2) Professor Adjunto da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE. Departamento de Tecnologia Rural. e-mail: abelardo.montenegro@yahoo.com.br.

3) Msc em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Av. Dom Manoel de Medeiros, S/N, Dois Irmãos, Recife-PE. e-mail: rlopes.s@gmail.com.

4) Engenheiro Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Av. Dom Manoel de Medeiros, S/N, Dois Irmãos, Recife-PE. e-mail: hugoufupe@hotmail.com.

5) Bolsista de apoio técnico do CNPq, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. e-mail: vivaldotavares2009@hotmail.com.

## 1. INTRODUÇÃO

As áreas áridas e semiáridas do Nordeste brasileiro caracterizam-se por acentuada variabilidade temporal e espacial das precipitações pluviais, contribuindo para o alto risco da agricultura de sequeiro e obtenção de baixas produtividades das culturas exploradas. A irrigação é uma prática que permite a redução dos riscos e possibilita que as culturas externem os seus potenciais de produtividade, (Luiz e Tantravahi, 2006).

O conhecimento sobre o consumo hídrico das culturas, obtido com base na estimativa da evapotranspiração, constitui uma informação preciosa no manejo da água em qualquer região, principalmente agora em que ocorre forte conscientização em relação aos recursos hídricos, em referência a décadas anteriores, conforme destacado por Campos *et al.*, (2008). A ocorrência de períodos de longas estiagens na região semiárida brasileira, associada à alta disponibilidade de energia, favorece a redução do nível de água nos reservatórios tornando a agricultura de sequeiro uma atividade de alto risco.

O sucesso da utilização da água para fins de irrigação depende, entre outros requisitos, do conhecimento preciso da demanda hídrica da cultura. No entanto, torna-se necessário o uso de coeficientes adequados, especificamente de coeficientes de cultura ( $K_c$ ), determinados em função da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) e da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), cujas estimativas permitem avaliar quantidades de água a serem dotadas aos cultivos. Porém, é notória a escassez de dados de pesquisa referentes a esses coeficientes, sobretudo no semiárido, constituindo um fator agravante no tocante à dotação racional de água aos cultivos, que associado aos déficits hídricos anuais, contribui para a redução dos aportes de água, notadamente a subterrânea, a qual é utilizada para prática da pequena agricultura familiar irrigada, segundo Santos *et al.* (2009).

São diversos os métodos para a estimativa da  $ET_0$ , podendo ser divididos em métodos diretos e indiretos. Encontram-se na literatura especializada, diversos métodos que propiciam a estimativa do consumo hídrico de culturas, porém sua utilização é bastante limitada com propósitos práticos, face à ausência de técnicas apropriadas que viabilizem a estimativa da evapotranspiração, de forma simples e confiável, de acordo com a disponibilidade dos parâmetros relacionados à planta, ao solo e à atmosfera, conforme comentado por Silva *et al.*, (2005).

Segundo Braga *et al.* (2008), o Tanque Classe A é um dos métodos indiretos de uso generalizado, inclusive no Brasil, em virtude do seu fácil manejo e baixo custo de implantação, sendo este condicionado à correta adoção do coeficiente de Tanque ( $K_p$ ) (Irmak *et al.* 2002; Sentelhas e Folegatti, 2003; Sellés e Ferreyra, 2005; Maldonado *et al.* 2006; Santos *et al.* 2008). Dentre os métodos diretos os aparelhos mais utilizados são os lisímetros, cujo uso é restringido a

instituições de pesquisa devido, principalmente, ao seu grande custo de implantação e operacional; (Esteves *et al.*, 2010).

Conforme Pereira *et al.* (2009), antes de se aplicar um método para determinado local, é necessário verificar o desempenho deste e, quando necessário, fazer calibrações a fim de minimizar erros de estimativa. Esse desempenho tem sido analisado com a comparação dos respectivos métodos ao método de Penman-Monteith-FAO.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o consumo hídrico e os coeficientes de cultura do repolho, nas diversas fases de desenvolvimento e avaliar o desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em comparação com o método padrão de Penman-Monteith-FAO.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo e unidade experimental**

O estudo foi desenvolvido em lote experimental da Fazenda Nossa Senhora do Rosário, Pesqueira, PE, situada em vale aluvial na Região Agreste do Estado de Pernambuco, distando 230 km de Recife e 613 m acima do nível do mar. As coordenadas geográficas são: 8° 34' 17" S e 37° 1' 20" W. O clima do local é classificado, segundo Köppen, como BShw' semiárido quente, caatinga hiperxerófila, com temperatura média anual em torno de 27°C, umidade relativa média anual do ar é de 73%, e velocidade média do vento de 2,5 m s<sup>-1</sup> conforme CISAGRO (1990) e com solo caracterizado como Neossolo Flúvico Ribeiro e Corrêa (2001). Foi implantado um plantio no vale aluvial, no dia 1 de fevereiro de 2011, em linhas de cultivo com repolho Midore (*Brassica oleracea* var. capitata), numa área de 2.400 m<sup>2</sup> com espaçamento de 0,5 x 0,4 m, perfazendo um stand de 12000 plantas. As mudas foram produzidas em local próximo à área de plantio pelo próprio agricultor sendo as mudas transplantadas com 22 dias após a semeadura. Durante este período receberam tratamentos culturais tais como: irrigação, adubação foliar e aplicação de defensivos (Figura 1).

As profundidades do nível do lençol freático local, nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril do referido ano do plantio, foram de 2,55, 2,48, 2,52 e 2,60 m, respectivamente, e a condutividade elétrica da água de irrigação, igual a 1,19, 1,16, 1,09 e 1,16 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente.

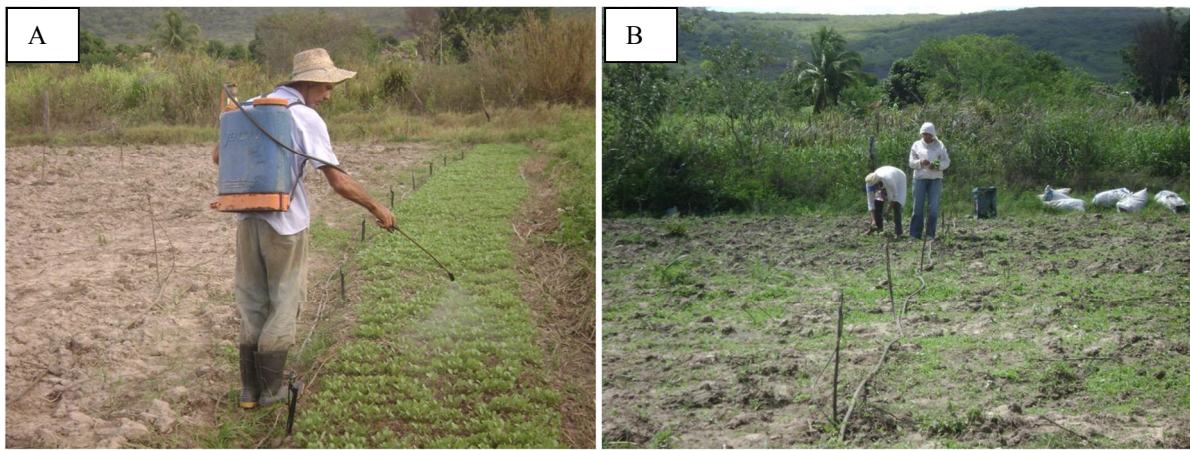


Figura 1: Aplicação de defensivo em sementeira de repolho (A), transplante das mudas de repolho (B).

## 2.2 Manejo da Irrigação

As lâminas de irrigação foram aplicadas a nível diário, utilizando as leituras de evaporação do Tanque Classe A e as precipitações no período para determinar as lâminas necessárias de irrigação, sendo as leituras realizadas pelo próprio agricultor devidamente treinado para operar o sistema de leitura. Foi adotado para os ciclos da cultura o valor igual a 0,75 referente ao coeficiente de tanque ( $K_p$ ), conforme Doorenbos e Pruitt (1977), conforme as condições locais. O sistema de irrigação adotado foi microaspersão que apresentou um coeficiente de uniformidade (CUC) de 81,04% após avaliação.

## 2.3 Estimativa da evapotranspiração potencial de referência ( $ET_0$ )

Os dados meteorológicos precipitação, temperatura, radiação solar, umidade do ar e velocidade do vento foram obtidos a partir de uma estação meteorológica automática fabricada pela Campbell Scientific, localizada na Fazenda Nossa Senhora do Rosário, próximo ao local do presente trabalho.

### 2.3.1 Método de Penman-Monteith

Esse método foi divulgado pela FAO (Food and Agriculture Organization) das Nações Unidas como método padrão para obtenção dos valores diários de evapotranspiração de referência, conhecido universalmente como método de Penman-Monteith FAO-56 (Allen *et al.*, 1998). A dificuldade de utilização desse método é que ele requer medidas de muitas variáveis meteorológicas, como: temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento.

A equação 1 descreve como são obtidos os valores de evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith FAO-56.

$$ET_{0PM} = \frac{0,408\Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273,16} U_2 * (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

em que:

$ET_{0PM}$  = Evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (mm dia<sup>-1</sup>);

$R_n$  = Saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

$G$  = Densidade de fluxo ou fluxo total diário de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

$\Delta$  = Declinação da curva de saturação do vapor de água (kPa °C<sup>-1</sup>);

$U_2$  = Velocidade do vento (média diária) a 2 m acima da superfície do solo (m s<sup>-1</sup>);

$T_{med}$  = Temperatura média do ar (°C);

$e_s$  = Pressão de saturação do vapor (kPa);

$e_a$  = Pressão real do vapor (kPa);

$\gamma$  = Fator psicrométrico (MJ kg<sup>-1</sup>)

Considera-se o valor de  $G = 0$ , quando a estação não fornecer tal informação.

### 2.3.2 Método de Hargreaves (1977)

O cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves é menos complexo do que o método de Penman-Monteith. Pode-se obter os valores de evapotranspiração de referência, em milímetros diários, pelo método de Hargreaves (1977), descrito pela equação 2.

$$ET_{HG} = 0,0075 * R_{s_{mm}} * (1,8 T_{med} + 32) \quad (2)$$

em que  $T_{med}$  é a temperatura média e  $R_{s_{mm}}$  é a radiação solar global convertida em unidades de água evaporada (milímetros) obtida pela equação 3.

$$R_{s(mm)} = \frac{R_s}{\lambda} \quad (3)$$

em que  $R_s$  é a radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), e  $\lambda$  é o calor latente de vaporização (MJ kg<sup>-1</sup>)

### 2.3.3 Método de Hargreaves-Samani (1985)

Em 1985 Samani propôs uma modificação no método de Hargreaves e incrementou na equação valores de temperatura máxima e mínima, e substituiu a radiação solar global em milímetros pela radiação no topo da atmosfera. Este método é utilizado quando não existem dados de radiação solar global, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Neste caso, pode-se obter os valores de evapotranspiração de referência, em milímetros diários, pelo método de Hargreaves-Samani (1985), descrito pela equação 4.

$$ET_{0\text{HG}} = 0,0023 (T_{\text{med}} + 17,8) * (T_{\text{max}} - T_{\text{min}})^{0,5} * R_a \quad (4)$$

em que:

$ET_{0\text{HG}}$  = Evapotranspiração de referência de Hargreaves (mm dia<sup>-1</sup>)

$T_{\text{med}}$  = Temperatura média (°C)

$T_{\text{max}}$  = Temperatura máxima (°C)

$T_{\text{min}}$  = Temperatura mínima (°C)

$R_a$  = Radiação solar extra-terrestre (mm dia<sup>-1</sup>)

### 2.3.4 Método de Camargo

Conforme Fernandes *et al.* (2010), Camargo, baseado em resultados obtidos pelo método de Thornthwaite, propôs um método, mais simples e com eficiência semelhante ao de Thornthwaite, porém em escala diária. Essa metodologia é baseada apenas em dados de temperatura média do ar e radiação solar extraterrestre. O método de Camargo é obtido pela equação 5.

$$ET_{0\text{Cam}} = K * R_a * T_{\text{med}} * ND \quad (5)$$

em que:

$ET_{0\text{Cam}}$  = Evapotranspiração de referência de Camargo (mm dia<sup>-1</sup>)

$R_a$  = Radiação solar extraterrestre incidente acima da atmosfera, no dia 15 de cada mês, em mm dia<sup>-1</sup> de evaporação equivalente

$T_{\text{med}}$  = Temperatura média diária (°C)

$K$  = Fator de ajuste

$ND$  = Número de dias do período observado

K é um fator de ajuste que varia com a temperatura média anual (°C) do local, conforme os limites estabelecidos na Tabela 1.

Tabela 1. Valor de K em relação à temperatura média anual.

T <sub>a</sub> (°C)	Valor de K
< 23,5	0,01
23,6 a 24,5	0,0105
24,6 a 25,5	0,011
25,6 a 26,5	0,0115
26,6 a 27,5	0,012
> 27,5	0,013

Fonte: Camargo e Camargo (2000).

### 2.3.5 Método de Priestley & Taylor

O método de Priestley e Taylor (1972) é uma aproximação do método de Penman. Os autores simplificaram a equação de Penman permanecendo apenas com o saldo de radiação corrigido por coeficiente empírico, chamado de parâmetro de Priestley & Taylor. Esse parâmetro incorpora a energia adicional ao processo de evapotranspiração decorrente do termo aerodinâmico.

Os valores de evapotranspiração estimados pelo método de Priestley & Taylor são obtidos pela equação 6.

$$ET_{0PT} = \frac{\alpha * W * (R_n - G)}{\lambda} \quad (6)$$

em que:  $\alpha$  é o parâmetro de Priestley e Taylor. Os autores, mostraram que esse coeficiente varia de 1,08 a 1,34, com média de 1,26 em condições mínimas de advecção regional (Silva *et al.* 2005). No presente trabalho utilizou-se o valor médio (1,26).  $W$  é o fator de ponderação, obtido pela equação (7),  $R_n$  é saldo de radiação,  $G$  é a densidade do fluxo de calor no solo, e o calor latente de vaporização (2,45 MJ kg<sup>-1</sup>).

$$W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \quad (7)$$

em que  $\Delta$  é a inclinação da curva de pressão de saturação e vapor e temperatura do ar, obtida pela equação (8), e  $\gamma$  é a constante psicrométrica, obtida pela equação (9).

$$\Delta = \frac{4098 * e_s}{(T_{med} + 237,3)^2} \quad (8)$$

em que:

$T_{med}$  = Temperatura média do ar (°C);

$e_s$  = Pressão de saturação do vapor (kPa);

$$\gamma = 0,664742 * 10^{-3} * P_a \quad (9)$$

em que  $P_a$  é a pressão atmosférica, sendo a mesma estimada pela equação 10.

$$P_a = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065 * z}{293} \right)^{5,26} \quad (10)$$

sendo  $z$  é a altitude da estação de coleta dos dados meteorológicos.

### 2.3.6 Método de Jensen-Haise

Este método foi desenvolvido por Jensen e Haise (1963) para regiões áridas e semiáridas. Consiste em estimar a evapotranspiração de referência apenas com dados de temperatura do ar e radiação solar (Pereira *et al.*, 1997). A equação 11 descreve como são obtidos os valores de evapotranspiração por este método.

$$ET_{0\text{ JH}} = R_{s_{mm}} (0,025 * T_{med} + 0,078) \quad (11)$$

em que  $R_{s_{mm}}$  é a radiação solar global convertida em unidades de água evaporada (milímetros) e pode ser obtida conforme a equação 3.

### 2.3.7 Método do Tanque Classe A

A evapotranspiração de referência pelo método do Tanque Classe A foi obtida pela expressão (Doorenbos e Pruitt, 1977):

$$ET_0 = K_p * EV \quad (12)$$

em que:

$ET_0$  – é a evapotranspiração de referência, mm dia<sup>-1</sup>;

$K_p$  – é o coeficiente de conversão da evaporação do tanque “Classe A” em evapotranspiração de referência, que varia em função da velocidade do vento, da área de exposição vegetal relativa ao tanque e da umidade relativa do ar;

$EV$  – é a lâmina da evaporação do tanque Classe A, mm dia<sup>-1</sup>.



Os valores de  $K_p$  diários foram determinados pela metodologia proposta por Allen *et al.* (1998) apresentada pela equação 13.

$$0,108 - 0,0286 U_2 + 0,0422 \ln(F) + 0,1434 \ln(UR_{med}) - 0,000631 * (\ln(F))^2 * \ln(UR_{med}) \quad (13)$$

em que:

$U_2$  é a velocidade média diária do vento a 2 m de altura,  $m s^{-1}$ ;

F é a menor distância do centro do tanque ao limite da bordadura gramada, m;

$UR_{med}$  é a umidade relativa média, %.

Sendo,

$$EV = (L_{anterior} - L_{atual}) + P \quad (14)$$

em que:

EV = Evaporação diária do Tanque Classe A, mm;

$L_{ANTERIOR}$  = Leitura anterior da régua instalada no tanque, mm;

$L_{ATUAL}$  = Leitura atual da régua instalada no tanque, mm;

P = Precipitação, mm.

## 2.4 Estimativa da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ )

Foram utilizados três lisímetros de drenagem com capacidade volumétrica de  $1,0 m^3$  e área superficial de  $1,52 m^2$ , construídos a partir de caixas de água em fibra de vidro, em formato cônico, e com as seguintes medidas: diâmetros superior e inferior de 1,39 m e 1,10 m, respectivamente, e profundidade de 0,80 m, conforme descrito em Santos *et al.* (2009). A evapotranspiração da cultura pode ser avaliada pela seguinte equação:

$$ET_c = I + P - D \quad (15)$$

em que:

$ET_c$  é a evapotranspiração da cultura, mm;

I é a irrigação, mm;

P é a precipitação, mm;

D é a água percolada, mm.

O coeficiente de cultura ( $K_c$ ) foi então calculado a partir da relação presente na Equação 16:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (16)$$

em que  $K_c$  é o coeficiente de cultura, e representa o efeito conjugado de vários fatores que distinguem a  $ET_c$  da  $ET_0$ , dentre eles: a altura da cultura, a resistência da superfície e o albedo da superfície cultura–solo.

## 2.5 Análise estatística

Avaliou-se a precisão dos métodos de estimativa de  $ET_0$  com base no coeficiente de correlação ( $r$ ), no índice de concordância ( $d$ ) (Willmott, 1982) e no coeficiente de confiança ou desempenho ( $c$ ), o qual é o produto entre  $r$  e  $d$ .

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N [ |P_i - O_{med}| + |O_i - O_{med}| ]^2} \right], \quad 0 \leq d \leq 1 \quad (17)$$

$$c = r \times d \quad (18)$$

O índice  $c = 0$  indica confiança nula e o índice  $c = 1$  significa confiança perfeita. Na Tabela 2 se apresentam os valores do índice  $c$  e sua classificação, de acordo com Camargo e Sentelhas (1997). Também se obteve o erro quadrático médio pela seguinte equação:

$$EQM = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N - 1} \right]^{0,5} \quad (19)$$

em que:

$d$  – índice de concordância ou ajuste

EQM – Erro quadrático médio,  $\text{mm dia}^{-1}$

$P_i$  – evapotranspiração de referência obtida pelo método considerado,  $\text{mm dia}^{-1}$

$O_i$  – evapotranspiração de referência obtida pelo método-padrão,  $\text{mm dia}^{-1}$

$O_{med}$  – média dos valores da evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão,  $\text{mm dia}^{-1}$

$N$  – número de observações

Tabela 2. Classificação do índice de confiança ou desempenho (c) proposto por Camargo e Sentelhas (1997)

c	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Variáveis climáticas

As variações de temperatura e umidade relativa do ar, observadas durante a condução do trabalho, são apresentadas na Figura 2.

Verificou-se uma tendência estacionária da temperatura média ao longo do ciclo da cultura, com eventos de chuva no período analisado. As temperaturas máximas, acima de 30 °C ocorreram com frequência até 17 de abril que corresponde aos 75 dias após transplante (DAT); posteriormente, até o final do período aos 78 DAT, essas temperaturas se estabeleceram próximas ou inferiores a 30 °C, para e as mínimas, foram verificados valores inferiores a 25 °C (Figura 2A); a temperatura média oscilou entre 15 a 22 °C. Segundo Filgueira (2007), a temperatura ideal para o repolho deve estar entre 15 e 20 °C, demonstrando que a região apresentou plenas condições de temperatura para o desenvolvimento da cultura.

Houve elevação gradativa da umidade do ar média (Figura 2B) ao final do ciclo da cultura, e durante os períodos de precipitação. Verificou-se que até aos 78 DAT choveu 110,0 mm, ocorrendo no mesmo intervalo de tempo umidades relativas acima dos 90%. Os valores médios de umidade observados encontravam-se no intervalo de 60 a 90%.

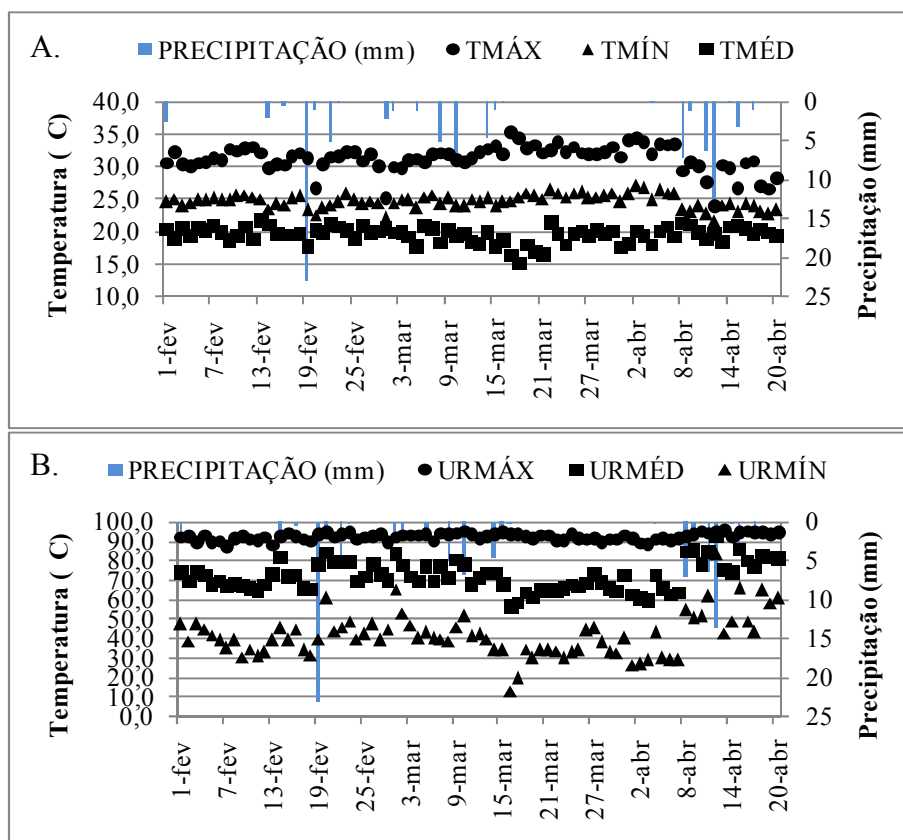


Figura 2. Evolução da temperatura (A) e da umidade relativa do ar (B), expressas em valores máximos, mínimos e médios, medidas no período de 01/02/2011 a 20/04/2011.

### 3.2 Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) Evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ )

Na Figura 3 estão apresentados os gráficos e os modelos resultantes da regressão linear considerando os métodos de estimativa da evapotranspiração diária de Penman-Monteith, Hargreaves (1977), Hargreaves-Samani (1985), Camargo, Jensen-Haise, Priestley & Taylor e Tanque Classe A para o período de 01 de Fevereiro a 20 de abril de 2011 (79 dias observados). As estimativas foram submetidas à análise e teste de desempenho em relação ao método padrão de Penman-Monteith-FAO, obtendo-se o índice de correlação ( $r$ ), o índice de concordância ( $d$ ), índice de confiança ( $c$ ) e o erro quadrado médio.

Pode-se observar na Figura 3 que dentre os métodos avaliados e comparados ao método padrão da FAO, o método de Hargreaves-Samani (1985) apresentou coeficiente de correlação moderado ( $r = 0,7$ ), porém, apresentou baixo coeficiente de concordância ( $d = 0,41$ ) e de confiança ( $c = 0,29$ ), conforme pode ser visto na Tabela 3. Os métodos de Camargo e Tanque Classe A apresentaram baixo coeficiente de correlação em função da elevada dispersão dos dados. Conforme a classificação proposta por Camargo e Sentelhas (1997), que avalia a confiança ou desempenho ( $c$ ) dos métodos com base no produto da correlação ( $r$ ) e concordância de Willmott ( $d$ ), pode-se observar que tais métodos apresentaram péssimo desempenho.

Gonçalves *et al.* (2009) comparando diferentes métodos para estimativa da evapotranspiração de referência no município de Sobral-CE também encontraram péssimo desempenho para o método de Camargo, porém, encontraram desempenho muito bom para o método de Hargreaves-Samani. Porém, Silva *et al.* (2003) comparando diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) com a determinada em lisímetro de pesagem no município de Petrolina-PE, encontrou um desempenho muito bom para o método de Penman-Monteith e péssimo desempenho para o método de Hargreaves-Samani (1985); Reis *et al.* (2007), avaliando métodos de estimativa da  $ET_0$  para Venda Nova do Imigrante, Espírito Santo (ES), em comparação ao método padrão-FAO, também obtiveram péssimo desempenho do método de Hargreaves-Samani.

O péssimo desempenho do Tanque Classe A em relação ao método padrão encontrado no presente trabalho corrobora com o encontrado por diversos autores, tais como: Silva *et al.* (2011) que testou o desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia-MG; Bassoi *et al.* (2007), na região de Petrolina-PE, que também obtiveram baixas correlações comparando o método de Penman-Monteith e Tanque Classe A, em nível diário; Dantas Neto (1999) que observou baixa correlação entre os valores médios da  $ET_0$  obtidos pelo método de Penman-Monteith e pelo Tanque Classe A em Mossoró-RN. E diverge com os resultados encontrados por Oliveira *et al.* (2010), que comparou diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência na região Norte da Bahia e encontrou desempenho regular para o Tanque Classe A; Santos *et al.* (2008), avaliando desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo na mesma região, também testou o desempenho de alguns métodos de estimativa da  $ET_0$ , e encontrou um desempenho muito bom para o método de Penman-Monteith e para o método do Tanque Classe A em relação lisímetro de pesagem; e Henrique *et al.* (2011) também na mesma região que comparou a evapotranspiração de referência estimada pelo Tanque Classe A, Tanque Alternativo e Penman-Monteith-FAO em região semiárida e encontrou um ótimo desempenho entre os tanques evaporimétricos avaliados e um mau desempenho do tanque simplificado (Classe B) quando comparado ao método de Penman-Monteith (FAO 56), em nível diário.

Ainda na Figura 3 pode-se observar que o coeficiente angular da reta de regressão, passando pela origem para o método de Jensen-Haise e Priestley & Taylor, aproximou-se de 1, demonstrando que o método testado apresenta boa exatidão. O índice de confiança “c” entre o método padrão FAO e os métodos de Jensen-Haise e Priestley & Taylor foi de 0,88 e 0,91, respectivamente, considerado ótimo desempenho de acordo com Camargo & Sentelhas (1997). Tal resultado corrobora com Silva *et al.* (2011) que encontrou ótimo desempenho entre o método de Priestley & Taylor em relação ao de Penman-Monteith na estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia-MG; e com Souza *et al.* (2010), avaliando a evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe, encontrou ótimo desempenho para ambos os métodos.

Observa-se também na Figura 3 que o método de Hargreaves (1977) apresentou o maior coeficiente de correlação ( $r = 0,98$ ), porém a reta de regressão se afastou um pouco da reta de 1 para 1. Observa-se que alguns valores estimados pelo método de Hargreaves (1977) estão subestimando e de Penman-Monteith, reduzindo os níveis de concordância e confiança dos dados, porém, o desempenho do método de Hargreaves foi considerado bom, segundo a Tabela 3.

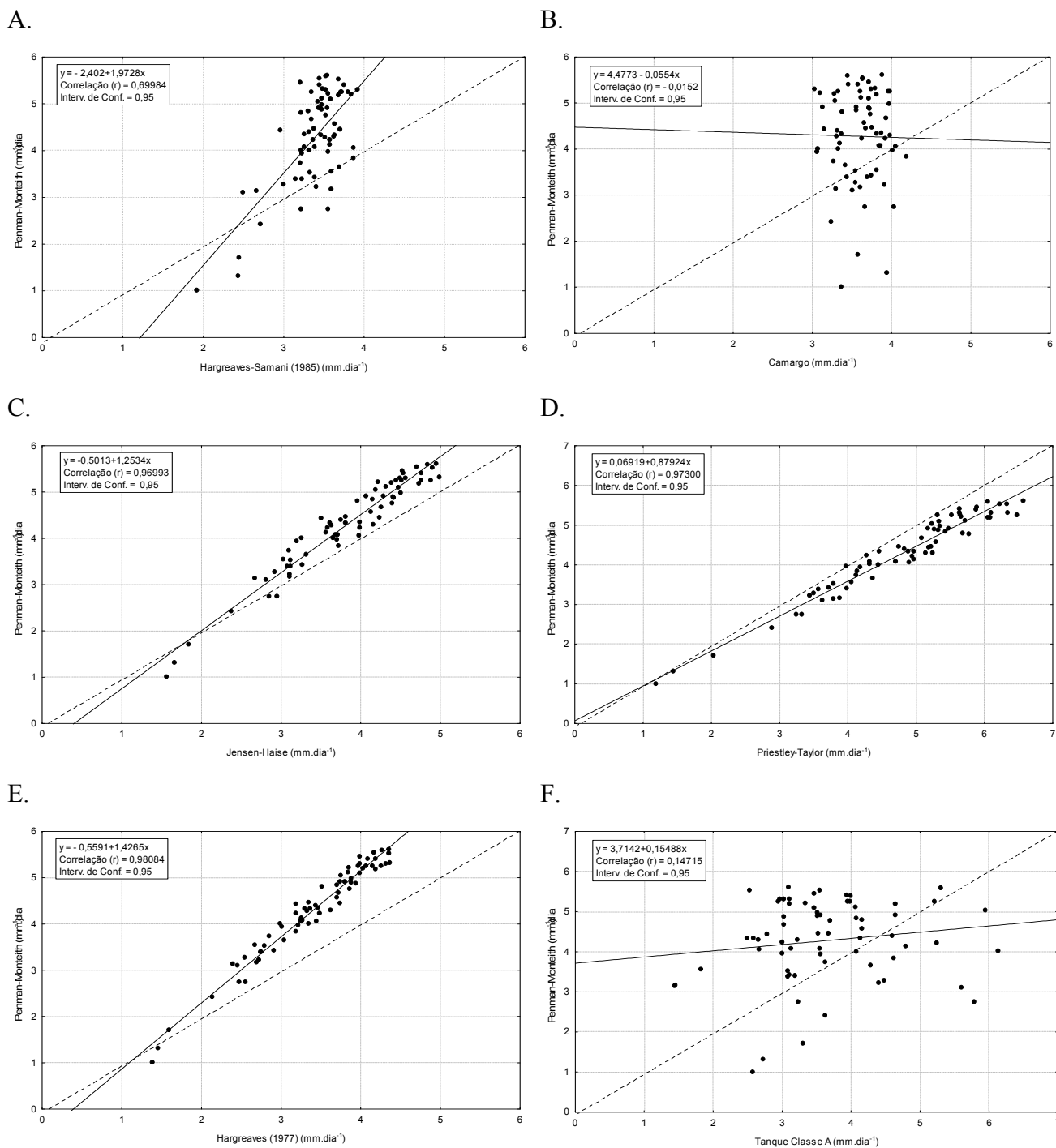


Figura 3. Análise de regressão da  $ET_0$  em escala diária entre os métodos de Penman-Monteith x Hargreaves-Samani (1985) (A), Penman-Monteith x Camargo (B), Penman-Monteith x Jensen-Haise (C), Penman-Monteith x Priestley & Taylor (D), Penman-Monteith x Hargreaves (1977) (E) e Penman-Monteith x Tanque Classe A (F).

Tabela 3. Desempenho dos métodos de estimativa da  $ET_0$ , segundo índice de desempenho “c”, para o município de Pesqueira-PE

Investigação Diária	r	d	c	EQM	Classificação
Penman-Monteith x Hargreaves-Samani (1985)	0,70	0,41	0,29	1,21	Péssimo
Penman-Monteith x Camargo	-0,01	-0,01	0,00	1,26	Péssimo
Penman-Monteith x Jensen-Haise	0,97	0,91	0,88	0,57	Ótimo
Penman-Monteith x Priestley & Taylor	0,97	0,93	0,91	0,58	Ótimo
Penman-Monteith x Hargreaves (1977)	0,98	0,75	0,74	0,96	Bom
Penman-Monteith x Tanque Classe A	0,15	0,22	0,03	1,46	Péssimo

Na Tabela 4 estão representados os termos do balanço hídrico da cultura do repolho. Os componentes escoamento superficial e variação de armazenamento foram desconsiderados, uma vez que a superfície apresentava declividade visualmente nula e a condição de fluxo descendente pôde ser assumida como continua, devido ao agrupamento dos dados em quinquêndios.

Tabela 4. Balanço hídrico quinquenal médio nos três lisímetros de drenagem cultivados com repolho, em um ciclo de 71 DAP, no período de 09/02/2011 a 20/04/2011

DAP	P (mm)	I (mm)	D (mm)	ETc (mm)
5	-	68,35	7,27	61,61
10	1,00	51,80	22,85	32,11
15	48,00	53,82	13,00	15,28
20	-	43,17	7,08	38,79
25	1,50	43,17	17,00	27,66
30	6,00	34,53	14,11	35,06
35	9,00	43,17	9,14	41,57
40	1,00	43,17	6,91	43,80
45	-	46,04	3,22	53,04
50	-	54,68	5,23	53,10
55	-	43,17	4,82	38,35
60	8,00	34,53	6,16	40,01
65	26,50	20,14	19,43	34,71
71	9,00	43,17	4,60	39,44
Total	110,00	554,54	133,55	492,92

O consumo hídrico da cultura, em um ciclo de 71 dias após plantio (DAP), foi de 492,92 mm, tendo sido a evapotranspiração de referência acumulada estimadas por Penman-Monteith, Jensen-Haise e Priestley & Taylor de 301,14, 339,31 e 266,90 mm, respectivamente. Os dois últimos métodos apresentaram desempenho ótimo em comparação com método padrão. A drenagem média total obedeceu a 24,08% do total aplicado, indicando que houve suprimento suficiente de água para a cultura. Entretanto, Marouelli *et al.* (2010), avaliando a eficiência de uso da água e produção de

repolho sobre diferentes quantidades de palhada em plantio direto, verificou que a lâmina de água total irrigada no plantio convencional foi de 526 mm. Este valor é muito próximo ao encontrado no presente trabalho, embora, verifica-se a grande dependência existente entre o termo evapotranspirométrico e as condições climáticas de diferentes regiões.

Na tabela 5 são apresentados os valores de coeficiente de cultura do repolho nas diversas fases fenológicas, avaliadas no presente estudo em comparação com diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), bem como relatados em outro trabalho da literatura.

Tabela 5. Valores de coeficiente de cultura nos diversos estádios de desenvolvimento obtidos no presente estudo utilizando as estimativas da  $ET_0$  pelo método de Penman-Monteith (PT), Jensen-Haise (JH) e Priestley & Taylor (PT) e relatado na literatura por Doorenbos e Pruitt (DP)

Fase fenológica	DAP	$K_{cPM}$	$K_{cPT}$	$K_{cJH}$	$K_{cDP}$
Inicial	0-17	1,87	1,68	2,04	0,60
Crescimento	18-43	1,85	1,63	2,04	0,75
Intermediário	44-65	2,32	2,09	2,48	0,95
Final	66-71	2,09	1,78	2,33	0,80

Verifica-se que as estimativas dos  $K_c$ 's utilizando o método padrão e o método de Priestley & Taylor foram equiparáveis, entretanto, todos os métodos avaliados apresentaram valores superiores ao relatados na literatura em todas as fases. Corroborando com o presente trabalho, Santos, *et al.* (2009), avaliando o consumo hídrico da cenoura utilizando lisímetro de drenagem na mesma área, também encontrou valores de  $K_c$ 's superiores aos de Doorenbos e Pruitt (1977). Assim, verifica-se a importância da determinação local de  $K_c$  para as distintas fases fenológicas de diversas variedades, contribuindo para um melhor manejo da cultura e da água em ambientes agrícolas.

A produtividade média no interior dos lisímetros foi de 22,48 Mg ha<sup>-1</sup>. Carvalho *et al.* (2011) obtiveram 37,50 Mg ha<sup>-1</sup> na mesma região do presente trabalho. Santos *et al.* (2009), utilizando cenoura nos mesmos lisímetros de drenagem conseguiram uma produtividade média de 27,98 Mg ha<sup>-1</sup>. Segundo Filgueira (2007), geralmente a produtividade do repolho é superior a 50 Mg ha<sup>-1</sup>, quando em condições hídricas e de temperatura adequada, entre 15 e 20 °C.

#### 4. CONCLUSÕES

Conclui-se que os métodos de Jensen-Haise e Priestley & Taylor podem ser utilizados para estimativa da  $ET_0$  diária, na ausência de variáveis utilizadas para estimativa da  $ET_0$  pelo método de Penman-Monteith, uma vez que os métodos apresentaram ótimo desempenho.

O consumo hídrico total da cultura foi de 492,92 mm, com coeficiente de cultura médio de 2,02 estimado pelo método de Penman-Monteith.



## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Projeto CISA, ao CNPq pelo financiamento da pesquisa e pela bolsa concedida ao primeiro autor e ao Programa de Pesquisa e Pós – Graduação da UFRPE.

## BIBLIOGRAFIA

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998). *Crop e evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements*. Roma: FAO, (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56), 297p.

BASSOI, L. H.; FERREIRA, M. N. L.; COELHO, R. D.; SILVA, J.A M.; SILVA, E. E. G.; MAIA, J. L. T. (2007). “*Evapotranspiração de referência obtida pelo tanque classe A e por Penman-Monteith (FAO): Influência na determinação do Kc da Goiabeira em Petrolina – PE*”. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Aracaju-SE.

BRAGA, M. B.; CALGARO, M., MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F. (2008). “*Coefficientes do tanque classe “A” para estimativa da evapotranspiração de referência na região do Vale do Submédio São Francisco, estado da Bahia*”. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.16, n.1, p.49-57.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. (2000). “*Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial*”. Bragantia, Campinas, v.59, n.2, p.125-137.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. (1997). “*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.

CAMPOS, J.H.B.C.; SILVA, V.P.R.; AZEVEDO, P. V.; BORGES, C. J. R.; SOARES, J. M.; MOURA, M. S. B.; SILVA, B. B. (2008). “*Evapotranspiração e produtividade da mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, n.2, p.150-156.

CARVALHO, J.F.; MONTENEGRO, A.A.A.; SOARES, T.M.; SILVA, E.F.F.; MONTENEGRO, S.M.G.L. (2011). “*Produtividade do repolho utilizando cobertura morta e diferentes intervalos de irrigação com água moderadamente salina*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.3, p.256–263.

CISAGRO (1990). Companhia Integrada de Serviços Agropecuários. *Projeto de irrigação da Fazenda Nossa Senhora do Rosário*. Pesqueira, 120 p.

DANTAS NETO, F.S. (1999). Avaliação de métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Mossoró RN. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.7, n.1, p.4655.

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

ESTEVES, B.S.; MENDONÇA, J.C.; SOUSA, E.F.; BERNARDO, S. (2010). “*Avaliação do Kt para estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) em Campos dos Goytacazes, RJ*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.3, p.274–278.

- FERNANDES, D.S.; HEINEMANN, A.B.; PAZ, R.L.; AMORIM, A.O. (2010). *“Evapotranspiração – Uma Revisão sobre os Métodos Empíricos”*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644, Documentos 263, 44p.
- FILGUEIRA, F.A.R. (2007). *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. Viçosa, MG: UFV, 402p.
- GONÇALVES, F.M., FEITOSA, H.O., CARVALHO, C.M., GOMES FILHO, R.R., VALNIR JÚNIOR, M. (2009). *“Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral-CE”*. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v.3, n.2, p.71-77.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering Agriculture, v.1, n.2, p.96-99.
- HARGREAVES, G.H. (1977). *Water requirements manual for irrigated crops and rainfed agriculture*. Logan: Utah State University, 41p.
- HENRIQUE, H.M.; MONTENEGRO, A.A.A.; SILVA, J.R.L.; SILVA, J.J.N.; NANES, M.B. (2011). *“Comparação da evapotranspiração de referência estimada pelo Tanque Classe A, Tanque Alternativo e Penman-Monteith-FAO em região semiárida”*. In: XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Guarapari-ES.
- IRMARK, S.; HAMAN, D.Z.; JONES, J.W. (2002). *“Evaluation of Class A pan coefficients for estimating reference evapotranspiration in humid location”*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.128, n.3, p.153-159.
- JENSEN, M. E., HAYSE, H. R. (1963). *“Estimating evapotranspiration from solar radiation”*. Journal of the Irrigation and Drainage Division, New York, v.89, n. 4, p. 15-41.
- MALDONADO, I.; QUEZADA, C.; LEÓN, L.; MÁRQUEZ, L. (2006). *“Irrigation scheduling in the sugar beet by pan evaporation and the Penman-Monteith equation”*. Ciencia e Investigación Agraria, v. 33, n.3, p.201-210.
- MARQUELLI, W.A.; ABDALLA, R.P.; MADEIRA, N.R.; OLIVEIRA, A.S.; SOUZA, R.F. (2010). *“Eficiência de uso da água e produção de repolho sobre diferentes quantidades de palhada em plantio direto”*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, n.4, p.369-375.
- OLIVEIRA, G.M.; LEITÃO, M.M.V.B.R.; BISPO, R.C.; SANTOS, I.M.S.; ALMEIDA, A.C. (2010). *“Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência na região norte da Bahia”*. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.4, n.2, p.104–109.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. (1997). *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ, 183p.
- PEREIRA, D. R.; YANAGIR, S. N. M.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; SILVA, L. A. (2009). *“Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG”*. Ciência Rural, Santa Maria, v.39, n.9, p.2488-2493.
- PRIESTLEY, C.H.B.; TAYLOR, R.J. (1972). *“On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters”*. Monthly Weather Review, Boston, v. 100, n. 2, p. 81-92.

- REIS, E. F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. O.; PEZZOPANE, J. E. M.; TAGLIAFERRE, C. (2007). “*Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do Estado do Espírito Santo no período seco*”. Idésia, Arica, v. 25, n. 3, p. 75-84.
- RIBEIRO, M.R.; CORRÊA, M.M. (2001). *Levantamento detalhado de solos da Fazenda Nossa Senhora do Rosário*. In: Montenegro, A. A. A. Diagnóstico e controle da salinização em aluviões com pequena agricultura irrigada. Recife: UFRPE, Relatório de Projeto CNPq- Programa Nordeste.
- SANTOS, F.X.; MONTENEGRO, A.A.A.; SILVA, J.R.; SOUZA, E.R. (2009). “*Determinação do consumo hídrico da cenoura utilizando lisímetros de drenagem, no agreste pernambucano*”. Ciências Agrárias, v.4, n.3, p.304-310.
- SANTOS, F.X.; RODRIGUES, J.J.; MONTENEGRO, A.A.A.; MOURA, R.F. (2008). “*Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no semi-árido nordestino*”. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.28, n.1, p.1155-124.
- SELLÉS, G.; FERREYRA, E.R. (2005). “*Críterios para controlar el riego en uva de mesa*”. In: INIA (ed). Manejo del Riego y Suelo en Vides para Vino y Mesa. Santiago, Chile: INIA, p.15-53.
- SENTELHAS, P.C.; FOLEGATTI, M.V. (2003). “*Class A pan coefficients (Kp) to estimate daily reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>)*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.1, p.111-115.
- SILVA, L.C.; RAO, T.V.R. (2006). “*Avaliação de métodos para estimativa de coeficientes da cultura de amendoim*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.10, n.1, p.128–131.
- SILVA, T.J.A., MONTENEGRO, A.A.A., RODRIGUES, J.J.V., BONFIM, E.M.S. (2003). “*Aplicação de lisímetro de pesagem hidráulica na determinação da evapotranspiração de referência, em Petrolina-PE*”. Revista de Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.23, n.3, p.511-520.
- SILVA, V.J.; CARVALHO, H. P.; SILVA, C.R.; CAMARGO, R.; TEODORO, R. E. F. (2011). “*Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG*”. Biosci. J., Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 95-101.
- SILVA, V.P.R.; BELO FILHO, A.F.; SILVA, B.B.; CAMPOS, J.H.BC. (2005). “*Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.4, p.547-553.
- SOUSA, I.F., SILVA, V.P.R, SABINO, F.G., NETTO, A.O.A., BRUCE K. N. SILVA, B.K.N., AZEVEDO, P.V. (2010). “*Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.6, p.633–644.
- WILLMOTT, C.J. (1982). “*Some comments on the evaluation of model performance*”. American Meteorological Society, New York. v.63, n.11, p.1309-1313.