

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ESTIMATIVAS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO AGRESTE DE PERNAMBUCO

*Kamilla Freitas de Santana*¹; *Abelardo Antônio de Assunção Montenegro*²; *Raíssa Rattes*³; *Eduardo S. Santos*⁴; *Vivaldo Tavares de Araújo*⁵

RESUMO --- A pesquisa foi desenvolvida em vale aluvial irrigado inserido na Bacia Hidrográfica Experimental do Alto Ipanema, monitorada pela Rede de Hidrologia do Semiárido-REHISA, na Fazenda Nossa Senhora do Rosário, Pesqueira-PE. Foram avaliadas as variáveis climatológicas: umidade relativa do ar, temperatura, velocidade do vento e precipitação, que fornecem subsídios para o cálculo de evapotranspiração de referência (ET_o). Analisaram-se as leituras diárias, conduzidas por agricultor local, em Tanque Classe A (ECA) para avaliação do coeficiente de tanque K_p para estimativa da ET_o para o período 2009 a 2012. Os seguintes métodos de estimativa do K_p foram investigados: Cuenca (1989), Snyder (1992), Allen *et al.* (1998) e FAO 24 (1977). Estes métodos foram avaliados em comparação com o método adotado como padrão (Penman-Monteith). O desempenho dos diferentes métodos de determinação do K_p na estimativa da ET_o, a partir da ECA foram comparados por meio de análise de regressão, bem como pelo método de concordância de Willmott. Os resultados indicam que os melhores métodos de determinação do K_p, para a estimativa da ET_o, foram Snyder, FAO 24, FAO 24 e Cuenca, para os anos de 2009, 2010, 2011 e 2012, respectivamente.

ABSTRACT --- The study was conducted in irrigated alluvial valley inserted in the Experimental Basin of Alto Ipanema, studied by the Network for the Semi-Arid Hydrology REHISA, at Nossa Senhora do Rosário Farm, Pesqueira-PE. The climate variables were evaluated: relative humidity, temperature, wind speed and precipitation, required for the calculation of reference evapotranspiration (ET_o). Daily readings were performed and analyzed, conducted by local farmer, in a Class A Pan (ECA) for evaluation of K_p pan coefficient for the estimation of ET_o for the period 2009 to 2012, aiming to develop studies and irrigation water demand. The following methods were analysed to estimate K_p: Cuenca (1989), Snyder (1992), Allen *et al.* (1998) and FAO 24 (1977), compared to the method adopted as the standard (Penman-Monteith). The performance of different methods for determining K_p in the estimation of ET_o from ACE were compared by means of regression analysis and using the performance method proposed by Willmott. The results showed that the best methods for determining K_p to estimate ET_o were Snyder, FAO 24, FAO 24 and Cuenca for the years 2009, 2010, 2011 and 2012, respectively.

Palavras-chave: hidrologia, semiárido, evapotranspiração.

1) Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Av. Dom Manoel de Medeiros, S/N, Dois Irmãos, Recife-PE. e-mail: milakfs@hotmail.com

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

3) Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco –UFRPE, Av. Dom Manoela de Medeiros, S/N, Dois Irmãos, Recife-PE.

4) Doutorando em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco –UFRPE, Av. Dom Manoela de Medeiros, S/N, Dois Irmãos, Recife-PE.

5) Bolsista de Apoio Técnico do CNPq- Fazenda Nossa Senhora do Rosário- Pesqueira- PE.

1. INTRODUÇÃO

Na região Nordeste do Brasil, normalmente não se encontram condições naturais de precipitação pluvial com frequência e distribuição suficientes para atender plenamente às necessidades hídricas das plantas (BARRETO & AMARAL, 2004). Segundo Lima (2005), a principal característica da aridez é que nas áreas com climas áridos, semiáridos ou subúmidos secos as entradas de umidade (nível anual de precipitação) são menores que as perdas de umidade (evapotranspiração potencial), o que favorece a desertificação. Sendo assim, é importante que se estabeleçam elementos para a gestão sustentada dos recursos naturais, bem como a utilização de práticas agrícolas sustentáveis e o reforço da capacidade de avaliação e observação sistemática, incluindo os monitoramentos hidrológicos e meteorológicos.

Destaca-se que no semiárido nordestino, pela sua própria definição, a água é o fator mais limitante à obtenção de elevadas produtividades agrícolas, de forma regular, ao longo dos anos. Tendo ainda como outra característica regional, a extrema variabilidade das condições climáticas, e por caracterizar-se com uma estação seca de longa duração, a irrigação para o cultivo agrícola pernambucano torna-se essencial (REDDY, 1983; SANTIAGO *et al.*, 2004).

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA, conduzindo um projeto de avaliações ambientais integradas, denominado Global Environment Outlook (GEO Brasil, 2007), especifica que, quanto ao uso, a maior parte dos recursos hídricos empregados no Brasil destina-se às atividades produtivas, com destaque para a irrigação, setor que mais consome água no Brasil.

O sucesso da utilização da água para fins de irrigação depende, dentre outros requisitos, do conhecimento preciso da demanda hídrica da cultura. Assim, o manejo de irrigação em regiões semiáridas deve ser conduzido de modo que se faça o planejamento de irrigação em termos de máxima produção por unidade de água aplicada (SANTOS *et al.*, 2009; BERNARDO, 2006).

Segundo Silva & Rao (2006), a irrigação é uma prática a qual permite a redução dos riscos e possibilita que as culturas externem os seus potenciais de produtividade e, no que se refere ao seu manejo, a base para a quantificação da água a ser aplicada a dada cultura está associada, comumente, à capacidade da superfície, solo, vegetação e atmosfera, de perder água em determinada condição climática. A forma usual de se quantificar a água a ser aplicada ao longo do ciclo da cultura, é considerar os processos de evaporação do solo e de transpiração da planta conjuntamente, no que se denomina evapotranspiração de referência (ET_o).

A determinação da evapotranspiração, assim como os coeficientes utilizados no manejo da irrigação, tem sido o grande desafio dos pesquisadores, os quais procuram caracterizar regionalmente esses fatores buscando a condição ideal de suprimento hídrico da cultura e a preservação dos mananciais de captação (BERNARDO, 1995).

A ET_o corresponde, portanto, à ocorrência simultânea dos processos de transpiração e evaporação de uma extensa superfície gramada, sem restrição hídrica e em crescimento ativo (THORNTON, 1948, citado por PEREIRA *et al.*, 1997).

Portanto, o conhecimento sobre o consumo hídrico das culturas, obtido com base na estimativa da ET_o, constitui uma informação preciosa no manejo da água em qualquer região do planeta, principalmente agora em que ocorre forte conscientização popular em relação aos recursos hídricos, em referência a décadas anteriores (CAMPOS *et al.*, 2008).

Segundo Thornthwaite, (1948) citado por Pereira *et al.* (1997), a ET_o representa um elemento climatológico que corresponde ao processo oposto da chuva sendo expressa na mesma unidade de medida (mm), tornando possível à estimativa da demanda hídrica da cultura e as condições ou disponibilidade de água no solo através do balanço hídrico climático. A evapotranspiração pode ser determinada por meio de medidas diretas ou por modelos que levam em consideração a utilização de variáveis climáticas.

O Boletim 24 da Food and Agriculture Organization (FAO), preparado por Doorenbos & Pruitt (1977), utilizou o conceito de ET_o, tomando-a como referência para estimar as necessidades hídricas das culturas, explicitando que a grama deve ter entre 0,08 a 0,15m de altura para melhor

caracterizar a superfície foliar transpirante. Em 1990, a FAO, reuniu uma equipe de especialistas em evapotranspiração para rever esse boletim. A partir dessa reunião definiu-se que o método de Penman-Monteith seria o mais indicado para estimar a evapotranspiração de uma cultura na escala diária (PEREIRA *et al.*, 1997). A adoção desse boletim pela comunidade irrigante consagrou o termo evapotranspiração de referência (ET_0) introduzido por Jensen *et al.* (1971).

Allen *et al.* (1998), em trabalhos recentes, redefiniu ET_0 como sendo aquela de um gramado hipotético, com altura de 0,12 m, albedo igual a 0,23 e resistência da superfície ao transporte de vapor d'água igual a 70 s m^{-1} . Para um gramado com essas condições, o índice de área foliar (IAF) está em torno de $3,0 \text{ m}^2$ de área foliar por m^2 de terreno ocupado, assemelhando-se a uma superfície verde sombreando totalmente o solo, bem suprida de umidade, e em crescimento ativo.

Conforme comentado por Silva *et al.* (2005), são diversos os métodos para a estimativa da ET_0 , podendo ser divididos em métodos diretos e indiretos.

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). Entretanto, diversos pesquisadores questionam o método de escolha do K_p para estimação da ET_0 pelo método do tanque Classe A. Assim, o coeficiente adotado para determinada região deve ser adequado para que não haja estimativas equivocadas; por esta razão, a pesquisa regional em busca de valores de K_p específicos é de suma importância para o manejo racional da água (SANTOS *et al.* 2008; BRAGA *et al.*, 2008; ESTEVES *et al.*, 2010).

Tal método apresentou bom desempenho em estudo de Esteves *et al.* (2010), ao analisar um série de 10 anos de dados, em Campos dos Goytacazes, RJ, avaliando o desempenho do Tanque Classe A como mediano. Este resultado está de acordo com Silva & Rao (2006), que classificou o TCA entre os mais adequados para o manejo eficiente da irrigação no município de Rodelas, BA, em períodos semanais. Tais resultados diferem, entretanto, dos obtidos por Sousa *et al.* (2010), que, trabalhando com uma série de 5 anos de dados, classificou o método Tanque Classe A com desempenho não satisfatório em quatro perímetros irrigados no Estado de Sergipe.

Neste contexto, este estudo teve por objetivo avaliar diferentes metodologias para a estimativa do coeficiente do tanque (K_p), utilizado no método do TCA para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0), em escala diária, no vale do Rosário, Pesqueira, PE.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo está localizada em vale aluvial irrigado inserido na Bacia Hidrográfica Experimental do Alto Ipanema, estudada pela Rede de Hidrologia do Semiárido - REHISA. A mesma dista cerca de 230 km de Recife-PE, com coordenadas geográficas de $08^{\circ}10'25'' \text{ S}$ e $35^{\circ}11' \text{ W}$, de latitude e longitude, respectivamente, e 650 m de altitude (SANTIAGO, 2002). O clima do local é classificado, segundo Köppen, como BShw' Semiárido quente, caatinga hiperxerófila, com temperatura média anual em torno de 27°C . A umidade relativa média anual do ar é de 73%, e a velocidade média do vento é de 2,5 m/s (CISAGRO, 1990). Dados obtidos da estação climatológica de Pesqueira registram uma precipitação média anual de 730 mm e uma evapotranspiração potencial de referência, estimada por Tanque Classe A, de 1638 mm anual (MONTENEGRO, 2001).

2.2. Estimativa da evapotranspiração potencial de referência (ET_0)

A ET_0 diária estimada a partir de dados meteorológicos de precipitação, temperatura, radiação solar, umidade do ar e velocidade do vento, obtidos em uma estação agroclimatológica automática

fabricada pela Campbell Scientific e Tanque Classe A, alocados na Fazenda Nossa Senhora do Rosário foi analisada para o período de 2009 a março de 2012.

2.2.1. Tanque Classe A

Uma maneira prática e direta de se estimar a Evapotranspiração de Referência é através do Tanque Classe A (Figura 1). Trata-se de um método indireto de determinação da ETo e consiste em um evaporímetro (tanque) circular, com 1,21 metros de diâmetro, por 0,254 metros de altura, construído em chapa galvanizada número 22.



Figura 1: Tanque Classe A

O tanque é assentado no solo coberto por grama, sobre um estrado de caibros de 0,10 x 0,05 x 1,24 metros, nivelado sobre o terreno. O Tanque Classe A é preenchido com água limpa até 5 cm da borda superior, e se permite um nível mínimo de água de 7,5 cm, a partir da borda, ou seja, a cada 25 mm (2,5 cm) de evaporação deve-se restaurar o volume do tanque.

Sua operação é bastante simples e a variação do nível da água é medida com o auxílio de uma ponta de medida, tipo gancho, assentada em cima de um poço tranquilizador, também devidamente nivelado, sendo a precisão da medida igual a 0,02 mm. A leitura do nível de água é realizada diariamente e a diferença entre leituras caracteriza a evaporação no período. Com as leituras diárias de evaporação no tanque, adota-se a conversão da evaporação do Tanque Classe A, para evapotranspiração de referência (ETo). As leituras diárias foram realizadas por um agricultor treinado por equipe técnica da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

Para a estimativa da ETo pelo método do TCA utilizou-se a Eq. 1:

$$ET_0 = ECA * K_p \quad (1)$$

em que:

ECA – evaporação do Tanque Classe A, em mm d⁻¹ (leitura do dia anterior menos leitura atual);

Kp – coeficiente do tanque (adimensional).

2.2.1.1 Coeficiente de Tanque

O coeficiente do Tanque Classe A (Kp) depende da velocidade do vento, da umidade relativa e do tamanho da bordadura formada por grama batatais plantada em volta do Tanque Classe A. No entanto, o que realmente se deseja é a evapotranspiração da cultura, ou seja, deve-se repor a água que foi consumida pela cultura de interesse e este consumo varia em função do estágio de desenvolvimento de cada cultura. Assim, a evapotranspiração da cultura é obtida multiplicando-se a evapotranspiração de referência pelo coeficiente de cultura (Kc).

Os valores de Kp diários foram determinados pelas seguintes metodologias:

- **Cuenca (1989)** apresentada na Eq. 2

$$K_p = 0,475 - 2,4 \cdot 10^{-4} U_2 + 5,16 \cdot 10^{-3} H + 1,8 \cdot 10^{-3} F - 1,6 \cdot 10^{-5} H^2 - 1,01 \cdot 10^{-6} F^2 - 8 \cdot 10^{-9} H^2 F - 1 \cdot 10^{-8} H^2 F \quad (2)$$

- **Snyder (1992)** apresentada na Eq. 3

$$K_p = 0,482 + 0,024 \ln(F) - 0,000376 U_2 + 0,0045 H \quad (3)$$

- **Allen et al. (1998)**, apresentada na Eq. 4

$$K_p = 0,108 - 0,0286 U_2 + 0,0422 \ln(F) + 0,1434 \ln(H) - 0,000631 [\ln(F)]^2 \ln(H) \quad (4)$$

em que:

U_2 – velocidade do vento a 2 m de altura, em km d^{-1} ;

H – umidade relativa média, em percentagem;

F – bordadura da área grama, considerada igual a 5 m.

- **Doorenbos e Pruitt –FAO 24** apresentada na Eq. 5

$$K_t = 0,65 \quad (5)$$

2.2.2 Método de Penman-Monteith

Este método foi definido em 1990 pela FAO como o mais indicado para estimar a evapotranspiração de uma cultura na escala diária, considerado uma referência internacional, que representa uma cultura hipotética a qual permite se obter resultados confiáveis do potencial de evapotranspiração de um local. (PEREIRA *et al.*, 1997; MEDEIROS, 2002), o método de Penman-Monteith parametrizado, proposto por Allen *et al.* (1998), foi utilizado para estimação diária da ET_o , segundo a equação (6):

$$ET_o^{PM} = 0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma (900/T + 273) U_2 (e_s - e_a) / \Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2) \quad (6)$$

em que:

ET_o – evapotranspiração potencial, em mm d^{-1} ;

R_n – saldo de radiação, em $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$;

G – fluxo de calor no solo, em $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$;

T – temperatura média diária do ar, em $^{\circ}\text{C}$;

γ – constante psicrométrica, em $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$;

Δ – tangente da curva de pressão de saturação de vapor em função da temperatura do ar em $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$;

U_2 – velocidade média diária do vento a 2m de altura, em m.s^{-1} ; $(e_s - e_a)$ – déficit de pressão de vapor, em kPa .

2.2.2.1 Estação Agroclimatológica

Informações automáticas foram coletadas em plataformas (Figura 2), e sistematizadas, para posterior disponibilização aos usuários. Dentre as variáveis a serem estudadas, podem ser citadas velocidade do vento, precipitação, umidade relativa do ar e temperatura.



Figura 2: Estação climatológica automática Campbell Scientific instalada na Bacia do Alto Ipanema.

2.2.3 Análise estatística

Para avaliação do desempenho dos métodos, procedeu-se a uma análise de correlação linear, na qual a variável dependente foi o método de Penman-Monteith (ET_o^{PM}), e a variável independente o método do TCA estimado com as diferentes metodologias de estimativa de K_p . Com base no coeficiente de correlação (r), no índice de concordância (d) Willmott (Eq. 7), e no coeficiente de confiança ou desempenho (c), o qual é o produto entre r e d , Eq. (8):

$$d = 1 - \left[\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 / \sum_{i=1}^N [|P_i - O_{med}| + |O_i - O_{med}|]^2 \right] \quad (7)$$

$$c = r \times d \quad (8)$$

em que:

d – índice de concordância ou ajuste; P_i – evapotranspiração de referência obtida pelo método considerado, mm dia^{-1} ; O_i – evapotranspiração de referência obtida pelo método-padrão, mm dia^{-1} ; O_{med} – média dos valores da evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão, mm dia^{-1} ; N – número de observações.

O índice $c = 0$ indica confiança nula e o índice $c = 1$ significa confiança perfeita (SOUSA *et al.*, 2010).

Os erros foram calculados por meio do Erro Quadrático Médio (EQM) de acordo com a Eq. (9):

$$EQM = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N - 1} \right]^{0,5} \quad (9)$$

em que:

N – número de observações; P_i – evapotranspiração de referência obtida pelo método considerado (mm dia^{-1}); O_i – evapotranspiração de referência obtida pelo método-padrão (mm dia^{-1}).

Na Tabela 1 se apresentam os valores do índice “c” e sua classificação, de acordo com Camargo e Sentelhas, enquanto que na Tabela 2 é apresentada a classificação conforme o coeficiente de correlação.

Tabela 1. 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

Tabela 2. Classificação das correlações de acordo com o coeficiente e correlação, seguindo a metodologia de Hopkins (2007).

Coeficiente de correlação (r)	Classificação
0,0 - 0,1	Muito baixa
0,1 - 0,3	Baixa
0,3 - 0,5	Moderada
0,5 - 0,7	Alta
0,7 - 0,9	Muito alta
0,9 - 1,0	Quase perfeita

Em função da avaliação do coeficiente de tanque (Kp), aplicado no Tanque Classe A, para estimativa da Evapotranspiração de Referência (ET_o), utilizou-se de uma série de 4 anos de dados meteorológicos diários e de evaporação referente ao período de janeiro de 2009 a março de 2012, coletados por uma estação automática modelo Campbell e Tanque Classe A alocados na Fazenda Nossa Senhora do Rosário, em Pesqueira - PE, nas coordenadas geográficas de 08°10'25''S e 35°11'00''W, de latitude e longitude, respectivamente e 650 m de altitude.

Os dados referentes a dias de chuva foram excluídos além de falhas do equipamento e demais anormalidades. A ET_o diária considerada padrão de referência foi estimada pelo método de Peman-Monteith parametrizado, proposto por Allen *et al.* (1998).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 apresenta uma média mensal da evapotranspiração para o período de janeiro de 2009 a março de 2012, a partir da qual se pode observar um ajuste das metodologias avaliadas para estimativa da ET_o (Cuenca, Snyder, Allen e FAO 24) para Tanque Classe A, em comparação com o método padrão (Penman-Monteith), corroborando com os resultados observados por ESTEVES *et al.* (2010) em Campos dos Goytacazes, RJ.

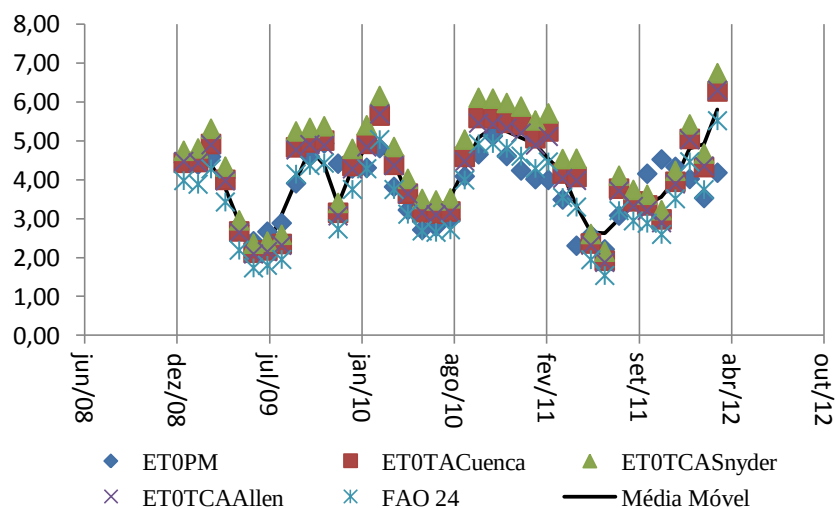


Figura 3. Média mensal da evapotranspiração de referência (ETo) estimada pelo método de Penman-Monteith parametrizado e pelo tanque Classe A para o período de 2009 a 2012.

Em geral, todos os métodos avaliados não previram os valores de Kp muito bem, apresentando valores superestimados, e com baixa correlação em relação ao método de Penman-Monteith para estimativa diária da ETo.

Observando a Figura 4 pode-se concluir que, igualmente ao ocorrido para o período total estudado, as metodologias avaliadas acompanharam o mesmo ajustamento da metodologia padrão (ET_0^{PM}) para todos os meses de cada ano avaliado.

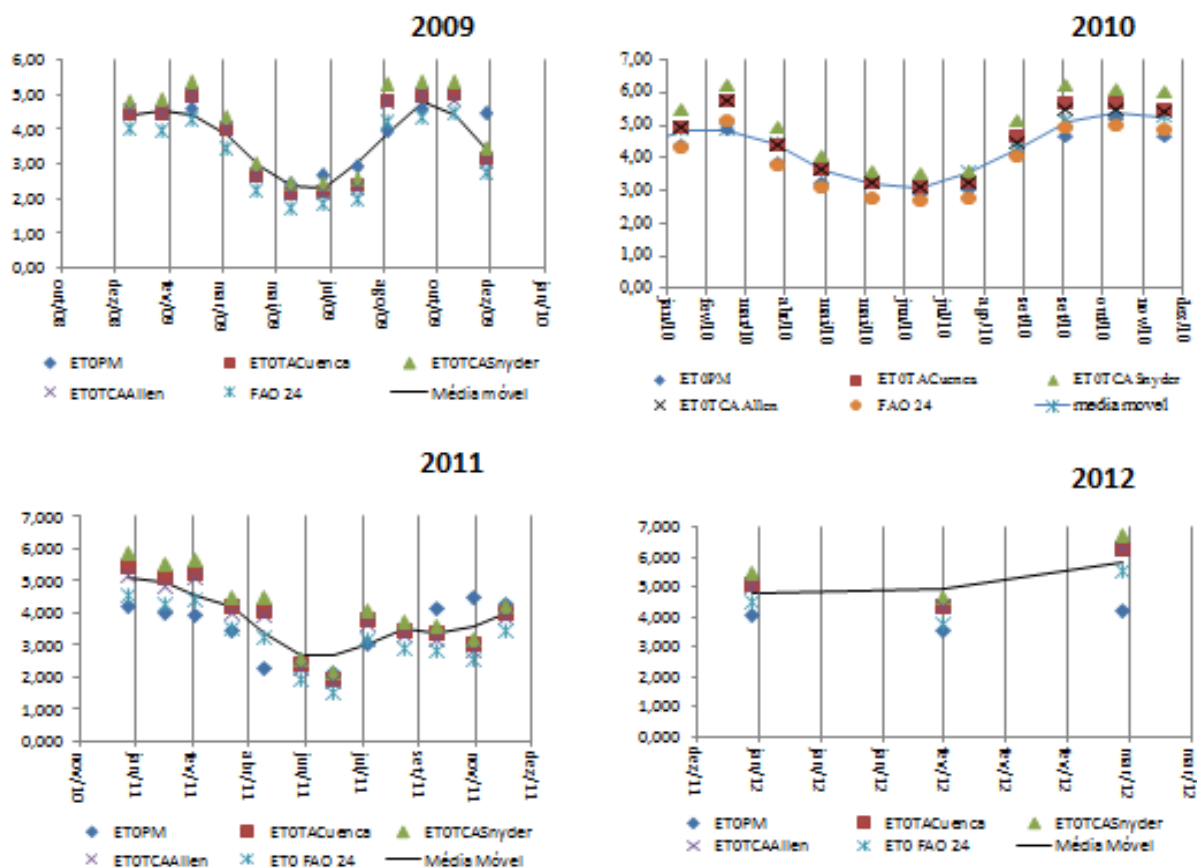


Figura 4. Valores médios mensais da evapotranspiração de referência (ETo) estimada pelo método de Penman-Monteith parametrizado e pelo tanque Classe A com o uso das diferentes metodologias de obtenção do coeficiente do tanque (Kp).

No período de 2009 e 2010, as metodologias de Snyder, Cuenca e Allen, apresentaram comportamento superior à metodologia padrão, além da metodologia da FAO 24 no caso dos anos 2011 e 2012, tais resultados corroborando com os encontrados por Braga *et al.* (2008), e Esteves *et al.* (2010). Igualmente, Mendonça *et al.* (2003), em estudos de metodologias para estimativa da ETo, no norte Fluminense, observou que o TCA superestimou o método de Penman-Monteith. Segundo Duarte *et al.* (2003), devido à área relativamente pequena do Tanque Classe A, da absorção da radiação pelas paredes do recipiente e pelo fato dele criar seu próprio ambiente aerodinâmico ao ficar exposto acima do solo, obtêm-se valores de evaporação às vezes um pouco exagerados, proporcionando uma superestimativa da ETo, justificando o comportamento encontrado.

Na tabela 3 apresentam-se o desempenho dos métodos de estimativa da ETo, segundo índice de desempenho “c”, para o Vale do Rosário, Pesqueira-PE, período de 2009 a 2012.

Tabela 3. Desempenho dos métodos para estimativa de ETo, obtido por meio do índice de confiança, e respectivos coeficientes de determinação e correlação e erro quadrático médio.

Ano	Investigação Diária	c	r ²	r	EQM	Desempenho
2009	Penman-Monteith x Cuenca	0,57	0,54	0,74	0,96	Sofrível
	Penman-Monteith x Allen <i>et al.</i>	0,52	0,45	0,67	0,98	Sofrível
	Penman-Monteith x Snyder	0,59	0,56	0,75	0,11	Sofrível
	Penman-Monteith x FAO 24	0,55	0,47	0,68	0,90	Sofrível
2010	Penman-Monteith x Cuenca	0,69	0,71	0,84	0,92	Bom
	Penman-Monteith x Allen <i>et al.</i>	0,68	0,67	0,82	0,88	Bom
	Penman-Monteith x Snyder	0,61	0,72	0,85	0,11	Mediano
	Penman-Monteith x FAO 24	0,77	0,94	0,97	0,63	Muito bom
2011	Penman-Monteith x Cuenca	0,34	0,28	0,53	1,18	Péssimo
	Penman-Monteith x Allen <i>et al.</i>	0,33	0,26	0,51	1,15	Péssimo
	Penman-Monteith x Snyder	0,37	0,36	0,60	1,29	Péssimo
	Penman-Monteith x FAO 24	0,50	0,42	0,65	0,90	Mau
2012	Penman-Monteith x Cuenca	0,07	0,09	0,30	1,91	Péssimo
	Penman-Monteith x Allen <i>et al.</i>	0,05	0,13	0,36	1,62	Péssimo
	Penman-Monteith x Snyder	0,04	0,10	0,32	1,68	Péssimo
	Penman-Monteith x FAO 24	0,06	0,17	0,42	1,40	Péssimo
2009 – 2012	Penman-Monteith x Cuenca	0,61	0,58	0,76	0,90	Mediano
	Penman-Monteith x Allen <i>et al.</i>	0,55	0,50	0,71	0,87	Sofrível
	Penman-Monteith x Snyder	0,59	0,58	0,76	1,03	Sofrível
	Penman-Monteith x FAO 24	0,57	0,49	0,70	0,83	Sofrível

Pôde-se observar, de acordo com a Tabela 3, que os anos de 2009 a 2011 apresentaram boas correlações, variando de “alta” a “quase perfeita”, o que indica que, embora os valores de evapotranspiração de referência obtidos pelo Tanque Classe A e Penman-Monteith tenham apresentado boa correlação entre si em escala diária, o TCA não apresentou desempenho satisfatório quando comparado ao método padrão, em nível diário para os anos 2009 e 2011, fato observado também por Henrique *et al.* (2011) que comparou a evapotranspiração de referência estimada pelo Tanque Classe A, Tanque Alternativo e Penman-Monteith em região semiárida.

No ano 2012 ocorreu correlação moderada entre os resultados conferidos pelo TCA e o método padrão, além de indicar um péssimo desempenho em todas as metodologias. Ao avaliar-se o período total, 2009 a março de 2012, as correlações foram altas, embora apenas a metodologia de Cuenca tenha apresentado desempenho mediano na estimativa da ETo em escala diária.

A Figura 5 apresenta os gráficos de correlação entre as metodologias adotadas para obtenção do Kp juntamente com a estimada por Penman-Monteith e as estimativas diárias obtidas pelo método do Tanque Classe A para 2009:

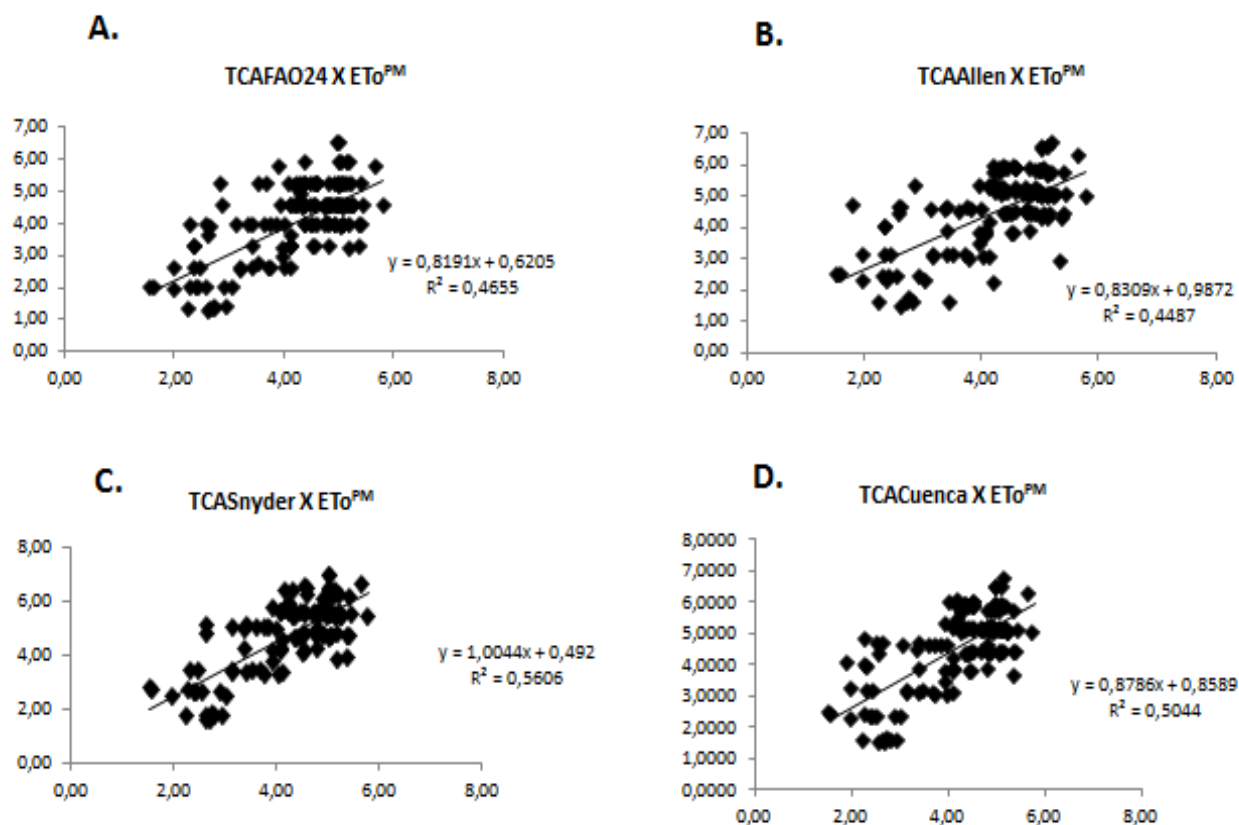


Figura 5. Correlações entre as estimativas diárias da ETo obtidas pelo TCA com o método da FAO 24 (A.) TCA com método Allen (B.) TCA com método de Snyder (C.) TCA com método de Cuenca (D.) utilizando as quatro metodologias de obtenção do Kp e a estimada pelo método de Penman-Monteith, em 2009.

Os métodos que apresentaram melhor correlação com Penman-Monteith para o Vale do Rosário em 2009 foram Snyder, Cuenca e FAO 24 com seus respectivos coeficientes de correlação (r) de 0,75; 0,74 e 0,68, e com índices de desempenho (c) de 0,59, 0,57 e 0,55 classificados de acordo com a Tabela 1 ambos como sofrível. Allen *et al.* foi a metodologia que apresentou menor coeficiente de correlação (r) e valor (c), sendo, porém, igualmente às demais, classificada com desempenho sofrível. Tal resultado está de acordo com o encontrado por Conceição (2002), que avaliou tal o método de Snyder como o melhor para obtenção do Kp no Noroeste de São Paulo.

A Figura 6 apresenta os gráficos de correlação entre as metodologias adotadas para obtenção do Kp juntamente com a estimada por Penman-Monteith e as estimativas diárias obtidas pelo método do Tanque Classe A no ano de 2010:

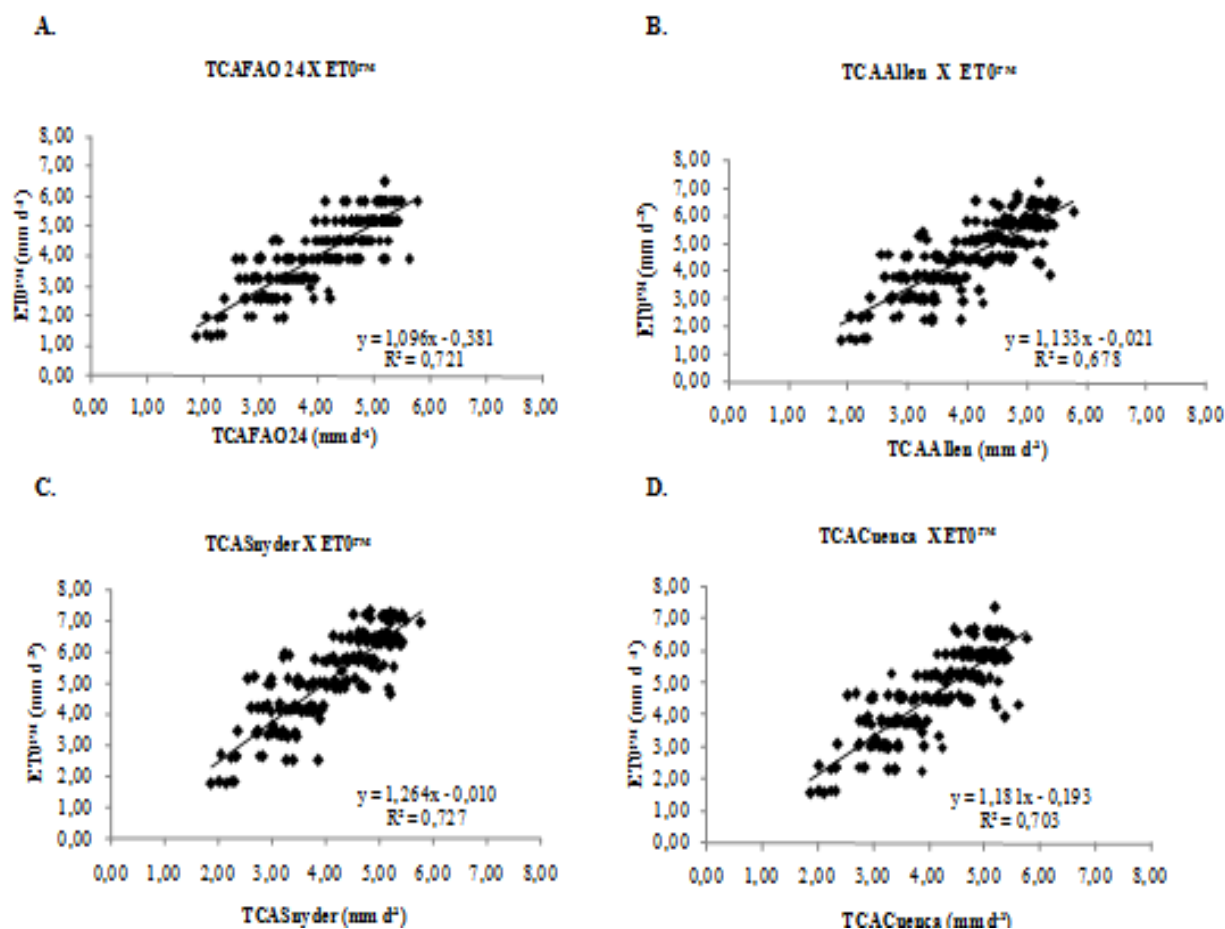


Figura 6. Correlações entre as estimativas diárias da ET_0 obtidas pelo TCA com o método da FAO 24 (A.) TCA com método Allen (B.) TCA com método de Snyder (C.) TCA com método de Cuenca (D.) utilizando as quatro metodologias de obtenção do K_p e a estimada pelo método de Penman-Monteith, em 2010.

Os métodos que apresentaram melhor correlação com o de Penman-Monteith para o Vale do Rosário em 2010 foram FAO 24, Allen e Cuenca com seus respectivos coeficientes de correlação (r) de 0,84, 0,82 e 0,83, e com índices de desempenho (c) de 0,77, 0,68 e 0,69 classificados de acordo com a Tabela 1 como muito bom, bom e bom. Snyder obteve (r) de 0,85 e (c) de 0,61, considerado como mediano. Observa-se ainda no gráfico que o método da FAO 24 entre os analisados foi o que mais se aproximou da metodologia padrão.

A Figura 8 apresenta os gráficos de correlação entre as metodologias adotadas para obtenção do K_p juntamente com a estimada por Penman-Monteith e as estimativas diárias obtidas pelo método do Tanque Classe A no ano 2011:

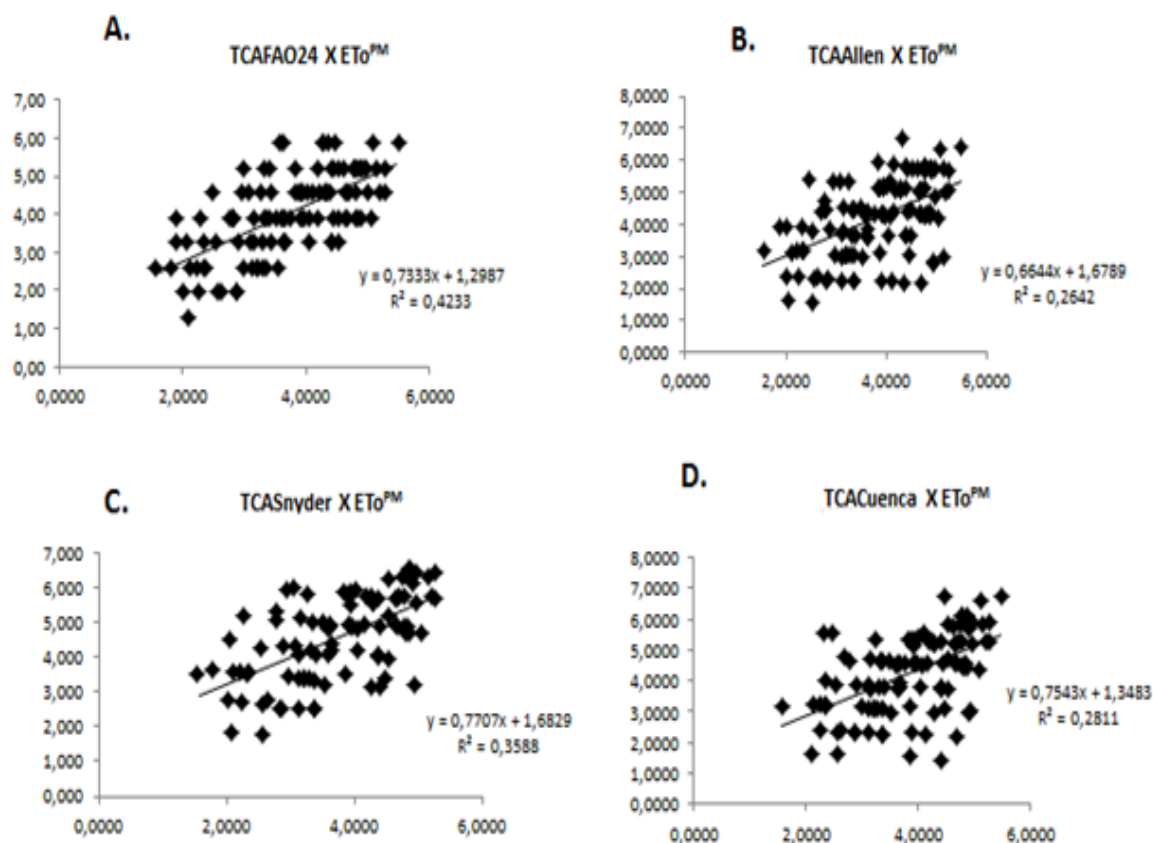


Figura 7. Correlações entre as estimativas diárias da ETo obtidas pelo TCA com o método da FAO 24 (A.) TCA com método Allen (B.) TCA com método de Snyder (C.) TCA com método de Cuenca (D.) utilizando as quatro metodologias de obtenção do Kp e a estimada pelo método de Penman-Monteith, 2011.

O método que apresentou melhor correlação com o de Penman-Monteith para o Vale do Rosário em 2011 foi a FAO 24 com correlação e índice de desempenho de 0,65 e 0,50, respectivamente. Indicando, porém, por meio de (c), que o desempenho, em escala diária, foi qualificado como mau. Snyder, Cuenca e Allen com seus respectivos coeficientes de correlação (r) de 0,60; 0,53 e 0,51, e com índices de desempenho (c) de 0,37; 0,34 e 0,33 foram classificados, conforme Tabela 1, como péssimos. A FAO 24 obteve (r) de 0,36 e (c) de 0,42 considerado como mau.

A Figura 10 apresenta os gráficos de correlação entre as metodologias adotadas para obtenção do Kp juntamente com a estimada por Penman-Monteith e as estimativas diárias obtidas pelo método do Tanque Classe A no ano 2012:

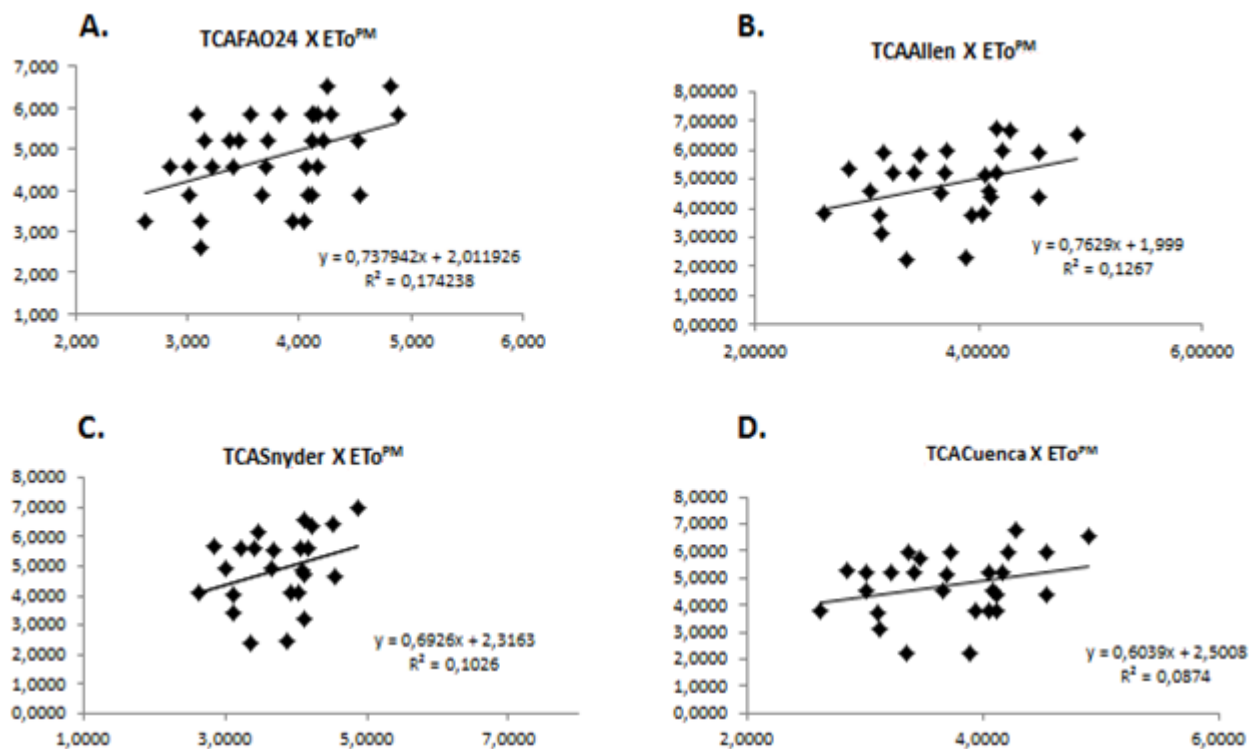


Figura 8. Correlações entre as estimativas diárias da ET_0 obtidas pelo TCA com o método da FAO 24 (A.) TCA com método Allen (B.) TCA com método de Snyder (C.) TCA com método de Cuenca (D.) utilizando as quatro metodologias de obtenção do K_p e a estimada pelo método de Penman-Monteith, 2012.

Os métodos avaliados não apresentaram desempenho satisfatório em 2012 na estimativa diária da ET_0 para o Vale do Rosário, sendo todos os desempenhos avaliados como péssimos, com correlação variando entre baixa e moderada. Cuenca, FAO 24, Allen e Snyder obtiveram os respectivos coeficientes de correlação (r) de 0,30; 0,42; 0,36 e 0,32, e índices de desempenho (c) de 0,07; 0,06; 0,05 e 0,04.

A Figura 9 apresenta os gráficos de correlação entre as metodologias adotadas para obtenção do K_p juntamente com a estimada por Penman-Monteith e as estimativas diárias obtidas pelo método do Tanque Classe A, para o período total avaliado, 2009 a março de 2012.

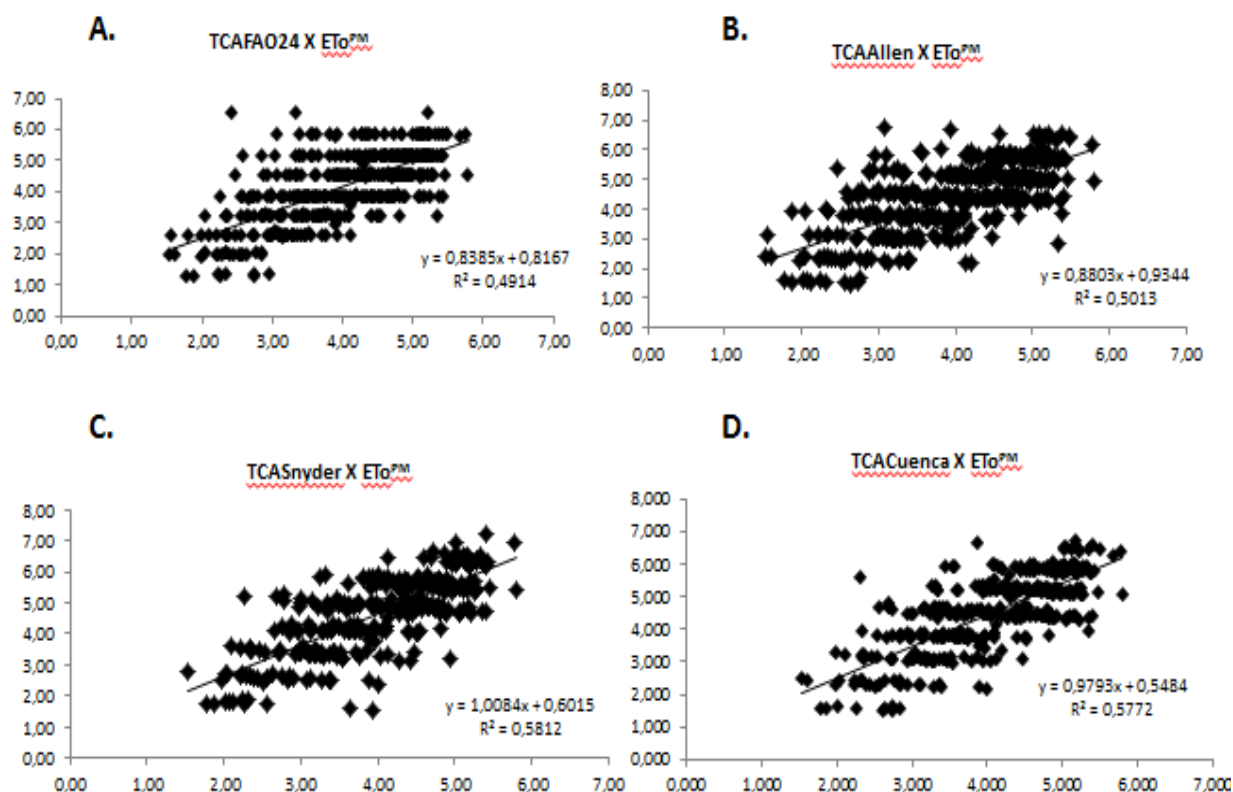


Figura 9. Correlações entre as estimativas diárias da ETo obtidas pelo TCA com o método da FAO 24 (A.) TCA com método Allen (B.) TCA com método de Snyder (C.) TCA com método de Cuenca (D.) utilizando as quatro metodologias de obtenção do Kp e a estimada pelo método de Penman-Monteith, 2009 a março de 2012.

O método que apresentou melhor correlação com a metodologia padrão de Penman-Monteith para o Vale do Rosário no período de 2009 a março de 2012 foi Cuenca com correlação e índice de desempenho de 0,76 e 0,61, respectivamente, classificado com uma correlação muito alta e desempenho mediano. Observando-se que a metodologia proposta por Cuenca (1989) foi a mais eficiente na determinação do Kp e posterior conversão da evaporação do TCA em ETo diária para o período estudado, resultado que concorda com Sentelhas & Folegatti (2003) e Mendonça *et al.* (2006). As metodologias de Snyder, FAO 24 e Allen *et al.* apresentaram altas correlações, 0,76, 0,70, 0,71, respectivamente. Classificadas com os respectivos índices de desempenho (c) de 0,59, 0,57, 0,55, como sofrível.

4. CONCLUSÕES

A metodologia que produziu o melhor resultado encontrado para o cálculo do Kp utilizado pelo método do Tanque Classe A para os fatores avaliados no Vale do Rosário, Pesqueira – PE, nos anos de 2009, 2010, 2011 e 2012 foram, respectivamente, Snyder, FAO 24, FAO 24 e Cuenca, que apresentaram melhor eficiência.

O método de Snyder não apresentou desempenho satisfatório para a região, em 2010 e 2012, em relação aos demais métodos avaliados. Nos anos 2009 e 2011, o método que apresentou pior desempenho foi o proposto por Allen *et al.* Ressalta-se que, por todas as metodologias avaliadas apresentaram índice de confiança (c) classificados, de acordo com a Tabela 1, como péssimos, nenhuma apresentou realmente um desempenho satisfatório para estimativa diária de ETo para Rosário em 2012.

Avaliando-se o período total estudado, 2009 a março de 2012 a metodologia que apresentou o melhor desempenho foi Cuenca e a pior metodologia para estimativa de ETo foi a proposta por Allen *et al.*

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UFRPE, à Finep e ao CNPq pelo financiamento da pesquisa e pela Bolsa de Iniciação Científica concedida ao primeiro autor.

BIBLIOGRAFIA

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998). *Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements*. FAO. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, 301p.

BARRETO, A. N.; AMARAL, J. A. B. (2004). “Quantificação de Água Necessária para a Mamoneira Irrigada com Base nas Constantes Hídricas do Solo” in anais do I Congresso Brasileiro de Mamona: Energia e Sustentabilidade. Campina Grande – PB, CD-Rom, 6p.

BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. (1995). 6. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 657p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. (2006). *Manual de Irrigação*. 8ª ed. Viçosa, MG: UFV, 625 p

BRAGA, M. B.; CALGARO, M.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F. (2008). “Coeficientes 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.; 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. de P. R.; AZEVEDO, P. V. de; BORGES, C. J. R.; SOARES, J. M.; MOURA, M. S. B.; SILVA, B. B. da. (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.

CISAGRO- COMPANHIA INTEGRADA DE SERVIÇOS AGROPECUÁRIOS. (1990). *Projeto de irrigação da Fazenda Nossa Senhora do Rosário*. Pesqueira, 120p.

CONCEIÇÃO, M. A. F. (2002). “Reference evapotranspiration based on class A pan evaporation”. *Scientia Agrícola*, v.59, n.3, p.417-420.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. *Crop water requirements*. (1977). FAO. Irrigation and drainage paper, 24. Rome, 144p.

ESTEVES, B. dos S.; MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F. & BERNARDO, S. (2010). “Avaliação do Kt para estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) em Campos dos Goytacazes”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.3.

GEO BRASIL (2007). *Recursos Hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil*. Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: MMA; ANA, 264 p.

HENRIQUE, H. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, J. R. L. da.; SILVA, J. J. do 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 Anais do XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Guarapari, 5p.

HOPKINS, W. G. (2007). *Correlation coeficiente*. Disponível em <<http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>>. Acesso em 31 mai. 2012.

JENSEN, M. E.; WRIGHT, J. L.; PRATT, B. J. (1971). “Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data”. Transactions of the ASAE, v. 14, p. 954 – 959.

LIMA, J. R. (2005). Especial: desertificação e semiárido. Boletim 10. Ministério da Educação, Junho de 2005.

MEDEIROS, A. T. (2002). “Estimativa de evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE”. Piracicaba. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 103p.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F.; ANDRÉ, R. G. B.; BERNARDO, S. (2006). “Coeficientes do tanque classe A para estimativa de evapotranspiração de referência em Campos dos Goytacazes, RJ”. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.14, n.1, p.123-128.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. (2003). “Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (Eto) na região Norte Fluminense, RJ”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.2, p.275-279.

MONTENEGRO, A. A. A. (2001). *Diagnóstico e controle da salinização em aluviões com pequena agricultura irrigada no Semiárido nordestino*. CNPq – Programa Nordeste de Pesquisa e Pós-Graduação. Relatório final de Pesquisa. UFRPE, Recife-PE, 118p.

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

RAMOS, A. K. B. (1997). “Avaliação do crescimento, componentes produtivos e composição mineral de três gramíneas forrageiras tropicais”. Piracicaba. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 152 p.

REDDY, S. J. (1983). *Climatic classification: The semiarid tropics and its environment – A review*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 18, p. 823-847.

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.

SANTIAGO, F. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. (2004). "*Avaliação de parâmetros hidráulicos e manejo da irrigação por microaspersão em área de assentamento*". Engenharia Agrícola, v.24, n.3, p.632-643.

SANTIAGO, F. S. dos. (2002). "*Efeito do manejo da irrigação na salinidade e umidade de um neossolo flúvico, com a cultivar de repolho midori (Brassicaoleraceavar.capitata) no município de Pesqueira-PE*". Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 84 p.

SANTOS, F. X. ; RODRIGUES, J.J.V.; MONTENEGRO, A.A.A.; MOURA, R. F. (2008). "*Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no Semi-Árido Nordeste. Engenharia Agrícola*", v. 28, p. 115-124.

SANTOS, F. X.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, J. R.L.; SOUZA, E. R. (2009). "*Determinação do consumo hídrico da cenoura utilizando lisímetros de drenagem, no agreste pernambucano*". Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.4, p. 304-310.

SENTELHAS, P. C.; FOLEGATTI, M. V. (2003). Class A pan coefficients (Kp) to estimate daily reference evapotranspiration (Eto). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.1, p.111-115.

SILVA, L. C.; RAO, V.R.T. (2006). "*Avaliação de métodos para estimativa de coeficientes da cultura de amendoim*". Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.1.

SILVA, V. P. R.; BELO FILHO, A. F.; SILVA, B. B.; CAMPOS, J. H. B. C. (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. de; SILVA, V. de P. R. da; SABINO, F. G.; NETTO, A. de O. A.; SILVA, B. K. N.; AZEVEDO, P. V. de. (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.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. (1955). *The water balance*. Centerton: Laboratory of climatology. Publications in climatology, v.8, n.1, 107p.

WILLMOTT, C.J. (1982). "*Some comments on the evaluation of model performance*". American Meteorological Society, New York. v.63, n.11, p.1309-1313.