

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET₀) EM CRUZ DAS ALMAS – BA

André Luís Alves FERREIRA¹, Francisco Adriano de Carvalho PEREIRA²

RESUMO

Desenvolveu-se o presente trabalho utilizando-se dados meteorológicos referentes a 17 anos de observações no município de Cruz das Almas. As estimativas de ET₀ obtidas pelos modelos em estudo foram submetidas a análise de regressão, considerando o modelo de Penman-Monteith como padrão. Comparados com o modelo padrão, os modelos da Radiação Solar e de Penman Original apresentaram, respectivamente, as melhores estimativas, enquanto as estimativas feitas com o modelo do Tanque Classe A, utilizando o K_p de Pereira et al (1995) e o K_p FAO, apresentaram, respectivamente, desempenho inferior aos outros dois modelos nos períodos de tempo avaliados.

INTRODUÇÃO

O processo de evapotranspiração depende de vários fatores relacionados ao solo, à planta e ao clima. Smith (1991), sugeriu uma padronização do termo evapotranspiração de referência (ET₀), como aquela que ocorre em uma cultura hipotética, apresentando altura de 12 cm, resistência do dossel (r_c) 69 s.m⁻¹ e poder refletor (albedo) de 23%, visando estabelecer as condições de contorno necessárias ao modelo de Penman-Monteith. Segundo Silva & Millar (1981) e Sedyama (1988), o conhecimento e a quantificação do processo de evapotranspiração, é um ponto importantíssimo no uso da água na agricultura, por definir o requerimento de água das culturas que possibilitará dimensionamento de projetos e disciplinará a utilização da água em sistemas de irrigação, fator essencial para regiões que dispõem de recursos hídricos escassos e/ou mal distribuídos no tempo e no espaço.

A evapotranspiração pode ser determinada por métodos diretos ou indiretos. Os métodos diretos, apesar de serem mais precisos, são mais onerosos e de aplicação mais limitada que os métodos indiretos, que por sua vez devem ser avaliados e ajustados às condições climáticas da

¹ Engenheiro Agrônomo MSc. em Fitotecnia pela Escola de Agronomia da UFBA.

² Dr. Professor Adjunto I do Departamento de Engenharia Agrícola da Escola de Agronomia da UFBA.
CEP 44350-00, Cruz das Almas – BA. E-mail: pereias@ufba.br

região em estudo. Resultados e estudos comparativos feitos por Allen (1986) e Allen et al. (1989), entre estimativas de ETo e medidas realizadas em lisímetros, em várias localidades do mundo, indicaram o modelo de Penman-Monteith como o que apresentou as mais confiáveis estimativas de ETo. Peres (1994) avaliando o modelo de Penman-Monteith para algumas localidades do estado de São Paulo obteve resultados satisfatórios para períodos de tempo decendial e mensal. Pereira (1998) comparou o desempenho do modelo Penman-Monteith FAO com um lisímetro de pesagem e verificou uma alta correlação entre os valores estimados e medidos de ETo recomendando sua utilização para avaliar o desempenho de outros modelos de estimativas de ETo, na ausência de dispositivos de medida de ETo.

Este trabalho teve como objetivos avaliar o desempenho de diferentes modelos de estimativa de evapotranspiração de referência (ETo) em Cruz das Almas–Ba, para períodos de um dia e dez dias.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na região de Cruz das Almas - BA que encontra-se sob influência da tipologia climática **Am** de Köppen que é caracterizada por precipitações inferiores a 60 mm no mês mais seco do ano (Martorano et al., 1997). Foram analisados dados meteorológicos de: Temperatura do ar, Umidade relativa, Velocidade do vento, Evaporação em Tanque Classe A e Radiação solar global do período de 1979 a 1996 (dias sem precipitação), obtidos na estação agrometeorológica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA – Mandioca e Fruticultura Tropical), localizada nas coordenadas geográficas de 12° 48' 38" de latitude Sul e 39° 06' 23 " de longitude Oeste, a uma altitude de 225 m acima do nível do mar. Estimou-se a ETo pelos modelos de: Penman-Monteith (Padrão FAO), Penman Original, Radiação Solar e Tanque Classe A, com os coeficientes de tanque (Kp) propostos por Doorenbos & Pruitt (1977) e por Pereira et al. (1995).

Padronizou-se o valor da resistência do dossel para a cultura de referência $r_c = 69 \text{ s m}^{-1}$, conforme Smith (1991). A estimativa da radiação solar global da região foi feita segundo a metodologia de Pereira (1997) e o modelo da Radiação Solar foi ajustado conforme o modelo proposto por Frevert et al. (1983). Os valores do coeficiente do tanque para as condições de Cruz das Almas - BA foram selecionados utilizando-se a equação de regressão ajustada por Snyder (1992), com os valores propostos por Doorenbos e Pruitt (1977).

Objetivando avaliar o desempenho de cada modelo de estimativa da evapotranspiração de referência, adotou-se as estimativas do modelo de Penman-Monteith como padrão. Os dados foram analisados diariamente e em períodos médios de dez dias, mediante análise de regressão. Para cada análise realizada, obteve-se a equação de regressão linear com seu respectivo coeficiente de

determinação (r^2). Para avaliar o grau de exatidão, utilizou-se o índice de concordância “**Id**” proposto por Willmott (1981) associado aos indicadores estatísticos de: erros sistemáticos, erros não sistemáticos, raiz quadrada do erro médio e média do erro absoluto. A fim de proporcionar uma interpretação qualitativa do desempenho dos modelos utilizou-se o índice “**c**” proposto por Camargo & Sentelhas (1995).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas figuras 1 e 2 encontram-se apresentadas as correlações entre as estimativas da evapotranspiração de referência do modelo de Penman-Monteith (Padrão FAO) e o modelo de Penman Original, em base diária e decencial, incluindo o coeficiente de determinação.

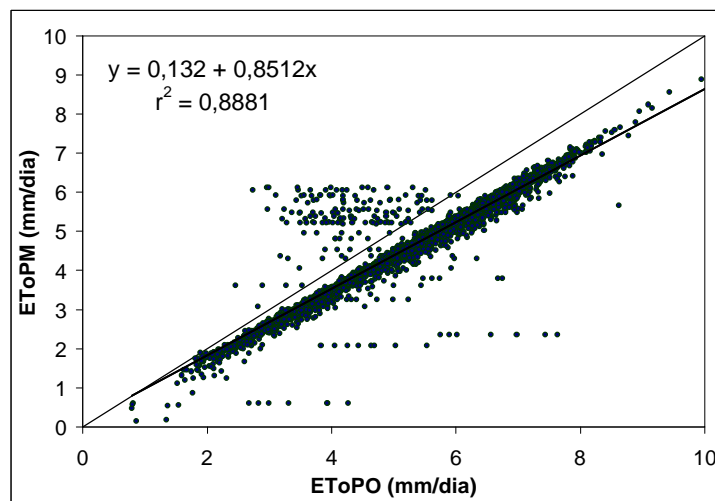


Figura 1 - Evapotranspiração de referência estimada em base diária pelo modelo de Penman-Monteith (ETtoPM) versus modelo de Penman Original (ETtoPO).

Tomando-se ETo em base diária, o modelo de Penman Original (PO) superestimou em 12,5% o modelo de Penman-Monteith na estimativa de ETo. A precisão e a exatidão da estimativa de ETo do modelo de Penman Original são consideradas muito boas, segundo os valores do coeficiente de determinação r^2 e do índice de Wilmott **Id**.

Tabela 1 - Índices de desempenho da evapotranspiração de referência estimada pelo modelo Penman-Monteith (PM - PM_{DEC}) versus Penman Original (PO - PO_{DEC}) em base diária e decencial.

Modelos de estimativa	Média mm	Es mm	Eu mm	MAE mm	RQEM mm	Id	c
ETtoPM	4,42						
ETtoPO	5,04	0,184	0,039	0,707	0,188	0,923	0,870
ETtoPM _{DEC}	4,42						
ETtoPO _{DEC}	5,04	0,0052	0,168	0,666	0,687	0,916	0,888

Verificou-se que o modelo apresentou um ótimo desempenho, com índice c igual a 0.87 (Tabela 1). Em base decencial a performance das estimativas de ETo do modelo de Penman Original foi melhor que na base diária, mas ainda com a tendência de superestimativa. Este melhor ajuste deve-se possivelmente a um amaciamento das flutuações diárias pela utilização de médias decenciais (Tabela 1), fato também constatado na avaliação de desempenho de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência por Camargo e Sentelhas (1995).

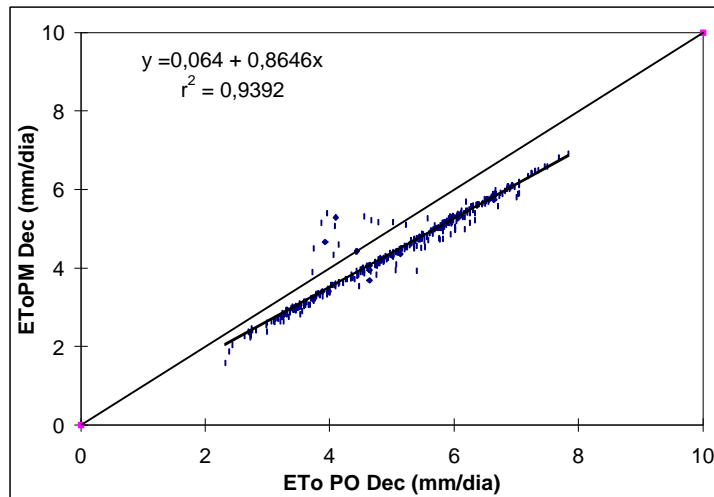


Figura 2 – Evapotranspiração de referência estimada em base decencial pelo modelo de Penman-Monteith (EToPM) versus modelo de Penman Original (EToPO).

A evapotranspiração de referência em base diária estimada pelo modelo da Radiação Solar apresentou boa correlação com o modelo de Penman-Monteith (Figura 3). O coeficiente de correlação $r = 0,9302$, mostrou que houve pouca dispersão dos dados em torno da média, bem como pequeno afastamento da reta 1:1. Analisando-se o valor da raiz quadrada do erro médio (RQEM - Tabela 2), verificou-se que o erro aleatório foi muito pequeno nas estimativas de ETo.

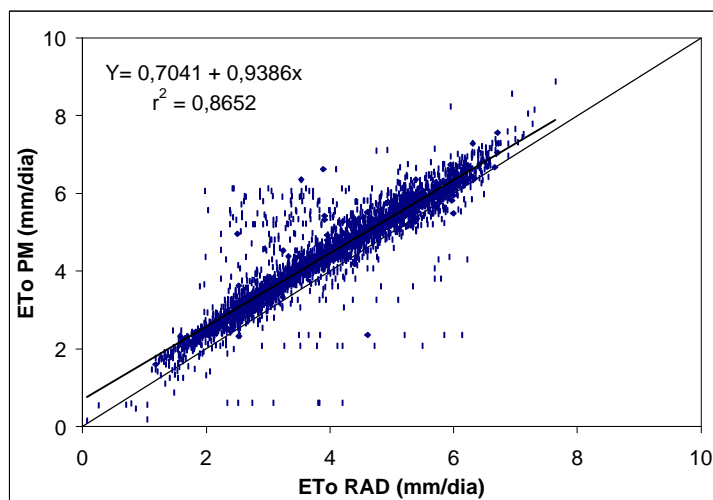


Figura 3 – Evapotranspiração de referência estimada em base diária pelo modelo de Penman-Monteith (EToPM) versus modelo da Radiação Solar (EToRAD).

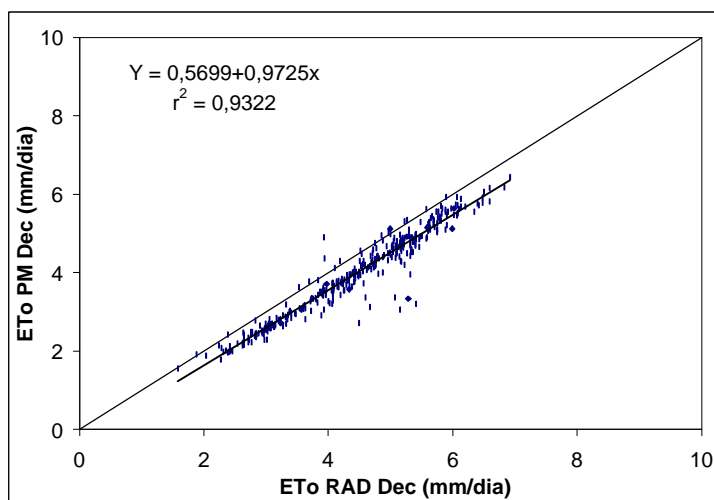


Figura 4 – Evapotranspiração de referência estimada em base decencial pelo modelo de Penman-Monteith ($ET_{PM_{DEC}}$) versus modelo da Radiação Solar ($ET_{RAD_{DEC}}$).

Analisando-se os indicadores estatísticos (Tabela 2), verificou-se que o desempenho do modelo de radiação pode ser classificado como muito bom, retratando pequenas diferenças nas estimativas médias de evapotranspiração de referência entre os modelos analisados. Na base decencial a dispersão dos valores estimados é ainda menor com uma redução significativa do erro sistemático. O modelo avaliado teve uma boa precisão ($r^2 = 0,9322$) e o seu desempenho foi classificado como ótimo, de acordo com a interpretação do indicador de precisão de Camargo e Sentelhas (1995) com valor $c = 0,908$.

Tabela 2 - Índices de desempenho da evapotranspiração de referência estimada pelo modelo Penman-Monteith (PM - PM_{DEC}) versus modelo da Radiação Solar (RAD - RAD_{DEC}) com base diária e decencial.

Modelos de estimativa	Média mm	Es mm	Eu mm	MAE mm	RQEM mm	Id	c
ET_{PM}	4,42						
ET_{RAD}	3,96	1,195	0,061	0,519	0,522	0,936	0,870
$ET_{PM_{DEC}}$	4,42						
$ET_{RAD_{DEC}}$	3,96	0,0065	0,0452	0,472	0,475	0,940	0,908

Em ambas as análises houve subestimativa do modelo de Penman-Monteith, em 9,8% e 10,64%, para a base diária e decencial respectivamente. Isto pode ser explicado pelo fato do modelo da Radiação Solar considerar só a energia radiante como fator que influencia na evapotranspiração e não levar em conta os fatores de resistência aerodinâmica e do dossel presentes na equação de Penman-Monteith.

Em diversos estudos de evapotranspiração o desempenho do modelo da radiação solar tem apresentado tendência em subestimar a ETo (Dal Fabro et al., 1991; Della Libera et al., 1991), o que não o descarta como um bom estimador, tendo em vista que o este método tem apresentado boas correlações com a maioria dos métodos empregados nos estudos de evapotranspiração em diversas regiões climáticas.

O modelo do tanque Classe A utilizando tanto o Kp proposto por Pereira et al. (1995) quanto o proposto por Doorenbos & Pruitt (1977), não apresentaram boas estimativas de ETo. Com a base de dados diária o coeficiente de determinação $r^2 = 0,4108$ demonstrou um mau desempenho, quando utilizou-se o Kp da FAO, que superestimou as estimativas de ETo do modelo de Penman-Monteith em 10,78%. O modelo do Tanque Classe A utilizando o Kp de Pereira et al. (1995) com base de dados diária, estimou valores com uma grande dispersão ($r^2 = 0,4858$). Já a base de dados decenal apresentou uma dispersão menor com um coeficiente de determinação $r^2 = 0,7112$, teve desempenho inferior aos outros dois modelos avaliados neste trabalho.

CONCLUSÕES

Os modelos da Radiação Solar e de Penman Original apresentaram os melhores desempenhos da estimativa da evapotranspiração de referência em relação ao modelo de Penman-Monteith tanto na base diária quanto na decenal, podendo ser recomendados para a região de Cruz das Almas – BA.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, R.G. A Penman for all seasons. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. New York, v.112, n.4, p.348-368, 1986.
- ALLEN, R.G. ; JENSEN; M.E.; WRIGHT, J.L. e BURMAN, R.D. Operational estimates of reference evapotranspiration. Madison. **Agronomy Journal**, v.81, p.650-662, 1989.
- CAMARGO, A. P. ; SENTELHAS, P. C. Avaliação de modelos para a estimativa da evapotranspiração potencial mensal, em base diária para Campinas e Ribeirão Preto, SP In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7, Campina Grande, 1995. **Resumos.....** Campina Grande, 1995. p.415-417.
- DAL FABRO, S.; ANDRÉ, G. B.; R.; CHURATA-MASCA,G.C.M. Consumo de água e coeficientes de cultura para a batata (*Solanum tuberosum* L.). **Científica** , v.19, n.1, p.181 -193, 1991.

- DELLA LIBERA, C. L. F.; NISHIMA, T.; CASTELLANE, P. D. Relação entre a evapotranspiração máxima da cebola (*Allium cepa* L.) e a evapotranspiração de referência. **Científica**, v.19, n.1, p.257-268, 1991.
- DOORENBOS, J & PRUITT, J.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).
- FREVERT, D. R.; HILL, W. R.; BRAATEN, B. C. Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE**, v.109, p.265-270, 1983.
- MARTORANO, L. G. ; PEREIRA, F. A. C. ; SANTOS, C. A. S. ; PEREIRA, A. R. VILLA NOVA, N. A. Análise das condições climáticas na região de Cruz das Almas - BA. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba : SBA, p.262-264.
- MONTEITH, J. L. Evaporation and surface temperature. **Quartely Journal of the Royal Meteorological Society of London**, v.107, n.451, p.1-27. 1981.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A. S.; BARBIERI, V. A model for the Class A pan coefficient. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.76, p.75-88, 1995.
- PEREIRA, A. B. Modelo de estimativa do potencial de energia solar à superfície. Botucatu, 1997. 92p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- PEREIRA, F. A. C. Desempenho do modelo de Penman - Monteith e de dois evaporímetros na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) em relação a um lísimetro de pesagem. Piracicaba, 1998. 87p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- PERES, J. G. Avaliação do modelo de Penman-Monteith, padrão FAO, para estimar a evapotranspiração de referência nas condições climáticas do Estado de São Paulo. Piracicaba, 1994. 116p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SEDIYAMA, G. C. **Necessidade de água para os cultivos**. In : ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSINO AGRÍCOLA SUPERIOR. Curso de engenharia de Irrigação, módulo 4. Brasília, 1988. p.238-249.
- SILVA, M.A. da; MILLAR, A. A. Evapotranspiração do feijão-de-corda. Petrolina , PE. EMBRAPA-CPATSA. 1981. 85p. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de Pesquisa, 4)
- SMITH, M. **Guide lines for prediction of crop water requirements**. Rome: FAO. 1991. 45p.
- SNYDER, R.L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE**. v.118, p.977-980, 1992.
- WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, p.184-194. 1981.