

ISSN 0104-1347

Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica-RJ, utilizando lisímetro de pesagem¹

Evaluation of the reference evapotranspiration in Seropédica, Rio de Janeiro state, Brazil, using weighing lysimeter

Daniel Fonseca de Carvalho², Leonardo Duarte Batista da Silva³, Marcos Vinicius Folegatti⁴, Janaína Ribeiro Costa⁵, Francisco Alves da Cruz⁶

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo avaliar a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para a região de Seropédica, RJ, correlacionando medidas obtidas em lisímetro de pesagem com os métodos de Penman-Monteith FAO 56 (P-M), Hargreaves-Samani (H-S) e tanque Classe A (TCA). Considerando dados diários de ET_o, foram obtidas equações de regressão linear entre as medidas lisimétricas e os métodos P-M, H-S e TCA, cujos coeficientes de determinação (R²) foram de 0,59, 0,46 e 0,81, respectivamente. Para dados de ET_o agrupados em períodos de 3 dias, foram também obtidas equações de regressão cujos coeficientes R² aumentaram para 0,77 e 0,62, nos métodos de P-M e H-S, respectivamente. Foi possível concluir que os métodos P-M e H-S apresentaram resultados satisfatórios para a estimativa da evapotranspiração de referência e que, com um ajuste adequado do coeficiente K_p, o método do tanque Classe A constitui-se numa boa alternativa para o manejo da irrigação na região.

Palavras-chaves: Penman-Monteith, Hargreaves-Samani, Tanque Classe A, manejo da irrigação

Abstract - The objective of this work was to evaluate the reference evapotranspiration (ET_o) estimated for Seropédica, Rio de Janeiro State, Brazil, by the correlation between data measured with a weighing lysimeter and those estimated by the Penman-Monteith FAO-56 (P-M), Hargreaves-Samani (H-S) and Class A Pan (TCA) methods. Linear regression equations were fitted having the ET_o measured with a lysimeter as dependent variable and the ET_o values estimated by methods as independent variable. The coefficients of determination (R²) were 0.59, 0.46 and 0.81, for P-M, H-S and TCA, respectively. Regression equations were also obtained for ET_o grouped in three-day periods, when the coefficient of determination increased to 0.72 and 0.62, for P-M and H-S methods, respectively. It was possible to conclude that P-M and H-S methods, even with smaller R², presented satisfactory results for longer periods and that Class A Pan can be a good alternative for irrigation management in this region, since a good adjustment of K_p is done.

Key words: Penman-Monteith, Hargreaves-Samani, Class A Pan, irrigation management.

¹ Trabalho financiado pelo CNPq. Extraído da Dissertação de Mestrado do 5º autor, apresentada ao Curso de Fitotecnia da UFRRJ.

² Depto. de Engenharia/Instituto de Tecnologia/UFRRJ. BR 465, km 7, Seropédica-RJ. CEP 23890-000. Bolsista do CNPq (carvalho@ufrj.br).

³ Doutor em Agronomia/Irrigação e Drenagem pela ESALQ/USP – bolsista RD do CNPq. Seropédica-RJ.

⁴ Depto. de Engenharia Rural/ESALQ/USP. Piracicaba-SP. mvfolega@esalq.usp.br.

⁵ Pesquisadora da EMBRAPA-Agrobiologia. Seropédica-RJ.

⁶ Mestre em Fitotecnia. Professor substituto do DE/IT/UFRRJ. Seropédica-RJ.

Introdução

Dentre os diversos usos consuntivos, o uso da água na agricultura tem se caracterizado como aquele de maior expressão, em virtude da grande quantidade de água normalmente utilizada na agricultura irrigada. A literatura apresenta valores da ordem de 65%, no entanto, RODRIGUEZ (2004) comenta que na bacia do rio São Francisco, a irrigação demanda 71,4% de toda a água utilizada na região. Estudos recentes realizados por SATTI et al. (2004) apontam que nos Estados Unidos o setor agrícola tem sido responsável por mais de 81% do total de água consumida. Dessa forma, a evapotranspiração de referência (ET_o) assume um aspecto fundamental no planejamento agrícola, pois é largamente utilizada na estimativa da demanda de água pelas plantas (KASHYAP & PANDA, 2001).

Os métodos mais empregados na estimativa da ET_o são os indiretos e se baseiam em dados meteorológicos, muitas vezes não disponíveis. Por outro lado, os métodos diretos de estimativa, como os lisímetros de pesagem, que proporcionam resultados mais confiáveis, são apenas utilizados para finalidades científicas, tendo em vista a necessidade de implantação de uma estrutura física muitas vezes onerosa. MEDEIROS (2002) define lisímetros como sendo grandes “reservatórios”, localizados no campo e preenchidos com solo, a fim de representar o ambiente local, com superfície vegetada ou não, para determinação da evapotranspiração de uma cultura em crescimento ou de uma cobertura vegetal de referência ou, ainda, da evaporação a partir de um solo não vegetado. Os lisímetros devem ser preenchidos com solo, mantendo a mesma seqüência de horizontes do solo original. SILVA (2003) comenta que os lisímetros, quando bem instalados, possibilitam medidas precisas da evapotranspiração (ET), principalmente, quando os mesmos são preenchidos corretamente, possibilitando que o perfil de solo no seu interior se assemelhe o máximo possível ao do solo da área externa.

Apesar de serem considerados preciosos, os lisímetros de pesagem apresentam alguns problemas que dificultam sua operação em escalas de tempo muito reduzidas. PEREIRA et al. (2002) comentam que dificuldades operacionais são verificadas em dias com chuvas intensas, em seqüência de dias com chuvas intermitentes e também em dias sem chuvas,

mas com ventos intermitentes. Os autores concluíram que medidas de ET em intervalos inferiores a 60 min, nem sempre são exatas quanto seria de se esperar de um sistema admitido como padrão.

Os métodos indiretos se caracterizam pelo uso de equações empíricas ou modelos físico-matemáticos, que necessitam de dados climático-fisiológicos para a sua aplicação. De acordo com MELLO (1998), esses métodos, por se tratarem de estimativa, apresentam inúmeros problemas de precisão, principalmente pela falta de ajuste dos coeficientes dos modelos especificamente para a região de interesse, além de problemas como erros de leitura e acurácia dos sensores utilizados.

SENTELHAS (2001) apresenta como métodos mais empregados, quer pela simplicidade ou pelo grau de confiabilidade, os de Thornthwaite, Camargo, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor e Penman-Monteith. Além desses, muitos outros métodos são apresentados na literatura, mas não são tão utilizados exatamente por terem sido desenvolvidos para condições climáticas e agronômicas específicas, não tendo assim, validade para condições distintas.

Em maio de 1990, a FAO (Órgão das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura) reuniu diversos pesquisadores da Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem e da Organização Mundial de Meteorologia, a fim de rever as metodologias empregadas na estimativa das necessidades hídricas dos cultivos (ALLEN et al., 1998). Como resultado, foi recomendado o uso do método de Penman-Monteith como padrão na estimativa da ET_o. Este método, denominado PM-FAO 56, foi selecionado por apresentar resultados que se aproximam da evapotranspiração da cultura de referência (grama ou alfafa) em diferentes localidades, por representar as condições físicas presentes no processo e incorporar variáveis fisiológicas e aerodinâmicas. A estimativa da ET_o por este método necessita de dados de temperatura do ar, umidade relativa, saldo de radiação, fluxo de calor no solo e velocidade do vento, podendo ser aplicado em qualquer escala de tempo, desde horária até mensal.

A equação de P-M FAO 56 é aceita universalmente para estimativas horárias e diárias

da ETo (ALEXANDRIS & KERKIDES, 2003). Segundo os autores, a mesma pode ser usada para fins práticos e de pesquisa, e diversos pesquisadores a recomendam, especialmente para períodos curtos de tempo. Diversos trabalhos têm sido feitos visando a correlacionar medidas de ETo obtidas em lisímetros com as estimadas por métodos indiretos. MEDEIROS (2002) verificou que os dados medidos em lisímetro de pesagem em Paraipaba, CE, se ajustaram de forma regular aos valores de ETo estimados por PM, apresentando erros aleatórios na estimativa de 0,504, 0,216 e 0,198 mm dia⁻¹ para as escalas diária, quinidial e decendial, respectivamente. No entanto, segundo o autor, muitas vezes o emprego deste método torna-se restrito devido à disponibilidade de dados meteorológicos, favorecendo o uso de métodos mais simples, como o método de Hargreaves-Samani (HARGREAVES & SAMANI, 1982) e do tanque Classe A. Apesar de algumas desvantagens, como a super exposição às condições ambientais, a facilidade de acesso de animais e ao fato da evaporação ocorrer também no período noturno (SENTELHAS, 2001), o tanque Classe A tem sido uma alternativa na estimativa da ETo mediante um ajuste adequado do coeficiente de tanque (Kp) (SENTELHAS & FOLEGATTI, 2003).

Tendo em vista a importância de se estimar corretamente a evapotranspiração de referência, desenvolveu-se este trabalho, com o objetivo de correlacionar medidas de evapotranspiração de referência obtidas em lisímetro de pesagem com estimativas obtidas pelos métodos de Penman-Monteith FAO-56, de Hargreaves-Samani e do tanque Classe A, para a região de Seropédica, RJ.

Material e Métodos

O presente estudo foi realizado no SIPA – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, denominado Fazendinha Agroecológica, na área experimental da EMBRAPA-Agrobiologia, conduzida em parceria com a UFRRJ e PESAGRO-RIO, localizada no município de Seropédica, RJ. As coordenadas geográficas do local são: 22°48' S, e 43°41' W e 33 m de altitude. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como Aw, com chuvas concentradas no período de novembro a março, com precipitação anual média de 1213 mm e temperatura média anual de 24,5°C.

O lisímetro empregado no presente estudo era composto de uma caixa metálica com dimensões 1,0 m x 1,0 m de base e 0,7 m de altura, montada sobre barras transversais, a fim de concentrar a massa do conjunto sobre uma única célula de carga, localizada no centro do sistema. O lisímetro foi instalado em uma área de aproximadamente 250 m². Foi utilizada a célula da marca ALPHA, modelo Z com capacidade de medida de até 2 ton, com sensibilidade de aproximadamente 6.000 divisões, ou 0,3 kg. De acordo com o fabricante, a sensibilidade da célula é de 2 ± 0,1% mV/V. A área de instalação do lisímetro foi devidamente cercada com tela de segurança com 1,8 m de altura. Nesta mesma área, foi instalada uma estação meteorológica contendo sensores de radiação solar global incidente (piranômetro Kipp & Zonen, mod. SP-LITE-L), velocidade e direção do vento (anemômetro, 03001-L RM YOUNG) e temperatura e umidade relativa do ar (Vaisala, mod. HMP45C-L), além de um pluviôgrafo (Globalwater, GL400-1-1). Dentro de uma caixa de aço galvanizado, foi instalado um sistema de aquisição e armazenamento de dados (microdatalogger Campbell Scientific, mod. CR23X), programado para coletar dados a cada três segundos e armazenar as médias e/ou totais a cada 30 min. Os dados armazenados eram transferidos por meio de um módulo de memória, que permitia a gravação e a manipulação dos mesmos em microcomputador.

O registro dos dados teve início em 24 de dezembro de 2004, sendo realizada a leitura completa dos sensores, incluindo o registro da célula de carga, prosseguindo até o dia 1º de fevereiro de 2005, totalizando 40 dias de medidas.

Com intuito de manter o gramado em condições ótimas de umidade, foi instalado um sistema de irrigação por aspersão, composto de 4 mini aspersores setoriais com bocal de 3,2 mm. Para se proceder a drenagem do lisímetro, em virtude da ocorrência de precipitações elevadas, uma bomba de pistão foi instalada sobre uma estrutura de apoio, construída com madeira, e acoplada a um tubo flexível de 0,02 m de diâmetro (3/4").

As medidas de ETo foram obtidas diariamente a partir da transformação do sinal elétrico em massa do conjunto (solo + caixa), utilizando a equação de calibração. A partir daí, a lâmina evapotranspirada era obtida dividindo-se a diferença de massa pela

área da caixa (1,0 m²). Detalhes da construção e operação do lisímetro são apresentados por CRUZ (2005).

Com o objetivo de se estabelecer correlação das medidas de ETo com estimativas, foram utilizados os métodos de Hargreaves-Samani (H-S) (HARGREAVES & SAMANI, 1982), de Penman-Monteith (P-M) (ALLEN et al., 1998) e do tanque Classe A (TCA) (SENTELHAS & FOLEGATTI, 2003), por serem de uso consagrado na literatura.

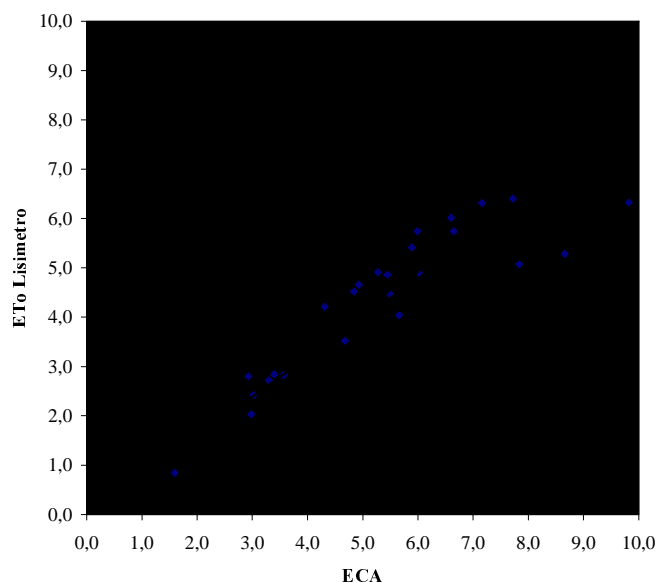
O saldo de radiação, importante elemento no modelo P-M, foi estimado com base no balanço de radiação de ondas curtas e longas, conforme metodologia apresentada por PEREIRA et al. (1997).

No método do Tanque Classe A, a ETo foi obtida pela multiplicação da evaporação (ECA) por um coeficiente (Kp), sendo adotadas, a princípio, as seguintes metodologias para a sua obtenção: DOORENBOS & PRUITT (1977), ALLEN et al. (1998), PEREIRA et al. (1995), SNYDER (1992), CUENCA (1989), além do valor constante obtido na regressão linear da relação ETo x ECA. Tendo em vista que os coeficientes Kp obtidos por essas metodologias proporcionaram valores de ETo semelhantes entre si e satisfatórios quando correlacionados com aqueles obtidos pelo lisímetro ($R^2 > 0,80$), preferiu-se por adotar o valor de Kp constante em função da sua praticidade e

simplicidade de obtenção. A Figura 1 apresenta a relação entre a ETo medida pelo lisímetro e a ECA, usada para a determinação do valor de Kp constante (SENTELHAS & FOLEGATTI, 2003). Com base na equação apresentada na Figura 1, a ETo foi diretamente obtida multiplicando-se o valor 0,8 pela evaporação medida no tanque Classe A, sendo descartados os valores correspondentes aos dias que ocorreram precipitação. Deve-se considerar que para todos os demais métodos utilizados na estimativa de Kp, são necessárias informações como velocidade do vento, umidade relativa, bordadura com grama, declividade da curva de pressão de vapor e coeficiente psicrométrico, o que dificulta a obtenção desse parâmetro.

Os valores de ETo estimados pelos métodos de Penman-Monteith, de Hargreaves-Samani e do Tanque Classe A foram correlacionados com os valores medidos no lisímetro conforme metodologia apresentada por CAMARGO & SENTELHAS (1997), e avaliados de acordo com a análise de regressão, do erro-padrão da estimativa (SEE), do índice de concordância (d) e do índice de desempenho (c), definido pelo produto entre o coeficiente de correlação (r) e o índice de concordância (d).

Neste trabalho foi também realizada uma análise adicional no intuito de verificar o



* significativo a 5% de probabilidade

Figura 1. Relação entre a evapotranspiração de referência (ETo) obtida pelo lisímetro e a evaporação do tanque classe A (ECA), em Seropédica, RJ, no período de 24/12/04 a 01/02/05.

desempenho da correlação entre as medidas lisimétricas e os métodos de P-M e H-S, a partir da eliminação dos valores de E_{To} considerados anormais, em virtude da ocorrência de ventos muito fortes ou chuvas. Assim, novas análises foram efetuadas desconsiderando-se os dados obtidos entre os dias 10 e 12/01/2005. Também, pelo fato de diversos trabalhos evidenciarem melhores correlações entre medidas de E_{To} estimadas por diferentes métodos com relação às medidas lisimétricas para períodos maiores do que 1 dia, foi realizada uma análise se considerando a evapotranspiração medida e estimada pelos métodos P-M e H-S para período de três dias. Essas análises foram também avaliadas conforme metodologia apresentada por CAMARGO & SENTELHAS (1997).

Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta a variação da evapotranspiração de referência obtida pelo lisímetro de pesagem e estimada pelos métodos de Penman-Monteith e Hargreaves-Samani, no período de 24 de dezembro de 2004 a 01 de fevereiro de 2005.

De um modo geral, nota-se que houve uma boa concordância entre os valores de E_{To} medidos e estimados. Na Figura 2, é possível se verificar ainda

que os valores extremos de E_{To} , obtidos pelo lisímetro, foram da ordem de $7,3 \text{ mm.dia}^{-1}$ (10/01) e $0,3 \text{ mm.dia}^{-1}$ (12/01). A ocorrência desses valores é explicada detalhadamente por CRUZ (2005). Segundo o autor, a umidade relativa média no dia 10/01 estava abaixo de 70% (valor normalmente baixo para o mês de janeiro na região) e a velocidade do vento foi a mais alta observada no período ($\gg 2,6 \text{ m.s}^{-1}$), atingindo o valor máximo de $5,1 \text{ m.s}^{-1}$ às 11 h. Por outro lado, nos dias 11 e 12/01 ocorreram precipitações de 48 mm e 7 mm, respectivamente, fazendo com que não fosse possível se efetuar uma drenagem adequada do lisímetro comprometendo a qualidade desses dados.

A Figura 3 apresenta os gráficos e os modelos resultantes da regressão linear considerando os métodos de estimativa utilizados na análise, tendo o lisímetro como padrão. Para todos os modelos, os coeficientes obtidos foram significativos ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste t.

Nas Figuras 3a e 3b, se verifica que, ao longo do período estudado, a E_{To} estimada pelo método P-M se ajustou melhor às medidas lisimétricas do que as estimativas obtidas pelo método H-S, que apresentou superestimativa praticamente ao longo de todo período. Apesar da simplicidade do método

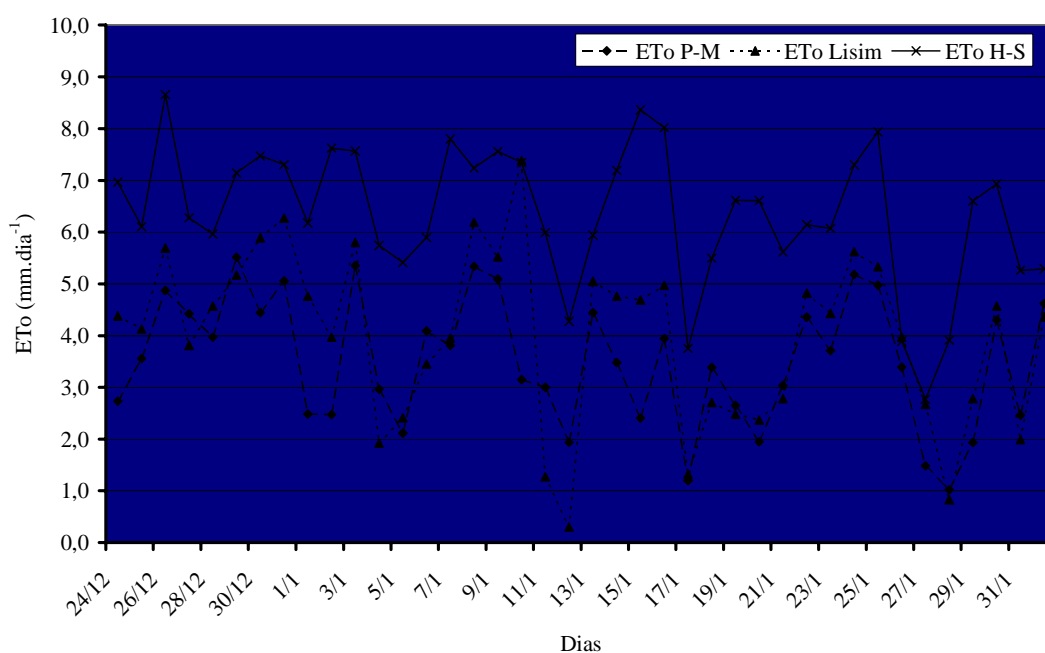


Figura 2. Evapotranspiração de referência, obtida no lisímetro e pelos métodos de Penman-Monteith (P-M) e Hargreaves-Samani (H-S), para o período de 24/12/2004 a 01/02/2005, em Seropédica, RJ.

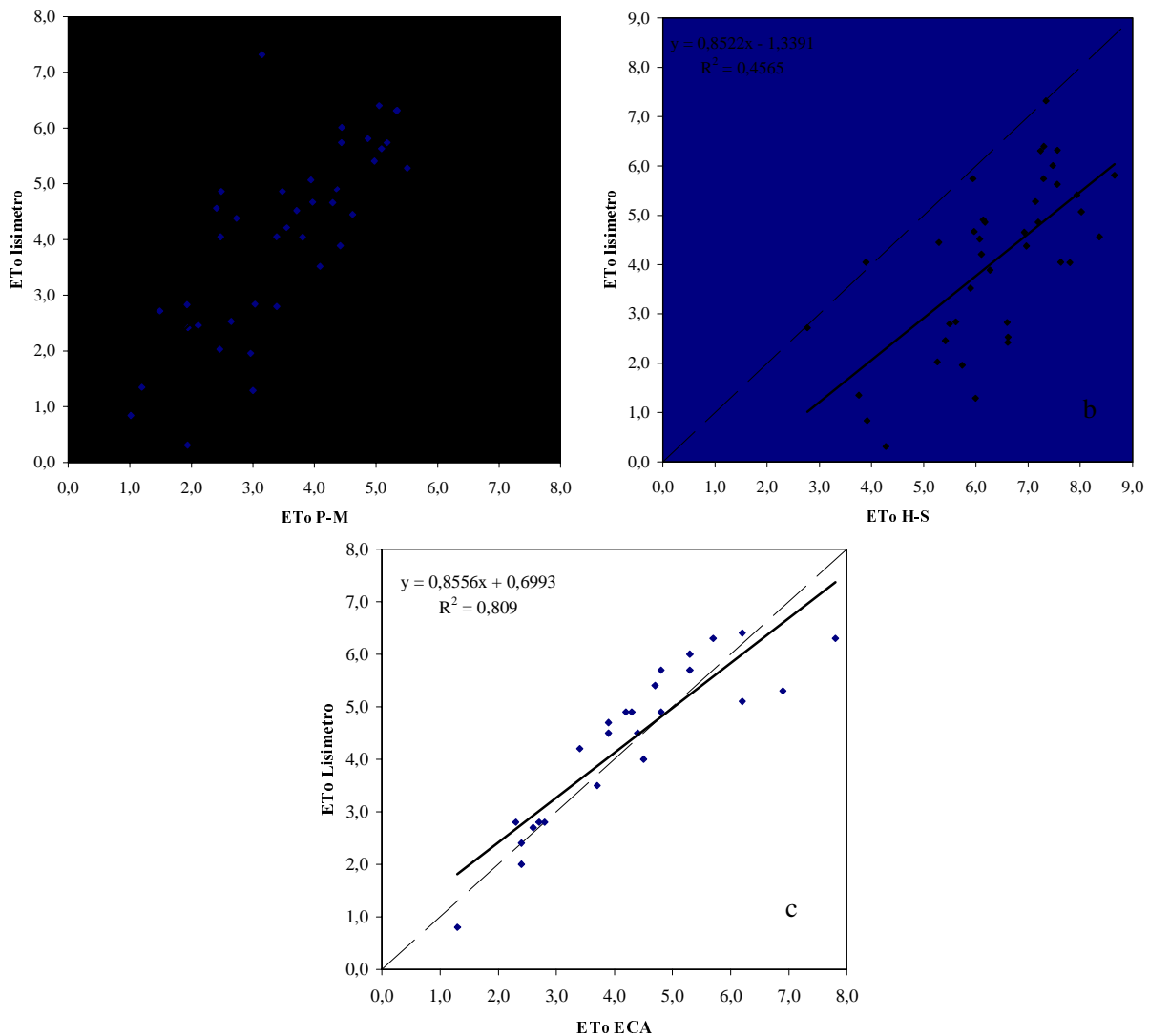


Figura 3. Correlação entre os valores diários da ETo medidos pelo lisímetro e estimados por P-M (a), por H-S (b) e pelo tanque Classe A (c), para a região de Seropédica, RJ.

H-S, o resultado observado se justifica pelo fato do mesmo ter sido desenvolvido para estimar a ETo para regiões semi-áridas, com elevado déficit de saturação, condição climática diferente da observada em Seropédica, cujo clima é úmido (OLIVEIRA & CARVALHO (1998), MENDONÇA et al. (2003) e FIETZ et al. (2005).

Apesar da dispersão dos dados em relação aos observados no lisímetro, constata-se na Figura 3a, que o método de P-M estimou satisfatoriamente a ETo. MEDEIROS (2002), trabalhando em Paraipaba, CE, encontrou coeficiente de

determinação de 0,56 para a correlação entre os dois métodos e, para o Norte Fluminense, RJ, MENDONÇA et al. (2003), encontraram coeficiente de determinação de 0,58. No entanto, trabalhando com períodos diários, SILVA et al. (1999), em Piracicaba, SP, encontraram $R^2 = 0,79$. Resultado semelhante também foi encontrado por SILVA et al. (2003), em Petrolina, PE, trabalhando com um lisímetro de pesagem hidráulica. Deve ser considerado que o período analisado bem como o número de observações foram diferentes com relação a este trabalho. SILVA et al. (1999) estudou a correlação dos métodos citados no período entre 21

de fevereiro e 1^a de abril, quando a ocorrência de precipitação é bem menor e, conseqüentemente, com menos problemas operacionais, o que resultou em um desempenho satisfatório do lisímetro (SANTIAGO et al., 2002). Já no trabalho realizado em Petrolina, PE, foram consideradas 119 observações, favorecendo a obtenção de melhores coeficientes de determinação.

Na Figura 3b se observa que a correlação obtida entre a ETo estimada pelos métodos do lisímetro e de H-S não apresentou ajuste satisfatório em virtude da grande dispersão dos dados estimados, com tendência de superestimativa em relação aos valores medidos. Resultados semelhantes foram obtidos por MENDONÇA et al. (2003), que encontraram coeficiente de determinação de 0,49, considerando-se dados diários.

A Figura 3c apresenta a relação entre os valores medidos de ETo e os estimados pelo método do tanque Classe A, para um Kp = 0,8. Apesar de um menor número de dados utilizados na análise de regressão, em virtude de chuvas ocorridas no período, pode-se notar um ajuste muito melhor do que os anteriores, com R² = 0,81. SENTELHAS & FOLEGATTI (2003), correlacionando dados do

tanque Classe A com medidas obtidas em lisímetro de pesagem em Piracicaba, SP, obtiveram um coeficiente de determinação de 0,73. Esse resultado indica que o uso da metodologia do tanque Classe, associada a uma boa estimativa do Kp, constitui-se numa boa alternativa para o manejo da irrigação na região.

A Tabela 2 apresenta os demais parâmetros estatísticos relativos às equações de regressão linear simples entre a ETo medida pelo lisímetro e aquelas estimadas pelos métodos, assim como a classificação do desempenho dos modelos, segundo critério apresentado por CAMARGO & SENTELHAS (1997). Constatou-se que, ao desconsiderar os valores discrepantes obtidos pelo lisímetro, houve melhoria nos parâmetros estatísticos obtidos, como um menor erro padrão de estimativa e um melhor desempenho do modelo de P-M. Para o método H-S, a desconsideração desses valores discrepantes não causou variação expressiva nos resultados. Observa-se também que o método do tanque Classe A apresentou o menor erro padrão de estimativa assim como o melhor desempenho, confirmando o seu potencial para uso na região, corroborando com MENDONÇA et al. (2005) que obtiveram resultados semelhantes para o Norte Fluminense, RJ.

Tabela 2. Valores de coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d) e índice de desempenho (c) para as equações de regressão entre valores diários de ETo medidos pelo lisímetro e estimados pelos métodos de Penman-Monteith, Hargreaves-Samani e tanque Classe A.

| MÉTODO | SEE(mm.dia ⁻¹) | r | d | c | DESEMPENHO |
|---------------------|----------------------------|------|------|------|------------|
| Penman-Monteith | 1,08 | 0,77 | 0,86 | 0,66 | Bom |
| Penman-Monteith * | 0,79 | 0,85 | 0,92 | 0,82 | Muito Bom |
| Hargreaves-Samani | 1,25 | 0,68 | 0,78 | 0,53 | Sofrível |
| Hargreaves-Samani * | 1,13 | 0,67 | 0,83 | 0,60 | Sofrível |
| Tanque Classe A | 0,66 | 0,90 | 1,00 | 0,90 | Ótimo |

Tabela 3. Valores dos coeficientes linear (a), angular (b), de correlação (r), índices de concordância (d) e de desempenho (c) e do erro padrão das estimativas (SEE) para as equações de regressão entre valores acumulados de ETo medidos pelo lisímetro e estimados pelos métodos de Penman-Monteith e de Hargreaves-Samani, considerando períodos de 3 dias.

| MÉTODO | Y = a + bX | | SEEmm.dia ⁻¹ | r | d | c | DESEMPENHO |
|-------------------|------------|--------|-------------------------|------|------|------|------------|
| | a | b | | | | | |
| Penman-Monteith | 0,4586 | 1,1267 | 1,72 | 0,88 | 0,97 | 0,85 | Muito bom |
| Hargreaves-Samani | 1,3043 | 0,5739 | 2,19 | 0,79 | 0,88 | 0,69 | Bom |

A Tabela 3 apresenta o resultado da análise de regressão para os dados de ETo agrupados para períodos de 3 dias. A partir desses resultados, constata-se uma melhoria expressiva nos ajustes, principalmente para o método de Hargreaves-Samani. Em virtude da disponibilidade de apenas 13 pares de dados totalizados, verifica-se um aumento no erro padrão da estimativa da regressão em relação à análise diária. Porém, foram obtidos maiores coeficientes de determinação, o que resultou na melhoria dos índices de desempenho, corroborando com os resultados obtidos por SILVA et al. (1999), SANTIAGO et al. (2002) e MENDONÇA (2003), ao procederem análise semelhante para períodos superiores a um dia.

Conclusões

Os resultados obtidos permitiram concluir que:

- apesar do pequeno período de dados analisados, os valores de ETo obtidos no lisímetro se mostraram bem correlacionados com aqueles estimados pelo método de Penman-Monteith, proposto como padrão pela FAO;

- o método de Hargreaves-Samani, superestimou sistematicamente a ETo, não sendo, portanto, satisfatório para a estimativa de valores diários de ETo para Seropédica, RJ.

- o método do tanque Classe A se mostrou adequado para a estimativa da ETo, no período analisado, sendo uma boa e simples alternativa para o manejo da água de irrigação na região, mesmo empregando-se um Kp fixo, igual a 0,8.

Referências Bibliográficas

- ALEXANDRIS, S. & KERKIDES, P. New empirical formula for hourly estimations of reference evapotranspiration. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v.60, n.3, p.157-180, 2003.
- ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 301p. Irrigation and Drainage Paper, 56.
- CAMARGO, A.P. & SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- CARVALHO, D.F. et al. Comparação entre diferentes metodologias de estimativa da evapotranspiração de referência e sua influência da demanda máxima suplementar de irrigação para o milho (*Zea mays* L.) no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Agronomia**, Seropédica, RJ, v.36, n.1/2, p.48-55, 2002.
- CRUZ, F.A. **Instalação e calibração de lisímetro de pesagem e determinação da evapotranspiração de referência para a região de Seropédica-RJ**. Seropédica, RJ, 2005. 58p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- CUENCA, R.H. **Irrigation system design: an engineering approach**. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 1989. 133p.
- FIETZ, C.R.; SILVA, F.C.; URCHEI, M.A. Estimativa da evapotranspiração de referência diária para a região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v.13, n.2, p.250-255, 2005.
- HARGREAVES, G.H. & SAMANI, Z.A. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.108, n.3, p.223-230, 1982.
- KASHYAP, P.S. & PANDA, R.K. Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficients for potato crop in a sub-humid region. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v.50, n.1, p.9-25. 2001.
- MEDEIROS, A.T. **Estimativa da evapotranspiração de referência partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas em Paraibapa, CE**. Piracicaba, SP, 2002. 103p. Tese (Doutorado) - Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MELLO, J.L.P. **Análise de sensibilidade dos componentes da equação de Penman-Monteith-**

- FAO. Viçosa, MG, 1998. 79p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
- MENDONÇA, J.C. et al. Coeficiente do Tanque Classe A para a estimativa da evapotranspiração de referência na região Norte Fluminense, RJ. **In: XV Congresso Nacional de Irrigação de Drenagem, Teresina-PI. ABID, 2005.**
- MENDONÇA, J.C. et al. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), na região norte fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.7, n.2, p.275-279, 2003.
- OLIVEIRA, M.A.A. & CARVALHO, D.F. Estimativa da evapotranspiração de referência e da demanda suplementar de irrigação para o milho (*Zea mays* L.) em Seropédica e Campos, Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.2, n.2, p.132-135, 1998.
- PEREIRA, A.R. et al. Problemas operacionais com lisímetros de pesagem durante a estação chuvosa e em dias secos com rajadas de vento. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v.10, n.1, p.51-56, 2002.
- PEREIRA, A.R. et al. A model for the class A pan coefficient. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.76, p.75-82, 1995.
- PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A.; SEDYIAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba, SP: FEALQ, 1997. 183p.
- PERES, J.G. **Avaliação do modelo de Penman-Monteith, padrão FAO, para a estimar a evapotranspiração de referência nas condições do estado de São Paulo**. Piracicaba, SP, 1994. 116p. Tese (Doutorado) - Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- RODRIGUEZ, R.D.G. **Metodologia para a estimativa das demandas e disponibilidades hídricas: estudo de caso da bacia do Paracatu**. Viçosa, MG, 2004. 111p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
- SANTIAGO, A.V. et al. Evapotranspiração de referência medida por lisímetros de pesagem e estimada por Penman-Monteith (FAO-56), nas escalas mensal e decenal. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v.10, n.1, p.57-66, 2002.
- SATTI, S.R.; JACOBS, J.M.; IRMAK, S. Agricultural water management in a humid region: sensitivity to climate, soil and crop parameters. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v.70, n.1, p.51-65. 2004.
- SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia aplicada à irrigação. In: MIRANDA, J.H. & PIRES, R.C.M. **Irrigação – Série Engenharia Agrícola**. Piracicaba, SP: FUNEP, 2001. 410 p.
- SENTELHAS, P.C & FOLEGATTI, M.V. Class A pan coefficients (K_p) to estimate daily reference evapotranspiration (ET_o). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.7, n.1, p.111-115, 2003.
- SILVA, F.C. et al. Uso de dispositivos lisimétricos para medida da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v.7, n.1, p.19-23, 1999.
- SILVA, L.D.B. **Evapotranspiração do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) e grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge) utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem**. Piracicaba, SP, 2003. 93p. Tese (Doutorado) - Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- SILVA, T.J.A. et al. Aplicação de lisímetro de pesagem hidráulica na determinação da evapotranspiração de referência, em Petrolina-PE. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v.23, n.3, p.511-520, 2003.
- SNYDER, R.L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversion. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering of ASCE**, New York, v.118, n.6, p.977-980, 1992.