

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE DOSSEL (r_c) NO MODELO DE PENMAN-MONTEITH.

Luís Fernando de Souza Magno CAMPECHE¹, Fabiano chaves da SILVA¹, Marcos Vinícius FOLEGATTI²

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi comparar os valores da evapotranspiração estimados pela equação de Penman-Monteith, com o uso da resistência de dossel anteriormente estudada, e com o uso termometria ao infravermelho com a evapotranspiração determinada em lisímetro de pesagem. As análises foram realizadas em períodos de 24 horas e períodos de luz. Tanto para períodos de 24 horas com valor de resistência de dossel de 40 s.m^{-1} como em períodos de luz com valor da resistência de dossel de 80 s.m^{-1} obtiveram melhores desempenhos que a estimativa da evapotranspiração com o uso termometria ao infravermelho quando comparados com a evapotranspiração determinada em lisímetro de pesagem.

Palavras-chave: Evapotranspiração, Penman-Monteith, resistência de dossel.

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para o melhor aproveitamento dos recursos hídricos. No que diz respeito ao dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação, o conhecimento da necessidade hídrica das culturas é de fundamental importância, pois o volume limitado de água disponível para irrigação é o fator que está restringindo a expansão da área irrigada. Assim, torna-se imprescindível estudos de técnicas que visem uma melhor estimativa desta variável. Os lisímetros são ferramentas padrões em estudo de evapotranspiração e também para calibrações de modelos, sensores e técnicas. Lisímetros de pesagem determinam diretamente a evapotranspiração pelo balanço de massa de água. Segundo Howell et al. (1985), esses lisímetros são os mais utilizados em pesquisas para mensurar de forma direta a evapotranspiração em períodos menores que um dia. Dentre os modelos que estimam a evapotranspiração, a equação de Penman-Monteith é considerada como a mais precisa na estimativa desta variável, pois leva em consideração as condições climáticas e a resistência que a planta oferece na transferência de vapor de água para atmosfera, que está relacionado à disponibilidade de água no solo. Este modelo permite uma estimativa da evapotranspiração a partir de dados de temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento, normalmente coletadas

¹Engº Agrº M. Sc. Doutorando em Irrigação e Drenagem, ESALQ/USP. Piracicaba-SP-Brasil. Bolsista FAPESP

²Prof. Associado, Departamento de Engenharia Rural ESALQ/USP.

em estações padrões. Segundo Bruin & Holtslag (1982), este modelo constitui-se na mais completa expressão teórica para partição da radiação líquida disponível em uma superfície vegetada, em termos de calor sensível e calor latente, porém, apresenta a limitação de usar variáveis de difícil mensuração em campo. O uso de termômetros ao infravermelho vem a ser uma alternativa para estimativa dos valores de resistência de dossel (r_c), sendo esta uma variável de difícil quantificação. Autores como Pereira 1998 e Peres (1994), estudando a evapotranspiração de referência no Estado de São Paulo, recomendam valores de resistência de dossel da ordem de 40 a 80 $s.m^{-1}$. Sentelhas (1998) argumenta que o valor de r_c igual a zero, caso em que a equação de Penman-Monteith torna-se igual a equação de Penman, estima melhor a evapotranspiração de referência quando comparados com lisímetros de pesagem. O objetivo do presente trabalho foi comparar a evapotranspiração determinada por meio de lisímetro de pesagem com a evapotranspiração estimada pela equação de Penman-Monteith utilizando valores conhecidos da resistência de dossel (r_c) e também pela técnica da termometria ao infravermelho.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido na área experimental de irrigação da Fazenda Areão do Departamento de Engenharia Rural, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP, situada no município de Piracicaba-SP-Brasil (Lat. 22°42' S; Long. 47°39' W; altitude de 520m). Segundo a classificação climática de Koppen, Piracicaba possui clima Cwa sub tropical úmido, com estiagem no inverno, temperatura média anual de 21,1 °C e precipitação pluviométrica média anual de 1.247 mm. O solo da área é classificado como Terra Roxa Estruturada (Alfisol), série Luiz de Queiroz tendo uma declividade média de 2,3%.

As informações meteorológicas foram obtidas de uma estação automática instalada na área experimental. Para registro contínuo de dados, foi usado um sistema de armazenamento de dados (modelo CR10), que armazena informações geradas a cada segundo, em média de 30 minutos, com sensores de temperatura e umidade relativa do ar, radiação global e líquida, velocidade e direção do vento, precipitação e fluxo de calor no solo.

A área em que foi instalado o experimento possui 3.150 m^2 vegetados com grama batatais (*Paspalum notatum* L.). O lisímetro possui área evaporante de 0,92 m^2 e peso total de aproximadamente 920 kg, apoiadas sobre três células de cargas que se encontram conectadas a um sistema de armazenamento de dados. Detalhes de construção e operação desse conjunto evapotranspirométrico são encontrados em Silva (1996).

A temperatura do dossel da cultura foi medida por meio de um termômetro ao infravermelho, instalado na área evaporante do lisímetro de pesagem. O aparelho foi instalado visando a cobertura vegetal com um ângulo de 45° com a horizontal, no sentido sul. As leituras eram realizadas a cada

minuto e armazenadas como a médias a cada 30 min. O termômetro possui um ângulo de visada de 15°, numa faixa de leitura do espectrômetro de 8 a 14 μ m e emissividade ajustada de 0,975 para cultura de referência. Foi realizada uma calibração para o termômetro, visando ajustar uma equação de calibração que corrigisse possíveis distorções nas medidas efetuadas pelo equipamento. Maiores detalhes desta metodologia pode ser vista em Magiotto (1997).

Para a determinação da evapotranspiração em períodos de 24 horas, realizou-se o somatório das diferenças negativas (saída de água do sistema) dos valores obtidos no lisímetro de pesagem a cada meia hora. Para o período de luz, fez-se o somatório das diferenças negativas somente para o período na qual a radiação líquida foi positiva.

Foram utilizadas duas metodologias para estimativa da evapotranspiração de referência pela equação de Penman-Monteith (Monteith, 1962). A primeira consistiu em usar valores estimados de resistência de dossel (r_c) pela técnica da termometria ao infravermelho, e a segunda foi de usar valores conhecidos de resistência de dossel (r_c).

Pereira (1998) trabalhando no mesmo período e com uma série maior de dados verificou que, em períodos de 24 horas, a melhor performance da equação de Penman-Monteith em relação ao lisímetro de pesagem foi quando se utilizou a resistência de dossel de 40 $s.m^{-1}$ e em períodos de luz quando se utilizou uma resistência de dossel de 80 $s.m^{-1}$. Baseado nestas conclusões, foram adotados valores de resistência de dossel recomendados por este autor.

Na estimativa da evapotranspiração pela equação de Penman-Monteith para períodos de 24 horas foram usados valores médios diários da radiação líquida e fluxo de calor no solo, temperatura e umidade relativa do ar e resistência aerodinâmica para os cálculos das variáveis necessárias para o modelo. Na estimativa da evapotranspiração para períodos de luz, usou-se as mesmas variáveis meteorológicas estudadas anteriormente, no período em que a radiação líquida foi positiva.

Para comparação dos resultados, foram feitas análises de regressão, por meio do coeficiente angular (b), determinação (r^2) e o índice (d) de Willmott (1981) entre a evapotranspiração estimada pela equação de Penman-Monteith, utilizando as 2 metodologias propostas acima, e a evapotranspiração medida pelo lisímetro de pesagem, nos períodos de 24 horas e período de luz, em que o lisímetro de pesagem foi considerado como padrão.

O período de coleta de dados iniciou no dia 22/09/96 (Dia Juliano 264), até o dia 09/12/96 (Dia Juliano 342), totalizando 78 dias de coleta. A análise dos dados constituiu em verificar no período de coleta dias em que todos os sensores estiveram operando adequadamente e não foram realizadas calibrações de sensores e dias em que a precipitação foi menor que 1 mm. Com base nestes critérios, foram selecionados 47 dias para a análise do presente trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas da evapotranspiração de referência pelas equações de Penman-Monteith, utilizando valores de resistência de dossel obtidos com o uso da termometria ao infravermelho e sugerido por Pereira (1998), foram comparadas com a evapotranspiração medida no lisímetro de pesagem, nos períodos de 24 horas e período de luz. Na Figura 1, é apresentada a relação dos valores de ETo medidos no lisímetro e estimados pela equação de Penman-Monteith no período de 24 horas. Observa-se que a estimativa da evapotranspiração de referência utilizando-se valores de resistência de dossel obtidos com o uso da termometria ao infravermelho tendeu em superestimar a evapotranspiração obtida no lisímetro de pesagem, pois a maioria dos pontos estão situados acima da linha 1:1 enquanto que a estimativa da evapotranspiração utilizando-se o valor de resistência de dossel de 40 s.m^{-1} mostrou uma subestimativa em relação a evapotranspiração obtida no lisímetro de pesagem. Nota-se pela Figura 1 uma menor dispersão dos pontos em torno da reta 1:1 para a estimativa da evapotranspiração quando se utiliza resistência de dossel de 40 s.m^{-1} .

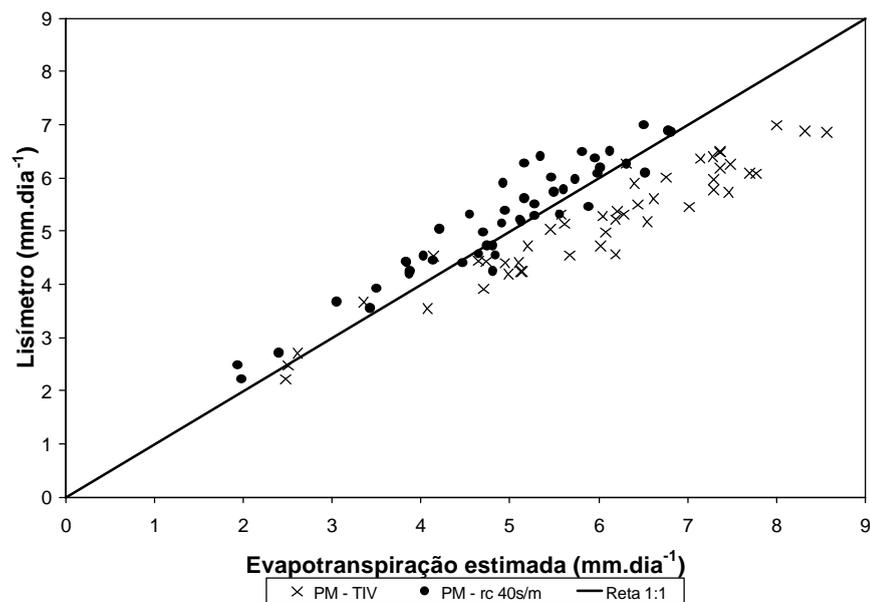


Figura 1. Evapotranspiração estimada pela equação de Penman-Monteith com o uso da termometria ao infravermelho em relação à evapotranspiração medida em lisímetro de pesagem para períodos de 24 horas.

Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros estatísticos dos valores estimados. A estimativa da evapotranspiração de referência utilizando-se valores de resistência de dossel obtidos com o uso da termometria ao infravermelho tendeu em superestimar em 17,6% a evapotranspiração obtida em lisímetro de pesagem ($b = 0,852$). O contrário foi observado para estimativa da evapotranspiração utilizando-se o valor de resistência de dossel de 40 s.m^{-1} apresentando uma leve subestimativa de

4,4% em relação ao lisímetro de pesagem. Observa-se que houve uma maior precisão ($r^2=0,88$) e exatidão ($d=0,95$) dos dados de estimativa da evapotranspiração quando se usou a resistência de dossel de 40 s.m-1 em relação aos valores estimados da evapotranspiração com o uso da termometria ao infravermelho ($r^2 = 0,878$ e $d = 0,86$). Com relação à evapotranspiração total, observa-se que houve uma diferença de 39,5 mm entre a evapotranspiração estimada com o uso da termometria ao infravermelho (281,6 mm) e o lisímetro de pesagem (242,1 mm).

Tabela 1. Valores de coeficiente angular (b), índice de Willmott (d), coeficiente de correlação (r^2), evapotranspiração total e evapotranspiração média obtidos pela equação de Penman-Monteith com o uso da termometria ao infravermelho (PM – T.I.V.) e Penman-Monteith com resistência de dossel de 40 s.m⁻¹ em comparação com lisímetro de pesagem para períodos de 24 horas.

| Método | b | d | r^2 | Eto Total (mm) | Eto Médio (mm) |
|-----------------------------|-------|------|-------|----------------|----------------|
| Lisímetro | | | | 242,1 | 5,15 |
| PM – T.I.V. | 0,852 | 0,86 | 0,878 | 281,6 | 6,0 |
| PM – rc 40s.m ⁻¹ | 1,047 | 0,95 | 0,88 | 229,6 | 4,89 |

Na Figura 2, é apresentada a relação dos valores de ETo medidos no lisímetro e estimados pela equação de Penman-Monteith no período de luz. De igual maneira ao ocorrido no período de 24 horas, a evapotranspiração estimada pela equação de Penman-Monteith utilizando a termometria ao infravermelho tende em superestimar a evapotranspiração obtida em lisímetro de pesagem, enquanto a estimativa da evapotranspiração utilizando valores conhecidos de resistência de dossel tende em subestimar a evapotranspiração obtida em lisímetro de pesagem.

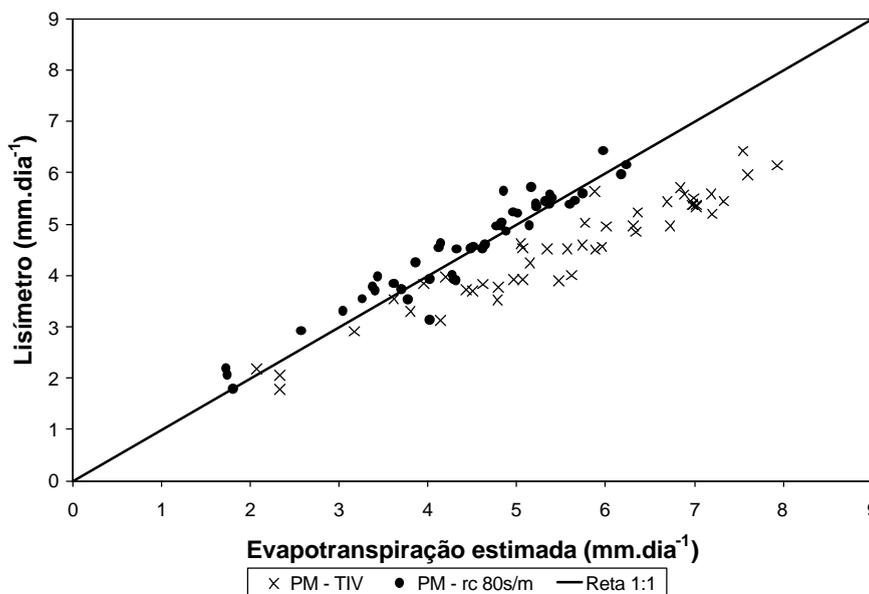


Figura 2. Evapotranspiração estimada pela equação de Penman-Monteith com o uso da termometria ao infravermelho em relação à evapotranspiração medida em lisímetro de pesagem para períodos de luz.

Na tabela 2 são apresentados os parâmetros estatísticos dos valores estimados. A estimativa da evapotranspiração utilizando a termometria ao infravermelho superestimou em 24,8% os valores de evapotranspiração obtida em lisímetro de pesagem ($b = 0,8$), enquanto que a estimativa da evapotranspiração utilizando-se valores de resistência de dossel de 80 s.m^{-1} apresentou uma subestimativa de apenas 1,6% ($b = 1,016$). Nota-se uma melhoria na precisão ($r^2 = 0,917$) e exatidão ($d = 0,97$) da estimativa da evapotranspiração utilizando valores de resistência de dossel de 80 s.m^{-1} em comparação à estimativa da evapotranspiração utilizando a termometria ao infravermelho ($r^2 = 0,894$ e $d = 0,8$).

É importante observar que a estimativa da evapotranspiração em períodos de luz utilizando valor de 80 s.m^{-1} obteve uma maior precisão ($r^2 = 0,91$) e exatidão ($d = 0,97$) em comparação com a estimativa da evapotranspiração em períodos de 24 horas utilizando valores de resistência de dossel de 40 s.m^{-1} ($r^2 = 0,88$ e $d = 0,95$). Por outro lado, a estimativa da evapotranspiração em períodos de 24 horas utilizando a termometria ao infravermelho obteve uma maior exatidão dos pontos ($d = 0,86$), quando comparado com a estimativa da evapotranspiração em períodos de luz ($r^2 = 0,89$ e $d = 0,8$). Campeche (1997) atribuiu essa diferença pelo fato de que em períodos de luz ter havido maiores flutuações de temperatura registrada pelos termômetros, associado ao fato de que o aparelho não mede somente a temperatura da superfície da folha, mas também a temperatura da superfície do conjunto folhas verdes-secas-solo.

Tabela 2. Valores de coeficiente angular (b), índice de Willmott (d), coeficiente de correlação (r^2), evapotranspiração total e evapotranspiração média obtidos pela equação de Penman-Monteith com o uso da termometria ao infravermelho (PM – T.I.V.) e Penman-Monteith com resistência de dossel de 40 s.m^{-1} , em comparação com lisímetro de pesagem para períodos de Luz.

| Método | b | d | r^2 | Eto Total (mm) | Eto Médio (mm) |
|-------------------------------|----------|----------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Lisímetro | | | | 211 | 4,49 |
| PM – T.I.V. | 0,8 | 0,8 | 0,89 | 261 | 5,56 |
| PM – rc 40 s.m^{-1} | 1,01 | 0,97 | 0,91 | 206 | 4,4 |

Um componente que deve ser levado em consideração, é a advecção de calor sensível na área experimental, principalmente durante o período diurno onde verificou-se maiores elevações na temperatura do ar e menores valores de umidade relativa. Na estimativa da evapotranspiração no período de 24 horas utilizando a termometria ao infravermelho essa fonte de erro foi minimizada em função das menores flutuações observadas para as variáveis meteorológicas de temperatura e umidade relativa do ar, permitindo um melhor ajuste em relação a reta 1:1, em comparação com a estimativa da evapotranspiração utilizando a termometria ao infravermelho em períodos de luz.

Percebe-se nas Tabelas 1 e 2, que os totais da evapotranspiração determinada no lisímetro, estimada com a resistência de dossel conhecida e a evapotranspiração estimada pela termometria ao

infravermelho em períodos de luz foi responsável por cerca de 87, 93 e 90% de toda evapotranspiração ocorrida durante o ciclo de 24 horas.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que para períodos de 24 horas e períodos de luz os valores da evapotranspiração estimados pela equação de Penman-Monteith com o uso da resistência de dossel de 40 e 80 s.m⁻¹, obtiveram melhores desempenhos que a estimativa da evapotranspiração com o uso termometria ao infravermelho quando comparados com a evapotranspiração determinada em lisímetro de pesagem.

BIBLIOGRAFIA

- Bruin, H. A. R.; Holtslag, A. A. M. A simple parameterization of the surface fluxes of sensible and latent heat during daytime with the Penman-Monteith concept. **Journal of Applied Meteorology**, v.21, p.1610-1621. 1982.
- Campeche, L. F. S. M. Estimativa da resistência de dossel (rc) da grama com o uso da termometria ao infravermelho. Piracicaba, ESALQ, 1997, 52 p. Dissertação Mestrado em Agronomia.
- Howell, T. A.; McCormick, R. L.; Phene, C. J. Desing and instalation of large weighing lysimeters. **Transactions of the ASAE**, v.35, n.4, p. 106-117. 1985.
- Magiotto, S. R. Calibração de um termômetros ao infravermelho. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia 10, Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p.234. 1997.
- Monteith, J. L.; Szeicz, G. Radiative temperature in the heat balance of natural surfaces. **Quartely Journal of Royal Meteorological Society**, v.88, p.496-507. 1962.
- 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 lisímetro de pesagem. Piracicaba, ESALQ, 1998, 87p. Tese Doutorado em Agronomia.
- Sentelhas, P. Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática. Piracicaba, ESALQ, 1998, 97p. Tese Doutorado em Agronomia.
- Silva, F. C. Uso de dispositivos lisimétricos para medida da evapotranspiração de referência. Piracicaba, ESALQ, 1996, 73 p. Dissertação Mestrado em Agronomia.
- Willmott, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 184-194. 1981.