

ANÁLISE DOS EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS DAS VÁRIÁVEIS METEOROLÓGICAS NO PROCESSO DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

MARCELO CID DE AMORIM¹, GILBERTO C. SEDIYAMA², JOSÉ ESPÍNOLA SOBRINHO³, FLÁVIO B. JUSTINO²

(1) Engenheiro Agrônomo, estudante de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola, Depto. Engenharia Agrícola (DEA), Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa – MG, Fone: (0xx31) 3899.1890, e-mail: mcid@vicosa.ufv.br. (2) Professor, PhD, bolsista PQ/CNPQ, DEA/UFV. (3) Professor Adjunto, DSc, DEA/UFERSA.

Apresentado no

XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju – SE

RESUMO: Em face dos problemas operacionais no uso de lisímetros, como salinização, mão-de-obra e a padronização do modelo de Penman-Monteith na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) os objetivos deste trabalho foram: (1) aplicar a análise de trilha para determinar os efeitos direto e indireto dos elementos meteorológicos no processo de ET_0 medida e estimadas pelo modelo de Penman-Monteith (FAO) e tanque classe “A”; e, (2) determinar a metodologia mais eficiente para medir e, ou, estimar a ET_0 na região agrícola de Mossoró nos períodos estudados. O método Penman-Monteith padrão FAO foi o que se ajustou melhor aos elementos climáticos da região em estudo, apresentando maior coeficiente de determinação (r^2) entre as metodologias avaliadas, sendo 0,75 e 0,86 para médias diárias e de cinco dias, respectivamente. A insolação (n) foi o elemento do clima de maior contribuição para ET_0 , pois os resultados demonstram maior efeito direto sobre a variável principal, tanto para os valores diários como para as médias de cinco dias. Análise de trilha evita adoção de equipamentos ou modelos padrão para o efeito de comparação possibilitando a simples relação da ET com as variáveis meteorológicas de superfície.

Palavras chaves: Análise de trilha, lisímetro, Penman-Monteith.

ANALYZE DIRECT OF INDIRECT EFFECTS OF CLIMATE PARAMETERS METEOROLOGICAL IN THE PROCESSES EVAPOTRANSPIRATION

ABSTRACT: Due to operational difficulties associated with the use of lysimeter, this study aims to investigate: (1) The direct and indirect effects of climate parameters in the processes of ET_0 based upon the Penman-Monteith (FAO) and Class A pan models, (2) To determine the more appropriate method to estimate ET_0 in Mossoro. Our results indicate that Penman-Monteith (FAO) was more suitable due to its stronger link with the meteorological parameters, with regression coefficient up to 0.75 for daily averages and 0.86 for five days average, taken the lysimeter as the reference model.

Key words: Path analyse, lysimeter, Penman-Monteith model.

INTRODUÇÃO: A demanda evaporativa na atmosfera constitui-se num sistema determinante para o ciclo hidrológico na natureza. Essa demanda desencadeia o fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera, sendo responsável pela perda da água no processo de evapotranspiração (ET) e ocorrência do déficit hídrico nas culturas. Na ausência das precipitações pluviais, a irrigação assume papel essencial para o suprimento da água nas culturas agrícolas. Portanto, o conhecimento da ET no meio agrícola é imprescindível no planejamento e manejo do suprimento de água para as culturas. O modelo Penman-Monteith

(PM), proposto por MONTEITH (1965), é uma alternativa para estimar a ET de uma cultura agrícola, por ser estruturado dentro dos conceitos da termodinâmica atmosférica associada aos parâmetros de resistência que os vegetais apresentam às adversidades do local e do clima, que são as resistências aerodinâmica e estomática. Este modelo foi padronizado pela FAO para estimar evapotranspiração de referência (ET_o) e vários pesquisadores comprovaram a eficácia. No Brasil, o instrumento que mede a ET mais comum é o lisímetro de lençol freático constante. Para o lisímetro, é fato real a grande inconsistência nas medições da ET_o , devido a problemas instrumentais e operacionais, como por exemplo salinização. Tendo em vista o exposto, os problemas na adoção de lisímetros e a padronização do modelo de PM (FAO) associado ao conhecimento individual ou combinado da importância dos elementos meteorológicos sobre o processo de ET, este trabalho teve como objetivos: (1) aplicar a análise de trilha para determinar os efeitos direto e indireto dos elementos meteorológicos no processo de ET_o medida e estimadas pelo modelo de PM (FAO) e tanque classe "A"; e, (2) determinar a metodologia mais eficiente para medir e, ou, estimar a ET_o na região agrícola de Mossoró nos períodos estudados.

MATERIAL E MÉTODOS: Este trabalho foi realizado com dados climáticos coletados numa estação climatológica instalada no Município de Governador Dix-Sept-Rosado, RN (5° 28' S; 37° 31' W, 36 m), localizada a 35 km da cidade de Mossoró-RN. Os elementos meteorológicos utilizados foram: temperatura do ar (°C), umidade relativa (%), evaporação no tanque classe "A" (mm/dia), insolação (h), precipitação pluvial (mm) e ET_o (mm/dia). Os registros dos dados tiveram início em novembro de 1987 e final em dezembro de 1989, e foram obtidos numa estação meteorológica convencional (AMORIM, 1998). A ET_o foi determinada em lisímetros de lençol freático constante, com duas repetições. A cultura de referência utilizada foi à grama bermuda (*Cynodon dactylon*, L.). A estimativa diária da ET_o seguiu as parametrizações propostas por JESSEN et al. (1990) e FAO-56 (ALLEN et al., 2006), conforme equação 1, PM (FAO), em $mm\ d^{-1}$:

$$ET_o = \frac{\delta}{\delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma^*} \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a) \quad \text{Eq. (1)}$$

Sendo: R_n o saldo de radiação total diário ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$); G a densidade de fluxo de calor no solo ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$); T_{med} a temperatura média diária do ar a 2m de altura (°C); U_2 a velocidade do vento média diária a 2 m de altura (ms^{-1}); e_s a pressão de saturação do vapor média diária (kPa); e_a a pressão parcial de vapor média diária (kPa); δ a declividade da curva de pressão de saturação de vapor no ponto de T_{med} ($kPa\ ^\circ C^{-1}$); γ o coeficiente psicrométrica ($kPa\ ^\circ C^{-1}$), γ^* o coeficiente psicrométrico modificada ($kPa\ ^\circ C^{-1}$). A nova ET_o , comumente aceita pelos pesquisadores, é a taxa de evapotranspiração de uma cultura hipotética, com uma altura de 0,12 m, resistência aerodinâmica da superfície de $70\ s\ m^{-1}$ e albedo de 0,23. A análise de trilha, desenvolvida por WRIGHT (1923) consiste no estudo dos efeitos diretos e indiretos de caracteres independentes explicativos sobre uma variável dependente principal básica, cujas estimativas são obtidas por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas. Em condições de campo, os elementos meteorológicos são freqüentemente interdependentes, dificultando o entendimento do efeito de um ou outro elemento isoladamente sobre uma determinada componente físico, biológico e da produção. Deste modo, técnicas de estatísticas multivariada, como a análise de trilha (path analysis), possibilitam realçar os efeitos diretos e indiretos de um conjunto de variáveis sobre uma variável principal, podendo ser aplicadas no sentido de indicar a importância de um ou mais elementos meteorológicos no processo de evapotranspiração. De acordo com CRUZ e REGAZZI (1997), os coeficientes de trilha (efeito direto) podem ser comparados entre si e com o efeito da variável residual, que é utilizado como referencial para a importância do

efeito direto da variável explicativa sobre a variável principal. Quando o coeficiente de trilha (efeito direto) de uma variável explicativa for, em módulo, menor que o coeficiente da variável residual, mas o coeficiente de determinação (efeito total) for maior que o efeito da variável residual, significa que esta variável explicativa influencia a variável principal apenas indiretamente, sendo sua importância só em conjunto. Se o coeficiente de trilha for, em módulo, maior que o coeficiente da variável residual, indica que existe efeito direto da variável explicativa sobre a principal. Com as variáveis determinadas efetuou-se, inicialmente, as análises de correlação linear simples (correlação de Pearson), para se obter as matrizes de correlação e suas significâncias pelo teste “t”, em níveis de 1 e 5% de probabilidade. Considerou-se como variáveis explicativas os elementos meteorológicos (temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e insolação) e como variável principal a ET (medida e estimada). A obtenção de informações relativas à influência de elementos meteorológicos no processo da ET é de extrema importância para o entendimento das relações físicas e dos aspectos micrometeorológicos das diferentes regiões e ambientes do planeta, possibilitando um estudo mais seguro da modelagem físico-matemática para estimar a ET, como também em outros processos observados na natureza que sofrem influências físicas dos elementos climáticos. Permite também ao pesquisador ser mais criterioso no momento de coletar e trabalhar os registros meteorológicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Desdobrou-se, por meio de análise de trilha, a correlação de cada variável independente, ou seja, os elementos meteorológicos: insolação (n), umidade relativa (UR), velocidade do vento (Uz) e temperatura (T) com a variável dependente ET_o (medida e estimada), em seus efeitos diretos e indiretos, para verificar a influência de cada elemento meteorológico sobre a ET medida e, ou, estimada por diferentes metodologias. Os Quadros 1 e 2 fornecem os efeitos diretos e indiretos de cada elemento meteorológico sobre a ET, em períodos de médias diárias e de cinco dias, respectivamente. Os efeitos diretos são apresentados sublinhados e estão em negrito quando o seu valor é superior ao da variável residual e a variável explicativa correspondente tenha apresentado correlação significativa a 1% ou a 5% de probabilidade pelo teste t. O método PM padrão (FAO) foi o que se ajustou melhor aos elementos climáticos da região em estudo, apresentando maior coeficiente de determinação (r^2) entre as metodologias avaliadas, sendo 0,75 e 0,86 para médias diárias e de cinco dias, respectivamente. Com relação aos outros elementos estudados, observou-se que só para os dados de média de cinco dias apresentaram contribuições, mas de forma indireta, ou seja, associados com os elementos estudados (Uz e UR). Uz e T apresentaram coeficiente de trilha relativamente baixo, não sendo possível explicar variações na variável principal. Os registros de ET medidos nos lisímetros e a estimada pelo método tanque classe “A” - (FAO), apresentou baixos coeficientes de determinação, o suficiente para que os elementos climáticos em estudo não ocasionassem efeitos diretos ou indiretos na variável principal, nos períodos estudados. Só se observou efeito direto da insolação no lisímetro no período de médias de cinco dias. Estes resultados estão de acordo com os resultados apresentados por SEDIYAMA (1996) e PEREIRA et al. (1997), que citam a baixa eficiência desses equipamentos (lisímetro de lençol freático constante e tanque classe “A”) nas medidas de ET_o em escala diária, recomendando o uso dos mesmos em períodos superiores a 5 dias. Em geral, n foi o elemento climático de maior contribuição no processo de ET por apresentar maiores r^2 , exceção feita apenas ao método tanque classe “A” (FAO). Quando a análise de trilha apresentou um péssimo ajuste com os dados meteorológicos, n não causou efeito direto e nem indireto nos processos de evaporação e evapotranspiração. Para médias de cinco dias, este elemento mostrou-se altamente significativo (ao nível de 1%), sendo o elemento que causa efeito direto no processo de ET. A temperatura média compensada foi o elemento que apresentou menores

índices de efeitos diretos nos processos para todos os métodos e escalas de tempo estudadas. Pode-se observar que, com exceção ao método citado anteriormente, todos os outros valores do coeficiente de correlação total da análise de trilha não foram significativos ao teste t , impossibilitando a explicação da relação individual de T com a ET. Outro aspecto relevante na aplicação da análise de trilha é a possibilidade de relacionar diretamente a ET com as variáveis meteorológicas de superfície, de fácil obtenção em estações convencionais e automáticas, evitando assim adoção de equipamentos ou de um modelo padrão para efeito comparação.

CONCLUSÕES: O método PM (FAO) foi o que se ajustou melhor aos elementos climáticos da região em estudo, apresentou maior r^2 entre as metodologias avaliadas, sendo 0,75 e 0,86 para médias diárias e de cinco dias, respectivamente. Uz e T apresentaram coeficiente de trilha relativamente baixo, não sendo possível explicar variações na variável principal. Os registros de evapotranspiração diária medida nos lisímetros e estimada pelo método tanque classe “A” - (FAO), apresentou baixos r^2 , o suficiente para que os elementos climáticos em estudo não ocasionassem efeitos diretos ou indiretos na variável principal. Só se observou efeito direto de n no lisímetro nos períodos de médias de cinco dias. Sendo que n foi o elemento climático de maior contribuição no processo de evapotranspiração por apresentar maiores r^2 , exceção feita apenas ao método tanque classe “A” (FAO). T foi o elemento que apresentou menores índices de efeitos. Análise de trilha evita adoção de equipamentos ou modelos padrão para o efeito de comparação possibilitando relacionar a ET com dados meteorológicos de superfície.

AGRADECIMENTOS: Os autores realizam este trabalho com o suporte do CNPq. Dedicamos este aos Professores e Colaboradores do Departamento de Engenharia Agrícola [DEA/UFV] pelos 80 anos de excelência em ensino, pesquisa e extensão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evaporación del cultivo** – Guías para determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura e la Alimentación, Roma, 2006. 299 p
- AMORIM, M.C. **Avaliação da eficácia do lisímetro de lençol freático constante, do tanque classe “A” e do método de Penman-Monteith para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 56 p. Tese (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa : UFV, 1997. 390p.
- JESSEN, M.E, BURMAN, R.D. e ALLEN R.G. **Evapotranspiration and Irrigation water requirements**. Manuals no. 70. Am. Soc. of Civil Engineers, NY, 332 p. 1990.
- MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. **In: THE STATE AND MOVEMENT OF WATER IN LIVING ORGANISMS**, 1965, Cambridge. Atas and abstract... Cambridge University, Press, 1965, pp 205-234
- PEREIRA, A. R., VILLA NOVA, N. A., SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba, SP: FEALQ, 1997. 183 p.
- SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração: necessidade de água para as plantas cultivadas**. Brasília, DF, ABEAS, 1996. 173 p. (Curso por tutoria à distância).
- WRIGHT, S. **Theory of path coefficients**. Genetics, New York, v.8, p.239-285, 1923.

QUADRO 1 - Desdobramento das correlações em efeitos diretos e indiretos^{1/} dos elementos meteorológicos^{2/} sobre a evapotranspiração mmd^{-1} medida e estimada por diferentes metodologias, para médias diárias de dados, de Governador Dix-Sept Rosado (RN)

LISÍMETRO	T	UR	Uz	n	TOTAL ^{3/}
T	<u>-0,1033</u>	-0,0067	0,0574	-0,0222	-0,0749 ^{ns}
UR	0,0242	<u>0,0287</u>	-0,0341	-0,1569	-0,1382 ^{ns}
Uz	-0,0260	-0,0043	<u>0,2282</u>	0,1346	0,3325 ^{**}
n	0,0039	-0,0076	0,0521	<u>0,5893</u>	0,6377 ^{**}
Coeficiente de determinação: 0,46			Efeito da variável residual: 0,7379		
PENMAN-MONTEITH	T	UR	Uz	n	TOTAL
T	<u>0,0961</u>	0,0136	0,0357	-0,0301	0,1154 ^{ns}
UR	-0,0225	<u>-0,0584</u>	-0,0212	-0,2126	-0,3147 ^{**}
Uz	0,0242	0,0088	<u>0,1421</u>	0,1824	0,3574 ^{**}
n	-0,0036	0,0155	0,0325	<u>0,7985</u>	0,8429 ^{**}
Coeficiente de determinação: 0,75			Efeito da variável residual: 0,4967		
FAO - TANQUE	T	UR	Uz	n	TOTAL
T	<u>-0,4006</u>	-0,0162	0,2537	0,0876	-0,0755 ^{ns}
UR	-0,0951	<u>-0,0683</u>	0,1310	-0,0705	-0,1029 ^{ns}
Uz	-0,2685	-0,0236	<u>0,3785</u>	-0,0097	-0,0767 ^{ns}
n	-0,1343	0,0184	-0,0140	<u>0,2613</u>	0,1315 ^{ns}
Coeficiente de determinação: 0,1007			Efeito da variável residual: 0,9484		

^{1/} Leituras dos efeitos diretos na diagonal principal (sublinhado) e dos efeitos indiretos na horizontal (não sublinhado). ^{2/} T: Temperatura média compensada, °C; UR: Umidade relativa média compensada, %; Uz: Velocidade do vento, m/s; e IN: Insolação, horas. ^{3/} Coeficiente de correlação de Pearson. ^{ns} Não significativo pelo teste t. ^{**} Significativo a 1% pelo teste t.

QUADRO 2 - Desdobramento das correlações em efeitos diretos e indiretos^{1/} dos elementos meteorológicos^{2/} sobre a evapotranspiração mmd^{-1} medida e estimada por diferentes metodologias, para médias de cinco dias de dados, de Governador Dix-Sept Rosado (RN)

LISÍMETRO	T	UR	Uz	n	TOTAL ^{3/}
T	<u>-0,1438</u>	-0,0446	0,0371	-0,0054	-0,1567 ^{ns}
UR	0,04114	<u>0,1559</u>	-0,0594	-0,3973	-0,2597 ^{ns}
Uz	-0,0418	-0,0726	<u>0,1276</u>	0,2893	0,3025 ^{ns}
n	0,0009	-0,0730	0,0435	<u>0,8485</u>	0,8199 ^{**}
Coeficiente de determinação: 0,72			Efeito da variável residual: 0,5326		
PENMAN-MONTEITH	T	UR	Uz	n	TOTAL
T	<u>-0,0014</u>	0,0834	-0,0003	-0,0047	0,0770 ^{ns}
UR	0,0004	<u>-0,2916</u>	0,0004	-0,3473	-0,6381 ^{**}
Uz	-0,0004	0,1358	<u>-0,0009</u>	0,2529	0,3874 [*]
n	0,0000	0,1366	-0,0003	<u>0,7416</u>	0,8779 ^{**}
Coeficiente de determinação: 0,84			Efeito da variável residual: 0,4041		
FAO - TANQUE	T	UR	Uz	n	TOTAL
T	<u>0,3266</u>	0,0087	-0,0483	-0,0041	0,2829 ^{ns}
UR	-0,0934	<u>-0,0303</u>	0,0773	-0,2968	-0,3433 ^{ns}
Uz	0,0950	0,0141	<u>-0,1660</u>	0,2162	0,1593 ^{ns}
n	-0,0021	0,0142	-0,0566	<u>0,6339</u>	0,5894 ^{**}
Coeficiente de determinação: 0,45			Efeito da variável residual: 0,7416		

^{1/} Leituras dos efeitos diretos na diagonal principal (sublinhado) e dos efeitos indiretos na horizontal (não sublinhado). ^{2/} T: Temperatura média compensada, °C; UR: Umidade relativa média compensada, %; Uz: Velocidade do vento, m/s; e IN: Insolação, horas. ^{3/} Coeficiente de correlação de Pearson. ^{ns} Não significativo pelo teste t. ^{**} Significativo a 1% pelo teste t.