

ANÁLISE DE TRILHA APLICADA AO IRRIGÂMETRO E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

GLAUCIO L. ARAUJO¹, EDVALDO F. DOS REIS² VENILTON S. BARBOSA³,
ROGERIO R. RODRIGUES¹ & GUILHERME de R. CAMARA¹.

1-Acadêmico de Agronomia, CCA-UFES, Bolsista de Iniciação Científica CNPq, glaucio_araujo@yahoo.com.br.

2-Eng. Agrícola, Prof. Dr. Dep. de Eng. Rural, CCA-UFES, Bolsista de Produtividade em pesquisa CNPq, edreis@cca.ufes.br.

3-Eng. Agrônomo, Ms. Dep. de Eng. Rural, CCA-UFES, vsantos@cca.ufes.br.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011
SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES.

RESUMO: O conhecimento dos efeitos relativos das variáveis meteorológicas no processo de evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro (ET_I) é de fundamental importância para o aperfeiçoamento de seu uso no manejo correto da irrigação. Uma das formas de estudar as interações do aparelho com as variáveis meteorológicas é a análise de trilha. O objetivo deste trabalho foi realizar a análise de trilha sobre elementos meteorológicos identificando seus efeitos sobre a ET_I . Para isso um experimento foi montado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo. A radiação global (R_s) foi a principal determinante na composição da ET_I , apresentando relação nítida de causa e efeito. Variações na R_s implicam diretamente na ET_I , sendo a R_s o principal elemento meteorológico na tentativa de explicar a ET_I .

PALAVRAS CHAVE: Análise de caminamento, evapotranspiração, correlações.

ABSTRACT: The knowledge of the relative effects of meteorological variables in evapotranspiration estimated by Irrigâmetro (ET_I) is very important for the improvement of its use in the correct management of irrigation. One way to study the interactions of the equipment with the meteorological variables is the path analysis. The objective of this work was the analysis of meteorological elements by identifying its effect on the ET_I . An experiment was mounted at the Centre for Agrarian Sciences, Federal University of Espírito Santo. The global radiation (R_s) was the main determinant in the composition of ET_I , presenting a clear relation of cause and effect. Variations in R_s directly affect the ET_I , being the main weather element R_s in an attempt to explain the ET_I .

KEYWORDS: Path analysis, evapotranspiration, correlations.

INTRODUÇÃO: A determinação do consumo de água pelas culturas é fundamental no manejo da irrigação, desta forma vários métodos alternativos têm sido desenvolvidos e testados para a quantificação do consumo de água pelas culturas (PIMENTEL et al., 2010).

O Irrigâmetro é uma nova tecnologia que combina o método da estimativa da evapotranspiração com a disponibilidade de água no solo para a cultura, sendo um aparelho evapopluiométrico que fornece diretamente, de maneira simplificada informações como o momento de irrigar e quanto aplicar de água, permitindo efetuar o cômputo da efetividade da chuva no manejo da irrigação.

O conhecimento dos efeitos relativos das variáveis meteorológicas no processo de evapotranspiração do Irrigâmetro é de fundamental importância para o aperfeiçoamento de seu uso e manejo correto da irrigação. Uma das formas de estudar as interações do aparelho com as variáveis meteorológicas é o estudo das correlações simples, no entanto as correlação simples não relatam exatamente as relações de causa e efeito entre as variáveis. Daí a importância do desdobramento dos coeficientes de correlação, nos seus efeitos diretos e indiretos, por meio da análise de trilha (“path analysis”) desenvolvida por Wright (1921).

O objetivo deste trabalho foi realizar a análise de trilha sobre elementos meteorológicos identificando seus efeitos diretos e indiretos sobre a evapotranspiração do Irrigâmetro (ET₁) no sul do Estado do Espírito Santo, município de Alegre.

MATERIAL & METODOS: O experimento foi conduzido na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (latitude 20°45'1,16" sul, longitude 41°29'20,04" oeste e altitude de 138,0 m), localizada no município de Alegre-ES, Brasil. O clima da região é do tipo "Aw" com estação seca no inverno, de acordo com a classificação de Köppen.

O experimento foi composto por 15 Irrigâmetros, instalados sobre solo coberto com grama-batatais (*Paspalum notatum*). Cada aparelho foi equipado individualmente com um evaporatório, que foi regulado em um dos seguintes níveis de água (cm): N2= 2, N3= 3, N4= 4, N5= 5 e N6= 6, tomados a partir de um nível de referência do próprio aparelho, sendo cada nível com três repetições.

Os Irrigâmetros utilizados foram instalados com os evaporatórios voltados para o norte, uma descrição detalhada do aparelho pode ser encontrada em Oliveira & Ramos (2008). A leitura dos Irrigâmetros foi realizada às 9 horas da manhã de cada dia, no período de vigência do horário de verão as leituras foram realizadas às 10 horas da manhã, a coleta de dados foi realizada no período de 20/03/2009 a 16/10/2010.

As variáveis climatológicas foram coletados durante todo o período de leitura dos Irrigâmetros. Os dados foram coletados por meio de uma estação meteorológica automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia localizada no local de instalação do experimento. As variáveis climatológicas coletadas foram: temperatura do ar – °C – máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin), umidade relativa média do ar – % – (UR), radiação global – Mj m⁻²dia⁻¹ – (Rs), velocidade do vento – m s⁻¹ – (U₂), pressão de saturação do vapor de água na atmosfera – Kpa – (es) e fluxo de calor no solo – Mj m⁻²dia⁻¹ – (G).

A matriz de correlação simples de Pearson entre as variáveis foi obtida utilizando o software SAEG 9.1 (FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES, 2007), o desdobramento das correlações, mediante a análise de trilha em efeitos diretos e indiretos, foi realizado considerando a evapotranspiração em cada nível do Irrigâmetro como variável dependente ou principal e as variáveis climatológicas como variáveis independentes ou explicativas. No entanto antes da análise de trilha, foi efetuado o diagnóstico de multicolinearidade na matriz de correlação entre variáveis explicativas, a multicolinearidade foi analisada com o auxílio do software GENES (CRUZ, 2006).

Quando identificado um grau de multicolinearidade tanto moderado quanto forte entre as variáveis, este deve ser atenuado, uma das formas de atenuação é excluir da base de dados as variáveis que causam o problema. Neste estudo para a análise da multicolinearidade foram adotados como parâmetros para a eliminação das variáveis: a identificação das variáveis explicativas que mais influenciaram na análise de fatores de inflação da variância (VIF), o número de condição (NC) na matriz de autovalores, e as correlações entre variáveis maiores ou iguais a 0,8. Procurando tornar todos os VIF menores do que 10 e NC menor do que 100 (CRUZ, 2006), obtendo valores fracos de multicolinearidade.

Após a análise da multicolinearidade a análise de trilha foi realizada utilizando o software SAEG 9.1 (FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES, 2007) desdobrando as correlações entre as variáveis em efeitos diretos e indiretos. Posteriormente o coeficiente de determinação do modelo causal (R²) e o efeito da variável residual (Ĝ_e) sobre a ET₀ foram calculados de acordo com as equações 1 e 2 respectivamente.

$$R^2_{0.12...p} = \hat{\xi}_{01}r_{01} + \hat{\xi}_{02}r_{02} + \dots + \hat{\xi}_{0p}r_{0p} \quad (1)$$

Em que: $R^2_{0.12...p}$: coeficiente de determinação do modelo causal; \hat{g}_{01} : efeito direto da variável X_1 sobre a variável principal; \hat{g}_{02} : efeito direto da variável X_2 sobre a variável principal; \hat{g}_{0p} : efeito direto da variável X_p sobre a variável principal; r_{01} : correlação simples entre a variável X_1 e a variável principal; r_{02} : correlação simples entre a variável X_2 e a variável principal, e; r_{0p} : correlação simples entre a variável X_p e a variável principal.

$$\hat{G}_e = \sqrt{1 - R^2_{0.12...p}} \quad (2)$$

Em que: \hat{G}_e : efeito da variável residual sobre a variável principal, e; $R^2_{0.12...p}$: coeficiente de determinação do modelo causal.

Na análise de trilha devemos identificar o efeito da variável residual (\hat{G}_e), que segundo Li (1981), é utilizado como referencial para verificar se os efeitos diretos ou indiretos das variáveis explicativas (variável que expressa seu efeito direto e indireto sobre Y) sobre a variável principal (Y) devem ou não ser considerados no estudo. Se o efeito direto (coeficiente de trilha) de uma determinada variável explicativa (X_1, X_2, \dots, X_n) for numericamente menor que o coeficiente da variável residual, significa que esta variável independente deve explicar mudanças em Y apenas indiretamente. Em outras palavras, esta variável por si só não é capaz de explicar variações em Y. Ela pode ser importante apenas quando analisada em conjunto com outras variáveis. Um coeficiente de trilha numericamente maior do que o coeficiente da variável residual demonstra que existe efeito direto da variável explicativa sobre a variável principal.

Coefficientes de correlação e efeitos diretos (coeficientes de trilha) elevados indicam que estas variáveis independentes explicam parte da alteração na variável principal, e que coeficientes de correlação positivos ou negativos, mas com efeito direto de sinal diferente ou estatisticamente não significativo, indicam que variáveis que apresentam maiores efeitos indiretos têm que ser consideradas simultaneamente para que a alteração na variável principal seja explicada (VENCOVSKY & BARRIGA, 1992).

Os dias em que se registrou precipitação foram excluídos da base de dados para a realização deste estudo, tendo em vista que a chuva altera o nível da água no evaporatório do Irrigâmetro e a restituição do nível original nem sempre ocorre logo após o término da precipitação pluvial.

RESULTADOS & DISCUSSÃO: De acordo com os resultados das análises de multicolinearidade as variáveis eliminadas foram: temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), pressão de saturação do vapor de água na atmosfera (es) e fluxo de calor no solo (G). Sendo as variáveis utilizadas na análise de trilha: temperatura média (Tmed), radiação global (Rs), velocidade do vento (U_2), umidade relativa media (UR), e as variáveis de evapotranspiração do Irrigâmetro em cada nível (ET_1).

Para análise dos dados adotou-se um diagrama causal ilustrativo (Figura 1) considerando a variável ET_1 como variável principal e as variáveis Tmed, Rs, U_2 e UR como variáveis explicativas. Neste podemos observar o interrelacionamento das variáveis analisadas, onde a seta unidirecional indica efeito direto de cada variável explicativa, enquanto a seta bidirecional representa a interdependência de duas variáveis explicativas.

Na Tabela 1 podemos observar que todos os níveis apresentaram coeficientes de determinação maiores que 0,7 demonstrando elevada eficiência do modelo. A variável meteorológica que apresentou o maior efeito total, diretos e indiretos (correlação de Pearson) foi a Rs, seguida pela variável Tmed, em todos os níveis. A variável Rs também apresentou coeficientes de efeito direto de mesmo sinal dos coeficientes de correlação total, indicando a existência de interação direta da variável com a ET_1 . A variável Rs também apresentou coeficientes de efeito direto superiores aos coeficientes da \hat{G}_e , desta forma esta variável é capaz de explicar variações na variável principal de forma isolada em todos os níveis.

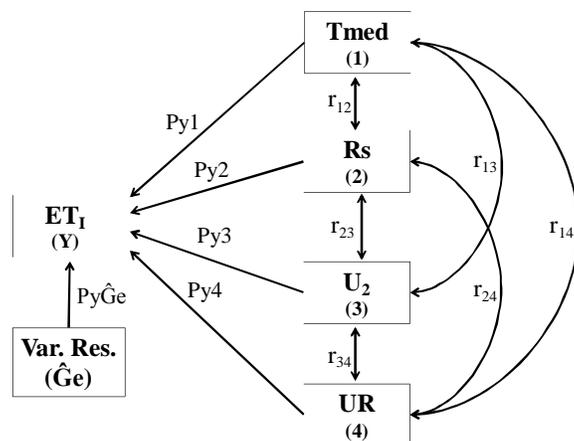


Figura 1. Diagrama causal ilustrativo dos efeitos das variáveis explicativas temperatura média (1), radiação global (2), velocidade do vento (3) umidade relativa média (4) e efeito da variável residual (\hat{G}_e) sobre a variável básica evapotranspiração do Irrigâmetro (Y). Py_i : efeito direto dos caracteres explicativos sobre Y. $Py_{\hat{G}_e}$: efeito da \hat{G}_e sobre Y. r_{ij} : coeficiente de correlação entre os caracteres explicativos.

Tabela 1 - Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas, temperatura média (Tmed), radiação global (Rs), velocidade do vento (U₂) e umidade relativa do ar (UR), sobre a variável básica, evapotranspiração do Irrigâmetro (ET_I), nos diferentes níveis do evaporatório

Variável	Efeito	Níveis de água no evaporatório				
		N2	N3	N4	N5	N6
Rs	Direto Sobre ETI	0,5887	0,5673	0,5412	0,5158	0,5225
	Indireto via U ₂	-0,0020	0,0008	0,0013	0,0026	0,0067
	Indireto via UR	0,1116	0,1121	0,1296	0,1421	0,1435
	Indireto via Tmed	0,1419	0,1565	0,1714	0,1664	0,1551
	Total - Diretos e Indiretos	0,8402**	0,8368**	0,8436**	0,8270**	0,8280**
U ₂	Direto Sobre ETI	-0,0070	0,0028	0,0046	0,0910	0,0233
	Indireto via Rs	0,1690	0,1628	0,1553	0,1480	0,1500
	Indireto via UR	0,0610	0,0613	0,0709	0,0777	0,0785
	Indireto via Tmed	0,0696	0,0768	0,0841	0,0817	0,0762
	Total - Diretos e Indiretos	0,2927**	0,3039**	0,3151**	0,3167**	0,3281**
UR	Direto Sobre ETI	-0,1570	-0,1577	-0,1823	-0,1999	-0,2019
	Indireto via Rs	-0,4184	-0,4032	-0,3846	-0,3666	-0,3714
	Indireto via U ₂	0,0027	-0,0011	-0,0017	-0,0035	-0,0091
	Indireto via Tmed	-0,1191	-0,1313	-0,1438	-0,1396	-0,1302
	Total - Diretos e Indiretos	-0,6918**	-0,6935**	-0,7127**	-0,7098**	-0,7127**
Tmed	Direto Sobre ETI	0,2077	0,2291	0,2509	0,2436	0,2271
	Indireto via Rs	0,4021	0,3875	0,3697	0,3523	0,3569
	Indireto via UR	-0,0023	0,0009	0,0015	0,0030	0,0078
	Indireto via U ₂	0,0900	0,0904	0,1045	0,1146	0,1157
	Total - Diretos e Indiretos	0,6975**	0,7081**	0,7267**	0,7137**	0,7078**
Coeficiente de Determinação		0,7461	0,7474	0,7704	0,7453	0,7452
Efeito da Variável residual		0,5039	0,5026	0,4791	0,5047	0,5048

** Significativo a 1%, pelo teste t.

Assim como a variável Rs a variável Tmed apresentou coeficientes de efeito direto de mesmo sinal dos coeficientes de correlação total, indicando a existência de interação direta da variável com a ET_I, no entanto a variável Tmed não apresentou coeficientes de efeito direto

superiores aos coeficientes da \hat{G}_e , sendo assim esta variável não pode explicar alterações na variável principal de forma isolada, necessitando da interação com outras variáveis por meio de efeitos indiretos, o maior efeito indireto da Tmed se dá via Rs, em todos os níveis. Este fato pode ser explicado devido a elevada correlação existente entre estas duas variáveis.

A variável U_2 apresentou os menores valores de efeito total, no entanto seu efeito se eleva com a elevação do nível de água dentro do evaporatório do Irrigâmetro. Este fato pode ser explicado pela maior proximidade da superfície da água da borda do evaporatório do aparelho quando o nível da água é maior, facilitando a renovação do ar saturado que está próximo da superfície da água, propiciando maior evaporação. O maior efeito da variável U_2 se dá de forma indireta via Rs.

A variável UR foi a única que apresentou valores negativos para efeito total, sinalizando relação inversa com o fenômeno da variável principal. A umidade relativa do ar quando elevada reduz a demanda evaporativa do ar, reduzindo a evaporação da água no evaporatório. No entanto a variável UR apresentou coeficientes de efeito direto de mesmo sinal dos coeficientes de correlação total, indicando a existência de Interação direta da variável com a ET_1 , contudo a variável UR não apresentou coeficientes de efeito direto superiores aos coeficientes da \hat{G}_e , desta forma esta variável não pode explicar alterações na variável principal de forma isolada, necessitando da interação com outras variáveis. O maior efeito desta variável se dá de forma indireta via Rs.

Caixeta (2009), trabalhando em Viçosa, Minas Gerais, utilizando duas metodologias para a estimativa da evapotranspiração de referência, tanque Classe A e o Irrigâmetro, afirma que o elemento meteorológico que apresentou maior correlação com a estimativa da evapotranspiração foi a radiação solar, seguida pela temperatura máxima do ar.

CONCLUSÃO: As estimativas dos efeitos diretos elevados e de sinal igual aos dos coeficientes de efeito total, em todos os níveis de água no evaporatório, para a variável Rs indicam que esta é a principal determinante na composição da variável principal ET_1 , sendo a única que apresenta relação nítida de causa e efeito. Isso evidencia que a variação na radiação implica mudanças diretas na ET_1 , sendo, assim, a radiação o principal elemento meteorológico na tentativa de explicar a variável dependente ET_1 .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

CAIXETA, S. P. **Efeitos de elementos meteorológicos na evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro nas condições climáticas da zona da mata mineira.** 2009. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: Biometria.** Viçosa: UFV, 2006. 382p.

FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES. **SAEG – Sistema Para Análise Estatística, Versão 9.1.** Viçosa: UFV, 2007.

LI, C.C. **Path analysis: a primer.** 3 ed. Pacific Grove: Boxwood Press, 1981. 347p.

PIMENTEL, J. da S. et al. Estimativa da transpiração em cafeeiros utilizando-se sensores de dissipação térmica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.2, p.187-195, 2010.

OLIVEIRA, R. A. de; RAMOS, M. M. **Manual do Irrigâmetro.** 1.ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 144p.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 466p.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, Islamabad, v. 20, p. 557-585, 1921.