

ANÁLISE ESTATÍSTICA DE ALGUNS PARÂMETROS
QUANTO AOS SEUS EFEITOS SÔBRE A EFICIÊNCIA DE
APLICAÇÃO EM IRRIGAÇÃO POR SULCOS

RICARDO A. LOPES BRITO¹

CARLOS ALBERTO V. OLIVEIRA²

S U M Á R I O

INTRODUÇÃO

METODOLOGIA

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

AGRADECIMENTO

RESUMO

SUMMARY

BIBLIOGRAFIA

1/ Pesquisador em irrigação e drenagem, EMBRAPA.

2/ Pesquisador em estatística, EMBRAPA

INTRODUÇÃO

A eficiência de irrigação é composta de várias eficiências diferentes, cada uma associada a um aspecto particular, como condução de água, aplicação, distribuição etc., todas contribuindo para uma eficiência total do sistema. Existem muitos casos em que a "eficiência de irrigação" é mencionada sem uma definição específica do tipo de eficiência com que se está lidando, o que pode levar a interpretações ambíguas ou conclusões errôneas. Por esse motivo, Jensen (7) sugeriu que cada vez que se fale em eficiência, a mesma deve ser definida apropriadamente. Neste trabalho, apenas a eficiência de aplicação em irrigação por sulco é discutida, e é entendida como sendo a porcentagem de água realmente utilizável pela planta, em um total de água aplicada no sulco, ou seja, a proporção da água que é armazenada na zona radicular em relação à lâmina d'água total despejada no sulco.

O manejo é a ferramenta mais importante para melhorar a eficiência de irrigação e portanto deveria ser o mais adequado para as condições existentes, quando se deseja tirar o melhor proveito dos recursos disponíveis. Davis (3) apontou o fato de que uma eficiência de irrigação numericamente baixa pode, na realidade, ser considerada alta, se as condições existentes são adversas e somente um bom manejo permite tal eficiência. É também importante lembrar o aspecto econômico da irrigação, porque o objetivo final da produção agrícola é o lucro do produtor, mais do que sua produtividade física. Desta maneira, um sistema de irrigação 60% eficiente pode ser mais interessante para o agricultor do que outro sistema 80% eficiente, se o primeiro for o que proporciona mais lucros.

Quando se lida com eficiência de aplicação em irrigação por sulcos, vários fatores a influenciam de uma maneira ou de outra. Para este trabalho, quatro destes fatores foram selecionados, que talvez sejam os quatro mais importantes. Eles são: características de infiltração do solo, velocidade de avanço da água no sulco, percolação profunda e escoamento superficial.

Os parâmetros mencionados acima, excetuando-se talvez as características de infiltração do solo, podem ser controlados até um certo ponto, dependendo das condições e recursos existentes. Embora alguns sejam muitas vezes vistos como característicos do tipo de solo, eles podem ser melhorados através de modificações no comprimento de sulco, vazão aplicada, espaçamento e outros, como sugeriu Merriam (8).

A idéia da realização do presente trabalho originou-se

primariamente de polêmicas surgidas entre técnicos envolvidos com irrigação sobre a importância relativa de cada um dos fatores mencionados, na eficiência de aplicação. Devido à existência de opiniões divergentes, pareceu interessante conduzir uma avaliação do problema de u'a maneira que não envolvesse pontos de vista pessoais e assim uma análise estatística foi realizada, com o intuito de obter um resultado mais objetivo.

METODOLOGIA

Para representar as características de infiltração do solo adotou-se a equação de Kostiaikov:

$$I = Kt^n \dots\dots\dots[1]$$

onde I é a taxa de infiltração, t é o tempo de infiltração, e K é uma constante empírica associada com o estado inicial de umidade do solo; n é outra constante empírica relacionada com as características físicas do solo. Nesta análise, a constante n foi usada para representar as características de infiltração do solo, aqui denominada coeficiente de infiltração.

Quanto à velocidade de avanço da água no sulco, um conceito usado por Willardson e Bishop (11) foi empregado, o qual considera o tempo de avanço como uma porcentagem do tempo total de irrigação. A percolação profunda é aqui definida como sendo a porcentagem da água aplicada que percola abaixo da zona radicular. O escoamento superficial é também medido como uma porcentagem da água total aplicada. Presume-se, neste trabalho, uma situação onde a irrigação é a única fonte de água para o cultivo, sendo por-

tanto necessário abastecer toda a zona radicular até a profundidade desejada.

Os dados utilizados na análise foram obtidos de Willardson e Bishop (11), em um trabalho sobre a eficiência de aplicação em irrigação por sulcos. Análises de regressão múltipla foram conduzidas, utilizando coeficiente de infiltração (n), taxa de avanço da água como porcentagem do tempo de irrigação (%), percolação profunda (%) e porcentagem de escoamento superficial, como sendo variáveis independentes, e a eficiência de aplicação (%) como a variável dependente. As variáveis foram assim definidas:

X_1 = coeficiente de infiltração (n)

X_2 = taxa de avanço (%)

X_3 = percolação profunda (%)

X_4 = escoamento superficial (%)

Y = eficiência de aplicação (%)

Os programas do sistema SAS ("Statistical Analysis System"), Versão 79.2, foram utilizados para as análises, no Centro de Computação da EMBRAPA (CCE), em Brasília - DF. Os dados usados são mostrados na Tabela 1.

As variáveis independentes foram combinadas de duas maneiras distintas, em dois modelos algébricos distintos. Um modelo levava em consideração a proporcionalidade não linear (exponencial) de n para com a eficiência de aplicação, bem como sua interação com a taxa de avanço (X_2), tendo por isso a seguinte forma:

$$Y = B_0 + B_1 \frac{\left(\frac{1}{X_2} + 1\right)^{X_1+1} - \left(\frac{1}{X_2}\right)^{X_1+1}}{\left(\frac{1}{X_2} + 1\right)^{X_1+1} + \left(\frac{1}{X_2}\right)^{X_1+1}} + B_2 \frac{1}{X_3} + B_3 \frac{1}{X_4} \dots [2]$$

TABELA 1. Dados usados na análise, provenientes de Willardson e Bichop, 1967.

n	Tx.avanço(%)	Perc.prof.(%)	Escoamento(%)	Ef.aplic.(%)
X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
-0.7	20	3	10	90
-0.7	40	6	10	88
-0.7	60	13	10	84
-0.7	80	24	10	75
-0.7	20	3	20	82
-0.7	40	6	20	82
-0.7	60	13	20	78
-0.7	80	24	20	73
-0.7	20	3	30	74
-0.7	40	6	30	76
-0.7	60	13	30	76
-0.7	80	24	30	73
-0.5	20	5	10	88
-0.5	40	13	10	83
-0.5	60	23	10	74
-0.5	80	38	10	61
-0.5	20	5	20	79
-0.5	40	13	20	76
-0.5	60	23	20	70
-0.5	80	38	20	59
-0.5	20	5	30	72
-0.5	40	13	30	72
-0.5	60	23	30	68
-0.5	80	38	30	58
-0.3	20	8	10	85
-0.3	40	18	10	76
-0.3	60	32	10	66
-0.3	80	52	10	48
-0.3	20	8	20	77
-0.3	40	18	20	72
-0.3	60	32	20	63
-0.3	80	52	20	47
-0.3	20	8	30	71
-0.3	40	18	30	67
-0.3	60	32	30	61
-0.3	80	52	30	47

onde B_0 é o ponto de interseção do polinômio e os coeficientes B_1, \dots, B_3 são os coeficientes de proporcionalidade das variáveis. O segundo modelo presumia uma proporcionalidade linear de todas as variáveis independentes para com a variável dependente e tinha uma forma mais simplificada:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4 \dots \dots \dots [3]$$

cujos termos são definidos à semelhança da eq.[2].

Vale salientar que a análise estatística requer uma linearização inicial do modelo não linear por meio de artifícios algébricos, antes de proceder à regressão propriamente dita. Em alguns casos, pode-se fazer necessário a "normalização" da função, i. e., uma transformação algébrica da variável dependente que permita melhor continuidade da função e conseqüentemente uma melhor distribuição (mais próxima da normal).

Além do método de quadrados mínimos, usual em análises de regressão, foram usados os chamados "estimadores robustos", que tendem a eliminar os efeitos de dados discrepantes no modelo, conforme estudos de Souza e Pedrosa Jr. (9).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística mostrou melhores resultados para o modelo linear (eq. 3), com $R^2=0,96$ e $F=185$ comparados com 0,91 e 115, respectivamente, para o modelo não linear. Junte-se a tais valores o fato de que a normalização da distribuição mostrou-se insatisfatória para o caso não linear. Assim sendo, passamos a consi

derações envolvendo apenas o modelo linear.

A alta correlação obtida pelo modelo ($R^2=0,96$) confirma a importância dos parâmetros selecionados na determinação da eficiência de aplicação. Os testes de T apontaram X_3 e X_4 como as variáveis mais importantes na determinação de Y; X_2 ocupou um lugar de menor destaque e X_1 mostrou-se praticamente insignificante. Isso reforça a importância do manejo da irrigação na obtenção de eficiências mais elevadas, já que X_1 é a variável que menos depende do manejo. O valor obtido para F é altamente significativo.

Quando o teste de F foi aplicado comparando o efeito da inclusão de cada uma das variáveis quando as outras três já estão incluídas no modelo, obteve-se 0,29, 12,1, 97,5 e 80,0 com a inclusão de X_1 , X_2 , X_3 e X_4 , respectivamente. Tais valores mostram a grande significância da percolação profunda e do escoamento superficial, como também confirma a irrelevância de n e a pouca relevância da taxa de avanço. Esse teste de F mostrou também uma tendência no efeito da percolação profunda de ser mais importante do que o efeito do escoamento superficial. Quando se utilizou uma transformação algébrica em Y (no caso, $\text{arc sen } \sqrt{Y}$) para melhorar a normalização do erro, essa tendência se inverteu, dando valores de F iguais a 53,3 para X_3 e 68,2 para X_4 , o que indicaria uma relevância maior do escoamento superficial. No entanto, o valor de R^2 caiu para 0,94 quando essa transformação foi efetuada.

Os valores obtidos parecem indicar uma certa predominância do efeito da percolação profunda sobre os outros parâmetros, porém tal predominância não seria muito marcante com relação ao escoamento superficial. Duas considerações caberiam aqui: primeiro,

os dados apresentados por Willardson e Bishop (11) parecem provir de sulcos bastante longos, uma vez que eles usam exemplos com sulcos de 400 m de comprimento; segundo, o estudo realizado presume que o fornecimento de água é cortado no momento em que a infiltração atinge a profundidade desejada no final do sulco. Tais características tendem a atenuar o efeito prejudicial do escoamento superficial.

As tendências mostradas pela análise acima evidenciam a necessidade de uma estratégia de manejo que vise controlar, principalmente, as perdas por percolação profunda, quando se pretende obter boa eficiência de aplicação, não se podendo descuidar, contudo, das perdas por escoamento superficial. Convém ressaltar que, no caso de irrigação suplementar, ou mesmo de uma "irrigação de salvação", essas perdas são reduzidas ou até eliminadas, já que não haveria necessidade (ou possibilidade) de abastecer completamente a zona radicular. Quando a qualidade da água for tal que haja perigo de salinização, então a necessidade de lixiviação torna benéfica pelo menos uma parte da água percolada (7).

Admite-se que existam interações entre os parâmetros estudados que não foram medidas pelo modelo.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos na análise realizada serviram de base às seguintes conclusões e/ou recomendações:

1. Velocidade de avanço da água no sulco, percolação profunda e escoamento superficial apresentam uma correlação de aproxima

madamente 96% com a eficiência de aplicação na irrigação por sulco.

2. O expoente, n , da equação de infiltração de Kostiakov aparenta não ter efeito significativo na eficiência de aplicação.

3. Percolação profunda evidenciou-se como a perda mais significativa na irrigação por sulco, seguida de perto pelo escoamento superficial. O efeito da velocidade de avanço da água no sulco apresentou-se bem menos relevante em comparação a esses dois outros parâmetros. Conseqüentemente, qualquer estratégia visando melhorar a eficiência de aplicação deve começar pelo controle da percolação profunda, dentro das características discutidas neste trabalho.

4. Seria interessante conseguir um maior número de dados do tipo da Tabela 1 que viria possibilitar uma análise estatística mais adequada, envolvendo um delineamento fatorial que permitiria avaliar os efeitos de interações entre os parâmetros estudados.

AGRADECIMENTO

Os autores agradem a valiosa colaboração prestada pelo colega Geraldo S. Souza, da Divisão de Estatística da EMBRAPA, em Brasília-Df, na condução das análises de regressão.

RESUMO

Uma análise estatística foi feita visando determinar a ordem de importância de quatro parâmetros diferentes quanto ao seu efeito na eficiência de aplicação em irrigação por sulco. Os parâmetros estudados foram: características de infiltração de solo, velocidade de avanço da água, percolação profunda e escoamento superficial. Foram efetuadas regressões múltiplas utilizando-se dados publicados por Willardson e Bishop em 1967.

A análise conclui que o efeito da característica de infiltração do solo é insignificante sobre a eficiência de aplicação, enquanto os outros parâmetros apresentam 96% de correlação com a eficiência e tiveram efeito significativo na seguinte ordem decrescente: percolação profunda, escoamento superficial e características de infiltração do solo.

SUMMARY

An statistical analysis was performed with the objective of ranking four parameters as they influence application efficiency in furrow irrigation. They are: intake rate, advance rate, deep percolation, and runoff. A multiple regression analysis was performed utilizing data from Willardson and Bishop (1967).

The results showed no significant effect of intake rate and a 96 percent correlation of the other three parameters with application efficiency, and their effect in decreasing order of

application efficiency, and their effect in decreasing order of importance was: deep percolation, runoff, and advance ratio.

BIBLIOGRAFIA

1. Bishop, A. Alvin, "Relation of Intake Rate to Length of Run in Surface Irrigation", Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, March, 1961.
2. Christiansen, J.E., A.A. Bishop, F.W. Kiefer Jr., and Yu-Si Fok, "Evaluation of Intake Rate Constants as Related to Advance of Water in Surface Irrigation", Transactions, ASAE, December, .. 1959.
3. Davis, John R., "Design of Irrigation Tailwater Systems", Transactions, ASAE, 1964.
4. Fok, Yu-Si e A. Alvin Bishop, "Analysis of Water Advance in Surface Irrigation", Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, March, 1965.
5. Fok, Yu-Si e A.A. Bishop, "Expressing Irrigation Efficiency in Terms of Application Time, Intake and Water Advance Constants", Transactions, ASAE, December, 1968.
6. Fok, Yu-Si, A.A. Bishop, e C.C. Shih, "The Effect of Intake Equations on the Development of the Water Advance Equation for Surface Irrigation", Transactions, ASAE, July, 1970.
7. Jensen, Marvin E., "Evaluating Irrigation Efficiency", Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, March, 1967.
8. Merriam, John L., "Efficient Irrigation", Ag. Eng. Dept., California Polytechnic State University, May, 1977.
9. Souza, Geraldo S. e Moacir Pedroso Jr., "Um Estudo de Monte Carlo para a Comparação do Comportamento Assintótico de Estimadores Robustos no Contexto do Modelo Linear Univariado", EM - BRAPA - DMQ, Brasília-DF.
10. Stringham, Glen E. e Safa N. Hamad, "Irrigation Runoff Recovery in the Design of Constant Furrow Discharge Irrigation Systems", Transactions, ASAE, August, 1974.
11. Willardson, Lyman S. e A. Alvin Bishop, "Analysis of Surface Irrigation Application Efficiency", Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, June, 1967.