

LÂMINA ADICIONAL DE IRRIGAÇÃO ⁽¹⁾

REGINA CÉLIA DE MATOS PIRES ⁽²⁾ e FLÁVIO BUSSMEYER ARRUDA ⁽²⁾

RESUMO

Um dos critérios que podem ser utilizados no manejo das irrigações consiste na aplicação de água sempre que for consumida uma lâmina líquida (h_l) prefixada. Dessa forma, a lâmina de irrigação realmente necessária (h_{ln}) para repor a umidade do solo à capacidade de campo será sempre maior ou igual à lâmina h_l inicialmente projetada. Para quantificar esse valor adicional, simularam-se irrigações por meio de balanço hídrico diário, em duas diferentes épocas do ano, com vários valores de h_l para Ribeirão Preto (SP). Analisaram-se as freqüências relativas de h_{ln} comparadas à h_l e calcularam-se as porcentagens adicionais de água ($\%h_a$). Os resultados mostraram que à $\%h_a$ mais importante correspondem a h_l pequena e os valores elevados de evapotranspiração e do nível de probabilidade adotado. Apresentaram-se figuras para o cálculo da quantidade adicional a ser prevista no dimensionamento de sistemas de irrigação.

Termos de indexação: irrigação, lâmina e projeto; balanço hídrico.

ABSTRACT

ADDITIONAL IRRIGATION DEPTH

One criteria that may be applied in water management consists in irrigating whenever a pre-fixed water depth (h_l) is completely depleted from the soil. Therefore, the necessary irrigation depth (h_{ln}) to replenish the soil profile to field capacity will be always larger or equal to h_l . This paper investigates the relevance of this percentage of additional irrigation depth ($\%h_a$) by simulating the irrigation occurrence through water balance technique for several values of h_l in Ribeirão Preto, State of São Paulo, Brazil. The relative frequency of h_{ln} was compared to h_l and $\%h_a$ calculated. The results showed that $\%h_a$ was more important than something else when: 1) h_l was small or 2) values of evapotranspiration were high; and 3) the probability level adopted in a project. Figures are presented to help in the calculation of $\%h_a$.

Index terms: irrigation depth, irrigation design, water balance.

⁽¹⁾ Parte da tese da autora, submetida à ESALQ/USP para a obtenção do Título de Mestre em Agronomia, área de concentração Irrigação e Drenagem. Trabalho apresentado no XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 19-23 de julho de 1993, em Ilhéus (BA). Recebido para publicação em 11 de maio de 1994 e aceito em 22 de fevereiro de 1995.

⁽²⁾ Seção de Irrigação e Drenagem, Instituto Agronômico (IAC), Caixa Postal 28, 13001-970 Campinas (SP).

1. INTRODUÇÃO

A possibilidade de aumento da produtividade e qualidade da produção das culturas irrigadas está diretamente relacionada ao dimensionamento dos sistemas de manejo das irrigações. Dessa forma, é fundamental a investigação dos parâmetros que interferem nesse processo produtivo.

O manejo das irrigações pode ser realizado por diferentes critérios. Um deles consiste na aplicação de água sempre que for consumida uma lâmina líquida de irrigação (h_1) prefixada (Arruda, 1987). Adotando-se esse critério, a lâmina de irrigação realmente necessária (h_{1n}) para repor a umidade do solo à capacidade de campo no momento da irrigação dificilmente será a mesma da projeção inicial. Isso porque o intervalo entre irrigações prevê sempre um número inteiro de dias, enquanto o consumo de água do solo raramente coincide com um valor prefixado. Assim, uma lâmina adicional poderá ser necessária para repor a água consumida pelas plantas. Essa lâmina não tem sido prevista nos projetos de irrigação e, por hipótese, pode significar uma fonte de erro no dimensionamento da necessidade de água das lavouras comerciais.

O objetivo deste trabalho é investigar e quantificar os valores adicionais à lâmina líquida de irrigação, por meio de simulação, adotando-se o critério de manejo das irrigações através de lâminas fixas previamente estabelecidas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados climatológicos foram obtidos no Posto Meteorológico da Estação Experimental de Ribeirão Preto, do Instituto Agrônomo de Campinas, no período de 1969 a 1990. O clima da região é do tipo Aw, tropical com inverno seco (Setzer, 1966).

Neste estudo, simularam-se irrigações por meio de balanço hídrico diário em duas diferentes épocas do ano, sob diferentes situações: a primeira, em fevereiro, tipicamente chuvoso, com ocorrência, porém, de veranicos, o que, segundo Alfonsi et al. (1989), justifica o uso da irrigação; a segunda, em

julho, tipicamente seco e importante para irrigação, pois coincide com o período de florescimento de muitas culturas no inverno.

O balanço hídrico seriado considera o consumo de água pela cultura, o armazenamento de água no solo e a precipitação (Camargo, 1962). O consumo diário de água do solo foi estimado pela evapotranspiração máxima das culturas, calculada de acordo com Doorenbos & Kassam, (1979), e a evapotranspiração de referência (E_{To}), estimada pela evaporação do tanque classe A (Doorenbos & Pruitt, 1984).

Para atendimento a várias culturas, em diferentes fases de crescimento e condições de retenção de água do solo, utilizaram-se cinco lâminas líquidas de irrigação, h_1 : 10, 20, 30, 40 e 50 mm. Os valores de h_1 representam a relação lâmina de consumo admissível de água do solo dividido pelo coeficiente de cultura (k_c), conforme verificado por Pires (1992).

A simulação teve início no começo do mês e considerou o armazenamento de água no solo completo (capacidade de campo). A partir daí, a precipitação foi somada como entrada de água, e a evapotranspiração máxima, como saída no balanço hídrico. Quando a precipitação, somada ao balanço hídrico, excedeu o valor de lâmina líquida de irrigação proposto, considerou-se o valor em excesso como perda, reiniciando-se o balanço hídrico. Procedimento similar de simulação de irrigações foi realizado por Bernardo & Hill (1978) e Smajstrla & Zazueta (1988).

No momento da irrigação, em cada caso simulado, foi calculado e anotado o valor de h_{1n} para elevar a umidade do solo à capacidade de campo.

Os valores obtidos de h_{1n} foram subdivididos em classes com intervalos de 0,9 mm. Posteriormente, agrupou-se o número de casos ocorridos em cada intervalo de lâmina adicional, determinando-se a frequência de ocorrência dos eventos por meio da probabilidade empírica. A partir desses dados, calcularam-se as porcentagens adicionais de irrigação ($\%h_a$) em relação à lâmina líquida inicialmente projetada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados médios e coeficiente de variação da h_{ln} para os correspondentes valores prefixados de lâmina líquida de irrigação, em fevereiro e julho, são apresentados no quadro 1.

As médias da h_{ln} foram sempre maiores que as inicialmente projetadas (Quadro 1). Esse fato se deve à estreita relação entre a magnitude do erro em realizar a irrigação quando esgotada a lâmina líquida, a duração do intervalo entre irrigações e o valor da evapotranspiração diária, um elemento incerto no manejo da irrigação (Doorenbos & Pruitt, 1984, e Arruda & Barroso, 1984). Em geral, os valores de h_{ln} de fevereiro foram um pouco maiores que os de julho, provavelmente devido aos maiores valores diários de evapotranspiração naquele mês (Camargo, 1962).

As diferenças observadas no quadro 1 são importantes por comprovar fonte de erro, uma vez que se costuma admitir como lâmina líquida de irrigação apenas o valor de h_l . Apesar de essas diferenças entre h_{ln} e h_l não serem, aparentemente, muito elevadas (Quadro 1), observaram-se erros médios da ordem de 10 a 20%, havendo, portanto, necessidade de conhecer melhor essa relação.

Quadro 1. Média das lâminas necessárias (\bar{h}_{ln}) para irrigação e respectivos coeficientes de variação (CV%) obtidos por meio da simulação das irrigações, no período de 1969 a 1990, em fevereiro e julho, para cinco lâminas líquidas (h_l)

h_l	Fevereiro		Julho	
	\bar{h}_{ln}	CV	\bar{h}_{ln}	CV
mm	mm	%	mm	%
10	12,2	12	11,6	10
20	22,2	7	21,5	5
30	32,2	6	31,8	3
40	42,2	3	41,6	3
50	51,9	3	51,9	2

A lâmina adicional de irrigação pode ser quantificada por:

$$\%h_a = \frac{h_{ln} - h_l}{h_l} \times 100 \quad (1)$$

Para a projeção do uso da irrigação, portanto, a provável lâmina necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo é:

$$h_{ln} = h_l \times \left(1 + \frac{\%h_a}{100}\right) \quad (2)$$

Importa ressaltar que a $\%h_a$ é um fator adicional relacionado a incertezas no controle das irrigações e não à eficiência de irrigação.

Os valores médios de $\%h_a$ foram calculados para as médias das lâminas adicionais, estando os resultados no quadro 2. Observa-se que a porcentagem de acréscimo às lâminas de irrigação, em média, é sempre maior que zero. O valor mais crítico calculado, em fevereiro, foi o de 10 mm. Nessa situação, para atender às condições simuladas de campo na média de 21 anos, deve-se acrescê-la em 22%.

Os resultados do quadro 2 representam valores médios, insuficientes, portanto, para uso em sistemas de irrigação projetados com base probabilística (Pruitt et al., 1972, e Arruda & Barroso, 1984). Se os valores encontrados tiverem distribuição normal, as necessidades de uso ao nível de 50% de probabilidade serão atendidas.

Quadro 2. Porcentual adicional médio da lâmina de irrigação ($\%h_a$) em relação à lâmina líquida (h_l), para fevereiro e julho em Ribeirão Preto. Resultados de 21 anos de simulação de irrigações

h_l	Fevereiro	Julho
	$\%h_a$	
mm		
10	22,0	16,0
20	11,0	7,5
30	7,3	6,0
40	5,5	4,0
50	3,8	3,8

Quadro 3. Número de casos, frequência de ocorrência e de ocorrência acumulada em função das classes de irrigação para as diferentes lâminas líquidas (h_l), obtidas por meio de simulações das irrigações para fevereiro em Ribeirão Preto

Lâmina líquida (h_l)	Classes de h_{ln}	Número de casos	Frequência de ocorrência	Frequência de ocorrência acumulada
mm	mm		%	%
10	10,0	1	1,2	1,2
	10,1-11,0	22	25,8	27,1
	11,1-12,0	24	28,2	55,3
	12,1-13,0	14	16,5	71,8
	13,1-14,0	14	16,5	88,2
	14,1-15,0	5	5,9	94,1
	15,1-16,0	4	4,7	98,8
	16,1-17,0	1	1,2	100,0
20	20,0	0	0	0
	20,1-21,0	7	21,2	21,2
	21,1-22,0	11	33,4	54,6
	22,1-23,0	7	21,2	75,8
	23,1-24,0	3	9,1	84,9
	24,1-25,0	4	12,1	97,0
	25,1-26,0	0	0	97,0
	26,1-27,0	1	3,0	100,0
30	30,0	2	9,5	9,5
	30,1-31,0	4	19,0	28,6
	31,1-32,0	7	33,3	61,9
	32,1-33,0	1	4,8	66,7
	33,1-34,0	4	19,0	85,7
	34,1-35,0	1	4,8	90,5
	35,1-36,0	1	4,8	95,2
	36,1-37,0	1	4,8	100,0
40	40,0	0	0	0,0
	40,1-41,0	2	18,2	18,2
	41,1-42,0	3	27,2	45,5
	42,1-43,0	4	36,4	81,8
	43,1-44,0	0	0,0	81,8
	44,1-45,0	2	18,2	100,0
50	50,0	0	0	0,0
	50,1-51,0	4	66,7	66,7
	51,1-52,0	0	0	66,7
	52,1-53,0	0	0	66,7
	53,1-54,0	2	33,3	100,0

Quadro 4. Número de casos, frequência de ocorrência e de ocorrência acumulada em função das classes de irrigação para as diferentes lâminas líquidas (h_l), obtidas por meio de simulações das irrigações para julho em Ribeirão Preto

Lâmina líquida (h_l)	Classes de h_{ln}	Número de casos	Frequência de ocorrência	Frequência de ocorrência acumulada
mm	mm		%	%
10	10,0	5	3,9	3,9
	10,1-11,0	45	35,2	39,1
	11,1-12,0	36	28,1	67,2
	12,1-13,0	29	22,7	89,8
	13,1-14,0	9	7,0	96,9
	14,1-15,0	4	3,1	100,0
20	20,0	0	0	0,0
	20,1-21,0	28	42,5	42,4
	21,1-22,0	15	22,7	65,2
	22,1-23,0	15	22,7	87,9
	23,1-24,0	7	10,6	98,5
	24,1-25,0	1	1,5	100,0
30	30,0	1	2,4	2,4
	30,1-31,0	10	24,4	26,8
	31,1-32,0	13	31,7	58,5
	32,1-33,0	12	29,3	87,8
	33,1-34,0	4	9,8	97,6
	34,1-35,0	1	2,4	100,0
40	40,0	2	6,9	6,9
	40,1-41,0	11	37,9	44,8
	41,1-42,0	7	24,1	69,0
	42,1-43,0	3	10,4	79,3
	43,1-44,0	5	17,2	96,6
	44,1-45,0	1	3,5	100,0
50	50,0	1	4,5	4,5
	50,1-51,0	6	27,3	31,8
	51,1-52,0	4	18,2	50,0
	52,1-53,0	8	36,4	86,4
	53,1-54,0	3	13,6	100,0

O número de casos e as freqüências de ocorrência em cada classe de lâmina adicional de irrigação para os diferentes valores de h_l , obtidos em fevereiro e julho, para Ribeirão Preto, encontram-se nos quadros 3 e 4 respectivamente.

Comparando os resultados dos quadros 1, 3 e 4, observa-se que as médias das lâminas necessárias de irrigação para fevereiro, nos diferentes valores de h_l , correspondem a uma faixa de probabilidade de ocorrência que varia de 66,7 a 81,8% (Quadro 3). Para julho, essas médias correspondem a valores de probabilidade de ocorrência mais baixos que os observados para fevereiro, isto é, de 50,0 a 69,0% (Quadro 4).

Para uma utilização mais ampla da equação 2 e dos resultados dos quadros 3 e 4, esses valores foram rearranjados nas figuras 1 e 2 para fevereiro e julho respectivamente.

Fica evidente, por essas figuras, que a importância da lâmina adicional de irrigação é maior, quanto menor o valor da lâmina líquida de irrigação, e maior a evapotranspiração e o nível de probabilidade adotado. Pode-se, também, esperar que haja diferença regional e de época do ano para indicação do uso dos valores de $\%h_a$ em projetos.

Um exemplo de utilização da figura 1 pode ser o caso de um projeto que admita um consumo de água do solo da ordem de 10 mm para fevereiro. Optando-se por 80% de probabilidade de atendimento às necessidades de irrigação, obtém-se, por meio da curva $h_l = 10$ mm, o valor de $\%h_a = 25\%$, isto é, um adicional de 25% à lâmina de irrigação inicialmente projetada. Dessa forma, o equipamento deverá ser projetado para aplicar uma lâmina líquida de irrigação de 12,5 mm.

Nas situações em que os valores de h_l são mais elevados, como em muitas regiões semi-áridas e temperadas, a necessidade de correção das lâminas de irrigação pode passar despercebida. De acordo com as figuras 1 e 2, verifica-se que, para as menores lâminas líquidas, a $\%h_a$ tem valores expressivos que devem ser considerados no dimensionamento de sistemas de irrigação, com destaque especial para culturas com raízes pouco profundas.

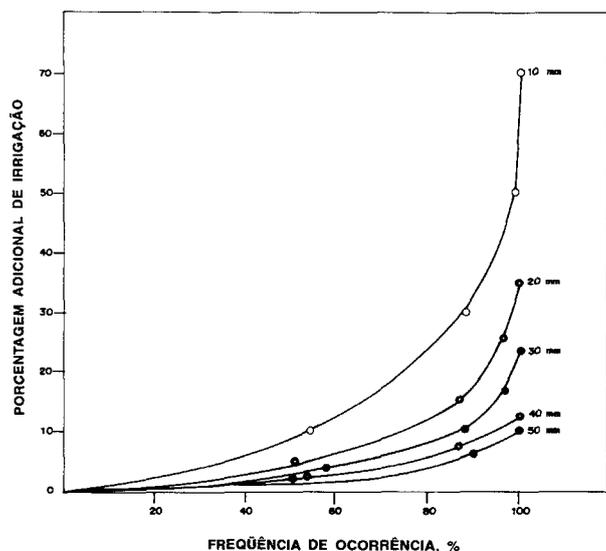


Figura 1. Percentagem adicional da lâmina de irrigação ($\%h_a$) em função da probabilidade de atendimento às necessidades de irrigação, para cinco valores de lâminas líquidas (h_l), em fevereiro, Ribeirão Preto (SP).

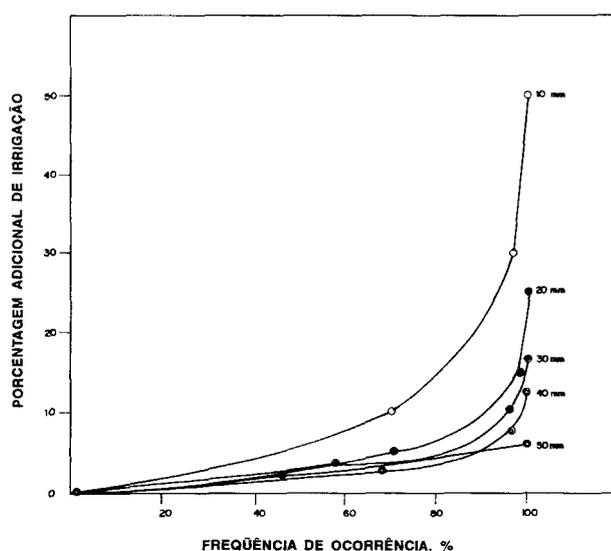


Figura 2. Percentagem adicional da lâmina de irrigação ($\%h_a$) em função da probabilidade de atendimento às necessidades de irrigação, para cinco valores de lâminas líquidas (h_l), em julho, Ribeirão Preto (SP).

ou que necessitam de intervalos curtos entre irrigações. Caso contrário, o projeto pode incorrer em risco de não atender, no momento adequado, às necessidades hídricas das culturas.

4. CONCLUSÕES

Indicou-se a necessidade de introduzir uma lâmina adicional de irrigação, ao valor inicial de projeto, quando se utiliza o critério de irrigar sempre que consumida uma lâmina prefixada (h_1) nas seguintes situações: com lâminas de irrigação pequenas; para épocas de valores elevados de evapotranspiração e quando se necessita de alto nível probabilístico para atender às necessidades de irrigação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Seção de Climatologia Agrícola, do Instituto Agronômico, o fornecimento dos dados diários de umidade relativa e velocidade do vento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSI, R.R.; CAMARGO, M.B.P.; CHIAVEGATTO, O.M.D.P.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; ORTOLANI, A.A. & BRUNINI, O. Níveis de probabilidade de seca, como subsídio à irrigação para o Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6., Maceió, 1989. *Anais*. Maceió, INPE/SBA/UFAL, 1989. p.39-42

ARRUDA, F.B. Uso da água na produção agrícola. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, Campinas, 1987. *Anais*. Campinas, Fundação Cargill, 1987. p.177-199.

ARRUDA, F.B. & BARROSO, L.F.S. Estimativa do uso de água para fins de projetos de irrigação, em função da evapotranspiração de tanque, em Ribeirão Preto. *Bragantia*, Campinas, **43**(2):677-682, 1984.

BERNARDO, S. & HILL, R.W. Um modelo para determinação de irrigação suplementar. *Revista Ceres*, Viçosa, **25**(140):345-362, 1978.

CAMARGO, A.P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, **21**(1):163-213, 1962.

DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. *Yield response to water*. Rome, FAO, 1979. 193p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33)

DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. *Crop water requirements*. Rome, FAO, 1984. 144p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24)

PIRES, R.C.M. de. Simulação da irrigação suplementar de culturas em Ribeirão Preto, São Paulo. Piracicaba, 1992. 115p. Tese (Mestrado) - ESALQ/USP, 1992.

PRUITT, W.O.; OETTINGEN, S. von & MORGAN, D.L. Central California evapotranspiration frequencies. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, New York, **98**(IR-2):177-184, 1972.

SETZER, J. *Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, Comissão Interestadual da Bacia do Paraná-Uruguaí, 1966. 61p.

SMAJSTRLA, A.G. & ZAZUETA, F.S. Simulation of irrigation requirements of Florida Agronomic Crops. *Soil and Crop Science*, Gainesville, **47**:78-82, 1988.