

Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho⁽¹⁾

João Ito Bergonci⁽²⁾, Homero Bergamaschi⁽³⁾, Antonio Odair Santos⁽⁴⁾,
Solange França⁽⁵⁾ e Bernadete Radin⁽⁵⁾

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da irrigação e o efeito do déficit hídrico sobre o rendimento de grãos e o acúmulo de matéria seca da parte aérea de uma cultura de milho. O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Eldorado do Sul, RS, durante quatro anos agrícolas, de 1993/94 a 1996/97. Utilizando um delineamento experimental em faixas com aspersores em linha, foram aplicados cinco níveis de irrigação, da capacidade de campo à ausência de irrigação. Os rendimentos de grãos foram crescentes com aumentos no nível de irrigação até 80% da dose necessária para a capacidade de campo; a máxima eficiência da irrigação foi obtida entre 60 e 80% e esteve associada a déficits hídricos durante o período crítico da cultura, alcançando 40 kg ha⁻¹ mm⁻¹. Por outro lado, a maior eficiência da irrigação para produção de matéria seca da parte aérea foi obtida com déficits hídricos prolongados durante o período de crescimento exponencial da cultura. Reduções no rendimento de grãos, causadas por déficit hídrico, estiveram relacionadas com a redução do número de grãos por espiga e por metro quadrado, já que o peso médio de grãos não foi afetado.

Termos para indexação: *Zea mays*, déficit hídrico do solo, componentes de rendimento.

Irrigation efficiency for grain and dry matter yields of maize crop

Abstract – The objective of this work was to evaluate the efficiency of irrigation, as well as the effect of water deficits, upon the grain yield and on the aerial biomass production by a maize crop. A field experiment was carried out at the Universidade Federal do Rio Grande do Sul, in Eldorado do Sul, Brazil, during four crop seasons, from 1993/94 to 1996/97. Using a line source sprinkler design, the crop was submitted to five levels of irrigation, ranging from field capacity to rainfed conditions. Increasing grain yields were observed as the water supply increased up to 80% of the level necessary for field capacity; the highest efficiency of irrigation was promoted between 60 and 80% levels and it was obtained when the water deficit occurred during the critical period of the crop cycle, reaching 40 kg ha⁻¹ mm⁻¹. By contrast, maximum values of efficiency of irrigation for aerial biomass occurred when the plants were submitted to long periods of water deficits, during the exponential crop growth. Decreasing grain yields due to water deficit were related to reductions on the number of kernels per ear and on the number of kernels per square meter, since the weight per kernel was not affected.

Index terms: *Zea mays*, soil water deficit, yield components.

⁽¹⁾ Aceito para publicação em 21 de setembro de 2000.

⁽²⁾ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Rua Paulo Gama, s/n, CEP 90043-900 Porto Alegre, RS. E-mail: joao.bergonci@ufrgs.br

⁽³⁾ UFRGS, Faculdade de Agronomia, Dep. de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Caixa Postal 776, CEP 91501-970 Porto Alegre, RS. Bolsista do CNPq. E-mail: homerobe@vortex.ufrgs.br

⁽⁴⁾ Instituto Agronômico (IAC), Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas, SP. E-mail: odairsan@barao.iac.br

⁽⁵⁾ UFRGS, Faculdade de Agronomia. E-mail: sola@via-rs.net, b.radin@zaz.com.br

Introdução

Entre as culturas de interesse no Estado do Rio Grande do Sul, destaca-se o milho, cuja demanda é crescente em face, principalmente, da expansão de atividades ligadas à criação de animais. É uma cultura cujo rendimento apresenta alta variabilidade, dada a ocorrência de déficits hídricos causados pelas variações da precipitação pluvial. Uma vez que o milho se caracteriza por apresentar um período crítico

co definido, muitos trabalhos foram feitos para explicar o que realmente ocorre no intervalo compreendido entre a pré-floração e o enchimento de grãos. Assim, Guei & Wasson (1992) constataram que as datas de florescimento masculino e feminino, bem como o intervalo antese-emissão dos estigmas são influenciados por estresse de água e temperatura. Deste modo, o intervalo da emergência do pendão até o aparecimento dos estigmas aumenta, de três a quatro dias, com déficit hídrico, fazendo com que, por falta de polinização, se desenvolvam espigas estéreis ou com poucos grãos (Herrero & Johnson, 1981).

Diversos trabalhos sugerem que as falhas reprodutivas em milho ocorrem porque o suprimento de assimilados em plantas deficientes em água não é suficiente para manter o crescimento de todos os novos zigotos formados (Boyle et al., 1991; Shussler & Westgate, 1991; Zinselmeier et al., 1995a). Outra causa pode ser a inibição do alongamento do estilete e o retardamento na emergência dos estigmas, que fazem com que estes fiquem menos expostos à polinização (Westgate & Boyer, 1985; Bassetti & Westgate, 1993). Zinselmeier et al. (1995b) observaram redução de 45 a 65% do número de grãos por espiga em plantas de milho submetidas a potenciais da água na folha entre -0,82 e -1,2 MPa, no período das 8 às 10h, durante a emergência dos estigmas e polinização.

O período que vai da fertilização até a maturidade fisiológica dos grãos é caracterizado por três diferentes etapas (Johnson & Tanner, 1972). A primeira, denominada de etapa de retardamento, é o período durante o qual predomina a divisão celular, e o aumento de peso é insignificante. A segunda, ou etapa linear de enchimento do grão, é um período de rápido aumento de peso, quando mais de 90% da matéria seca é acumulada, e de intensa atividade de conversão de açúcares em amido no endosperma. Durante a terceira etapa, a taxa de acúmulo de matéria seca declina, terminando com a maturidade fisiológica. Quattar et al. (1987) observaram que o crescimento do grão é mais sensível ao déficit hídrico durante a etapa de divisão celular do que na etapa de rápida deposição de amido.

Os eventos de formação do zigoto e início do crescimento dos grãos, aparentemente, são muito vulnerá-

veis ao déficit hídrico. Contudo, se o enchimento do grão for iniciado, seu desenvolvimento continua, embora ocorra déficit severo no tecido materno (Westgate & Boyer, 1985; Quattar et al., 1987). Isto sugere que as reservas são remobilizadas para auxiliar na continuação do crescimento do grão (Westgate & Grant, 1989). A fim de verificar especificamente a influência do déficit hídrico sobre o enchimento de grãos, Westgate (1994) impôs estresse hídrico após o número de grãos ter sido estabelecido, ou seja, cinco dias após a antese. O déficit hídrico diminuiu o período de enchimento de grãos, mas não alterou a taxa de acúmulo de matéria seca, nem no endosperma nem no embrião. O enchimento de grãos continuou tanto no milho irrigado quanto no não irrigado, até que o conteúdo de água do endosperma e do embrião decrescesse até 280 e 340 g kg⁻¹ de peso fresco, respectivamente. As plantas estressadas alcançaram este valor dez dias antes das irrigadas, porque a perda de água iniciou logo após a antese, e o conteúdo máximo de água do embrião era menor, comparado com a testemunha sem déficit. Além disso, o autor observou que a taxa de acúmulo de matéria seca não diminuiu com baixos potenciais de água – indicando, assim, a ocorrência de remobilização de reservas das folhas e do caule –, e desta maneira, as estressadas remobilizaram 110% mais reservas do que as hidratadas.

Considerando que o rendimento de grãos é o resultado da integração de vários processos, é necessário estabelecer de que maneira estes componentes são afetados pelo déficit hídrico. Assim, do ponto de vista das relações hídricas, o rendimento pode ser definido pela relação rendimento = água transpirada x eficiência no uso da água x índice de colheita (Passioura, 1994).

O rendimento das culturas depende da intensidade, duração e época de ocorrência do déficit hídrico, e da interação deste com outros fatores que determinam o rendimento final (Cunha & Bergamaschi, 1992). Segundo critério agrônomico de tolerância à seca, o milho é considerado uma cultura relativamente sensível ao déficit hídrico, principalmente se ele ocorre durante o período crítico de pré-floração e floração (Morizet & Togola, 1984).

A produção potencial de uma cultura é determinada pelo número de grãos que podem ser formados.

O déficit hídrico afeta este número por motivo da infertilidade e do aborto floral e zigótico (Westgate & Boyer, 1986). Gordon et al. (1995) observaram que a eficiência da irrigação depende da etapa fenológica em que é efetuada; maior eficiência é obtida quando a irrigação é aplicada na fase do pendoamento.

O acúmulo de matéria seca vegetal é o resultado do mecanismo fotossintético, o qual incorpora matéria orgânica na planta. Assim sendo, todo e qualquer fator que interfira na fotossíntese irá afetar o acúmulo de matéria seca. Fatores como nutrição mineral, radiação e disponibilidade hídrica, interferem significativamente na fotossíntese. Dentre estes, a disponibilidade de água desempenha papel preponderante, pois, além de propiciar a entrada de CO₂, ela promove o resfriamento do vegetal, interferindo, desta forma, na taxa de fotossíntese e de respiração (Charles-Edwards, 1982).

A quantidade de biomassa produzida pelo vegetal pode ser definida por uma relação fisiológica simples, baseada na quantidade de radiação interceptada e em sua eficiência de conversão em matéria seca (Charles-Edwards, 1982). Muchow (1989) observou que o decréscimo da produção de biomassa em milho, sorgo e milheto, em resposta ao déficit hídrico, está mais associado à redução da eficiência da radiação do que à redução da interceptação da radiação.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da irrigação e o efeito do déficit hídrico sobre o rendimento de grãos e o acúmulo de matéria seca da parte aérea do milho.

Material e Métodos

O conjunto de experimentos foi realizado em campo, nos anos agrícolas de 1993/94 a 1996/97, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), situada no Município de Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul (30°6' S, 51°39' W, altitude 40 m). A precipitação média anual e durante o ciclo da cultura (novembro a fevereiro) é de 1.440 e 425 mm, respectivamente. A temperatura média anual é de 19,2°C, e no ciclo do milho, é de 23,5°C. A evapotranspiração de referência (segundo Penman) média anual e média da estação de crescimento da cultura é de 1.235 e 566 mm, respectivamente.

O solo do local pertence à unidade de mapeamento Arroio dos Ratos, um Podzólico Vermelho-Amarelo. Sua

capacidade de retenção de água varia, nos primeiros 15 cm de profundidade, de 0,22 cm³ cm⁻³ (potencial matricial de -0,01 MPa) a 0,11 cm³ cm⁻³ (potencial matricial de -1,5 MPa) e, nos 75 cm, de 0,26 cm³ cm⁻³ a 0,19 cm³ cm⁻³ em relação aos mesmos potenciais matriciais, respectivamente (Cunha, 1991).

O delineamento experimental foi em faixas, em um sistema de aspersão em linha, com cinco repetições, considerando que ele não permite casualização para o fator água (Hanks et al., 1980). A área ocupada pelo experimento era de 5.400 m² com dimensões de 90 x 60 m, no centro da qual está instalado um lisímetro de pesagem de 5,1 m² e resolução de 0,1 mm. Cada bloco era constituído por parcelas de 16 m de comprimento por 3 m de largura, comportando, desta forma, quatro fileiras de milho. Os tratamentos de irrigação (Tabela 1) foram aplicados de forma a obter diferentes lâminas de água em relação à lâmina para manutenção da umidade do solo próximo à capacidade de campo (CC), a fim de verificar o efeito das lâminas na quantidade de matéria seca e no rendimento de grãos. O tratamento com o solo mantido próximo à capacidade de campo foi monitorado por tensiômetros e por lisímetro, e a irrigação, efetuada quando os tensiômetros instalados a 45 cm de profundidade registravam potencial matricial de -0,05 MPa, uma vez que a quase-totalidade do sistema radicular do milho encontra-se até esta profundidade (Rossi, 1979). O critério de utilização do potencial matricial de -0,05 MPa deve-se ao fato de que esse potencial mantinha o de água na planta em torno de -0,4 MPa, o que, segundo Boyer (1970), não afeta a fotossíntese e pouco interfere no crescimento da planta. O sistema de irrigação utilizado foi por aspersão em linha, constituído de 12 aspersores colocados na direção longitudinal (leste-oeste) a 3 m de altura e com espaçamento de 6 m entre esses aspersores conforme metodologia descrita por Hanks et al. (1976). A vazão dos aspersores era de 16 L min⁻¹, com raio de molhamento de 12 metros.

Para determinação do rendimento de grãos foram utilizadas as espigas colhidas em uma área útil de 15 m² (10 x 1,5 m), correspondentes às duas linhas centrais de

Tabela 1. Tratamentos de irrigação (I), aplicados para obtenção de lâminas de água em relação à capacidade de campo (CC), em experimento de milho durante o período de 1993/94 a 1996/97. Eldorado do Sul, RS.

Tratamento	93/94	94/95	95/96	96/97
I0	Sem irrigação	Sem irrigação	Sem irrigação	Sem irrigação
I1	0,50 de I3	0,28 de I4	0,26 de I4	0,26 de I4
I2	0,77 de I3	0,47 de I4	0,80 de I4	0,80 de I4
I3	CC	0,75 de I4	0,98 de I4	0,98 de I4
I4	1,50 de I3	CC	CC	CC

cada parcela. Para o cálculo do rendimento, o peso dos grãos foi corrigido para 13% de umidade.

A matéria seca foi determinada mediante a coleta de quatro plantas por repetição, no momento da colheita, cortadas junto ao solo. Foram separados caules, folhas, pendões e espigas, e levados à estufa ventilada, a 65°C até peso constante.

A eficiência da irrigação foi calculada de acordo com a equação (Gordon et al., 1995):

$$EI = (RI - RNI)/I,$$

sendo EI a eficiência da irrigação ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$), RI e RNI o rendimento do tratamento irrigado e não irrigado respectivamente (kg ha^{-1}), e I, a quantidade de água aplicada desde a emergência até a maturidade fisiológica (mm). Para o cálculo da eficiência da irrigação, no que se refere à matéria seca, utilizou-se a mesma equação, e o rendimento foi substituído pela matéria seca da parte aérea.

Foram utilizadas sementes de milho híbrido Pioneer 3230, semeadas em linhas, de orientação leste-oeste, entre os dias 28 de outubro e 4 de novembro. As sementes foram colocadas a uma profundidade de 5 a 7 cm, com espaçamento de 75 cm entre linhas e 20 cm na linha, o que corresponde, aproximadamente, a 66.600 plantas por hectare.

A adubação de base constou de: 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 , na forma de superfosfato triplo, 120 kg ha^{-1} de K_2O , na forma de cloreto de potássio e 40 kg ha^{-1} de N, na forma de uréia. Posteriormente, quando as plantas apresentavam entre 40 e 50 cm, e quando da emissão da folha-bandeira, foram feitas duas aplicações na linha de 40 e 60 kg ha^{-1} de N, respectivamente, também sob a forma de uréia.

Por pesagem do lisímetro, antes e depois de cada rega, foi controlada a dose de rega no tratamento irrigado (capacidade de campo). A umidade no solo foi monitorada por tensiômetros de coluna de mercúrio, nas profundidades de 15, 30, 45, 60, e 75 cm. A precipitação pluvial foi medida em pluviômetro, instalado em estação meteorológica, a 30 m da área experimental.

Na Tabela 2 são apresentadas as quantidades de água aplicadas no tratamento correspondente à capacidade de campo por decêndio, durante o período experimental.

O efeito dos tratamentos sobre o rendimento de grãos e componentes do rendimento foi testado mediante a análise de variância. Para comparação entre médias dos diferentes tratamentos, utilizou-se o teste de Duncan a 5% de probabilidade. As curvas de rendimento e de eficiência da irrigação foram ajustadas por meio da análise de regressão polinomial, segundo o método dos mínimos quadrados.

Resultados e Discussão

O ano agrícola 1993/94 teve o primeiro decêndio de janeiro com precipitação abaixo da média climática, e o segundo, sem precipitação (Figura 1). Da mesma forma, o ano de 1996/97 teve o primeiro decêndio de janeiro com precipitação abaixo da média climática. Nos anos agrícolas de 1994/95 e 1995/96, o déficit hídrico ocorreu com alguma in-

Tabela 2. Quantidade de água aplicada por irrigação em experimento de milho durante o período de 1993/94 a 1996/97. Eldorado do Sul, RS.

Mês	Decêndio	Irrigação (mm)			
		1993-94	1994-95	1995-96	1996-97
Nov.	3	-	-	20	17
Dez.	1	-	-	53	18
Dez.	2	-	39	76	29
Dez.	3	56	60	-	35
Jan.	1	46	27	30	68
Jan.	2	42	-	23	47
Jan.	3	31	21	30	35
Fev.	1	41	32	-	-
Total		216	179	232	249

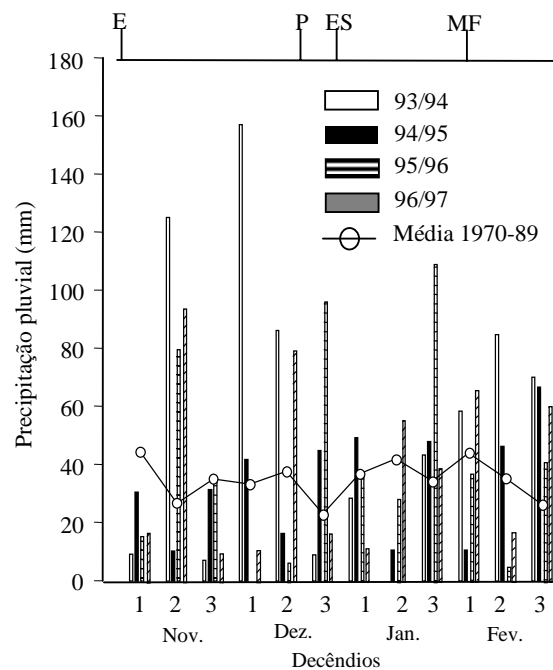


Figura 1. Precipitação pluvial durante o período experimental e média dos anos 1970-1989. Eldorado do Sul, RS. As letras E, P, ES e MF representam as etapas de emergência, 50% de pendramento, 50% de espigamento e de maturação fisiológica, respectivamente.

tensidade no segundo decêndio de dezembro, quando a cultura ainda estava no estado vegetativo. Nestes dois anos agrícolas ocorreu precipitação elevada no terceiro decêndio de dezembro; e próximo à precipitação normal no primeiro decêndio de janeiro, proporcionando condições hídricas favoráveis ao período crítico da cultura (pendoamento). A cultura atingiu 50% do pendoamento em torno dos dias 6, 10, 13 e 8 de janeiro nos anos agrícolas de 1993/94, 1994/95, 1995/96 e 1996/97, respectivamente. Em 1993/94 e 1996/97, a quantidade de água aplicada via irrigação no terceiro decêndio de dezembro e primeiro de janeiro foi de 47% e 41% do total, respectivamente, devido à ocorrência de déficit acentuado no período (Tabela 2).

A diferença de rendimento entre os tratamentos irrigado e não-irrigado foi acentuada nos anos agrícolas de 1993/94 (63,3%) e 1996/97 (62,2%) (Tabela 3). Já nos anos de 1994/95 e 1995/96, as diferenças foram pequenas, isto é, de 7,2 e 14,8, respectivamente. Estes resultados podem ser explicados pelo fato de que nos anos de 1993/94 e 1996/97, o déficit hídrico ocorreu no período crítico da cultura (terceiro decêndio de dezembro e primeiro decêndio de janeiro), enquanto nos anos de 1994/95 e 1995/96, o déficit ocorreu de maneira acentuada apenas no período vegetativo (terceiro decêndio de novembro e primeiro e segundo decêndios de dezembro) (Figura 1). Cabelguenne et al. (1995), observaram resultados semelhantes, quando os maio-

Tabela 3. Matéria seca da parte aérea e rendimento de grãos de milho irrigado e não irrigado, e porcentagem de redução da matéria seca e do rendimento de grãos de milho não irrigado, nos anos agrícolas de 1993/94 a 1996/97. Eldorado do Sul, RS⁽¹⁾.

Ano agrícola	Irrigado	Não irrigado	Redução (%)
Matéria seca da parte aérea (kg ha ⁻¹)			
1993/94	26.516a	14.209a	46,30
1994/95	22.201b	16.745a	24,57
1995/96	27.838a	17.043a	38,77
1996/97	24.223a	15.501a	36,00
Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)			
1993/94	11.950a	4.384c	63,30
1994/95	7.444c	6.905b	7,20
1995/96	10.496b	8.945a	14,80
1996/97	10.002b	3.773c	62,20

⁽¹⁾Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem significativamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

res rendimentos foram obtidos com irrigações efetuadas durante o florescimento. Em 1994/95, o rendimento no tratamento irrigado na capacidade de campo foi limitado, em face da população de plantas, a qual foi reduzida por ventos fortes.

As maiores eficiências da irrigação para rendimento de grãos ocorreram nos anos 1993/94 e 1996/97 (Figura 2), coincidindo com os períodos em que ocorreram déficits no período reprodutivo (Figura 1). Esta maior eficiência pode ser explicada pelo maior número de grãos por espiga e por metro quadrado (Tabela 4). Resultados semelhantes foram obtidos por Eck (1986) e Gordon et al. (1995), com o milho, e por Allen & Musick (1993), com sorgo. Jama & Ottman (1993) obtiveram maior eficiência da irrigação quando foi feita na antese do ciclo do milho. Da mesma forma, a maior eficiência da irrigação, referente à matéria seca, ocorreu no ano agrícola de 1993/94, período em que o déficit hídrico foi mais prolongado e acentuado; por outro lado, a menor ocorreu no ano agrícola de 1994/95, ano em que o déficit hídrico foi pouco severo (Figura 1).

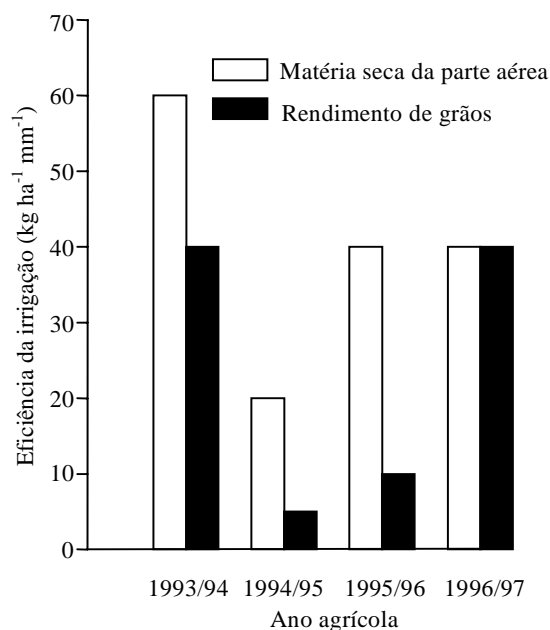


Figura 2. Eficiência da irrigação na produção de matéria seca da parte aérea e no rendimento de grãos nos anos agrícolas de 1993/94-1996/97. Eldorado do Sul, RS.

Tabela 4. Número de grãos por espiga e por metro quadrado, matéria seca (MS) de 100 grãos e número de plantas e espigas por metro quadrado, em milho irrigado e não irrigado, nos anos agrícolas de 1993/94 a 1996/97. Eldorado do Sul, RS⁽¹⁾.

Ano	Grãos por espiga	Grãos m ⁻²	MS de 100 grãos (g)	Plantas m ⁻²	Espigas m ⁻²
Não irrigado					
1993/94	198,98b	1.139,74c	38,13a	6,52a	5,65a
1994/95	428,76a	1.812,68b	32,20b	4,33b	4,41b
1995/96	365,53a	2.339,31a	36,41a	6,45a	6,30a
1996/97	233,90b	959,00c	34,97ab	6,90a	4,00b
Irigado					
1993/94	426,38b	2.762,24a	39,52a	6,56a	6,72a
1994/95	510,90a	2.033,54b	32,45b	3,98b	4,10b
1995/96	458,80ab	2.844,56a	34,01b	6,41a	6,21a
1996/97	507,00ab	2.889,90a	33,50b	6,60a	5,65a

⁽¹⁾Médias seguidas por letras diferentes nas colunas e no mesmo tratamento diferem significativamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Nos anos agrícolas de 1994/95 e 1995/96, a eficiência da irrigação para rendimento de grãos apresentou valores baixos, uma vez que o déficit ocorreu apenas no período vegetativo (Figura 1) e não afetou significativamente o número de grãos por espiga e por metro quadrado (Tabela 4). Contudo, nestes dois anos, a eficiência da irrigação para produção de matéria seca foi elevada, quando comparada com a eficiência da irrigação para rendimento de grãos, pois o déficit ocorreu principalmente no período de crescimento exponencial.

Nos anos agrícolas de 1993/94 e 1996/97, quando o déficit hídrico ocorreu no período crítico, a maior eficiência foi obtida com níveis de irrigação em torno de 80% da capacidade de campo (Figura 3). Entretanto, pelo ajuste matemático, a eficiência no uso da irrigação é máxima com dose de rega entre 60 e 80% da necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo. De acordo com o modelo obtido, a estabilização ($dy/dx = 0$), para máxima eficiência, corresponde a 62% da lâmina para capacidade de campo. Nas doses de irrigação mais elevadas, embora com rendimento mais alto, há decréscimo da eficiência no uso da irrigação, e a mínima é estimada pelo modelo de 150% em relação à correspondente à capacidade de campo.

O rendimento de grãos (como porcentagem do máximo), em razão da quantidade de água aplicada, tem alta resposta à irrigação (Figura 3). A equação ajustada mostra estabilização ($dy/dx = 0$) com 128% de água aplicada em relação à capacidade de cam-

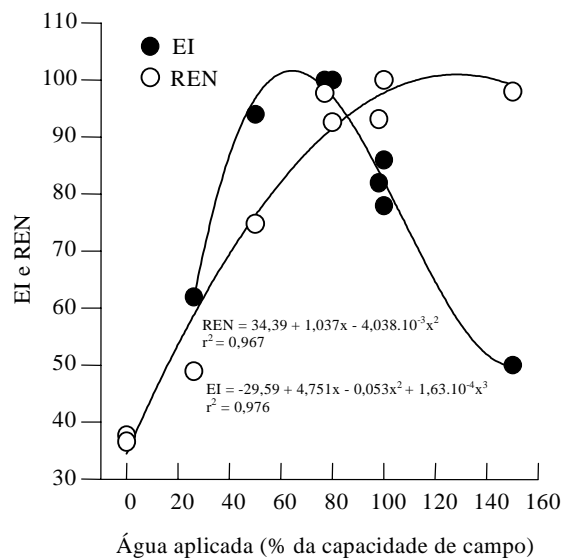


Figura 3. Eficiência da irrigação (EI - porcentagem do máximo) e rendimento de grãos (REN - porcentagem do máximo) em milho nos anos agrícolas de 1993/94 e 1996/97, sob diferentes lâminas de irrigação. Eldorado do Sul, RS.

po, mas os resultados (Tabela 5) mostram que a resposta é pequena ou nula acima de 80%. Portanto, uma redução de 20 a 23% da dose de irrigação (I2), em relação à necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo, não reduz significativamente o rendimento.

Tabela 5. Rendimento de grãos de milho e porcentagem de redução do rendimento de grãos nos anos agrícolas de 1993/94 e 1996/97, com lâminas de irrigação, variando do tratamento sem irrigação (I0) à irrigação relativa à capacidade de campo (I3 em 1993/1994 e I4 em 1996/1997). Eldorado do Sul, RS⁽¹⁾.

Tratamento	1993/94		1996/97	
	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	Redução (%)	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	Redução (%)
I0	4.384c	63,3	3.772b	62,2
I1	10.045b	25,1	4.892b	51,1
I2	11.678ab	2,3	9.262a	7,4
I3	11.950ab	-	9.312a	6,8
I4	11.759ab	1,6	10.002a	-

⁽¹⁾Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem significativamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Conclusões

1. O déficit hídrico que ocorre no período vegetativo interfere pouco no rendimento, pois não afeta significativamente o número de grãos por espiga.

2. A maior eficiência da irrigação para rendimento de grãos e para produção de matéria seca verifica-se quando o déficit hídrico ocorre no estágio de pendoamento e na fase exponencial de crescimento, respectivamente.

3. A maior eficiência da irrigação para rendimento de grãos ocorre com níveis de irrigação em torno de 80% a 85% da capacidade de campo.

4. Lâminas de irrigação acima de 85% da capacidade de campo não interferem significativamente no rendimento de grãos.

Referências

- ALLEN, R. R.; MUSICK, J. T. Planting date, water management, and maturity length relations for irrigated grain sorghum. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 36, p. 1123-1129, 1993.
- BASSETI, P.; WESTGATE, M. E. Water deficit affects receptivity of maize silks. **Crop Science**, Madison, v. 33, n. 2, p. 279-282, 1993.
- BOYER, J. S. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. **Plant Physiology**, Rockville, v. 46, n. 2, p. 233-235, 1970.
- BOYLE, M. G.; BOYER, J. S.; MORGAN, P. W. Stem infusion of liquid culture medium prevents reproductive failure of maize at low water potential. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 5, p. 1246-1252, 1991.
- CABELGUENNE, C. A.; JONES, C. A.; WILLIAMS, J. R. Strategies for limited irrigations of maize in southwestern France: a modeling approach. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 38, n. 2, p. 507-511, 1995.
- CHARLES-EDWARDS, D. A. **Physiological determinants of crop growth**. London : Academic Press, 1982. 161 p.
- CUNHA, G. R. **Evapotranspiração e função de resposta à disponibilidade hídrica em alfafa**. Porto Alegre : UFRGS, 1991. 198 p. Tese de Doutorado.
- CUNHA, G. R.; BERGAMASCHI, H. Efeito da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre : UFRGS-Ed. Universitária, 1992. p. 85-97.
- ECK, H. V. Effects of water deficit on yield components, and water use efficiency of irrigated corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, n. 6, p. 1035-1040, 1986.
- GORDON, W. B.; RANEY, R. J.; STONE, L. R. Irrigation management practices for corn production in north central Kansas. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 50, n. 4, p. 395-398, 1995.
- GUEI, R. G.; WASSON, C. E. Inheritance of some drought adaptative traits in maize. I. Interrelationships between yield, flowering, and ears per plant. **Maydica**, Bergamo, v. 37, p. 157-164, 1992.
- HANKS, R. J.; KELLER, J.; RASMUSSEN, V. P.; WILSON, G. D. Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 40, n. 3, p. 426-429, 1976.

- HANKS, R. J.; SISSON, D. V.; HURTS, R. L.; HUBBARD, K. G. Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line-source sprinkler system. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 4, p. 886-888, 1980.
- HERRERO, M. P.; JOHNSON, R. R. Drought stress and its effects on maize reproductive systems. **Crop Science**, Madison, v. 21, n. 1, p. 105-110, 1981.
- JAMA, A. O.; OTTMAN, M. J. Timing of the first irrigation in corn and water stress conditioning. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 6, p. 1159-1164, 1993.
- JOHNSON, D. R.; TANNER, J. W. Calculation of the rate and duration of grain filling in corn (*Zea mays* L.). **Crop Science**, Madison, v. 12, n. 3, p. 485-486, 1972.
- MORIZET, J.; TOGOLA, D. Effect et arrière-effet de la sécheresse sur la croissance de plusieurs génotypes de maïs. In: CONFERENCE INTERNATIONALE DES IRRIGATIONS ET DU DRAINAGE, 1984, Paris. **Les besoins en eau des cultures**. Paris : Institut National de la Recherche Agronomique, 1984. p. 351-360.
- MUCHOW, R. C. Comparative productivity of maize, sorghum and pearl millet in a semi-arid tropical environment. II. Effect of water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 20, p. 207-219, 1989.
- PASSIOURA, J. B. The yield of crops in relation to drought. In: BOOTE, K. J.; BENNETT, J. M.; SINCLAIR, T. R.; PAULSEN, G. M. (Ed.). **Physiology and determination of crop yield**. Madison : American Society of Agronomy/Crop Science Society of America/ Soil Science Society of America, 1994. p. 343-359.
- QUATTAR, S.; JONES, R. J.; CROOKSTON, R. K. Effect of water deficit during grain filling on the pattern of maize kernel growth and development. **Crop Science**, Madison, v. 27, n. 4, p. 726-730, 1987.
- ROSSI, G. **Desenvolvimento do sistema radicular e parte aérea do milho (*Zea mays* L.) sob diferentes níveis de drenagem e dois sistemas de preparo do solo**. Porto Alegre : UFRGS, 1979. 67 p. Dissertação de Mestrado.
- SHUSSLER, J. R.; WESTGATE, M. E. Maize kernel set at low water potential. II. Sensitivity to reduced assimilates at pollination. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 5, p. 1196-1203, 1991.
- WESTGATE, M. E. Water status and development of the maize endosperm and embryo during drought. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 1, p. 76-83, 1994.
- WESTGATE, M. E.; BOYER, J. S. Carbohydrate reserves and reproductive development at low leaf water potentials in maize. **Crop Science**, Madison, v. 25, n. 5, p. 762-769, 1985.
- WESTGATE, M. E.; BOYER, J. S. Water status of the developing grain of maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, n. 4, p. 714-719, 1986.
- WESTGATE, M. E.; GRANT, D. L. T. Water deficits and reproduction in maize. **Plant Physiology**, Rockville, v. 91, n. 3, p. 862-867, 1989.
- ZINSELMEIER, C.; LAUER, M. J.; BOYER, J. S. Reversing drought-induced losses in grain yield: sucrose maintains embryo growth in maize. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 6, p. 1390-1400, 1995a.
- ZINSELMEIER, C.; WESTGATE, M. E.; JONES, R. J. Kernel set at low water potential does not vary with source/sink ratio in maize. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 1, p. 158-163, 1995b.