

CRESCIMENTO DE PLANTAS DE MILHO SUBMETIDAS A DÉFICIT HÍDRICO EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS⁽¹⁾

R. CARLESSO⁽²⁾ & R. F. SANTOS⁽³⁾

RESUMO

O objetivo deste experimento foi quantificar variações no dossel vegetativo de plantas de milho submetidas a dois manejos da água de irrigação em solos de três texturas (argila pesada, franco-argilo-siltosa e franco-arenosa). O experimento foi instalado em área do Departamento de Engenharia Rural, da Universidade Federal de Santa Maria, no ano agrícola 1995/1996. Utilizou-se um conjunto de 12 lisímetros de drenagem com dimensões de 156 cm de comprimento, 100 cm de largura e 80 cm de profundidade, protegidos das precipitações por meio de uma cobertura móvel. Os tratamentos consistiram de dois níveis de manejos da água no solo (irrigado e déficit hídrico terminal) e três texturas de solos. Os resultados demonstraram que a redução no índice de área foliar das plantas de milho submetidas a déficit hídrico foi maior em solos de textura argila pesada e franco-argilo-siltosa do que no solo de textura franco-arenosa. A altura das plantas de milho diminuiu quando a fração de água disponível às plantas foi inferior a 0,57, 0,74 e 0,52, para os solos de textura argila pesada, franco-argilo-siltosa e franco-arenosa, respectivamente.

Termos de indexação: dossel vegetativo, textura do solo, área foliar.

SUMMARY: *WATER DEFICIT EFFECTS ON MAIZE GROWN IN SOILS WITH DIFFERENT TEXTURES*

The objective of this experiment was to quantify variations in maize canopy of plants submitted to two water managements (irrigated and terminal soil water deficit) in clayey, loamy and sandy soils. The experiment was conducted at the experimental area of the Rural

⁽¹⁾ Recebido para publicação em setembro de 1997 e aprovado em setembro de 1998.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Professor Titular do Departamento de Engenharia Rural, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), CEP 97119-900 Santa Maria (RS). Bolsista do CNPq.

⁽³⁾ Engenheiro-Agrônomo, aluno do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFSM.

Engineering Department of the Federal University of Santa Maria during the 1995/1996 growing season. A set of 12 drainage lysimeters was used. These were 156 cm long, 100 cm wide and 80 cm deep and were placed under a shelter to avoid rainfall. The treatments consisted of two soil water managements (irrigated and terminal soil water deficit applied during vegetative growth) of three soils with the distinct textures. A completely randomized statistical design with two replications was used. Results indicated that reduction in leaf area index of maize plants grown under soil water deficit was greater in clayey and loamy soils than in sandy soil. Plant height was reduced when the fraction of water available to the plant was lower than 0.57, 0.74 and 0.52 for clayey, loamy and sandy soils, respectively.

Index terms: plant canopy, soil texture, plant leaf area.

INTRODUÇÃO

A quantificação da capacidade de armazenamento de água no solo é importante para entender as respostas das plantas ao déficit hídrico e para analisar a influência da disponibilidade de água no solo às plantas, nos seus processos adaptativos em situações de déficit hídrico no solo. Segundo Carlesso (1995), a disponibilidade de água às plantas é, basicamente, determinada pela habilidade do sistema radicular da cultura em utilizar a água armazenada no solo, existindo estreita relação com a demanda evaporativa da atmosfera imposta à cultura, a qual é determinada pela combinação dos fatores meteorológicos interagindo com o dossel vegetativo das plantas.

A fração de água disponível às plantas (FAD) (razão entre a quantidade atual e a quantidade total de água disponível no solo) tem sido utilizada por Ritchie et al. (1972); Meyer & Green (1980); Rosenthal et al. (1987); Carlesso (1993) e Peiter (1994) como um indicador da intensidade de um déficit hídrico. A vantagem da FAD sobre outros indicadores de déficit hídrico é que ela depende, primariamente, da taxa de uso da água e das propriedades do solo, as quais podem ser facilmente determinadas no campo (Ritchie et al., 1972).

A resposta mais comum das plantas ao déficit hídrico, segundo McCree & Fernandez (1989) e Taiz & Zeiger (1991), consiste no decréscimo da produção de área foliar, fechamento dos estômatos, aceleração da senescência e abscisão das folhas. Ainda, para McCree & Fernandez (1989), quando expostas ao déficit hídrico, as plantas, freqüentemente, exibem respostas fisiológicas que resultam, de modo indireto, na conservação da água no solo como se estivessem economizando para períodos posteriores.

Lecoeur & Sinclair (1996) demonstraram que a expansão da área foliar e a transpiração das plantas não apresentaram diferenças significativas quando a FAD foi superior a 0,4 e decresceu de forma linear após esse limite. De acordo com Paez et al. (1995), existe significativa diferença no limite crítico da FAD

a partir do qual ocorre redução na expansão das folhas. Trabalhos de Meyer & Green (1980); Rosenthal et al. (1987); NeSmith & Ritchie (1992) e Carlesso (1993) apresentam o valor da FAD de 0,5 como o limite crítico a partir do qual a expansão das folhas é reduzida. Ritchie et al. (1972) evidenciaram que valores de FAD inferiores a 0,25 resultaram em significativa redução no crescimento de plantas de algodão e sorgo. Valores semelhantes foram relatados por Meyer & Green (1980); Grant et al. (1989) e Carlesso (1993).

A senescência comparada com a expansão das folhas tem sido apresentada como um processo menos sensível ao déficit hídrico durante o crescimento vegetativo (Carlesso, 1993). Wolfe et al. (1988) demonstraram que a senescência das folhas é induzida pelo déficit hídrico durante o período de enchimento dos grãos e aumenta, caso a planta possua elevado número de grãos por unidade de área foliar. Resultados semelhantes foram encontrados por Smith & Nelson (1986) que identificaram que o processo de senescência da folha influenciou potencialmente a duração da área foliar e o período de enchimento de grãos.

O presente trabalho teve por objetivo quantificar variações no dossel vegetativo das plantas de milho submetidas a dois manejos da água de irrigação (irrigado e déficit hídrico terminal) em solos de diferentes texturas (argila pesada, franco-argilo-siltosa e franco-arenosa) que apresentavam diferentes capacidades de armazenamento de água disponível às plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no ano agrícola 1995/1996 em área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, RS. Foi instalado um conjunto de 12 lisímetros de drenagem, constituídos de caixas de cimento amianto de 1.000 litros, com dimensões de 156 cm

de comprimento, 100 cm de largura e 80 cm de profundidade. Os lisímetros foram protegidos das precipitações por uma estrutura fixa, em arcos, recobertos por uma lona leve que permanecia sob a cobertura somente durante a ocorrência das precipitações. Ocorreu evaporação direta da água do solo para a atmosfera, pois os lisímetros não foram recobertos com material impermeável.

Os solos utilizados foram: (a) Latossolo Roxo distrófico textura argila pesada, coletado em local manejado há, aproximadamente, 10 anos pelo sistema de plantio direto, no município de Santo Ângelo, RS; (b) Podzólico Vermelho-Escuro textura franco-argilo-siltosa, coletado em local de campo nativo no município de Júlio de Castilhos, RS e; (c) Podzólico Vermelho-Amarelo textura franco-arenosa, coletado em local de campo nativo em Santa Maria, RS. As amostras de material dos solos foram coletadas da camada de 0-20 cm de profundidade. Anterior à instalação do experimento, foram aplicados oito ciclos de saturação e drenagem do solo no interior dos lisímetros. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com dois manejos da água de irrigação (irrigado e déficit hídrico terminal) aplicados durante o estágio de desenvolvimento vegetativo e três classes de solo, com duas repetições, perfazendo 12 parcelas experimentais.

A adubação de correção e manutenção foi baseada nos resultados da análise do solo. Na adubação, utilizou-se o equivalente a 3.200 kg ha⁻¹ de calcário, 120 kg ha⁻¹ de N, 20 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 20 kg ha⁻¹ de K₂O, no solo de textura argila pesada; 13.600 kg ha⁻¹ de calcário, 140 kg ha⁻¹ de N, 110 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 70 kg ha⁻¹ de K₂O, no solo de textura franco-argilo-siltosa, e 3.200 kg ha⁻¹ de calcário, 160 kg ha⁻¹ de N, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 70 kg ha⁻¹ de K₂O, no solo de textura franco-arenosa. O calcário foi aplicado 60 dias antes da semeadura e a adubação de manutenção foi realizada em linha por ocasião da semeadura. O nitrogênio foi aplicado na linha utilizando uréia parcelada em três aplicações: na base, aos 30 e 45 dias da emergência (DAE).

O experimento foi instalado no dia 23 de fevereiro de 1996 e a emergência ocorreu no dia 27 de fevereiro de 1996. O espaçamento foi de 15 cm entre plantas e 100 cm entrelinhas, perfazendo uma população de 66.666 plantas ha⁻¹. A área em volta do experimento foi cultivada com a cultura de milho, proporcionando uma bordadura de, aproximadamente, 500 m². O desbaste foi realizado aos cinco DAE, e a irrigação foi realizada igualmente em todos os lisímetros até 15 DAE. Após este período, foram feitas irrigações somente nos tratamentos irrigados. As irrigações foram realizadas manualmente por meio de um regador graduado, sempre que a evapotranspiração máxima acumulada da cultura, determinada pelo método do tanque classe "A", atingia 25 mm.

O conteúdo de água no solo foi determinado por meio de uma sonda de nêutrons (CPN, Model 503 DR). Um tubo de acesso (50 mm de diâmetro interno) foi instalado na parte central de cada lisímetro. Realizou-se a calibração da sonda de nêutrons antes da instalação do experimento, no próprio local, para cada classe e profundidade de solo. As leituras foram feitas a cada dois dias com um incremento de profundidade de 20 cm até a base do lisímetro.

Calculou-se a capacidade de água armazenada disponível às plantas (CAD) pela diferença entre o conteúdo volumétrico de água no solo no limite superior e no limite inferior de disponibilidade, para cada camada de solo. Considerou-se como limite superior de água disponível às plantas o valor do conteúdo de água no solo observado após 48 horas de drenagem (durante esse período, a superfície do solo dos lisímetros foi recoberta com material impermeável). O solo dos lisímetros foi previamente saturado, aplicando-se uma intensidade de irrigação, por aspersão, superior à capacidade de infiltração de água no solo por um período de aproximadamente 14 horas. Considerou-se como limite inferior de água disponível às plantas o valor do conteúdo de água no solo determinado quando as plantas estavam completamente senescidas, havendo, assim, a extração de toda a água disponível no solo, seguindo Carlesso (1995). A FAD foi calculada, durante o desenvolvimento das plantas, pela razão entre a CAD atual (lâmina de água disponível às plantas no perfil do solo) e a CAD do solo.

Foram selecionadas e identificadas quatro plantas por lisímetros para determinações não-destrutivas da área foliar, altura de plantas, senescência e expansão das folhas. As determinações foram realizadas de três a quatro vezes por semana. A área foliar foi determinada, em todas as folhas da planta, desde a emergência das folhas do cartucho até o aparecimento da bainha. A área foliar foi obtida pelo produto do comprimento da folha pela largura máxima multiplicada pelo fator 0,75. O índice de área foliar foi calculado a partir da razão da área foliar total da planta pela superfície de área do solo ocupada pela planta.

Calculou-se a expansão das folhas tomando-se a medida do comprimento da lâmina da folha, por meio de uma régua, desde a extremidade até o ponto em que os lados opostos da lâmina se unem junto ao colmo da planta. A altura das plantas foi medida por meio de uma régua, tomando-se a distância vertical entre a superfície do solo até a altura da bainha mais elevada da planta. A senescência foi determinada, de três a quatro vezes por semana, em cada folha, por meio da estimativa da parte da folha senescida ou necrosada, utilizando-se uma escala de 0 a 100%, que representava a folha totalmente necrosada ou senescida e a folha totalmente verde, respectivamente. A área foliar senescida das plantas foi obtida pelo somatório da área senescida em cada folha da planta.

Os resultados foram submetidos à análise estatística, utilizando-se o programa Statistical Analysis System V6.06. Determinou-se a análise da variância, e os tratamentos foram comparados a 5% de probabilidade por meio dos testes F e de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O índice de área foliar máximo observado foi de 4,93, 4,68 e 4,59, para as plantas de milho mantidas sob irrigação, e de 3,92, 3,93 e 4,05, para as plantas submetidas a déficit hídrico e cultivadas em solos de textura argila pesada, franco-argilo-siltosa e franco-arenosa, respectivamente (Figura 1). Maior redução no índice de área foliar foi observada nas plantas de milho cultivadas em solo de textura argila pesada (20%) do que nas plantas cultivadas em solos de textura franco-argilo-siltosa (16%) e franco-arenosa (12%), em relação às plantas mantidas sob irrigação. Por outro lado, nas plantas irrigadas, observou-se maior índice de área foliar no solo de textura argila pesada (Figura 1). A redução no índice de área foliar observada para as plantas de milho

submetidas ao déficit hídrico limitou a área foliar fotossinteticamente ativa, funcionando como um mecanismo de adaptação das plantas para reduzir as perdas de água por transpiração.

Durante o período de 40 a 60 DAE, plantas de milho submetidas a déficit hídrico e cultivadas em solos de textura argila pesada e franco-arenosa apresentaram menor incremento no índice de área foliar (Figura 1), com redução na CAD do solo no final deste período para aproximadamente 10 mm (Figura 2), do que a observada nas plantas cultivadas em solo de textura franco-argilo-siltosa (CAD de 32 mm). Tal ocorrência deveu-se à maior senescência das folhas provocada pela rápida redução na disponibilidade de água no solo. Resultados similares também foram encontrados por Ludlow & Muchow (1990); Carlesso (1993) e Klubertanz et al. (1996).

Resultados do quadrado médio da análise da variância para o índice de área foliar, altura das plantas e senescência das folhas são apresentados no quadro 1. Diferenças significativas entre o índice de área foliar de plantas irrigadas e submetidas a déficit hídrico foram observadas aos 41 DAE. Neste dia, as plantas irrigadas e cultivadas em solo de textura argila pesada apresentaram índice de área foliar (3,89) significativamente maior do que no solo

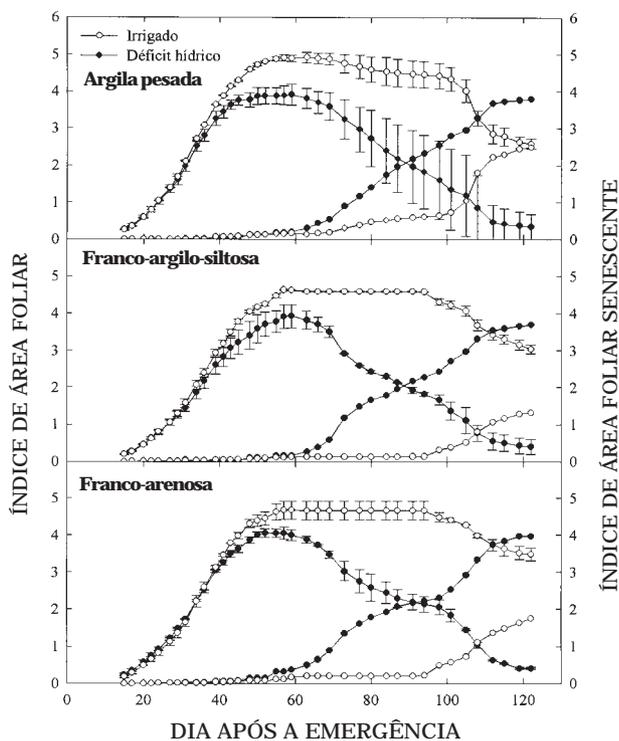


Figura 1. Índice de área foliar e senescência das plantas de milho submetidas a déficit hídrico terminal e irrigadas em solos de diferentes texturas. As barras verticais representam o desvio-padrão.

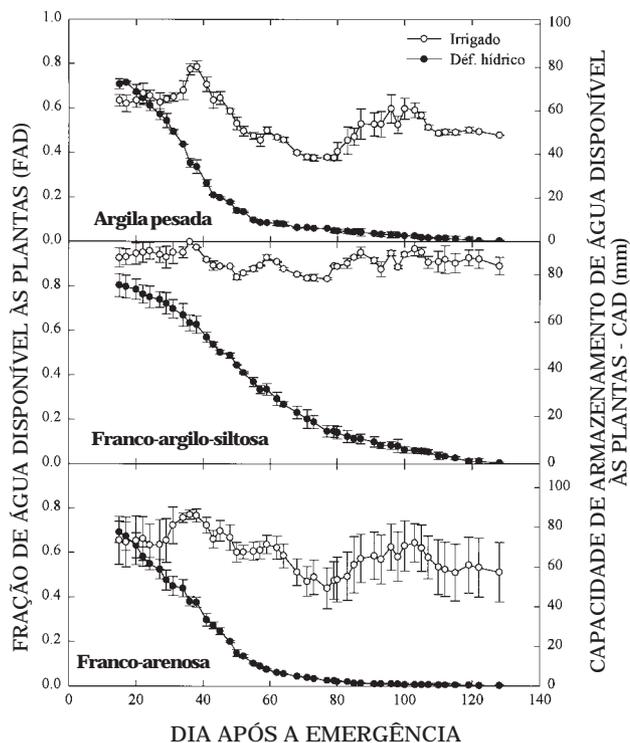


Figura 2. Variação da capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) e da fração de água disponível às plantas (FAD) de milho cultivadas em solos de diferentes texturas. As barras verticais representam o desvio-padrão.

Quadro 1. Resultados do quadrado médio da análise da variância para o índice de área foliar, senescência das folhas e altura de plantas de milho submetidas a déficit hídrico e irrigadas em solos de diferentes texturas

Causa da variação	Dias após a emergência (DAE)										
	24	27	29	36	39	41	43	45	48	50	52
Índice de área foliar											
Textura	0,066*	0,112*	0,145*	0,449*	0,450*	0,443*	0,373*	0,278*	0,278 ^{ns}	0,192 ^{ns}	0,143 ^{ns}
Nível	0,001 ^{ns}	0,0007 ^{ns}	0,00003 ^{ns}	0,108 ^{ns}	0,200 ^{ns}	0,333*	0,476*	0,691*	1,178*	1,135*	1,185*
T x N	0,005 ^{ns}	0,006 ^{ns}	0,011 ^{ns}	0,013 ^{ns}	0,026 ^{ns}	0,015 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,011 ^{ns}	0,034 ^{ns}	0,056 ^{ns}	0,077 ^{ns}
Resíduo	0,0060	0,013	0,018	0,034	0,039	0,036	0,037	0,050	0,066	0,078	0,063
C.V. (%)	8,71	9,45	9,21	7,13	6,34	5,66	5,33	5,92	6,44	6,78	6,00
Senescência de folhas											
Textura	0,00011077*	0,0001169*	0,0001254*	0,00035*	0,00042*	0,00044 ^{ns}	0,00044 ^{ns}	0,00048 ^{ns}	0,0013 ^{ns}	0,0014 ^{ns}	0,0036 ^{ns}
Nível	0,000011 ^{ns}	0,000015 ^{ns}	0,0000177 ^{ns}	0,00002 ^{ns}	0,00121*	0,0014*	0,0017*	0,0011 ^{ns}	0,0055 ^{ns}	0,0055 ^{ns}	0,00033 ^{ns}
T x N	0,0000003 ^{ns}	0,000001 ^{ns}	0,0000009 ^{ns}	0,00011 ^{ns}	0,0014*	0,0015*	0,0016*	0,0018 ^{ns}	0,00051 ^{ns}	0,0005 ^{ns}	0,00054 ^{ns}
Resíduo	0,00000874	0,0000072	0,0000061	0,000020	0,00007	0,00011	0,00015	0,00040	0,0025	0,0025	0,00085
C.V. (%)	50,60	44,94	40,74	29,38	24,18	28,20	32,61	35,89	44,62	44,66	26,81
Altura das plantas											
Textura	20,3334*	30,141*	27,117*	60,642*	55,647 ^{ns}	103,530*	142,349*	224,255*	452,376*	465,099*	600,484*
Nível	0,187 ^{ns}	19,051*	58,036*	169,651*	139,196*	257,799*	570,630*	892,687*	2483,14*	3016,26*	3435,02*
T x N	1,815 ^{ns}	0,644 ^{ns}	2,257 ^{ns}	18,614*	30,607 ^{ns}	11,323 ^{ns}	4,536 ^{ns}	13,141 ^{ns}	123,51 ^{ns}	202,91 ^{ns}	283,38 ^{ns}
Resíduo	2,302	3,041	1,714	4,664	10,915	12,688	25,318	34,708	84,298	55,984	60,854
C.V. (%)	6,67	6,81	4,64	4,47	5,74	5,69	6,97	7,16	8,89	6,75	6,77

T x N = Interação textura do solo x nível de manejo da água no solo. * significativo a 5%. ^{ns} não-significativo.

de textura franco-argilo-siltosa (3,18) e franco-arenosa (3,45). Por outro lado, em condições de déficit hídrico, plantas cultivadas em solo de textura argila pesada (3,45) apresentaram valores do índice de área foliar estatisticamente semelhantes aos das plantas cultivadas em solo de textura franco-arenosa (3,25) e estatisticamente maiores que os das plantas cultivadas em solo de textura franco-argilo-siltosa (2,82). Não houve interação das texturas de solo e os dois níveis de manejo da água de irrigação para o índice de área foliar para as plantas de milho.

A senescência aumentou progressivamente com a intensificação do déficit hídrico nas três texturas de solos (Figura 1). Aumento significativo na senescência foi verificado, aos 39 DAE (Quadro 1), para as plantas submetidas a déficit hídrico, quando os valores da FAD eram de 0,34, 0,63 e 0,38, para os solos de textura argila pesada, franco-argilo-siltosa e franco-arenosa, respectivamente. Grant et al. (1989) demonstraram que a redução na expansão das folhas de milho e transpiração e o aumento na senescência ocorreram quando a FAD estava entre 0,70 e 0,30.

Na figura 3, são apresentados resultados da expansão de algumas folhas selecionadas das plantas de milho irrigadas e submetidas a déficit hídrico terminal para os solos de textura argila pesada

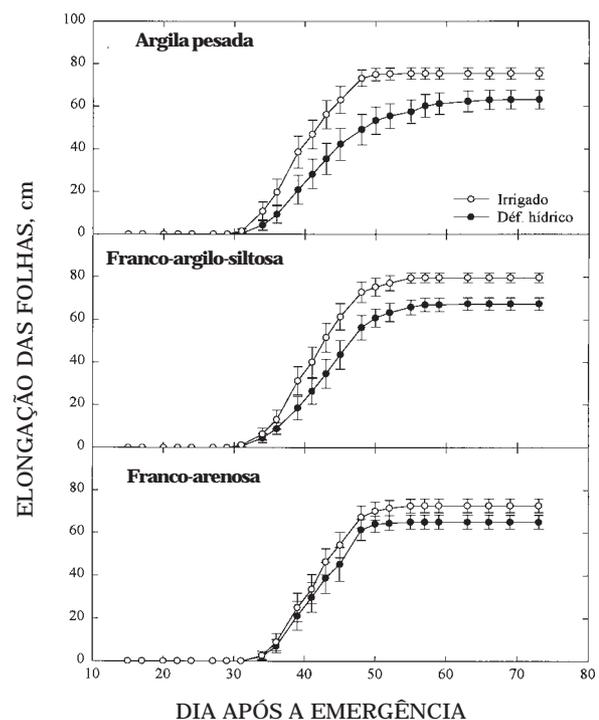


Figura 3. Expansão das folhas de plantas de milho submetidas a déficit hídrico e irrigadas em solos de diferentes texturas. As barras verticais representam o desvio-padrão.

(médias das folhas de número 10, 11 e 12), franco-argilo-siltosa (médias das folhas de número 14, 15 e 16) e franco-arenosa (médias das folhas de número 14, 15 e 16). Plantas de milho submetidas à déficit hídrico, em todas as classes de texturas de solo, apresentaram redução no comprimento final das folhas e prolongamento do processo de expansão em relação às folhas das plantas irrigadas. Segundo Henson et al. (1989), a expansão foliar é o processo mais sensível ao déficit hídrico, sendo dependente da pressão de turgor o qual é extremamente sensível ao déficit hídrico. Esse mecanismo de adaptação utilizado pelas plantas em função da redução do conteúdo de água no solo é, de acordo com Carlesso (1993), um processo irreversível, uma vez que o comprimento final das folhas não poderá ser aumentado mesmo que condições favoráveis de umidade do solo ocorram após o término do déficit hídrico. A intensificação no déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura do milho, de acordo com NeSmith & Ritchie (1992) e Gerik et al. (1996), acentua a redução no comprimento final das folhas e retarda sua expansão. A sensibilidade ao déficit hídrico e o decréscimo no desenvolvimento da área foliar individual das plantas também foram relatados por McCree & Fernandez (1989).

A expansão das folhas das plantas de milho cultivadas em solo de textura argila pesada foi menor e com maior intervalo de tempo entre a emissão das folhas e o aparecimento das bainhas (expansão total) que no solo de textura franco-arenosa (Figura 3). Isto, provavelmente, deveu-se à menor extração de água no solo de textura argila pesada observada no período de 40 a 50 DAE (Figura 2) em relação à observada no solo de textura franco-arenosa. Tais resultados indicam que, apesar da pequena diferença na disponibilidade de água observada para esses dois solos, as plantas cultivadas em solo de textura franco-arenosa apresentaram menor sensibilidade à redução nas taxas de expansão das folhas causada pelo déficit hídrico do que plantas cultivadas em solo de textura argila pesada. Além disso, no período de 40 a 50 DAE, as plantas cultivadas em solo de textura franco-arenosa também apresentavam maior número de folhas em processo de expansão do que plantas cultivadas em solo de textura argila pesada, uma vez que foram menos afetadas pela ocorrência do déficit hídrico. As folhas, de número 10, 11 e 12, monitoradas no solo de textura argila pesada, estavam totalmente expandidas nas plantas cultivadas em solo de textura franco-arenosa. Adicionalmente, as folhas de número 14, 15 e 16, monitoradas no solo de textura franco-arenosa, apresentavam, em decorrência da maior proximidade da folha da espiga, maiores dimensões e foram potencialmente mais afetadas pelo déficit hídrico.

As plantas de milho cultivadas em solo de textura argila pesada e submetidas a déficit hídrico terminal apresentaram maior redução na altura das plantas

(Figura 4). Uma redução mais gradual na altura das plantas foi observada em solos de textura franco-arenosa e franco-argilo-siltosa. Verificou-se que, apesar de os valores observados da CAD e da FAD apresentarem-se relativamente similares para os solos de textura argila pesada e franco-arenosa (Figura 2), as plantas cultivadas no solo de textura franco-arenosa revelaram maior altura final das plantas. Tais resultados indicam que plantas de milho cultivadas em solo de textura franco-arenosa, considerando a mesma profundidade do solo, apresentam maior adaptação à situação de déficit hídrico em relação à redução na altura das plantas do que plantas cultivadas em solos de textura franco-argilo-siltosa e argila pesada. Diferenças na altura das plantas de milho entre os dois níveis de manejo da água de irrigação foram observadas aos 27 DAE (Quadro 1), correspondendo a valores de FAD de 0,57, 0,74 e 0,52, para os solos de textura argila pesada, franco-argilo-siltosa e franco-arenosa em condições de déficit hídrico, respectivamente.

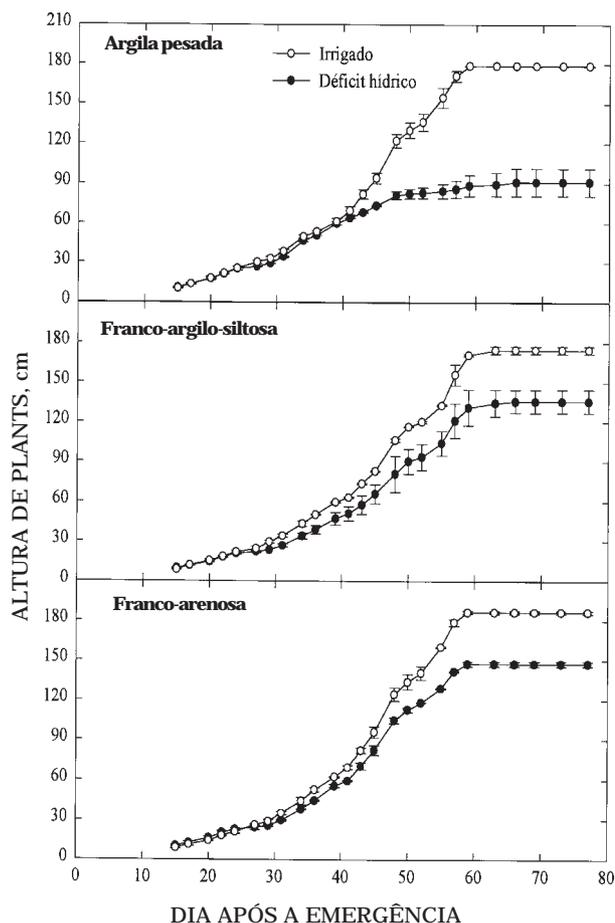


Figura 4. Altura média das plantas de milho submetidas a déficit hídrico e irrigadas em solos de diferentes texturas. As barras verticais representam o desvio-padrão.

CONCLUSÕES

1. O índice de área foliar de plantas de milho submetidas a déficit hídrico foi maior em solos de textura argila pesada e franco-argilo-siltosa do que no solo de textura franco-arenosa, para uma mesma profundidade do solo.

2. A altura das plantas de milho foi reduzida, quando a fração de água disponível às plantas foi inferior a 0,57, 0,74 e 0,52, e a senescência das folhas foi aumentada, quando a fração de água disponível às plantas foi inferior a 0,34, 0,63 e 0,38, para os solos de textura argila pesada, franco-argilo-siltosa e franco-arenosa, respectivamente.

LITERATURA CITADA

- CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. *Ci. Rural*, 25:183-188, 1995.
- CARLESSO, R. Influence of soil water deficits on maize growth and leaf area adjustments. East Lansing, Michigan State University, 1993. 275p. (Tese de Doutorado)
- GERIK, T.J.; FAVER, K.L. & THAXTON, P.M. Late season water stress in cotton: I. Plant growth, water uses, and yield. *Crop Sci.*, 36:914-921, 1996.
- GRANT, R.F.; JACKSON, B.S.; KINIRY, J.R. & ARKIN, G.F. Water deficit timing effects on yield components in maize. *Agron. J.*, 81:61-65, 1989.
- HENSON, I.E.; JENSEN, C.R. & TURNER, N.C. Leaf gas exchange and water relations of lupins and wheat. I. Shoot responses to soil water deficits. *Aust. J. Plant Physiol.*, 16:401-413, 1989.
- KLUBERTANZ, T.H.; PEDIGO, L.P. & CARLSON, R.E. Soybean physiology, regrowth, and senescence in response to defoliation. *Agron. J.*, 88:577-582, 1996.
- LECOEUR, J. & SINCLAIR, R.T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. *Crop Sci.*, 36:331-335, 1996.
- LUDLOW, M.M. & MUCHOW, R.C. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Adv. Agron.*, 43:107-153, 1990.
- McCREE, K.J. & FERNÁNDEZ, C.J. Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants. *Crop Sci.*, 29:353-360, 1989.
- MEYER, W.S. & GREEN, G.C. Water use by wheat and plant indicator of available soil water. *Agron. J.*, 72:253-257, 1980.
- NeSMITH, D.S. & RITCHIE, J.T. Short- and long-term responses of corn to a pre-anthesis soil water deficit. *Agron. J.*, 84:107-113, 1992.
- PÁEZ, A.; GONZÁLES, M.E. & YRAUSQUÍN, O.X. Water stress and clipping management effects on guineagrass: I. Growth and biomass allocation. *Agron. J.*, 87:698-706, 1995.
- PEITER, X.M. Comportamento do Sorgo Granífero (*Sorghum bicolor* Moench.) quando submetido a diferentes níveis de irrigação. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1994. 77p. (Tese de Mestrado)
- RITCHIE, J.T.; BURNETT, E. & HENDERSON, R.C. Dryland evaporative flux in a subhumid climate. 3. Soil water influences. *Agron. J.*, 64:168-173, 1972.
- ROSENTHAL, W.D.; ARKIN, G.F. & SHOUSE, P.L. Water deficit effects on transpiration and leaf growth. *Agron. J.*, 79:1019-1026, 1987.
- SMITH, J.R. & NELSON, R.L. Relationship between seed filling period and yield among soybean breeding lines. *Crop Sci.*, 26:469-472, 1986.
- TAIZ, L. & ZEIGER, S. *Plant physiology*. Redwood City. The Benjamin Cummings Publishing Company, 1991. p.690.
- WOLFE, D.W.; HENDERSON, D.W.; HSIAO, T.C. & ALVINO, A. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. II. Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. *Agron. J.*, 80:865-870, 1988.