

# SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

## DISPONIBILIDADE DE ÁGUA DO SOLO AO MILHO CULTIVADO SOB SISTEMAS DE SEMEADURA DIRETA E PREPARO CONVENCIONAL<sup>(1)</sup>

Mirta Teresinha Petry<sup>(2)</sup>, Fernando Luís Zimmermann<sup>(3)</sup>, Reimar Carlesso<sup>(4)</sup>, Cleudson Jose Michelon<sup>(5)</sup> & Jefferson Horn Kunz<sup>(6)</sup>

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi quantificar o armazenamento, a disponibilidade e a extração de água no solo por plantas de milho irrigadas e submetidas a déficit hídrico terminal, cultivadas sob sistema de semeadura direta e preparo convencional. Foram realizados dois experimentos durante os anos agrícolas de 1999/00 e 2000/01, em área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, fatorial, com quatro repetições. Foram utilizados dois manejos da água de irrigação (fator A): irrigado e déficit hídrico terminal (plantas de milho foram submetidas a déficit hídrico terminal a partir dos 27 dias após a emergência); e dois sistemas de cultivo (fator B): semeadura direta e preparo convencional. Nas parcelas irrigadas, irrigações foram feitas para elevar o conteúdo de água no solo ao limite superior de disponibilidade de água às plantas, sempre que a evapotranspiração máxima acumulada da cultura do milho atingia 25 mm. O conteúdo de água no solo foi medido em três leituras semanais, para determinação da extração de água pelas plantas e disponibilidade de água às plantas de milho. Os resultados indicaram que a disponibilidade de água às plantas de milho foi similar nos sistemas semeadura direta e preparo convencional, em ambos os anos agrícolas avaliados. Plantas de milho cultivadas em preparo convencional extraíram maior quantidade de água, em ambos os anos, em relação à semeadura direta.

**Termos de indexação:** sistemas de manejo do solo, extração de água do solo, milho, manejo de água.

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado do segundo autor, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Recebido para publicação em maio de 2006 e aprovado em março de 2007.

<sup>(2)</sup> Engenheira-Agrônoma, Dra. em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. CEP 97105-900 Santa Maria (RS). E-mail: mirta@ccr.ufsm.br

<sup>(3)</sup> Engenheiro-Agrônomo, MSc. Production Research - Pioneer Sementes Ltda. Itumbiara (GO). E-mail: fernando.zimmermann@pioneer.com

<sup>(4)</sup> Professor Titular do Departamento de Engenharia Rural, Centro de Ciências Rurais, UFSM. Bolsista do CNPq. E-mail: carlesso@ccr.ufsm.br

<sup>(5)</sup> Engenheiro-Agrônomo, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFSM. E-mail: cleudson@ccr.ufsm.br

<sup>(6)</sup> Engenheiro-Agrônomo, MSc. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. E-mail: jeffkunz@yahoo.com.br

**SUMMARY: WATER AVAILABILITY TO MAIZE PLANTS CULTIVATED UNDER NO-TILLAGE AND CONVENTIONAL TILLAGE SYSTEMS**

*The aim objective of this study was to quantify the soil water storage, plant-available water and extraction of soil water by corn plants under irrigation and terminal drought. Plants were cultivated under no-tillage and conventional tillage systems. Two experiments were conducted in the 1999/00 and 2000/01 growing season on an experimental field of the Agricultural Engineering Department of the Federal University of Santa Maria. Treatments consisted of a 2 x 2 factorial scheme, in a completely randomized design, with four replications. The tested treatments were: Factor A – irrigation management (irrigation and terminal drought, 27 days after emergence, when plants presented seven fully expanded leaves) and; Factor B – tillage system (no-tillage and conventional tillage). Irrigation water was applied to raise the soil water content to the maximum limit of plant-available water, always when the cumulative maximum crop evapotranspiration reached a value of 25 mm. Soil water content was measured three times a week to determine soil water extraction and water availability for corn plants. Results indicated a similar amount of water available to corn plants cultivated in both tillage systems during the two growing seasons. Conventionally cultivated maize plants extracted a higher amount of soil water than plants cultivated in no-tillage system.*

*Index terms: soil tillage systems, soil water extraction, maize, soil water management.*

## INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água às plantas não está ligada de forma direta à capacidade de armazenamento de água do solo. A armazenagem depende de aspectos como o espaço poroso e a profundidade do solo, enquanto a disponibilidade às plantas depende de fatores intrínsecos do solo e da capacidade das plantas em extrair água nos diferentes teores de umidade e níveis de energia de retenção. O conhecimento desses aspectos é importante para o manejo da água na agricultura irrigada e não-irrigada, principalmente para um planejamento correto da atividade agrícola. Na agricultura não-irrigada, o aspecto mais importante é a associação da época de semeadura com o período de maior disponibilidade hídrica às culturas, além da utilização de variedades tolerantes e, ou, resistentes a curtos períodos de deficiência hídrica no solo.

A relação entre o armazenamento de água no solo e o rendimento de grãos de milho tem sido investigada, a exemplo dos resultados apresentados por Fiorin et al. (1997). A capacidade de armazenamento de água no solo depende de sua textura, estrutura, distribuição e diâmetro médio dos poros. A quantidade de água que pode ser armazenada no perfil do solo é uma característica intrínseca à sua matriz e não depende de plantas. O reabastecimento de água no solo, entretanto, depende da quantidade, frequência e distribuição das precipitações pluviais. Segundo Berlato (1992) e Matzenauer et al. (1995), a disponibilidade da água às plantas é o fator que, com maior frequência e intensidade, afeta o rendimento da cultura do milho no Rio Grande do Sul. Embora o

milho seja uma cultura eficiente no uso da água (Doorenbos & Kassan, 1979), o rendimento de grãos, sob diferentes condições de clima e manejo, está relacionado à distribuição e profundidade do sistema radicular e à disponibilidade de água às plantas em diferentes tipos de solo e sistemas de cultivo.

Na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul predominam solos com textura superficial média a arenosa, bem drenados, com grande variabilidade na espessura do horizonte A. A espessura desse horizonte afeta a capacidade de armazenamento de água no solo, com reflexos na quantidade total de água disponível às plantas, uma vez que o horizonte B pode representar impedimento ao desenvolvimento radicular. Maior capacidade de armazenamento de água no solo pode não representar maior disponibilidade de água às plantas, em virtude da restrição ao desenvolvimento radicular e da redução abrupta na disponibilidade de água em situação de déficit hídrico. Fiorin et al. (1997) verificaram que a profundidade do solo ou a capacidade de armazenamento de água na região de distribuição do sistema radicular é altamente correlacionada com o rendimento de grãos da cultura do milho. Em razão disso, têm sido observados decréscimos no rendimento de grãos do milho em solos com horizonte A pouco espesso, principalmente em períodos de ocorrência de déficit hídrico ou com distribuição irregular das precipitações pluviais.

As operações de manejo utilizadas na agricultura modificam algumas condições físicas do solo associadas à estrutura, como a disponibilidade de água, a aeração e a resistência ao crescimento das raízes (Letey, 1985; Tormena et al., 1998), diretamente relacionadas ao

crescimento das plantas e ao rendimento de grãos. Solos manejados sob semeadura direta adquirem condições físicas diferentes daqueles solos submetidos ao preparo convencional (Reinert et al., 1984). As principais alterações verificadas são: redução da erosão hídrica devido ao aumento na infiltração de água no solo (Dao, 1993; Franzluebbbers, 2002), aumento na densidade e diminuição no volume de macroporos na camada superficial. Essa condição pode se tornar limitante ao crescimento radicular das plantas, devido à redução na porosidade de aeração e menor disponibilidade de água, nutrientes e oxigênio, ocasionando diminuição no rendimento de grãos (Secco et al., 2005). O intensivo tráfego de máquinas, associado ao não-revolvimento do solo, usualmente ocasiona a compactação da camada superficial do solo, alterando a magnitude do conteúdo de água (Tormena et al., 1998). Por conseguinte, o maior armazenamento de água no solo sob semeadura direta pode não representar maior disponibilidade de água às plantas, principalmente devido à ocorrência de limitações físicas ao crescimento das raízes e, conseqüentemente, da parte aérea das plantas.

Geralmente, o conteúdo volumétrico de água é maior no solo sob semeadura direta do que no preparo (Zhai et al., 1990), atribuindo-se esse fator à modificação de tamanho de poros de solos sob semeadura direta e à menor evaporação da água diretamente da superfície de solos com cobertura de resíduo vegetal. Contudo, existem contradições na literatura se o incremento do armazenamento de água no solo representa um benefício ao crescimento das plantas (Tollner et al., 1984; Zhai et al., 1990). Tollner et al. (1984) relatam que a influência dos sistemas de manejo sobre as características hídricas do solo depende do clima e das propriedades de solos, principalmente a textura e a estrutura.

As diferenças na capacidade de armazenamento de água disponível às plantas estão relacionadas com a textura de solo e os sistemas de manejo, além da quantidade e distribuição das precipitações pluviais.

Assim, os objetivos deste trabalho foram: quantificar as variações no armazenamento e na disponibilidade de água no solo às plantas de milho cultivadas sob semeadura direta e preparo convencional; e relacionar características do dossel vegetativo com a extração de água por plantas de milho submetidas a déficit hídrico terminal nos sistemas semeadura direta e preparo convencional.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados a campo, em área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, RS, nos anos agrícolas de 1999/00 e 2000/01, com a cultura do milho. A área está situada em latitude de 29° 41' 24" S e longitude de 53° 48' 42" W. O clima da região, conforme Moreno (1961), é do tipo Cfa de Köppen (subtropical úmido, sem estação seca definida e com verões quentes). A precipitação média anual da região varia de 1.322 a 1.769 mm. O solo está classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico. Alguns atributos físico-hídricos do solo da área experimental são apresentados no quadro 1.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, fatorial (2 x 2), com quatro repetições. Os dois manejos da água de irrigação (fator A) foram o irrigado e o déficit hídrico terminal (plantas de milho foram submetidas a déficit hídrico terminal a partir dos 27 dias após a emergência - DAE, quando possuíam sete folhas completamente expandidas). A partir dessa data, as plantas não receberam mais irrigação. Os dois manejos do solo (fator B) foram a semeadura direta e o preparo convencional. Não foi possível realizar a casualização dos manejos de água devido à dificuldade de constituir os tratamentos no campo, bem como aos custos necessários para instalação de estruturas para proteger as parcelas e permitir o estabelecimento do déficit hídrico terminal às plantas, individualmente,

**Quadro 1. Características físico-hídricas dos horizontes do solo estudados. Santa Maria, RS, 2006**

Profundidade	Características físico-hídricas do solo									
	Ds	Dp	Total	Macro	Micro	L <sub>s</sub>	L <sub>i</sub>	Areia	Silte	Argila
m	Mg m <sup>-3</sup>		m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			g kg <sup>-1</sup>				
0,125	1,35	2,58	0,42	0,12	0,30	0,37	0,09	583	298	118
0,375	1,37	2,59	0,45	0,13	0,32	0,33	0,15	433	431	137
0,60	1,39	2,62	0,46	0,13	0,33	0,35	0,15	410	436	154
0,85	1,28	2,63	0,51	0,08	0,43	0,41	0,22	435	403	162
1,22	1,35	2,63	0,49	0,07	0,42	0,43	0,28	385	363	252

Ds = densidade do solo; Dp = densidade de partículas; Total = porosidade total; Macro = macroporosidade; Micro = microporosidade; L<sub>s</sub> = limite superior de disponibilidade de água às plantas; L<sub>i</sub> = limite inferior de disponibilidade de água às plantas.

em cada parcela experimental. A casualização dos sistemas de manejo do solo foi realizada dentro de cada manejo de água, em unidades experimentais com dimensões de 4 x 3 m.

As unidades experimentais que receberam o tratamento preparo convencional tiveram o solo revolvido 30 dias antes da semeadura. O revolvimento do solo foi feito manualmente, com pás e enxadas, até a profundidade de aproximadamente 0,2 m; a semeadura direta, por sua vez, foi realizada sem nenhuma mobilização do solo, à exceção daquela da linha de semeadura. O sistema plantio direto está implantado na área experimental desde 1996, em sucessão a campo nativo, utilizando-se aveia-preta, nabo forrageiro e trevo-branco em rotação.

O híbrido de milho PIONEER 30F33 foi semeado no dia 8 de dezembro de 1999 e a emergência ocorreu em 14 de dezembro. O híbrido PIONEER 32R21 foi semeado em 26 de outubro de 2000 e a emergência se deu em 3 de novembro. Utilizou-se espaçamento de 0,90 m entre linhas e seis plantas por metro linear, totalizando uma população de 66.000 plantas ha<sup>-1</sup>. A área útil das parcelas foi definida por duas linhas de semeadura com 3 m de comprimento (5,4 m<sup>2</sup>).

No período da semeadura aos 27 DAE, todos os tratamentos foram irrigados igualmente. O manejo da irrigação baseou-se na evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>) da cultura do milho. Lâminas de irrigação eram aplicadas sempre que a ET<sub>m</sub> da cultura do milho atingia valor acumulado de 25 mm (Carlesso et al., 2000). Para aumentar a uniformidade da irrigação utilizaram-se tubogotejadores auto-reguláveis de 16 mm de diâmetro, espaçados de 0,45 m entre linhas. A pressão de serviço adotada para os tubogotejadores foi de 150 kPa, a qual permitia aplicação de uma lâmina de irrigação de 18,6 mm h<sup>-1</sup>.

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi estimada pelo método de Penman-Monteith (Pereira et al., 1997). A ET<sub>m</sub> da cultura do milho foi calculada pela multiplicação da ET<sub>o</sub> pelos coeficientes de cultura (K<sub>c</sub>) propostos por Doorenbos & Kassan (1979).

O monitoramento do conteúdo de água no solo foi feito com sonda de nêutrons (CPN, Model 503, DR), que teve a calibração realizada durante a execução do experimento. Tubos de acesso de PVC (50 mm) foram instalados no centro de cada unidade experimental até a profundidade de 1,43 m. As leituras foram realizadas três vezes por semana, nas profundidades de 0,125; 0,375; 0,60; 0,85 e 1,22 m, que correspondiam à porção intermediária dos horizontes Ap, A<sub>1</sub>, AB, Bt<sub>1</sub> e Bt<sub>2</sub>, respectivamente. Para o último horizonte, o local de leitura da sonda não foi a porção intermediária do horizonte, e sim a porção intermediária entre seu início e a profundidade de 1,43 m.

Previamente à instalação do experimento, cada manejo de água teve duas unidades experimentais casualizadas, sendo uma a semeadura direta e outra o preparo convencional. Essas unidades tiveram o perfil

de solo completamente saturado com água, utilizando-se de intensidade de irrigação superior à capacidade de infiltração de água do solo, por um período de 24 h. Considerou-se como limite superior de disponibilidade de água às plantas (LS) o valor do conteúdo volumétrico de água no solo observado após 24 horas de drenagem (durante esse período, a superfície do solo das unidades experimentais foi recoberta com material impermeável, para impedir a perda de água do solo por evaporação), conforme método proposto por Carlesso (1995).

A partir dos 27 DAE, as unidades experimentais submetidas ao déficit hídrico não receberam água, o que caracterizou o estabelecimento do início do déficit hídrico terminal às plantas de milho. Essas unidades foram protegidas das precipitações pluviais por uma cobertura fixa, estruturada em arcos e recoberta por uma lona de polivinil semitransparente. A cobertura era acionada somente momentos antes da ocorrência de precipitações pluviais.

O armazenamento de água no solo foi calculado para a camada de solo denominada de “superficial”, formada pelos horizontes Ap, A<sub>1</sub> e AB (0–0,70 m); para a camada de solo denominada de “subsuperficial”, formada pelos horizontes Bt<sub>1</sub> e Bt<sub>2</sub> (0,70–1,43 m); e para o total do perfil do solo, somando-se as duas camadas de solo (0–1,43 m). O armazenamento de água no solo foi obtido pelo produto do conteúdo volumétrico de água e a espessura de cada camada considerada. A lâmina média de água armazenada nas diferentes camadas de solo, entre os 25 e os 97 DAE, foi obtida pela razão entre o somatório das lâminas observadas em cada camada e o número de avaliações realizadas.

A extração de água do solo foi determinada nas unidades experimentais em que as plantas de milho foram submetidas a déficit hídrico, considerando-se a variação da umidade entre leituras consecutivas da sonda de nêutrons, até a profundidade de 1,43 m. A extração diária de água pelas plantas de milho foi estimada pela razão entre a extração de água do solo e o número de dias entre duas leituras consecutivas da sonda de nêutrons. A extração acumulada de água pelas plantas de milho foi obtida pelo somatório da extração diária de água ocorrida entre os 27 e os 97 DAE, em ambos os anos analisados.

A área foliar foi determinada em todas as folhas da planta, desde a emergência destas folhas no cartucho até o aparecimento da bainha, e obtida pelo produto do comprimento e da largura máxima multiplicada pelo fator 0,75. O índice de área foliar (IAF) das plantas foi calculado a partir da razão entre a área foliar total da planta e a superfície do solo coberta por essa planta.

A análise estatística foi realizada utilizando-se o programa estatístico SOC/NTIA, determinando-se a análise da variância e comparando os tratamentos por meio dos testes F e Tukey a 5 %.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 2 são apresentados os valores de precipitação pluvial, ETm, lâmina de irrigação e número de irrigações aplicadas desde a emergência até 109 DAE (1999/00) e 122 DAE (2000/01). No período inicial de desenvolvimento das plantas, foram aplicadas lâminas de irrigação menores (8 mm), porém com maior frequência, em razão da escassez das precipitações pluviais e para possibilitar a emergência e desenvolvimento inicial uniformes, em ambos os anos.

Nas irrigações do ano agrícola 1999/00, não foram computadas duas irrigações sucessivas de 72 e 63 mm, aos 25 e 27 DAE, respectivamente, as quais foram aplicadas para elevar o conteúdo de água no solo ao limite superior de disponibilidade de água às plantas, antes da imposição do déficit hídrico. No ano 2000/01, o déficit hídrico foi imposto logo após a ocorrência de uma precipitação pluvial de 58 mm. Os dados apresentados no quadro 2 demonstram que o total das precipitações foi superior aos da ETm da cultura, em ambos os anos estudados. Entretanto, houve a necessidade de aplicação de irrigação suplementar, principalmente devido à distribuição irregular dessas precipitações pluviais. O milho é uma cultura de grande exigência hídrica, em função da área foliar da cultura, principalmente. Portanto, ao longo do ciclo, geralmente há necessidade de suplementação hídrica, para evitar diminuição do rendimento de grãos. O grande volume de precipitações pluviais foi responsável, também, pela diminuição nos valores da ETm no primeiro ano de cultivo, basicamente em razão do elevado número de dias nublados e com baixa insolação. De acordo com Matzenauer et al. (1981), na Depressão Central do Rio Grande do Sul, a ETm média do milho, da semeadura à maturação fisiológica, foi de 573 mm, em quatro anos de experimento. Em um Argissolo, Oliveira et al. (1993) observaram ETm acumulada de 455 mm, entre 22 e 95 DAE da cultura do milho. De acordo com Nied et al. (2005), semeaduras realizadas em outubro, em média, apresentam maior probabilidade de ocorrência de deficiências hídricas em Santa Maria, uma vez que o subperíodo compreendido entre a antese e o início de enchimento do grão culmina com a menor ocorrência de chuva nessa região.

A lâmina de água armazenada na camada superficial de solo não diferiu nos sistemas de manejo do solo, em nenhuma data de avaliação, nos dois anos avaliados (Figura 1). No final do período de avaliação no primeiro ano, a lâmina de água armazenada na camada superficial do solo foi de 123 e 120 mm para semeadura direta e preparo convencional, respectivamente. A lâmina de água armazenada na camada superficial (0–0,7 m) do solo no final do período de cultivo em 2000/01 foi de 112 mm, para os dois sistemas de manejo, embora o índice de área foliar tenha sido maior no preparo convencional (Figura 2). Os resultados evidenciam que a maior perda de água na superfície do solo no preparo convencional foi compensada por uma extração de água mais efetiva neste sistema de manejo, que possivelmente tenha sido causada pelo crescimento inicial mais acelerado das plantas cultivadas neste sistema, principalmente no ano agrícola 2000/01. Esses dados estão em desacordo com os encontrados por Farahani et al. (1998) e Bragagnolo & Mielniczuk (1990), os quais observaram maior conteúdo de água na camada superficial do solo sob semeadura direta, em relação ao cultivado em preparo convencional. Entretanto, Tollner et al. (1984) e Zhai et al. (1990) também não encontraram diferenças no conteúdo de água do solo entre os sistemas de manejo, observando que a influência do manejo sobre as características hídricas do solo depende das condições climáticas e das características deste. Segundo Azooz et al. (1996), as maiores diferenças na retenção de água entre sistemas de manejo ocorrem nas camadas superficiais do solo, possivelmente devido à sua compactação, diminuindo o número de macroporos no sistema de semeadura direta.

A quantidade de resíduos vegetais depositados sobre a superfície do solo por ocasião do seu preparo e semeadura foi de 7,2 e 5,8 Mg ha<sup>-1</sup>, nos anos de 1999/00 e 2000/01, respectivamente. O efeito dos resíduos vegetais depositados sobre a superfície na umidade do solo depende da quantidade, forma de distribuição e natureza dos resíduos (Streck et al., 1994; Model et al., 1995). Esse efeito diminui à medida que a cultura aumenta sua área foliar e intercepta uma fração cada vez maior de radiação solar, ao mesmo tempo em que aumenta a extração de água do solo.

**Quadro 2. Valores de precipitação pluvial, evapotranspiração máxima acumulada (ETm) da cultura, lâmina total de irrigação e número de irrigações aplicadas durante o desenvolvimento de plantas de milho cultivadas nos sistemas plantio direto e convencional, em dois anos de cultivo. Santa Maria, RS, 2006**

Ano agrícola	Precipitação pluvial	ETm	Irrigação	Nº de irrigações
	mm			
1999/00	628	428	250	18
2000/01	822	487	120	12

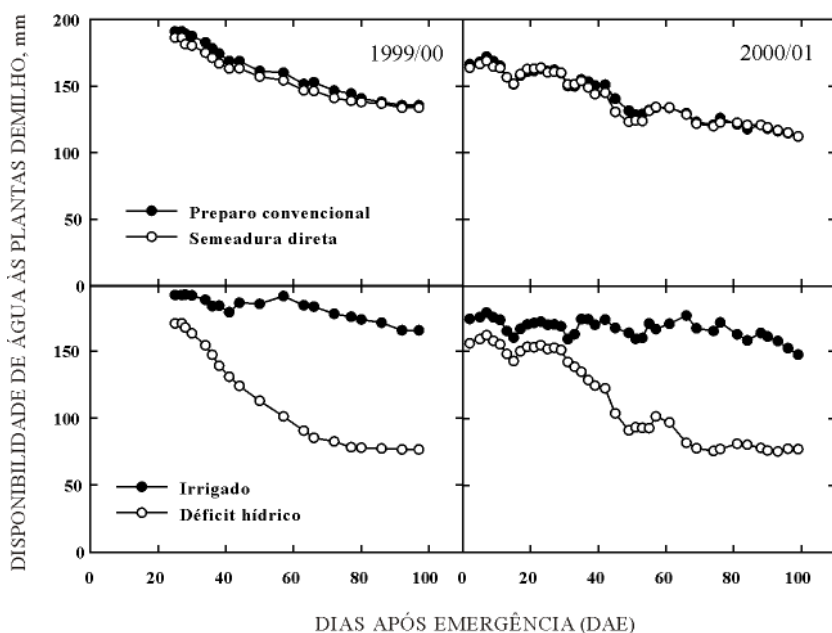


Figura 1. Disponibilidade de água às plantas de milho cultivadas em dois sistemas de manejo (semeadura direta e preparo convencional) e submetidas a dois manejos da água de irrigação (irrigado e déficit hídrico), durante os anos agrícolas 1999/00 e 2000/01. Santa Maria, RS, 2006.

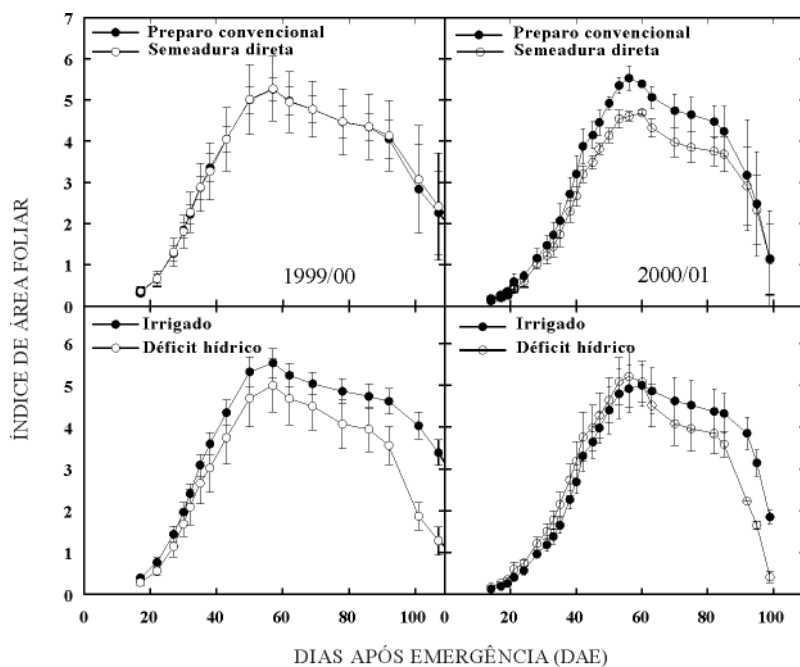


Figura 2. Índice de área foliar de plantas de milho cultivadas sob sistema semeadura direta e preparo convencional, irrigadas e submetidas a déficit hídrico, durante os anos agrícolas 1999/00 e 2000/01. As barras verticais representam o desvio-padrão ( $P \leq 0,05$ ). Santa Maria, RS, 2006.

Melo Filho & Silva (1993) encontraram, na profundidade de 0,25 m de um Argissolo, maior conteúdo de água na semeadura direta em relação ao preparo convencional, nos 30 dias iniciais do ciclo do milho, atribuindo esse fato à presença de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, os quais reduziram

as perdas de água por evaporação. Após esse período, verificaram que o conteúdo de água no solo sob preparo convencional passou a ser maior, atribuindo o fato à quebra de capilaridade causada pela mobilização do solo nesse sistema e à redução da cobertura deste na semeadura direta.

Em preparo convencional, as plantas de milho tendem a apresentar crescimento mais rápido nos estádios iniciais, principalmente devido à liberação antecipada do nitrogênio proveniente da mineralização da matéria orgânica e ao maior desenvolvimento radicular em volume e extensão. Na semeadura direta, por outro lado, grande parte do nitrogênio fica imobilizada pelos microrganismos.

A contribuição da manutenção dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo na diminuição das perdas de água por evaporação parece ter sido pequena, tanto no ano agrícola 1999/00 como em 2000/01. A evaporação da água das camadas superficiais é influenciada pela condutividade hidráulica do solo e pela sua capacidade de retenção de água. Dalmago (2004) encontrou maior perda de água por evaporação na superfície do solo em preparo convencional, em relação àquela verificada na semeadura direta somente em avaliações realizadas após a precipitação ou irrigação (até dois dias após). Depois disso, a evaporação da superfície do solo passou a ser cerca de 26 % maior em sistema de semeadura direta, atribuindo-se isso aos valores mais elevados do conteúdo volumétrico de água no solo neste sistema de manejo.

A semelhança entre os valores da água disponível às plantas durante o ano agrícola 2000/01 pode ser parcialmente explicada pela maior área foliar apresentada pelas plantas de milho cultivadas no preparo convencional, a partir de 21 DAE (Figura 2). Plantas de milho cultivadas sob semeadura direta apresentaram, em média, atraso de quatro dias na emissão de folhas novas, em relação às cultivadas no sistema convencional.

Na análise dos resultados da disponibilidade de água às plantas de milho na camada superficial nos dois manejos da água de irrigação utilizados (Figura 1), observaram-se diferenças significativas a partir de 25 DAE (1999/00) e 35 DAE (2000/01), em que o solo

sob déficit hídrico apresentava uma lâmina de água armazenada inferior àquela do solo irrigado.

A redução na disponibilidade de água às plantas na camada superficial do solo com manejo da água de irrigação com imposição de déficit hídrico terminal às plantas de milho foi de 54 e 48 % em relação ao solo sob manejo irrigado, nos anos agrícolas 1999/00 e 2000/01, respectivamente.

Na figura 3 é apresentada a extração acumulada de água pelas plantas de milho submetidas a déficit hídrico, nos sistemas de semeadura direta e preparo convencional. Não foi observada diferença estatística na extração acumulada de água entre os sistemas de manejo, em nenhuma data de avaliação, nos dois anos estudados.

De acordo com a inclinação das curvas de extração de água do solo (Figura 3), pode-se inferir que, entre os 42 e 48 DAE, no ano 2000/01, houve rápido incremento na extração de água em ambos os sistemas de manejo. Esse período coincidiu com o estágio de máximo desenvolvimento vegetativo das plantas (Figura 2) e com o sistema radicular com a máxima extensão e volume, podendo extrair maior volume de água. Entre os 48 e 60 DAE, nos dois anos, a inclinação das curvas foi menor do que no período inicial de desenvolvimento, e no último segmento praticamente não houve incremento na extração de água.

O comportamento das curvas de extração acumulada de água pelas plantas de milho (Figura 3) é característico de situações com déficit hídrico prolongado. Em situações em que a disponibilidade de água às plantas de milho é constante e uniforme durante o ciclo da cultura, as maiores extrações diárias são observadas no período de maior IAF. Isso foi evidenciado no ano agrícola 2000/01, quando ocorreu aumento na extração de água imediatamente após a aplicação do déficit hídrico, o que pode ser considerado uma resposta fisiológica das plantas à restrição de água no solo.

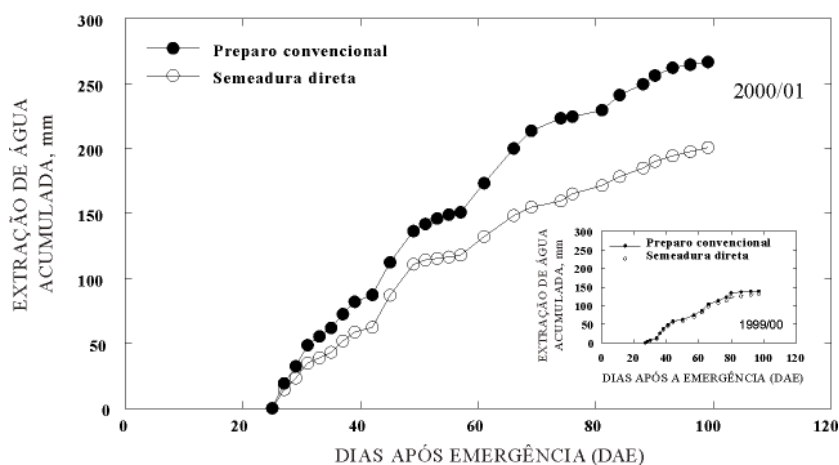


Figura 3. Extração acumulada de água por plantas de milho submetidas a déficit hídrico terminal e cultivadas em sistemas de cultivo plantio direto e convencional, em dois anos de cultivo. A figura menor, inserida no gráfico principal, corresponde ao ano agrícola 1999/00. Santa Maria, RS, 2006.

Apesar de não terem sido observadas diferenças estatísticas na extração de água entre os sistemas de manejo adotados em nenhuma data de avaliação, a extração de água acumulada pelas plantas, aos 97 DAE, foi de 139 mm para o preparo convencional, 6 % superior aos 131 mm extraídos na semeadura direta, no ano agrícola 1999/00. No ano agrícola 2000/01, a extração de água no preparo convencional foi de 267 mm, 33 % superior à da semeadura direta (201 mm). Esses dados estão diretamente relacionados aos valores de IAF (Figura 2) encontrados para os dois sistemas de manejo do solo e de irrigação. Os fatores que podem ter influenciado o aumento da extração de água do solo após os 60 DAE no preparo convencional são a maior energia de retenção de água na semeadura direta e o maior índice de área foliar no preparo convencional. O aumento de área foliar significa aumento de energia absorvida pelas folhas, a qual deve ser gasta nos processos de crescimento e desenvolvimento, em atendimento à evapotranspiração. O aumento de área foliar permite maior interceptação da radiação solar, elevando a demanda de água pela cultura e, por conseguinte, a extração de água do solo, o que pode ser observado nas figuras 2 e 3.

O comportamento das plantas cultivadas em situação de deficiência hídrica depende da intensidade com que ocorre esse déficit e da adaptação das plantas às situações adversas. Em muitas situações e quando a falta de água ocorre de maneira gradativa, as plantas desenvolvem mecanismos que permitem a obtenção de produtividades razoáveis, mesmo em condições adversas de teor de água no solo. Autores como Davies & Zhang (1991) relatam que as raízes das plantas detectam as condições adversas ao crescimento radicular, por meio do qual as plantas controlam o crescimento e a expansão foliar, resistindo mais ao déficit hídrico.

## CONCLUSÕES

1. Os sistemas de manejo semeadura direta e preparo convencional não diferiram quanto ao armazenamento e à disponibilidade de água às plantas de milho, em dois anos consecutivos de cultivo em um Argissolo Vermelho.

2. O índice de área foliar de plantas de milho submetidas a déficit hídrico terminal mostrou-se diretamente relacionado à extração de água na camada superficial do solo, sob semeadura direta e preparo convencional, em dois anos consecutivos de cultivo.

## LITERATURA CITADA

AZOOZ, R.H.; ARSHAD, M.A. & FRANZLUEBBERS, A.J. Pore size distribution and hydraulic conductivity affected by tillage in Northwestern Canada. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60:1197-1201, 1996.

BERLATO, M.A. As condições de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A. & MATZENAUER, R. *Agrometeorologia aplicada à irrigação*. Porto Alegre, EDUFGRS, 1992. p.11-23.

BRAGAGNOLO, N. & MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:369-374, 1990.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: Água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. *Ci. Rural*, 25:183-188, 1995.

CARLESSO, R.; PEITER, M.X.; CHRISTOFARI, C.P.; WOLSCHICK, D. & PETRY, M.T. Manejo da irrigação do milho a partir da evapotranspiração máxima da cultura. *R. Bras. Eng. Agríc.*, 5:15-23, 2000.

DALMAGO, G.A. Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004. 245p. (Tese de Doutorado)

DAO, T.H. Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltration and storage. *Soil Sci. Am. J.*, 57:1586-1595, 1993.

DAVIES, W.J. & ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol.*, 42:55-76, 1991.

DOORENBOS, J. & KASSAN, A.H. Efectos del agua el rendimiento de los cultivos. Roma, FAO, 1979. 212p. (Riego y Drenaje, 33)

FARAHANI, H.J.; PETERSON, G.A.; WESTFALL, D.G.; SHERROD, L.A. & AHUJA, L.R. Soil water storage in dryland cropping systems: The significance of cropping intensification. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62:984-991, 1998.

FIORIN, J.E.; REINERT, D.J. & ALBUQUERQUE, J.A. Armazenamento de água no solo e crescimento e produção do milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:249-255, 1997.

FRANZLUEBBERS, A.J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil Till.*, 66:197-205, 2002.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. *Adv. Soil Sci.*, 1:277-294, 1985.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A. & RIBOLDI, J. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. *R. Bras. Agron.*, 3:85-92, 1995.

MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S.L.; BERGAMASCHI, H. & SUTILI, V.R. Evapotranspiração do milho (*Zea mays* L.) e sua relação com a evaporação do tanque classe A. *Agron. Sul Riograndense*, 17:273-295, 1981.

MELO FILHO, J.F. & SILVA, J.R.C. Erosão, teor de água no solo e produtividade do milho em plantio direto e preparo convencional de um Podzólico Vermelho-Amarelo no Ceará. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:291-297, 1993.

MODEL, N.S.; LEVIEN, R. & FROSI, R.A. Água armazenada e temperatura do solo em oito sistemas de manejo do solo. *Pesq. Agropec. Gaúcha*, 1:41-49, 1995.



- MORENO, J.A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e colonização, Seção de Geografia, 1961. 46p.
- NIED, A.H.; HELDWEIN, A.B.; ESTEFANEL, V.; SILVA, J.C. & ALBERTO, C.M. Épocas de semeadura do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no Município de Santa Maria, RS, Brasil. *Ci. Rural*, 35:995-1002, 2005.
- OLIVEIRA, F.A.; SILVA, J.I.S. & CAMPOS, T.G. Evapotranspiração e desenvolvimento radicular do milho irrigado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 28:1407-1415, 1993.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A. & SEDIYAMA, G.C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba, FEALQ, 1997. 183p.
- REINERT, D.J.; MUTTI, L.S.M.; ZAGO, A.; AZOLIN, M.A.D. & HOFFMANN, C.L. Efeito de diferentes métodos de preparo do solo sobre a estabilidade de agregados em solo Podzólico Vermelho-Amarelo. *Ci. Rural*, 14:19-25, 1984.
- SECCO, D.; DA ROS, C.O.; SECCO, J.K. & FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:407-414, 2005.
- STRECK, N.A.; SCHNEIDER, F.M. & BURIOL, G.A. Modificações físicas causadas pelo mulching. *R. Bras. Agron.*, 2:131-142, 1994.
- TOLLNER, E.W.; HARGROVE, W.L. & LANGDALE, G.W. Influence of conventional and no-tillage practices on soil physical properties in the southern Piedmont. *J. Soil Water Conserv.*, 39:73-76, 1984.
- TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. & SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:301-309, 1998.
- ZHAI, R.; KACHANOSKI, R.G. & VORONEY, R.P. Tillage effects on the spatial and temporal variations of soil water. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:186-192, 1990.