



**Revista Brasileira de
Engenharia Agrícola e Ambiental**
v.13, n.4, p.397-405, 2009
Campina Grande, PB, UAEEA/UFPG – <http://www.agriambi.com.br>
Protocolo 164.07 – 19/10/2007 • Aprovado em 22/12/2008

Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional¹

Lucieta G. Martorano², Homero Bergamaschi³, Genei A. Dalmago⁴, Rogério T. de Faria⁵, João Mielniczuk⁶ & Flávia Comiran⁷

RESUMO

Indicadores da condição hídrica do solo foram avaliados em um experimento de campo, em Eldorado do Sul, RS, Brasil. Utilizou-se um Argissolo Vermelho Distrófico típico, utilizado durante oito anos em sistema plantio direto e preparo convencional. A cultivar de soja Fepagro RS-10, foi semeada em 20/11/2003, com 0,40 m entre fileiras e 300 mil plantas por hectare, em tratamentos irrigados e não irrigados. Variáveis do sistema solo-planta-atmosfera foram monitoradas e a ênfase neste trabalho visou aos períodos secos; monitoraram-se, também, variações no potencial matricial da água no solo, entre 0,075 e 1,20 m de profundidade. Verificou-se que o tempo de secagem do solo foi mais prolongado nas parcelas sob plantio direto indicando, em períodos de secagem, potenciais matriciais menos negativos, menores temperaturas máximas e menor amplitude térmica que em preparo convencional; também, a altura de plantas e o índice de área foliar apontaram que maiores estoques de água em plantio direto podem reduzir efeitos do déficit hídrico em soja cultivada neste sistema de manejo. Esses indicadores reforçam a importância da análise integrada de respostas das culturas em um enfoque sistêmico de manejo de solo e água.

Palavras-chave: água no solo, manejo do solo, déficit hídrico, potencial matricial, temperatura do solo

Indicators of soil water condition for soy bean under no-tillage and conventional tillage

ABSTRACT

Soil water condition indicators were assessed in a field experiment conducted in Eldorado do Sul, Brazil. The Paleudult soil of the experimental area has been managed during eight years under no-tillage and conventional tillage. Soy bean cultivar Fepagro RS-10 was sown on November 20, 2003, with 0.40 m of row spacing and 300,000 plants ha⁻¹, with and without irrigation. Variables of soil, plant and atmosphere were monitored with emphasis during drought periods. Variations of the matrix water potential were monitored from 0.075 to 1.20 m of soil depth. A regular delay was observed in the soil drying process in no-tilled plots, in particular during drought periods, indicating higher water storage in no-tillage than in conventional tillage. Higher matrix water potential, lower maximum temperature and smaller thermal amplitude were observed in no-tillage, in comparison to the conventional tillage. Indirect indicators, such as plant height and leaf area index, were in accordance to the higher water storage in no-tilled plots, due to reductions of water deficit in plants. This set of indicators demonstrated the importance of evaluating crop responses in a systemic approach to soil and water management

Key words: soil water, soil tillage, water deficit, matrix water potential, soil temperature

¹ Parte da Tese de Doutorado da primeira autora, concluída na Universidade Federal do Rio Grande do Sul

² Embrapa Amazônia Oriental, Travessa Eneas Pinheiro, s/n, Marco, CEP 66095-100, Belém, PA. Fone: (91) 3204-1185. E-mail: luty@cpatu.embrapa.br

³ Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia/UFRGS, Av. Bento Gonçalves 7712, Agronomia, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS. Fone(s): (51) 3308-6255. E-mail: homerobe@ufrgs.br. Bolsista do CNPq

⁴ Embrapa Trigo, Rodovia BR 285, km 294, CEP 99001-970, Passo Fundo, RS. Fone(s): (54) 3316-5800; 3316-5801. E-mail: dalmago@cnpt.embrapa.br. C.P. 451

⁵ IAPAR, Rodovia Celso Garcia Cid km 375, Trés Marcos, CEP 86047-902, Londrina, PR. Fone(s): (43) 3376-2000; 3376-2101. E-mail: rtfaria@iapar.br. C.P. 481, Bolsista do CNPq

⁶ Departamento de Solos/UFRGS, Av. Bento Gonçalves 7712, Agronomia, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS. Fone(s): (51)3308-6001; 3308-7468. E-mail: joaomiel@terra.com.br. Bolsista do CNPq

⁷ Faculdade de Agronomia/UFRGS. Fone(s): (51)3308-6001; 3308-7468. E-mail: flaviacomiran@pop.com.br. Bolsista do CNPq

INTRODUÇÃO

A dinâmica da água no solo é influenciada por características como textura, porosidade, teor de argila e matéria orgânica, que determinam a retenção no perfil por adsorção e capilaridade, definindo o estado energético da água e, também, por fatores externos, como precipitação pluvial, radiação solar, temperatura, evapotranspiração da cultura, índice de área foliar, densidade de plantas e sistema de manejo do solo. Esses fatores podem atuar de forma diferenciada em período de secagem do solo e fornecer indicadores capazes de auxiliar o planejamento e a condução de cultivos agrícolas.

Em cultivos não irrigados existe forte dependência da cultura ao regime pluvial, embora outros fatores possam ser limitantes, como o potencial genético, fertilidade do solo, sanidade da planta, radiação solar, temperatura e vento, entre outros. No Rio Grande do Sul, a variabilidade interanual das chuvas tem sido apontada como a principal causa das oscilações de rendimento de grãos (Bergamaschi, 1989; Bergamaschi et al., 2004) nas áreas não irrigadas. Estiagens nos meses de janeiro a março são freqüentes e, geralmente, coincidem com o período crítico das culturas de verão (floração e enchimento de grãos). Elas têm sido apontadas como fator limitante ao rendimento da soja no Estado (Berlato & Fontana, 1999; Matzenauer et al., 2003).

Outro fator relevante quanto aos estoques de água no solo, é o sistema de manejo adotado, o qual pode atuar de forma decisiva na distribuição hídrica, no perfil e nas interações solo-planta-atmosfera, ao longo do tempo. Estudos de longa duração apontam que isto se deve às alterações físicas que ocorrem em função do sistema de manejo adotado; por exemplo, o preparo convencional promove a inversão das camadas aráveis do solo por aração e gradagens, ocasionando aumento da macroporosidade do solo em relação à microporosidade. As modificações das condições físico-hídricas do solo, como consequência do sistema de manejo, ocorrem da superfície para o interior do perfil. Abreu et al. (2004) observaram que o solo sob plantio direto apresentou maior volume de macroporos entre 0,02 e 0,05 μm , o que favoreceu a condutividade hidráulica saturada, conforme observado também por Sidiras et al. (1984) e Azooz & Arshad (1996); no entanto, efeitos positivos do sistema de manejo na estrutura do solo foram notados por Klein & Libardi (2002) até a profundidade de 0,4 m. A atividade das raízes no sistema plantio direto influenciam a manutenção da estrutura do solo e a condutividade hidráulica ao longo do tempo (Carof et al., 2007).

Para Islam & Weil (2000) os indicadores de qualidade do solo podem ser estratificados em três grupos: efêmeros que sofrem alterações rapidamente no tempo, em resposta ao sistema de manejo, como a acidez, a disponibilidade de nutrientes e a compactação do solo. Os grupos intermediários dependem da influência dos processos que ocorrem no solo, como teor de carbono orgânico total, agregação e biomassa microbiana. Os considerados permanentes possuem características prótop do solo, como profundidade, textura e mineralogia.

Ao contemplar a diversificação de espécies cultivadas, a rotação de culturas, a mobilização do solo somente na linha de semeadura e a cobertura permanente da superfície, concluiu-se que o plantio direto tende a favorecer a porosidade de retenção de água e contribuir para a melhoria da condição hídrica. Em Eldorado do Sul, RS, Dalmago (2004) constatou maiores estoques hídricos nas camadas mais superficiais de um Argissolo Vermelho Distrófico típico com sete anos de plantio direto, decorrentes de alterações físico-hídricas, o que se refletiu no avanço da frente de secagem do solo cultivado com milho, mais lento em plantio direto que no preparo convencional, como resultado de maior disponibilidade de água às plantas no solo sob plantio direto.

As condições térmicas do solo também podem ser afetadas pelo sistema de manejo, abalando as trocas de energia na superfície e o fluxo de calor para o interior do perfil, que estão altamente conectados à sua condição hídrica. Em um Latossolo Bruno aluminico câmbico, em plantio direto por 21 anos, no Paraná, Costa et al. (2003) verificaram reduções de 13% (de 27,9 para 24,7 °C) nas temperaturas máximas, em comparação com o preparo convencional; desta forma, estiagens prolongadas, demanda evaporativa elevada, estágio da cultura e sistema de manejo do solo, são fatores condicionantes que podem apontar indicadores da condição hídrica, principalmente na presença de déficits hídricos. Neste trabalho se objetivou avaliar indicadores de água no solo capazes de auxiliar o entendimento de respostas da soja à dinâmica do ambiente (solo e atmosfera), em cultivos não irrigados sob plantio direto e preparo convencional.

MATERIAL E MÉTODOS

Conduziu-se um experimento de campo na safra de 2003/04, em um Argissolo Vermelho Distrófico típico, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - EEA/UFRGS (30° 05' S; 51° 40' W; 40 m de altitude), em Eldorado do Sul, Brasil. Em uma área de 0,5 ha cultivou-se soja (cv. Fepagro RS-10), semeada em 20/11/2003, com espaçamento de 0,40 m entre linhas, em uma população de 300 mil plantas ha^{-1} . A adubação e os tratamentos culturais seguiram recomendações técnicas para a soja no Estado. O clima da região é do tipo Cfa (Köppen), subtropical úmido com verão quente; apresenta temperatura média anual de 19,2 °C e médias mensais entre 13,5 °C (junho) e 24,6 °C (janeiro). A precipitação pluvial média anual é de 1.446 mm, com possibilidade de ocorrência de déficits hídricos de novembro a março, em virtude das flutuações no regime de chuva (Bergamaschi et al., 2003).

Adotou-se um delineamento em faixas com quatro repetições, seguindo-se pressupostos de Hanks et al. (1980), dada a configuração imposta pelos tratamentos de manejo de solo e irrigação, iniciados em 1995, com cultivos de milho no verão e mistura de aveia com ervilhaca no inverno, até a realização deste experimento. Para estabelecer os níveis de irrigação utilizou-se um sistema de aspersão em linha, constituído de 12 aspersores dispostos na direção leste-oeste, na faixa central do experimento, espaçados 6 m entre si; a irrigação

foi efetuada quando era atingido um potencial da água no solo de $-0,03$ MPa a $0,45$ m de profundidade em plantio direto irrigado (PDI). Os dois sistemas de manejo constituíram as parcelas principais e os níveis de água, as subparcelas. Os tratamentos se compunham de dois sistemas de manejo, plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), e dois níveis de água, irrigado (I) e não irrigado (NI).

Dados meteorológicos (precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar global e velocidade do vento) foram coletados em estação automática (Campbell Scientific), localizada ao lado do experimento. Os dados de temperatura e precipitação pluvial foram analisados por decêndios, sendo que a sua contagem foi iniciada na data de semeadura da soja (20/11/03), em que o primeiro decêndio corresponde ao terceiro do mês de novembro, simbolizado por N_3 , e assim, sucessivamente, até o último decêndio de abril (A_3), quando a cultura se encontrava em maturação fisiológica (R_8 , conforme Fehr & Caviness, 1977), ou seja, quando 95% dos legumes alcançaram condições de maturação do grão e coloração típica da cultivar nesse estádio.

Informações relativas ao índice de área foliar (IAF) e rendimento de grãos são apresentadas visando auxiliar a compreensão quanto ao conjunto de evidências obtidas nas avaliações feitas, em períodos de estiagem prolongada. As coletas de plantas se iniciaram com 15 dias após a semeadura, correspondente a oito dias após a emergência da soja (8 DAE). Coletavam-se plantas aleatoriamente, em $0,5$ m de uma linha, cortando-as rente ao solo e condicionando-as em sacos plásticos para posterior separação dos folíolos. A área foliar foi determinada em planímetro fotoelétrico (Li - 3000), calculando-se o índice de área foliar (IAF) pela razão entre a área de folhas (m^2) e a área do terreno (m^2). Na maturação fisiológica (R_8) foram colhidos, por bloco, os legumes da soja contidos ao longo de 8 m de linha, reservados para esta operação, em duas linhas centrais de plantas. A partir dos grãos coletados, determinou-se a umidade e se corrigiu a massa, para 13% de umidade.

Para monitorar a dinâmica hídrica do solo se instalaram quatro baterias de tensiômetros de mercúrio por sistema de manejo do solo, ou seja, duas nos tratamentos irrigados e duas nos não irrigados. Cada sistema de manejo continha duas baterias com tensiômetros nas profundidades, sendo uma de $0,075$, $0,15$, $0,30$, $0,45$, $0,60$, $0,75$, $0,90$ e $1,05$ m e outra com as mesmas profundidades mas se lhe adicionando um tensiômetro a $1,20$ m. As leituras foram feitas diariamente, por volta das 9 h (horário local). Obteve-se, de posse dos valores de potencial matricial, a umidade volumétrica correspondente, com base nas curvas características de retenção de água no solo, em plantio direto e preparo convencional, determinadas por Dalmago (2004), na mesma área experimental. O programa de Dourado Neto et al. (1995) foi utilizado para calcular a umidade volumétrica, usando-se a Eq. 1, de van Genuchten (1980):

$$\theta_v = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[(1 + \alpha \Psi_m)^n]^m} \quad (1)$$

em que a umidade volumétrica ($cm^3 cm^{-3}$) está representada por θ_v e as umidades residual e de saturação por θ_r e θ_s , respectivamente; o potencial matricial da água no solo (kPa) é representado por Ψ_m e os coeficientes (adimensional) pelas letras α , n e m . Para identificar efeitos do sistema de manejo, representaram-se os valores nas profundidades entre $0,075$ e $0,45$ m (Tabela 1). Neste trabalho foram apresentados e discutidos os dados correspondentes aos tratamentos não irrigados, ou seja, em preparo convencional não irrigado (PCNI) e sistema plantio direto não irrigado (PDNI).

Com sensores formados de pares termoeletrônicos (cobre-constantan), monitorou-se o regime térmico do solo. Os sensores foram instalados nas profundidades de $2,5$ e $5,0$ cm e conectados a um sistema automático de aquisição de dados. Apresentaram-se, também, os valores de temperaturas máxima e mínima do solo ocorridos durante o primeiro período de secagem do solo, em período vegetativo; neste período de secagem a cultura não havia coberto totalmente o solo. Nos dados de umidade volumétrica do solo e de rendimento de grãos aplicou-se a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, em nível de 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o ciclo da cultura a radiação solar global diária (R_s) variou de $8,8$ a $27,9$ MJ m^{-2} (Figura 1) com média de $20,7$ MJ m^{-2} , valor semelhante à média climatológica para o período na região, isto é, cerca de 20 MJ m^{-2} (Bergamaschi et al., 2003). No decorrer do ciclo da cultura houve dois picos de radiação solar global, um no primeiro decêndio de janeiro (J_1), da ordem de 27 MJ m^{-2} , e o outro no segundo decêndio de março (M_2), próximo a 25 MJ m^{-2} , valores que corroboram com os apresentados por Cargnelutti Filho et al. (2004), os quais indicam que no Rio Grande do Sul as maiores médias decendiais de radiação solar global diária ocorrem nos meses de dezembro e janeiro com médias variando entre $19,7$ e $20,9$ MJ m^{-2} .

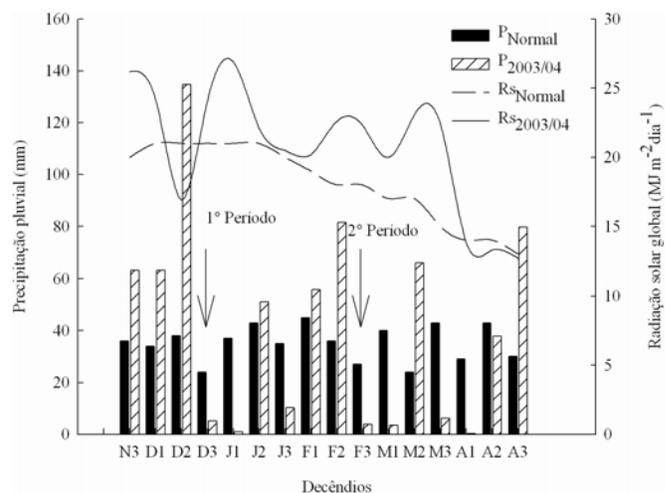


Figura 1. Precipitação pluvial (P) e radiação solar global (Rs) por decêndio no ano agrícola 2003/04 e dados da normal climatológica por decêndio, em Eldorado do Sul.

A temperatura média do ar foi, durante o ciclo da soja, de 22 °C, sendo as médias das temperaturas máximas de 29 °C e das mínimas de 16 °C. No último decêndio de novembro (N₃) as temperaturas máximas se apresentaram da ordem de 32,4 °C; esses dados apontam que, naquele período, a cultura se encontrava sob alta demanda evapotranspiratória, necessitando de maiores estoques de água no solo, apesar da pouca área foliar. Analisando outras variáveis meteorológicas durante o ciclo da soja, não se verificou grande variabilidade na umidade relativa do ar nem no regime de vento. Em média, a umidade foi de 77%, sendo o segundo decêndio de março (M₂) o mais úmido, com 83% de umidade. A velocidade do vento, em termos médios, foi de 2,0 m s⁻¹, e o segundo decêndio de janeiro (J₂) com ventos de 2,7 m s⁻¹.

Durante o período experimental, entre a semeadura da soja (20/11/03) e a maturação fisiológica (30/04/04), a precipitação pluvial foi de 663 mm, com variações na sua distribuição diária, ao longo do ciclo da cultura. Observou-se, no terceiro decêndio de novembro (N₃) e nos dois primeiros de dezembro (D₁ e D₂), que a oferta pluvial foi de 261 mm, com média de 84 mm em cada decêndio. Entre o terceiro decêndio de dezembro (D₃) e o primeiro de janeiro (J₁) houve apenas 6,1 mm, apontando baixa oferta pluvial à cultura.

Ao se comparar os valores climatológicos apresentados por Bergamaschi et al. (2003) com os ocorridos durante o experimento (Figura 2), infere-se que neste período a oferta pluvial esteve abaixo da média decendial da região, que é de 30 mm; entre o segundo e o terceiro decêndio de janeiro (J₂ e J₃) também foi baixa a oferta pluvial (61 mm), em comparação com os dados climatológicos, principalmente no terceiro decêndio de janeiro (J₃). Nos dois primeiros decêndios de fevereiro (F₁ e F₂) choveu acima das médias climatológicas do período, mas no período seguinte (F₃ e M₁) praticamente não choveu, sendo contabilizados apenas 7,4 mm, caracterizando um longo período de estiagem para a soja. A média climatológica decendial supera 27 mm.

O segundo decêndio de março (M₂) apresentou chuvas acima das médias climatológicas; do terceiro decêndio de março (M₃) ao primeiro decêndio de abril (A₁) deu-se novo declínio na oferta pluvial. Associando a oferta pluvial ao primeiro período crítico da soja à condição hídrica, observa-se que nos 30 dias subseqüentes à data de semeadura, que correspondem aos três primeiros decêndios (N₃ a D₂), a oferta pluvial foi superior a 60 mm (Figura 1), indicando a ocorrência de freqüentes eventos de chuvas durante o início de desenvolvimento da cultura.

Martorano (2007) apresentou a evolução temporal do índice de área foliar (IAF) durante o ciclo da soja. Ressalta-se que nos primeiros 30 dias após a emergência (30 DAE), quando a cultura se encontrava com adequada oferta pluvial, as plantas em preparo convencional apresentaram IAF mais elevado que em plantio direto, que pode estar associado à incorporação dos resíduos culturais no solo, disponibilizando o nitrogênio mais rapidamente às plantas em preparo convencional. Em sistema plantio direto os resíduos da cobertura de inverno permanecem na superfície do solo onde, por conseguinte, a mineralização da matéria orgânica ocorre mais lentamente; todavia, nos tratamentos irrigados ocorreu aumento

em IAF no sistema plantio direto, próximo ao período de floração, que pode estar associado aos efeitos na fixação biológica do nitrogênio. Os valores de IAF máximo nos tratamentos irrigados foram superiores a 6,0, e nos não irrigados ficaram em 5,7, em PCNI e 5,6, em PDNI, demonstrando proximidade em termos de IAF máximo nos dois sistemas de manejo do solo, com menores valores nos tratamentos não irrigados. Em todos os tratamentos o IAF máximo ocorreu no estágio R₂, correspondendo à plena floração da cultura.

Com a redução das chuvas no último decêndio de dezembro (D₃) observou-se, na Figura 2, o primeiro período de secagem do solo. Ao se avaliar indicadores do volume de água no solo, constatou-se que no dia 23/12/03, correspondente a 26 dias após a emergência (26 DAE), o preparo convencional não irrigado (PCNI) continha 0,236 cm³ cm⁻³ de umidade, na camada mais superficial (0,075 m), indicando início da secagem do solo nesse sistema de manejo. Constatou-se, na Figura 3, que em sistema plantio direto não irrigado (PDNI) a secagem se iniciou no dia 25/12/03 (28 DAE), apontando 0,270 cm³ cm⁻³ de umidade volumétrica no solo. Comparando-se os dois sistemas de manejo do solo, é nítida a antecipação da secagem em preparo convencional em relação ao sistema plantio direto.

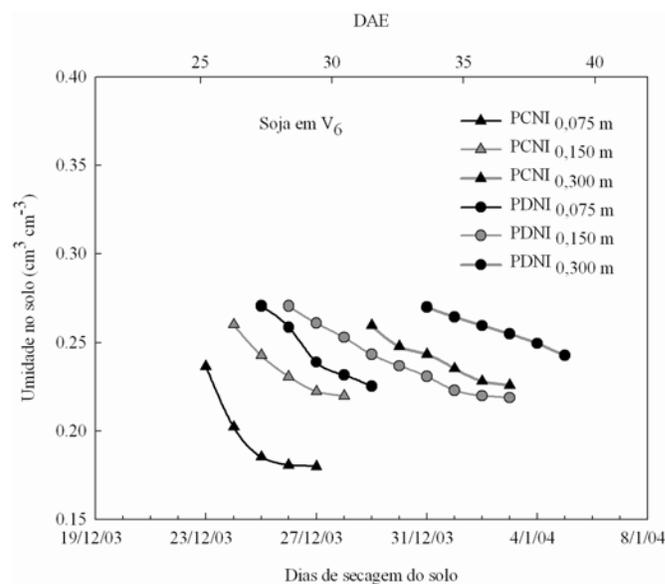


Figura 2. Umidade volumétrica no solo com soja (cv. Fepagro RS-10) sob preparo convencional não irrigado (PCNI) e sistema plantio direto não irrigado (PDNI), nas profundidades de 0,075 a 0,300 m em Eldorado do Sul.

Observando-se os valores correspondentes à umidade no solo nos dias de secagem, notou-se que houve menores teores de umidade em preparo convencional não irrigado (PCNI); por exemplo, no dia 25/12/03 o solo se encontrava com 0,185 cm³ cm⁻³ em PCNI e no dia 26/12/03 (29 DAE) deu-se o rompimento da coluna de mercúrio dos tensiômetros na camada mais superficial (0,075 m), fato só observado em sistema plantio direto no dia 29/12/03 (32 DAE). Esses indicadores apontam que, durante curtas estiagens, há manutenção de maiores estoques hídricos nas camadas mais superficiais do solo em sistema plantio direto.

Na profundidade subsequente de 0,15 m, os tensiômetros atingiram o limite de funcionamento em PCNI no dia 28/12/2003 (31 DAE), enquanto em PDNI este fato só ocorreu no dia 03/01/2004 (37 DAE), reforçando antecipação na frente de secagem do solo em preparo convencional, em relação ao plantio direto, pois em PDNI os tensiômetros funcionaram até o dia 06/01/04 (40 DAE). Evoluindo a análise ao longo do perfil do solo, constatou-se o mesmo padrão de secagem na profundidade de 0,30 m, ou seja, houve avanço mais rápido da frente de secagem em preparo convencional não irrigado (PCNI), em relação ao PDNI. Semelhante padrão de secagem também foi verificado por Dalmago (2004) em experimento com a cultura de milho, na mesma área experimental, indicando que a secagem do solo em preparo convencional se deu mais rapidamente do que no sistema plantio direto, em decorrência da maior armazenagem neste sistema de manejo, em relação ao preparo convencional.

Ao se avaliar os valores representados na Figura 2, porém em termos de potencial matricial, observa-se que após 72 h do último evento de precipitação pluvial (Ym) no período analisado, os tensiômetros na camada mais superficial (0,075 m) registraram valores de -60 kPa em PCNI e em PDNI de -30 kPa, indicando que os potenciais matriciais estavam menos negativos em sistema plantio direto, refletindo menores tensões de água no solo.

Conforme Faria (1987) a faixa hídrica ótima à maioria das culturas se dá entre 0 e -80 kPa, reforçando a antecipação na secagem do solo em PCNI, em relação ao PDNI. O potencial matricial monitorado no experimento com soja ficou em torno de -8 kPa, na capacidade de campo, tanto em sistema plantio direto quanto em preparo convencional. Segundo Reichardt (1988), em solos típicos de regiões tropicais úmidas os potenciais matriciais na capacidade de campo estão entre -10 kPa e -6 kPa. Carlesso (1995) também observou valores de tensão de 10 kPa (potencial matricial de -10 kPa) em solo com textura franco-arenosa. Comparando-se os valores de potencial matricial na capacidade de campo na profundidade de 0,075 m, obtidos por Dalmago (2004) em experimento com a cultura de milho, na mesma área experimental, verificaram-se valores semelhantes apenas em sistema de plantio direto; já em preparo convencional, o autor encontrou valores de -4 kPa.

Procurando-se associar as respostas térmicas do solo ao conteúdo hídrico na camada mais superficial, foram representadas, na Figura 3 (A), as temperaturas máximas e, na Figura 3 (B), as mínimas, correspondentes ao primeiro período de secagem do solo; neste período a cultura se encontrava com índice de área foliar semelhante (IAF H² 1,15), apresentado em Martorano (2007), indicando que o dossel não mostrava evidências de produzir efeitos de gradientes térmicos diferenciados pela cobertura da planta.

No dia 27/12/03, momento em que os tensiômetros atingiram o limite de funcionamento em preparo convencional não irrigado na profundidade de 0,075 m, o gradiente térmico foi de 0,2 °C m⁻¹ em PCI e de 0,1 °C em PDI (Figura 3 A e B). Com a continuidade dos dias sem precipitação pluvial observou-se, no dia 30/12/03, que a temperatura máxima em PCI foi 31,6 °C, na profundidade de 0,025 m e de 31,8 °C a 0,05 m; neste mesmo dia, em sistema plantio direto a máxima foi de 28,9

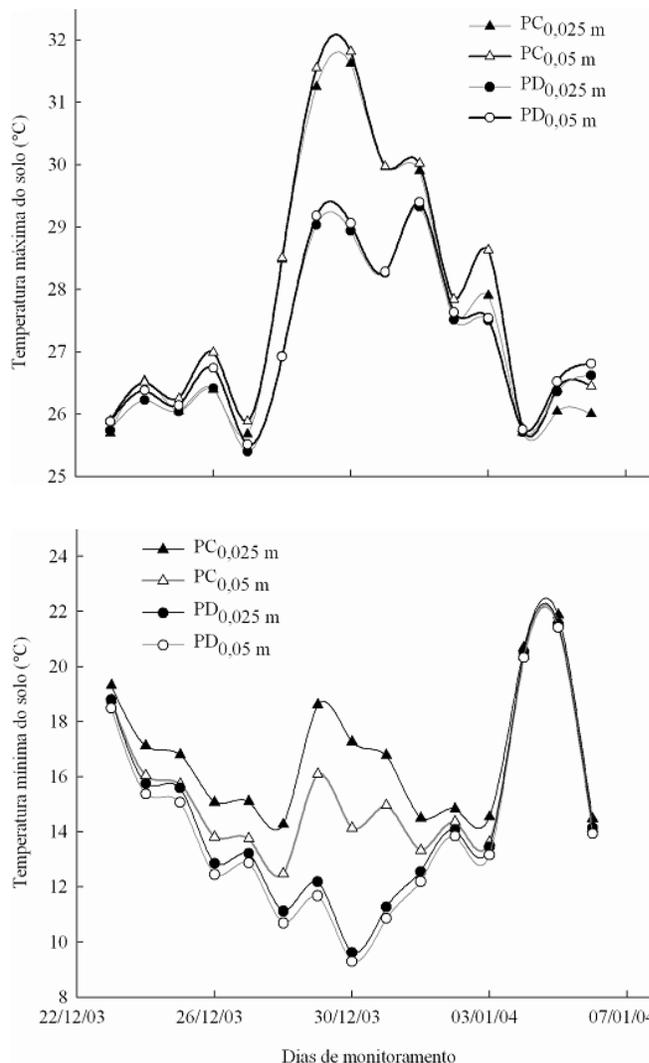


Figura 3. A temperatura (°C) máxima nas profundidades 0,025 e 0,05 m do solo com soja (cv. Fepagro RS-10) em (A) sob preparo convencional (PC) e sistema plantio direto (PD) e em (B) a temperatura (°C) mínima nas profundidades 0,025 e 0,05 m do solo com soja (cv. Fepagro RS-10) sob preparo convencional (PC) e sistema plantio direto (PD) em Eldorado do Sul.

29,0 °C, respectivamente; portanto, na camada mais superficial do solo (0,025 m de profundidade), verificou-se diferença de 2,7 °C entre os dois sistemas de manejo do solo.

A temperatura máxima com valor superior em preparo convencional é um indicador de maiores efeitos térmicos diurnos do fluxo de calor no solo, nesse sistema de manejo em relação ao sistema plantio direto. A atenuação observada nas máximas em sistema plantio direto está associada aos efeitos da palhada e aos maiores teores de água no solo, nas camadas mais superficiais. Evidências de menores variações térmicas diárias em plantio direto comparadas com o preparo convencional foram também detectadas por Salton & Mielniczuck (1995), em Argissolo Vermelho Distrófico. Na mesma área experimental deste trabalho, mas em ano agrícola anterior com a cultura do milho, Dalmago et al. (2004) notaram, nos primeiros 30 dias após a emergência das plântulas, maior aquecimento do solo em preparo convencional em relação ao plantio direto, tanto a 0,025 m quanto a 0,10 m de profundidade.

Valores térmicos superiores em preparo convencional também foram observados por Costa et al. (2003) em que, em média, a temperatura máxima do solo foi 5 °C superior à temperatura em sistema plantio direto; a 0,05 m de profundidade, Licht & Al-Kaisi (2005) observaram, em cultivo de milho, que a temperatura máxima do solo não apresentou diferença estatística significativa entre os três sistemas avaliados mas foi superior em sistema de cultivo em faixas e preparo convencional em relação ao sistema plantio direto. Os autores concluíram que o preparo convencional e o sistema de cultivo em faixas apresentam, devido ao baixo conteúdo de umidade, menor capacidade calorífica e maior condutividade térmica que o sistema plantio direto.

No período de secagem avaliado e se comparando os efeitos noturnos expressos pelas temperaturas mínimas, nota-se maior afastamento entre as isotermas representadas na Figura 3 (B); observando-se o dia 30/12/03, a temperatura mínima em preparo convencional foi cerca de 8 °C mais elevada que em sistema plantio direto, na camada mais superficial (0,025 m), e cerca de 5 °C a 0,05 m de profundidade. As menores variações térmicas em sistema plantio direto apontam para indicadores indiretos de maiores teores de água no solo em razão da alta capacidade calorífica da água.

Tomando-se como referencial de avaliação o outro período crítico da cultura à condição hídrica no solo que vai do início da floração ao enchimento de grãos (R_1 a R_5), procurou-se expressar as condições no segundo período de secagem do solo, em termos de potencial matricial e se constatou que os potenciais matriciais (Y_m) se apresentaram mais negativos em preparo convencional não irrigado (Figura 4 A) em relação ao sistema plantio direto não irrigado (Figura 4 B).

Ao se observar as linhas de potencial matricial ao longo do perfil percebe-se que, entre 0,45 e 0,9 m PDNI, o solo se apresentava mais úmido, naquele período; já em PCNI se notou que entre 0,3 e 1,05 m havia menores teores de umidade que no restante do perfil; aos 73 DAE, a profundidade de 0,30 m no solo em PDNI apresentava Ψ_m de -0,03 MPa, enquanto em PCNI de -0,05 MPa, mostrando que a água em sistema plantio direto estava com menor tensão na matriz do solo, mais facilmente disponível às raízes da soja. Esses indicadores apontam que havia maior armazenagem de água no solo em sistema plantio direto não irrigado (PDNI), conforme pode ser observado nas isolinhas representadas na Figura 4 (B).

Ao longo do perfil do solo, o padrão de distribuição do potencial matricial se apresenta diferenciado, o que pode ser atribuído à maior capacidade de armazenamento de água no solo em plantio direto não irrigado (PDNI), em relação ao preparo convencional não irrigado (PCNI), e à presença de bioporos, conforme Costa et al. (2003). Esses autores apontam melhorias nas propriedades físicas do solo em sistema plantio direto em comparação com o preparo convencional.

Observando-se o padrão de extração de água pela cultura na Figura 4 (A e B), percebe-se que as plantas estavam extraíndo água em maiores profundidades em sistema plantio direto não irrigado; já em preparo convencional as isolinhas se agrupam nas profundidades abaixo de 0,45 m, confirmando diferenças no padrão de extração de água pela soja, nos dois

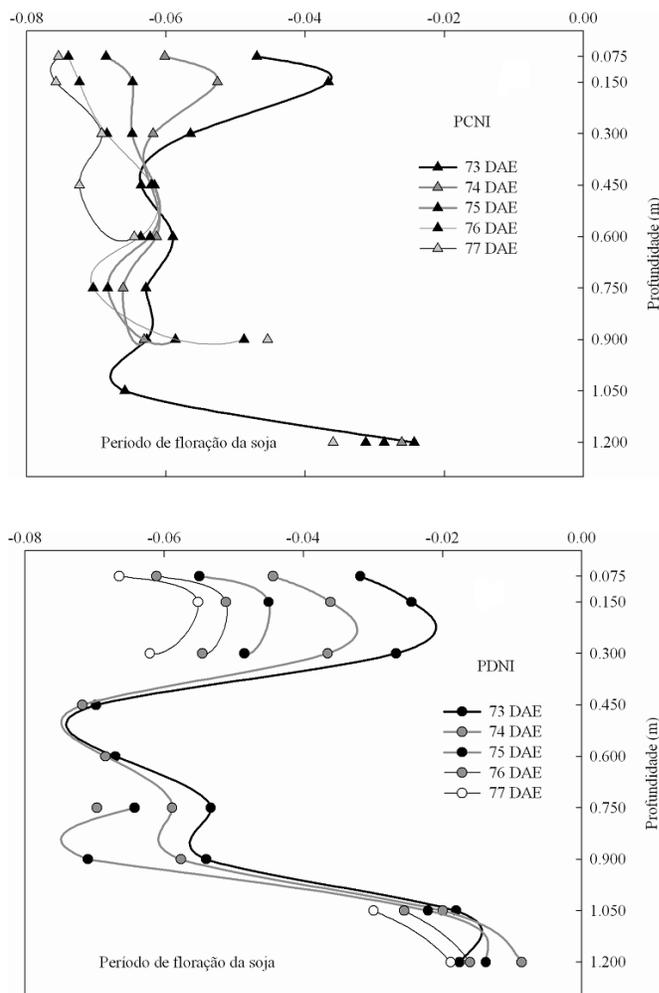


Figura 4. Potencial matricial da água no solo cultivado com soja (cv. Fepagro RS-10) em (A) preparo convencional não irrigado (PCNI) e (B) plantio direto não irrigado (PDNI) entre as profundidades de 0,075 e 1,20 m e de 73 a 77 dias após a emergência (DAE), em Eldorado do Sul. EEA/UFRRS, 2003/04

sistemas de manejo avaliados. Evidências observadas por Assis & Lanças (2005) apontaram um aumento na macroporosidade do solo, após 12 anos de sistema plantio direto, e redução na microporosidade, na camada entre a superfície e a profundidade, de 0,05 m; notaram, ainda, maior velocidade de infiltração tridimensional de água e condutividade hidráulica do solo saturado em 12 anos sob sistema plantio direto, semelhante à condição do solo com mata nativa (com mais de 40 anos sem cultivo ou outra atividade).

Em um Latossolo Vermelho Distrófico, Tormena et al. (2002) e Klein & Libardi (2002) identificaram, em um Latossolo Roxo ácrico, propriedades favoráveis ao aumento na armazenagem de água em plantio direto quando comparadas com o preparo convencional.

Avaliando-se a umidade volumétrica do solo ao longo do ciclo da soja, em termos médios, verificou-se diferença entre os dois sistemas de manejo do solo, sendo que o sistema plantio direto se manteve mais úmido nas profundidades de 0,075 e 0,45 m (Tabela 1) Maria et al. (1999) observaram diferenças significativas para umidade do solo em base volumétrica, com valores mais elevados no sistema plantio direto, em Latossolo Roxo cultivado com soja. Maiores teores de umi-

Tabela 1. Umidade volumétrica média e coeficientes ajustados pela equação de van Genuchten (1980) com base em dados de umidade do solo em preparo convencional (PC) e sistema plantio direto (PD), correspondentes às profundidades entre 0,075 e 0,45 m, em Eldorado do Sul.

Profundidade (m)	θ média (cm ³ cm ⁻³)		α (kPa)		m		n		r (cm ³ cm ⁻³)		s (cm ³ cm ⁻³)	
	PCNI	PDNI	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD
0,075	0,193 a	0,247 b	437	211	0,3440	0,4073	1,5262	1,6873	0,150	0,140	0,350	0,350
0,15	0,238 a	0,239 a	484	493	0,3132	0,3683	1,4560	1,5830	0,190	0,160	0,350	0,350
0,30	0,246 a	0,248 a	321	410	0,3681	0,3285	1,5825	1,4826	0,190	0,170	0,430	0,360
0,45	0,212 a	0,321 b	301	184	0,3791	0,5408	1,6105	2,1778	0,170	0,147	0,370	0,400

Médias seguidas de mesma letra (a) não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de t de Student (LSD) a 5% de probabilidade de erro. q representa a umidade volumétrica média durante o ciclo da soja (cm³ cm⁻³), por q a umidade residual e qs a umidade de saturação. a, m e n são coeficientes (adimensionais) da Van Genuchten (1980)

dade em sistema plantio direto na camada mais superficial, também foram encontrados por Costa et al. (2003) em Latossolo Bruno, em Guarapuava, PR; os autores verificaram maior umidade no solo na camada de 0,0 a 0,1 m em plantio direto que em preparo convencional.

Em cultivo de soja, no Paraná, em região com predominância de Latossolo Vermelho Distroférico, Zanette et al. (2007) concluíram que a umidade na camada de 15 cm apresentou maiores amplitudes de umidade no sistema plantio direto quando comparado com o convencional e que a 30 cm os efeitos de sistema de manejo não foram observados no grau de umidade nem na variabilidade espacial. Quanto às diferenças no teor de umidade observadas na profundidade de 0,45 m, podem estar associadas aos efeitos da presença do B textural, identificado por Leguizamón Rojas (1998), nessa área experimental; nas profundidades entre 0,15 e 0,30 m não se detectaram diferenças nos sistemas de manejo analisados quanto à umidade volumétrica média ao longo do ciclo da cultura.

Conforme Faria (1987) a faixa hídrica ótima à maioria das culturas se dá entre 0 e -80 kPa, reforçando a antecipação na secagem do solo em PCNI, em relação ao PDNI. O potencial matricial monitorado no experimento com soja ficou em torno de -8 kPa, na capacidade de campo, tanto em sistema plantio direto quanto em preparo convencional. Segundo Reichardt (1988), em solos típicos de regiões tropicais úmidas os potenciais matriciais na capacidade de campo estão entre -10 kPa e -6 kPa. Carlesso (1995) também observou valores de tensão de 10 kPa (potencial matricial de -10 kPa) em solo com textura franco-arenosa. Comparando-se os valores de potencial matricial na capacidade de campo na profundidade de 0,075 m, obtidos por Dalmago (2004) em experimento com a cultura de milho, na mesma área experimental, verificaram-se valores semelhantes apenas em sistema de plantio direto; já em preparo convencional, o autor encontrou valores de -4 kPa.

Os períodos de escassez de água analisados refletiram no rendimento de grãos da soja, totalizando em sistema plantio direto 1.894 kg ha⁻¹ e em preparo convencional 1.558 kg ha⁻¹, mas não foram estatisticamente diferentes entre si; esses valores estão, provavelmente, associados ao alto coeficiente de variação entre repetições. Salienta-se que o fator hídrico no solo foi decisivo na expressão de baixos rendimentos da cultivar, haja vista que se detectaram diferenças estatísticas nos tratamentos irrigados, apresentadas em Martorano (2007), cujos rendimentos praticamente dobraram em

relação aos não irrigados, ou seja, de 3.816kg ha⁻¹ em PDI e de 3.597kg ha⁻¹ em PCI.

A soja tem potencial genético para produzir três óvulos por legume (McBlain & Hume, 1981), mas ao final do seu ciclo a cv. Fepagro RS-10 produziu em média 1,4 grãos por legume, tanto em PDNI quanto em PCNI. Salienta-se que mesmo nos tratamentos irrigados apresentados em Martorano (2007), o número de grãos nas três cavidades dos legumes esteve abaixo de dois grãos, indicando que houve média “granação” da cultivar, além de diferenças estatísticas nos componentes de rendimento número de legumes por planta e peso de 100 grãos, cujas maiores médias foram observadas nos tratamentos irrigados.

A baixa oferta pluvial evidenciada nos dois períodos de secagem do solo condicionou a cultura a produzir, em média, 37 legumes por planta em PDNI e 32 em PCNI. Esses valores confirmam que houve maior abortamento de flores nos tratamentos não irrigados. Herzog et al. (2004), em experimento com a mesma cultivar cv. Fepagro RS-10, no ano agrícola 2001/02, em Eldorado do Sul obtiveram, sob condição irrigada em sistema plantio direto, rendimentos médios de 3.334 kg ha⁻¹ e sem irrigação de 2.996 kg ha⁻¹, rendimentos atribuídos à oferta pluvial no período em que a cultura se encontrava em enchimento de grãos (fevereiro e março). Sem limitação hídrica, Moreira et al. (2002), obtiveram rendimentos de 3.207 kg ha⁻¹ em plantio direto e 3.094 kg ha⁻¹ em preparo convencional; também não houve diferença significativa entre os dois sistemas de manejo do solo. O período de escassez de água no solo no subperíodo entre a floração e o enchimento de grãos, apontado em termos de potencial matricial na Figura 5A e 5 B, afetou significativamente o rendimento de grãos da cultivar. As diferenças estatísticas obtidas quanto ao tratamento e não quanto ao sistema de manejo do solo, comprovaram que o fator hídrico é fundamental na obtenção de altos rendimentos de soja na região.

CONCLUSÕES

1. Em períodos de secagem o potencial matricial da água no solo é indicador de maior disponibilidade de água no solo em plantio direto do que em preparo convencional.

2. O tempo de secagem do solo é um indicador direto da sua condição hídrica, sendo mais prolongado no sistema plantio direto, em função de maiores estoques de água, quando comparado com o preparo convencional.

3. Em períodos de secagem e com baixo índice de área foliar da soja, menores temperaturas máximas e menores amplitudes térmicas no solo se apresentam como indicadores indiretos de maiores estoques de água no solo no sistema plantio direto, em comparação com o preparo convencional.

LITERATURA CITADA

- Abreu, S. L.; Reichert, J. M.; Reinert, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.519-531, 2004.
- Assis, R. L. de; Lanças, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um nitossolo vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.20, p.515-522, 2005.
- Azooz, R. H.; Arshad, M. A. Soil infiltration and hydraulic conductivity under long-term no-tillage and conventional tillage systems. *Canadian Journal of Soil Science*, v.76, p.143-152, 1996.
- Bergamaschi, H. Variations on the brazilian soybean production related to the drought occurrences: preliminary analysis. In: *World Soybean Research Conference*, 4, 1989, Buenos Aires, Anais... Buenos Aires: Asociación Argentina de la Soja, v.5, 1989, p.2153-2158.
- Bergamaschi, H.; Dalmago, A. G.; Bergonci, J. I.; Bianchi, C. A. M.; Müller, A. G.; Comiran, F.; Heckler, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.9, p.831-839, 2004.
- Bergamaschi, H.; Guadagnin, M. R.; Cardoso, L. S.; Silva, M. I. G. da. *Clima da Estação Experimental da UFRGS (e Região de Abrangência)*. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 78p.
- Berlato, M. A.; Fontana, D. C. Variabilidade interanual da precipitação pluvial e rendimento da soja no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.7, n.1, p.119-125, 1999.
- Carlesso, R. Absorção de água pelas plantas: Água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. *Ciência Rural*, v.25, n.1, p.183-188, 1995.
- Cargnelutti Filho, A.; Matzenauer, R.; Trindade, J. K. da. Ajustes de funções de distribuição de probabilidade à radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.12, p.1157-1166, 2004.
- Carof, M.; Tourdonnet, S. de; Coquet, Y.; Hallaire, V.; Roger-Estrade, J. Hydraulic conductivity and porosity under conventional and no-tillage and the effect of three species of cover crop in northern France. *Soil Use and Management*, v.23, p.230-237, 2007.
- Costa, F. S.; Albuquerque, J. A.; Bayer, C.; Fontoura, S. M. V.; Wobeto, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.3, p.527-535, 2003.
- Dalmago, G. A. Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional. Porto Alegre: UFRGS, 2004. 244p. Tese Doutorado
- Dalmago, G. A.; Bergamaschi, H.; Comiran, F.; Bianchi, C. A. M.; Bergonci, J. I.; Heckler, B. M. M. Soil temperature in maize crops as functions of soil tillage systems. In: *ISCO 2004. International Soil Conservation Organization Conference*, 23, 2004, Brisbane. Resumos expandidos... Brisbane: ISCO, 2004. 4p.
- Dourado Neto, D.; Nielsen, D. R.; Hopmans, J. W.; Parlange, M. B. Software to model soil water retention curves, v. 1.0, Davis. 1995.
- Faria, R. T. Tensiômetro: construção, instalação e utilização; um aparelho simples para se determinar quando irrigar. Londrina: IAPAR, 1987. 24p. Circular, 56.
- Fehr, W. R.; Caviness, C. E. Stages of soybean development. Ames: Iowa State University of Science and Technology. 1977. 11p.
- Hanks, R. J.; Sisson, D. V.; Hurst, R. L.; Hubbard, K. G. Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line-source sprinkler system. *Soil Science Society of America Journal*, v.44, p.886-888, 1980.
- Herzog, R. L. da S.; Levien, R.; Trein, C. R. Produtividade de soja em semeadura direta influenciada por profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduo em sistema irrigado e não irrigado. *Engenharia Agrícola*, v.24, n.3, p.771-780, 2004.
- Klein, V. A.; Libardi, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.857-867, 2002.
- Islam, K. R.; Weil, R. R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 55, p. 69-78, 2000.
- Leguizamón Rojas, C. A. Alterações físico-hídricas de um podzólico em função do manejo do solo. Porto Alegre: UFRGS, 1998, 75p. Dissertação Mestrado
- Licht, M. A.; Al-Kaisi, M. Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. *Soil & Tillage Research*, v.80, p.233-249, 2005.
- Maria, I. C. de; Castro, O. M.; Souza, H. D. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.703-709, 1999.
- Martorano, L. G. Padrões de resposta da soja a condições hídricas do sistema solo-planta-atmosfera, observados no campo e simulados no sistema de suporte à decisão DSSAT. Porto Alegre: UFRGS, 2007, 151p. Tese Doutorado
- Matzenauer, R.; Barni, N. A.; Maluf, J. R. T. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, v.33, n.6, p.1013-1019, 2003.
- McBlain, B. A.; Hume, D. J. Reproductive abortion, yield components and nitrogen content in three early soybean cultivars. *Canadian Journal of Plant Science*, v.61, n.3, p.499-505, 1981.
- Moreira, S. G.; Prochnow, L. I.; Kiehl, J. de C.; Pauletti, V. Produtividade de soja e acúmulo de nutrientes em função de sistemas de preparo. In: *Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água*, 14, 2002, Cuiabá. Anais... Cuiabá: SBCS, 2002. CD Rom.
- Reichardt, K. Capacidade de campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.12, p.211-216, 1988.
- Salton, J. C.; Mielniczuk, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul, RS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, p.313-319, 1995.

- Sidiras, N.; Vieira, S. R.; Roth C. H. Determinação de algumas características físicas de um Latossolo Roxo Distrófico sob plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.8, p.265-268, 1984.
- Tormena, C. A.; Barbosa, M. C.; Costa, A. C. S. da; Gonçalves, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Scientia Agrícola*, v.59, n.4, p.795-801, 2002.
- van Genuchten, M. T. A closed form equation for prediction the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.44, p.892-898, 1980.
- Zanette, S. V.; Sampaio, S. C.; Silvestre, M. G.; Boas, M. A. V.; Uribe-Opazo, M. A.; Queiroz, M. F. de. Análise espacial da umidade do solo cultivado com soja sob dois sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.3, p.239-247, 2007.