

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

ROTAÇÃO DE CULTURAS E PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS EM LATOSSOLO VERMELHO DE CERRADO SOB PREPARO CONVENCIONAL E SEMEADURA DIRETA EM ADOÇÃO⁽¹⁾

Vicente Pereira de Almeida⁽²⁾, Marlene Cristina Alves⁽³⁾, Edson
Cabral da Silva⁽⁴⁾ & Simone Aparecida de Oliveira⁽⁵⁾

RESUMO

O manejo inadequado do solo tem promovido a degradação de suas propriedades físicas, químicas e biológicas. O objetivo deste trabalho foi avaliar, após três anos da instalação de sistemas de manejo do solo, os efeitos da rotação com adubo verde, soja ou milho (verão) e feijão “de inverno”, sendo utilizadas as seguintes espécies na adubação verde: mucuna-preta, milheto, crotalaria e guandu, nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho distroférico e na produtividade das culturas. Outro tratamento foi adicionado como alternativa à adubação verde, o pousio. Os sistemas de manejo do solo foram: semeadura direta não consolidada e preparo convencional. O estudo foi realizado em Selvíria-MS, no ano agrícola de 1999/2000. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições. O sistema de semeadura direta, após três anos de instalada a rotação, degradou mais as propriedades físicas do solo na camada superficial. Por outro lado, neste sistema e camada de solo, houve acréscimo no teor de matéria orgânica e no pH, bem como na produtividade do milho, superior à do sistema de preparo convencional. O feijão em rotação à cultura do milho, na semeadura convencional, e em rotação à soja, na semeadura direta, foi a melhor opção quanto à produtividade.

Termos de indexação: milho, soja, feijão, adubo verde, restos culturais, pousio.

⁽¹⁾ Extraído da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP. Recebido para publicação em novembro de 2006 e aprovado em março de 2008.

⁽²⁾ Diretor do Centro de Educação Tecnológica de Rio Verde Goiás – CEFET. Rodovia Sul Goiana, km 01, CEP 74901-970 Rio Verde (GO). E-mail: vicente@cefetrv.edu.br

⁽³⁾ Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Universidade Estadual Paulista – UNESP. Avenida Brasil 56, Caixa Postal 31, CEP 15385-000 Ilha Solteira (SP). E-mail: mcalves@agr.feis.unesp.br

⁽⁴⁾ Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo – USP. Av. Centenário 303, CEP 13400-970 Piracicaba (SP). E-mail: ecsilva@cena.usp.br

⁽⁵⁾ Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio-Economia, Universidade Estadual Paulista – UNESP. Avenida Brasil 56, Caixa Postal 31, CEP 15385-000 Ilha Solteira (SP). E-mail: simone@agr.feis.unesp.br

SUMMARY: *CROP ROTATION AND PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF A RED LATOSOL IN THE CERRADO UNDER CONVENTIONAL TILLAGE AND RECENT NO-TILLAGE*

Inadequate soil management has led to the degradation of physical, chemical and biological soil properties. The purpose of this work was to evaluate the yields and physical and chemical soil properties of a dystropherric Red Latosol (Oxisol) in the third year of a crop rotation that included green manures, with soybean or corn (summer) and common bean (winter) crops. The following green manure species were used: velvet bean, millet, sunnhemp, pigeon pea, cultivated under conventional tillage and recently adopted no-tillage. The experiment was conducted in Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brazil, in the 1999/2000 growing season. The experiment was arranged in a randomized complete block design with split-split plots and four replications. After three years of crop rotation under no-tillage the soil physical properties had degraded mostly in the surface layer. On the other hand, in this system and soil layer, there was an increment in organic matter content and pH. There also was obtained greater corn grain yield under not-tillage as compared to the conventional tillage. The yield of common bean was higher when it was cultivated following the corn crop under conventional tillage and after soybean under no-tillage.

Index terms: corn, soybean, bean, green manure, crop residues, fallow.

INTRODUÇÃO

O milho, o feijão e a soja constituem a maioria das culturas de grãos nos solos do Cerrado brasileiro. A área cultivada com feijão irrigado por aspersão, denominado cultivo de inverno (maio-junho), nos Estados que utilizam este método de irrigação, abrange cerca de 160.000 ha, com produtividade média de três a cinco vezes superiores às obtidas em outras épocas de cultivo (Silveira et al., 2001) e à da média nacional, de 746 kg ha⁻¹ (Brasil, 2007). A transformação de ambientes naturais, como o Cerrado, em sistemas agrícolas tem provocado a degradação física, química e biológica de extensas áreas, em consequência de sua exploração de forma inadequada (Silva et al., 2000; Sousa & Lobato, 2004).

Na região de Cerrado, a partir do final da década de 80, houve expressivo interesse por parte dos agricultores para a adoção de sistemas de manejo do solo que apresente menor custo e mitigue o processo erosivo do solo. A adoção de sistemas conservacionistas, como a semeadura direta, tem-se apresentado como alternativa viável para assegurar a sustentabilidade do uso agrícola do solo, principalmente dos Latossolos (Silva et al., 2000).

Normalmente, as alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo são mais pronunciadas no sistema de preparo convencional do que nos sistemas conservacionistas, pelo fato do revolvimento alterar a densidade do solo, o volume e distribuição de tamanho de poros e a estabilidade dos agregados, influenciando na infiltração da água, na erosão hídrica e no crescimento e desenvolvimento das plantas (Bertol et al., 2004).

As alterações que ocorrem na estrutura do solo de acordo com o manejo utilizado durante o processo produtivo podem ser verificadas pelas altas densidades, dificultando a penetração das raízes no solo (Kiehl, 1979). Essas alterações influenciam também a porosidade total, distribuição e diâmetros de poros, porosidade de aeração, capacidade de armazenamento de água, disponibilidade para as plantas e consistência e máxima compactabilidade do solo (Klein et al., 1995; Souza & Alves, 2003a).

O preparo excessivo do solo, por meio de aração e gradagem, promove sua desagregação e acelera a decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) (Souza & Alves, 2003b; Bayer et al., 2004), principal responsável pela CTC dos solos das regiões tropicais e subtropicais (Raij, 1991; Sousa & Lobato, 2004). O não-revolvimento do solo, aliado à adição de C orgânico por meio do cultivo de adubos verdes, e a manutenção dos resíduos em superfície favorecem a decomposição lenta e gradual desses resíduos, liberando compostos orgânicos que estimulam a formação e a estabilidade dos agregados no solo, melhorando sua estrutura (Bertol et al., 2004). Em adição, os resíduos vegetais contêm macro e micronutrientes em formas orgânicas lábeis, que se podem tornar disponíveis para a cultura subsequente, mediante a mineralização (Bayer & Mielniczuk, 1997; Amado et al., 2002; Calegari, 2004; Carvalho et al., 2004).

Vieira & Muzilli (1984) realizaram um ensaio em Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa, comparando o sistema de preparo convencional e semeadura direta, sob três rotações de culturas, durante quatro anos na região Centro-Sul do Paraná. Os autores verificaram, ao final do quarto ano de

cultivo das culturas de verão, nas profundidades de 0,10 e 0,30 m, aumento significativo da densidade e da microporosidade do solo na semeadura direta, com conseqüente redução da porosidade total e da macroporosidade, na camada de 0,10 m, não havendo diferenças a 0,30 m. Já Albuquerque et al. (1995), avaliando semeadura direta e preparo convencional com rotações de culturas por seis anos em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, não encontraram diferenças significativas na densidade do solo, na porosidade total, na macro e na microporosidade.

Sobre a química do solo, os efeitos proporcionados pelos compostos orgânicos dos resíduos vegetais de plantas de cobertura são transientes. No entanto, podem mitigar os efeitos acidificantes causados por grupos carboxílicos e fenólicos gerados durante a decomposição de resíduos vegetais, pela reação dos adubos nitrogenados amídicos e amoniacais (processo de nitrificação) e pela exportação de bases pelas colheitas (Anghinoni & Nicolodi, 2004).

Segundo Miyazawa et al. (2000), mesmo em pH baixo, o Al na solução do solo pode encontrar-se em formas que influenciam menos o crescimento das plantas, pelo fato de encontrar-se complexado com ligantes orgânicos oriundos da decomposição de resíduos. Isto, por sua vez, determina seu menor potencial químico de causar toxidez às plantas. Em adição, durante a decomposição são liberados também bases e, ou, sais que favorecem o aumento do pH do solo e, ou, promovem maior tamponamento do mesmo (Anghinoni & Nicolodi, 2004).

Os ligantes ou ânions orgânicos são mais abundantes nas plantas na época de pleno crescimento vegetativo ou início do florescimento, reduzindo com a idade fisiológica da planta, graças à redução nos teores de cátions e C solúvel. Isto explica a menor capacidade dos resíduos vegetais de culturas comerciais em neutralizar a acidez do solo, correspondendo, em média, a um terço em relação à dos resíduos de plantas de cobertura (Franchini et al., 2001).

Na região de Cerrado, a prolongada estação seca dificulta o cultivo de plantas de cobertura na entressafra e reduz a produção de matéria seca. Além disso, as altas temperaturas e a umidade no verão promovem rápida decomposição dos resíduos vegetais (Lara Cabezas et al., 2004). Assim, a utilização da cultura do milho tem assegurado a reposição e manutenção da palhada para a cobertura do solo na semeadura direta, por apresentar elevada relação C/N e produzir grande quantidade de resíduos, geralmente superior a seis toneladas por hectare (Wisniewski & Holtz, 1997). Nessa região, o milho constitui uma das principais opções de rotação/sucessão de culturas com a soja. Pesquisas demonstram que a produtividade de milho em sistema de semeadura direta é superior àquela do preparo convencional (Fernandes et al., 1998), provavelmente graças à conservação de água no perfil por período maior (Hill

et al., 1985; Eltz et al., 1989), maior fertilidade da camada explorada pelas raízes e menores perdas de solo (Muzilli, 1983).

Amado et al. (2000) observaram menor rendimento de milho na semeadura direta comparada ao do preparo convencional, mas verificaram, também, aumento no teor de N total do solo, em virtude da inclusão de leguminosas no esquema de sucessão de culturas. Já Carvalho et al. (2004), em duas safras sob condições edafoclimáticas de Cerrado, observaram que o milho cultivado em sucessão a adubos verdes (milheto, crotalária, guandu e mucuna) sob semeadura direta produziu semelhantemente ao milho cultivado sob preparo convencional num ano e inferior no outro.

Arf et al. (1996) verificaram, em estudos desenvolvidos no município de Selvíria (MS), que a incorporação de matéria seca de milho + mucuna-preta e só de mucuna-preta, em avaliação 80 dias após a incorporação, não alterou as características químicas do solo, os componentes de produção e a produtividade do feijoeiro cultivado em sucessão. Entretanto, Abboud & Duque (1986) verificaram que a incorporação de resíduo de mucuna-preta ao solo proporcionou nodulação mais eficiente e maior acúmulo de N e de matéria seca em plantas de feijão.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da rotação de plantas de cobertura (crotalária, guandu, milheto, mucuna-preta e pousio), soja ou milho, no verão, e feijão, no inverno, após três anos do estabelecimento do esquema, sobre propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho distroférico em preparo convencional e semeadura direta.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no ano agrícola 1999/00 na Fazenda Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP, no município de Selvíria, MS, localizado a 51 ° 22 ' W e 20 ° 22 ' S com altitude de 335 m. O clima da região, conforme classificação de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, apresentando temperatura média anual de 24,5 °C, precipitação pluvial média anual de 1.370 mm e umidade relativa média de 64,8 %.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) típico argiloso A moderado hipodistrófico álico caulínico muito profundo moderadamente ácido fase Cerrado tropical subcaducifólio relevo suave ondulado (Demattê, 1980; Embrapa, 1999). Esta área apresentava um histórico de 18 anos de cultivo com arroz, feijão e milho no verão sob preparo convencional.

Em abril de 1997, as propriedades físicas do solo, na camada de 0,00–0,20 m, apresentavam: densidade do solo 1,47 kg dm⁻³; macroporosidade 0,09 m³ m⁻³;

microporosidade $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e porosidade total $0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Para as propriedades químicas, foram encontrados os seguintes valores: $27,0 \text{ g dm}^{-3}$ de matéria orgânica; pH em CaCl_2 de 5,3; $13,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de P (resina); 1,1, 28,0 e $10,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente de K, Ca^{2+} e Mg^{2+} e 57 % de saturação por bases.

O experimento, no verão, constou de duas culturas, soja (*Glycine max* L.) e milho (*Zea mays* L.), cultivadas simultaneamente em ensaios individuais em áreas anexas, sucedidas pela cultura do feijão, no inverno. O delineamento experimental para a soja ou milho foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com 10 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos compreenderam a combinação de quatro adubos verdes + uma área com vegetação espontânea (pousio) com dois sistemas de manejo do solo: semeadura direta (semeadura sem preparo prévio do solo) e preparo convencional (preparo do solo com grade aradora + grade niveladora). As parcelas foram formadas por quatro adubos verdes: mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum* Piper & Tracy), milheto (*Pennisetum americanum* L.), crotalária (*Crotalaria juncea* L.), guandu (*Cajanus cajan* L.) e área de pousio. As subparcelas foram constituídas pelos dois sistemas de semeadura: semeadura direta e preparo convencional. Cada subparcela teve a dimensão de $7,0 \times 6,0 \text{ m}$, sendo a área útil constituída pela área central, desprezando-se duas linhas laterais em ambos os lados e $0,50 \text{ m}$ em ambas as extremidades. Para a cultura do feijão de inverno (*Phaseolus vulgaris* L.), as culturas anteriores, soja e milho, foram consideradas como subparcelas.

Em junho de 1997, todo o solo da área experimental foi preparado por meio de uma aração e duas gradagens e cultivado com feijão no inverno. Após a colheita do feijão, em setembro, a área foi semeada, em sistema de semeadura direta, com quatro adubos verdes: milheto, guandu, crotalária e mucuna-preta, sendo uma parte deixada em pousio. Em novembro, foi realizada a semeadura de metade da área com a cultura da soja, em preparo convencional e plantio direto, e o restante, semeada com milho, também sob preparo convencional e semeadura direta. Após a colheita dessas culturas (1998), a área foi semeada novamente com feijão em preparo convencional (aração e gradagem) e semeadura direta, mantendo-se os sistemas de manejo do solo em cada subparcela de acordo com o estabelecido para os adubos verdes e para as culturas do milho e da soja. Posteriormente à colheita do feijão, foram semeados os adubos verdes, dando-se início a um novo ciclo (1998/99).

Em 28/10/1999, foi realizada novamente a semeadura dos adubos verdes, utilizando para o milheto o espaçamento de $0,17 \text{ m}$ entrelinhas e densidade $0,37 \text{ g m}^{-1}$ de sulco; guandu, crotalária e mucuna-preta com espaçamento de $0,50 \text{ m}$ entrelinhas e densidades de 15, 30 e sete sementes por metro linear de sulco, respectivamente. Para a estimativa da produção de matéria seca dos adubos verdes e da

vegetação espontânea (pousio), coletaram-se quatro amostras de $0,25 \text{ m}^2$ por subparcela, em 20/12/1999, cortando-se as plantas rente ao solo; em seguida, o material foi seco por 72 h em estufa com circulação forçada de ar, pesado e os dados transformados em kg ha^{-1} de matéria seca. Em 21/12/1999, nas áreas destinadas à semeadura direta, foi aplicado o herbicida glifosate (2.400 g ha^{-1} do i.a.). Nas áreas designadas ao preparo convencional, realizou-se a roçada dos adubos verdes e, em seguida, o preparo do solo com grade aradora (uma passada) e grade niveladora (duas passadas).

A semeadura das culturas da soja e do milho foi efetuada em 3/1/2000. Para a cultura do milho, utilizou-se o híbrido AG-509, empregando-se cinco sementes por metro de sulco, com espaçamento entrelinhas de $0,90 \text{ m}$. Para a cultura da soja, utilizou-se o cultivar Uirapuru, empregando-se 22 sementes inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* por metro de sulco e $0,45 \text{ m}$ entrelinhas.

A adubação de semeadura do milho foi de 300 kg ha^{-1} da fórmula NPK 08-28-16 e no estádio fenológico 2, planta com oito folhas expandidas, efetuou-se a aplicação de 50 kg ha^{-1} de N, na forma de sulfato de amônio. Para a soja, utilizaram-se 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato simples), $4,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de uréia e 60 kg ha^{-1} de K_2O (KCl). No cálculo da adubação, foram consideradas características químicas do solo seguindo recomendações descritas por Raij et al. (1996).

Após a colheita do milho e da soja, realizada em 25/5/2000, os resíduos culturais foram roçados. Em 28/5/2000, nas áreas sob semeadura direta, aplicou-se o herbicida pramato (2.000 g ha^{-1} + suesteep 40 g ha^{-1} + espalhante iHg 0,2 %) e, nas áreas de preparo convencional, foi realizado o preparo do solo com grade aradora (uma passada) e grade leve (duas passadas).

Em 21/6/2000, realizou-se a semeadura da cultura do feijão “de inverno”, utilizando-se o cultivar Pérola, empregando-se 16 sementes por metro de sulco, com espaçamento entrelinhas de $0,50 \text{ m}$. A adubação de semeadura foi de 240 kg ha^{-1} da fórmula 04–30–10, e no estádio fenológico V4, por ocasião da emissão da terceira folha trifoliada, realizou-se a adubação de cobertura, aplicando-se 50 kg ha^{-1} de N, na forma de sulfato de amônio. Os tratamentos fitossanitários foram feitos visando ao controle preventivo das principais pragas e doenças da cultura na região, como: mosca branca (*Bemisia tabaci*), vaquinhas (*Diabrotica speciosa*), ferrugem (*Uromyces phaseoli*), mancha angular (*Isariopsis griseola*) e antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*). Em 27/9/2000, foi realizada a colheita da cultura do feijão. As culturas de verão receberam irrigação suplementar, e o feijão “de inverno” foi irrigado de acordo com a fase e necessidade hídrica da cultura, sendo utilizado um sistema de aspersão convencional.

As amostras para fins de determinação das propriedades físicas e químicas do solo foram retiradas

depois da colheita das culturas de verão (2 e 3/6/2000), sendo as determinações efetuadas nos laboratórios de Fertilidade e de Física do solo da Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, UNESP.

Amostras com estrutura natural foram coletadas nas entrelinhas, com auxílio de anéis volumétricos, para a determinação de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo. Coletou-se uma amostra por subparcela para cada um dos três intervalos de camadas analisadas (0,00–0,10; 0,10–0,20 e 0,20–0,40 m). A densidade do solo, a macroporosidade, a microporosidade e a porosidade total foram determinadas pelo método descrito em Embrapa (1997). Foi avaliada também a resistência à penetração, usando-se o penetrógrafo – Modelo Penetrographer pat SC-60, nas camadas de 0,00–0,15; 0,15–0,30; 0,30–0,45 e 0,45–0,60 m. A umidade gravimétrica do solo foi avaliada nas mesmas camadas, de acordo com Embrapa (1997).

A acidez potencial foi determinada segundo método descrito por Raij & Zullo (1977). A matéria orgânica do solo foi determinada conforme o procedimento descrito por Raij & Quaggio (1983). O pH foi determinado em CaCl_2 . Todas as determinações foram feitas para as camadas de 0,00–0,10; 0,10–0,20 e 0,20–0,40 m.

Os dados foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F e a comparação de médias pelo teste de Tukey a 5 %. As análises estatísticas foram realizadas, utilizando-se o programa estatístico “SAS System for Windows-release 6.11” (SAS, 1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Adubos verdes

As produções de matéria seca (MS) da parte aérea das plantas de cobertura foram de 950, 2.476, 1.294, 10.709 e 1.430 kg ha^{-1} , para o guandu, crotalária, mucuna-preta, milho e pousio, respectivamente. O milho foi a cultura que apresentou maior produção de MS, proporcionando uma cobertura mais prolongada do solo. A produção de MS da mucuna-preta foi menor do que as verificadas em outros estudos sobre solo com características semelhantes às do presente estudo (Arf et al., 1996; Carvalho et al., 2004). Da mesma forma, a produção de MS do guandu (950 kg ha^{-1}), se comparada com as obtidas em outros estudos, foi baixa, a exemplo do verificado por Carvalho et al. (1996), que obtiveram produtividade de MS variando de 4.500 a 8.950 kg ha^{-1} , trabalhando na região de Cerrado e com solo e condições semelhantes. Essa produção inferior do guandu, da crotalária e da mucuna-preta provavelmente ocorreu por causa do curto período de crescimento utilizado no presente experimento (52 dias), resultando em pouco tempo para

o acúmulo de MS. Para o guandu, por exemplo, seria necessário um período bem maior (florescimento pleno aos 140–180 dias após emergência) para que a planta expressasse o seu potencial produtivo. A produção de MS nas áreas de pousio mostra-se dependente das espécies e da quantidade de vegetação presente. Na área de pousio predominavam as espécies capim-colônia (*Panicum maximum*), picão preto (*Bidens pilosa*) e trapoeraba (*Commelina virginica*). Ao contrário do observado nesse estudo, Perin et al. (2004) verificaram que a crotalária juncea produziu 31 % a mais do que o milho e 108 % a mais do que a área de pousio. Silva et al. (2006), também em Latossolo Vermelho de Cerrado, verificaram produtividade de MS da crotalária superior à do milho. No entanto, ressalta-se que a produtividade de MS por plantas de cobertura depende das condições intrínsecas de solo, do clima local e da sua época de cultivo, em virtude principalmente do fotoperíodo.

Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, resistência à penetração e umidade do solo

A análise de variância mostrou efeito significativo ($p < 0,01$) dos sistemas de manejo do solo sobre todas as propriedades físicas do solo avaliadas. Para a densidade do solo, houve interação significativa ($p < 0,01$) entre os fatores adubo verde versus sistemas de manejo do solo. Verificou-se, pela comparação de médias (Quadro 1), que os valores da macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo em função dos adubos verdes foram semelhantes estatisticamente. Com relação à porosidade total, o preparo convencional apresentou valores superiores estatisticamente em relação à semeadura direta. Já a microporosidade apresentou valores semelhantes nos dois sistemas de manejo. As culturas de verão, à exceção da microporosidade, não influenciaram as propriedades físicas do solo.

A densidade do solo variou significativamente entre as camadas estudadas (Quadro 1), observando-se que, independentemente da rotação de culturas e sistemas de manejo do solo, as amostras da camada superficial do solo (0,00–0,10 m) apresentaram densidade inferior à da camada abaixo (0,10–0,20 m) e superior à da camada de 0,20–0,40 m. Isso contradiz os resultados obtidos por Tormena et al. (1998), que encontraram valores de densidade maiores na superfície, em sistema de semeadura direta, o que eles associaram à acomodação do solo juntamente com o tráfego de máquinas no sistema. No presente estudo, a maior densidade do solo na camada de 0,10–0,20 m pode ser explicada, em parte, também pelo uso intensivo de implementos agrícolas e pelo tráfego de máquinas, o que propicia a degradação da estrutura do solo e sua conseqüente compactação subsuperficial. Esse mesmo tipo de comportamento foi também observado por Albuquerque et al. (1995) e Cavenage et al. (1999).

Quadro 1. Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, considerando o adubo verde, o tipo de sementeira da cultura de verão e a camada do solo

Tratamento	Porosidade			
	Densidade	Macro	Micro	Total
	kg dm ⁻³	m ³ m ⁻³		
		Adubo verde		
Guandu	1,49 ⁽²⁾	0,12 a ⁽¹⁾	0,31 a	0,43 a
Crotalária	1,47	0,12 a	0,30 a	0,42 a
Mucuna	1,48	0,12 a	0,30 a	0,42 a
Milheto	1,46	0,12 a	0,30 a	0,42 a
Pousio	1,48	0,12 a	0,30 a	0,42 a
		Manejo do solo		
Sementeira direta	1,52	0,11	0,30 a	0,41 b
Preparo convencional	1,44	0,13	0,30 a	0,43 a
		Cultura		
Soja/feijão	1,47 a	0,12 a	0,31 a	0,42 a
Milho/feijão	1,48 a	0,12 a	0,30 b	0,42 a
		Camada (m)		
0,00–0,10	1,47 b	0,14	0,29 c	0,43 b
0,10–0,20	1,60 a	0,08	0,30 b	0,38 c
0,20–0,40	1,37 c	0,14	0,31 a	0,45 a

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, para cada fator não diferem entre si a 5 % pelo teste de Tukey. ⁽²⁾ Médias sem letras, na coluna, referem-se à interação significativa entre sistema de sementeira e camada do solo.

Para a microporosidade, verificou-se diferença significativa entre as camadas, sendo os maiores valores observados na camada de 0,20–0,40 m, seguido da camada de 0,10–0,20 m, e os menores valores na camada de 0,00–0,10 m. Com relação à porosidade total, também houve diferença significativa entre as camadas. O maior valor para a porosidade total foi observado na camada de 0,20–0,40 m e o menor na camada de 0,10–0,20 m.

Observou-se, pelo desdobramento da interação de camada do solo versus sistemas de manejo (Quadro 2), referente à macroporosidade, que o preparo convencional proporcionou maior volume de macroporos na camada de 0,00–0,10 m comparado ao das demais, que foram semelhantes entre si, e superior ao da sementeira direta nesta camada. Comportamento semelhante foi observado por Da Ros et al. (1997) e Cavenage et al. (1999), que relataram ter a mobilização do solo provocado aumento de volume de poros, principalmente de macroporos, e, conseqüentemente, diminuição da densidade do solo.

Dentre as plantas de cobertura, exceto a mucuna-preta que proporcionou a menor densidade do solo no preparo convencional (Quadro 2), as demais espécies proporcionaram densidade do solo semelhante entre si nos dois sistemas de manejo do solo, indicando que

o não-revolvimento do solo por meio da aração não provocou seu adensamento. Esta manutenção dos valores das propriedades físicas do solo (Quadros 1 e 2) pode estar relacionada com o estado estrutural inicial do solo e com o pouco tempo de adoção do esquema de rotação, pois estudos demonstram que, com o passar dos anos, as diferentes espécies utilizadas com esquema de rotação e sucessão de culturas condicionam algumas propriedades físicas do solo. Dessa forma, de acordo com vários pesquisadores, a consorciação de gramíneas e leguminosas é desejável do ponto de vista de melhoramento das condições físicas do solo. Para Harris et al. (1966), as raízes das culturas produtoras de grãos são as menos efetivas na manutenção de bom estado estrutural do solo. Por outro lado, o efeito benéfico da rotação de culturas, bem como o uso de plantas de cobertura em propriedades físicas do solo, é ressaltado por vários pesquisadores (Medeiros et al., 1987; Cavenage et al., 1999; Carvalho, 2000; Silveira et al., 2001).

Ao contrário do preparo convencional, na sementeira direta o maior volume de macroporos foi encontrado na camada de 0,20–0,40 m, em relação às camadas mais superficiais, sendo os valores destas camadas também superiores aos do preparo convencional. O volume de macroporos observado nas

Quadro 2. Desdobramento da interação significativa de sistema de manejos do solo com as camadas estudadas, macroporosidade do solo e resistência à penetração e com plantas de cobertura, sobre a densidade do solo

Tratamento	Semeadura direta	Preparo convencional
Camada (m)	Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	
0,00–0,10	0,09 Bb ⁽¹⁾	0,19 Aa
0,10–0,20	0,09 Ba	0,07 Ca
0,20–0,40	0,15 Aa	0,13 Bb
	Resistencia à penetração (MPa)	
0,00–0,15	5,3 Aa ⁽¹⁾	3,7 ABb
0,15–0,30	4,7 Aa	4,0 Ab
0,30–0,45	3,2 Ba	3,4 ABa
0,45–0,60	2,7 Ba	3,2 Ba
Planta de cobertura	Densidade do solo (kg dm^{-3})	
Guandu	1,51 Aa	1,44 Aa
Crotalária	1,52 Aa	1,43 Aa
Mucuna	1,53 Aa	1,41 Bb
Milheto	1,53 Aa	1,44 Aa
Pousio	1,51 Aa	1,46 Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, para cada fator, diferem entre si a 5 % pelo teste Tukey.

camadas de 0,00–0,10 m e 0,10–0,20 m ($0,09 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$) na semeadura direta e, ainda, de 0,10–0,20 m no preparo convencional ($0,07 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$) encontra-se abaixo da faixa considerada ideal, a qual, segundo Bayer et al. (1972) e Kiehl (1979), é de 0,10 a $0,16 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$, para que haja bom crescimento e desenvolvimento de plantas. Klein & Libardi (2000) afirmaram que a porosidade de aeração e a resistência à penetração são propriedades que mais variam com a densidade, sendo esta alterada pelo teor de matéria orgânica.

Houve efeito significativo ($p < 0,01$) para a interação entre os sistemas de manejo do solo versus camadas, bem como para os valores de resistência à penetração e camada do solo.

Para os adubos verdes (Quadro 3), a menor resistência à penetração foi verificada na área cultivada com milho e maior na área de pousio. Para a cultura de verão, observou-se resistência à penetração significativamente superior nas áreas cultivadas com soja. Já para as camadas avaliadas, a menor resistência à penetração foi na de 0,45–0,60 m, e a maior na camada superficial de 0,00–0,15 m, o que confirma a compactação do solo na mesma, provavelmente resultante do tráfego de máquinas. Os maiores valores encontrados para a resistência à penetração no sistema de semeadura direta corroboram os valores obtidos por Souza & Alves

(2003a) para as profundidades estudadas de 0,00–0,10, 0,10–0,20 e de 0,20–0,40 m, em que no sistema de semeadura direta houve maior resistência à penetração do que no preparo convencional. Os valores encontrados neste trabalho foram maiores que o considerado como crítico (2 MPa) por Tormena (1998), o qual está relacionado com a compactação do solo e com teor de água do solo no momento do estudo ($\sim 0,18 \text{ kg kg}^{-1}$). Valores elevados de resistência à penetração na camada superficial do solo sob semeadura direta também foram verificados por Stone & Silveira (1999).

Na semeadura direta, a resistência à penetração foi diminuindo, à medida que foi aumentando a profundidade no perfil (Quadro 3), comprovando a compactação da camada superficial do solo. Já no preparo convencional, a resistência foi maior na camada de 0,15–0,30 m, embora não tenha diferido estatisticamente das camadas de 0–0,15 e da 0,30–0,45, sendo esta menor na camada de 0,45–0,60 m. Tal fato permite inferir que a menor resistência à penetração na camada superficial do sistema com preparo convencional (0–0,15 m) deveu-se ao revolvimento da camada arável do solo.

Quadro 3. Resistência à penetração, considerando o adubo verde, o sistema de manejo do solo, o esquema de rotação de cultura verão/inverno e a camada do solo

Tratamento	Resistência à penetração	Umidade do solo
	MPa	kg kg^{-1}
	Adubos verdes	
Guandu	3,6 b ⁽¹⁾	0,18 a
Crotalária	3,9 ab	0,19 a
Mucuna	3,7 ab	0,19 a
Milheto	3,5 b	0,18 a
Pousio	4,3 a	0,19 a
	Manejo do solo	
Direta	4,0 ⁽²⁾	0,19 a
Convencional	3,6	0,18 a
	Culturas	
Soja/feijão	4,1 a	0,18 a
Milho/feijão	3,5 b	0,19 a
	Camada (m)	
0,00–0,15	4,5	0,17 b
0,15–0,30	4,4	0,16 b
0,30–0,45	3,4	0,20 a
0,45–0,60	3,0	0,21 a

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, para cada fator, não diferem entre si a 5 % pelo teste Tukey. ⁽²⁾ Médias sem letras, na coluna, referem-se à interação significativa entre sistema de semeadura e camada do solo.

Matéria orgânica, pH e acidez potencial do solo

Os adubos verdes não influenciaram o teor de matéria orgânica do solo (MOS) (Quadro 4). No entanto, embora o sistema de semeadura direta apresente apenas três anos de adoção, houve incremento no teor de MOS em relação ao tratamento com o preparo convencional. O fato de não ter ocorrido diferença significativa entre o pousio ou uso de culturas de coberturas evidencia que o não-revolvimento do solo e a manutenção dos resíduos culturais sobre a superfície do mesmo já contribuíram para o aumento do teor de MOS. Todavia, o uso de plantas de cobertura e a rotação de gramíneas e leguminosas devem ser incentivados, visto que as raízes de leguminosas em associação simbiótica com bactéria do gênero rizóbio, fixam N_2 e aumentam a concentração deste nutriente no solo, favorecendo, assim, maior produção de fitomassa pelas plantas (Amado et al., 2002). Por outro lado, o sistema radicular das gramíneas introduz C via rizodeposição e morte das raízes, contribuindo para o incremento do teor de MOS, o que é desejável por ser a MOS a principal responsável pela CTC, sobretudo nos solos de Cerrado (Bayer et al., 2003; Sousa & Lobato, 2004), e no do presente estudo. A razão do acréscimo no teor de MOS no sistema de semeadura direta, com o decorrer do tempo de adoção, provém do fato de, além de normalmente haver maior adição de resíduos vegetais e menor contato destes com o solo, em virtude do seu não-revolvimento, ocorre maior preservação da sua estrutura, o que confere à MOS maior proteção ao ataque de microrganismos e de seus complexos enzimáticos (Bayer et al., 2003).

O incremento de MOS foi restrito à camada de 0,00–0,10 m, o que é comum em sistema de semeadura direta, em virtude da maior concentração de raízes nas camadas superficiais e da deposição superficial dos resíduos vegetais, o que, aliado à ausência de revolvimento do solo, favorece o acúmulo e, conseqüentemente, maior estratificação do que no preparo convencional (Muzilli, 1983; Eltz et al.; 1989; Alves, 1992; Bayer et al., 2004; Silva et al., 2006). Resultados similares foram encontrados por Bayer & Scheneider (1999), os quais demonstraram que a utilização da semeadura direta durante três a sete anos resultou num incremento nos conteúdos de MOS entre 25 e 108 %, na camada de 0,00–0,25 m, e de 18–52 %, na camada de 00–0,10 m, comparativamente ao solo sob preparo convencional. As áreas cultivadas com soja e milho também não diferiram significativamente quanto ao teor de MOS.

Os sistemas de semeadura utilizados influenciaram significativamente os valores do pH do solo (Quadro 4), com o menor valor para o preparo convencional. Verificou-se também aumento do pH com o aumento da profundidade, provavelmente em virtude da redução do efeito da calagem superficial, realizada há três anos (1997), principalmente por

Quadro 4. Matéria orgânica do solo, pH e H + Al, considerando o adubo verde, o sistema de manejo do solo, o esquema de rotação de cultura verão/inverno e a camada do solo

Tratamento	MOS	pH $CaCl_2$	H + Al
	g dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³
		Adubo verde	
Guandu	24,2 a ⁽¹⁾	5,66 a	33,0 a
Crotalária	24,8 a	4,69 a	36,0 a
Mucuna	24,0 a	4,75 a	33,0 a
Milheto	25,5 a	4,80 a	33,0 a
Pousio	24,8 a	4,77 a	33,0 a
		Manejo do solo	
Direta	26,7 a	5,13 a	33,0 a
Convencional	22,7 b	4,73 b	34,0 a
		Culturas	
Soja/feijão	24,6 a	4,66 a	34,0 a
Milho/feijão	24,7 a	5,20 a	33,0 a
		Camada (m)	
0,00–0,10	30,0 a	4,63 b	40,0 a
0,10–0,20	25,1 b	4,70 b	34,0 b
0,20–0,40	18,9 c	5,47 a	28,0 c

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra na coluna para cada fator não diferem entre si a 5 % pelo teste Tukey.

causa da extração de bases pelas colheitas e acidificação causada pela aplicação de adubos nitrogenados. A acidez potencial (H + Al) foi semelhante para todas as áreas de adubos verdes, decrescendo com a profundidade do solo.

Embora a rotação milho/soja/feijão sob semeadura direta não tenha demonstrado efeito significativo sobre a maioria das propriedades físicas e químicas nas diferentes camadas do solo, o que ficou evidenciado pela ausência de interação significativa entre esses fatores, esta seqüência mostra-se viável para a região de Cerrado, em virtude de o milho proporcionar boa produtividade de MS, reciclagem de consideráveis quantidades de nutrientes e cobertura prolongada do solo (Perin et al., 2004; Silva et al., 2006). Além disso, é uma cultura mais resistente ao déficit hídrico do que a maioria das leguminosas, condição climática de ocorrência comum na região do Cerrado (Lara Cabezas et al., 2004; Silva et al., 2006).

Produtividade de grãos

Observou-se, que a área sob pousio proporcionou menor produtividade de milho comparada à da área cultivada com adubos verdes (Quadro 5). A semeadura direta proporcionou maior produtividade de milho comparada à do preparo convencional. A maior

Quadro 5. Produtividade de grãos de soja milho e feijão, considerando o adubo verde e o tipo de semeadura

Tratamento	Produtividade de grão		
	Soja	Milho	Feijão
kg ha ⁻¹			
Adubo verde			
Guandu	2.199 ⁽²⁾	4.512 a ⁽¹⁾	1.790
Crotalária	2.385	4.618 a	1.956
Mucuna	2.216	4.805 a	1.923
Milheto	2.082	4.527 a	1.707
Pousio	2.187	4.110 b	1.865
Manejo do solo			
Sem. direta	2.378	4.821 a	1.791
P. convencional	2.050	4.208 b	1.906

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, para cada fator não diferem entre si a 5 % pelo teste Tukey. ⁽²⁾ Médias sem letras, na coluna, referem-se à interação significativa.

produtividade de grãos de milho em semeadura direta também foi observada por Fernandes et al. (1998), comparando três sistemas de manejo do solo (semeadura direta, preparo convencional e cultivo mínimo).

Observou-se, que não houve influência significativa dos adubos verdes na produtividade da soja sob semeadura direta comparada à do preparo convencional (Quadro 6). Isto, provavelmente deveu-se a decomposição mais lenta dos resíduos vegetais na semeadura direta, dada sua não-incorporação (Sá et al., 2001). Já sob preparo convencional, houve diferença significativa entre os adubos verdes, sendo a maior produtividade de grãos observada para a soja cultivada em sucessão à crotalária e menor quando em sucessão ao milheto. Tal ocorrência, possivelmente foi devida ao fato de a crotalária ter gerado ambiente mais favorável à nodulação desta leguminosa, proporcionando maior produtividade de grãos, a exemplo do verificado em outros estudos (Abboud & Duque, 1986).

Verificou-se que, dentro da área da cultura da soja, não ocorreu diferença significativa entre os sistemas de semeadura com relação à produtividade de feijão (Quadro 6). No preparo convencional, a produtividade de feijão foi estatisticamente maior na área precedida de milho. Por outro lado, na semeadura direta, a produtividade de feijão foi estatisticamente maior na área precedida de soja. Já Carvalho (2000), trabalhando com feijão em sucessão à soja e ao milho em preparo convencional e semeadura direta, não verificou efeito significativo na produtividade de grãos. Também Arf et al. (1996), em estudos desenvolvidos no município de Selvíria (MS), verificaram que a

Quadro 6. Desdobramento da interação significativa da cultura de verão com sistema de manejo, referente à produtividade de feijão

Adubo verde	Produção de grão	
	Sem. Direta	P. convencional
kg ha ⁻¹		
Soja		
Guandu	2.243 a A ⁽¹⁾	2.254 a AB
Crotalária	2.296 a A	2.473 a A
Mucuna	2.564 a A	1.868 b C
Milheto	2.547 a A	1.615 b CD
Pousio	2.339 a A	2.036 b BC
Culturas		
Feijão		
Soja	2.057 a A	1.743 a B
Milho	1.525 b B	2.087 a A

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras diferentes, minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, para cada fator, diferem entre si a 5 % pelo teste Tukey.

incorporação de MS de milho + mucuna-preta ou só de mucuna-preta não alterou a produtividade do feijoeiro cultivado em sucessão. Entretanto, Abboud & Duque (1986) verificaram que a incorporação de mucuna-preta ao solo proporcionou nodulação mais eficiente e maior acúmulo de N e de MS nas plantas de feijão. De maneira geral, o cultivo do feijão no inverno mostrou-se boa alternativa de rotação de culturas, podendo agregar valor, a exemplo do verificado em outros estudos (Silveira et al., 2001). Além disso, a cultura mantém o solo coberto na entressafra e recicla nutrientes em sua biomassa, fornecendo parte destes às culturas subsequentes, mediante a decomposição dos seus resíduos culturais, o que é desejável econômica e ambientalmente.

CONCLUSÕES

1. Os sistemas de rotação de culturas, plantas de cobertura e manejos do solo influenciaram as propriedades físicas e químicas do solo, bem como a produtividade das culturas de feijão, milho e soja.

2. O sistema de semeadura direta, após três anos de instalada a rotação, degradou mais as propriedades físicas do solo na camada superficial. Por outro lado, neste sistema e camada de solo, notou-se acréscimo no teor de matéria orgânica e no pH, bem como produtividade do milho superior à do sistema de preparo convencional.

3. A crotalária e o guandu sob preparo convencional foram mais eficazes para a produtividade de soja.

4. O feijão em rotação à cultura do milho, na semeadura convencional, e em rotação à soja, na semeadura direta, foi a melhor opção quanto ao desempenho de produtividade.

LITERATURA CITADA

- ABBOUD, A.C.S. & DUQUE, F.F. Efeitos de materiais orgânicos e vermiculita sobre a seqüência feijão-milho-feijão. *Pesq. Agropec. Bras.*, 21:227-236, 1986.
- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: Efeito sobre a forma de estrutura do solo ao final de sete anos. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:115-119, 1995.
- ALVES, M.C. Sistemas de rotação de culturas com plantio direto em Latossolo Roxo: Efeitos nas propriedades físicas e químicas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1992. 173p. (Tese de Doutorado)
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:241-248, 2002.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:179-189, 2000.
- ANGHINONI, I. & NICOLODI, M. Estratégias de calagem no sistema plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS - FERTBIO 2004, 26., Lages, 2004. Anais. Lages, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. CD-ROM.
- ARF, O.; SÁ, M.E. & BUZETTI, S. Incorporação de mucuna-preta e de restos culturais de milho antes da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) de inverno. *Pesq. Agropec. Bras.*, 31:563-568, 1996.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. Soil physics. 4.ed. New York, John Wiley, 1972. 498p.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Conteúdo de nitrogênio total num solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:235-239, 1997.
- BAYER, C. & SCHENEIDER, N.G. Plantio direto e o aumento no conteúdo de matéria orgânica do solo em pequenas propriedades rurais no município de Teutônia (RS). *Ci. Rural*, 29:165-166, 1999.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L. & SAAB, S.C. Diminuição da humificação da matéria orgânica de um Cambissolo Húmico em plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:537-544, 2003.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:677-683, 2004.
- BERTOL, L.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J. & ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas a do campo nativo. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:155-163, 2004.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Brasil: Feijão - produção, área colhida e rendimento - 1990 a 2005. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 20 de maio de 2007.
- CALEGARI, A. Alternativa de rotação de culturas para plantio direto. *R. Plantio Direto*, 80:62-70, 2004.
- CARVALHO, A.M.; CORREIA, J.C.; BLANCANEUX, P.; FREITAS, L.R.; MENEZES, H.A.; PEREIRA, J. & AMABILE, R.F. Caracterização de espécies de adubos verdes para o cultivo de milho em Latossolo Vermelho-Escuro originalmente sob Cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, Brasília, 1996. Anais. Goiânia, Embrapa-CPAC, 1996. p.384-388.
- CARVALHO, M.A.C. Adubação verde e sucessão de culturas em semeadura direta e convencional em Selvíria - MS. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 2000. 189p. (Tese de Doutorado)
- CARVALHO, M.A.C.; SORATTO, R.P.; ATHAYDES, M.L.F.; ARF, O. & SÁ, M.E. Produtividade do milho em sucessão a adubos verde no sistema de plantio direto e convencional. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:47-53, 2004.
- CAVENAGE, A.; MORAES, M.L.T.; ALVES, M.C.; CARVALHO, M.A.C.; FREITAS, M.L.M. & BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:997-1003, 1999.
- DA ROS, C.O.; SECCO, D.; FIORIN, J.E.; PETRERE, C.; CADORE, M.A. & PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: Efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:241-247, 1997.
- DEMATTÊ, J.L.I. Levantamento detalhado dos solos do "Campus experimental de Ilha Solteira". Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1980. 114p.
- ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G. & JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:259-267, 1989.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412p.
- FERNANDES, L.A.; FURTINI NETO, A.E.; VASCONCELLOS, C.A. & GUEDES, G.A.A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produtividade do milho em Latossolo sob vegetação de Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:247-254, 1998.

- FRANCHINI, J.C.; GONZALEZ-VILA, F.J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. *Plant Soil*, 231:55-63, 2001.
- HARRIS, R.F.; CHESTERS, G. & ALLEN, O.N. Dynamics of soil aggregation. *Adv. Agron.*, 18, 107-169, 1966.
- HILL R.L.; HORTON, R. & CRUSE, R.M. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two Mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:1264-1270, 1985.
- KIEHL, E.J. Manual de edafologia: Relação solo-planta. São Paulo, Ceres, 1979. 262p.
- KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Faixa de umidade menos limitante ao longo do perfil de um Latossolo Roxo. *Ci. Rural*, 10:959-960, 2000.
- KLEIN, V.A.; BOLLER, W.; CANDATEN, A.; BORTOLOTTI, D.R. & DALPAZ, R.C. Avaliação de escarificadores e resposta da cultura do milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:307-311, 1995.
- LARA CABEZAS, W.R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. & SANTANA, D.G. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. *Ci. Rural*, 34:1005-1013, 2004.
- MEDEIROS, J.C.; MIELNICZUK, J. & PEDÓ, F. Sistemas de culturas adaptados a produtividade, recuperação e conservação do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:199-204, 1987.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & FRANCHINI, J.C. Neutralização da acidez do solo por resíduos vegetais. Piracicaba, 2000. 8p. (Informações Agronômicas, 92)
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:95-102, 1983.
- PERIN, A.; SANTOS, R.H.S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J.G.M. & CECON, P.R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:35-40, 2004.
- RAIJ, B.van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1983. (Boletim Técnico, 81)
- RAIJ, B.van & ZULLO, M.A.T. Métodos de análise do solo. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1977. 16p. (IAC. Circular, 63)
- RAIJ, B.van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, Potafos, 1991. 343p.
- RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100)
- SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, A.W.; LAL, R.; VENZKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C. & FEIGL, B.E. Soil organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1476-1499, 2001.
- SAS Institute The SAS-System for Windows release 6.11 (software). Cary, 1996.
- SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; VELOSO, M.E.C. & TRIVELIN, P.C.O. Aproveitamento do nitrogênio (¹⁵N) da crotalária e do milho pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. *Ci. Rural*, 36:739-746, 2006.
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:191-199, 2000.
- SILVEIRA, P.M.; SILVA, O.F.; STONE, L.F. & SILVA, J.G. Efeito do preparo do solo, plantio direto e rotação de culturas sobre o rendimento e economicidade do feijoeiro irrigado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36:257-263, 2001.
- SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E., eds. Cerrado: Correção do solo e adubação. 2.ed. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2004. p.129-144.
- SOUZA, Z.M. & ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos. *R. Bras. Eng. Agric. Amb.*, 7:18-23, 2003a.
- SOUZA, Z.M. & ALVES, M.C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:133-139, 2003b.
- STONE, L.F. & SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34:83-91, 1999.
- TORMENA, C.A. Caracterização e avaliação de intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1998. 106p. (Tese de Doutorado)
- TORMENA, C.A.; ROLFF, G. & SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob semeadura direta influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:301-309, 1998.
- VIEIRA, M.J. & MUZILLI, O. Características de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 19:873-882, 1984.
- WISNIEWSKI, C. & HOLTZ, G.P. Decomposição da palhada e liberação de nitrogênio e fósforo numa rotação aveia soja sob plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 32:1191-1197, 1997.