



PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DA ADOÇÃO DE DIFERENTES USOS E MANEJOS¹

BENO WENDLING², IVO JUCKSCH³ & EDUARDO DE SÁ MENDONÇA³

¹ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV.

² Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Professor Adjunto do Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Av. Amazonas s/n, Bloco 2E-01, Bairro Umarama, Uberlândia/MG, CEP 38400-902. E-mail: beno@iciag.ufu.br

³ Professores do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36570-000 Viçosa (MG) E-mail: ivo@ufv.br; esm@ufv.br

RESUMO

Sabendo que o uso e o manejo influenciam as propriedades físicas do solo, realizou-se este estudo com o objetivo de avaliar algumas dessas influências em um Latossolo Vermelho (*Typic Haplorthox*), localizado em Capinópolis/MG. As amostras foram coletadas em agosto de 2002 e os tratamentos foram os seguintes: PDs – plantio direto (PD) por quatro anos com a sucessão milho (silagem)/soja/milho (silagem)/soja; PDg – PD por quatro anos com a sucessão milho/milho/milho/soja; PDtf – PD por quatro anos, sendo três com tifton (feno) e soja no último ano; SC – sistema de preparo convencional com soja nos últimos quatro anos; e MN – mata nativa. Foram estabelecidos contrastes ortogonais entre os tratamentos para isolar os efeitos cultivo, plantio direto, tifton e silagem. Foram avaliadas a cobertura do solo, carbono orgânico total, densidade do solo, porosidade, retenção de água pelo solo e estabelecidos índices a partir das relações capacidade de aeração/porosidade total (CAR/Pt) e capacidade de campo/porosidade total (CC/Pt). O cultivo do solo contribuiu para a degradação das propriedades físicas do solo em relação à mata nativa. O plantio direto apresentou potencial para recuperação destas em relação ao preparo convencional, mas ainda muito distante da mata nativa. O preparo convencional apresentou aeração menor que o limite de 0,10 m³/m³, podendo levar à uma deficiente atividade microbiana e respiração de raízes. O tratamento com tifton apresentou o melhor potencial para melhoria da qualidade física do solo. O cultivo de milho para silagem reduziu significativamente o teor de carbono orgânico total no solo. Os índices de CAR/Pt e CC/Pt foram sensíveis à adoção de diferentes usos e manejos.

Palavras-chave: carbono orgânico, densidade do solo, manejo do solo, plantio direto.

DENSITY, POROSITY AND WATER RETENTION OF A RED LATOSSOL IN FUNCTION OF THE DIFFERENT USES AND MANagements

ABSTRACT

The land use and management influence direct or indirectly the physical properties of the soil. To test this affirmative, physical properties of a red latossol (*Typic Haplorthox*), located in Capinópolis/MG, were evaluated. Soil samples were collected in august of 2002 under the following treatments: PDs – no tillage (NT) for 4 years with the succession corn (silage)/soybean/corn (silage)/soybean; PDg – NT for 4 years with the succession corn/corn/corn/soybean; PDtf – NT for 3 years followed by tifton (hay) and soybean in the last year; SC – conventional cultivation with soybean in the last 4 years; and MN – native forest. Orthogonal contrasts were done among the treatments to isolate the effects of: cultivation, no tillage, tifton and silage. It was evaluated the cover of the soil, total organic carbon, soil density, porosity, water retention by the soil and established indices from the relations aeration capacity/total porosity (AC/Pt) and field capacity/total porosity (FC/Pt). The cultivation contributed to the degradation of the physics properties of the soil compared to the native forest. The soil degradation was less under the no tillage than the conventional cultivation, but still much worse than the native forest. The conventional cultivation presented AC smaller than the limit of 0,10 m³/m³, what can cause a deficient microbial activity and problems to the roots breathing. Within the no tillage treatments, the effect of the tifton introduced better potential for improvement of the physical quality of the soil. The indexes of AC/Pt and FC/Pt were sensitive to the adoption of different uses and managements.

Key words: organic carbon, soil density, soil management, no tillage.

INTRODUÇÃO

O uso e o manejo interferem nas propriedades físicas do solo. Com o desmatamento o solo é exposto à ação direta das gotas de chuva e raios solares, tornando-se fisicamente mais frágil, caracterizando assim o início da degradação dos mesmos. Diferentes solos respondem de maneira distinta diante desta nova condição. Também solos semelhantes, mas submetidos a diferentes usos e manejos, podem apresentar níveis de degradação diferenciados.

A densidade do solo é uma propriedade dinâmica, podendo aumentar ou diminuir em função de seu uso e manejo, sendo, portanto, útil em estudos de compactação e/ou adensamento. O aumento de densidade pode ter causa antrópica ou natural, caracterizando o que Curi (1993) denominou de compactação ou adensamento, respectivamente. Fernandes Filho & Francelino (2001) citaram textura, teor de matéria orgânica e estrutura como sendo fatores que influenciam a densidade do solo. Solos mais argilosos via de regra são menos densos, pois possuem maior espaço poroso. Fernandes Filho & Francelino (2001) estabeleceram densidades de 1,0 a 1,25 g/cm³ e 1,25 a 1,4 g/cm³ para solos argilosos e arenosos respectivamente, podendo os últimos chegarem a 1,6 g/cm³ (Hillel, 1971), ou mesmo até 1,8 g/cm³ (Brady, 1989). O teor de matéria orgânica correlaciona-se negativamente com a densidade do solo, já que sua massa é menor e porque atua na estruturação do solo (Brady, 1989). Ferreira (1993) atribuiu menor densidade a solos bem estruturados.

Um certo nível de compactação do solo pode melhorar o rendimento de algumas culturas, dependendo do solo, das condições climáticas e do estado de desenvolvimento da cultura (Renedo, 1996; Dias Junior, 1996). Dauda & Samari (2002), trabalhando com solo franco-arenoso na Nigéria, concluíram que após 10 passadas de trator a cultura do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walps) apresentou o melhor rendimento.

Considera-se um solo fisicamente ideal quando este apresenta em média 50% do seu volume ocupado por sólidos e os outros 50% de volume poroso, ocupados por gases e água (Kielh, 1979). Skopp et al. (1990) sugerem que 34% do volume de poros sejam ocupados por gases e 66% por água, para que ocorra uma boa atividade microbiana, capaz de mineralizar os restos culturais e disponibilizar nitrogênio para as plantas. Segundo Kielh (1979), em 1860 Schumacher clas-

sificou a porosidade do solo em duas categorias, capilar e não capilar. Tais poros hoje são denominados de micro e macroporos respectivamente, onde os últimos são também denominados de poros de aeração, que para a maioria das culturas o limite crítico é 0,10 m³/m³ (Kiehl, 1979; Rachwal & Dedecek, 1996; Cockroft & Olsson, 1997). O manejo adotado pode interferir nestas relações (Tormena et al., 1998; Tormena et al., 1999 e Klein & Libardi, 2002). A compactação do solo leva a uma diminuição de macroporos e aumento de volume de microporos (Silva et al., 1986)

Com o aumento da densidade, o volume de sólidos e a retenção de água aumentam, prejudicando a aeração. Em baixos potenciais matriciais, pode acontecer que todo o espaço poroso esteja ocupado por água, restringindo a aeração (Eavis, 1972). Para Brady (1989) as duas mais importantes reações biológicas que ocorrem nos solos e que dependem da boa aeração dos mesmos são a respiração dos vegetais e a decomposição microbiana dos resíduos orgânicos incorporados ou mantidos na superfície do solo.

O manejo deve obedecer à práticas que evitem a degradação física do solo e ao mesmo tempo evitar impactos ambientais ao sistema. Neste sentido, em função do tipo de solo, clima, relevo e cultura a implantar, cabe ao produtor optar pelo manejo adequado para cada situação. Por isso, realizou-se este estudo com o objetivo de avaliar algumas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos e manejos, buscando com esses dados subsidiar o agricultor em sua decisão de qual ou quais sistemas de manejo adotar, visando a conservação e recuperação de solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Detalhamento da área de estudo e procedimentos de amostragem

Foram selecionadas cinco áreas sob diferentes usos e manejos, pertencentes ao CEPET/UFV (Centro de Experimentação, Pesquisa e Extensão do Triângulo) e a um produtor adjacente, no município de Capinópolis/MG. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho, apresentando relevo suave ondulado. O clima da região se enquadra como Aw segundo a classificação proposta por Köppen, com temperatura média anual em torno de 23 °C, precipitação média

anual de 1.300 mm (medidos entre 1992 a 2002) e vegetação nativa fase floresta subcaducifólia.

As amostragens de solo foram realizadas entre os dias 14 e 16 de agosto, final da época seca do ano 2002. Cada área que representou um determinado tratamento foi dividida em quatro quadrantes, cada um assumido como uma parcela. Para melhor entendimento das mudanças e evitar que os efeitos fossem diluídos no perfil, optou-se por fazer também amostragens em três profundidades (0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm). As proporções de areia grossa, areia fina, silte e argila, bem como a densidade de partículas e teores de carbono orgânico total (COT) de cada área são mostrados no Quadro 1.

Os usos, os manejos e os respectivos históricos das áreas amostradas estão descritos no Quadro 2. Os tratamentos PDs, PDg e PDtf não sofreram revolvimento do solo neste período (últimos 4 anos), sendo as culturas implantadas no sistema de plantio direto (PD). Nos anos anteriores aos descritos no Quadro 1 (em torno de 30 anos) o sistema convencional (SC) foi adotado nestas áreas, com cultivos alternados de milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine Max*). O tratamento SC sempre foi cultivado no sistema de preparo con-

vencional, com uma aração e duas a três gradagens de nivelamento, conforme a necessidade. Neste tratamento, nos últimos dois anos, o arado foi substituído pela grade aradora, que limita o revolvimento do solo até a profundidade de 10 cm. A mata nativa (MN) foi considerada como testemunha, ou seja, indicadora de como todos os demais tratamentos se apresentavam antes do desmatamento e início da agricultura intensiva. O tratamento SC foi tomado como base transitória, ou seja, para indicar como os tratamentos com PD eram antes da adoção desta prática.

Grau de flocculação e densidade do solo

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). O grau de flocculação foi calculado a partir da percentagem de argila dispersa em água e a percentagem de argila total, conforme EMBRAPA (1997).

Porosidade e aeração do solo

A porosidade total (Pt), foi calculada a partir da densidade de partícula e densidade do solo e expressa em percentagem (EMBRAPA, 1997). A microporosidade (Mi) foi determinada pelo método da Mesa de

Quadro 1. Percentagem de areia grossa (AG), areia fina (AF), silte (S), argila (A), densidade de partículas (Dp), fitomassa sobre o solo (MS) e carbono orgânico total (COT). Resultados médios das 3 profundidades

Tratamentos ⁽¹⁾	AG	AF	S	A	Dp (g/cm ³)	MS Kg/ha	COT (dag/kg)		
							0 a 5 cm	5 a 10 cm	10 a 20 cm
PDs	337	293	65	305	2,69	3445	1,91	1,83	1,46
PDg	358	334	46	262	2,70	4498	2,28	2,25	1,97
PDtf	374	314	48	264	2,71	5157	2,36	2,34	2,26
SC	284	280	79	358	2,70	2433	2,25	2,26	2,21
MN	424	249	54	273	2,68	10048	4,12	3,21	2,75

⁽¹⁾ PDs – milho (silagem)/soja/ milho (silagem)/soja; PDg – milho/milho/milho/soja; PDtf – 3 anos com tifton (feno)/soja; SC – 4 anos seguidos com soja e; MN – mata nativa

Quadro 2. Descrição e histórico dos últimos quatro anos agrícolas de cada área

Trat.	Época	Histórico dos últimos 4 anos agrícolas			
		1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002
PDs*	águas	milho (silagem)	Soja	milho (silagem)	soja
	seca	pousio	pousio	pousio	pousio
PDg*	águas	milho (grão)	milho (grão)	milho (grão)	soja
	seca	pousio	pousio	pousio	pousio
PDtf*	águas	tifton (Feno)	tifton (Feno)	tifton (Feno)	soja
	seca	tifton	tifton	tifton	pousio
SC**	águas	soja	soja	soja	soja
	seca	pousio	pousio	pousio	pousio
MN***	contínuo	mata nativa	Mata nativa	mata nativa	mata nativa

* cultivados sob sistema de plantio direto (PD); ** cultivado sob sistema de preparo convencional (SC); *** sob mata nativa, nunca cultivado (MN)

Tensão com 60 cm de coluna de água (EMBRAPA, 1997). Nessa determinação foram usados os mesmos anéis coletados para determinação da densidade do solo. A macroporosidade (Ma) foi calculada por diferença entre Pt e Mi. Neste trabalho a capacidade de aeração (CAR) foi considerada como sendo igual ao volume de Ma.

A relação entre capacidade de aeração e porosidade total (CAR/Pt) foi calculada a partir dos resultados obtidos para essa duas propriedades, já a relação entre capacidade de campo e porosidade total (CC/Pt) foi calculada com base na quantidade de água retida no solo sob tensão equivalente a 10 kPa em m^3/m^3 e a porosidade total. Foi utilizada a tensão de 10 kPa para representar a capacidade de campo (CC) baseado em resultados obtidos por Reichardt (1988) e Ruiz et al. (2003), que consideraram ser esta a tensão que melhor representa a CC para solos tropicais. A CC foi determinada usando amostras indeformadas através do aparelho extrator de Richards

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância no esquema de parcelas subdivididas, em que os usos e manejos constituíram os tratamentos da parcela e as profundidades as subparcelas.

Os graus de liberdade para tratamento foram decompostos em 4 contrastes ortogonais entre si, dentro de cada profundidade, para isolar os efeitos cultivo, plantio direto, tifton e silagem, conforme Quadro 3. Optou-se para trabalhar com contrastes médios, dividindo-se o resultado de cada contraste pelo respectivo coeficiente. A significância dos contrastes foi testada pelo teste F ($P < 0,05$) a partir do quadrado médio do resíduo combinado, e o efeito para determinada característica aumenta ou diminui quando os sinais das estimativas dos contrastes calculados são positivos ou negativos, respectivamente.

O efeito cultivo (contraste C1) estabelece uma

Quadro 3. Nome, coeficientes e efeitos dos contrastes estabelecidos

Nome	Tratamentos ⁽¹⁾					Efeito do contraste
	PDs	PDg	PDtf	SC	MN	
C1	1	1	1	1	-4	Cultivo
C2	1	1	1	-3	0	Plantio direto (PD)
C3	-1	-1	2	0	0	Tifton fenado
C4	1	-1	0	0	0	Silagem

⁽¹⁾ PDs – milho (silagem)/soja/ milho (silagem)/soja; PDg – milho/milho/milho/soja; PDtf – 3 anos com tifton (feno)/soja; SC – 4 anos seguidos com soja e; MN – mata nativa

comparação entre os tratamentos cultivados e mata nativa. O efeito plantio direto (contraste C2) compara este sistema com o preparo convencional. O efeito tifton (contraste C3) compara esta gramínea com outros tratamentos também sem revolvimento do solo, mas somente com as culturas milho e soja sob plantio direto. O efeito silagem (contraste C4) foi estabelecido para comparar os impactos sobre o solo desta área com outra onde não se realiza esta prática.

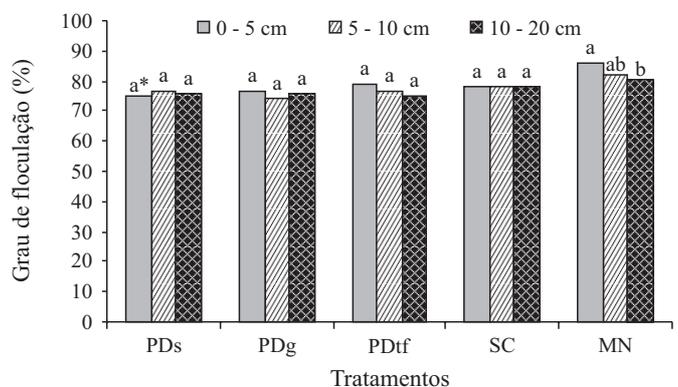
Foi utilizado o teste de Tukey ($P < 0,05$) para comparar as profundidades dentro de cada tratamento. As correlações entre as diversas variáveis tiveram seus níveis de significância testados pelo teste “t” ($P < 0,001$, $P < 0,01$ e $P < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Grau de flocculação e densidade do solo

O grau de flocculação (GF) não variou com as profundidades (Figura 1), somente entre os tratamentos, como pode ser visto no contraste C1 (Quadro 4), que compara a mata nativa com os tratamentos cultivados. Esses resultados mostram que o GF não foi sensível as variações de manejo, somente ao uso, tratando-se de uma propriedade que reflete muito mais as condições de formação do solo do que o manejo ao qual este é submetido. Possivelmente, com a adoção de sistemas de cultivo mais conservacionistas, ou seja, que não revolvem o solo e contribuem para o aumento dos teores de carbono orgânico no solo, diferenças podem aparecer depois de longos períodos.

Todos os tratamentos, com exceção do PDtf, apre-



* médias seguidas de letras iguais para o mesmo tratamento não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

Figura 1. Grau de flocculação em percentagem para os diferentes tratamentos e profundidades. SDs – milho (silagem)/soja/milho (silagem)/soja; SDg – milho/milho/milho/soja; SDtf – 3 anos com tifton (feno)/soja; SC – 4 anos seguidos com soja; e MN – mata nativa.

Quadro 4. Estimativa dos contrastes médios estabelecidos para grau de floculação (GF), densidade do solo (Ds), microporos (Mi), macroporos (Ma), porosidade total (Pt), relação capacidade de aeração (CAR)/Pt e relação capacidade de campo (CC)/Pt.

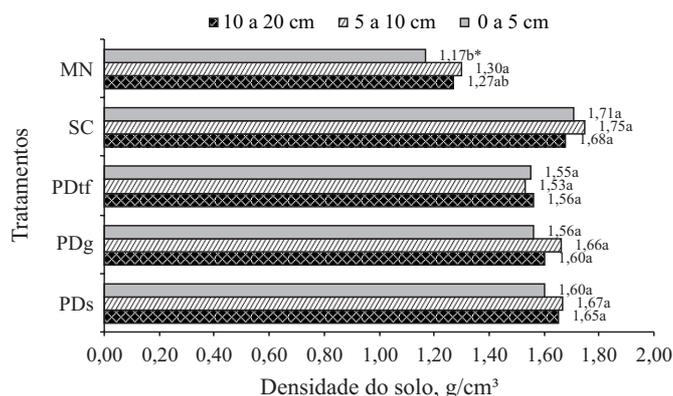
Nome ⁽¹⁾	Efeito do contraste	Ds g/cm ³	GF	Mi	Ma	Pt	Relações	
			%					CAR/Pt
Profundidade de 0 a 5 cm								
C1	Cultivo	0,434*	-9,19*	3,40*	-18,92*	-15,52*	-0,259*	0,238*
C2	Plantio direto	-0,145*	-1,54 ^{ns}	-5,85*	12,17*	6,32*	0,203*	-0,281*
C3	Tifton	-0,029 ^{ns}	2,92 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	2,08 ^{ns}	1,76 ^{ns}	0,023 ^{ns}	-0,021 ^{ns}
C4	Silagem	0,037 ^{ns}	1,91 ^{ns}	0,88 ^{ns}	-2,44 ^{ns}	-1,56 ^{ns}	-0,023 ^{ns}	0,038 ^{ns}
Profundidade de 5 a 10 cm								
C1	Cultivo	0,355*	-6,06*	4,07*	-16,79*	-13,05*	-0,263*	0,243*
C2	Plantio direto	-0,126*	-2,15 ^{ns}	-6,79*	11,39*	4,60*	0,274*	-0,285*
C3	Tifton	-0,137*	1,19 ^{ns}	-1,65*	6,38*	4,73*	0,115*	-0,108*
C4	Silagem	0,013 ^{ns}	2,15 ^{ns}	3,15*	-3,40 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,087*	0,088*
Profundidade de 10 a 20 cm								
C1	Cultivo	0,348*	-4,16*	5,32*	-16,47*	-12,06*	-0,271*	0,253*
C2	Plantio direto	-0,074 ^{ns}	-2,35 ^{ns}	-7,64*	10,84*	1,98 ^{ns}	0,229*	-0,236*
C3	Tifton	-0,060 ^{ns}	-0,82 ^{ns}	-0,61 ^{ns}	6,80*	2,58 ^{ns}	0,053 ^{ns}	-0,049 ^{ns}
C4	Silagem	0,046 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	1,75 ^{ns}	-3,75 ^{ns}	-2,03 ^{ns}	-0,080*	0,093*

⁽¹⁾ C1 = (PDs + PDg + PDTf + SC - 4MN); C2 = (PDs + PDg + PDTf - 3SC); C3 = (-PDs - PDg + 2PDTf); e C4 = (PDs - PDg)
*, ^{ns} significativo e não significativo pelo teste "F" (P < 0,05) respectivamente.

sentaram densidades menores na camada de 0 a 5 cm em relação à camada de 5 a 10 cm de profundidade, mas essa diferença somente foi significativa para MN (Figura 2). Esse comportamento é proporcionado pelo COT, que além de possuir peso menor, atua na estruturação do solo (Brady, 1989), reduzindo a possibilidade da compactação pelo tráfego de máquinas na camada superior, mais rica em COT (Quadro 1). A resteva da cultura da soja e do milho também oferecem resistência física à compactação do solo (Alderete, 1996). Na camada de 10 a 20 cm de profundidade, o efeito da matéria orgânica e fitomassa sobre o solo diminuem em relação às outras camadas (Quadro 1), mas em contrapartida o efeito do tráfego é menos expressivo por causa da profundidade, o que neste trabalho pode ter contribuído para uma menor Ds na camada superior em relação as outras camadas (Figura 2).

Para MN, a menor densidade deve-se a ausência de tráfego de máquinas, ao não revolvimento do solo e aos altos teores de COT proporcionados pela mata nativa. O fato do tratamento PDTf não apresentar a mesma tendência, é função da cultura e seu manejo, pois o tifton possui um sistema radicular muito denso e profundo, e o COT está distribuído uniformemente nas 3 profundidades.

As estimativas dos contrastes estabelecidos para densidade do solo estão apresentadas no Quadro 4. O



* médias seguidas de letras iguais para o mesmo tratamento entre as profundidades não diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05)

Figura 2. Densidade do solo para os diferentes tratamentos e profundidades. SDs – milho (silagem)/soja/ milho (silagem)/soja; SDg – milho/milho/milho/soja; SDTf – 3 anos com tifton (feno)/soja; SC – 4 anos seguidos com soja; e MN – mata nativa.

cultivo do solo (contraste C1) acarretou um aumento na densidade do solo nas três profundidades estudadas. Anjos et al. (1994) e Corazza et al. (1999) também obtiveram resultados semelhantes e atribuíram esse comportamento ao intenso revolvimento do solo e diminuição dos teores de matéria orgânica, o que está de acordo com o presente trabalho, onde estas condições se fizeram presentes.

O plantio direto (contraste C2) reduziu a densidade do solo nas duas camadas superiores, que pode ser atribuído ao maior aporte de material orgânico na superfície, refletindo em mais fitomassa sobre o solo

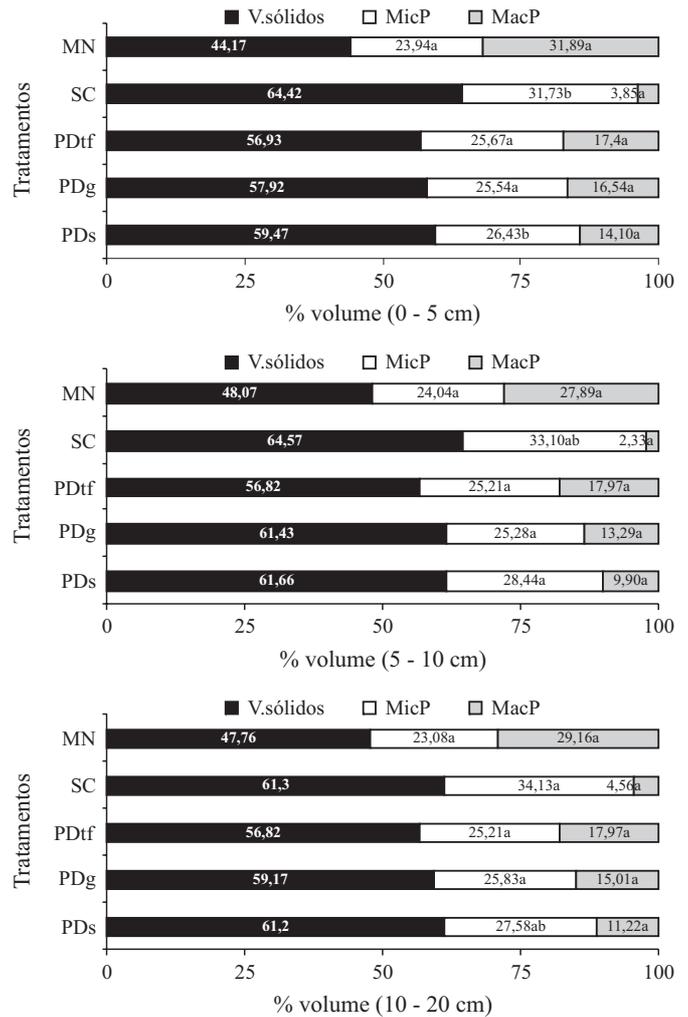
(Quadros 1), que protege o solo da ação direta das gotas de chuva e serve como um amortecedor para o peso das máquinas. Esse efeito ainda não se mostrou significativo na camada de 10 a 20 cm de profundidade, talvez porque a prática de plantio direto venha sendo utilizada há apenas 4 anos. O fato de no SC não se ter feito uso de arado nos últimos dois anos, somente grade aradora, não desestruturou o solo na camada de 10 a 20 cm, o que contribuiu para que a densidade nesta camada tenha sido um pouco menor, e por isso não se mostrou significativo em relação ao plantio direto. Machado (1976) também observou diminuição da densidade do solo após quatro anos da adoção de plantio direto em relação ao preparo convencional. Logo após o preparo do solo para semeadura no SC, certamente a densidade era menor, mas com as excessivas operações de aração e gradagens, a estrutura foi enfraquecida e os agregados quebrados, o que possibilitou uma nova reorganização das partículas após chuvas pesadas, comuns nesta época, além do efeito da pressão exercida pelo tráfego de maquinaria. Peña et al. (1996) e Carter et al. (1999) também concluíram que as boas propriedades físicas observadas no preparo convencional no início da estação de cultivo, não persistiram até o final do período.

A gramínea perene tifton (contraste C3) foi eficiente em diminuir a densidade do solo na camada intermediária, nas demais camadas não houve diferença significativa.

Porosidade do solo

A distribuição dos poros (Figura 3) mostra que somente a mata nativa (MN) apresentou porosidade total (Pt) maior que 50%, valor ideal para um solo de boa qualidade física, conforme Kiehl (1979). Os demais tratamentos sofreram redução na Pt, proporcionada pela diminuição da macroporosidade, já que a microporosidade apresentou um leve acréscimo. Todos os tratamentos, com exceção para o SC, apresentaram volume de macroporos maior que 0,10 m³/m³ de solo. Vários pesquisadores propõem este valor como limite mínimo para macroporos, que por sua vez reflete a capacidade de aeração dos solos quando se apresentam próximo da capacidade de campo (Kiehl, 1979; Rachwal & Dedeczek, 1996; Cockroft & Olsson, 1997).

De acordo com os contrastes estabelecidos para distribuição de poros no solo (Quadro 4), nota-se que o cultivo do solo (contraste C1) diminuiu o volume



* médias seguidas de letras iguais para o mesmo tratamento e variável, entre as diferentes profundidades, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05)

Figura 3. Distribuição do volume de sólidos (Vs), microporos (Mi) e macroporos (Ma) para cada profundidade e respectivos tratamentos. SDs – milho (silagem)/soja/ milho (silagem)/soja; SDg – milho/milho/milho/soja; SDtf – 3 anos com tifton (feno)/soja; SC – 4 anos seguidos com soja; e MN – mata nativa.

de macroporos e aumentou os microporos nas 3 profundidades estudadas, sendo que a porosidade total também diminuiu. Esse efeito ocorre devido a um aumento na densidade do solo (Figura 2 e Quadro 4), que pode ser causada por pressão de maquinaria ou pelo rearranjo das partículas e agregados do solo. Reduções de Ma de 20,4% sob mata natural para 14,3% após 4 anos de plantio direto e 6,9% para solo submetido por 6 anos ao preparo convencional foram encontradas por Machado (1976), trabalhando com Latossolo Roxo (Latosolo Vermelho na classificação atual). Silva et al. (2000) também observaram que à medida que a compactação do solo aumenta, há decréscimo na porosidade total e na macroporosidade e acréscimos na microporosidade.

O plantio direto (contraste C2) aumentou a Ma e diminuiu a Mi em todas as profundidades, mas a Pt somente aumentou nas duas camadas superiores (Quadro 4), onde o efeito do COT (Quadro 1) é maior.

A prática da silagem somente aumentou significativamente a Mi na camada intermediária, não apresentando significância para Pt e Ma (Quadro 4).

Segundo Camargo (1983), o volume de água que flui por um tubo na unidade de tempo, é proporcional a quarta potência do raio. Então, se o diâmetro deste tubo diminui para 1/3 do tamanho original, o volume de fluxo no mesmo tempo diminuirá para 1/81 do original. Portanto, se com a compactação o volume de macroporos diminui, ela terá uma influência muito grande na condutividade hidráulica em um solo saturado. Isso é de uma grande importância para entender a infiltração de água no solo. No presente estudo, baseado na distribuição das chuvas nos meses do ano, muito maior nos meses de novembro até março, época em que se implanta as culturas, fica evidente que no SC (Figura 3), a infiltração de água será severamente afetada, podendo levar ao escoamento superficial, encadeando o processo de erosão. Esse tratamento possui ainda fitomassa sobre o solo menor em relação ao plantio direto (Quadros 1), intensificando o processo erosivo.

A existência de canais deixados por organismos macro edáficos e raízes de plantas no plantio direto exercem influência positiva na infiltração de água no solo, diminuindo riscos de erosão. Cornisch (1993) denominou estes canais de bioporos e atribuiu a eles utilidade como rota alternativa para o crescimento de raízes em solos que apresentam resistência a penetração. Quando são realizados testes de resistência à penetração, estes bioporos não são detectados, o que leva a concluir em certos casos que determinado solo apresenta resistência elevada à penetração de raízes, o que na prática não é observado, devido ao efeito positivo destes poros, que são mais expressivos em sistemas onde o solo não é revolvido constantemente, como o caso do plantio direto.

Relações CAR/Pt e CC/Pt

O índice obtido pela relação CAR/Pt ficou próximo de 0,34 para os tratamentos PDs, PDg e PDtf (Figura 4), conforme sugerido por Olness et al. (1998), citado por Reynolds et al. (2002), como sendo indicadores da boa qualidade física em solos. Skopp et al.

(1990) concluíram que nestas proporções a atividade de microorganismos seria ideal para a mineralização da matéria orgânica e liberação de N para um bom crescimento das culturas. Para o SC este índice foi bastante inferior, indicando falta de arejamento necessário para uma boa atividade microbiana e respiração das raízes quando os solos se encontram próximo da CC, o que corrobora com os valores de Ma que neste tratamento foram inferiores ao limite mínimo de $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^3$. O MN apresentou índices superiores aos ideais, não tendo problemas com arejamento.

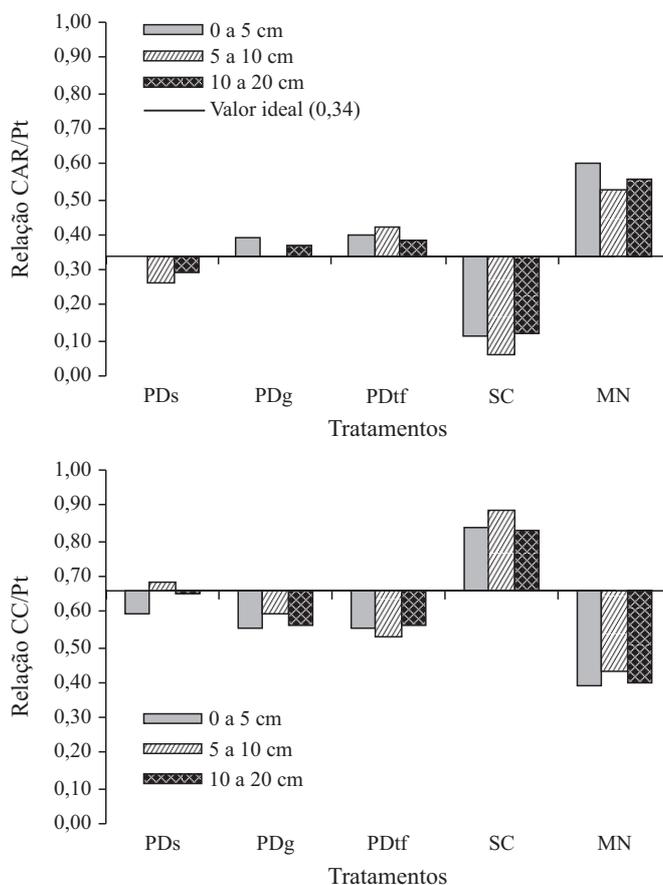


Figura 4. Relação entre capacidade de aeração (CAR) e porosidade total (Pt) e relação entre capacidade de campo (CC) e Pt. SDs – milho (silagem)/soja/milho (silagem)/soja; SDg – milho/milho/milho/soja; SDtf – 3 anos com tifton (feno)/soja; SC – 4 anos seguidos com soja; e MN – mata nativa. Não houve diferença significativa entre as profundidades dentro dos tratamentos.

Conforme a Figura 4, o índice CC/Pt nos tratamentos PDs, PDg e PDtf ficou próximo do ideal (0,66), indicando uma boa relação para conteúdo de água na CC em relação a Pt, não apresentando limitação a ação dos microorganismos e absorção de água pelas plantas. Para o SC este índice foi muito elevado, o que pode levar a uma aeração deficiente quando o solo estiver

próximo da CC ou mesmo encharcado, uma vez que grande proporção dos poros estará ocupada por água. No MN a relação é baixa, devido a este tratamento apresentar Pt alta (Figura 3). Reynolds et al. (2002) encontraram valores um pouco acima de 0,66 em solos francos e franco argilosos e menores em solos arenosos no Canadá. Estes pesquisadores consideraram este valor como sendo bom indicador da qualidade física para os dois primeiros solos.

Com o cultivo do solo (contraste C1, Quadro 4) o índice CAR/Pt reduziu, mas como no MN este valor estava acima do ideal, isso não diz muita coisa, pois após a redução, os tratamentos com plantio direto alcançaram valores próximos do ideal (Figura 4). Já no contraste C2, fica clara a eficiência do plantio direto em relação ao sistema convencional, pois este

índice aumentou para valores mais próximos do ideal. Para o efeito tifton (contraste C3), apenas na camada intermediária o índice aumentou, mas neste caso alcançando valores acima do ideal, não representando uma vantagem, pois os outros dois tratamentos com plantio direto que fazem parte deste contraste apresentam valores próximos do ideal. Para o efeito silagem (contraste C4), a redução do índice foi significativa nas duas camadas mais profundas, alcançando valores abaixo do ideal.

Os contrastes para o índice CC/Pt apresentaram comportamento semelhante ao índice CAR/Pt (Quadro 4), porém com tendência contrária, uma vez que os valores desses índices completam a unidade, quando a CAR e CC são determinadas para o mesmo potencial matricial do solo. No Presente estudo a unida-

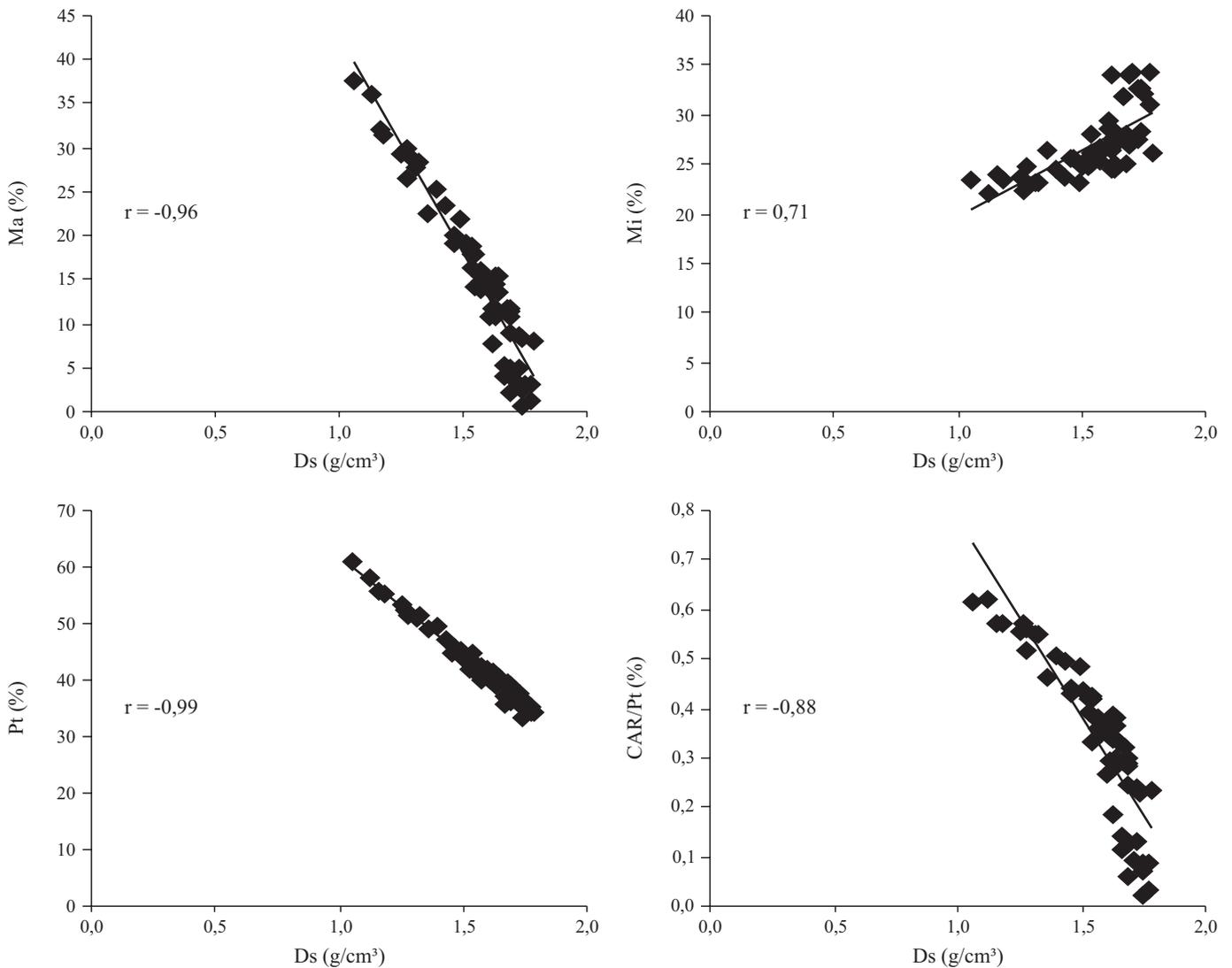


Figura 5. Correlações de Pearson entre densidade do solo (Ds) e macroporos (Ma), microporos (Mi), porosidade total (Pt) e relação capacidade de aeração (CAR)/Pt. Todos os coeficientes de correlação são significativos pelo teste "t" ($P < 0,01$), com $n = 60$.

de não é alcançada, pois a CAR e CC foram determinadas para as tensões 6 e 10 kPa, respectivamente. Em trabalhos futuros recomenda-se trabalhar apenas com um destes índices, talvez o de mais fácil obtenção.

Nota-se que a Ds foi negativamente correlacionada com Pt, Ma e CAR/Pt e positivamente com Mi (Figura 5). Esses resultados confirmam a diminuição da capacidade de aeração do solo com o aumento da Ds, concordando com Silva et al. (2000), podendo afetar a infiltração de água e a aeração no solo.

CONCLUSÕES

1. O cultivo contribuiu para a degradação das propriedades físicas do solo estudadas em relação à mata nativa. O plantio direto apresentou potencial para recuperação dessas em relação ao preparo convencional, mas ainda muito distante da mata nativa. Entre os tratamentos com plantio direto, aquele com a gramínea tifton, apresentou o melhor resultado na melhoria da qualidade física do solo, com ênfase na diminuição da densidade do solo.

2. No preparo convencional a capacidade de aeração foi inferior ao limite $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^3$, estabelecido por grande número de pesquisadores como sendo o mínimo necessário para uma boa atividade microbiana e respiração das raízes.

3. Os índices de CAR/Pt e CC/Pt foram sensíveis à adoção de diferentes usos e manejos, podendo portanto, serem usados como indicadores da qualidade física de solos, porém, mais estudos devem ser realizados para se obter o valor ideal para cada tipo de solo.

LITERATURA CITADA

- ALDERETE, D. R. **Compactação e características químicas de um Latossolo Roxo influenciadas pela adição de resíduos de soja e de milho**. 1996. 108p. Tese (Mestrado em Solos e nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- ANJOS, J. T.; UBERTI, A. A. A.; VIZZOTTO, V. T.; LEITE, G. B. & KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.18, p.139-145, 1994.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. Rio de Janeiro: Freitas Astos. 7ª ed. 1989, 878p.
- CAMARGO, O. A. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Campinas, Fundação Cargill, 1983, 44p.
- CARTER, M. R.; ANGERS, D. A. & TOPP, G. C. Characterizing equilibrium physical condition near the surface of a fine sandy loam under conservation tillage in a humid climate. **Soil Sci.**, v.164, p.101-110, 1999.
- COCKROTF, B. & OLSSON, K. A. Case study of soil quality in south-eastern Australia: management of structure for roots in duplex soils. In: GREGORICH, E. G. & CARTER, M. R. (Eds), **Soil quality for crop production and ecosystem health. developments in soil science**. New York, Elsevier 1997, p.339-350.
- CORAZZA, E. J.; SILVA, J.E.; RESCK, D. V. S. & GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação a vegetação de cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, v.23, p.425-432, 1999.
- CORNISH, P. S. Soil macrostructure and root growth of establishing seedlings. **Plant Soil**, 151:119-126, 1993.
- CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KAMPF, N.; MONIZ, A. C. & FONTES, L. E. F. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993, 90p.
- DAUDA, A. & SAMARI, A. Cowpea yield response to soil compaction under tractor traffic on a sandy loam soil in the semi-arid region of Northern Nigeria. **Soil & Tillage Research**, v.68, p.17-22, 2002.
- DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. Viçosa, **R. Bras. Ci. solo**, v.20, p.175-182, 1996.
- EAVIS, B. W. Soil physical affecting seedling root growth. I. Mechanical impedance, aeration and moisture availability as influenced by bulk density and moisture levels in a sandy loam soil. **Plant Soil**, v.36, p.613-622, 1972.
- EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. EMBRAPA, 2ª edição, Rio de Janeiro: 1997, 212p
- FERNANDES FILHO, E. I. & FRANCELINO, M. R. **Solo como sistema trifásico** (Apostila). Viçosa: UFV. 2001, 41p.
- FERREIRA, M. M. **Física do solo**. Lavras. ESAL/FAEPE. 1993, 63p.
- HILLEL, D. **Soil and water. Physical principles and processes**. New York, Academic Press, 1971, 288p.
- KIELH, E. K. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. Editora Agronômica Ceres, São Paulo-SP, 1979, 262p.
- KLEIN, V. A. & LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro de poros em um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.26, p.857-867, 2002

- MACHADO, J. A. Efeito dos sistemas de cultivo reduzido e convencional na alteração de algumas propriedades físicas e químicas do solo. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1976. 127p. (Tese Livre Docência)
- PEÑA, Y. A.; GOMES, A. S. & SOUSA, R. O. Influência de diferentes sistemas de cultivo nas propriedades físicas de um solo de várzea cultivado com arroz irrigado. *R. Bras. Ci. Solo*, v.20, p.517-523, 1996.
- RACHWAL, M. F. G. & DEDECEK, R.A. Influência da aeração e da disponibilidade hídrica em Cambissolos e Latossolos com diferentes níveis de erosão sobre a produtividade e a qualidade da cultura da batata. *R. Bras. Ci. Solo*, v.20, p.485-491, 1996.
- REICHARDT, K. Capacidade de campo. *R. Bras. Ci. Solo*, v.12, p.211-216, 1988.
- RENEDO, V. S. G. *Dinámica y mecánica de suelos*. Madrid: Edições Agrotécnicas S. L. 1996, 426p.
- REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S. & LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*, v.110, p.131-146, 2002.
- RUIZ, H. A.; FERREIRA, G. B. & PEREIRA, J. B. M. Estimativa da capacidade de campo de Latossolos e Neossolos Quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. *R. Bras. Ci. Solo*, v.27, p.389-393, 2003.
- SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. & CAMARGO O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, v.10, p.91-95, 1986.
- 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*, v.24, p.191-199, 2000.
- SKOPP, J.; JAWSON, M. D. & DORAN, J. W. Steady-state aerobic microbial activity as a function of soil water content. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.54, p.1619-1625, 1990.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. & SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. *R. Bras. Ci. Solo*, v.22, p.301-309, 1998.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. & LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. *Soil & Tillage Research*, v.52, p.223-232, 1999.