

Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema
agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas GeraisIndicator attributes of soil quality in agri-forestry-pasture
system at Northwestern of Minas Gerais State, BrazilCláudia Milene Nascente das Neves¹, Marx Leandro Naves Silva²,
Nilton Curi³, Evaldo Luis Cardoso⁴, Renato Luis Grisi Macedo⁵,
Mozart Martins Ferreira³ e Fabiana Silva de Souza⁶

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações em atributos, principalmente físicos, de um Latossolo Vermelho Distrófico típico sob uso com sistema agrossilvopastoril, e selecionar aqueles com melhor performance em indicar a qualidade do solo. Foram avaliadas a densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, estabilidade de agregados, resistência do solo à penetração, condutividade hidráulica do solo saturado e carbono orgânico total nas seguintes áreas: EA – eucalipto + arroz, primeira sucessão do sistema agrossilvopastoril; ES – eucalipto + soja, ano um do sistema, semeadura da soja em substituição ao arroz; EP - eucalipto + pastagem, ano dois do sistema; EPG - eucalipto + pastagem + gado de corte, ano três do sistema e introdução do pastejo; PC - pastagem de *Brachiaria brizantha* sob pastejo contínuo de gado de corte em regime extensivo; EC - plantio de eucalipto no espaçamento de 2,0 x 3,0 m; e CN - cerrado nativo, sistema de referência. Os resultados mostraram que a implementação do sistema agrossilvopastoril alterou a densidade do solo, volume total de poros, microporosidade, macroporosidade e estabilidade de agregados, porém estes apresentaram valores dentro da faixa considerada não restritiva ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas. A resistência à penetração, condutividade hidráulica e o carbono orgânico total foram negativamente influenciados pelo sistema agrossilvopastoril, notadamente na camada mais superficial (0 – 5 cm), sendo estes atributos considerados como de boa performance para indicar a qualidade do solo.

Palavras-chave: Agregação do solo, Carbono orgânico, Degradação do solo, Densidade do solo, Porosidade do solo, Resistência do solo à penetração

Abstract

The objective of this work was to evaluate the changing, mainly physical attributes, in a typical Dystrophic Red Latosol (Oxisol) under use with agri-forestry-pasture system, and to select those with a better performance in indicating soil quality. It were evaluated bulk density, total porosity, macro and microporosity, aggregates stability, soil resistance to penetration, hydraulic conductivity of saturated soil, and total organic carbon. The studied agri-forestry-pasture system included: EA – eucalypts + rice, first succession of the agri-forestry-pasture system; ES – eucalypts + soybean, year one of the system, soybean sowing in substitution to rice; EP – eucalypts + pasture, year two of the system; EPG – eucalypts + pasture + cattle, year three of the agri-forestry-pasture system, introduction of grazing; PC – *Brachiaria brizantha* pasture under continuous grazing of cattle in extensive regime; EC – eucalypts plantation at 2.0 x 3.0 m spacing; and CN – native cerrado, system taken as reference. The results showed that the agri-forestry-pasture system changed the bulk density, the total volume of pores, microporosity and macroporosity and aggregates stability, however the values were not considered restrictive to the root system of plants. The soil resistance to penetration, hydraulic conductivity of saturated soil, and total organic carbon were influenced negatively by the agri-forestry-pasture system, especially in the more superficial layer (0 5 cm). These attributes showed good performance in indicating soil quality.

Keywords: Soil aggregation, Organic carbon, Soil degradation, Bulk density, Soil porosity, Soil resistance to penetration

¹Doutoranda no Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo - Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP - 13400-970 - E-mail: cmneves@esalq.usp.br

²Professor Adjunto do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: marx@ufla.br

³Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: niltcuri@ufla.br; mozartmf@ufla.br

⁴Pesquisador da Embrapa Pantanal - Caixa Postal 109 - Corumbá, MS - 79320-900 e Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas junto ao Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: evaldo@cpap.embrapa.br

⁵Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: rlgrisi@ufla.br

⁶Mestranda em Solos e Nutrição de Plantas junto ao Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: fassouza@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

A estrutura é um dos atributos mais importantes do solo sob o ponto de vista agrícola, tendo participação substancial nas relações solo-planta, sendo efetivamente influenciada pelo clima, atividade biológica, práticas de manejo e, ainda, vulnerável a forças de natureza mecânica e físico-química. Embora não seja considerado em si um fator de crescimento para as plantas, exerce influência na disponibilidade de água e ar às raízes das plantas, e no desenvolvimento radicular (CRUZ *et al.*, 2003).

Dos componentes do manejo do solo, o seu preparo talvez seja a atividade que mais influi no seu comportamento físico, pois atua diretamente na estrutura do solo (OLIVEIRA *et al.*, 2003). De modo geral, o solo mantido em estado natural, sob vegetação nativa, apresenta características físicas, como permeabilidade, estrutura, densidade do solo e porosidade, adequadas ao desenvolvimento normal de plantas (ANDREOLA *et al.*, 2000). À medida que essas áreas vão sendo incorporadas ao processo produtivo os atributos físicos e químicos do solo sofrem alterações (SPERA *et al.*, 2004), cuja intensidade varia com as condições de clima, natureza do solo, uso e manejos adotados. A utilização intensiva de equipamentos agrícolas em todas as operações de cultivo do solo (semeadura, tratos culturais e colheita) tem promovido aumento da compactação, principalmente na zona de exploração do sistema radicular (ASSIS e LANÇAS, 2005).

Nos últimos anos, a preocupação com a qualidade do solo tem crescido, na medida em que seu uso e mobilização intensiva podem redundar na diminuição de sua capacidade em manter uma produção biológica sustentável (CARVALHO *et al.*, 2004). Segundo Doran e Parkin (1994), os atributos indicadores da qualidade do solo são definidos como propriedades mensuráveis que influenciam a capacidade do solo na produção das culturas ou no desempenho de funções ambientais. A quantificação das alterações nos atributos do solo, decorrentes da intensificação de sistemas de uso e manejo, pode fornecer subsídios importantes para a definição de sistemas racionais de manejo, contribuindo assim para tornar o solo menos suscetível à perda de capacidade produtiva.

Muitos atributos físicos do solo têm sido utilizados para quantificar as alterações provocadas pelos diferentes sistemas de manejo, ou até mesmo, como indicadores de qualidade do

solo. A densidade do solo é usada na estimativa da estrutura do solo com relação ao potencial de lixiviação, produtividade e aspectos erosivos (DORAN e PARKIN, 1994), sendo afetada por vários fatores, como sistema de manejo, tipo de cobertura vegetal, quantidade de resíduos à superfície e teor de matéria orgânica do solo (CAVENAGE *et al.*, 1999; TORMENA *et al.*, 2002; CRUZ *et al.*, 2003; SPERA *et al.*, 2004). O volume total de poros depende da composição granulométrica e da estruturação, cujos limites são muito amplos, porém, valores de macroporos inferiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ podem ser restritivos às trocas gasosas e ao crescimento das raízes da maioria das culturas (TAYLOR e ASHCROFT, 1972). Valores superiores de porosidade total e macroporosidade em superfície, decorrentes do preparo do solo, têm sido relatados (CRUZ *et al.*, 2003; TORMENA *et al.*, 2004; BERTOL *et al.*, 2004). Aumentos no teor de matéria orgânica, notadamente na camada superficial do solo, têm sido associados a sistemas com o mínimo revolvimento do solo (Reeves, 1997; citado por Tormena *et al.*, 2004).

Todavia, a intensidade das alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos dos solos varia conforme os diferentes sistemas de manejo adotados. Segundo Carvalho *et al.* (2004), os sistemas agroflorestais constituem uma alternativa de produção agropecuária que minimiza o efeito da intervenção humana, pois a consorciação de várias espécies dentro de uma mesma área eleva a diversidade do ecossistema e são aproveitadas as interações benéficas entre as plantas de diferentes ciclos, portes e funções.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar as alterações em atributos, principalmente físicos, de um Latossolo Vermelho Distrófico típico sob uso com sistema agrossilvopastoril, e selecionar aqueles com melhor performance em indicar a qualidade do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em áreas experimentais da Companhia Mineira de Metais (CMM), entre os municípios de Vazante e Paracatu (latitude sul $17^\circ 33'$ e longitude oeste $46^\circ 42'$), no noroeste do Estado de Minas Gerais. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd) e o clima da região é do tipo Cwa, com temperatura média máxima de 32°C e mínima de 16°C . As precipitações médias anuais variam de 1.300 a 1.800 mm.

O sistema agrossilvopastoril adotado pela CMM inicia-se com o preparo da área, anteriormente com cerrado nativo, para plantio de clones híbridos de *Eucalyptus* sp., no espaçamento de 10x4 m, consorciado com arroz. O preparo do solo consiste de aração e gradagens, após o desmatamento da vegetação nativa, e operações de plantio e adubação conduzidas simultaneamente com semeadeira-adubadeira. No ano seguinte a soja é plantada em sucessão ao arroz, sendo o preparo do solo realizado com uma gradagem aradora e duas gradagens niveladoras. Os restos culturais, tanto do arroz como da soja, são incorporados ao solo. Em seguida à colheita da soja, o solo é preparado para o plantio de *Brachiaria brizantha*, consistindo de uma gradagem pesada a 20 cm de profundidade, com arado de disco, seguido de uma gradagem niveladora, para homogeneizar e aplainar a superfície do solo. Após a semeadura é realizada uma gradagem niveladora de incorporação das sementes. Após a implantação da pastagem, a cada três anos, é realizada uma adubação de manutenção.

O histórico de uso e manejo do solo do sistema agrossilvopastoril avaliado é o seguinte: CN - cerrado nativo, sistema considerado como referência, sem histórico de interferência antrópica; EA - eucalipto consorciado com arroz plantado em dezembro/2000 e colheita em março/2001; ES - eucalipto consorciado com soja plantada em dezembro/2000 e colheita em março/2001 (o arroz havia sido plantado nesta área em dezembro/1999 e colhido em março/2000); EP - eucalipto consorciado com pastagem de *Brachiaria brizantha* plantada em dezembro/1999 (o arroz havia sido plantado nesta área em dezembro/1997 e a soja em dezembro/1998); EPG - eucalipto consorciado com pastagem de *Brachiaria brizantha* e sob pastejo contínuo (gado de corte) com 2,0 UA ha⁻¹ no verão e 1,0 UA ha⁻¹ no inverno (a pastagem foi implantada nesta área em dezembro/1993); PC - área de pastagem de *Brachiaria brizantha*, com mais de 20 anos de uso e sob pastejo contínuo de gado de corte em regime extensivo; EC - área de plantio de eucalipto no sistema convencional (espaçamento de 2,0 x 3,0 m).

A coleta de amostras de solo, deformadas e indeformadas, foi realizada em maio/2001, em três repetições e nas profundidades de 0-5, 5-20 e 20-40 cm. A densidade do solo foi determinada conforme Blake e Hartge (1986) e o volume total de poros, segundo Danielson e Sutherland (1986). A distribuição de poros por tamanho

foi determinada utilizando-se funil de placa porosa, em unidade de sucção a 60 cm de altura de coluna d'água, para a distinção de macro e microporos. O volume de água retida nas amostras após o equilíbrio foi relacionado à microporosidade, sendo a macroporosidade obtida por diferença (GROHMANN, 1960). A estabilidade de agregados foi determinada em agregados com diâmetro de 4,76 a 7,93 mm por peneiramento após pré-umedecimento lento por capilaridade durante 24 horas (KEMPER e ROSENAU, 1986). Foram usadas peneiras de malhas correspondentes a 2; 1; 0,5; 0,25 e 0,105 mm para a separação das classes de tamanho dos agregados.

O diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados foi calculado com o uso das seguintes expressões:

$$X = \left[\frac{DMG = 10^X \sum (W_i * \ln x_m)}{\sum W_i} \right]$$

em que:

DMG = diâmetro médio geométrico dos agregados (mm);

W_i = massa dos agregados de cada classe de tamanho (g);

$\ln x_m$ = logaritmo natural do diâmetro médio de cada classe de tamanho;

$\sum W_i$ = massa total da amostra (g).

O carbono orgânico total foi avaliado por oxidação a quente com dicromato de potássio, sendo determinado por titulação com sulfato ferroso amoniacal (WALKLEY e BLACK, 1934). A resistência do solo à penetração foi determinada com penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalesucar - Stolf (STOLF *et al.*, 1983), com trinta repetições para cada sistema de manejo. Os valores obtidos em kgf cm⁻² foram multiplicados pelo fator 0,098, com a finalidade de expressar os resultados em MPa. A umidade do solo no momento do teste de resistência à penetração foi determinada pelo método gravimétrico. A condutividade hidráulica do solo saturado (Ks) foi determinada por meio de permeâmetro de carga constante, seguindo metodologia descrita por Lima *et al.* (1990), com o uso de amostras indeformadas saturadas previamente por capilaridade. Considerou-se, para efeito de cálculo, o valor estabilizado após cinco leituras iguais. Utilizou-se a equação de Darcy para o cálculo da condutividade hidráulica do solo saturado:

$$K = 600 * \frac{(Q * L)}{(A * h * t)}$$

em que:

K = condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1});

Q = volume de água coletada no intervalo de tempo " t " (cm^3);

L = altura do cilindro (cm);

A = área da seção transversal do cilindro (cm^2);

h = altura da lâmina d'água sobre a amostra (cm);

t = intervalo de tempo entre as coletas (min).

O valor da condutividade hidráulica do solo saturado obtido pela expressão anterior foi corrigido para a temperatura de 20°C , por meio da relação:

$$K_s = K^* \left(\frac{\mu_t}{\mu_{20}} \right)$$

em que:

K_s = condutividade hidráulica do solo saturado a 20°C (mm h^{-1});

K = condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1});

μ_t = viscosidade da água à temperatura da determinação das leituras;

μ_{20} = viscosidade da água a 20°C .

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), em que as parcelas representaram os componentes do sistema agrossilvopastoril e as subparcelas as profundidades de amostragens. Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo o efeito da profundidade, dos sistemas agrossilvopastoris e da interação sistema x profundidade, comparados pelo teste de Scott e Knott (SCOTT e KNOTT, 1974), a 5% de probabilidade, para comparação entre as médias, utilizando-se o programa SISVAR (FERREIRA, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo variou significativamente entre os componentes do sistema agrossilvopastoril, e entre as profundidades amostradas (Tabela 1). Em geral, observa-se que a densidade do solo foi maior nas camadas superficiais (0-5 e 5-20 cm), com valores entre 0,96 e 1,18 Mg m^{-3} , exceção ao CN, cujo menor valor (0,93 Mg m^{-3}) foi constatado na profundidade de 0-5 cm. Para o CN, tal comportamento reflete a condição estrutural original do solo e onde os resíduos vegetais se encontram em maior quantidade, em relação à diminuição do teor de matéria orgânica em profundidade (CAVENAGE *et al.*, 1999). Os maiores valores foram observados nos sistemas EPG, EC e PC, provavelmente em decorrência do pisoteio dos animais e trá-

fego de máquinas necessário para o preparo do solo antes de cada sucessão de cultura. O efeito do pisoteio nos sistemas EPG e PC pode ser constatado através da maior densidade do solo nas camadas superficiais (0-5 e 5-20 cm) em relação à camada mais profunda (20-40 cm), confirmando que tais efeitos do pisoteio animal se restringem, mais acentuadamente, às camadas superficiais do solo (SPERA *et al.*, 2004). A maior densidade do solo nas camadas superficiais de sistemas de pastagem em comparação com a mata nativa, segundo Oliveira *et al.* (1996), pode ainda estar associada à maior predisposição dessas áreas a ciclos de umedecimento e secagem do solo.

Embora a interação entre sistema agrossilvopastoril e profundidade tenha sido significativa para a densidade do solo, seus valores foram relativamente baixos, variando de 0,93 a 1,18 Mg m^{-3} , inferiores aos encontrados por D'Andréa (2001) em Latossolo Vermelho-Escuro sob cerrado nativo (1,22 Mg m^{-3}), sistema de pastagem (1,24 Mg m^{-3}), plantio direto (1,31 Mg m^{-3}) e sistemas convencionais (1,43 Mg m^{-3}). Portanto, analisando apenas os valores de densidade do solo, tais resultados indicam que o sistema agrossilvopastoril não afetou este atributo a ponto de torná-lo superior ao nível crítico. Para solos argilosos, o valor de densidade que pode ser considerado crítico, quando na capacidade de campo, é 1,55 Mg m^{-3} (Bowen, 1981, citado por SPERA *et al.*, 2004), acima do qual pode haver restrições para o crescimento e o desenvolvimento das raízes das plantas.

O volume total de poros variou de 0,49 a 0,62 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ e constatou-se, exceção ao CN e EP, uma tendência de menores valores nas camadas superficiais (0-5 e 5-20 cm), comportamento este inverso em relação à densidade do solo (Tabela 2). Valores de porosidade total inversamente associados aos de densidade do solo, ou seja, quanto menor a densidade do solo, maior a porosidade total também têm sido relatados (CAVENAGE *et al.*, 1999; BERTOL *et al.*, 2004). Os valores de porosidade total encontrados no sistema agrossilvopastoril, em geral, são inferiores aos relatados por Beutler *et al.* (2001) em Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa sob cerrado (0,66 a 0,68 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e mais próximos aos reportados por Cavenage *et al.* (1999) em Latossolo Vermelho-Escuro textura média, também sob cerrado (0,47 a 0,50 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

Tabela 1. Valores de densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), microporosidade (Mic) e macroporosidade (Mac) em Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistema agrossilvopastoril em três profundidades. (Bulk density (Ds), total volume of pores (VTP), microporosity (Mic), and macroporosity (Mac) values in typical Dystrophic Red Latosol under agri-forestry-pasture system at three depths).

Sistemas de manejo	Profundidade (cm)																	
	0-5			5-20			20-40			0-5			5-20			20-40		
	Ds			VTP			Mic			Mac								
	Mg m ⁻³			m ³ m ⁻³														
CN	0,93 dB	1,07 bA	1,14 aA	0,59 aA	0,54 bB	0,52 bB	0,31 cA	0,33 bA	0,34 bA	0,24	0,25	0,26						
EA	1,00 cA	1,06 bA	1,00 bA	0,56 bA	0,54 bA	0,57 aA	0,36 bB	0,38 aB	0,43 aA	0,23	0,23	0,15						
ES	0,96 dA	1,01 cA	0,97 bA	0,62 aA	0,55 bB	0,62 aA	0,36 bB	0,37 aB	0,40 aA	0,24	0,19	0,19						
EP	1,02 cB	1,15 aA	1,02 bB	0,61 aA	0,54 bB	0,58 aB	0,38 bA	0,39 aA	0,39 aA	0,24	0,23	0,21						
EPG	1,18 aA	1,13 aA	1,05 bB	0,56 bA	0,56 bA	0,58 aA	0,42 aA	0,36 aB	0,36 bB	0,25	0,27	0,26						
PC	1,08 bA	0,99 cB	0,99 bB	0,55 bB	0,60 aA	0,60 aA	0,44 aA	0,37 aB	0,40 aB	0,20	0,21	0,18						
EC	1,18 aA	1,14 aA	1,14 aA	0,49 cB	0,52 bA	0,54 bA	0,42 aA	0,40 aA	0,37 bB	0,29	0,28	0,30						
CV sistema (%)	5,88			5,54			8,86			18,57								
CV geral (%)	3,91			3,65			5,30			11,18								

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott e Knott a 5%.

CN - cerrado nativo; EA - eucalipto consorciado com arroz; ES - eucalipto consorciado com soja; EP - eucalipto consorciado com pastagem; EPG - eucalipto consorciado com pastagem e sob pastejo; PC - pastagem de longo uso e sob pastejo contínuo; EC - plantio de eucalipto no sistema convencional.

Tabela 2. Valores de diâmetro médio geométrico (DMG) e carbono orgânico em Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistema agrossilvopastoril em três profundidades. (Mean geometric diameter (DMG) of aggregates and total organic carbon values in typical Dystrophic Red Latosol under agri-forestry-pasture system at three depths)

Sistemas de manejo	Profundidade (cm)								
	0-5			5-20			20-40		
	DMG (mm)			C orgânico (g kg ⁻¹)					
CN	4,43 aA	4,39 aA	4,39 aA	22,6 aA	15,2 aB	11,9 aC			
EA	3,96 aA	4,05 aA	3,76 bA	13,5 cA	11,4 cB	8,5 bC			
ES	3,29 bB	4,17 aA	3,89 bA	15,2 cA	11,6 cB	8,3 bC			
EP	4,11 aA	3,92 aA	4,22 aA	14,8 cA	12,5 cB	9,1 bC			
EPG	4,33 aA	4,00 aA	3,49 bB	14,6 cA	10,6 cB	8,9 bB			
PC	4,18 aA	4,03 aA	4,18 aA	15,4 cA	14,5 aA	11,2 aB			
EC	4,40 aA	4,33 aA	4,37 aA	19,7 bA	13,3 bB	11,2 aC			
CV sistema (%)	5,84			10,23					
CV geral (%)	5,37			6,80					

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott e Knott a 5%.

CN - cerrado nativo; EA - eucalipto consorciado com arroz; ES - eucalipto consorciado com soja; EP - eucalipto consorciado com pastagem; EPG - eucalipto consorciado com pastagem e sob pastejo; PC - pastagem de longo uso e sob pastejo contínuo; EC - plantio de eucalipto no sistema convencional.

A microporosidade apresentou interação significativa entre o sistema agrossilvopastoril e as profundidades do solo, sendo os maiores valores observados na camada mais superficial (0-5 cm) dos sistemas PC, EPG e EC, e os menores valores nas camadas superficiais (0-5 e 5-20 cm) do CN (Tabela 1). Quanto à macroporosidade, não houve interação significativa entre sistema e profundidades do solo, sendo os maiores valores, independentes da profundidade, observados nos sistemas EC, EPG e CN, correspondendo a 0,29, 0,26 e 0,25 m³ m⁻³, respectivamente (Tabela 1). Quanto às profundidades, as camadas superficiais (0-5 e 5-20 cm), sujeitas ao maior revolvimento do solo, decorrente das operações de preparo, apresentaram valor superior (0,24 m³ m⁻³) à camada mais profunda (0,22 m³ m⁻³), concordando com resultados que evidenciam um aumento da macroporosidade com o revolvimento do solo

(TORMENA *et al.*, 2002). De forma contrária, Cavenage *et al.* (1999), em Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com pinus sp., pastagem, eucalipto e mata ciliar, mostraram tendência à maior macroporosidade em profundidade, em associação à menor densidade do solo.

A porosidade total de um solo ideal para o desenvolvimento das plantas deve ser de 0,50 m³ m⁻³, sendo a distribuição de poros por tamanho representada por 1/3 de macroporos e 2/3 de microporos (KIEHL, 1979). Taylor e Ashcroft (1972) ressaltam que valores de macroporos superiores a 0,10 m³ m⁻³ são necessários para permitir as trocas gasosas e o crescimento das raízes da maioria das culturas. Nota-se nos dados do presente trabalho, que tanto o volume total de poros como a macroporosidade são superiores a 0,50 m³ m⁻³ e 0,10 m³ m⁻³, respectivamente. Portanto, para este atributo, tais valores sugerem

que a implementação do sistema agrossilvopastoril expressa condições satisfatórias ao desenvolvimento da maioria das plantas. Ressalta-se ainda, que o aumento da macroporosidade na camada superficial do solo, independente do sistema, condiciona melhor difusão de oxigênio e drenagem do perfil. Valores adequados de capacidade de aeração são dependentes das condições climáticas e os valores de porosidade de aeração devem ser ampliados sob condições mais úmidas (Thomasson, 1978, citado por TORMENA *et al.*, 2002) para a maioria das plantas cultivadas.

Os resultados de diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados e carbono orgânico total são apresentados na Tabela 2. Para esses dois atributos constatou-se interação significativa entre sistema agrossilvopastoril e profundidade do solo. Os valores de DMG variaram de 3,29 a 4,43 mm, sendo classificados, de acordo com Silva (2001), como de alta e muito alta estabilidade, respectivamente, e os valores de carbono orgânico total, variaram entre 8,3 e 22,6 g kg⁻¹.

O sistema CN apresentou, em todas as profundidades, os maiores valores tanto de DMG como de carbono orgânico total, evidenciando o efeito benéfico da matéria orgânica na agregação do solo, conforme amplamente relatado na literatura (SILVA *et al.*, 1998; CASTRO FILHO *et al.*, 1998; BEUTLER *et al.*, 2001). A matéria orgânica é considerada por muitos como o principal agente de estabilização de agregados do solo (CASTRO FILHO *et al.*, 1998; GANG *et al.*, 1998; CRUZ *et al.*, 2003), sendo esperada uma boa correlação entre a mesma e a agregação do solo em tratamentos que apresentam diferença quanto ao teor de carbono orgânico.

Observa-se que na passagem do CN para o sistema agrossilvopastoril ocorre uma queda brusca no teor de carbono orgânico total, notadamente na camada superficial (0-5 cm), com valores da ordem de, aproximadamente, 69% a 87% do constatado no CN. Os maiores valores de carbono orgânico no CN podem ser atribuídos ao não revolvimento do solo, permitindo a manutenção do estoque de carbono provenientes da queda de folhas e material vegetal, aliados a fatores que contribuem para reduzir a matéria orgânica no sistema agrossilvopastoril, como aração e gradagem que a incorporam e aceleram sua decomposição.

No momento da avaliação da resistência do solo à penetração, a umidade gravimétrica encontrava-se dentro da capacidade de campo (entre 0,15 e 0,24 %) e os valores de resistência à penetração nos sistemas CN, EA e ES, até a pro-

fundidade de 15 cm, encontraram-se abaixo de 2,0 MPa (Figura 1), podendo ser classificada como moderada (ARSHAD *et al.*, 1996). Para Grant e Lanfond (1993) o crescimento radicular de culturas anuais sofre restrição em valores de resistência à penetração acima de 1,5 a 3,0 MPa e, para Arshad *et al.* (1996), acima de 2,0 MPa. Portanto, a resistência do solo à penetração, dos citados sistemas, encontra-se abaixo de valores considerados críticos. Nos sistemas EP, EPG, PC e EC encontraram-se valores superiores a 2,5 MPa e 4,5 MPa, respectivamente, podendo ser classificados como altos e muito altos, respectivamente, e acima dos valores considerados críticos. Desse modo, nota-se que os sistemas EA e ES, que correspondem ao primeiro ano após a substituição do cerrado, apresentam menores valores de resistência do solo à penetração, denotando, provavelmente, o resultado do menor número de operações de preparo do solo a que essas áreas são impostas antes da implantação da pastagem. O comportamento da resistência à penetração nesses sistemas está coerente com os menores valores de densidade do solo que os mesmos tenderam a apresentar em relação aos outros sistemas, haja vista que a resistência do solo à penetração integra os efeitos da densidade do solo e da umidade nas condições físicas do solo necessárias para o crescimento radicular (TORMENA *et al.*, 2002).

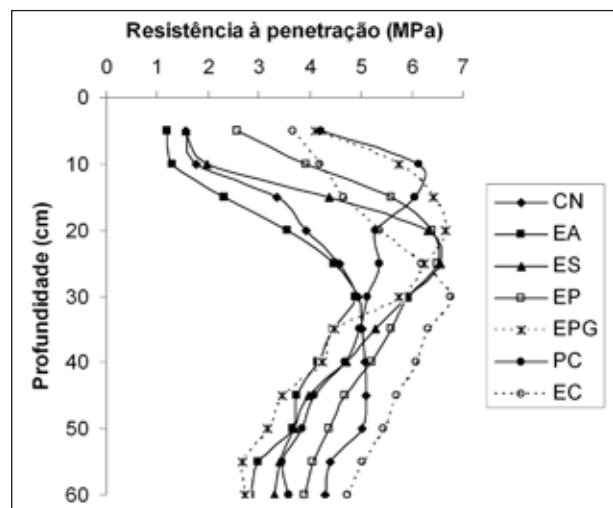


Figura 1, Resistência à penetração de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistema agrossilvopastoril até a profundidade de 60 cm. (Penetration resistance of typical Dystrophic Red Latosol under agri-forestry-pasture system until 60 cm depth)

Entre 20 a 40 cm de profundidade o comportamento da resistência do solo à penetração foi semelhante em todas as etapas do sistema agrossilvopastoril, ou seja, com aumentos expressivos, cujos valores variaram de 4,0 a 6,8 MPa. Resultados semelhantes em áreas de cerrado nativo e sis-

temas de plantio direto e convencional foram relatados por D'Andréa (2001), sendo atribuído ao cerrado nativo a condição de adensamento natural do solo, ressaltando ainda, a importância de determinações em sistemas de referência, como o cerrado nativo, sem as quais a existência de tal camada adensada poderia ser atribuída exclusivamente à influência dos sistemas de cultivo.

Com relação à condutividade hidráulica do solo saturado houve efeito significativo do sistema agrossilvopastoril e profundidades, sendo os resultados apresentados na Tabela 3. O maior valor de condutividade hidráulica foi observado no CN (930 mm h^{-1}), evidenciando uma condição de equilíbrio que favorece uma redistribuição de água no perfil de forma mais eficiente. Beutler *et al.* (2001) também destacaram a maior permeabilidade do solo em áreas sob cerrado em relação ao solo submetido a sistemas de manejo.

Tabela 3. Valores de condutividade hidráulica do solo saturado em Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistema agrossilvopastoril em três profundidades. (Hydraulic conductivity values of saturated soil in typic Dystrophic Red Latosol under agri-forestry-pasture system at three depths)

Sistemas de manejo	Profundidade (cm)			Média
	0-5	5-20	20-40	
	Condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1})			
CN	1549	733	657	930 a
EA	546	136	273	318 b
ES	992	348	330	557 b
EP	552	74	288	305 b
EPG	59	128	304	164 b
PC	91	240	109	146 b
EC	142	214	289	215 b
Média	562 A	268 B	321 B	
CV sistema (%)	99,07			
CV geral (%)	79,36			

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott e Knott a 5%. CN - cerrado nativo; EA - eucalipto consorciado com arroz; ES - eucalipto consorciado com soja; EP - eucalipto consorciado com pastagem; EPG - eucalipto consorciado com pastagem e sob pastejo; PC - pastagem de longo uso e sob pastejo contínuo; EC - plantio de eucalipto no sistema convencional.

Embora os menores valores de condutividade hidráulica tenham sido constatados no PC (146 mm h^{-1}) e EPG (164 mm h^{-1}), os mesmos são classificados como tendo permeabilidade moderada a rápida (SOIL SURVEY STAFF, 1993). Como a condutividade hidráulica do solo saturado é uma função do arranjo poroso do solo, que por sua vez está relacionado com a densidade do solo, constata-se que os referidos sistemas estão entre os que apresentaram maiores valores de densidade (Tabela 1). Portanto, a redução do fluxo de água no solo nesses sistemas, em comparação ao CN, sugere

que a restrição à permeabilidade está associada ao tráfego de máquinas, necessário para o preparo do solo antes de cada sucessão de cultura (EPG é a última etapa da sucessão) e efeito do pisoteio dos animais em ambos os sistemas (PC inclui pastagem sob pastejo contínuo por mais de 20 anos).

CONCLUSÕES

O manejo imposto ao solo para implementação do sistema agrossilvopastoril afetou os atributos físicos e o carbono orgânico total do solo em relação ao cerrado nativo, notadamente na camada mais superficial (0-5 cm).

A densidade do solo, volume total de poros, microporosidade, macroporosidade e estabilidade de agregados, embora afetados pelo sistema agrossilvopastoril, apresentaram valores dentro da faixa considerada não restritiva ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

A implementação do sistema agrossilvopastoril aumentou significativamente a resistência do solo à penetração e reduziu significativamente a condutividade hidráulica do solo saturado e o carbono orgânico total, notadamente na camada mais superficial (0-5 cm), quando comparado com o cerrado nativo. Estes atributos apresentaram boa performance como indicadores da qualidade do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, p.857-865, 2000.
- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, R. Physical test for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. (SSSA Special Publication, 49).
- ASSIS, R.L.; 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*, Viçosa, v.29, p.515-522, 2005.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JÚNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas à do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p.155-163, 2004.

- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.167-177, 2001.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Particle density. In: **Methods of soil analysis: part 1**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.377-382.
- CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1153-1155, 2004.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODONOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.527-538, 1998.
- CAVENAGE, A.; MORES, K.L.T.; ALVES, M.C.; CARVALHO, M.A.C.; FREITAS, M.L.M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico típico sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.997-1003, 1999.
- CRUZ, A.C.R.; PAULETO, E.A.; FLORES, C.A.; SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1105-1112, 2003.
- D'ANDRÉA, A.F. **Atributos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no sul de Goiás**. 2001. 106p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.
- DANIELSON, R.E.; SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.443-461.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. (SSSA Special Publication, 35).
- FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para análise de variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p.225-258.
- GANG, L.U.; SAKAGAMI, K.; TANAKA, H.; HAMADA, R. Role of soil organic matter in stabilization of water-stable aggregates in soil under different types of land use. **Soil Science Plant Nutrient**, v.44, p.147-155, 1998.
- GRANT, C.A.; LANFOND, G.O. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clayey soil in Southern Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.73, p.223-232, 1993.
- GROHMANN, F. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.9, p.319-329, 1960.
- KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and particle-size-distribution. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis: part 1: physical and mineralogical methods**. 2.ed. Madison: SSSA, 1986. p.425-441 (Agronomy Monograph, 9).
- KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264p.
- LIMA, J.M.; CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, n.1, p.85-90, 1990.
- OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p.291-299, 2003.
- OLIVEIRA, T.S.; COSTA, L.M.; FIGUEIREDO, M.S.; REGAZZI, A.J. Efeitos de ciclos de umedecimento e secagem sobre a estabilidade de agregados em água de quatro Latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, p.509-515, 1996.
- SCOTT, A.J.; KNOTT, M. Accouter analysis methods for grouping means in the analysis of variants. **Biometrics**, Washington, v.30, p.507-512, 1974.

SILVA, M.L.N.; BLANCANEUX, P.; CURI, N.; LIMA, J.M.; MARQUES, J.J.G.S; CARVALHO, A.M. Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, p.97-103, 1998.

SILVA, R.R. **Qualidade do solo em função dos diferentes sistemas de manejo na região Campo das Vertentes, Bacia Alto Rio Grande-MG**. 2001. 97p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington: USDA-SCS, 1993.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.533-542, 2004.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. **Recomendação para uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar – Stolf**. São Paulo: MIC/IAA/PNMCA–Planalsucar, 1983. 8p. (Série penetrômetro de impacto – Boletim, 1).

TAYLOR, S.A.; ASHCROFT, G.L. **Physical edaphology: the physics of irrigated on nonirrigated soils**. San Francisco: W.H. Freeman, 1972. 532p.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.59, p.795-801, 2002.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.1023-1031, 2004.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degetjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Madison, v.37, p.29-38, 1934.

Recebido em 02/06/2006

Aceito para publicação em 22/06/2007

