

EFEITOS DE MÉTODOS DE CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DO CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.) SOBRE A QUALIDADE FÍSICA DO SOLO⁽¹⁾

E. N. ALCÂNTARA⁽²⁾ & M. M. FERREIRA⁽³⁾

RESUMO

Estudaram-se os efeitos de diferentes métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro sobre alguns indicadores da qualidade física do solo. O experimento foi instalado, em 1977, na Fazenda Experimental da EPAMIG em São Sebastião do Paraíso (MG), em um Latossolo Roxo distrófico. Foi utilizado o cultivar “Catuaí Vermelho” LCH 2077-2-5-99, plantado no espaçamento 4 x 1 m. Roçadeira (RÇ), grade (GR), enxada rotativa (RT), herbicida de pós-emergência (HC), herbicida de pré-emergência (HR) e capina manual (CM) foram empregados no controle das plantas daninhas na entrelinha de plantio (“ruas”), em comparação com a área cultivada mantida sem capina (SC) e a condição original de mata (MT). Os seguintes indicadores da qualidade física do solo foram avaliados, entre 1978 e 1995, nas camadas de 0-15 e 15-30 cm: matéria orgânica, densidade do solo, volume total de poros e estabilidade de agregados em água. Após dezoito anos de avaliações, a qualidade física do solo mostrou-se diretamente correlacionada com o seu teor de matéria orgânica. A utilização contínua de herbicida de pré-emergência, além de reduzir o teor de matéria orgânica do solo, provocou o surgimento de encrostamento superficial do solo. Os usos da enxada rotativa e da roçadeira acarretaram o surgimento de camada subsuperficial compactada. O controle das plantas daninhas por meio de capinas manuais e herbicidas de pós-emergência mostraram-se eficientes na manutenção da qualidade física do solo.

Termos de indexação: densidade do solo, estabilidade de agregados, compactação do solo, encrostamento do solo.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor ao Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia na Universidade Federal de Lavras - UFLA. Recebido para publicação em outubro de 1999 e aprovado em junho 2000.

⁽²⁾ Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG. Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras (MG).

⁽³⁾ Professor do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG).

SUMMARY: *EFFECTS OF WEED CONTROL METHODS IN COFFEE (Coffea arabica L.) ON SOIL PHYSICAL QUALITY*

The effects of different weed control methods in coffee (Coffea arabica L.) on some soil physical quality indicators were studied. The essay was installed in 1977 at the EPAMIG Experimental station in São Sebastião do Paraíso (MG), Brazil, in a coffee plantation on a Dusky Red Latosol. Coffee cultivar 'Catuaí Vermelho' LCH 2077-2-5-99 was planted at 4x1m spacing. Mower (RÇ), coffee tandem disk harrow (GR), rotary tiller (RT), post (HC) and pre-emergency herbicides (HR) and hand hoe (CM), were used to control weed at the coffee plants interrows in comparison to no weed control in the coffee interrows (SC) and original soil under natural forest (MT) conditions. Soil organic matter content, bulk density, total porosity and water aggregate stability, used as indicators of soil physical quality, were evaluated from 1978 to 1995, at 0 to 15 cm and 15 to 30 cm layers. After 18 years of evaluations, it was observed that soil physical quality is directly correlated to organic matter content. Continuous use of pre-emergency herbicide reduced soil organic matter and induced superficial crust formation. The use of rotary tiller gave rise to a compacted layer below the soil surface. Weed control by hand hoe and post - emergency herbicide were the most efficient methods for maintaining the physical quality of soil.

Index terms: bulk density, aggregate stability, soil compaction, soil sealing, weed control methods.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da cafeicultura em Minas Gerais teve início no século XIX com plantações pioneiras esparsas, limitadas a culturas de quintal, que precederam as lavouras comerciais estabelecidas nas regiões Sul e Zona da Mata. Atualmente, os cafezais mineiros conquistaram novas áreas, tais como: o Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e Alto Jequitinhonha, áreas estas de solos sob cerrado, com relevo menos acidentado, que exigem o emprego de tecnologias mais apropriadas, principalmente quanto ao uso de mecanização.

O sucesso do agronegócio do café está condicionado à utilização racional dos diversos fatores de produção, dentre os quais se encontra o controle das plantas daninhas, que deve ser considerado não apenas com vistas em obter índices de produtividade que remunerem o cafeicultor, mas também no sentido de preservar o solo e prolongar a vida útil dos cafeeiros.

Tem surgido, nos últimos anos, uma crescente consciência ecológica sobre a qualidade do solo. Qualidade do solo é um conceito emergente que integra avaliações descritivas e analíticas dos atributos físicos, químicos e biológicos dos solos. Constitui, de acordo com Steinhardt (1995), uma nova abordagem de princípios que envolvem idéias antigas, uma vez que, segundo Karlen et al. (1992), se reconhece hoje que os atributos do solo são tão vulneráveis à degradação quanto o são o ar e a água.

A necessidade de obter uma agricultura sustentável tem acrescentado ao conceito de qualidade do

solo, além dos critérios de produção, a necessidade de evitar a deterioração dos recursos naturais, dos quais o solo é parte fundamental (Parr et al., 1992; Romig et al., 1995; Warkentin, 1995). Sabe-se que a degradação do solo resulta quase sempre do seu manejo inadequado, o que se constitui, portanto, em ameaça para a sustentabilidade e qualidade do meio ambiente (Lal, 1989,1993; Reicosky et al., 1995).

Os indicadores da qualidade do solo devem ser sensíveis às variações de manejo e clima e possibilitar o monitoramento dessas mudanças ao longo do tempo (Doran & Parkin, 1994). Dentre os indicadores físicos de qualidade do solo, Karlen (1990) e Karlen & Stott (1994) relacionaram a densidade do solo, porosidade, estrutura, estabilidade dos agregados, taxa de infiltração, além de outros critérios relacionados com o desenvolvimento das plantas e populações microbianas.

O manejo do solo só é sustentável quando sua qualidade é mantida ou melhorada. De acordo com Bollin & Cook (1983) e Stevenson (1986), a matéria orgânica do solo constitui o alicerce da sustentabilidade. Segundo Fernandes et al. (1997), o esgotamento da matéria orgânica oxidável do solo resulta em drásticas alterações físicas e redução na sua fertilidade.

As diversas práticas de cultivo podem influenciar diferencialmente as propriedades físicas do solo. Dentro desse contexto, situa-se o controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro. O emprego dos vários métodos de manejo de plantas daninhas, bem como a associação deles, tem sido bastante recomendado (Moraes et al., 1968; Awatramani,

1974; IBC, 1985), embora tenha sempre suscitado dúvidas sobre seus efeitos na sustentabilidade da exploração, principalmente quando observado a longo prazo. Dada a carência de informações a esse respeito, busca-se, com o presente estudo, avaliar a influência de diversos métodos de controle de plantas daninhas sobre alguns indicadores físicos de qualidade do solo cultivado com cafeeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do local do estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Experimental da EPAMIG, situada no município de São Sebastião do Paraíso(MG), localizado a 46°55' W e 20°55' S, altitude de 890 m, precipitação média anual de 1.470 mm, temperatura média anual de 20,8°C, com temperatura média máxima de 27,6°C e média mínima de 14,1°C. O solo foi classificado como Latossolo Roxo distrófico, com vegetação original de floresta estacional semidecidual, transicional para cerrado, relevo suave ondulado, apresentando 52% de argila, 36% de areia e 12% de silte.

Planejamento experimental

A lavoura de café foi instalada em 1974, empregando-se o cultivar Catuaí Vermelho LCH 2077-2-5-99, plantado no espaçamento 4 x 1 m. Foram avaliados oito métodos de controle de plantas aplicados na parte central das entrelinhas de plantio ("ruas"), estando incluídos nestes duas testemunhas (Quadro 1). As laterais das linhas de plantio, correspondendo às projeções das copas dos cafeeiros ("saías"), foram mantidas invariavelmente limpas pelo uso de herbicidas e capinas manuais.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com oito tratamentos e três repetições. Cada parcela experimental, constituída de três "ruas", englobava 108 covas de café. A área experimental abrangeu 2.268 covas de café.

Métodos de controle de plantas daninhas

Todas as operações de controle foram efetuadas sempre quando se observava 90% da área coberta pelas plantas daninhas e estas apresentavam cerca de 45 cm de altura. Assim, o número médio de operações necessárias para o controle satisfatório das plantas daninhas durante cada ano variou com o método (Quadro 1).

No controle das plantas daninhas por meio de aplicações de herbicidas de pré-emergência, utilizou-se Ametryn (2-etilamino-4isopropilamino-6-metil-tio-s-triazina) + Simazine (2-cloro-4-,6-bietilamino-s-triazina), na dose de 2,4 kg ha⁻¹ de i.a., na formulação pó molhável, e de 2,25 kg ha⁻¹ de i.a., na formulação líquida, aplicados com um volume de calda de 400 L ha⁻¹.

Quadro 1. Métodos utilizados no controle das plantas daninhas na cultura do cafeeiro e os respectivos números de operações realizadas

Identificação do método	Operação/ano
Roçadeira (RÇ)	5
Grade (GR)	3
Rotativa (RT)	3
Herbicida pós - emergência (HC)	3
Herbicida pré - emergência (HR)	2
Capina manual (CM)	5
Testemunha sem capina (SC)	-
Testemunha mata natural (MT)	-

Em pós-emergência, inicialmente, utilizou-se a mistura de Paraquat [1,1' dimetil-4,4' bipiridilio ion (dicloreto)] e Diquat [1,1' - etileno-2,2 bipiridilio ion (dibrometo)] na proporção de 200 + 200 g L⁻¹ ha⁻¹ de i.a. Posteriormente, o controle foi efetuado pela aplicação de glyphosate [N-(fosfometil glicina)], na dose de 1,44 L ha⁻¹ de i.a., alternadamente com a mistura de glyphosate + 2,4-D [ácido 2,4 diclorofenoxiacético], na proporção, respectivamente, de 160 + 120 g L⁻¹ e dose de 640 g + 480 g ha⁻¹ de i.a.

Avaliação dos indicadores da qualidade do solo

A avaliação dos indicadores da qualidade do solo iniciou-se em 1978, exceto com relação à estabilidade de agregados em água, iniciada em 1980, e matéria orgânica, em 1982. Foram retiradas, bianualmente, amostras deformadas e indeformadas nas camadas de 0-15 e 15-30 cm de profundidade, num total de seis amostras simples por parcela.

Determinaram-se a densidade do solo (Ds), pelo método do cilindro de Umland (Blake & Hartge, 1986a); densidade de partículas (Dp), pelo método do picnômetro (Blake & Hartge, 1986b); porosidade total (VTP), pela expressão: VTP = 100 (1 - Ds/Dp), de acordo com Vomocil (1965); estabilidade de agregados em água (Kemper & Chepil, 1965), expressa pelo diâmetro médio geométrico (DMG), de acordo com Mazurak (1950), e o teor de matéria orgânica (Vettori, 1969). Todas as determinações foram realizadas no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras.

Análises estatísticas

Os resultados das diferentes avaliações foram submetidos a análises estatísticas de variância, correlação e regressão. As análises de variância foram realizadas segundo o delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema de parcelas (métodos de controle das plantas daninhas) subdivididas no tempo (biênios). As médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de variância revelaram que os métodos de controle de plantas daninhas alteraram significativamente os indicadores da qualidade física do solo. De modo geral, os diferentes métodos influenciaram em ambas as camadas amostradas, mas seus efeitos foram mais pronunciados na camada superficial do solo, ou seja, de 0-15 cm.

Teor de matéria orgânica do solo

Os teores de matéria orgânica do solo, considerando os diferentes métodos de controle das plantas daninhas, nas camadas de 0-15 e 15-30 cm de profundidade, são apresentados no quadro 2. O teor de matéria orgânica da mata (MT) manteve-se significativamente mais elevado que o dos demais tratamentos, em ambas as camadas. Essa constatação pode ser atribuída à maior deposição de resíduos orgânicos pela mata, bem como à remoção dessa cobertura e aceleração da decomposição da matéria orgânica pela cultura do café.

Comparando o teor de matéria orgânica dentro de cada tratamento, exceto com relação à utilização de herbicida de pré-emergência (HR), verificou-se um incremento no teor de matéria orgânica do solo ao longo do período de observação. Nesse contexto, os tratamentos SC e HR destacaram-se por apresentarem, respectivamente, os maiores e os menores teores de

matéria orgânica. A manutenção das plantas daninhas na entrelinha de plantio (SC) contribuiu para a elevação significativa do teor de matéria orgânica do solo. Na camada de 0-15 cm, o teor de matéria orgânica evoluiu de 2,80 dag kg⁻¹, em 1982, para 5,18 dag kg⁻¹, em 1995, o que correspondeu a um incremento de 85%. Na camada de 15-30 cm, o incremento, nesse período, foi da ordem de 75%, ou seja, o teor de matéria orgânica passou de 1,81 dag kg⁻¹ para 3,7 dag kg⁻¹. O incremento de matéria orgânica devido à manutenção da cobertura do solo foi documentado por vários autores, dentre os quais se destacaram Rasmussen & Collins (1991), Santos (1993) e Karlen et al. (1994). De acordo com Ismail et al. (1994), esse incremento no teor de matéria orgânica constitui a principal mudança, a longo prazo, induzida pelo manejo.

Os resultados obtidos com a utilização do herbicida de pré-emergência (HR) vão de encontro à afirmativa de Fernandes et al. (1997). Segundo esses autores, o esgotamento da matéria orgânica oxidável do solo resulta em drásticas alterações físicas e químicas do solo, o que facilita sua degradação, com danosas conseqüências para o meio ambiente. A utilização da roçadeira (RÇ), grade (GR), enxada rotativa (RT), herbicida de pós-emergência (HC) e capina manual (CM) causou efeitos intermediários aos tratamentos SC e HR e semelhantes entre si sobre os teores de matéria orgânica de ambas as camadas amostradas.

Quadro 2. Teor de matéria orgânica das camadas de 0-15 e 15-30 cm, considerando os diversos métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro

	1982	1984	1986	1988	1991	1993	1995
dag kg ⁻¹							
0-15 cm							
RÇ	2,60 bBC	2,04 bcC	3,27 bAB	3,43 bcAB	3,20 bcAB	3,70 cA	3,72 cA
GR	2,60 bBC	1,83 bcC	2,47 cBC	3,20 bcAB	2,95 cdAB	2,57 dBC	3,62 cA
RT	2,20 bBC	1,53 cC	2,59 bcAB	3,50 bcA	2,93 cdAB	2,87 cdAB	3,37 cA
HC	2,40 bAB	2,16 bcB	2,67 bcAB	3,10 cA	2,97 cdAB	3,13 cdA	3,25 cA
HR	2,10 bA	2,28 bA	2,47 cA	2,80 cA	2,48 dA	2,77 cdA	2,92 cA
CM	2,40 bB	2,41 bB	2,63 bcAB	2,97 cAB	2,78 cdAB	3,53 cdA	3,33 cAB
SC	2,80 bC	2,33 bC	2,86 bcC	4,23 bAB	3,72 bB	5,27 bA	5,18 bA
MT	8,40 aA	6,38 aB	8,42 aA	6,40 aB	4,38 aC	7,40 aAB	7,40 aAB
C.V. (%)	8,02	9,42	6,25	11,05	4,66	8,02	6,45
15-30 cm							
RÇ	1,49 bC	1,85 cBC	2,18 bB	3,37 bcdA	2,23 bcB	2,37 bcB	2,53 bcB
GR	1,78 bB	1,68 cB	1,72 bB	2,77 dA	2,07 bcAB	1,83 cB	2,42 bcAB
RT	1,49 bCD	1,36 cD	2,01 bBC	3,80 bcA	1,98 cBC	2,23 cB	2,10 cBC
HC	1,78 bBC	1,40 cC	2,30 bAB	2,90 dA	2,17 bcAB	2,48 bcAB	2,23 cAB
HR	1,84 bB	1,60 cB	1,85 bB	3,03 cdA	2,07 bcB	1,97 cB	2,00 cB
CM	1,70 bCD	1,48 cD	2,01 bBCD	3,17 cdA	2,25 bcBC	2,43 bcAB	2,17 cBC
SC	1,81 bC	2,24 bBC	2,34 bBC	4,13 bA	2,57 bBC	3,20 abAB	3,17 abAB
MT	5,93 aB	5,76 aB	7,23 aA	7,32 aA	3,60 aC	4,00 aC	4,00 aC
C.V. (%)	11,10	11,68	9,84	6,20	5,74	9,05	8,51

Em cada camada, médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, na vertical, e pelas letras maiúsculas, na horizontal, não diferem entre si pelo teste Duncan a 5%.

Densidade do solo

Os valores de densidade do solo (Ds) das camadas de 0-15 e 15-30 cm, associados aos diferentes métodos de controle das plantas daninhas, são apresentados no quadro 3.

Verificou-se, em ambas as camadas, que a Ds sofreu alterações ao longo do período amostrado, principalmente quando se comparou seu valor na condição de mata com aqueles relativos aos métodos de controle das plantas daninhas. Essa diferença foi atribuída tanto às peculiaridades de cada método de controle quanto às alterações causadas pelo desmate da área e posterior plantio do café.

Comparando os efeitos dos diferentes métodos de controle das plantas daninhas, verificou-se que, após dezoito anos de utilização, o herbicida de pré-emergência (HR) elevou significativamente o valor da Ds. No outro extremo, a testemunha sem capina (SC) provocou uma redução gradual nos valores de Ds, sendo registrado na camada de 0-15 cm, em 1995, o valor de $1,0 \text{ g cm}^{-3}$, valor esse muito próximo daquele encontrado na mata (MT). Não se verificaram diferenças significativas entre os valores de Ds com a utilização da capina manual (CM), grade (GR) e herbicida de pós-emergência (HC).

Comparativamente a esses três métodos de controle das plantas daninhas, a roçadeira (RÇ) levou à maior compactação do solo, enquanto a enxada

rotativa (RT) manteve a camada superficial do solo com baixo valor de Ds. No caso da roçadeira, o maior valor de Ds pode ser atribuído ao número de operações realizadas. O corte pela roçadeira elimina a dominância apical da parte aérea das plantas, estimulando o crescimento dos brotos situados na interface com o solo e, conseqüentemente, aumentando o número de operações com esse implemento (Quadro 1). Além desse aspecto, deve-se salientar que o controle das plantas normalmente ocorre no período chuvoso do ano, quando o solo apresenta maior umidade, combinação essa que favorece o processo de compactação do solo.

A menor compactação da camada de 0-15 cm pelo uso da enxada rotativa (RT) pode ser atribuída ao maior revolvimento superficial do solo, característico desse implemento. Aspectos semelhantes foram observados por Sidiras et al. (1984); Vieira & Muzilli (1984) e Cassel et al. (1995).

Embora tenha sido feito o registro que a influência dos diferentes métodos de controle das plantas daninhas é mais evidente na camada de 0-15 cm, chama a atenção o comportamento da Ds da camada de 15-30 cm após o uso da enxada rotativa (RT). A utilização continuada da enxada rotativa fez com que a Ds da camada de 15-30 cm passasse gradualmente de $1,35 \text{ g cm}^{-3}$, em 1978, para $1,47 \text{ g cm}^{-3}$, em 1995. Essa compactação da camada de 15-30 cm pode ser atribuída à conformação das

Quadro 3. Densidade do solo (g cm^{-3}) das camadas de 0-15 e 15-30 cm, considerando os diversos métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeieiro

	1978	1980	1982	1984	1986	1988	1991	1993	1995
g cm^{-3}									
0-15 cm									
RÇ	1,40 abA	1,41 aA	1,27 abcB	1,43 aA	1,39 aA	1,36 aAB	1,37 aAB	1,32 aAB	1,33 bAB
GR	1,37 abAB	1,32 bcABC	1,30 bBC	1,43 aA	1,31abcABC	1,23 bC	1,29 abcBC	1,29 abC	1,35 bBC
RT	1,31 abB	1,28 cdB	1,27 abcB	1,38abA	1,22 cB	1,11 cC	1,24 abcB	1,27 abB	1,21 cBC
HC	1,41 aA	1,38 abAB	1,23 bcC	1,41 aAB	1,36 abAB	1,29 abBC	1,33abABC	1,32aABC	1,35 bABC
HR	1,40 abA	1,41 aA	1,44 aA	1,39 aA	1,40 aA	1,36 aA	1,38 aA	1,41 aA	1,46 aA
CM	1,38 abA	1,36 abcA	1,21 cBC	1,40 aA	1,40 aA	1,33 aA	1,35 aA	1,16 bC	1,30 bAB
SC	1,34 abA	1,22 dBC	1,10 cdD	1,29 bAB	1,25 bcABC	0,98 dE	1,17 bcCD	0,97 cE	1,00 dE
MT	1,04 cAB	1,03 eAB	1,04 dAB	1,04 cAB	0,99 dB	0,83 eC	1,14 cA	0,94 cB	1,04 dAB
C.V. (%)	3,58	3,51	7,50	4,03	5,42	5,04	5,26	6,35	2,99
15-30 cm									
RÇ	1,39 aA	1,37 aA	1,29 aA	1,35 abA	1,36 aA	1,36 aA	1,39 aA	1,37 aA	1,34 bcA
GR	1,35 aAB	1,39 aA	1,29 aAB	1,30 bAB	1,35 aAB	1,27 cB	1,34 aAB	1,35 aAB	1,35 bcAB
RT	1,35 aBC	1,37 ^a AB	1,25 abC	1,34 abBC	1,35 aBC	1,37 aAB	1,36 aB	1,41 aAB	1,47 aA
HC	1,36 aA	1,39 aA	1,23 abB	1,35 abA	1,35 aA	1,33 abcA	1,36 aA	1,35 aA	1,36 bA
HR	1,38 aAB	1,39aAB	1,25 abC	1,37 abAB	1,37 aAB	1,28 bcBC	1,33 aABC	1,35 aABC	1,40 abA
CM	1,39 aA	1,37aAB	1,28 aB	1,40 aA	1,39 aA	1,36 abAB	1,32 aAB	1,34 aAB	1,37 bAB
SC	1,38 aA	1,33aAB	1,32 aAB	1,31 bAB	1,40 aA	1,34 abcAB	1,34 aAB	1,32 aAB	1,25 cbB
MT	1,07 bA	1,07 bA	1,07 bA	1,07 cA	1,02 bA	0,98 dA	1,06 bA	1,04 bA	1,02 dA
C.V. (%)	3,28	2,62	8,70	2,86	3,65	3,26	5,07	4,44	4,13

Em cada camada, médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, na vertical, e pelas letras maiúsculas, na horizontal, não diferem entre si pelo teste Duncan a 5%.

enxadas, que promovem um espelhamento do solo logo abaixo ao ponto de contato dessas com o solo. A ocorrência de camada subsuperficial densa, denominada “pan”, foi relatada por Lal (1989); Hermawan & Cameron (1993) e Borresen & Njos (1993).

Porosidade total

A porosidade total ou volume total de poros (VTP) do solo foi influenciada significativamente pelos diferentes métodos de controle das plantas daninhas. As alterações do VTP ocorreram em ambas as camadas estudadas e em vários períodos de amostragem observados (Quadro 4).

A influência dos diferentes métodos de controle das plantas daninhas sobre o VTP foi semelhante à da Ds, porém com sentido inverso. Inicialmente, percebe-se que a condição de mata (MT) destaca-se das demais por apresentar maior porosidade. Esse resultado, como comentado anteriormente, reflete as alterações provocadas no solo pela instalação da cultura do café.

A área mantida sem capina teve sua porosidade total restabelecida ao longo do período de observação, tendo-se igualado à condição de mata no ano de 1995. Tendência semelhante, mas com menor intensidade, pode ser visualizada no quadro 4, com o emprego da enxada rotativa. Contrariamente a estas constatações, a área submetida continuamente ao uso de herbicida de pré-emergência manteve inalterada sua

porosidade total, apresentando sua camada superficial, em 1995, o menor valor de porosidade total.

Considerando a associação entre Ds e VTP, foram realizadas análises de regressão envolvendo esses dois atributos do solo, cujos resultados são apresentados nas figuras 1a, 1b, 2a e 2b. Esses resultados referem-se às determinações feitas nos anos de 1978 e 1995, ou seja, no início do estudo e dezoito anos após.

Nas figuras 1a e 2a, percebe-se que, no início do período experimental, a porosidade do solo e a densidade do solo, nos diferentes métodos de controle, apresentavam valores próximos entre si e contrastavam com a condição de mata. Passados dezoito anos (Figuras 1b e 2b), ocorreram variações acentuadas nos valores de Ds e VTP, modificando completamente o quadro inicial. A figura 1b mostra que a manutenção das plantas nas ruas do cafezal, testemunha sem capina (SC), reduziu a densidade do solo e elevou sua porosidade total, criando condições semelhantes às da mata.

Modificações no sentido inverso ocorreram com o uso continuado de herbicidas de pré-emergência (HR). O permanente controle de invasoras com herbicidas de pré-emergência (HR) deixou a superfície do solo permanentemente desnuda, o que, associado à exposição aos impactos das gotas de chuva e à submissão de repetidos ciclos de umedecimento e secagem, contribuiu para a formação de encrostamento superficial. Esse

Quadro 4. Volume total de poros das camadas de 0-15 e 15-30 cm, considerando os diversos métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro

	1978	1980	1982	1984	1986	1988	1991	1993	1995
%									
0-15 cm									
RÇ	49,67 cD	52,62 cCD	58,17 abA	51,46 bcCD	53,07 dBCD	56,68 deAB	51,42 dCD	57,63 bcA	54,53 cdABC
GR	50,34 bcD	54,93 cBC	58,48 abAB	49,66 cD	56,94 bcdABC	60,29 cdA	56,60 abcdABC	56,06 cBC	54,22 cdC
RT	53,43 bD	55,39 bcCD	59,26 abBC	52,88 bcD	59,52 bB	64,07 bcA	57,32 abcBC	58,98 abcBC	60,95 bA
HC	49,13 cC	54,74 cB	59,82 abA	50,50 bcC	55,64 bcdB	57,66 deAB	54,82 bcdB	57,23 cAB	54,79 cdB
HR	49,21 cB	52,63 cAB	51,89 bAB	51,79 bcAB	54,10 cdA	54,20 eA	52,31 cdAB	55,26 cA	51,66 dAB
CM	50,13 bcD	54,87 cBC	59,96 aA	52,22 bcCD	54,11 cdBC	56,91 deAB	55,92 abcdABC	59,56 abcA	56,37 cAB
SC	51,16 bcF	59,36 abE	62,75 aBC	56,20 bE	58,11 bcDE	67,90 abA	60,51 aCD	65,33 aAB	65,40 aAB
MT	63,38 aBCD	63,42 aCD	63,38 aBCD	63,38 aBCD	64,92 aBC	72,01 aA	60,02 abD	66,71 aB	62,93 abBCD
C.V. (%)	3,57	3,02	5,52	3,93	3,78	3,37	3,67	4,99	2,93
15-30 cm									
RÇ	47,45 bB	55,34 bA	57,54 aA	53,91bcA	55,74 bA	55,84 bcdA	53,04 cA	54,34 bA	54,11 cA
GR	49,03 bC	53,29 bB	57,34 aA	55,98 bAB	56,19 bA	59,66 bA	57,03 bcAB	55,20 bAB	53,48 cB
RT	49,53 bC	52,82 bC	60,56 aA	54,01 bcBC	56,85 bBC	53,13 dBC	54,24 cBC	52,73 bBC	50,02 dC
HC	46,91 bC	54,84 bB	60,23 aA	54,70 bcB	56,48 bAB	55,93 cdAB	52,44 cB	54,49 bB	54,52 cB
HR	46,52 bD	55,19 bABC	60,38 aA	53,81 bcBC	55,22 b BC	57,74 bcAB	54,21 cABC	56,61 bABC	52,38 cdC
CM	47,94 bC	56,22 bB	66,25 aA	52,53 cB	54,79 b B	55,53 cdB	55,47 bcB	56,10 bB	54,34 cB
SC	47,57 bD	57,17 aC	62,75 aAB	54,62 bcC	55,61 abC	55,73 bcdC	59,39 abBC	66,85 aA	57,76 bC
MT	62,57 aA	63,38 aA	62,57 aA	62,57 aA	65,07 aA	63,63 aA	63,57 aA	63,52 aA	62,45 aA
C.V. (%)	3,94	3,34	9,15	2,11	3,90	3,65	4,76	3,59	3,22

Em cada camada, médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, na vertical, e pelas letras maiúsculas, na horizontal, não diferem entre si pelo teste Duncan a 5 %.

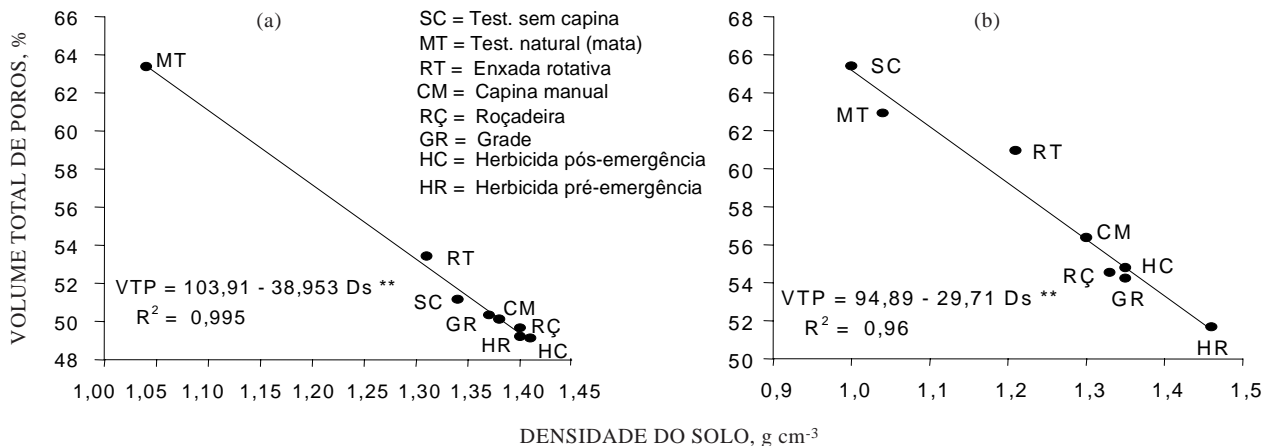


Figura 1. Relação entre densidade do solo e volume total de poros da camada de 0-15 cm, considerando os diversos métodos de controle de plantas daninhas, situação em 1978 (a) e situação em 1995 (b).

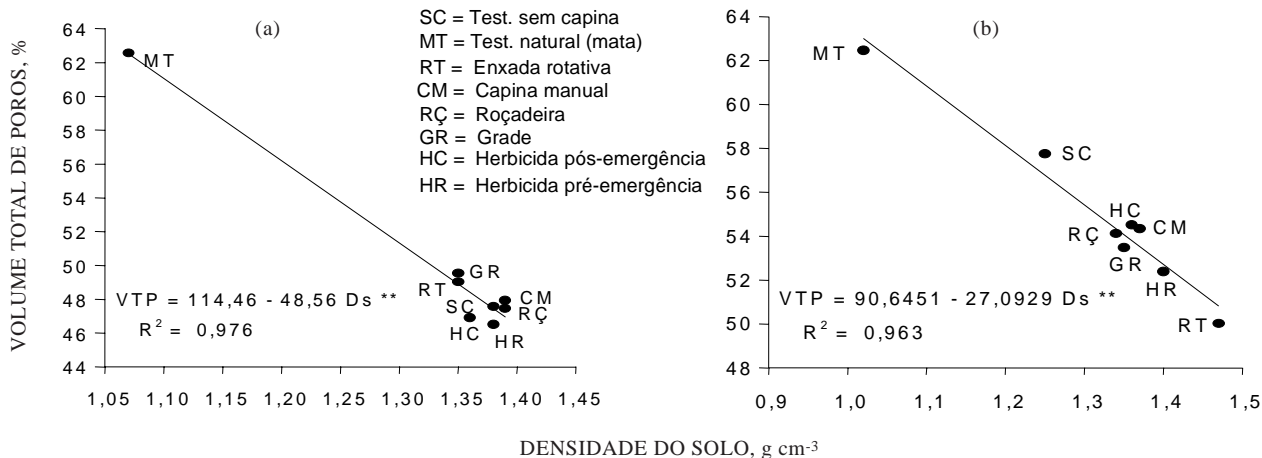


Figura 2. Relação entre densidade do solo e volume total de poros da camada de 15-30 cm, considerando os diversos métodos de controle de plantas daninhas, situação em 1978 (a) e situação em 1995 (b).

encrostamento superficial, geralmente apresentando coloração escura, reduz a infiltração de água no solo. A ocorrência de encrostamento superficial pela falta de proteção do solo foi também documentada por Cintra et al. (1983); Levy et al. (1994); Cassel et al. (1995) e Morin & van Wikel (1996).

Estabilidade de agregados em água

Os resultados das análises da estabilidade de agregados das camadas de 0-15 e 15-30 cm, expressa por meio do diâmetro geométrico (DMG), são apresentados no quadro 5. As análises da estabilidade dos agregados da camada de 15-30 cm foram realizadas somente a partir de 1988.

Observando os resultados da camada de 0-15 cm (Quadro 5), percebe-se que, independentemente do método de controle das plantas daninhas, ocorreu

um decréscimo da estabilidade dos agregados ao longo do período experimental. A manutenção da entrelinha de plantio (“rua”) sem capina (SC) contribuiu para a manutenção de agregados mais estáveis, à semelhança da condição de mata (MT). O uso contínuo de grade (GR), enxada rotativa (RT), herbicida de pós-emergência (HC) e capina manual (CM) reduziu a estabilidade dos agregados do solo a nível semelhante ao da utilização de herbicidas de pré-emergência (HR), que, em valor absoluto, apresentou a menor estabilidade de agregados.

Na avaliação dos efeitos dos diferentes métodos de controle de plantas daninhas sobre a estabilidade dos agregados, deve-se ter em mente que os resultados encontrados refletem, de um lado, o papel da proteção ao solo pela presença de cobertura vegetal (testemunha sem capina-SC) e, de outro, a quebra

Quadro 5. Diâmetro médio geométrico - DMG das camadas de 0-15 e 15-30 cm, considerando os diversos métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro

	1980	1982	1984	1986	1988	1991	1993	1995
mm								
0-15 cm								
RÇ	3,35 bA	3,61 aA	2,89 aB	1,76 bcC	1,50 bC	1,71 bcC	1,42 bC	1,32 bC
GR	2,65 cA	2,58 cdA	1,48 deB	1,03 dBCD	1,22 bBCD	1,30 cdBC	0,74 cD	0,95 bcCD
RT	2,30 cA	2,30 dA	1,33 eB	1,07 dB	1,08 bB	0,96 dB	1,02 bcB	1,06 bcB
HC	2,63 cB	3,26 abcA	2,12 bcC	1,29 cdDE	1,24 bDE	1,42 cdD	0,84 cE	0,87 cE
HR	2,51 cA	2,36 dA	1,49 deB	1,41 cdB	1,32 bBC	1,06 dBCD	0,85 cCD	0,71 cD
CM	3,41 abA	2,73 bcdB	1,88 cdC	1,20 cdD	1,26 bD	1,32 cdD	1,13 bcD	0,99 bcD
SC	3,72 aA	3,46 abA	2,59 aB	2,29 abBC	1,57 bD	2,27 aBC	1,96 aCD	2,00 aCD
MT	2,53 cA	2,52 cdA	2,50 abA	2,51 aA	2,53 aA	1,90 abB	1,89 aB	1,90 a B
C.V. (%)	6,73	14,36	12,10	19,51	17,47	17,17	20,98	18,29
15-30 cm								
RÇ					1,38 cdeA	1,26 cAB	0,99 bcB	1,08 bAB
GR					1,02 eAB	0,88 dAB	0,62 cB	1,06 bA
RT					1,12 deAB	1,23 cA	0,91 bcB	1,05 bAB
HC					1,24 deA	1,20 cdA	1,21 bA	0,89 bB
HR					1,69 bcA	1,47 bcA	0,82 bcB	0,86 bB
CM					1,44 cdA	1,25 cAB	0,78 bcC	0,98 bBC
SC					1,87 bA	1,65 bA	1,16 bB	1,90 aA
MT					2,41 aA	2,34 abA	2,30 aA	2,30 aA
C.V. (%)					13,59	13,71	23,61	25,60

Em cada camada, médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, na vertical, e pelas letras maiúsculas, na horizontal, não diferem entre si pelo teste Duncan a 5%.

dos agregados no controle mecânico (grade-GR e enxada rotativa-RT). No caso daqueles métodos de controle que mantêm maior quantidade de resíduos orgânicos sobre o solo, deve-se considerar, além do aspecto da proteção do solo, o efeito cimentante da matéria orgânica na estabilidade dos agregados do solo. A participação da matéria orgânica na agregação do solo foi documentada, dentre outros, por Mahboubi et al. (1993); Reichert et al. (1993); Barzegar et al. (1994) e Bruce et al. (1995). O quadro 5 revela que, diferentemente do que ocorreu com a camada superficial do solo, a estabilidade dos agregados da camada de 15-30 cm manteve-se praticamente constante ao longo de todo o período experimental, exceto no caso do controle com herbicida de pré-emergência (HR).

Na tentativa de avaliar o grau de associação entre os teores de matéria orgânica e os demais indicadores físicos da qualidade solo, foram realizados estudos de correlação envolvendo esses atributos, cujos resultados encontram-se no quadro 6.

De maneira global e independentemente da camada amostrada, observa-se que a matéria orgânica correlacionou-se significativamente com a densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP) e diâmetro médio geométrico (DMG) (Quadro 6). No caso da Ds, a correlação foi negativa entre o MO e Ds, indicando que, com o aumento do teor de matéria

orgânica, ocorreu uma redução nos valores de Ds. O efeito do teor matéria orgânica na redução da densidade do solo foi demonstrado em vários estudos, dentre os quais se destacam os de Soane (1990); Rasmussen & Collins (1991); Franzen et al. (1994); Pikul & Zuzel (1994); Dao (1996) e Thomas et al. (1996).

Considerando apenas os métodos de controle de plantas daninhas, o maior teor de matéria orgânica e a menor densidade do solo foram encontrados na área mantida sem capina (SC). No outro extremo, a utilização de herbicida de pré-emergência (HR) levou o solo a apresentar o menor teor de matéria orgânica e a maior densidade do solo (Quadros 2 e 3). A utilização, no controle das plantas daninhas, de roçadeira (RÇ), grade (GR), enxada rotativa (RT), herbicida de pós-emergência (HC) e capina manual (CM) proporcionou ao solo teores de matéria orgânica e densidades do solo em valores intermediários àqueles da área sem capina (SC) e da área cujo controle foi efetuado com herbicida de pré-emergência (HR), embora, no caso da matéria orgânica, os valores encontrados tenham sido estatisticamente iguais.

Por outro lado, a correlação da matéria orgânica com o VTP mostrou-se positiva e significativa, pelo fato de a redução na Ds, pelo efeito do aumento do teor de matéria orgânica, refletir diretamente no aumento do espaço poroso do solo. Da mesma forma,

Quadro 6. Coeficientes das correlações entre matéria orgânica e os valores de Ds, VTP e DMG das camadas de 0-15 e 15-30 cm do solo cultivado com cafeeiro submetido a diferentes métodos de controle de plantas daninhas

	1982	1984	1986	1988	1991	1993	1995
0-15 cm							
Ds	-0,57**	-0,66**	-0,82**	-0,75**	-0,69**	-0,83**	-0,76**
VTP	0,40*	0,63**	0,73**	0,75**	0,60**	0,81**	0,66**
DMG	0,10 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,65**	0,64**	0,67**	0,76**	0,76**
15-30 cm							
Ds	-0,52**	-0,74**	-0,87**	-0,80**	-0,81**	-0,79**	-0,85**
VTP	0,43*	0,62**	0,76**	0,65**	0,78**	0,62**	0,82**
DMG	-	-	-	0,53**	0,68**	0,80**	0,83**

^{ns}, *, **, respectivamente, não significativo, significativos a 5 e 1% pelo teste t.

como já discutido antes, os tratamentos que tiveram maiores e menores teores de matéria orgânica foram também os que apresentaram a maior e a menor porosidade total, respectivamente, ou seja, testemunha sem capina (SC) e herbicida de pré-emergência (HR). O aumento e a diminuição da porosidade devidos ao acréscimo e decréscimo do teor de matéria orgânica foram demonstrados por Pikul & Zuzel (1994); Zhang et al. (1997).

De maneira semelhante à porosidade, a correlação do teor de matéria orgânica com a estabilidade de agregados foi bem fundamentada por Bartoli et al. (1992); Faccin (1995); Reichert et al. (1993); Campos et al. (1995) e Besnard et al. (1996). Esta correlação positiva e significativa foi de fundamental importância, por causa da ação da matéria orgânica na cimentação das partículas do solo, na estabilização dos macroagregados e no tamanho dos agregados, os quais diminuem com o decréscimo no teor da matéria orgânica.

Pelo exposto, observa-se que o efeito dos métodos de controle de plantas daninhas sobre a sustentabilidade é indireto, tendo em vista a acumulação e a reciclagem de matéria orgânica inerente de cada sistema. As alterações observadas no período de 18 anos mostraram que o sistema SC contribuiu para o aumento da qualidade do solo pelo aumento do teor de matéria orgânica, ao passo que o tratamento (HR), na forma e no local aplicado, mostrou-se inadequado, pela manutenção de teores baixos de matéria orgânica do solo.

CONCLUSÕES

1. Os diferentes métodos de controle de plantas daninhas no cafeeiro influenciaram a qualidade física do solo, sendo essa influência mais expressiva na camada mais superficial.

2. A qualidade do solo mostrou-se diretamente correlacionada com o teor de matéria orgânica.

3. A utilização contínua de herbicida de pré-emergência, além de reduzir o teor de matéria orgânica, provocou o encrostamento superficial do solo.

4. A utilização contínua da enxada rotativa acarretou o surgimento de camada subsuperficial compactada.

5. O controle das plantas daninhas por meio de capinas manuais e por herbicida de pós-emergência mostrou-se eficiente na manutenção da qualidade física do solo cultivado com cafeeiro.

6. A utilização da roçadeira no controle das plantas daninhas tendeu a promover a compactação do solo pelo maior número de operações requeridas.

LITERATURA CITADA

- AWATRAMANI, N.A. Minimum tillage in coffee culture. *Ind. Coffee*, 38:176-178, 1974.
- BARTOLI, F.; PHILIPPY, R. & BURTIN, G. Influence of organic matter on aggregation in Oxisols rich in gibbsite or in goethite. I. Structures: the fractal approach. *Geoderma*, 54:231-257, 1992.
- BARZEGAR, A.R.; OADES, J.M.; RENGASAMY, P. & GILES, L. Effects of sodicity and salinity on disaggregation and tensile strength of an Alfisol under different cropping systems. *Soil Till. Res.*, 32:329-345, 1994.
- BESNARD, E.; CHENU, C.; BALESSENTE, J.; PUGET, P. & ARROUAYS, D. Fate of particulate organic matter in soil aggregates during cultivation. *Eur. J. Soil Sci.*, 47:495-503, 1996.
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Particle density. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986a. v.1. p.377-382.

- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986b. v.1. p.363-375.
- BOLLIN, B. & COOK, R.B. The major biogeochemical cycles and their interactions. New York, J. Wiley & Sons, 1983. 532p.
- BORRESEN, T. & NJOS, A. Ploughing and rotary cultivation for cereal production in a long-term experiment on a clay soil in southeastern Norway. 1. Soil properties. *Soil Till. Res.*, 28:97-108, 1993.
- BRUCE, R.R.; LANGDALE, G.W.; WEST, L.T. & MILLER, W.P. Surface soil degradation and soil productivity restoration and maintenance, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:654-660, 1995.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J. & PETREIRE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:121-126, 1995.
- CASSEL, D.K.; RACZKOWSKI, C.W. & DENTON, H.P. Tillage effects on corn production and physical conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:1436-1443, 1995.
- CINTRA, F.L.D.; COELHO, Y.S.; CUNHA SOBRINHO, A.P. & PASSOS O.S. Caracterização física do solo submetido a práticas de manejo em pomar de laranja "baianinha". *Pesq. Agropec. Bras.*, 18:173-179, 1983.
- DAO, T.H. Tillage system and crop residue effects on surface compaction of a paleustoll. *Agron. J.*, 88:141-148, 1996.
- 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, SSSA, 1994. p.3-21. (Special Publication, 35)
- FACCIN, O.P. Influência das características químicas, físicas e mineralógicas sobre a estabilidade de agregados de diferentes grupamentos de solos: Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1995. 67p. (Tese de Mestrado)
- FERNANDES, L.A.; SIQUEIRA, J.O.; GUEDES, G.A.A. & CURTI, N. Propriedades químicas e bioquímicas de solos sob vegetação de mata e campo cerrado adjacentes. *Ci. Agrotec.*, 21:58-70, 1997.
- FRANZEN, H.; LAL, R. & EHLERS, W. Tillage and mulching effects on physical properties of a tropical alfisol. *Soil Till. Res.*, 28:329-346, 1994.
- HERMAWAN, B. & CAMERON, K.C. Structural changes in a silt loam under long term conventional or minimum tillage. *Soil Till. Res.*, 26:139-150, 1993.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ - IBC. *Cultura do Café no Brasil: Manual de recomendações*. Rio de Janeiro, 1985. 580p.
- ISMAIL, I.; BLEVINS, R.L. & FRYE, W.W. Long-term no tillage effects on soil properties and continuous corn yields. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:193-198, 1994.
- KARLEN, D.L. Conservation tillage research needs. *J. Soil Water Conserv.*, 45:365-369, 1990.
- KARLEN, D.L.; EASH, N.S. & UNGER, P.W. Soil and crop management effects on soil quality indicators. *Am. J. Altern. Agric.*, 7:48-55, 1992.
- KARLEN, D.L. & STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, SSSA, 1994. p.53-71. (Special Publication, 35)
- KARLEN, D.L.; WOLLENNHAUPT, N.C.; ERBACH, D.C.; BERRY, E.C.; SWAN, J.B.; EASH, N.S. & JORDAHL, J.L. Long-term tillage effects on soil quality. *Soil Till. Res.*, 32:313-327, 1994
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. *Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, p.499-510.
- LAL, R. Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics versus temperate environments, *Adv. Agron.*, 42:85-197, 1989.
- LAL, R. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability *Soil Till. Res.*, 27:1-8, 1993.
- LEVY, J.; LEVIN, G.J & SHAINBERG, I. Seal formation and interrill soil erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:203-209, 1994.
- MAHBOUBI, A.A.; LAL, R. & FAUSSEY, N.R. Twenty eight years of tillage effects on two soil in Ohio. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:506-512, 1993.
- MAZURAK, A.P. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. *Soil Sci.*, 69:135-148, 1950.
- MORAES, M.V.; FORSTER, R. & STRIPECKE, W. Testes preliminares com novos herbicidas e suas combinações em aplicação de pré e pós emergência para o controle de invasoras da cultura do café. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E ERVAS DANINHAS, 6., Sete Lagoas, 1968, Anais. Sete Lagoas, 1968.
- MORIN, J. & van WINKEL, J. The effect of raindrop impact and sheet erosion on infiltration rate and crust formation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:1223-1227, 1996.
- PARR, J.F.; PAPENDICK, R.I.; HORNICH, S.B. & MEYER, R.E. Soil quality: Attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *Am. J. Altern. Agric.*, 7:5-11, 1992.
- PIKUL, J.L. & ZUZEL, J.F. Soil crusting and water infiltration affected by long-term tillage and residue management. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1524-1530, 1994.
- RASMUSSEN, P.E. & COLLINS, H.P. Long-term impacts of tillage, fertilizer, and crop residue on soil organic matter in temperate semiarid regions. *Adv. Agron.*, 45:93-134, 1991.
- REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & CABEDA, M.S.V. Índices de estabilidade de agregados e suas relações com características e parâmetros de solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:283-290, 1993.
- REICOSKY, D.C.; KEMPER, W.D.; LANGDALE, G.W.; DOUGLAS Jr., C.L. & RASMUSSEN, P.E. Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. *J. Soil Water Conserv.*, 50:253-261, 1995.
- ROMIG, D.E.; GARLYND, M.J.; HARRIS, R.F. & McSWEENEY K. How farmers assess soil health and quality. *J. Soil Water Conserv.*, 50:229-236, 1995.

- SANTOS, J.C.F. Comportamento de propriedades físicas e químicas de dois Latossolos Roxos sob diferentes sistemas de rotação de culturas em plantio direto. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1993. 101p. (Tese de Mestrado)
- SIDIRAS, N.; VIEIRA, S.R. & ROTH, C.H. Determinação de algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. R. Bras. Ci. Solo, 8:265-268, 1984.
- SOANE, B.D. The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. Soil Till. Res., 16:179-201, 1990.
- STEINHARDT, G.C. Soil quality: A new idea that includes an old one. J. Soil Water Conserv., 50:222-222, 1995.
- STEVENSON, F.J. Cycles of Soil-Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York, J. Wiley & Sons, 1986. 380p.
- THOMAS, G.W.; HASZLER, G.R. & BLEVINS, R.L. The effects of organic matter and tillage on maximum compactibility of soils using the proctor test. Soil Sci., 161:503-508, 1996.
- VETTORI, L. Métodos de análises de solos. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- VIEIRA, M.J. & MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. Pesq. Agropec. Bras., 19:873-882, 1984.
- VOMOCIL, J.A. Porosity. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.
- WARKENTIN, B. The changing concept of soil quality. J. Soil Water Conserv., 50:226-228, 1995.
- ZHANG, H.; HARTGE, K.H. & RINGE, H. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactibility. Soil Sci.Soc. Am. J., 61:239-245, 1997.

