

## COMPORTAMENTO COMPRESSIVO DE UM LATOSSOLO CULTIVADO COM CAFEIROS SOB MANEJOS DE PLANTAS DANINHAS E ADUBAÇÃO-VERDE<sup>1</sup>

George Mitsuo Yada Junior<sup>2</sup>; Cezar Francisco Araujo-Junior<sup>3</sup>; Benedito Noedi Rodrigues<sup>3</sup>; Auro Sebastião da Silva<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – Consórcio Pesquisa Café e pelo Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR

<sup>2</sup> Bolsista do CNPq pelo Programa Institucional de Iniciação Científica - ProICI – IAPAR, estudante de Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Londrina - PR, Paraná, email: [georgeyadajunior@hotmail.com](mailto:georgeyadajunior@hotmail.com)

<sup>3</sup> Pesquisador, DSc., Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR, Londrina, Paraná, email: [cezar\\_araujo@iapar.br](mailto:cezar_araujo@iapar.br); [noedi@iapar.br](mailto:noedi@iapar.br);

<sup>4</sup> Bolsista Consórcio Pesquisa Café. IAPAR, Londrina, Paraná, email: [ausezil@yahoo.br](mailto:ausezil@yahoo.br)

**RESUMO:** O manejo de plantas daninhas e coberturas utilizadas como adubo-verde alteram a distribuição entre partículas sólidas e o espaço poroso no solo. Assim, a facilidade com que o solo reduz de volume é alterada quando submetido a pressões externas em função do manejo nas entrelinhas da lavoura cafeeira. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência de diferentes manejos de plantas daninhas e coberturas utilizadas com adubo-verde na lavoura cafeeira, profundidades e umidade no comportamento compressivo de um Latossolo cultivado com cafeeiros. O estudo foi conduzido em uma lavoura cafeeira cultivar Mundo Novo, espaçamento 3,5 x 2,0 m implantada no IAPAR em Londrina – PR. O experimento foi instalado em julho de 2008 em delineamento de blocos casualizados (DBC) em parcelas sub-divididas. Os manejos de plantas daninhas e coberturas utilizadas como adubo-verde nas entrelinhas da lavoura cafeeira foram: T1 – capina manual operações realizadas com o auxílio de uma enxada (CAPM); T2 – roçadora mecânica portátil (ROÇA); T3 – herbicidas de pós + pré-emergência (HERB); T4 – adubação verde com amendoim cavalo *Arachis hypogaeae* (AMCAV); T5 – adubação verde com mucuna anã *Mucuna deeringiana* (Bort.) Merr (MANA); T6 – sem capina nas entrelinhas (SCEE); T7 – sem capina nas entrelinhas e na saia dos cafeeiros (CONT) e T8 – mata nativa (MATA). A coleta das amostras de solo foi realizada no centro das entrelinhas a 1,75 m do caule dos cafeeiros e aleatoriamente no solo sob MATA nas profundidades 0–3 cm e 10–13 cm. As amostras de solo com estrutura indeformada foram equilibradas em duas condições de umidade; correspondente à umidade no momento da amostragem e amostras seca ao ar durante 24 horas em laboratório e posteriormente submetidas ao ensaio de compressão uniaxial, aplicando-se na superfície pressões de 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa. Pelos resultados obtidos, observou-se que as curvas de compressão do LVdf foram alteradas pelo manejo, profundidade e principalmente pela umidade. Os manejos de plantas daninhas e adubação verde nas entrelinhas dos cafeeiros que proporcionam acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo e aumento no conteúdo de carbono orgânico total nesta profundidade proporcionam redução na compressibilidade. Os manejos capina manual e herbicidas proporcionam menor compressibilidade ao LVdf mesmo em conteúdos elevados de umidade, o que é fundamental para a resistência do solo à compactação, além de benéfico à trafegabilidade de máquinas.

**PALAVRAS-CHAVE:** curva de compressão do solo, estrutura do solo, amendoim cavalo, mucuna anã.

### COMPRESSIVE BEHAVIOUR OF A LATOSSOL (OXISOL) CULTIVATED WITH COFFEE TREE UNDER WEED MANAGEMENT AND GREEN MANURE

**ABSTRACT:** The weed management and green manure change the packing of the solids particles and porous system in the soil. Thus, the ability of soil to withstand stresses induced by machinery and equipment is changed due to management between coffee rows. The aim of this study was to evaluate the influence of different managements, depths and moisture in the compressive behaviour of a Latosol - Oxisol (LVdf), cultivated with coffee. The study was carried out in a coffee plantation cultivar Mundo Novo, spacing 3,5 x 2,0 m implanted at IAPAR Experimental Station Farm, Londrina, County, State of Paraná, Brazil. The experiment was installed in August 2008 in a randomized block design (DBC) in split plot scheme. Weed managements and cover crops used as green manure were between coffee rows were: T1 – hand weeding (CAPM), T2 - portable mechanical mower (ROÇA), T3 – post-emergence and pre-emergence herbicides (HERB), T4 – cover crop peanut horse *Arachis hypogaeae* (AMCAV); T5 – cover crop dwarf mucuna *Mucuna deeringiana* (Bort.) Merr (MANA), T6 - no weeding between rows (SCEE), T7 - no-weed control between coffee rows or under coffee canopy (CONT) and T8 – native forest (MATA). The sampling was done from the centre of the inter-row between coffee plants at 1.75 m from the coffee stem and randomly in the soil under native forest at depths 0-3 cm and 10-13 cm. Soil samples were equilibrated in two moisture conditions, corresponding to moisture at the time of sampling and samples air dried for 24 hours in the laboratory and subsequently subjected to uniaxial compression test, the stress at the top of the soil sample of 25, 50, 100, 200, 400, 800 and 1,600 kPa to reach equilibrium. The results showed that soil compression curves were affected by weed and cover crop management, depth and mainly by moisture content. The management of weed and cover crops between coffee rows that provide

accumulation of crop residues on the soil surface and increase in total organic carbon content at this depth decreases the soil compressibility. The hand weeding and herbicides managements contributed to lower soil compressibility and resistance against compaction even in high moisture content which is good to machines trafficability.

**KEY WORDS:** soil compression curve, stress-strain, soil structure, cover crop, dwarf mucuna, peanut horse.

## INTRODUÇÃO

A cafeicultura tem uma importância econômica significativa para o Estado do Paraná e devido a isso, programas estaduais têm incentivado a renovação, ampliação do parque cafeeiro e mecanização das operações de manejo e colheita da lavoura cafeeira. No entanto, para que a reestruturação e a mecanização da cafeicultura no estado sejam feitas de forma sustentável, com práticas de manejo que favoreçam tanto a produção agrícola como o ambiente, é essencial que se conheça como os manejos de plantas daninhas e as coberturas vegetais nas entrelinhas das lavouras alteram as propriedades físico-hídricas e mecânicas do solo. O solo pode ter seu comportamento físico-hídrico e mecânico alterado pelo manejo de plantas daninhas e cobertura nas entrelinhas da lavoura cafeeira, uma vez que, estes manejos alteram o estado de empacotamento das partículas sólidas, bem como o conteúdo de carbono orgânico total (Alcântara & Ferreira, 2000; Araujo-Junior et al., 2008, 2011, 2013). A ação do sistema radicular das plantas daninhas e das plantas de cobertura utilizadas como adubo-verde criam bioporos no solo, os quais são contrários às tensões aplicadas pelas máquinas e equipamentos alterando o comportamento compressivo do solo (Araujo-Junior et al., 2011). Em Latossolos Vermelhos da região oeste do Paraná, a compressibilidade do horizonte B de foi afetada pela espessura e cristalinidade da fração argila, além do conteúdo de matéria orgânica e diferença nas propriedades físico-químicas dos solos as quais afetam a estabilidade do solo (Assouline et al., 1997). O principal efeito da compactação ocorre durante deformações plásticas e não recuperáveis (van den Akker, 2004). Portanto, o estudo da compressibilidade permite separar o comportamento mecânico do solo em duas regiões e definir as práticas de manejo em função do comportamento compressivo do solo. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência de diferentes manejos, profundidades e umidade no comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distroférico típico (LVDF) cultivado com cafeeiros.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, em Londrina, Paraná (Latitude 23° 21' 30" S; Longitude 51° 10' 17" W de Greenwich). O solo da área de estudo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico – LVDF (Santos et al., 2006a), muito argiloso. Este LVDF possui 820 g kg<sup>-1</sup> de argila; 125 g kg<sup>-1</sup> de silte e 55 g kg<sup>-1</sup> de areia na camada de 0–40 cm. A fração argila deste solo contém de 250–280 g kg<sup>-1</sup> de Fe extraído pelo ditionito-citrato-bicarbonato (DCB), 60–90 g kg<sup>-1</sup> de gibbsita e de 620–650 g kg<sup>-1</sup> de caulinita e de 20–40 g kg<sup>-1</sup> de vermiculita com Al-entrecamada (Castro Filho & Logan, 1991). Pelo mapa geomorfológico do Estado do Paraná, Londrina está localizada na unidade morfoestrutural da Bacia sedimentar do Paraná, unidade morfoescultural do Terceiro Planalto e sub-unidade morfoescultural do planalto de Londrina. No Planalto de Londrina, predominam relevos com dissecação média, topos alongados, vertentes convexas e vales em V (Santos et al., 2006b). O experimento foi conduzido em uma lavoura cafeeira implantada com cafeeiros cv. Mundo Novo, com espaçamento entrelinhas 3,5 x 2,0 m, delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, sete manejos de plantas daninhas e plantas de cobertura nas entrelinhas. Além da área cultivada com cafeeiros, para este estudo, amostras de solo foram coletadas em uma mata nativa adjacente a área de estudo, as quais serviram como referência para os atributos físicos do solo. Em 2008, os cafeeiros com 28 anos de idade foram submetidos a uma poda do tipo decote em agosto de 2008, a fim de recuperar os cafeeiros e igualar as condições para avaliações subsequentes. A partir de então, os diferentes manejos de plantas daninhas e coberturas vegetais vem sendo adotados nas entrelinhas dos cafeeiros:

- 1) Capina manual (entre linha) + capina manual (saia) (CAPM): as plantas daninhas foram controladas com o auxílio de enxada nas entrelinhas e na saia dos cafeeiros.
- 2) Roçadora mecânica portátil (entre linha) + capina manual (saia);
- 3) Herbicidas pré + pós-emergentes (HERB): aplicação dos herbicidas oxyfluorfen (Goal, 240 g L<sup>-1</sup>) em pré emergência (uma aplicação) e glyphosate (Roundup, 360 g L<sup>-1</sup>) em pós emergência das plantas daninhas (Rodrigues & Almeida, 2005). O herbicida de pré-emergência foi utilizado em uma única aplicação, em Novembro de 2008, por ocasião do início do experimento. Para esta aplicação cuidou-se que a superfície do solo estivesse livre de plantas daninhas e restos culturais. As aplicações do herbicida de pós-emergência foram realizadas nos meses de Janeiro, Abril, Outubro e Dezembro dos anos de 2009, 2010 e 2011.
- 4) Adubação verde com o cultivo de amendoim cavalo [*Arachis hypogaea*] nas entrelinhas dos cafeeiros, associado à capina manual na saia dos cafeeiros.
- 5) Adubação verde com o cultivo de Mucuna anã [*Mucuna deeringiana* (Bort.) Merr] nas entrelinhas dos cafeeiros associado à capina manual na saia dos cafeeiros.
- 6) Sem capina nas entrelinhas (SCCE): as plantas daninhas foram deixadas em livre crescimento nas entrelinhas da lavoura cafeeira e capinadas com auxílio de enxada na saia dos cafeeiros.

7) Controle sem capina nas entrelinhas e na saia dos cafeeiros (CONT): As plantas daninhas foram deixadas em livre crescimento tanto nas entrelinhas como na saia dos cafeeiros. Em outubro de 2012, amostras de solo com estrutura indeformada foram coletadas com o auxílio de um amostrador de Uhland (Uhland, 1949) e anéis volumétricos de alumínio com dimensões de 2,54 cm de altura (1") por 6,35 cm de diâmetro interno (2,5"), nas profundidades 0 – 3 cm e 10 – 13 cm. Para cada parcela, quatro amostras indeformadas foram coletadas aleatoriamente no centro das entrelinhas dos cafeeiros, a 1,75 m do caule do cafeeiro, totalizando 256 amostras [4 amostras x 2 profundidades x (7 manejos nas entrelinhas dos cafeeiros + 1 uso mata nativa) x 4 repetições]. As amostras de solo com estrutura indeformada foram equilibradas em duas condições de umidade; correspondente à umidade no momento da amostragem e amostras seca ao ar em laboratório durante 24 horas e submetidas ao ensaio de compressão uniaxial. O ensaio de compressão uniaxial foi realizado no Laboratório de Física do Solo – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, aplicando-se na superfície das amostras tensões normais de 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa (Bowles, 1986; Dias Junior & Pierce, 1995) e medindo-se a variação da espessura da amostra com o tempo em um consolidômetro Durham GeoSlopeIndicator® modelo S-450 Terraload. No ensaio de compressão uniaxial, cada acréscimo de carga foi escolhido de maneira a dobrar a carga atuante sobre a amostra. As amostras indeformadas foram mantidas nos cilindros de alumínio e estes mantidos dentro da célula de compressão até obter 90 % da deformação máxima (Taylor, 1948). A curva de compressão foi obtida para cada amostra pela relação entre densidade do solo e logaritmo da pressão aplicada. Após a liberação da pressão do ensaio de compressão uniaxial as amostras foram conduzidas para a estufa a 105–110°C durante 48 horas para a obtenção da massa de solo seco e cálculo da densidade do solo (Grossman & Reinsch, 2002) e em seguida para a determinação da umidade volumétrica (Topp & Ferré, 2002). Os resultados das análises de densidade do solo foram submetidos à análise de variância e a comparação das médias feita pelo teste de Scott-Knott, utilizando-se o programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2000).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de compressão para um LVdf sob diferentes usos, manejos, profundidades e umidades volumétricas estão apresentadas na figura 1. Observa-se que, para qualquer uso, manejo e profundidade, com o aumento da umidade volumétrica há maior deformação do solo com o aumento das tensões normais aplicadas sobre a amostra (Figura 1). Além da umidade (Figura 1), os valores de densidade inicial (Tabela 1), bem como, o conteúdo de carbono orgânico total (dados não apresentados) influenciam o comportamento compressivo do solo. O solo sob o uso mata nativa proporciona ao LVdf menor valor de densidade do solo inicial nas duas profundidades em relação ao solo sob lavoura cafeeira e submetida a manejos de plantas daninhas e adubação verde nas entrelinhas (Tabela 1).

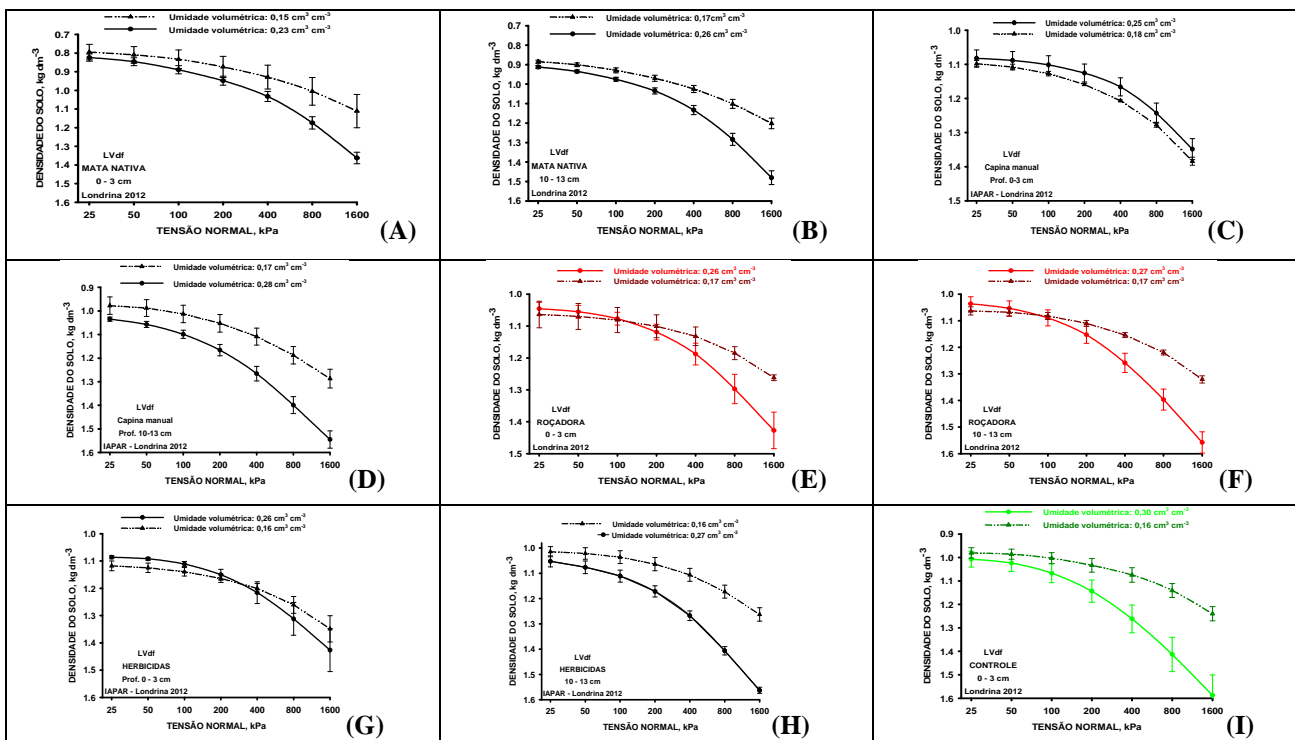


Figura 1. Curvas de compressão não-normalizadas para um Latossolo Vermelho distroférrico típico, muito argiloso sob os usos mata nativa (A e B) e cafeeiros sob os manejos capina manual (C e D), roçadora (E e F), herbicidas (G e H) em duas profundidades e controle na profundidade 0-3 cm (I).

Tabela 1. Densidade do solo inicial –  $D_{s_i}$  e densidade do solo ao final do ensaio de compressão uniaxial (1.600 kPa) -  $D_{s_{final}}$  para um Latossolo Vermelho Distroférico típico, em duas umidades (no momento da amostragem e seca ao ar durante 24 h) e profundidades de amostragem (0 – 3 cm e 10 – 13 cm).

Uso / manejo	$D_{s_i}$ , kg dm <sup>-3</sup>		$D_{s_{final}}$ , kg dm <sup>-3</sup> / amostragem		$D_{s_{final}}$ , kg dm <sup>-3</sup> / seca	
	Profundidade					
	0 – 3 cm	10 – 13 cm	0 – 3 cm	10 – 13 cm	0 – 3 cm	10 – 13 cm
Mata nativa	0,90 A	0,98 A	1,36	1,48	1,11	1,20
Capina manual	1,09 C	1,02 B	1,35	1,54	1,38	1,29
Roçadora	1,04 C	1,03 B	1,43	1,56	1,26	1,32
Herbicidas	1,07 C	1,04 B	1,43	1,56	1,35	1,26
Amendoim cavalo	1,02 C	1,01 B	1,48	1,56	1,22	1,31
Mucuna anã	1,06 C	1,02 B	1,42	1,57	1,26	1,38
Sem capina	0,97 B	1,01 B	1,46	1,50	1,18	1,27
Controle	0,97 B	0,99 B	1,59	1,53	1,24	1,29

As médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas, dentro de cada profundidade, não diferem entre si, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

A ausência de ação antrópica e história de tensão no solo sob mata nativa proporcionam valores de densidade do solo inferiores aos solos cultivados (Araujo-Junior et al., 2011, 2013). Além disso, a grande quantidade de raízes no solo sob mata nativa proporciona elevada atividade biológica (Duval et al., 2013) o que pode reduzir o estado de empacotamento das partículas sólidas do solo sob mata nativa em relação ao solo cultivado com cafeeiros e submetido a diferentes manejos de plantas daninhas e adubação verde na entrelinha da lavoura cafeeira. Apesar de a densidade do solo (Tabela 1) e conteúdo de carbono orgânico total influenciarem o comportamento compressivo do solo, a umidade é o fator que governa a quantidade de deformação que ocorre no solo quando submetido a pressões externas (Kondo & Dias Junior, 1999). Pela figura 1, observa-se que com a redução da umidade há redução da curvatura da curva de compressão do solo e assim há um amento da região da curva de compressão secundária, consequentemente, reduzindo à susceptibilidade do solo à compactação. Portanto, a partir do estudo do comportamento compressivo do solo em diferentes umidades é possível estimar a tensão normal em que o solo atinge valores de densidade do solo críticos ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro, além da umidade volumétrica crítica para o tráfego de máquinas e equipamentos conforme previamente relatado por Araujo-Junior et al. (2011). Os valores de densidade do solo ao final do ensaio de compressão uniaxial foram considerados excessivos para os ensaios realizados em amostras indeformadas com umidade volumétrica correspondente ao momento da amostragem (superior a 0,25 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) (Tabela 1). Por outro lado, para as amostras secas ao ar, com umidade inferior a 0,18 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> os valores de densidade do solo final foram considerados excessivo apenas para os manejos capina manual e herbicida na profundidade 0 – 3 cm e roçadora, amendoim cavalo e mucuna anã na profundidade 10 – 13 cm (Tabela 1). Para o Latossolo em estudo, valores de densidade do solo superiores a 1,25 kg dm<sup>-3</sup> podem ser limitantes ao desenvolvimento adequado do sistema radicular das culturas e à qualidade física (Derpsch et al., 1991; Araujo-Junior et al., 2013). Estes autores demonstraram para o solo em estudo que, valores de densidade do solo superiores a 1,25 kg dm<sup>-3</sup> representam danos à aeração do sistema radicular das culturas e ao movimento de água no perfil do solo. Para a profundidade de 10 – 13 cm e umidade no momento da amostragem, os valores de densidade do solo obtidos ao final do ensaio no presente estudo (Tabela 1) são similares aos obtidos para um Latossolo Vermelho de Palotina - PR com 830 g kg<sup>-1</sup> de argila, 4,0 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica comprimido a tensão normal de 1.000 kPa no potencial matricial de – 32 kPa (Assouline et al., 1997). Estes autores observaram que, o Latossolo de Palotina apresentou comportamento distinto a um Latossolo Vermelho Eutroférico com 800 g kg<sup>-1</sup> de argila de Cascavel - PR. Apesar da semelhança na granulometria, a comportamento distinto foi atribuído a diferenças nas propriedades físico-químicas e na mineralogia dos solos, as quais afetam a estabilidade do solo. A partir da análise das curvas de compressão do solo (Figura 1) foi possível determinar os níveis de pressões críticas, bem como a umidade volumétrica em que a densidade do solo alcança valores superiores a 1,25 kg dm<sup>-3</sup> considerado crítico para o LVDf. Assim, sob mata nativa sugere-se que a pressão de 800 kPa é crítica para as umidades volumétricas de 0,23 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> na profundidade 0 – 3 cm (Figura 1A) e 0,26 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> na profundidade 0 – 3 cm (Figura 1B). Sob o manejo capina manual a umidade não influenciou as curvas de compressão do LVDf na profundidade 0 – 3 cm (Figura 1C). Por outro lado, na profundidade 10 – 13 cm a umidade influenciou as curvas de compressão do solo desde a primeira tensão normal aplicada à amostra (Figura 1D). O comportamento mecânico do solo sob o manejo roçadora (Figura 1D e 1E) foi semelhante para as duas profundidades avaliadas. Este comportamento pode ser devido à ausência de revolvimento do solo proporcionado por este manejo, além de consolidação da estrutura do solo até a profundidade de 10 – 13 cm. Além disso, sob o manejo com a roçadora há intensa formação de bioporos até maiores profundidades o que pode homogeneizar a estrutura até a profundidade de 10 – 13 cm.

## CONCLUSÕES

1. Os diferentes manejos de plantas daninhas e cobertura nas entrelinhas da lavoura cafeeira e a umidade volumétrica alteram o comportamento compressivo do Latossolo nas camadas superficial e sub-superficial.
2. Os manejos capina manual e herbicidas proporcionam menor compressibilidade ao Latossolo Vermelho Distroférico típico, muito argiloso mesmo em conteúdos elevados de umidade, o que é fundamental para a resistência do solo à compactação, além de benéfico à trafegabilidade de máquinas.

## AGRADECIMENTOS

À chefia do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras - UFLA por permitir o uso dos equipamentos para realização dos ensaios de compressão uniaxial. Aos funcionários do Laboratório de Física do Solo da UFLA e do IAPAR pelo apoio para realização das análises.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO-JUNIOR, C. F.; DIAS JUNIOR, M. S. de; GUIMARÃES, P. T. G.; ALCÂNTARA, E. N. Capacidade de suporte de carga de um Latossolo e umidade crítica para o tráfego de um trator. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 115–131, jan./fev. 2011.
- ARAÚJO-JUNIOR, C. F.; RODRIGUES, B. N.; CHAVES, J. C. D.; YADA JUNIOR, G. M. Soil Physical Quality and Carbon Stocks Related to Weed Control and Cover Crops in a Brazilian Oxisol. In: SOLONESKI, S. (Ed.). **Weed and Pest Control - Conventional and New Challenges**. Rijeka, Croatia: InTech, 2013. v. 1, p. 181 – 205. ISBN: 978-953-51-0984-6, InTech, DOI: 10.5772/54363. Available from: <http://www.intechopen.com/books/weed-and-pest-control-conventional-and-new-challenges/soil-physical-quality-and-carbon-stocks-related-to-weed-control-and-cover-crops-in-a-brazilian-oxisol>
- ASSOULINE, S.; TAVARES-FILHO, J.; TESSIER, D. Effect of Compaction on Soil Physical and Hydraulic Properties: Experimental Results and Modeling. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 69, n. 2, p. 390-398, feb. 1997.
- BOWLES, J. E. **Engineering properties of soils and their measurements**. 3. ed. Auckland: McGraw-Hill, 1986. 218 p.
- CASTRO FILHO, C. & LOGAN, T. J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. **Soil Science Society American of Journal**, Madison, v. 55, p. 1407–1413, 1991.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn, (GTZ) GmbH, p.117-146. [Cooperação técnica IAPAR/GTZ. Traduzido p/ português].
- DIAS JUNIOR, M. de S.; PIERCE, F. J. Revisão de literatura: o processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 175—182, jan./mar. 1996.
- DIAS JUNIOR, M. de S.; PIERCE, F. J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, Lansing, v. 8, n. 2, p. 139—151, Nov. 1995.
- DUVAL, M. E.; GALANTINI, J. A.; IGLESIAS, J. O.; CANELO, S.; MARTINEZ, J. M.; WALL, L. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. **Soil & Tillage Research**, v.131, n.1, July, p.9. 2013.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows 4. 0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCAR, 2000. p. 255-258.
- GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. v. 4, p. 201–228.
- KONDO, M. K. & DIAS JUNIOR, M. de S. Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 497 –506, jul./set. 1999.
- SANTOS, H. G. D.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. D.; OLIVEIRA, V. A. D.; OLIVEIRA, J. B. D.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F., Eds. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, v.1, p.306, 2 ed. 2006a.
- RODRIGUES, B. N. & F. S. de ALMEIDA. **Guia de herbicidas**. 5. ed. Londrina: Grafmarke, 2005. 592 p.
- SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T. da; SILVA, J. M. F. da; ROSS, J. L. S. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v. 7, n.2, p.03–12, 2006b.
- TAYLOR, D. W. **Fundamentals of soil mechanics**. New York: J. Wiley, 1948. 770 p.
- TOPP, G. C.; FERRÉ, P. A. Water content. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. v. 4, p. 417–424.
- VAN den AKKER, J. J. H. SOCOMO: a soil compaction model to calculate soil stresses and the subsoil carrying capacity. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 113–127, sep. 2004.