

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – CAMPUS RIO
PARANAÍBA
MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

EDUARDO WILLIAM LOPES

**EFEITO DAS OPERAÇÕES DE IMPLANTAÇÃO DO CAFEIRO
SOBRE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO**

**RIO PARANAÍBA – MG
2014**

EDUARDO WILLIAM LOPES

**EFEITOS DAS OPERAÇÕES DE IMPLANTAÇÃO DO CAFEIEIRO
SOBRE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa –
Campus de Rio Paranaíba, como
requisito do Programa de Pós-
Graduação em Agronomia –
Produção Vegetal, para obtenção
do título de Magister Scientiae.

RIO PARANAÍBA – MG
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca UFV - Campus de Rio Paranaíba**

L864e

Lopes, Eduardo William, 1981-

Efeito das operações de implantação do cafeeiro sobre características físicas do solo / Eduardo William Lopes – Rio Paranaíba, MG, 2014.

79 p. ; 29cm.

Orientador: Dr. Alberto Carvalho Filho.

Coorientadores: Dr. Renato Adriane Alves Ruas; Dr. João Chrisóstomo Pedroso Neto.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa.

1. Densidade do solo. 2. Resistência mecânica do solo.

I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 633.73

EDUARDO WILLIAM LOPES

**EFEITOS DAS OPERAÇÕES DE IMPLANTAÇÃO DO CAFEIEIRO
SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa –
Campus de Rio Paranaíba, como
requisito do Programa de Pós-
Graduação em Agronomia -
Produção Vegetal, para obtenção
do título de Magister Scientiae.

Aprovada em 31 de julho de 2014

Prof. Renato Adriane Alves Ruas
(Co-orientador)
(UFV)

Prof. João Chrisóstomo Pedroso Neto
(Co-orientador)
(FAZU)

Prof. Alberto Carvalho Filho
(Orientador)
(UFV)

A Deus, meus familiares e aos meus amigos...
companheiros de todas as horas...

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e pela presença onipotente;

A minha Família, especialmente aos meus pais, Wills Lopes e Maria Célia Rodrigues Lopes, principalmente pelo milagre da vida e por sempre me apoiarem e incentivarem em todas as etapas da minha vida. Aos meus irmãos, Danilo Antônio Lopes e Júnia Aparecida Lopes pelo exemplo de luta e dedicação;

A Universidade Federal de Viçosa – UFV/Campus de Rio Paranaíba pela oportunidade de realização deste trabalho;

A Fapemig, pela concessão da bolsa de estudos;

Ao meu orientador Prof. Dr. Alberto Carvalho Filho pela oportunidade, orientação, confiança, incentivo, profissionalismo, compreensão e principalmente paciência;

Aos docentes do Curso de Pós-graduação em Agronomia da UFV/Campus de Rio Paranaíba pelo apoio, conhecimento transmitido, atenção e paciência;

Aos professores, Dr. Renato Adriane Alves Ruas e Dr. João Chrisóstomo Pedroso Neto pela participação na banca de defesa da dissertação, pela disposição e pelas sugestões para a melhoria desse trabalho;

Ao professor Dr. Hernani Martins Júnior, pelo auxílio nas análises estatísticas;

Ao colega de Mestrado Urbano Teixeira Guimarães e Silva pela enorme colaboração na realização desse trabalho e amizade;

Ao colega de Mestrado Bruno Carvalho pela enorme ajuda prestada;

A colega de Mestrado Daianna Pereira Costa pela hospitalidade, por todo auxílio proporcionado e pelas sugestões na melhoria do trabalho;

Ao proprietário da Fazenda São Francisco, Celso Uliano pela concessão do local para a realização do experimento e aos seus funcionários, Elton, Fernando e principalmente ao gerente Denival pela prontidão nos momentos que precisei e pela amizade;

Aos amigos da Pós-Graduação, Diogo, Cícero, Roney, Rafael, Clebson, Diego, Vinícius, Roxana, Larissa, e todos os outros, que me proporcionaram momentos muito agradáveis durante nossa convivência;

Às funcionárias da seção de Pós-Graduação e aos funcionários do Laboratório de solos da UFV/Campus de Rio Paranaíba, pelo atendimento e auxílio;

A todos meus Familiares e amigos pessoais, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e torcendo por mim;

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para essa minha nova conquista.

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”
(Simone de Beauvoir)

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”
(Marthin Luther King)

O silêncio é uma grande técnica de conversação.
(William Wordsworth)

LOPES, Eduardo William, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa – Campus Rio Paranaíba, julho de 2014. **Efeito das operações de implantação do cafeeiro sobre características físicas do solo.** Orientador: Alberto Carvalho Filho. Coorientadores: Renato Adriane Alves Ruas e João Chrisóstomo Pedroso Neto.

RESUMO

Com o crescimento de áreas agrícolas e a maior utilização de máquinas para realizarem tratos culturais, aumentou a preocupação com os problemas relacionados à compactação do solo. Objetivou-se avaliar o efeito da compactação do solo na implantação da cultura de *Coffea arabica* na região do Alto Paranaíba-MG. O trabalho foi realizado na fazenda São Francisco, Rio Paranaíba, utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas e dois tratamentos: subsolagem na projeção do rodado do trator após a implantação do cafeeiro, e, controle sem subsolagem após a implantação do cafeeiro. As parcelas foram subdivididas em linha do cafeeiro, linha de projeção do rodado do trator e na entre linha do cafeeiro. Foram avaliadas a densidade do solo, resistência mecânica do solo à penetração e umidade do solo nas camadas de: 0,0 a 0,1; 0,1 a 0,2; 0,2 a 0,3; 0,3 a 0,4; 0,4 a 0,5; 0,5 a 0,6 m de profundidade. A resistência mecânica do solo à penetração foi avaliada usando dois penetrômetros, de impacto e digital. O solo de uma área de mata nativa de cerrado ao lado do experimento também foi avaliado com o objetivo de comparar o estado de conservação da área cultivada. Pode ser observado que houve aumento da resistência mecânica do solo a penetração, em função do tráfego de equipamentos agrícolas na projeção do rodado do trator. A camada que apresentou maior resistência mecânica do solo a penetração foi a de 0,1 a 0,3 m de profundidade na projeção do rodado do trator. O Penetrômetro de impacto gerou valores superiores ao avaliar a resistência mecânica do solo à penetração, em relação ao penetrômetro digital.

Palavras-chave: atributos físicos do solo; manejo de solo; compactação; densidade do solo; resistência mecânica do solo a penetração;

LOPES, Eduardo William, M.Sc., Federal University of Viçosa – Campus Rio Paranaíba, July 2014. **Effect of coffee deployment operations on soil physical properties**. Advisor: Alberto Carvalho Filho. Co-Advisors: Renato Adriane Alves Ruas and João Chrisóstomo Pedroso Neto.

ABSTRACT

With the growth of agricultural areas and increased use of machines to perform cultivation, raises concern about the problems related to soil compaction. Therefore this study aimed to evaluate soil compaction in deployment of culture of *Coffea arabica* in the Alto Parnaíba-MG region. The experiment was conducted in a completely randomized design, using a splitplot arrangement, with two treatments: subsoiling in the projection of the tractor wheels after implantation of the coffee and control without subsoiling after implantation of coffee. Were subdivided into, line of coffee, projection of wheeled tractor, and the line between the coffee. Were evaluated soil bulk density, soil penetration resistance and soil moisture at depths, from 0 to 0,1; 0,1 to 0,2; 0,2 to 0,3; 0,3 to 0,4; 0,4 to 0,5; 0,5 to 0,6 meters. Soil penetration resistance evaluated with a two penetrometers the impact and digital The soil of an area of bushland savannah adjacent to the experiment also was avaliada with the aim of comparing conservation acreage. It can be seen that there is an increase of the mechanical resistance to penetration, depending on the traffic of agricultural equipment in the projection of the tractor wheels. The layer showed higher mechanical resistance to penetration was from 0.1 to 0.3 m depth the projection of the rotated tractor. The impact penetrometer values were superior to evaluate the mechanical resistance to penetration in relation to digital penetrometer.

Keywords: physical attributes, soil management; trafficability, compaction, soil structure.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	7
1 Alterações físicas em latossolo na instalação de lavoura cafeeira	21
1.1 INTRODUÇÃO	23
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	25
1.2.1 Descrição da área experimental	26
1.2.2 Delineamento experimental	28
1.2.3 Avaliações	29
1.2.3.1 Determinação da densidade do solo	29
1.2.3.2 Determinação da resistência mecânica do solo à penetração	29
1.2.3.3 Determinação da umidade do solo	30
1.2.3.4 Análise estatística	31
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
1.3.1 Densidade do solo	31
1.3.2 Resistência mecânica do solo à penetração	34
1.3.3 Umidade do solo	36
1.4 CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
2 Efeitos da subsolagem na cultura de café recém instalado	39
2.1 INTRODUÇÃO	41
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	43
2.2.1 Descrição da área experimental	44
2.2.1 Delineamento experimental	46
2.2.2 Avaliações	48

2.2.2.1 Resistência mecânica do solo à penetração.....	48
2.2.2.2 Umidade do solo	49
2.2.2.3 Análise estatística.....	50
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
2.3.1 Resistência mecânica do solo à penetração.....	50
2.3.2 Umidade do solo	55
2.4 CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
3 Avaliação de penetrômetros em função do uso e manejo de LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico	64
3.1 INTRODUÇÃO	66
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	67
3.2.1 Delineamento experimental	68
3.2.2 Avaliações.....	69
3.2.2.1 Resistência mecânica do solo à penetração.....	69
3.2.2.2 Análise estatística.....	70
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
3.4 CONCLUSÕES	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

INTRODUÇÃO GERAL

O café é um dos produtos agrícolas de maior importância para o Brasil. Segundo a International Coffee Organization – ICO (2014), o consumo mundial de café para 2013/2014 foi de 145,8 milhões de sacas, com um déficit de oferta de 83 mil sacas para o mercado internacional. O Brasil é o maior produtor de café do mundo e o segundo mercado consumidor, tendo consumido no ano de 2013 cerca de 20,08 milhões de sacas, ficando atrás apenas dos Estados Unidos (ABIC, 2013). Preencher os requisitos impostos por consumidores de outros países é indispensável para que a competitividade da cafeicultura nacional seja ainda mais efetiva.

Em se tratando da produção de café no Brasil, há crescimento constante, isso ocorre devido a utilização de novas tecnologias, como a mecanização, gestão da atividade, surgimento de novas cultivares, dentre outros, tudo isso, impulsionado pela exigência do mercado consumidor, fatores extremamente importantes e necessários para o avanço e modernização da cafeicultura.

A estimativa da produção da safra brasileira para 2014 é de 44,57 milhões de sacas de 60 Kg de café beneficiado, com uma queda de 9,33% em relação à safra anterior, o que pode ser explicado principalmente pela forte estiagem nos primeiros meses de 2014, pelas podas nos cafezais e à inversão da bienalidade em algumas regiões produtoras. O Brasil totaliza área plantada de café em torno de 2.267.577,8 ha, onde Minas Gerais concentra a maior parte desta área com 1.245.710 mil ha, sendo o estado o maior produtor nacional da cultura (CONAB, 2014).

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. Com o passar do tempo, os cafezais mineiros foram conquistando novas áreas, tais como: o Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e Alto Jequitinhonha, áreas estas de solos sob cerrado, com relevo menos acidentado, que proporciona o emprego de tecnologias mais apropriadas, principalmente quanto ao uso de mecanização (ALCÂNTARA & FERREIRA, 2000).

Nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, a cafeicultura tem-se desenvolvido de forma acelerada em razão da alta tecnologia aplicada no seu cultivo. Pelo fato de a cafeicultura nos cerrados ser desenvolvida em áreas relativamente planas, a mecanização é prática recorrente em, praticamente, todas as etapas da produção, desde o preparo do solo até a colheita, sendo crescente a cada ano (ORTEGA & JESUS, 2011). Segundo Kashima (1990), Barbosa et al. (2005) e Oliveira et al. (2007), o sistema de colheita mecanizada apresenta menor custo operacional e melhor qualidade dos frutos na cultura cafeeira, comparativamente ao sistema de colheita manual.

O uso da mecanização agrícola nas diversas operações de campo é uma das grandes ferramentas que impulsionou o aumento da produção mundial de grãos, proporciona aos produtores rurais diversos benefícios, entre estes, a redução de custos e a rapidez na realização das operações de campo.

O cafeeiro é uma cultura perene e pode produzir por mais de 30 anos. Entretanto, fatores como alta incidência de pragas e doenças, manejo inadequado das adubações, podas e controle ineficiente das plantas daninhas, contribuem para decréscimos significativos das produções do cafeeiro. Além do que, por ser uma cultura perene, o reflexo de um manejo inadequado pode ser observado nos anos seguintes. O sucesso do agronegócio do café está condicionado à utilização racional dos diversos fatores de produção, visando, sobretudo, à busca por resultados positivos na produtividade, na diminuição dos custos, na qualidade do solo e no impacto ambiental. No entanto, essas

práticas podem alterar as propriedades físicas do solo, especialmente nas camadas superficiais (CARMO et al., 2011).

De acordo com Silva et al. (2006) a compactação do solo é ocasionada por uma determinada pressão que o solo é submetido, ocasionando redução de volume com consequente aumento da resistência à penetração e da densidade. A compactação é causada pela movimentação de máquinas e implementos agrícolas durante o preparo do solo, sementeira, tratamentos culturais, colheita e transporte. Pode ocasionar demora no desenvolvimento das culturas, plantas mais baixas, folhas com coloração não característica, sistema radicular superficial, raízes mal formadas, aumento da resistência mecânica ao crescimento radicular, bem como redução na taxa de infiltração da água no solo, na macroporosidade, na aeração, na disponibilidade de água e nutrientes e, conseqüentemente, decréscimo na produtividade agrícola (PIFFER & BENEZ, 2009).

A compactação altera a estrutura, que é o atributo físico mais importante do solo. Conseqüentemente, altera também a geometria e distribuição de poros por tamanho, modificando o comportamento físico-hídrico e a condutividade de água no solo. A compactação do solo tem sido identificada como um dos principais processos causadores de degradação da sua estrutura, comprometendo a qualidade física de terras agrícolas e a obtenção de maior produtividade (DIAS JUNIOR et al., 2005). Quando o preparo do solo é realizado ano após ano, na mesma profundidade de operação, causa compactação na camada subjacente a camada mobilizada, conhecida popularmente como “pé de arado” ou “pé de grade”.

O tráfego de máquinas agrícolas em condições inadequadas de umidade em áreas cultivadas com cafeeiros tem-se tornado preocupante em decorrência da compactação causada pelos rodados ao longo dos anos, podendo levar à redução da produtividade. Estudos vêm demonstrando que a compactação de um solo é devido ao tráfego de

veículos, que se realiza durante as atividades desempenhadas durante o ciclo das culturas (TORMENA et al., 1998; SEIXA & SOUZA, 2007; DIAS JUNIOR et al., 2007).

Assim, estudos que visem à identificação, quantificação e minimização dos efeitos causados pelo manejo da cultura sobre o solo são importantes para adaptar, de forma condizente, o manejo, tendo em vista o desenvolvimento de uma cafeicultura sustentável (MIRANDA et al., 2003).

Muitos sistemas de exploração agrícola têm proporcionado ao solo acelerado processo de degradação, com desequilíbrio de suas características físicas, químicas e biológicas, afetando o seu potencial produtivo. Para cada condição de solo e operação agrícola, existe um equipamento adequado. O solo deve ser preparado com o mínimo de mobilização, não implicando, com isso, diminuição da profundidade de operação, mas sim redução do número de operações, deixando rugosa a superfície e mantendo os resíduos culturais, total ou parcialmente, sobre a superfície, trazendo benefícios para a sustentabilidade ambiental e também, muitas vezes, maior economia (CARVALHO FILHO et al., 2007).

Segundo Aratani et al. (2009), quando a qualidade física do solo é prejudicada pelo manejo, a distribuição e a morfologia das raízes são afetadas, com reflexos no crescimento da parte aérea, tais alterações são ocasionadas, principalmente, devido ao aumento da densidade e resistência mecânica do solo à penetração causada pelo tráfego intensivo de máquinas e implementos agrícolas em condições inadequadas de umidade ou cobertura vegetal do solo. De acordo com Carmo et al. (2011), a mecanização do cafeeiro justifica-se pelo alto custo de mão de obra, ademais, a intensidade das operações mecanizadas na implantação das lavouras cafeeiras é aumentada na estação chuvosa, favorecendo a formação de camadas compactadas no solo.

Alternativas para reduzirem a compactação do solo em lavouras cafeeira pode ser o uso do manejo de plantas invasoras na linha do rodado do trator que possam auxiliar na redução da carga aplicada no solo e aumentar a formação de agregados, isso possibilita melhor infiltração de água e trocas gasosas, bem como os ciclos de umedecimento e secagem em profundidade, que promovem a homogeneização da capacidade de suportar carga da estrutura do solo (ARAÚJO-JUNIOR et al., 2008).

Em silvicultura, um estudo realizado em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, mostrou que a compactação do solo aumentou com o maior número de passadas de um “forwarder”, com 42,3 Mg de peso total carregado, atingindo, após 11 passadas, 74% da compactação final resultante das 25 passadas do trator, não tendo sido significativa após uma passada (SEIXAS et al., 2003).

No contexto da agricultura mecanizada, o controle de tráfego surge como uma alternativa para diversas culturas, inclusive a cultura do café, pois minimiza os efeitos adversos da mecanização agrícola, separa as zonas de tráfego daquelas em que há crescimento das plantas e concentra a passagem de pneus em linhas delimitadas. Desse modo, uma área menor será submetida ao tráfego agrícola, embora mais intensamente (LAGUË et al., 2003; ROQUE et al., 2010). Esta é uma prática bastante difundida no Brasil e na Austrália, e que tem como objetivo reduzir o impacto da compactação do solo sobre a produtividade das culturas (TULLBERG, 1997).

Em uma avaliação do efeito da posição do tráfego na colheita de cana-de-açúcar, Braunack et al. (2006) verificaram redução da compactação e aumento da produtividade da cultura em áreas com controle de tráfego. Pesquisas realizadas na Austrália detectaram aumento de 16% na produtividade e aumento de 30% nos lucros pelo uso do sistema de tráfego controlado quando comparado com o sistema convencional na produção de grãos de sorgo, trigo e milho (TULLBERG, 1997; ROQUE et al., 2010).

De acordo com Roque et al. (2010) a adoção do controle de tráfego permite melhorias na estrutura física do solo e redução no consumo de combustível, pois, uma maior área não será compactada e apresentará menor resistência à ruptura do solo na passagem de equipamentos de mobilização, bem como melhoria no potencial de tração do solo (relação pneu-solo), o que aumenta o rendimento da tração consequência do tráfego do maquinário em solo mais firme (linhas de tráfego). Souza et al. (2012) trabalhando com o controle de tráfego em lavouras de cana-de-açúcar, verificaram que os sistemas de controle de tráfego agrícola propiciam maior capacidade de suporte de carga, na linha de rodado, e possibilitam o tráfego de máquinas agrícolas em solos com maior teor de água, devido aos maiores valores de pressão de preconsolidação. Oliveira et al. (2010) avaliaram a variabilidade espacial da compactação do solo nas linhas de cultivo e de tráfego em cana-de-açúcar, observaram que há diferença significativa de índice de cone na comparação entre as mensurações nas linhas e entre linhas da cultura da cana, o que confirma que o controle de tráfego tem sido eficiente no manejo da compactação do solo.

Diante do exposto, este trabalho é de suma importância, pois os resultados desta pesquisa visam à adoção de práticas eficientes de manejo adequado das características físicas do solo buscando a sustentabilidade na lavoura cafeeira. O objetivo do trabalho é avaliar a compactação do solo na implantação da cultura de *Coffea arábica*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, E. N.; FERREIRA, M. M. Efeitos de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade física do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p. 711-721, 2000.

ARATANI, R. G. et al. Qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, 33:677-687, 2009.

ARAUJO-JUNIOR, C. F. et al. Resistência à compactação de um Latossolo cultivado com cafeeiro, sob diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:23-32, 2008.

ARAUJO-JUNIOR, C. F. et al. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um latossolo induzida por diferentes manejos. **R. Bras. Ci. Solo**, 35:115-131, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. Indicadores da indústria de café no Brasil - 2013. 2013. Disponível em:
<<http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=61#3252>>. Acesso em: 09 jun. 2014.

BARBOSA, J. A.; SALVADOR, N.; SILVA, F. M. Desempenho operacional de derrigadores mecânicos portáteis, em diferentes condições de lavouras

cafeeiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.129-132, 2005.

BRAUNACK, M. V.; ARVIDSSON, J.; HAKANSSON, I. Effect of harvest traffic position on soil conditions and sugarcane (*Saccharum officinarum*) response to environmental conditions in Queensland, Australia. **Soil and Tillage Research**, v.89, p.103–121, 2006.

CARMO, D. L. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cafeeiro em três sistemas de manejos no sul de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, 35:991-998, 2011.

CARVALHO FILHO, A. et al. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.229-237, jan./abr. 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira Café – Safra 2014 Segunda estimativa**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_05_20_08_49_17_boletim_maio-2014.pdf> . Acesso em: 09 jun. 2014.

DIAS JUNIOR, M.S. et al. Soil compaction due to forest harvest operations. **Pesq. Agropec. Bras.**, 42:257-264, 2007.

DIAS JUNIOR, M.S. et al. Traffic effects on the soil preconsolidation pressure due to Eucalyptus harvest operations. **Sci. Agric.**, 62:248-255, 2005.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Relatório mensal sobre o mercado cafeeiro**. 2014. Disponível em: <<http://dev.ico.org/documents/cy2013-14/cmr-0514-p.pdf>>. Acesso em 09 jun. 2014.

KASHIMA, T. A colheita mecanizada do café: produtos, desempenho e custos. In: CICLOS DE ESTUDOS SOBRE MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA, 4., 1990, Campinas, SP. **Anais...** Campinas: Fundação CARGILL, 1990. p. 234-246.

LAGUË, C.; AGNEW, J.; KHELIFI, M. Theoretical evaluation on the feasibility of controlled-traffic farming (CTF) using wide-span implement carriers (WSIC) for Canadian agriculture. In: ANNUAL MEETING OF THE CSAE/SCGR, 2003, Montréal. **Proceedings**. Montréal: CSAE/SCGR, 2003. (CSAE. Paper, 03-233).

MIRANDA, E. E. V. et al. Efeito do manejo e do tráfego nos modelos de sustentabilidade da estrutura de um Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiros. **Ci. Agrotec.**, 1506-1515, 2003. (Edição especial).

OLIVEIRA, A. S. et al. Variabilidade espacial da compactação do solo nas linhas de cultivo e de tráfego em cana-de-açúcar. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, **Anais...** ConBAP, Rabeirão Preto – SP, Anais. 2010.

OLIVEIRA, E. de. et al. Influência da colheita mecanizada na produção cafeeira. **Cienc. Rural** [online]. 2007, vol.37, n.5, pp. 1466-1470.

ORTEGA, A. C.; JESUS, C. M. Território café do Cerrado: transformações na estrutura produtiva e seus impactos sobre o pessoal ocupado. **Revista Economia Sociologia Rural**, Brasília, DF, v. 49, n. 3, p. 771-800, 2011.

PIFFER, C. R.; BENEZ, S. H. Demanda energética de uma semeadora de fluxo contínuo em três sistemas de manejo do solo. **Revista Energia na Agricultura**, v.24, n.4, p.21-32. 2009.

ROQUE, A. A. O. et al. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesq. Agropec.bras.**, v.45, n.7, p. 744-750, jul. 2010.

SEIXAS, F.; SOUZA, C. R. Avaliação e efeito da compactação do solo, devido à frequência de tráfego, na produção de madeira de eucalipto. **R. Árvore**, Viçosa – MG, v.31, n.6, p. 1047 -1052, 2007.

SEIXAS, F.; KOURY, C. G. G.; RODRIGUES, F. A. Determinação da área impactada pelo tráfego de “forwarder” com uso de GPS. **Scientia Forestalis**, n.63, p.178-187, 2003.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M. Atributos físicos de dois Latossolos afetados pela compactação do solo. **R. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, v. 10, n. 4, p. 842-847, 2006.

SOUZA, G. S. et al. Compressibilidade do solo e sistema radicular de cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 603-612, abr. 2012.

TORMENTA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDE, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 22, p. 573-581, 1998.

TULLBERG, J. N. Tractor-based systems for traffic control in Australia. **Landwards**, v.52, p.12-15, 1997.

1 Alterações físicas em latossolo na instalação de lavoura cafeeira

Eduardo William Lopes¹, Alberto Carvalho Filho²

RESUMO - A compactação do solo é um problema de difícil avaliação, por não apresentar informações na literatura referente ao seu nível crítico. Para melhor identificar uma camada compactada no solo pode-se realizar comparação entre os solos da área cultivada com da área sob vegetação nativa. Assim, o objetivo do estudo foi avaliar a compactação de um solo durante a instalação da cultura do café comparando-o com área sob vegetação de cerrado. O experimento foi conduzido em DIC (delineamento inteiramente casualizado) com parcelas subdivididas e sete repetições. Foram comparados duas formas de manejo ao solo, cultivo do cafeeiro e mata nativa de cerrado em seis profundidades de avaliação, 0 - 0,1; 0,1 a 0,2; 0,2 a 0,3; 0,3 a 0,4; 0,4 a 0,5; 0,5 a 0,6 m. Foram avaliados a densidade do solo, a resistência mecânica do solo à penetração e a umidade do solo. Os resultados indicaram que houve aumento na densidade do solo e na resistência mecânica do solo à penetração na linha de projeção dos rodados comparado com a área sob vegetação nativa de cerrado. Ainda foi possível observar camada compactada sob a linha de projeção dos rodados na profundidade de 0,1 a 0,3 m, ocasionada pelo tráfego de máquinas.

Palavras-chave: densidade do solo, Resistência mecânica do solo à penetração, penetrômetros.

¹Programa de Pós-graduação em Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, Rodovia MG 230, km 7, caixa postal 22, Rio Paranaíba, MG, Brasil. E-mail: zumwil@hotmail.com.

*Autor para correspondência.

²Instituto de Ciência Agrárias, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, MG, Brasil.

1 Physical changes oxisol in the coffee plantation installation

Eduardo William Lopes¹, Alberto Carvalho Filho²

ABSTRACT - Soil compaction is a parameter difficult to investigate, not to provide benchmarks so you can make comparisons. To be able to measure or identify a compacted layer shall make a comparison with a native forest with the objective of this study is to evaluate the physical attributes of a soil cultivated with coffee and on bushland. We conducted an experiment that was conducted in CRD (completely randomized design) with seven replicates. Were mounted split plot with two soil management, cultivation of coffee (C) and native (MN) and six depths assessment, from 0 to 0.1, 0.1 to 0.2, 0.2 to 0.3 , 0.3 to 0.4, 0.4 to 0.5; 0,5 to 0,6 meters, were evaluated moisture, density and mechanical resistance to penetration. The results indicated that there was an increase in density and mechanical resistance to penetration in the 0 0,2 m, which showed higher values observed in the native forest. Noting like a layer problem with barrier to root development.

Keywords: bulk soil, mechanical resistance to penetration, soil compaction.

¹Programa de Pós-graduação em Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, Rodovia MG 230, km 7, caixa postal 22, Rio Paranaíba, MG, Brasil. E-mail:zumwil@hotmail.com.

*Autor para correspondência.

²Instituto de Ciência Agrárias, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, MG, Brasil.

1.1 INTRODUÇÃO

A introdução de sistemas agrícolas em substituição às florestas causa desequilíbrio no ecossistema, modificando as propriedades do solo, cuja intensidade varia com as condições de clima, uso e manejos adotados e a natureza do solo (ARAUJO et al., 2004). A qualidade física do solo para o crescimento das plantas é determinada não só pela disponibilidade de água, aeração e temperatura, mas também pela resistência que a matriz do solo oferece à penetração e crescimento radicular (LETEY, 1985). Portanto, o uso intensivo do solo pode causar alterações em atributos físicos, porém, torna-se necessário realizar comparações para verificar se a solo apresenta ou não compactação suficiente para afetar o desenvolvimento e produtividade da cultura, economicamente explorada. Para isso, é necessário utilizar valores de referências, encontrados em solos poucos ou não trabalhados.

Com o crescimento das áreas mecanizadas, houve necessidade de se estudar se o comportamento dos atributos físicos do solo vem sofrendo algumas modificações principalmente com respeito a compactação do solo. Efeitos sobre alguns atributos do solo principalmente sobre sistema de plantio direto já são reportados na literatura, tais como: a densidade do solo, que mostra tendência de aumento nos primeiros anos de cultivo e, com o passar dos anos apresenta tendência de redução, além do aumento da porosidade total e o aumento no tamanho de agregados (DAS ROS et al., 1997; ASSIS & LANÇAS, 2005).

Entretanto, alguns entraves podem ser evidenciados, como, por exemplo, qual padrão deverá ser utilizado para comparação de valores, para verificar se o solo apresenta ou não uma barreira para o desenvolvimento das plantas. De acordo com

Sanchez (1981), avaliações das modificações no solo decorrentes do cultivo deveriam ser feitas submetendo um solo sob vegetação natural às explorações agrícolas desejadas e analisando suas propriedades periodicamente. No entanto, por diferentes razões, é difícil atender a essa condição experimental, por não poder realizar casualização. Alternativamente, estes estudos podem ser feitos utilizando solos cultivados ou sob vegetação de cerrado, desde que mantidos os critérios genéticos e topográficos relacionados com a formação dos solos (ARAUJO et al., 2004). No Brasil, têm sido feito alguns estudos avaliando as mudanças nas propriedades dos solos utilizando o solo sob vegetação nativa como referência (ARAUJO et al., 2004; ASSIS & LANÇAS, 2005; OLIVEIRA et al., 2007).

A resistência mecânica à penetração de um solo sob vegetação nativa tende a ser pequena, se comparada àquela do mesmo solo, após cultivo intensivo. Analogamente, é interessante também utilizar o penetrômetro após a operação de descompactação, de modo a quantificar os efeitos do equipamento na diminuição da resistência oferecida pelo solo.

Apesar de a resistência à penetração ser afetada pela textura, densidade do solo e conteúdo de água, Camargo & Alleoni (2006) sugere que valores acima de 2,5 MPa começam a restringir o pleno crescimento das raízes das plantas. Outros estudos, consideram críticos os valores que variam de 6,0 a 7,0 MPa para solos arenosos e em torno de 2,5 MPa para solos argilosos (SENE et al., 1985; CANARACHE, 1990).

O objetivo deste trabalho foi comparar a densidade, sua resistência mecânica à penetração e umidade em LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico no primeiro ano de cultivo, com cafeeiro e sob mata nativa de cerrado.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em lavoura cafeeira da Fazenda São Francisco, localizada a 20 Km da cidade de Rio Paranaíba-MG (Figura 1). A localização geográfica da área é 19° 14' latitude sul e 46° 21' longitude oeste e altitude de 900 metros na Região do Alto Paranaíba, onde o clima é do tipo Cwb, de acordo com a classificação de Köppen, definindo-se por temperatura média mínima de 18° C e, média anual igual ou inferior a 22° C, caracterizado pela presença de duas estações bem definidas, uma fria/seca, abrangendo os meses de abril a setembro e outra quente/chuvosa, que se estende de outubro a março. A média da precipitação pluviométrica é em torno de 1600 mm ano⁻¹.



Figura 1. Área experimental onde se instalou-se a cultura do café e área sob vegetação nativa de cerrado.

O solo é classificado como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico típico, com textura argilosa (EMBRAPA, 2006). Os resultados da análise química e granulométrica do solo podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado da análise granulométrica e química da área experimental na Fazenda São Francisco, Rio Paranaíba (MG).

Profundidade ----- m -----	Granulometria					pH CaCl ₂	M.O ---- g.dm ⁻³ --	C.O	V %
	Areia Grossa	Areia Fina	Areia Total g.dm ⁻³	Argila	Silte				
0,00 – 0,20	205	82	287	560	153	4,9	30,0	17,4	35,3
0,20 – 0,40	173	78	251	579	170	-	-	-	-
0,40 – 0,60	181	67	247	574	178	-	-	-	-

1.2.1 Descrição da área experimental

Em 2004 foi eliminada lavoura velha de café no local da área experimental. A partir de 2005 iniciou-se o sistema plantio direto, utilizando a rotação de culturas do milho (gramínea) com leguminosas (soja, feijão), onde a cultura antecessora à do experimento foi o milho.

Em outubro de 2011 foi instalada da a cultura do café. Para se realizar o preparo do solo foi utilizado sulcador na profundidade de 20 cm, com objetivo de delinear as linhas de plantio, espaçadas em 3,80 m entre linha. Em seguida, fez uso de subsolador na linha de plantio com objetivo de atingir 0,6 m de profundidade no sulco de plantio, para descompactar o solo. Posteriormente se fez uso do sulcador na profundidade de 40 cm a fim de retirar a terra do sulco, resultando assim, para formação do sulco.

Foram realizadas análises químicas do solo para verificar a necessidade de correção da área de plantio. Entretanto, não foi necessário realizar a calagem em área

total, apenas no sulco de plantio com o objetivo de aumentar o pH e fornecimento de cálcio e magnésio. A dose aplicada foi correspondente a 400 g m^{-1} linear de calcário dolomítico, o que corresponde a aproximadamente 1 Mg ha^{-1} , aplicada sobre o sulco de plantio para, posteriormente, ser incorporada junto com outros insumos.

Utilizou-se também 5 Mg ha^{-1} de composto orgânico distribuídos sobre o sulco de plantio. Quanto ao adubo, foi utilizada 1 Mg ha^{-1} de superfosfato simples, diretamente sobre o sulco de plantio, com o intuito de fornecer fósforo para a cultura. Posteriormente, utilizou-se o subsolador numa tentativa de misturar os insumos dentro do sulco e descompactar o solo no fundo do sulco e na projeção do rodado do trator. Realizou-se também duas passadas de grade niveladora cafeeira (1,2 m de largura de ataque e 0,1 m de profundidade) com o intuito de nivelar o solo e misturar os insumos na região do sulco. Esse procedimento foi realizado em outubro e novembro para que o transplante das mudas pudesse ser feito em dezembro.

As mudas de café foram transplantadas quando se encontravam com 2 a 3 pares de folhas em meados de dezembro de 2011 utilizando-se a cultivar Catuaí Vermelho IAC 144. O transplante foi o semi mecanizado, e as mudas foram distribuídas a cada 65 cm (espaçamento entre plantas) após o solo ser sulcando na profundidade de 20 cm, totalizando stand em torno de $4.049 \text{ plantas ha}^{-1}$. O experimento se iniciou em Julho de 2012, onde os tratamentos culturais e o manejo da lavoura seguiram as práticas agronômicas adotadas na propriedade.

Ao todo foram realizadas dez operações mecanizadas até a instalação da cultura utilizando o mesmo trator com bitola de 1,20 m. Em todas as operações, o trator se deslocou sobre a linha do cafeeiro sempre na mesma projeção dos rodados, local onde, após o desenvolvimento da cultura, será a projeção da copa da planta.

1.2.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em DIC (delineamento inteiramente casualizado), com parcelas subdivididas e sete repetições. Dois locais foram avaliados: área sob vegetação nativa de cerrado e área onde instalou-se a cultura do café, especificamente na linha de projeção dos rodados (Figura 2). Para avaliação da compactação do solo as parcelas foram subdivididas em seis profundidades: 0 a 0,1; 0,1 a 0,2; 0,2 a 0,3; 0,3 a 0,4; 0,4 a 0,5; 0,5 a 0,6 m. Em cada profundidade foram avaliadas a densidade do solo, a resistência mecânica do solo à penetração e a umidade do solo.



Figura 2. Unidade experimental na área onde instalou-se a cultura do café.

1.2.3 Avaliações

1.2.3.1 Determinação da densidade do solo

A densidade do solo foi obtida através da coleta de amostras indeformadas de solo com o trado tipo Uhland, utilizando-se cilindros metálicos com volume de 273,12 cm³. Foram amostrados três pontos por unidade experimental, totalizando três amostras por parcela em cada profundidade. O solo coletado nos cilindros foi acondicionado em papel alumínio e transportado em caixa de isopor até o laboratório onde foi colocado em estufa, por um período de 24 horas, com temperatura de 105 °C, até se obter massa constante, sendo, posteriormente, pesado em balança analítica com precisão de 0,001 g (EMBRAPA, 1997). Os resultados da densidade do solo foram expressos em kg.dm⁻³.

1.2.3.2 Determinação da resistência mecânica do solo à penetração

A resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) foi determinada em meados de Julho de 2012. Para isso, foram utilizados dois penetrômetros, o de Impacto, modelo IAA-Stolf e o digital, da marca FALKER®, modelo PLG1020, ambos utilizando a ponta cônica tipo 2 com 12,83 mm, tomando-se valores de 0,1 em 0,1 m, a partir da superfície do solo até a profundidade de 0,6 m (Figura 3). Os dados do penetômetro digital foram analisados no software PenetroLOG v.1.41.



Figura 3. Equipamentos utilizados na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração na linha de projeção do rodado; penetrômetro de impacto à esquerda e penetrômetro digital à direita.

Foram realizadas, aleatoriamente, três amostragens por unidade experimental, obtendo-se valores na profundidade de 0 a 0,6 m, em intervalos de 0,1 m. Os resultados obtidos com o penetrômetro de impacto, fornecidos em “ impactos.dm^{-1} ”, foram transformados em MPa, conforme Stolf (1991).

1.2.3.3 Determinação da umidade do solo

A determinação da umidade do solo foi realizada com as mesmas amostras indeformadas de solo e nas mesmas profundidades utilizadas para avaliação da densidade do solo, sendo coletadas no momento em que avaliou-se a resistência mecânica do solo à penetração à distância de 20 cm do local da avaliação com o

penetrômetro. O solo coletado nos cilindros foi acondicionado em papel alumínio e transportado em caixa de isopor até o laboratório para a obtenção da massa úmida utilizando balança analítica com precisão de 0,001 g. Após pesagem da massa úmida o solo foi colocado em estufa, por período de 24 horas, com temperatura de 105 °C até obter a massa constante, sendo, posteriormente, pesado na mesma balança analítica para a obtenção da massa seca e do valor do conteúdo de água no solo (EMBRAPA, 1997).

1.2.3.4 Análise estatística

Quando atendidas as pressuposições para normalidade dos erros, avaliada pelo teste de Jarque-Bera, e homocedasticidade da variância, avaliada pelo teste de Bartlett, os dados foram submetidos ao Teste t e à análise de variância (ANOVA). Quando significativas, as médias de cada profundidade foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, através do software estatístico Sisvar (Ferreira, 2007).

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Densidade do solo

Comparando a densidade do solo pelo teste t pode-se afirmar que existem diferenças significativas entre os dois locais (p-valor = 0,000). Porém, não houve

interação significativa entre os fatores local e profundidade. Os resultados mostraram que houve diferenças estatísticas entre as profundidades nos dois locais avaliados. Houve aumento na densidade do solo quando ele foi submetido ao cultivo do cafeeiro e que a maior compactação do solo foi identificada na camada de 0,1 a 0,3 m de profundidade e na linha de projeção dos rodados (Figura 4).

O aumento da densidade do solo onde foi implantado o cafeeiro pode ser explicado pelo uso de equipamentos agrícola para realizar os tratos culturais, fator que colabora para aumentar a densidade do solo e o tráfego com o solo úmido e também fato a se considerar e o processo contínuo de umedecimento e secagem (MANTOVANI, 1986).

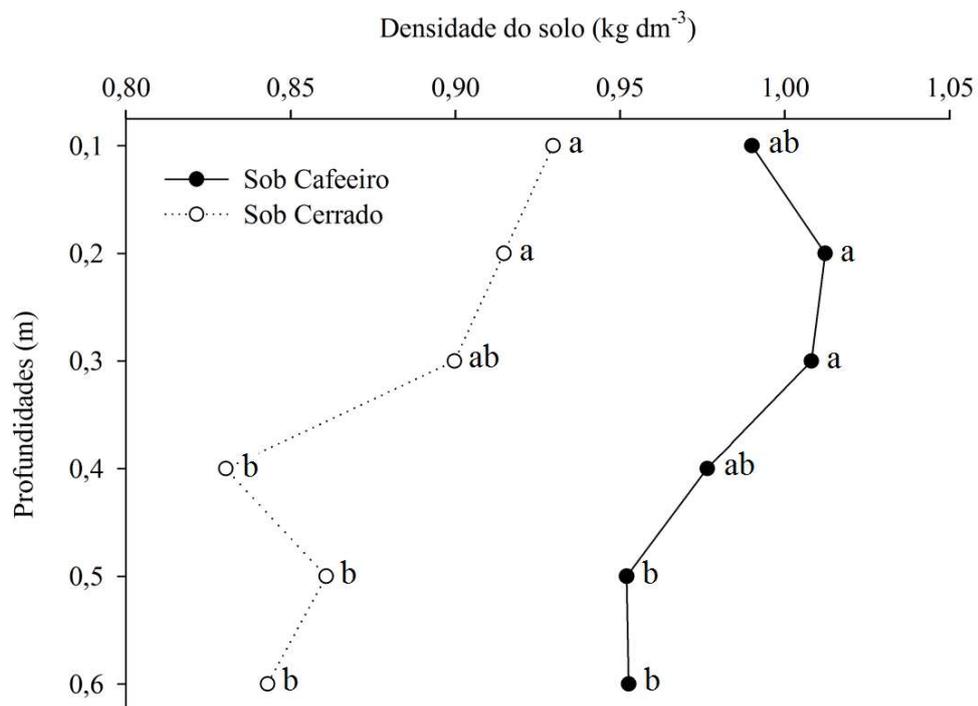


Figura 4. Densidade do LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico típico, sob diferentes usos.

Araujo et al. (2004), avaliando propriedades físicas de LATOSSOLO VERMELHO Distrófico cultivado e sob mata nativa de cerrado na região de Botucatu (SP), observaram que o solo cultivado apresentou valores superiores de densidade do

solo e menores valores de porosidade total e de macroporosidade comparado com o solo sob mata nativa de cerrado. Os mesmos autores ainda concluíram que a densidade do solo apresenta correlação positiva com resistência mecânica à penetração, ou seja, quanto maior a densidade, maior será a resistência à penetração do solo. Sanches et al. (1999), avaliando o impacto do cultivo de citros em propriedades químicas, densidade do solo e atividade microbiana de um ARGISSOLO VERMELHO AMARELO, observaram que, no cultivo de citrus houve aumento na densidade do solo, e alteração nas propriedades químicas.

Santos et al. (2009) ao avaliar atributos químicos e físicos de solo sob pastagens perenes de verão: capim quicuío, capim elefante e capim Tifton 68, comparando com solo sob floresta subtropical, também observaram que a densidade do solo e resistência à penetração apresentaram a mesma tendência não diferindo entre as pastagens e também sendo todas superiores aos valores encontrados em solo sob floresta subtropical.

Assis & Lanças (2005) avaliaram atributos físicos de um NITOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO sob diferentes manejos: mata nativa de cerrado, preparo convencional e plantio direto; eles observaram que, com o passar do tempo, a adoção do sistema de plantio direto proporcionou redução na densidade do solo nas camadas superficiais 0 – 5 cm e não causou alterações na densidade nas demais camadas. Isso também ocorreu com a resistência mecânica do solo à penetração, no qual, em sistema de plantio direto adotado por 12 anos, apresentou valores semelhantes aos encontrados em mata nativa de cerrado. Portanto, estes trabalhos demonstram que o aumento na densidade do solo é fator predominante para que ocorra aumento na resistência mecânica do solo à penetração e o presente estudo demonstra que existe o aumento da densidade do solo na linha de projeção dos rodados durante a instalação da

cultura do cafeeiro, lugar onde, posteriormente, será a projeção da copa do cafeeiro adulto.

1.3.2 Resistência mecânica do solo à penetração

Comparando a resistência mecânica do solo à penetração pelo Test t é possível afirmar que existem diferenças significativas entre os dois locais ($P \leq 0,01$). Porém, não houve interação significativa entre os fatores local e profundidade. Os resultados mostraram que houve diferenças entre as profundidades nos dois locais avaliados. Verificou-se que, em condições de solo cultivado com cafeeiro, houve acréscimo da RMSP, quando comparado ao solo em condições naturais (Figura 5). Os resultados apresentaram tendência similar ao ocorrido com a densidade do solo (Figura 4).

Este fato se agrava pelo motivo de que durante a condução da lavoura, os tratos culturais ocorrem sempre por meio de equipamentos agrícolas, o que contribui para o aumento da densidade do solo o que resulta em maior resistência mecânica do solo a penetração, comparativamente à condições naturais, isso pode se tornar fator limitante da cultura em função da maior resistência que as plantas terão para realizar o crescimento radicular.

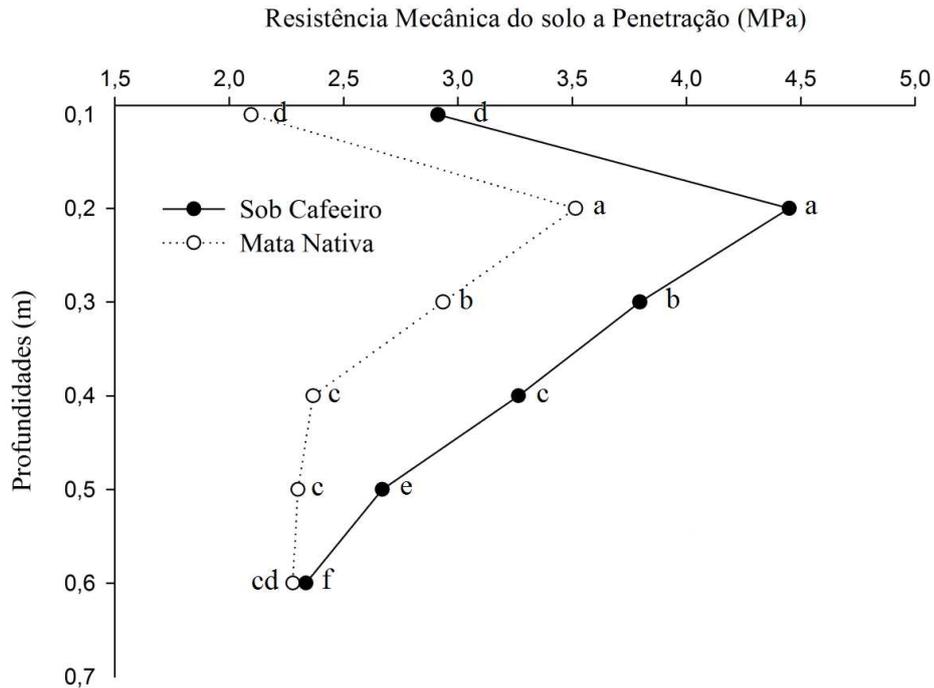


Figura 5. Resistência mecânica do solo à penetração (MPa), de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico típico em função do uso.

Pode-se observar que na camada de 0,2 a 0,3 m, em condições de cultivo do cafeeiro, houve valores de resistência mecânica do solo a penetração superiores a 3,5 MPa, o que segundo Camargo & Alleoni (2006), são valores que podem causar dificuldades para o desenvolvimento radicular em solos argilosos. Porém, devido à íntima relação da RMSD com a umidade do solo, o maior valor de resistência nessa camada pode estar mais associado a menor umidade do solo como também a maior densidade do solo.

Carmo et al. (2011), avaliando as propriedades físicas de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO cultivado com cafeeiro em três sistemas de manejo: lavoura com mecanização, lavoura sem mecanização e lavoura sob sistema adensado, observaram que nas condições onde o sistema de manejo era mecanizado, houve alterações físicas na posição da linha de tráfego, que foram constatadas pelo aumento da

densidade do solo e resistência do solo à penetração e redução do volume total de poros, quatro anos após o plantio.

Beutler et al. (2001), avaliando a resistência mecânica do solo à penetração e a permeabilidade de LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados, observaram que, independentemente da profundidade, os maiores valores de RMSP foram observados no plantio direto. No sistema convencional, usando arado de discos no cultivo em sucessão de milho e feijão, os maiores valores de RMSP ocorreram na profundidade de 0,15 a 0,3 m. Estes mesmo autores ainda observaram que todos os sistemas manejados apresentaram valores de permeabilidade à água bem inferior àqueles observados sob cerrado nativo.

1.3.3 Umidade do solo

Comparando a umidade pelo test t é possível afirmar que existem diferenças significativas entre os dois locais (p-valor = 0,002). Porém, não houve interação significativa entre os fatores local e profundidade. Os resultados mostraram que houve diferenças estatísticas entre as profundidades nos dois locais avaliados. A umidade do solo foi superior no cultivo com cafeeiro (Figura 6), fato este que pode ser devido à baixa ocorrência de vegetação da área, o que diminui o consumo de água do solo, aliado ao fato da área com cafeeiro ter maior densidade do solo pode ter contribuído para uma maior retenção de água pela redução das trocas gasosas.

Ainda na figura 6 pode-se observar grande relação com os resultados ocorrido na RMSP (Figura 5), porém de forma inversamente proporcional. Esse fato é explicado

pela influencia da umidade nas propriedades físicas do solo, coesão e adesão, a qual a menor umidade tende a aumentar a coesão entre as partículas do solo, aumentando assim a sua resistência a penetração.

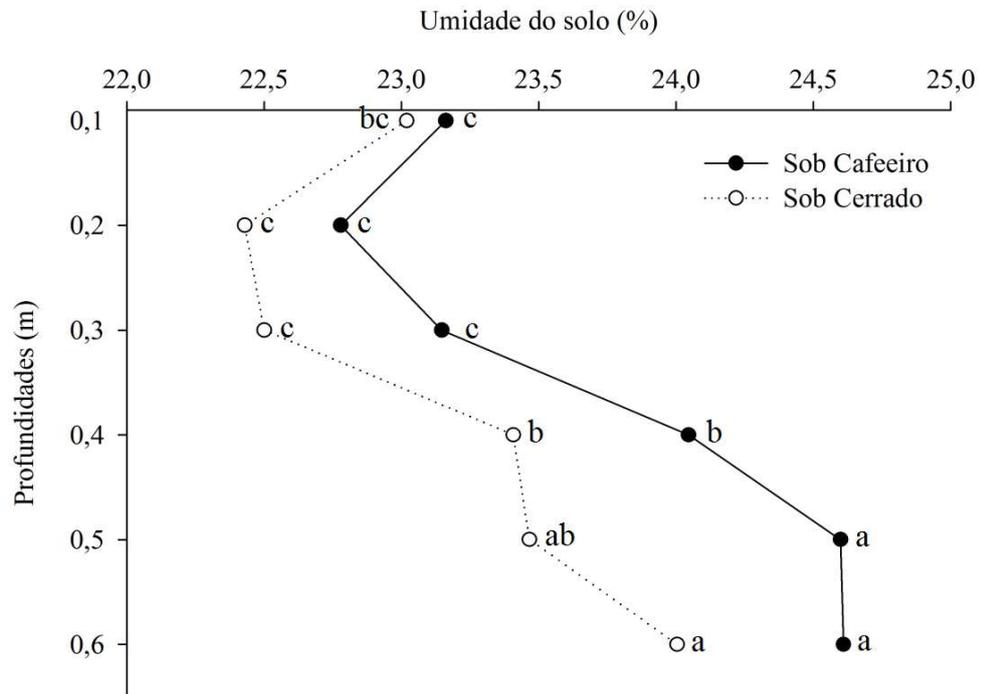


Figura 6. Umidade de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico típico (%), sobre diferentes usos.

Tormena et al. (2004), avaliando as propriedades físicas de LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO em diferentes manejos, puderam observar em área de plantio direto um aumento na densidade do solo e na RMSF nas camadas superficiais com a redução da sua umidade. Os autores atribuem este resultado a maior coesão entre as partículas sólidas. Resultados semelhantes também foram encontrados por Oliveira et al. (2007), que avaliaram a dinâmica da resistência mecânica do solo à penetração em um LATOSSOLO VERMELHO. eles observaram interação direta entre densidade, umidade e resistência mecânica do solo à penetração do solo e que o Latossolo utilizado no estudo apresentou algum tipo de restrição ao melhor desenvolvimento das culturas, quando se encontrava em baixas condições de umidade, em áreas sob manejo. Rosolem

et al. (1999), avaliando o crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração, observou que a menor umidade do solo causa maior aumento na resistência à penetração em solos com mais de 40% de argila.

1.4 CONCLUSÕES

A densidade e a RMSP, na linha de projeção dos rodados das máquinas e implementos utilizados para instalação do cafeeiro apresentaram valores superiores aos encontrados na área sob vegetação nativa de cerrado.

Após a instalação do cafeeiro foi identificada, com base na densidade do solo, uma camada compactada sob a linha de projeção dos rodados nas camadas superficiais, provavelmente ocasionada pelo intenso tráfego de máquina e implementos durante a instalação da cultura e que possivelmente ocasionará em perdas econômicas quando essa camada estiver sob a projeção da copa do cafeeiro.

Tanto para a densidade do solo, quanto para a RMSP, há redução de valores com o aumento da profundidade.

A RMSP é dependente da umidade do solo, apresentando relação inversa.

A camada superficial (0,0 a 0,1 m) apresenta baixa umidade e proporciona uma baixa RMSP.

A RMSP na camada abaixo de 0,5 m, na área cultivada, apresentou valores semelhantes aos da área sob vegetação natural de cerrado, o que sugere que apesar do alto tráfego de máquinas e implementos, esta camada pode servir como referência para avaliação de uma possível compactação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **R. Bras. Ci. Solo.** 28:337-345, 2004.

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho Distroférrico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **R. Bras. Ci. Solo**, 29:515-522, 2005.

BEUTLER, A. N. et al. Resistência à penetração e permeabilidade de latossolo vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **R. Bras. Ci. Solo.** 25:167-177, 2001.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Reconhecimento e medida da compactação do solo.** 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/C6/Index.htm>. Acesso em: 23/10/2012.

CANARACHE, A. PENETR - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil Till. Res.**, Amsterdam, v.16, n.1, p.51-70, 1990.

CARMO, D. L. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cafeeiro em três sistemas de manejos no sul de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, 35:991-998, 2011.

DA ROS, C. O. et al. Manejo do solo a partir de campo nativo: Efeito sobre a forma de estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **R. Bras. Ci. Solo**, 21:241- 247, 1997.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise do solo**. EMBRAPA/CNPQ. 1997, 212p.

EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006.

FERREIRA, D. F. **Sistema de análises de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 2007. (SISVAR 4. 1. pacote computacional).

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Adv. Soil Sci.**, 1:277-294, 1985.

MANTOVANI, E. C. **Compactação do solo**. CNPMS-EMBRAPA, Sete Lagoas – Minas Gerais. 1986.

OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; MELLO, C. R.; Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo vermelho da microrregião de Goiânia, GO. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.11, n.3, p.265-270, 2007.

ROSOLEM, C. A. et al. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesq. Agropec. bras.**, Brasília, v.34, n.5, p.821-828, 1999.

SANCHES, A. C. et al. Impacto do cultivo de citros em propriedades químicas, densidade do solo e atividade microbiana de um podzólico vermelho-amarelo. **R. Bras. Ci. Solo**. 23: 91-99, 1999.

SANCHEZ, P. A. **Suelos del trópico - características y manejo**. San José, Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1981. 645p.

SANTOS, H. P. et al. Atributos químicos e físicos de solo sob pastagens perenes de verão. **Bragantia**, Campinas, v.68, n. 4, p. 1037-1046, 2009.

SENE, M. et al. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.49, n.2, p.422-427, 1985.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 1991. 15:229-235.

TORMENA, C. A. et al. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num latossolo vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:1023-1031, 2004.

2 Efeitos da subsolagem na cultura de café recém instalado

Eduardo William Lopes¹, Alberto Carvalho Filho²

RESUMO - Operações mecanizadas na instalação de lavouras cafeeiras são restritas sobre a linha de plantio e são limitadas a pequena faixa que colabora para que ocorra uma compactação do solo sob a linha de projeção do rodado em lavoura cafeeira. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da subsolagem na compactação do solo na linha de projeção do rodado. Conduziu-se o experimento em delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos e sete repetições. Os tratamentos foram: área sem subsolagem após a implantação do cafeeiro e com subsolagem após a implantação. Para avaliação do experimento as parcelas foram subdivididas em linha de plantio do cafeeiro, linha de projeção do rodado e entre linha do cafeeiro com seis profundidades de avaliação, 0 a 0,1; 0,1 a 0,2; 0,2 a 0,3; 0,3 a 0,4; 0,4 a 0,5; 0,5 a 0,6 metros. Foram avaliadas a umidade do solo e a resistência mecânica do solo à penetração. Houve aumento na resistência mecânica do solo à penetração nas posições entre linha do cafeeiro e linha de projeção do rodado do trator. Após a subsolagem houve a redução da resistência mecânica do solo à penetração, principalmente na camada compactada de 0,2 a 0,3 m de profundidade.

Palavras-chave: Coffea arabica L.; resistência mecânica do solo à penetração; umidade do solo, subsolador.

¹Programa de Pós-graduação em Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, Rodovia MG 230, km 7, caixa postal 22, Rio Paranaíba, MG, Brasil. E-mail: zumwil@hotmail.com.

*Autor para correspondência.

²Instituto de Ciência Agrárias, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, MG, Brasil.

2 Subsoiling effects of the newly installed coffee culture

Eduardo William Lopes¹, Alberto Carvalho Filho²

ABSTRACT - Mechanized operations in coffee plantations are restricted to the line between coffee and are restricted to a small range which contributes to the occurrence of a soil compaction due to the high traffic of machines. Therefore, the objective of the study is to evaluate the subsoiling as strategic method to reduce soil compaction. We conducted an experiment that was conducted in CRD (completely randomized design) with seven replicates. Were mounted split plot with two soil management Conventional (C), subsoiled (S). Was made a division into three sub-treatments: Among the coffee line (EL), wheeled tractor (RT) and Line coffee (L) and six depths assessment, from 0 to 0.1, 0.1 to 0.2 ; 0.2 to 0.3, 0.3 to 0.4, 0.4 to 0.5; 0,5 to 0,6 meters, were evaluated moisture and soil resistance to penetration. There was an increase in the mechanical resistance to penetration in positions between line and wheeled tractor. After subsoiling decreased mechanical resistance to penetration mainly in layers 0,3 to 0,4 meters deep. After the subsoiling increased soil moisture in the layer from 0.1 to 0.2 meters deep.

Keyword: Coffea arabica L.; compacted layer; subsoiling; traffic control.

¹Programa de Pós-graduação em Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, Rodovia MG 230, km 7, caixa postal 22, Rio Paranaíba, MG, Brasil. E-mail:zumwil@hotmail.com.

*Autor para correspondência.

²Instituto de Ciência Agrárias, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, MG, Brasil.

2.1 INTRODUÇÃO

O Alto Paranaíba se destaca como região de grande aptidão agrícola, por apresentar áreas de relevos planos a suavemente ondulados, o que favorece o uso de máquinas agrícolas para realizar os tratos culturais desenvolvidos nas culturas. A utilização intensiva de equipamentos agrícolas em todas as operações rurais tem promovido aumento da compactação, principalmente na zona de exploração do sistema radicular da planta (ASSIS et al., 2005). A principal razão desse fenômeno é a repetitividade das operações realizadas ao longo dos anos (OLIVEIRA, 2003). Autores sugerem que a compactação do solo seja identificada, tanto por meio de atributos físicos, tais como: densidade do solo, distribuição de poros por tamanho e estabilidade de agregados em água, ou através da resistência mecânica do solo à penetração.

O tráfego de máquinas durante as operações de tratos culturais como: preparo de solo, semeadura, plantio ou transplântio e colheita são os principais fatores observados para justificar a compactação do solo (TORMENA & ROLOFF, 1996; FLOWERS & LAL, 1998; DIAS JUNIOR et al., 1999; SILVA et al., 2000; ASSIS et al., 2005). O comportamento do solo, conforme a aplicação de carga na superfície depende das características do rodado, do número de operações realizadas e das propriedades físicas do solo (MANTOVANI, 1987).

Operações mecanizadas nas lavouras cafeeiras em particular, restringem as faixas entre a linha de plantio e sobre ela durante a implantação do cafeeiro, o que faz com que os equipamentos agrícolas transitem sempre no mesmo local constantemente, contribuindo para o aumento da compactação do solo (CARVALHO FILHO et al., 2004). Este espaço, próximo à saia do cafeeiro, é onde se concentra a maior parte das

raízes ativas e, quando compactado, prejudica o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente a nutrição, como aumento da fixação de fósforo (NOVAIS et al., 2007) e a indisponibilidade de água para a cultura (FERNANDES et al., 2012). Da mesma forma, em Citrus, a compactação é o problema de natureza física de maior ocorrência nos pomares, devido ao elevado tráfego de máquinas e implementos agrícolas (MAZZA et al., 1994).

Apesar de a resistência à penetração ser afetada pela textura, densidade do solo e conteúdo de água, Camargo (2006) sugere que valores acima de 2,5 MPa começam a restringir o pleno crescimento das raízes das plantas. Outros estudos, consideram críticos os valores que variam de 6,0 a 7,0 MPa para solos arenosos e em torno de 2,5 MPa para solos argilosos.

Para se realizar uma subsolagem o solo não pode estar úmido, o ponto ideal para se realizar a subsolagem do solo é abaixo da friabilidade, para que o efeito da subsolagem seja maior e consiga desagregar a camada compactada do solo, reduzindo assim a RMSP em todo o perfil.

Fernandes et al. (2012), avaliando a utilização da subsolagem na redução da compactação do solo para produção de café no Cerrado mineiro, observaram que, após três safras, a subsolagem promoveu aumento da produtividade com qualquer número de hastes, (1, 2, 3 ou 4) de 26 a 65% em relação à testemunha. Isso evidencia a importância de eliminar camadas compactadas que podem vir a prejudicar o desenvolvimento das culturas.

Gontijo et al. (2008), avaliando atributos físico-hídricos de um LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO típico de Cerrado em diferentes posições de amostragem na lavoura cafeeira, verificaram que, na projeção da copa do cafeeiro, houve valores semelhantes à condição de mata nativa de cerrado para o parâmetro densidade do solo.

O mesmo não ocorreu com a linha de projeção do rodado, que demonstrou resultados inferiores para umidade do solo e maiores densidades neste local devido ao maior trânsito de máquinas. Magalhães et al. (2004), avaliando a espacialidade do índice de cone em função do local amostrado em uma lavoura cafeeira, observou que os valores mais elevados são encontrados junto à linha de projeção do rodado do trator, onde são exercidas as maiores forças resultando numa maior resistência à penetração do solo.

Com o fim de solucionar o problema da compactação pode ser empregada a técnica da subsolagem, revolvendo camadas adensadas, de forma a facilitar o desenvolvimento das raízes do cafeeiro e normalizar a penetração de água e o arejamento do solo (FERNANDES et al., 2012). Os subsoladores são equipamentos indicados para realizar a descompactação de regiões da subsuperfície do solo que estejam adensadas ou compactadas. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da subsolagem após a implantação do cafeeiro como método estratégico para reduzir a compactação do solo na linha de projeção do rodado do trator, posição esta onde estará a projeção da copa do cafeeiro adulto.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em lavouras cafeeiras da Fazenda São Francisco, localizada na cidade de Rio Paranaíba-MG. A localização geográfica da área é coordenadas 19° 14' latitude sul e 46° 21' longitude oeste e altitude de 900 metros na Região do Alto Paranaíba, onde o clima regional é do tipo Cwb, de acordo com a classificação de Köppen, definindo-se por temperatura média mínima de 18° C e, média

anual igual ou inferior a 22° C. É caracterizado pela presença de duas estações bem definidas, uma fria/seca, abrangendo os meses de abril a setembro e outra quente/chuvosa, que se estende de outubro a março. A média da precipitação pluviométrica é em torno de 1600 mm ano⁻¹. O solo estudado foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico típico com textura argilosa (EMBRAPA, 2006). A área utilizada para o presente trabalho foi a mesma descrita no capítulo I.

2.2.1 Descrição da área experimental

Em 2004, na área experimental, foi eliminada uma lavoura de café no local da área experimental. A partir de 2005 iniciou-se o sistema plantio direto, utilizando a rotação de culturas do milho (gramínea) com leguminosas (soja, feijão), onde a cultura antecessora à do experimento foi o milho. Em outubro de 2011, foi preparada a instalação da cultura do café. Para se realizar o preparo da área, foi utilizado sulcador na profundidade de 20 cm, com objetivo de delinear a linha de plantio, espaçadas em 3,80 m entre linha. Em seguida, fez-se uso do subsolador na linha de plantio com objetivo de atingir 0,6 m de profundidade no sulco de plantio, para descompactar o solo. Posteriormente, se fez uso do sulcador regulado para a profundidade de 40 cm a fim de retirar a terra do sulco.

Foram realizadas análises químicas do solo para verificar a necessidade de correção da área de plantio. Entretanto, não foi necessário a calagem em área total, apenas no sulco de plantio, com o objetivo de aumentar o pH e fornecimento de cálcio e

magnésio. A dose aplicada foi correspondente a 400 g m^{-1} linear de calcário dolomítico, o que corresponde a aproximadamente 1 Mg ha^{-1} , aplicada sobre o sulco de plantio para, posteriormente, ser incorporada junto com outros insumos.

Utilizou-se também 5 Mg ha^{-1} de composto orgânico distribuídos sobre o sulco de plantio. Quanto ao adubo, foi utilizada 1 Mg ha^{-1} de superfosfato simples, diretamente sobre o sulco de plantio, com o intuito de fornecer fósforo para a cultura. Posteriormente, utilizou-se o subsolador numa tentativa de misturar os insumos dentro do sulco e para descompactação do solo no fundo do sulco e na projeção do rodado do trator. Após estas operações, foram realizadas duas passadas de grade niveladora cafeeira (1,2 m de largura de ataque e 0,1 m de profundidade) com o intuito de nivelar o solo e misturar os insumos na região do sulco. Esse procedimento de preparo do solo foi realizado em outubro e novembro para que o transplante das mudas pudesse ser feito em dezembro.

As mudas de café foram transplantadas quando se encontravam com 2 a 3 pares de folhas em meados de dezembro de 2011 utilizando-se a cultivar Catuaí Vermelho IAC 144. O plantio foi semi mecanizado, com o trator passando sobre a linha de plantio, onde as mudas foram distribuídas a cada 65 cm (espaçamento entre plantas) após o solo ser sulcando na profundidade de 20 cm, totalizando stand em torno de $4.049 \text{ plantas ha}^{-1}$. O experimento se iniciou em Julho de 2012, onde os tratos culturais e o manejo da lavoura seguiram as práticas agronômicas adotadas na propriedade.

Ao todo foram realizadas dez operações mecanizadas até a instalação da cultura utilizando o mesmo trator com bitola de 1,20 m. Em todas as operações o trator se deslocou sobre a linha do cafeeiro sempre na mesma linha de projeção dos rodados, local este onde, após o desenvolvimento da cultura será a projeção da copa da planta.

2.2.1 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em DIC (delineamento inteiramente casualizado), com dois tratamentos e sete repetições. Os tratamentos foram: manejo adotado na fazenda sem a realização da subsolagem após a implantação do cafeeiro (controle) e com subsolagem realizada somente nas linhas de projeção do rodado do trator, após a implantação do cafeeiro (Figura 7). O tratamento controle, representado por 10 passagens de equipamentos (duas com o sulcador, duas com o subsolador, duas com grade pequena, uma com a aplicação de calcário, uma aplicando composto orgânico, uma aplicando fósforo e uma plantando) sobre a linha de plantio do cafeeiro, com a linha de projeção do rodado da máquina a cerca de 0.6 m de distância da linha do cafeeiro. Para avaliação do experimento, as parcelas foram subdivididas com as avaliações sendo realizadas na linha de plantio do cafeeiro, linha de projeção do rodado, entrelinha do cafeeiro em seis profundidades de avaliação, 0 a 0,1; 0,1 a 0,2; 0,2 a 0,3; 0,3 a 0,4; 0,4 a 0,5; 0,5 a 0,6 m. Foram avaliadas umidade do solo e resistência mecânica do solo à penetração.



Figura 7. Realização da subsolagem nas linhas de projeção dos rodados do trator após a implantação do cafeeiro.

As mudas de café foram transplantadas quando se encontravam com 2 a 3 pares de folhas em meados de dezembro de 2011 utilizando-se a cultivar Catuaí Vermelho IAC 144. A subsolagem após o transplântio das mudas do cafeeiro foi realizada em 22/08/2012. Para isso, foram retiradas as 3 hastes da frente, restando somente as 2 hastes traseiras espaçadas a 1,2 m de distância, sendo o subsolador regulado para atingir a profundidade de 0,4 m e deslocar-se sobre a linha de projeção do rodado do trator. A profundidade de trabalho do subsolador foi definida preliminarmente à instalação do experimento, na área controle.

As parcelas foram subdivididas em 3 locais de avaliação: meio da rua do cafeeiro, considerando-se somente a entrelinha; linha de projeção do rodado do trator, localizada a 0,6 m de distância de cada lado da linha do cafeeiro, considerando a bitola do trator de 1,20 m utilizada pela fazenda e entre plantas, e avaliando apenas a linha da cultura. Dentro de cada local foram analisados 3 pontos de 0,1 em 0,1 m até a

profundidade de 0,6 m para serem analisadas umidade do solo e resistência mecânica do solo à penetração.

Cada parcela é representada por três linhas de plantas, onde as duas linhas da extremidade (L_1 , e L_3) foram usadas como bordaduras e a restante (L_2) foi usada como área útil do experimento. Cada parcela tinha o comprimento de 20 m, espaçadas a 5 m entre uma e outra para a realização de manobras e regulagens.

2.2.2 Avaliações

2.2.2.1 Resistência mecânica do solo à penetração

A resistência mecânica do solo à penetração foi determinada em dois momentos, sendo o primeiro em meados de Julho de 2012, antes de realizar a subsolagem e o segundo após a aplicação deste tratamento e um mês após a passada do subsolador. O subsolador foi regulado a atingir a profundidade em torno de 0,4 m, exatamente na linha de projeção do rodado do trator, onde foi constatada área compactada segundo os dados coletados da densidade do solo, resistência mecânica do solo à penetração e também umidade do solo para validar as duas anteriores.

Para verificar a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), foram utilizados dois Penetrômetros, o penetrômetro de Impacto, modelo IAA-Stolf, cujos resultados são fornecidos em “impactos dm^{-1} ” e transformados em MPa, metodologia descrita por Stolf (1991), e penetrômetro digital, da marca FALKER®, modelo

PLG1020, tomando-se valores de 0,1 em 0,1 m, a partir da superfície do solo até a profundidade de 0,6 m, ambos utilizando a ponta cônica tipo 2 com 12,83 mm. Os dados do penetômetro digital foram analisados no software PenetroLOG v.1.41. Através do uso do penetrômetro, é possível relacionar a profundidade da camada resistente, com possível compactação e, a partir daí, optar pelo equipamento mais adequado de descompactação, se for o caso.

2.2.2.2 Umidade do solo

A determinação da umidade do solo foi realizada com amostras deformadas de solo coletadas com trado tipo sonda e nas mesmas profundidades avaliadas pelos penetrômetros, sendo coletadas no momento em que avaliou-se a resistência mecânica do solo à penetração à distância de 0,2 m do local da avaliação com os penetrômetros. O solo amostrado foi acondicionado em papel alumínio e transportado em caixa de isopor até ao laboratório para a obtenção da massa úmida utilizando uma balança analítica com precisão de 0,001 g. Após pesagem da massa úmida, o solo foi colocado em estufa, por um período de 24 horas, com temperatura de 105 °C até se obter a massa constante. Posteriormente, foi pesado para a obtenção da massa seca e determinação do conteúdo de água no solo (EMBRAPA, 1997).

2.2.2.3 Análise estatística

Quando atendidas as pressuposições para normalidade dos erros, avaliada pelo teste de Jarque-Bera, e homocedasticidade da variância, avaliada pelo teste de Bartlett, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Os graus de liberdade dos fatores em estudo foram desdobrados. As médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, através do software estatístico Sisvar (Ferreira, 2007), para a comparação das médias entre os locais e as profundidades.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Resistência mecânica do solo à penetração

A RMSP é um parâmetro para avaliação da compactação do solo. Para os dados do penetrômetro de impacto através da análise de variância e desdobramento dos fatores, o efeito dos tratamentos mostrou-se dependente da profundidade avaliada ao nível de probabilidade de 1% e não variou em função do local dentro cafeeiro onde foi avaliada a RMSP ($P > 0,05$). A diferença da RMSP em função da profundidade avaliada foi significativa entre os tratamentos controle e subsolado (Tabela 2). É possível observar que houve uma maior RMSP apenas na camada de 0,2 a 0,3 m no tratamento controle (não subsolado), quando comparado ao tratamento subsolado, sugerindo haver

maior compactação devido ao número de operações mecanizadas nesta área, e que a subsolagem realizada teve efeito positivo na descompactação do solo.

Verifica-se também que no tratamento controle, a camada superficial, acima dos 0,2 m apresenta menor RMSP, quando comparada com a camada entre 0,2 e 0,3 m. Provavelmente devido ao grande revolvimento ocorrido. Ainda pode-se deduzir que os efeitos da carga dos equipamentos agrícolas utilizados afetaram a RMSP até a profundidade de 0,5 m e que este parâmetro é diluído com o aumento da profundidade do solo, como sugere Gamero & Benez (1990).

Tabela 2. Desdobramento da interação manejo do solo e profundidade do solo para a resistência mecânica do solo à penetração avaliada com penetrômetro de impacto.

Profundidade ----- m -----	Manejo do solo		Fc
	Controle	Subsolado	
	----- MPa -----		
0,0 – 0,1	1,65 bcA	1,56 abA	0,75 ^{ns}
0,1 – 0,2	1,55 cA	1,65 abA	1,28 ^{ns}
0,2 – 0,3	1,94 aA	1,56 bB	12,63 ^{**}
0,3 – 0,4	1,86 abA	1,78 abA	0,68 ^{ns}
0,4 – 0,5	1,84 abcA	1,85 aA	0,02 ^{ns}
0,5 – 0,6	1,57 cA	1,71 abA	2,11 ^{ns}
Fc	5,47 ^{**}	2,67 [*]	

As médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna e letras iguais maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$). Fc: resultado do Teste F.

O efeito dos locais avaliados na área do cafeeiro (linha do cafeeiro, linha de projeção do rodado e entre linha do cafeeiro) também se mostrou dependente da profundidade do solo pela análise de variância ($P \leq 0,01$). Para os locais avaliados pode-se observar na linha do cafeeiro menores valores da RMSP quando comparado com os demais locais dentro de cada profundidade avaliada (Tabela 3). A baixa RMSP encontrada na linha é explicada pela formação do sulco de plantio, a qual foi aberta com

duas mobilizações do sulcador mais uma subsolagem até a profundidade de 0,6 m para descompactação do fundo do sulco de plantio, recebendo matéria e calcário, o que pode ter melhorado a estruturação do solo. Já quando observa-se os dados na entre linha e na linha de projeção do rodado do trator, verifica-se uma mesma tendência, com exceção da primeira camada, onde os valores na entre linha foram maiores. Na entre linha do cafeeiro as menores RMSP foram as últimas camadas do solo avaliadas, o que sugere que nessas camadas o solo ainda se encontra sem alteração da sua estrutura e, portanto, com ausência de compactação.

Na linha de projeção do rodado a camada mais superficial (0,0 a 0,1 m) apresentou baixa RMSP, comparando à camada situada entre 0,1 e 0,4 m de profundidade, provavelmente em função da vegetação espontânea desenvolvida entre uma linha e outra de plantio. Entretanto, quando compara-se os valores da linha de projeção do rodado com a linha de plantio, observa-se maiores valores, em todas as profundidades para a linha de projeção do rodado, região onde, futuramente, estará desenvolvida a projeção da copa do cafeeiro e onde as raízes irão se desenvolver, e se houver restrição ao crescimento das raízes a absorção de água e nutrientes será afetada, podendo acarretar em baixas produtividades da lavoura.

Para os dados do penetrômetro digital, o efeito dos tratamentos não se mostrou dependente do local avaliado ($P > 0,05$) e nem da profundidade onde foi avaliado ($P > 0,05$), sendo possível a comparação apenas pela média dos tratamentos (Tabela 4), onde a área subsolada apresentou menor RMSP.

Tabela 3. Desdobramento da interação local na área do cafeeiro e profundidade do solo para a resistência mecânica do solo à penetração avaliada com penetrômetro de impacto.

Profundidade ----- m -----	Local na área do cafeeiro			Fc
	Linha	Rodado	Entre Linha	
	----- MPa -----			
0,0 – 0,1	1,22 bC	1,64 bB	1,96 bcA	18,57**
0,1 – 0,2	0,31 dB	2,14 aA	2,36 aA	194,71**
0,2 – 0,3	0,83 cB	2,13 aA	2,29 abaA	73,28**
0,3 – 0,4	1,22 bB	2,05 aA	2,19 abcA	36,48**
0,4 – 0,5	1,65 aB	1,98 abA	1,90 cdAB	3,94*
0,5 – 0,6	1,48 abB	1,84 abA	1,61 dAB	4,34*
Fc	33,76**	4,98**	10,88**	

As médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna e letras iguais maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$). Fc: resultado do Teste F.

Tabela 4. Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) em diferentes manejos avaliados com o penetrômetro digital.

Tratamento	RMSP
	----- MPa -----
Controle	1,39 a
Subsolado	1,30 b
Fc	6,49*

As médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *: significativo ($P \leq 0,05$). Fc: resultado do Teste F.

O efeito dos locais avaliados pelo penetrômetro digital na área do cafeeiro também mostrou dependência com a profundidade do solo pela análise de variância ($P \leq 0,01$). As últimas camadas avaliadas pelo penetrômetro digital (0,4 a 0,6 m) não foram observadas diferenças significativas entre os locais na área do cafeeiro avaliados, concordando com as afirmações de Gamero e Benez (1990) (Tabela 5). Pelo fato do efeito do tratamento não ser dependente do local avaliado, sugere-se que as alterações provocadas acima da profundidade de 0,4 m são decorrentes do efeito tridimensional do subsolador, atingindo os três locais avaliados, e que foi capaz de reduzir a RMSP acima da profundidade que foi regulado o equipamento.

Na linha de projeção do rodado, com exceção da camada mais superficial (0,0 a 0,1 m), a média da RMSP das camadas subsuperficiais foram iguais estatisticamente,

inclusive comparadas com a última camada avaliada, o que sugere que nessas camadas o solo ainda se encontra sem alteração da sua estrutura e, portanto, com ausência de compactação. Com exceção da camada de 0,4 a 0,6 m de profundidade, a baixa RMSF encontrada na linha do cafeeiro é explicada pela formação do sulco de plantio, a qual foi aberta com duas mobilizações do sulcador.

Tabela 5. Desdobramento da interação local na área do cafeeiro e profundidade do solo para a resistência mecânica do solo à penetração avaliada com penetrômetro digital.

Profundidade ----- m -----	Local na área do cafeeiro			Fc
	Linha	Rodado	Entre Linha	
	----- MPa -----			
0,0 – 0,1	0,28 dC	0,65 bB	0,96 cA	18,92**
0,1 – 0,2	0,65 cdC	1,66 aB	1,92 aA	85,79**
0,2 – 0,3	0,59 cB	1,68 aA	1,77 abA	60,92**
0,3 – 0,4	1,08 bB	1,72 aA	1,81 abA	26,64**
0,4 – 0,5	1,47 aA	1,69 aA	1,67 abA	2,52 ^{ns}
0,5 – 0,6	1,41 aA	1,62 aA	1,57 bA	1,98 ^{ns}
Fc	37,98**	29,25**	19,86**	

As médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna e letras iguais maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: não significativo ($P > 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$). Fc: resultado do Teste F.

Em função do preparo de solo para implantação da lavoura cafeeira ser realizado somente na linha de plantio, ocorre o não revolvimento do solo na entre linha. Fato este que pode colaborar para que a resistência do solo à penetração seja maior neste local que nos demais. Outra hipótese que pode ter colaborado para que neste local ocorresse maior resistência mecânica do solo à penetração é o fato de que o rodado do trator trafegou no mesmo local diversas vezes durante a implantação do cafeeiro. Segundo Mantovani (1987), os fatores que colaboram para que ocorra a compactação do solo são diversos, como o teor de argila e a mineralogia das argilas, além da pressão gerada na subsuperfície do solo pelos pneus do trator, a qual é chamada de contato, que é a carga

total aplicada à superfície do solo, distribuída na área de contato com o mesmo; as pressões realizadas pelo contato dos pneus podem ser distribuídas a depender do diâmetro e da superfície de contato com o solo, quanto menor o contato maior será a pressão e quanto maior o contato, menor a pressão.

Mantovani (1987) também demonstra que a maior força aplicada sobre o solo pela máquina ocorre na faixa de 0,1 a 0,2 m de profundidade causando pressões de aproximadamente 1 kgf cm^{-2} podendo ser o causador da compactação do solo.

2.3.2 Umidade do solo

Através da análise de variância e desdobramento dos fatores, o efeito dos tratamentos sobre a umidade do solo mostrou-se dependente do local na área do cafeeiro e da profundidade do solo avaliada ao nível de probabilidade de 1%. A diferença da umidade do solo em função do manejo do solo e da profundidade foi significativa ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 6).

Comparando os dados de umidade do solo na Tabela 6 com os dados da RMSP na Tabela 2, é possível observar que o manejo subsolado reduziu a RMSP na camada de 0,2 a 0,3 m de profundidade, enquanto que, a umidade do solo não diferenciou estatisticamente do manejo controle. Com isso, é possível afirmar que o manejo do solo com subsolagem após a implantação do cafeeiro reduziu a compactação do solo na camada de 0,2 a 0,3 m de profundidade, em detrimento da umidade do solo.

Tabela 6. Desdobramento da interação manejo do solo e profundidade para a umidade do solo.

Profundidade ----- m -----	Manejo do solo		Fc
	Controle	Subsolado	
	----- % -----		
0,0 – 0,1	26,86 abA	27,03 aA	0,34 ^{ns}
0,1 – 0,2	25,75 cA	26,18 bA	2,81 ^{ns}
0,2 – 0,3	26,52 bcA	26,19 bA	1,18 ^{ns}
0,3 – 0,4	26,82 abA	26,75 abA	0,06 ^{ns}
0,4 – 0,5	27,46 aA	26,49 abB	12,21 ^{**}
0,5 – 0,6	26,93 abA	26,42 abA	3,47 ^{ns}
Fc	9,09 ^{**}	2,83 [*]	

As médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna e letras iguais maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$). Fc: resultado do Teste F.

Comparando os dados de umidade do solo na Tabela 6 com os dados da RMSF na Tabela 2, é possível observar que o manejo subsolado reduziu a RMSF na camada de 0,2 a 0,3 m de profundidade, enquanto que, a umidade do solo não diferenciou estatisticamente do manejo controle. Com isso, é possível afirmar que o manejo do solo com subsolagem após a implantação do cafeeiro reduziu a compactação do solo na camada de 0,2 a 0,3 m de profundidade, em detrimento da umidade do solo.

Pode-se verificar também que para as camadas superficiais, não houve diferença entre as profundidades em função dos tratamentos, havendo diferença para a profundidade de 0,4 a 0,5 m, fato este que pode ser justificado pela regulação do subsolador, onde sua profundidade para o manejo foi justamente até o ponto de 0,40 m (Tabela 6). Pelo fato da criação de uma maior porosidade nesta região do solo e criação de pequeno canal, pode ter aumentando a superfície de contato com o ar, o que pode ter favorecido a evapotranspiração e atuando em conjunto aumentado a infiltração de água no solo e possibilitado o maior desenvolvimento radicular (CORSINI & FERRAUDO, 1999).

Verifica-se também que há maior umidade nas camadas mais profundas para os dois manejos. Provavelmente, em função da época de avaliação (meados de julho),

período de seca na região, e que os teores de água tendem a ser maiores em camadas mais profundas do solo. A camada superficial (0,0 a 0,1 m) também apresentou maior concentração de água que a camada subjacente possivelmente por apresentar maior concentração de matéria orgânica.

Através da análise de variância e desdobramento dos fatores, o efeito dos locais na área do cafeeiro sobre a umidade do solo mostrou-se dependente da profundidade do solo avaliada ao nível de 5% de probabilidade. Em função dos locais na área do cafeeiro pode-se observar que houve diferenças significativas na umidade no solo em função das profundidades em todos os locais na área do cafeeiro (Tabela 7).

É possível observar que, na entre linha do cafeeiro, foi o local com maior umidade do solo, e na linha entre as camadas superficiais a menor umidade do solo (Tabela 7). O que pode ter colaborado para o ocorrido é o manejo de plantas daninhas adotado na propriedade. Haja vista que, na entre linha, é mantida a vegetação espontânea, sendo controlada com herbicidas e roçadora. Com o acúmulo de massa vegetal e vegetação sempre crescente na entre linha, criam-se condições para maior infiltração de água e menores perdas por evapotranspiração.

Na linha do cafeeiro, como o solo está exposto, a infiltração de água é menor, a temperatura do solo é maior e a evapotranspiração aumenta, são todos fatores que colaboram para que a umidade do solo neste local seja menor que nos demais locais. Na área sob a projeção do rodado do trator, o fato pode ser explicado pelo aumento da coesão das partículas, o que leva ao aumento da compactação do solo neste local reduzindo a infiltração de água, crescimento radicular e conseqüentemente apresentando menor concentração de água no solo.

Através da análise de variância e desdobramento dos fatores, o efeito dos tratamentos mostrou dependente do local onde foi avaliado a umidade do solo ao nível

de 5% de probabilidade. A umidade do solo em função dos locais onde foi avaliada foi significativa para os dois tratamentos (Tabela 8). Ainda em se tratando de umidade do solo, esta também foi alterada em função do tratamento entre o subsolado e o controle, apresentando maior concentração de umidade na entrelinha do cafeeiro no tratamento controle.

Tabela 7. Desdobramento da interação local na área do cafeeiro e profundidade para a umidade do solo.

Profundidade ----- m -----	Local na área do cafeeiro			Fc
	Linha	Rodado	Entre Linha	
	----- % -----			
0,0 – 0,1	24,69 bC	27,04 aB	29,10 aA	84,60**
0,1 – 0,2	24,79 bC	25,88 cB	27,22 bA	29,42**
0,2 – 0,3	25,59 abB	26,00 bcB	27,48 bA	14,86**
0,3 – 0,4	26,36 aB	26,33 abcB	27,67 bA	10,18**
0,4 – 0,5	26,49 aB	26,97 abAB	27,47 bA	4,13*
0,5 – 0,6	26,31 aB	26,36 abcB	27,36 bA	6,08**
Fc	11,85**	4,12**	8,47**	

As médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna e letras iguais maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **: significativo ($P \leq 0,01$). Fc: resultado do Teste F.

Quando o manejo do solo foi o subsolado houve maior umidade na entre linha do cafeeiro e na linha de projeção do rodado do trator, fato este que pode ser explicado pela maior quantidade de vegetação nestes locais, que podem ter reduzido a exposição solar, o que colabora para diminuir a temperatura no solo minimizando assim a evapotranspiração nestes locais (Tabela 8).

Na linha do cafeeiro, por manter sempre livre de plantas daninhas, ocorre maior exposição aos raios solares, o menor porte da lavoura, evapotranspiração e a passada do subsolador podem tem colaborado para que a menor umidade fosse encontrada nesta região.

Tabela 8. Desdobramento da interação manejo do solo e local na área do cafeeiro para a umidade do solo.

Local na área do cafeeiro	Manejo do solo		Fc
	Controle	Subsolado	
	----- % -----		
Linha	25,44 cB	25,94 bA	6,41*
Projeção do rodado	26,12 bB	26,74 aA	10,12**
Entre linha	28,56 aA	26,86 aB	75,88**
Fc	140,98**	13,17**	

As médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna e letras iguais maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$). Fc: resultado do Teste F.

Araújo-Junior et al. (2011), avaliando a umidade de um LATOSSOLO VERMELHO DISTROFERRICO, em função de diferentes manejos de plantas daninhas, também observaram que em condições de manejo de menor cobertura vegetal há menor umidade volumétrica.

2.4 CONCLUSÕES

A maior resistência mecânica do solo à penetração foi na camada de 0,2 a 0,3 m no tratamento controle, sugerindo haver maior compactação devido ao número de operações mecanizadas nesta área.

A subsolagem realizada teve efeito positivo na descompactação do solo, principalmente na camada de 0,2 a 0,3 m de profundidade.

A camada superficial acima dos 0,2 m de profundidade apresenta menor resistência mecânica do solo à penetração, provavelmente devido ao grande revolvimento sofrido.

A camada mais superficial na linha de projeção do rodado (0,0 a 0,1 m) apresentou baixa resistência mecânica do solo à penetração provavelmente em função da vegetação espontânea desenvolvida entre as linhas do cafeeiro, no entanto a linha de projeção do rodado possui a maior resistência do solo à penetração em todas as profundidades, região esta onde futuramente será desenvolvida a projeção da copa do cafeeiro.

A maior umidade do solo está nas camadas mais profundas. A camada superficial também apresentou maior umidade do solo possivelmente por apresentar maior concentração de matéria orgânica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO-JUNIOR, C. F. et al. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um latossolo induzida por diferentes manejos. **R. Bras. Ci. Solo**, 35:115-131, 2011.

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho Distroférrico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **R. Bras. Ci. Solo**, 29:515-522, 2005.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Reconhecimento e medida da compactação do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/C6/Index.htm>. Acesso em: 23/10/2012.

CARVALHO FILHO, A.; DA SILVA, R. P. & FERNANDES, A. L. T. **Compactação do solo em cafeicultura irrigada**. Uberaba, Universidade de Uberaba, 2004. 44p. (Boletim Técnico, 3).

CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeito de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em latossolo roxo. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.34, n.2, p.289-298, 1999.

DIAS JUNIOR, M. S. et al. Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural dos solos em sistemas florestais na região de Aracruz-ES. **R. Árvore**, 23:371-380, 1999.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise do solo**. EMBRAPA/CNPSO. 1997, 212p.

EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006.

FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, F.; SANTINATO, R. Utilização da subsolagem na redução da compactação do solo para produção de café cultivado no cerrado mineiro. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 1648. 2012.

FERREIRA, D. F. **Sistema de análises de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 2007. (SISVAR 4. 1. pacote computacional).

FLOWERS, M. D. & LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a Mollic Ochraqualf in Northwest Ohio. **Soil Till. Res.**, 48:21-35, 1998.

GAMERO, C.A.; BENEZ, S.H. Avaliação da condição do solo após a operação de preparo. In: SILVEIRA, G.M. **IV Ciclo de estudos sobre mecanização agrícola**. Jundiaí: Fundação Cargill, p.12-21. 1990.

GONTIJO, I., DIAS JUNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ARAUJO-JUNIOR, C. F. Atributos físico-hídricos de um latossolo de cerrado em diferentes posições de amostragem na lavoura cafeeira. **R. Bras. Ci. Solo.**, 32:2227-2234, 2008.

MAGALHÃES, R. P.; MOLIN, J. P.; FAULIN, G. D. C. Estudo da espacialidade do índice de cone em função do local amostrado em uma lavoura de café (*Coffea arábica* L.) In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. **Anais...** Piracicaba, SP. 2004.

MANTOVANI, E. C. Compactação do solo. **Inf. Agropec.** 13, Belo Horizonte – Minas Gerais. 1987.

MAZZA, J. A. et al. Influência da compactação no desenvolvimento de sistema radicular de cítrus: sugestão de método quantitativo de avaliação e recomendações de manejo. **Laranja**. Cordeirópolis, v.15, n.2, p.263-75, 1994.

NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

OLIVEIRA, G. C. et al. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 291-299, fev. 2003.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J. & REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ci. Rural**, 30:795-801, 2000.

STOLF R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 1991. 15:229-235.

TORMENA, C. A. & ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 20:333-339, 1996.

3 Avaliação de penetrômetros em função do uso e manejo de LATOSSOLO

VERMELHO AMARELO Distrófico

Eduardo William Lopes¹, Alberto Carvalho Filho²

RESUMO - O presente trabalho teve como objetivo comparar dois penetrômetros na determinação da RMSD. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com dois tratamentos e 7 repetições (7 x 2). Os tratamentos foram: sem subsolagem após a implantação do cafeeiro (S) e com subsolagem após a implantação deste mesmo cafeeiro (C). Para avaliação do experimento as parcelas foram subdivididas em linha de plantio do cafeeiro, linha de projeção do rodado, entrelinha do cafeeiro e seis profundidades de avaliação, 0 a 0,1; 0,1 a 0,2; 0,2 a 0,3; 0,3 a 0,4; 0,4 a 0,5; 0,5 a 0,6 metros. Foi avaliada a resistência mecânica do solo à penetração utilizando dois penetrômetros: um de impacto e outro digital. Foi observada uma tendência já descrita na literatura em que o penetrômetro de impacto apresentou valores de resistência à penetração superiores aos demais penetrômetros, isso muito se deve à forma que são gerados os valores pelo qual o penetrômetro de impacto calcula o valor máximo de resistência à penetração, enquanto o penetrômetro eletrônico ou digital apresenta valores de médias entre as leituras. Resultados demonstram a necessidade de se realizar mais trabalhos com o objetivo de avaliar novos padrões de referência para determinação da compactação do solo para cada tipo de penetrômetro.

Palavras-chave: resistência à penetração, compactação do solo, atributos físicos do solo, conteúdo de água.

¹Programa de Pós-graduação em Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, Rodovia MG 230, km 7, caixa postal 22, Rio Paranaíba, MG, Brasil. E-mail: zumwil@hotmail.com.

*Autor para correspondência.

²Instituto de Ciência Agrárias, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, MG, Brasil.

3 Penetrometers assessment due to the use and management of oxisol

Eduardo William Lopes¹, Alberto Carvalho Filho²

ABSTRACT - With the growth in mechanized areas was increased problems with soil compaction, it was born of the need to diagnose problems in the soil layers, an alternative was the use of penetrometers using penetration resistance of the soil to be interpreted as a variable to check to the compacted layer or not. Thus the present study aims to evaluate different penetrometers for different soil management. The experiment was a completely randomized design (CRD) in factorial (7 x 2) in which there were seven different soil conditions, and soil under native forest soil under coffee, positions within the coffee plantations line between coffee, online coffee, wheeled tractor, before and after subsoiling and being used for assessment a two penetrometer impact and other electronic readings being held from 10 to 10 cm to a depth of 0 to 0.6m. was observed a trend already reported in the literature that the impact penetrometer showed values of penetration resistance superior to other penetrometers it owes much to the way the values are generated by the impact penetrometer which generates the maximum penetration resistance while the penetrometer electronic or digital displays mean values between readings. Results that demonstrate the need to do more work in order to demonstrate new benchmarks for determining soil compaction for each type of cone penetrometer.

Keywords: penetration resistance, soil compaction, soil physical properties, water content.

¹Programa de Pós-graduação em Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, Rodovia MG 230, km 7, caixa postal 22, Rio Paranaíba, MG, Brasil. E-mail: zumwil@hotmail.com. *Autor para correspondência.

²Instituto de Ciência Agrárias, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, MG, Brasil.

3.1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas em áreas mecanizáveis é a compactação do solo, que afeta diretamente na dinâmica da água, do ar e do calor, e afeta a eficiência da utilização de água, fertilizantes e herbicidas pelas plantas em função do menor desenvolvimento radicular (HAKANSSON & VOORHEES, 1998), culminando com decréscimo de produtividade (BEUTLER & CENTURION, 2004; BEUTLER et al., 2006).

A compactação pode ser diagnosticada de varias formas, pelo aumento de densidade, ou a forma mais comum utilizada tem sido o uso da resistência mecânica do solo à penetração, aliada a informações de umidade do solo (CASAGRANDE, 2001; BEUTLER & CENTURION, 2004), devido ser um atributo diretamente relacionado ao crescimento das plantas (LETEY, 1985) e de fácil e rápida determinação (STOLF, 1991). A resistência mecânica do solo à penetração é uma das melhores estimativas do impedimento mecânico do solo ao desenvolvimento radicular (BEUGHOUGH & MULLINS, 1990), por relacionar-se com a compactação são causas para a redução de produtividade em algumas culturas (BEUTLER & CENTURION, 2004).

Para diagnosticar uma camada compactada através da resistência mecânica do solo à penetração são utilizados aparelhos do tipo penetrômetros que são projetados para realizar leituras de camadas do solo que apresentem um maior adensamento. Os penetrômetros rotineiramente utilizados para a avaliação da compactação são denominados em função do princípio de penetração, de estáticos, em que o conjunto é pressionado contra o solo, e a resistência à penetração é registrada em um dinamômetro e de dinâmicos, em que a haste penetra no solo em decorrência do impacto de um peso que cai em queda livre de uma altura constante (STOLF, 1991). Entretanto, é comum

encontrar vários modelos de penetrômetros, tornando necessária a avaliação de diferentes penetrômetros para verificar a eficiência de cada aparelho. Beutler et al. (2002) verificaram que a resistência mecânica do solo à penetração registrada com o penetrômetro de impacto foi superior comparado ao penetrômetro de anel dinamométrico, em maiores níveis de compactação, e a diferença aumentou no solo mais argiloso com o incremento da compactação. Com a variação de dados apresentados pelos penetrômetros na identificação de camadas compactadas torna-se necessário mais trabalhos para avaliar qual o melhor equipamento para se determinar a resistência mecânica do solo à penetração, com isso o presente trabalho vem com o objetivo de avaliar diferentes penetrômetros em função do uso e manejo do solo.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em lavouras cafeeiras da Fazenda São Francisco, localizada a aproximadamente 20 Km da cidade de Rio Paranaíba-MG. A localização geográfica da área é nas coordenadas 19° 14' latitude sul e 46° 21' longitude oeste e altitude de 900 metros na Região do Alto Paranaíba, onde o clima regional é do tipo Cwb, de acordo com a classificação de Köppen, definindo-se por temperatura média mínima de 18° C e, média anual igual ou inferior a 22° C, caracterizado pela presença de duas estações bem definidas, uma fria/seca, abrangendo os meses de abril a setembro e outra quente/chuvosa, que se estende de outubro a março. A média da precipitação pluviométrica é em torno de 1600 mm ano⁻¹. O solo a ser estudado é classificado como

LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico típico argiloso (EMBRAPA, 2006). Área utilizada para o presente trabalho foi a mesma descrita no capítulo I.

3.2.1 Delineamento experimental

O experimento foi delineamento inteiramente casualizado (DIC) com dois tratamentos e 7 repetições (7 x 2). Os tratamentos foram: sem subsolagem após a implantação do cafeeiro (S) e com subsolagem após a implantação deste mesmo cafeeiro (C). Para avaliação dos tratamentos as parcelas foram subdivididas em linha de plantio do cafeeiro, linha de projeção do rodado, entrelinha do cafeeiro e seis profundidades de avaliação, 0 a 0,1; 0,1 a 0,2; 0,2 a 0,3; 0,3 a 0,4; 0,4 a 0,5; 0,5 a 0,6 m. Foi avaliada a resistência mecânica do solo à penetração utilizando dois penetrômetro um de impacto e outro digital. Dentro de cada parcela foram coletados 3 pontos de 10 em 10 cm, considerando a profundidade de 0 a 0,60 m para serem analisadas a resistência mecânica do solo à penetração. Além da área do cafeeiro, foi analisada uma área de mata nativa próxima ao experimento para fins de comparação com a área do cafeeiro.

Cada parcela foi representada por cinco fileiras de plantas, onde as duas linhas da extremidade e a central (L₁, L₃ e L₅) foram bordaduras e as restantes (L₂ e L₄) formaram a área útil do experimento. Estas mesmas fileiras tinham o comprimento de 20 m cada uma e houve um intervalo de 5 m entre uma e outra para a realização de manobras e regulagem dos equipamentos.

3.2.2 Avaliações

3.2.2.1 Resistência mecânica do solo à penetração

A resistência mecânica do solo à penetração foi determinada em dois momentos, sendo o primeiro antes da passada do subsolador (na área de mata nativa de cerrado e na área experimental), realizada em meados de Julho de 2012 e o segundo momento, somente na área onde cultivada, um mês após a passada do subsolador, haja vista que o subsolador foi regulado a atingir a profundidade de 40 cm, exatamente na região da projeção do rodado do trator (RT), onde foi constatada anteriormente uma área compactada segundo os dados coletados de resistência mecânica do solo à penetração e densidade do solo e também de umidade para validar as duas anteriores.

Para verificar a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), foi utilizado o Penetrômetro de Impacto modelo IAA-Stolf, tomando-se valores de 10 em 10 centímetros, a partir da superfície do solo até a profundidade de 60 centímetros.

Apesar de a resistência à penetração ser afetada pela textura, densidade do solo e conteúdo de água, Camargo (2006) sugere que valores acima de 2,5 MPa começam a restringir o pleno crescimento das raízes das plantas. Outros estudos, consideram críticos os valores que variam de 6,0 a 7,0 MPa para solos arenosos e em torno de 2,5 MPa para solos argilosos.

Foram realizadas, aleatoriamente, três amostragens por unidade experimental, obtendo-se valores na profundidade de 0 a 0,60 m, em intervalos de 0,10 m e os

resultados dessa coleta foram fornecidos em “impactos dm^{-1} ” e transformados em MPa, conforme Stolf (1991).

Juntamente com o penetrômetro de impacto, também foram realizadas avaliações com o penetrômetro digital. Para avaliação do experimento as parcelas foram subdivididas em linha de plantio do cafeeiro, linha de projeção do rodado, entrelinha do cafeeiro e seis profundidades de avaliação, 0 a 0,1; 0,1 a 0,2; 0,2 a 0,3; 0,3 a 0,4; 0,4 a 0,5; 0,5 a 0,6 metros.

3.2.2.2 Análise estatística

Quando atendidas as pressuposições para tal (normalidade dos erros, avaliada pelo teste de Jarque-Bera, homocedasticidade da variância, avaliada pelo teste de Bartlett), os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Os graus de liberdade dos fatores em estudo foram desdobrados. As médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, através do software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2000), para a comparação das médias entre os locais e profundidades.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os penetrômetros de impacto e digital usados na avaliação da compactação do solo no capítulo 1 demonstraram que houve diferença entre os dados de resistência mecânica do solo à penetração na área do cafeeiro e na área sob mata nativa (Figura 8).

Para a coleta na camada superficial de 0 a 0,10 m pode observar que houve variação de média superior a 1,9 MPa, entre os dois penetrômetro, o que pode interferir em resultados no campo e na interpretação se é um processo de adensamento ou de compactação do solo. A menor resistência mecânica do solo à penetração, observada na primeira camada pelo penetrômetro digital, pode ser explicada pela irregularidade do microrelevo da superfície do solo. Devido a placa metálica, a qual o penetrômetro digital utiliza para identificar a profundidade do solo, possuir maior superfície de contato com o solo, faz com que o início do ponto onde será avaliado a resistência mecânica do solo à penetração seja distanciada da superfície do solo, fazendo com que o penetrômetro tome aqueles primeiros centímetros como tendo nenhuma resistência.

Stolf (1991) avaliou diferentes penetrômetros de impacto, penetrômetro estático com mola dinamométrica e verificou que, em solo arenoso, os penetrômetros apresentaram valores semelhantes, e, em solo argiloso, o penetrômetro de impacto apresentou valores superiores ao penetrômetro estático, tendência semelhante ao encontrado neste trabalho em todas as camadas do solo, fato este que pode ser inferido que o penetrômetro de impacto coleta sempre o maior valor. Beutler et al. (2002) verificaram que a resistência a penetração registrada com o penetrômetro de impacto foi superior comparado ao penetrômetro de anel dinamométrico, em maiores níveis de compactação, e a diferença aumentou no solo mais argiloso com o incremento da compactação.

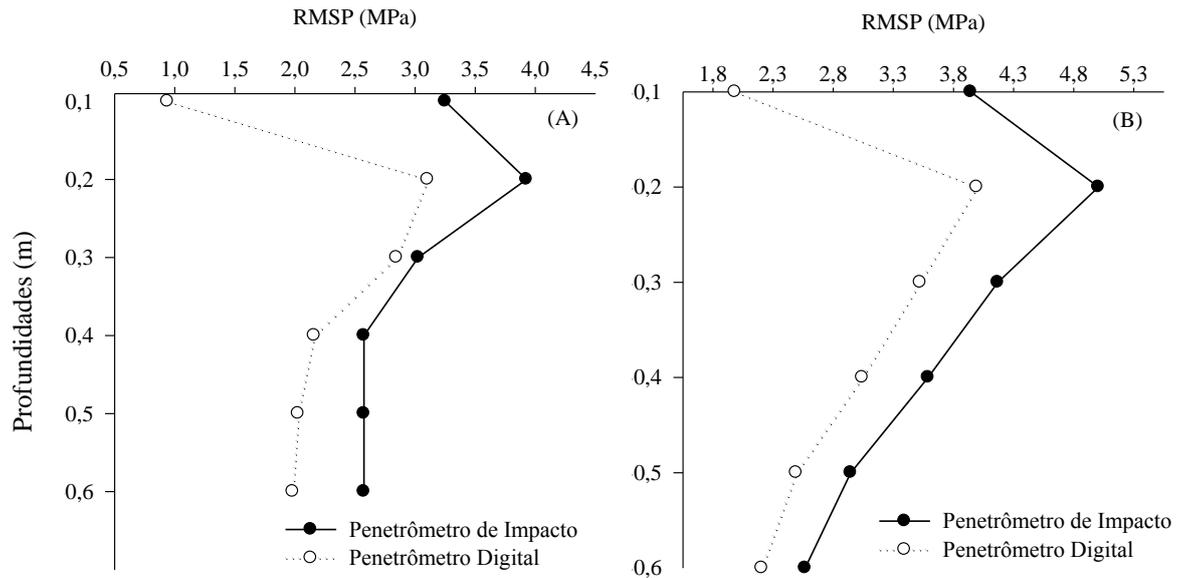


Figura 8. Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) em solo sob mata nativa de cerrado (A) e em solo cultivado com cafeeiro na linha de projeção do rodado (B) em função de diferentes penetrômetros.

Beutler et al. (2007), comparando diferentes penetrômetros na avaliação da compactação de diferentes solos de Latossolos de textura argilosa e média, foi observado que o penetrômetro de impacto determinou valores superiores de resistência à penetração em solos compactados, principalmente em solos argilosos possui a tendência de apresentar maiores valores, porém, os penetrômetros de anel dinamométrico e eletrônico também foram eficientes na caracterização da compactação. Nas condições deste trabalho onde o solo era de textura argilosa, os valores para o penetrômetro de impacto apresentou valores superiores ao penetrômetro digital.

Realizado as leituras em manejos do solo diferentes, houve comportamento diferente por parte dos penetrômetros (Figuras 9A e 9B). Locais onde o solo foi preparado para realizar o plantio do cafeeiro demonstraram que o penetrômetro de impacto apresentou comportamento diferente quando observado aos demais locais, este fato pode ser explicado pelo próprio peso do aparelho que ao ser colocado no solo sobre

condições de baixa resistência a penetração houve valores de leituras inferiores ao penetrômetro digital. Este fato ocorreu da faixa de 0 a 0,2 m de profundidade após esta faixa o comportamento volta para sua normalidade pelo qual o penetrômetro de impacto gerou valores superiores ao penetrômetro digital.

Nas condições de entre linha do cafeeiro pode-se verificar que a tendência de que o penetrômetro de impactos geraria valores superiores ao penetrômetro digital se confirmou (Figuras 9C e 9B), mesmo com a variação do manejo da subsolagem a tendência de leituras dos valores continuou a mesma. Observando a tendência tomada pelos penetrômetros na projeção do rodado do trator, novamente o fato se repete onde o solo é coeso e argiloso, mostrando a tendência que o penetrômetro de impacto apresente valores superiores ao penetrômetro digital (Figuras 9E e 9F).

Resultado semelhante ao presente trabalho foi observado por Beutler et al. (2007), que salienta para a diferença entre os penetrômetros que estão associados ao princípio de funcionamento dos aparelhos, em que o penetrômetro de impacto apresenta princípio diferenciado comparado aos penetrômetros estáticos de anel dinamométrico e eletrônicos ou digitais. Herrick & Jones (2002) observaram ainda, que o penetrômetro de impacto registra a resistência penetração máxima por unidade de profundidade comparada aos penetrômetros estáticos que determinam a resistência a penetração por unidade de área, e o penetrômetro eletrônico, com velocidade de penetração de 1 cm min⁻¹, determina o valor médio de resistência à penetração.

No valor considerado limitante ao crescimento radicular das plantas, 2,0 MPa (TAYLOR et al., 1966), se torna uma incógnita devido ao fato de diferentes penetrômetros apresentarem valores distintos para uma mesma profundidade, pode observar que ao utilizar o penetrômetro de impacto, a leitura observada indica a máxima resistência à penetração do solo em função do acúmulo de dados, o que pode causar

uma superestimação dos dados de resistência à penetração, portanto, são necessários estudos para apresentarem padrões de referencia em função do penetrômetro utilizado.

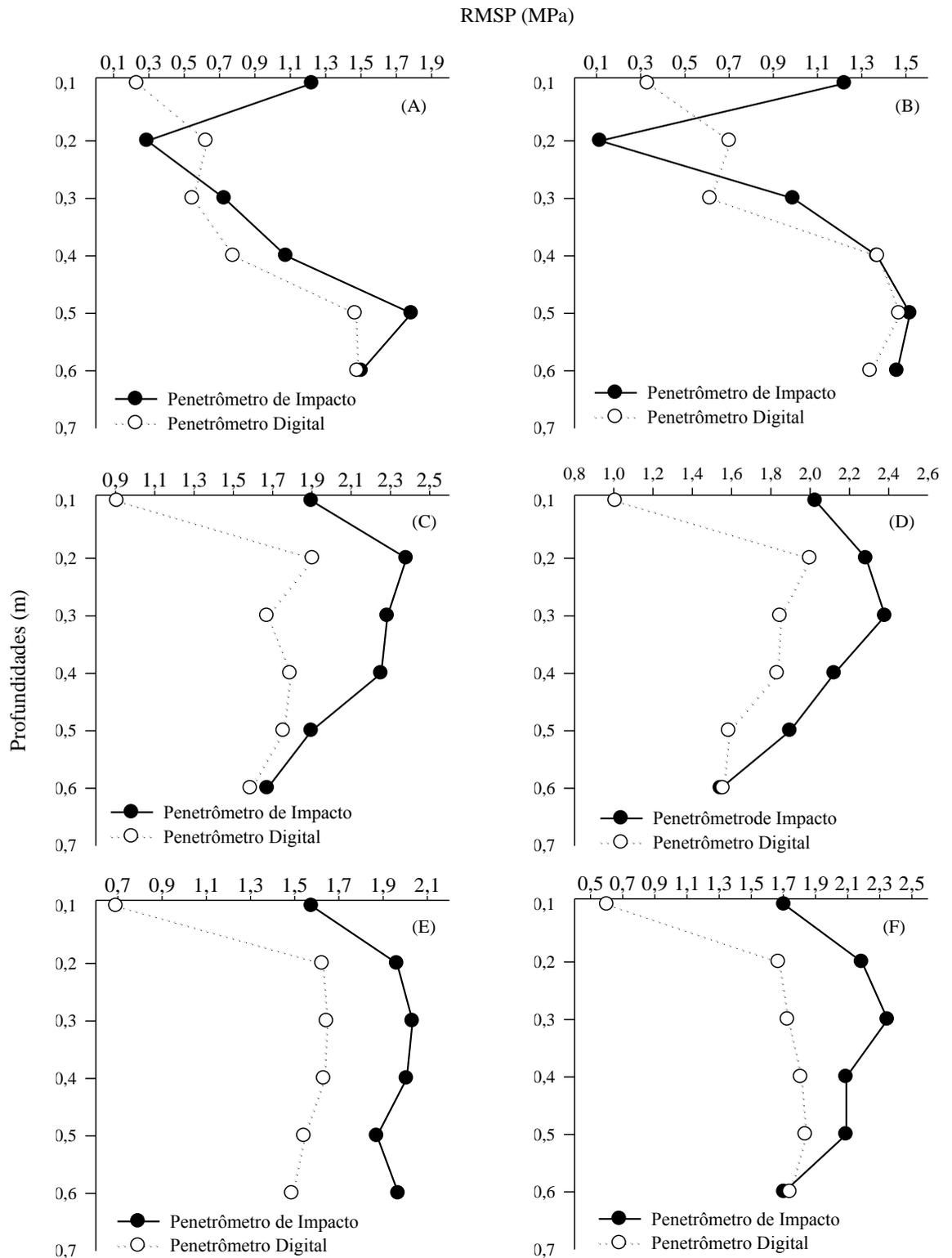


Figura 9. Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) (RMSP) na linha do cafeeiro com subsolagem (A); RMSP (MPa) na linha do cafeeiro não subsolado (B);

RMSP (MPa) na entre linha do cafeeiro com subsolagem (C); RMSP (MPa) na entre linha do cafeeiro não subsolado (D); RMSP (MPa) no rodado do trator com a subsolagem (E) e RMSP (MPa) no rodado do trator não subsolado (F).

Observando os resultados de correlações entre os penetrômetros, pode se verificar que a relação apresentou valores inferiores a 70% na grande maioria dos casos em função das profundidades (Figura 10). Apenas na camada superficial de 0 a 10 cm houve relação superior a 70% entre os penetrômetros, estes resultados podem vir a confirmar a hipótese de que devem ser gerados novos valores de referência para resistência à penetração em função do penetrômetro utilizado, a fim de determinar qual o nível de impedimento é prejudicial ao desenvolvimento radicular, devido às diferenças formas de leituras dos penetrômetros, mesmo ambos terem sido utilizados no mesmo momento e com o solo na mesma umidade.

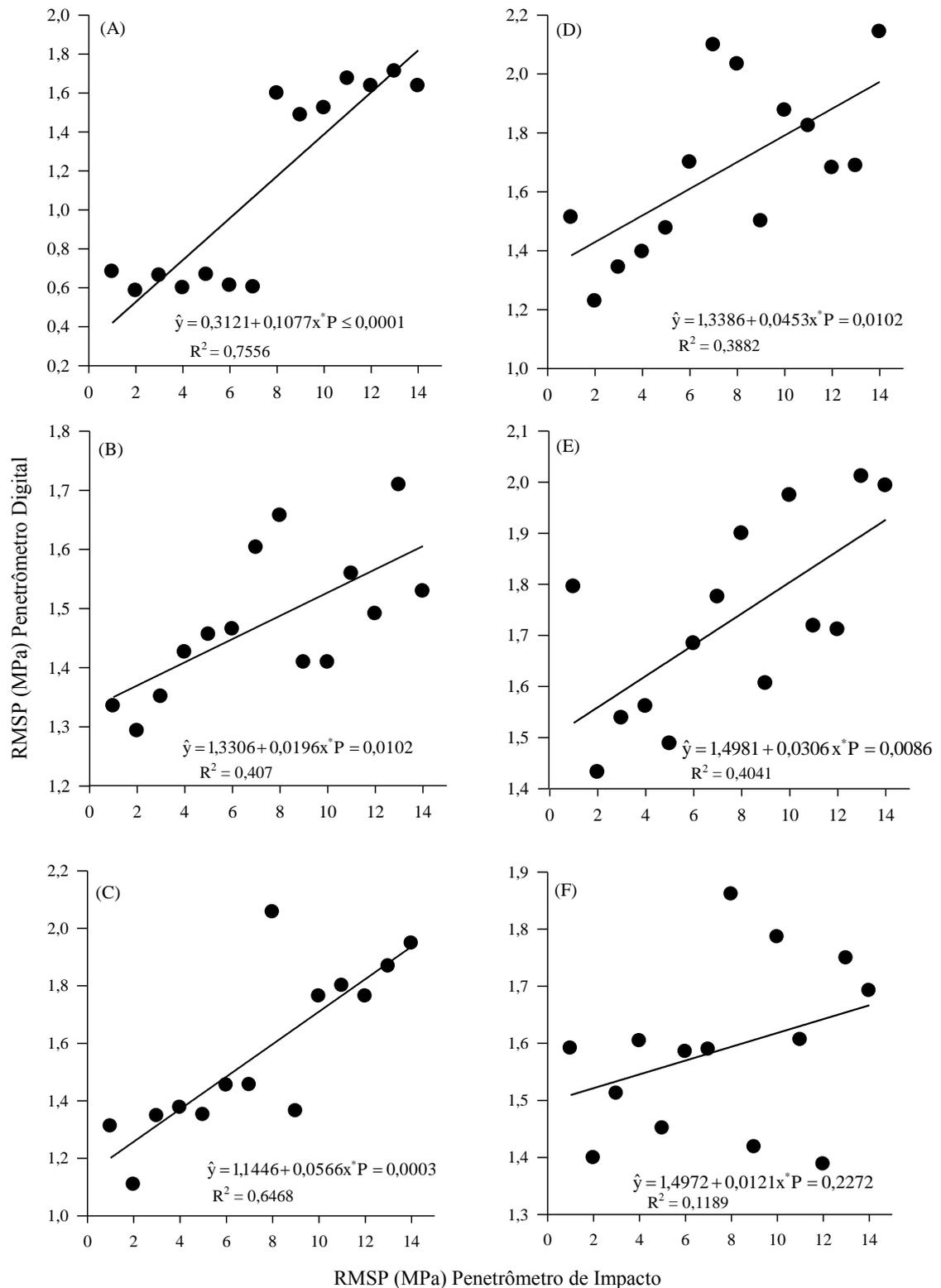


Figura 10. Relação entre os valores de resistência mecânica do solo à penetração aferida por penetrômetro digital e penetrômetro de impacto em diferentes profundidades sob café. 0 a 10 cm (A), 10 a 20 cm (B), 20 a 30 cm (C), 30 a 40 cm (D), 40 a 50 cm (E) e 50 a 60 cm (F).

3.4 CONCLUSÕES

Apesar de apresentarem valores diferentes de resistência mecânica do solo à penetração, houve uma tendência apresentada pelos dois penetrômetros.

Dois penetrômetros apresentaram ser aptos para realizar coleta de dados sobre resistência mecânica do solo à penetração sem distinção do manejo do solo.

Será necessário atualizar padrões de referência para cada penetrômetro utilizado para coletar os dados e determinar níveis de impedimento ao desenvolvimento radicular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENGHOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.41, n.3, p.341-58, 1990.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.6, p.581-8, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P.; BARBOSA, J. C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.639-45, 2006.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P. Comparação de penetrômetros na avaliação da compactação de Latossolos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.146-151. 2007.

BEUTLER, A.N. et al. Utilização dos penetrômetros de impacto e de anel dinamométrico em Latossolos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.22, n.2, p.191-9, 2002.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Reconhecimento e medida da compactação do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/C6/Index.htm>. Acesso em: 23/10/2012.

CASAGRANDE, A. A. Compactação e manejo do solo na cultura da cana-de-açúcar. In: MORAES, M.H.; MÜLLER, M.M.L.; FOLONI, J.S.S. (Ed.). Qualidade física do solo: métodos de estudo - sistemas de preparo e manejo do solo. Jaboticabal: FUNEP, 2001. p.150-97.

EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006.

FERREIRA, D. F. **Sistema de análises de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 2000. (SISVAR 4. 1. pacote computacional).

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W. B. Soil compaction. In: LAL, R. et al. (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation: advances in soil science**. Boca Raton: CRS Press, 1998. p.167-79.

HERRICK, J. E.; JONES, T. L. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.66, n.4, p.1320-4, 2002.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, New York, v.1, n.1, p.277-94, 1985.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.2, p.229-35, 1991.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER Jr., J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v.102, n.1, p.18-22, 1966.