



**MODELAGEM DA CAPACIDADE SUPORTE
DE CARGA E QUANTIFICAÇÃO DOS
IMPACTOS CAUSADOS PELAS OPERAÇÕES
MECANIZADAS NA ESTRUTURA DE UM
LATOSSOLO AMARELO
CULTIVADO COM CAFEEIROS**

ARYSTIDES RESENDE SILVA

2003

ARYSTIDES RESENDE SILVA

**MODELAGEM DA CAPACIDADE SUPORTE DE CARGA E
QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS CAUSADOS PELAS OPERAÇÕES
MECANIZADAS NA ESTRUTURA DE UM LATOSSOLO AMARELO
CULTIVADO COM CAFEEIROS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Dr. Moacir de Souza Dias Junior

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2003

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Silva, Arystides Resende

Modelagem da capacidade suporte de carga e quantificação dos impactos causados pelas operações mecanizadas na estrutura de um Latossolo Amarelo cultivado com cafeeiros / Arystides Resende Silva. -- Lavras : UFLA, 2003.

39 p. : il.

Orientador: Moacir de Souza Dias Junior.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Compactação. 2. Café. 3. Equipamento. 4. Compressibilidade. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.43

-633.73

ARYSTIDES RESENDE SILVA

**MODELAGEM DA CAPACIDADE SUPORTE DE CARGA E
QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS CAUSADOS PELAS OPERAÇÕES
MECANIZADAS NA ESTRUTURA DE UM LATOSSOLO AMARELO
CULTIVADO COM CAFEEIROS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 30 de julho de 2003

Pesquisador Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães

Epamig

Professora Dra. Maria da Glória Bastos de Freitas Mesquita

UFLA



Prof. Dr. Moacir de Souza Dias Junior
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

*Aos meus pais Francisco (in memoriam) e Maria Espírito Santo,
pelo carinho, amor, compreensão
e por estarem sempre presentes em minha vida,
a meus irmãos e a toda minha família,
a Helismara pelo apoio e companheirismo
durante todo o curso.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus;

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do Curso;

Ao Professor Dr. Moacir de Souza Dias Junior pelos ensinamentos, orientação, inestimável apoio e amizade ao longo do Curso;

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo;

Ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café CBP&D/Café pelo apoio financeiro para a realização deste projeto;

Ao Pesquisador Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães pela co-orientação, pelo auxílio na execução deste trabalho e pela participação na Banca Examinadora;

À Professora. Dra. Maria da Glória Bastos de Freitas Mesquita pela participação na Banca Examinadora:

A todos os professores do Departamento de Ciência do Solo pelos conhecimentos transmitidos ao longo do curso;

Ao estudante de Iniciação Científica Cezar Francisco Araújo Junior pelo interesse, compromisso e dedicação dispensada na realização da coleta de solo e dos ensaios laboratoriais;

A todos os funcionários do Departamento de Ciência do Solo pelo companheirismo e ajuda, especialmente a Dulce Claret Monteiro e Delane Ribeiro;

A toda a equipe técnica da Fazenda Experimental da EPAMIG, em Patrocínio – MG, especialmente o Sr. Lazaro Marques dos Reis e aos operários

de campo, pelo desprendimento e compromisso durante a condução do experimento;

Aos colegas Marcos Koito Kondo e Gislene Aparecida Santos (Gigi) pela indispensável ajuda e apoio;

A todos colegas da Pós-graduação e graduação, principalmente Wellington, Serginho, Rodrigo Martins, Antonio Marcos, Maria Aparecida (Dede) e Adriana, Alexandre, Juliano, Rafaela, Cláudio e Edson;

E, por último, mas não menos importante, a toda a minha família e a Helismara, pelo companheirismo e por estar sempre presente nos momentos de alegria e de dificuldades.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO GERAL.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3.1 Localização e caracterização da área experimental.....	8
3.2 Amostragem e análises.....	10
3.2.1 Amostras coletadas para elaboração do modelo no local onde não houve tráfego.....	10
3.2.2 Amostras coletadas na linha de tráfego nas épocas seca e chuvosa.....	13
3.2.2.1 Estação seca.....	14
3.2.2.2 Estação chuvosa.....	15
3.2.3 Análises de caracterização física.....	16
3.2.4 Análises estatísticas.....	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
5 CONCLUSÕES.....	31
6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	32

RESUMO

SILVA, Arystides Resende. **Modelagem da capacidade suporte de carga e quantificação dos impactos causados pelas operações mecanizadas na estrutura de um Latossolo Amarelo cultivado com cafeeiros.** Lavras: UFLA, 2003. 39 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).*

Minas Gerais é o maior estado produtor de café do Brasil, com mais de 50% da produção total, sendo grande parte cultivado em solo originalmente sob vegetação de cerrado. Esta região é destaque na cafeicultura em razão da alta tecnologia voltada à mecanização, a qual submete o solo ao tráfego de máquinas, tornando preocupante a possibilidade de disseminação da compactação do solo. Este estudo teve como objetivo: a) desenvolver modelos de capacidade suporte de carga de um Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd) cultivado com cafeeiro em função da pressão de preconsolidação e da umidade, b) determinar, através deste modelo, a influência das operações de manejo, identificando qual operação causa ou não compactação. As amostragens foram realizadas em três profundidades (0 a 3, 10 a 13 e 25 a 28 cm), sendo 30 amostras coletadas no local onde não houve tráfego e 10 amostras por equipamento na linha de tráfego para quantificar seu efeito na estrutura do solo nas épocas seca e chuvosa. As amostras indeformadas foram utilizadas nos ensaios de compressão uniaxial. Determinou-se também textura, matéria orgânica, densidade de partículas, limite de contração e limite de plasticidade do solo. O modelo de capacidade suporte de carga para o LAd é função da pressão de preconsolidação e da umidade, sendo expresso pela equação $\sigma_p = 10^{(2,72-1,17U)}$. As operações realizadas com a colhedora, pulverizador, roçadora e o efeito cumulativo do tráfego de todos estes equipamentos na época seca apresentaram tendência a compactar o solo nas três profundidades, apresentando, para todos os equipamentos, em algumas amostras, compactação nas profundidades de 10 a 13 e 25 a 28 cm. As operações realizadas com o pulverizador, adubadora, aplicador de herbicida, granuladora e o efeito cumulativo de todos estes equipamentos na época chuvosa apresentaram apenas tendência a compactar o solo nas três profundidades. As operações realizadas com a roçadora compactaram ou apresentaram tendência a causar compactação na profundidade de 0 a 3 cm. O efeito cumulativo do tráfego de todos os equipamentos foi a condição que mais causou compactação nas profundidades de 10 a 13 e 25 a 28 cm.

* Comitê Orientador: Dr. Moacir de Souza Dias Junior – UFLA (Orientador), Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães – EPAMIG (Co-orientador) e Dra. Maria da Glória Bastos de Freitas Mesquita - UFLA.

ABSTRACT

SILVA, Arystides Resende. **Pattern of the load support capacity and quantification from the impact caused by mechanical operations in the Yellow Latosol structure cultivated with coffee.** Lavras: UFLA, 2003. 39 p. Dissertation (Master Program in Soil and Plant Nutrition).

Minas Gerais State is the biggest coffee producer in Brazil, with more than 50% of the total production, being the largest part cultivated in Cerrado region. This region is noted in coffee production because of the great technology turned to the mechanization, which submit the soil to the machines traffic which worries by the possibility of the soils compact dissemination. This study had the objectives: a) to develop the load support capacity models of a typical distrofic Yellow Latosol (LAd) cultivated with coffee as function of the preconsolidation pressure and moisture content; b) to determine through this model, the influence of the soil management operations, identifying which one cause soil compaction or not. The soil sampling were realized in three depth (0 to 3, 10 to 13 and 25 to 28 cm); being thirty samples collected in the place where there was no traffic and ten samples in the traffic line of the equipments to quantify its effects on the soil structure in rainy and dry seasons. The undisturbed soil samples were utilized in the uniaxial compression test. The texture, organic matter, particle density, shrinkage limit and plastic limit were also determined. The load support capacity model of the LAd is a function of the preconsolidation pressure and moisture content being expressed by the equation $\sigma_p = 10^{(2.72-1.17U)}$. The operations realized with the harvester, pulverizer, weeder equipment and the cumulative effect of the traffic of all these equipments in the dry season showed tendency to compact the soil on three depths and some compacted samples in the 10 to 13 and 25 to 28 cm depth. The operations realized with pulverizer, manure equipment, herbicide applier, granulated equipment and the cumulative traffic effect of all these equipments in the rainy season presented tendency to compact the soil in the three depths. The operations realized with the weeder equipment compacted or showed a tendency to cause soil compaction in the 0 to 3 cm depth. The cumulative effect of the traffic of all equipments was the condition that caused more soil compaction in the 10 to 13 and 25 to 28 cm depths.

* Guidance Commitee: Dr. Moacir de Souza Dias Junior – UFLA (Adviser), Dr. Paulo Tácio Gontijo Guimarães – EPAMIG and Dra. Maria da Glória Bastos de Freitas Mesquita – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

A cultura do cafeeiro no Brasil destaca-se por sua grande área de cultivo e também por se tratar de um produto de exportação, portanto, de grande importância econômica. Atualmente Minas Gerais é o maior estado produtor do Brasil, com mais de 50% da produção total, sendo grande parte do cultivo em solos originalmente sob vegetação de cerrado. Esta região é lugar de destaque pelas excelentes condições de topografia e clima favoráveis à cafeicultura (Teodoro et al., 2003).

Nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, a cafeicultura tem se desenvolvido de forma destacada em razão da alta tecnologia aplicada, sendo mecanizada em todas as suas etapas, desde a fase de implantação até a fase de produção, o que induz à necessidade da utilização de máquinas e implementos agrícolas durante todo o ciclo da cultura.

Com a intensa utilização dessas novas tecnologias voltadas para a mecanização das operações agrícolas, há um aumento no tráfego de máquinas nas áreas cultivadas com cafeeiro, tornando-se preocupante a possibilidade de disseminação da compactação do solo, que tem sido descrita na literatura como uma das causas mais severas da degradação de sua estrutura, causando uma queda da produtividade. Para que isso seja evitado, os cafeicultores deverão adaptar suas atividades de maneira condizente com o desenvolvimento sustentável, evitando, assim, a compactação de suas áreas.

O uso indiscriminado de máquinas agrícolas em condições inadequadas de umidade tem sido o grande responsável pelo surgimento de camadas compactadas nos solos agrícolas, limitando a absorção de nutrientes pelas plantas (Ishaq et al., 2001; Çarman, 2002; Nevens & Reheul, 2003); a expansão do sistema radicular (Santos, 2001) e o transporte de água e assimilados das

raízes para parte aérea (Ishaq et al., 2001). A compactação do solo reduz ainda a infiltração e a redistribuição de água no solo (Defossez & Richard, 2002; Arvidsson, 2001; Ishaq et al., 2001) e a aeração do solo (Gysi, 2001), promovendo um aumento nos processos erosivos (Canillas & Salokhe, 2002), culminando com a perda da produtividade e da qualidade ambiental.

Os diferentes manejos do solo têm alterado suas propriedades físicas e mecânicas (Larson et al., 1989; Dias Junior & Pierce, 1996b; Dias Junior, 2000) causando compactação e alterando o meio em que o sistema radicular se desenvolve (Gysi, 2001). Apesar de vários pesquisadores (Smucker & Erickson, 1989; Lebert et al., 1989; Lebert & Horn, 1991) terem quantificado os efeitos do manejo nas propriedades físicas do solo, a escolha do indicador físico ou mecânico a ser usado para quantificar se um determinado manejo é sustentável ou não continua sendo de difícil escolha.

⇒ Dentro deste contexto, Dias Junior (1994) desenvolveu um modelo de compressibilidade do solo que se baseia na história da tensão e na umidade, sendo uma de suas aplicações o estudo da degradação da estrutura do solo em função da pressão de preconsolidação, a qual reflete a maior pressão que o solo já suportou no passado e, conseqüentemente, o tipo de manejo que foi utilizado na área (Dias Junior & Pierce, 1996a,b). Nestes estudos a pressão de preconsolidação é utilizada como um indicador da sustentabilidade da estrutura do solo, pois ela divide a curva de compressão do solo em duas regiões: uma de deformações recuperáveis e outra de deformações não recuperáveis. Assim, a aplicação de pressão maior que a pressão de preconsolidação deve ser evitada (Gupta et al., 1989; Lebert & Horn, 1991; Defossez & Richard, 2002) para que a compactação do solo não ocorra, mantendo-se, portanto, a condição de sustentabilidade da estrutura do solo (Dias Junior et al., 1999). Portanto, a realização de estudos que visem quantificar a capacidade suporte de carga dos

solos é de grande importância para o planejamento das atividades agrícolas de modo a evitar ou minimizar a compactação do solo.

Diante destas considerações, este estudo apresenta os seguintes objetivos:

a) Propor modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Amarelo cultivado com cafeeiro, em função da pressão de preconsolidação e da umidade.

b) Determinar, através do uso destes modelos, a influência das operações de manejo na estrutura do Latossolo Amarelo em três profundidades e em duas épocas de amostragem, na estação seca e na chuvosa.

c) Determinar qual ou quais operações causam compactação no solo nas estações seca e chuvosa.

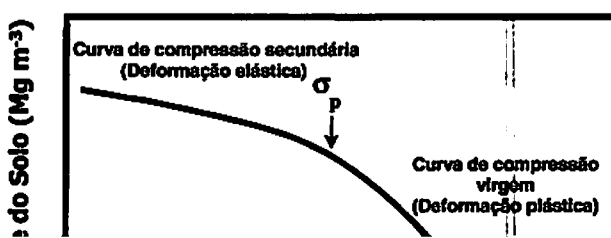
2 REFERENCIAL TEÓRICO

A intensa mecanização aplicada aos solos da região dos cerrados na produção de grãos tem comprometido suas propriedades físicas como a permeabilidade da água e do ar, a água disponível, a densidade do solo e a erodibilidade (Guimarães, 2000; Ishaq et al., 2001; Gysi, 2001; Pytka, 2001; Canilhas & Salokhe, 2002; Williamson & Neilsen, 2003). O uso de máquinas agrícolas nas várias etapas do processo de produção em condições inadequadas de umidade (Dias Junior & Pierce, 1996b; Novais & Smith, 1999; Imhoff et al., 2001; Servadio et al., 2001; Silva et al., 2002; Chamen et al., 2003), tem sido o principal responsável por acarretar uma degradação da estrutura do solo, diminuindo seu potencial produtivo. Esta degradação pode estar associada à compactação deste solo (Ribeiro, 1999; Çarman, 2002; Chamen et al., 2003). A

3

textura do solo (Gupta et al., 1989; Dias Junior, 1994); a estrutura do solo (Dexter & Tanner, 1974; Horn, 1988; Defosse & Richard, 2002); a densidade inicial do solo (Gupta et al., 1985; Reinert, 1990; Dias Junior, 1994; Kondo & Dias Junior, 1999b; Silva et al., 1999) e o teor de carbono do solo (Assouline et al., 1997; Etana et al., 1997).

→ O ensaio de compressibilidade tem sido muito usado em estudos de compactação (Dias Junior & Pierce, 1995; Canarache et al., 2000; Fritton, 2001). Ele consiste na aplicação de pressões sucessivas e contínuas preestabelecidas (25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa) a uma amostra indeformada de material de solo na condição parcialmente saturada. Este ensaio permite obter a curva de compressão do solo, que é representada por um gráfico no qual se plotam, no eixo das abscissas, os valores das pressões aplicadas em escala logarítmica e, no eixo das ordenadas, os valores da densidade do solo em escala natural, como mostrado na Figura 1.



⇒ compactação do solo tem sido definida como sendo a compressão do solo não saturado durante a qual existe um aumento de sua densidade em consequência da redução do seu volume (Gupta & Allmaras, 1987; Gupta et al., 1989; Dias Junior & Pierce, 1996a,b), resultante da expulsão do ar dos poros pelo manejo inadequado.

⇒ Vários são os efeitos que a compactação do solo pode causar às plantas: a demora na emergência, a diminuição no tamanho, a presença de folhas com coloração não característica, sistema radicular superficial e raízes mal formadas (Mantovani, 1987). A presença de crostas, aparecimento de trincas nos sulcos de rodagem do trator, zonas endurecidas abaixo da superfície do solo e enpoçamento de água são considerados sintomas da compactação. A compactação do solo ocasiona aumento da sua densidade e da resistência mecânica (Dias Junior et al., 1999; Arvidsson, 2001; Ishaq et al., 2001; Nevens & Reheul, 2003; Williamson & Neilsen, 2003); diminuição na porosidade total, tamanho e continuidade dos poros (Dias Junior, 2000; Servadio et al., 2001); redução na absorção de nutriente, infiltração e redistribuição de água (Arvidsson, 2001; Ishaq et al., 2001); redução da condutividade hidráulica (Arvidsson, 2001), redução das trocas gasosas (Gysi, 2001) e aumento da capacidade suporte de carga do solo (Dias Junior, 1994; Dias Junior & Pierce, 1996 b; Kondo, 1998; Silva et al., 1999; Dias Junior, 2000; Miranda, 2001).

⇒ A facilidade com que um solo não saturado decresce de volume quando sujeito a pressões é chamada compressibilidade (Gupta & Allmaras, 1987). Esta depende de fatores externos e internos (Lebert & Horn, 1991). Os fatores externos estão relacionados ao manejo do solo, destacando-se o tipo, a intensidade e a frequência de carga aplicada (Koolen & Kuipers, 1983; Horn, 1988; Horn, 1989; Lebert & Horn, 1991; Castro Neto, 2001; Silva et al., 2002; Chamen et al., 2003), enquanto os fatores internos são aqueles que influenciam a história de tensão (Gupta et al., 1980; Reiser, 1980; Dias Junior, 1994).

⇒ A pressão de preconsolidação (σ_p) divide a curva de compressão do solo em duas regiões: uma de deformações pequenas, elásticas e recuperáveis, chamada de curva de compressão secundária, e uma de deformações plásticas e não recuperáveis, chamada de curva de compressão virgem (Canarache et al., 2000; Fritton, 2001). A pressão de preconsolidação tem sido usada como uma medida alternativa da capacidade suporte de carga de solos parcialmente saturados (Dias Junior, 1994; Dias Junior & Pierce, 1996b; Dias Junior, 2000; Imhoff et al., 2001). Sua determinação pode ser feita através de vários métodos, sendo os mais usados o método de Casagrande (1936) e o método proposto por Dias Junior & Pierce (1995).

A curva de compressão do solo é linear quando este não sofreu pressão prévia, não apresentando pressão de preconsolidação e, conseqüentemente, história de tensão. Desta forma, a aplicação de qualquer pressão resultará em deformações plásticas e não recuperáveis (Larson & Gupta, 1980; Larson et al., 1980; Culley & Larson, 1987; Gupta & Allmaras, 1987; Lebert & Horn, 1991). Quando o solo já sofreu pressões ou ciclos de secagem e umedecimento, a curva de compressão do solo será constituída pela curva de compressão secundária e pela curva de compressão virgem, apresentando nesta curva a pressão de preconsolidação. Assim sendo, torna-se importante o entendimento do comportamento da curva de compressão do solo, que permite avaliar o efeito do manejo e da umidade na pressão de preconsolidação (Steen & Larson, 1980).

=> Estudos revelam que a umidade é o fator que determina a quantidade de deformação que pode ocorrer no solo (Dias Junior, 1994; Dias Junior & Pierce, 1996a ,b; Kondo & Dias Junior, 1999b; Silva, 2002; Oliveira, 2002). Um solo mais seco apresentará maior pressão de preconsolidação e, conseqüentemente, maior capacidade suporte de carga e menor possibilidade de ocorrência da compactação. Já um solo úmido apresentará menores valores de pressão de preconsolidação, portanto menor capacidade suporte de carga e maior susceptibilidade à compactação (Dias Junior, 2000).

Nas culturas anuais, a compactação do solo tem ocorrido em conseqüência da intensiva movimentação do solo sob condições inadequadas de umidades, causada pelas máquinas de preparo, enquanto, nas pastagens o pisoteio excessivo do gado tem sido a causa da compactação na camada superficial (Kondo, 1998; Kondo & Dias Junior, 1999 a,b,c). Já nas áreas reflorestadas, a compactação do solo ocorre principalmente durante as operações de colheita, por causa do tráfego das máquinas de corte, extração e do escoamento da produção, principalmente quando estas operações são realizadas em condições inadequadas de umidade (Dias Junior et al., 1999).

Estudos recentes em áreas cultivadas com cafeeiros apontaram o preparo do solo e a adição de água via irrigação (Miranda, 2001) ou a fertilização com fósforo (Santos, 2001) como fatores aliviadores da resistência mecânica causada pela compactação do solo.

Portanto, o desenvolvimento de modelos de capacidade suporte de carga é importante, pois estes indicam a máxima pressão que o solo suporta em diferentes umidades sem causar compactação. Estas informações são de grande valor na agricultura, principalmente naquelas áreas de maior intensidade de mecanização, pois estes modelos, fornecerão informações de quando o solo poderá ser trafegado sem sofrer compactação. (Dias Junior, 1994).

Estudos que modelam a capacidade suporte de carga foram conduzidos em solos sob cultura anual, pastagem, eucalipto e, mais recentemente, com cafeeiro (Kondo & Dias Junior, 1999a; Kondo & Dias Junior, 1999b; Kondo & Dias Junior, 1999c; Dias Junior et al., 1999; Miranda, 2001). Portanto, este estudo vem de encontro aos anseios dos cafeicultores, visando quantificar os efeitos das operações mecanizadas na cultura do cafeeiro, fato inédito para esta cultura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

Este estudo foi conduzido em uma área originalmente sob vegetação de cerrado, na Fazenda Experimental da EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais), em Patrocínio-MG, localizada na região do Alto Paranaíba, a uma latitude de 18° 57' 00" S, longitude de 47° 00' 00" W de Greenwich e altitude de 934 metros.

O clima é o tropical chuvoso, com uma temperatura média anual de 21,8°C, precipitação pluviométrica média anual de 1372 mm, distribuída no período de outubro a março, apresentando períodos bem definidos de seca e de chuva e baixa umidade relativa do ar. O relevo é suave ondulado em grandes extensões e a classe de solo predominante é a de Latossolos. A área em estudo apresenta uma única classe de solo, que foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd), textura argilosa segundo (EMBRAPA, 1999).

Foi selecionado um talhão de 1800 m² (36 m de largura por 50m de comprimento) sob área originalmente de cerrado que foi desmatada em 1977, seguido de aração com grade Rome, não sendo desde então utilizada a área. Por ocasião da instalação do ensaio esta área foi limpa manualmente, retirando-se toda a vegetação para a instalação e realização do experimento, como mostra a Figura 2.

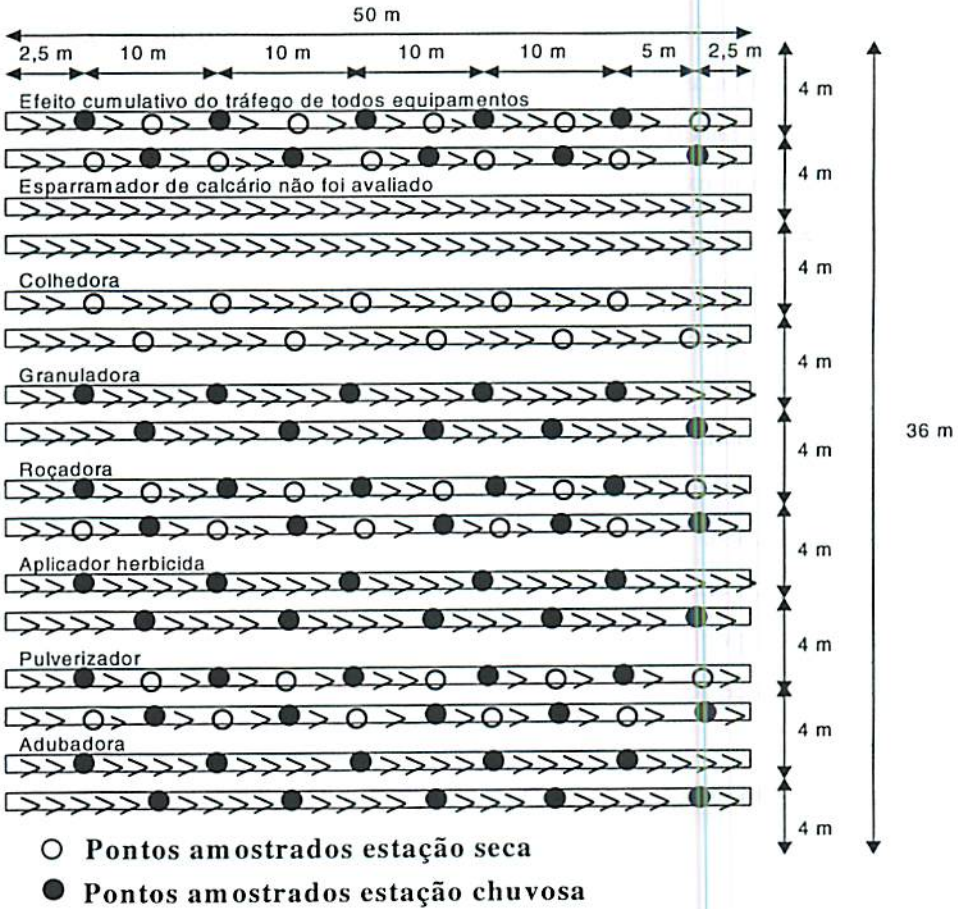


FIGURA 2. Representação esquemática do talhão onde foi realizado o experimento.

3.2 Amostragens e análises

O estudo constitui-se de dois tipos de amostragens: (a) amostras indeformadas coletadas no local onde não houve tráfego, utilizadas no desenvolvimento dos modelos de capacidade de suporte de cargas para o Latossolo Amarelo distrófico típico, e (b) amostras indeformadas coletadas na linha de tráfego na época de seca, coletadas no mês de agosto de 2002, e na época chuvosa, coletadas no mês de março de 2003 para verificar os efeitos das operações mecanizadas do manejo da lavoura de café sobre a estrutura do solo.

As operações executadas na época seca foram realizadas no mês de agosto de 2002, a precipitação pluviométrica deste mês foi de 1,8 mm, já as operações executadas na época chuvosa foram realizadas entre os meses de novembro de 2002 a março de 2003, cujas precipitações pluviométricas foram de 147,2mm para o mês de novembro, 306,2 mm para o mês de dezembro, 347,2 mm para o mês de janeiro, 176,6mm para o mês de fevereiro e 11,6mm para o mês de março (este valor se refere à precipitação até o dia 10 de março de 2003, dia da última operação).

Os ensaios de compressibilidade foram realizados de acordo com Bowles (1986), modificado por Dias Junior (1994), e as pressões de preconsolidação foram determinadas de acordo com Dias Junior & Pierce (1995).

3.2.1 Amostras coletadas para elaboração do modelo no local onde não houve tráfego

⇒ Foram coletadas 30 amostras indeformadas para cada profundidade (0 a 3, 10 a 13 e 25 a 28 cm), totalizando 90 amostras (30 amostras x 3 profundidade)

usando um amostrador de Uhland (Figura 3) com anel volumétrico de 6,40 cm de diâmetro e 2,54 cm de altura. As amostras foram parafinadas no campo para evitar a ocorrência de alterações na umidade a partir do momento da coleta até a realização do ensaio de compressibilidade no laboratório.

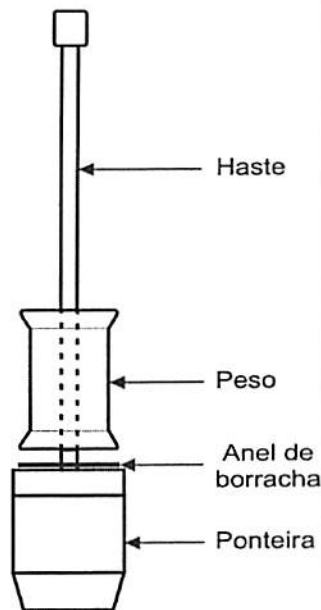


FIGURA 3. Amostrador de Uhland esquematizado (Kondo, 1998).

⇒ Estas amostras foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial de acordo com a metodologia proposta por Bowles (1986), modificada por Dias Junior (1994).

⇒ Para a realização dos ensaios de compressibilidade, as amostras foram saturadas inicialmente e depois secas ao ar no laboratório até se obterem as faixas de umidade desejadas. Após a obtenção dessas umidades, as amostras foram submetidas ao ensaio de compressibilidade usando um consolidômetro da marca Boart Longyear, através do qual as pressões foram aplicadas através de ar

comprimido (Figura 4). As pressões aplicadas a cada amostra obedeceram à seguinte ordem: 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 kPa. Cada pressão foi aplicada até que 90% da deformação máxima fosse alcançada (Taylor, 1971) e após esta condição ser alcançada é que se aplicou uma nova pressão.

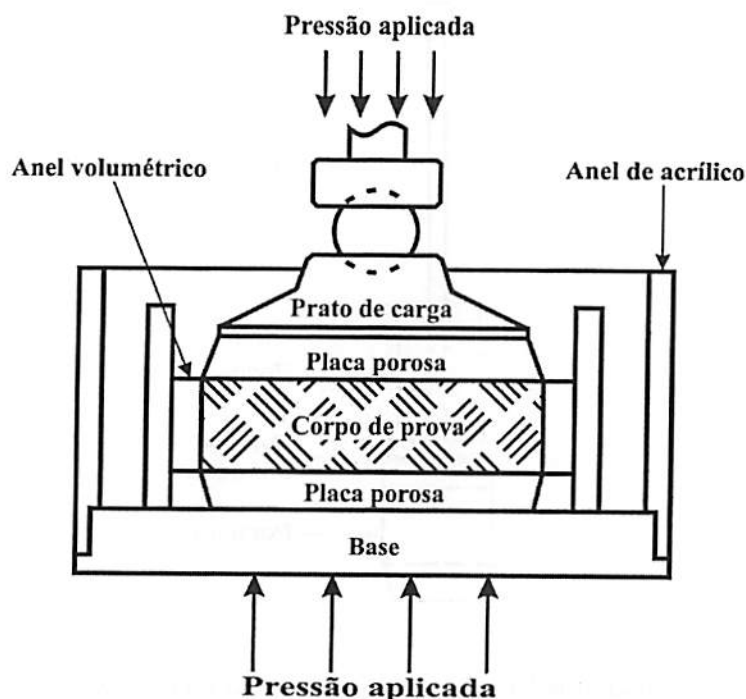


FIGURA 4. Célula de compressão uniaxial esquematizada (Kondo, 1998).

⇒ Após a realização do ensaio, as σ_p foram obtidas na curva de compressão do solo de acordo com Dias Junior & Pierce (1995). As pressões de preconsolidação foram plotadas em função da umidade simulada em laboratório e através do software Sigma Plot 8.0 (Jandel Scientific, P.O. Box 7005, San Rafael, CA, USA) foram obtidas as equações matemáticas correspondentes aos modelos de capacidade de suporte de carga com os respectivos intervalos de

confiança da população a 95%. O uso desse intervalo de confiança permitiu avaliar as pressões de preconsolidação obtidas de outras populações diferentes daquela usada na obtenção do modelo de capacidade de suporte de carga

3.2.2 Amostras coletadas na linha de tráfego nas épocas seca e chuvosa

Os equipamentos utilizados no manejo da lavoura cafeeira durante um ano na Fazenda Experimental da EPAMIG, em Patrocínio -MG, obedeceu às seguintes operações:

Operação 1 - Colhedora modelo KTR APG/SR; Série 2000; marca JATO; peso 5280 kg. Trafegou uma vez na estação seca sendo tracionada pelo trator marca Massey Ferguson 275, potência de 53kW no motor (72cv), pneus traseiros R1 18.4-30 e dianteiros 7.50-16, peso de 4393 kg;

Operação 2 - Pulverizador modelo Arbus 2000; marca Jacto; capacidade de 2600 kg quando completamente carregado. Trafegou uma vez na estação seca e três vezes na estação chuvosa, sendo tracionado pelo trator marca Massey Ferguson, modelo 265, potência de 45kW no motor (61cv), pneus traseiros R1 18.4-30 e dianteiros R1 7.50-16, peso 3488 kg;

Operação 3 - Roçadora modelo RC2 1500; marca tatu; peso 388 kg. T Trafegou quatro vezes na estação seca, sendo tracionada pelo trator marca Massey Ferguson, modelo 50X, peso de 3020 kg. Trafegou também três vezes na estação chuvosa sendo uma vez tracionada pelo trator Massey Ferguson 50X e as outras duas vezes pelo trator Massey Ferguson 265, peso 3488kg;

Operação 4 - Granuladora modelo TURBO CK2AG/110; marca Kamaq; quando completamente carregada apresenta um peso de 340 kg. Trafegou duas

vezes na estação chuvosa, tracionada pelo trator Massey Ferguson 50X, peso de 3020 Kg;

Operação 5 - Adubadora modelo Fertinox; quando completamente carregada tem capacidade para 600 kg. Trafegou três vezes na estação chuvosa, tracionada pelo trator Massey Ferguson 50X, peso de 3020 kg;

Operação 6 - Aplicador de herbicida modelo PH 400; marca Arbus; apresenta 510 kg de peso quando completamente carregado. Trafegou uma vez na estação chuvosa, tracionado pelo trator Massey Ferguson 265, peso de 3488 kg;

Operação 7 - Avaliou o efeito cumulativo do tráfego de todos estes equipamentos mais o efeito do tráfego da colhedora, pois devido à sua maior bitola, a linha de tráfego não coincidiu com a linha de tráfego dos outros equipamentos.

Os equipamentos trafegaram em um local especificado para cada um, em uma distância de 50 metros de comprimento, e com distância de 2 m entre a linha de tráfego de cada equipamento, como mostra a Figura 2.

3.2.2.1 Estação seca

Foram coletadas 10 amostras indeformadas por profundidade para cada equipamento estudado, mais 10 amostras por profundidade na linha de tráfego onde houve o efeito cumulativo do tráfego de todos equipamentos e mais três amostras por profundidade na linha de tráfego da colhedora, pois devido à sua maior bitola, a linha de tráfego não coincidiu com a linha de tráfego dos outros equipamentos. O número total de amostras coletadas foi de 129 amostras [10

amostras X 3 profundidades X 4 situações (3 equipamentos + efeito cumulativo)+3 amostras X 3 profundidade].

No laboratório os ensaios de compressibilidade foram realizados com a umidade atual de campo para verificar o efeito dos equipamentos. Obtiveram-se, a seguir os valores das pressões de preconsolidação que foram plotados nos modelos de capacidade de suporte de carga, determinando-se assim qual equipamento causou ou não compactação no Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd) na estação seca.

3.2.2.2 Estação chuvosa

Foram coletadas 10 amostras indeformadas por profundidade para cada equipamento estudado, mais 10 amostras por profundidade na linha de tráfego onde houve o efeito cumulativo do tráfego de todos equipamentos. O número total de amostras foi de 180 amostras [10 amostra X 3 profundidades X 6 situações (5 equipamentos + efeito acumulativo)].

As amostras foram submetidas ao ensaio de compressibilidade, como descrito anteriormente, e em seguida as σ_p foram determinadas. Esses valores de pressões de preconsolidação foram então plotados nos modelos de capacidade de suporte de carga, determinando-se, assim, qual equipamento causou ou não compactação no Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd) na estação chuvosa.

3.2.3 Análises de caracterização física

⇒ As amostras indeformadas foram obtidas através da coleta do material do solo das porções superiores e inferiores dos anéis de amostragem, nas quais foram determinados os teores de matéria orgânica (Raij & Quaggio, 1983), textura (Day, 1986), densidade de partículas (Blake & Hartge, 1986), limite de plasticidade (Sowers, 1965) e limite de contração Bowles (1978), cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Caracterizações físicas e teores de matéria orgânica de um Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd) obtidos a três profundidades na área em estudo (média de 3 repetições).

Profundidade ---cm---	LVAd						
	Argila	Areia	Silte	MO ¹	Dp ¹	LP ¹	LC ¹
	-----g Kg ⁻¹ -----				gcm ⁻³	-----kg kg ⁻¹ -----	
0 a 3	506a	139a	355a	31a	2,55a	0,35a	0,34a
10 a 13	531b	142a	327b	27b	2,58b	0,40b	0,32a
25 a 28	544b	149b	307b	25b	2,62c	0,43b	0,30a

1:MO = Matéria orgânica; Dp = Densidade de partículas; LP = Limite de plasticidade; LC = Limite de contração. Médias nas colunas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

3.2.4 Análises estatísticas

⇒ Análises de regressão foram realizadas com o uso do software Sigma Plot 8.0 (Jandel Scientific) e as comparações das regressões foram feitas utilizando o procedimento descrito em Snedecor & Cochran (1989).

Os resultados das análises das características físicas do solo (Tabela 1) foram submetidos à análise de variância e a comparação das médias das profundidades, pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 5 são apresentados os modelos da capacidade suporte de cargas de um Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd) nas profundidades de 0 a 3, 10 a 13 e 25 a 28 cm de uma área originalmente sob vegetação de cerrado. Observa-se para as três profundidades que a pressão de preconsolidação (σ_p) decresce exponencialmente com a umidade gravimétrica do solo (U), seguindo o modelo proposto por Dias Junior (1994), $\sigma_p = 10^{(a+bu)}$, onde σ_p é a pressão de preconsolidação (kPa), "a" e "b" são parâmetros estimados e U é a umidade gravimétrica (kg kg^{-1}). Os valores de "a" variaram entre 2,72 e 2,74 e os de "b", entre -1,05 e -1,26. Os coeficientes de determinação (R^2) variaram de 0,82 a 0,88, sendo todos significativos ao nível de 1% como mostra a Tabela 2.

TABELA 2. Coeficientes das equações de regressão na forma $\sigma_p = 10^{(a+bu)}$ para o Latossolo Amarelo distrófico típico nas profundidade de 0 a 3 e 25 a 28 cm ($n = 30$) e para profundidade de 10 a 13 cm ($n = 29$).

Profundidade (cm)	a	b	R^2
0 a 3	2,72	-1,22	0,88**
10 a 13	2,74	-1,26	0,86**
25 a 28	2,72	-1,05	0,82**

** : significativo ao nível de 1%

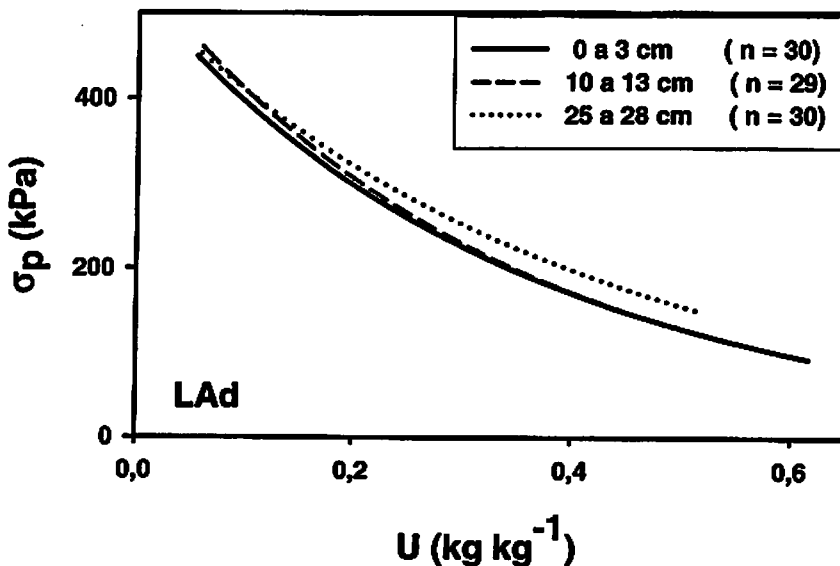


FIGURA 5. Modelos da capacidade suporte de carga para o Latossolo Amarelo distrófico típico nas profundidades 0 a 3, 10 a 13 e 25 a 28 cm.

Na Tabela 3 é apresentado o resumo da análise estatística, em que as equações de regressão foram comparadas nas diferentes profundidades para o Latossolo Amarelo distrófico típico usando o procedimento proposto por Snedecor & Cochran (1989).

TABELA 3. Teste de significância, de acordo com Snedecor & Cochran (1989), entre as equações de regressão obtidas nas profundidades 0 a 3, 10 a 13 e 25 a 28 cm da área sob Latossolo Amarelo distrófico típico.

Profundidades (cm)	Parâmetros do modelo		
	F_1	Coefficiente angular, b	Intercepto, a
0 a 3 X 10 a 13	ns	ns	ns
0 a 3 X 25 a 28	ns	ns	ns
10 a 13 X 25 a 28	ns	ns	ns

F_1 : testa a homogeneidade dos dados; ns: não significativo.

⇒ As equações de regressão ajustadas ao modelo de capacidade de suporte de carga $\sigma_p = 10^{(a + bU)}$ não foram estatisticamente diferentes para as três profundidades (Tabela 3) isso foi devido ao fato de ter ocorrido uma aração no ano de 1977, logo após o desmatamento, proporcionando uma homogeneização das camadas em relação a sua capacidade de suporte de cargas. Devido a isso, todos os valores de pressão de preconsolidação e de umidade foi ajustado uma única equação de regressão, $\sigma_p = 10^{(2,72 - 1,17U)}$, com $R^2 = 0,85^{**}$ ($n = 89$), que representa o modelo da capacidade de suporte de carga do Latossolo Amarelo distrófico para as três profundidades (Figura 6).

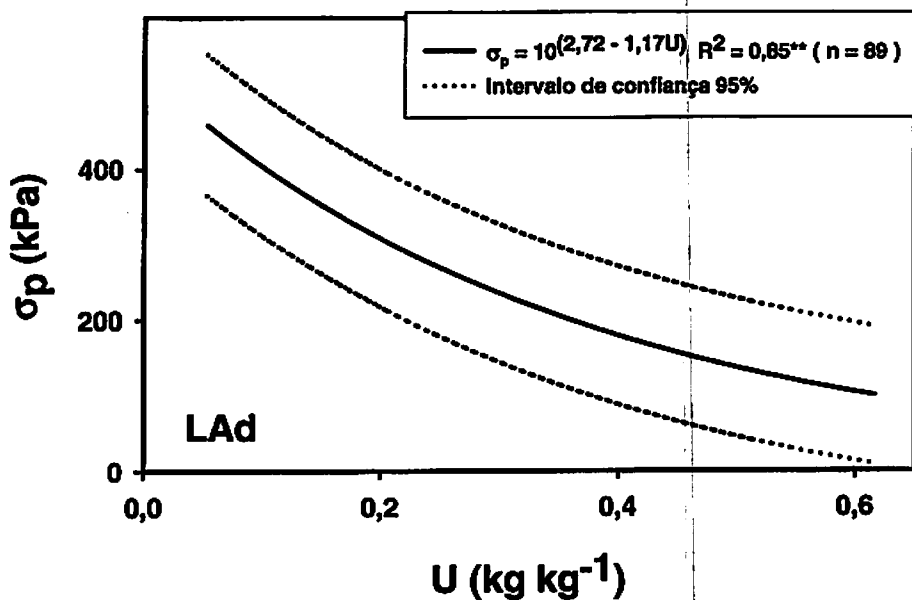


FIGURA 6. Modelo da capacidade suporte de carga para o Latossolo Amarelo distrófico típico para as profundidades 0 a 3, 10 a 13 e 25 a 28cm.

O desenvolvimento da cafeicultura de maneira sustentável está relacionado com a questão do tráfego de máquinas desde a fase de implantação da lavoura até a fase de produção. Em áreas cultivadas com cafeeiro onde o relevo é favorável ao tráfego de máquinas, o risco de ocorrer compactação do solo é grande, devido à ausência de controle da umidade ou de sua capacidade de suporte de carga no momento da realização destas operações. Assim, com a utilização de um modelo de capacidade de suporte de carga (Figura 6), este risco será minimizado, pois através deste modelo poderá ser obtido o valor máximo das pressões a serem aplicadas aos solos em função da umidade para que a compactação do solo seja evitada.

⇒ O limite de plasticidade (LP) é a umidade que separa a zona de friabilidade da zona de plasticidade do solo (Hillel, 1982). A zona de friabilidade corresponde à faixa de umidade na qual o preparo do solo deve ser realizado (Hillel, 1982), faixa esta que vai do limite de contração (LC) ao limite de plasticidade (LP). O LAd apresentou, nesta faixa, uma capacidade suporte de carga variando de 204 a 210 kPa para profundidade de 0 a 3 cm, 179 a 222 kPa para profundidade de 10 a 13 cm e de 165 a 234 kPa para profundidade de 25 a 28 cm. Analisando os valores da σ_p correspondentes às umidade iguais aos LP (Figuras 7 a 13 e Tabela 1), verifica-se que os valores das σ_p são relativamente baixos variando de 164,78 a 204,40 kPa quando comparados às pressões médias normalmente aplicadas sobre a superfície do solo pelas máquinas, as quais se situam próximas a 200 kPa (Carpenedo, 1994). Portanto, as operações realizadas com umidades próximas do LP são mais propensas a causar compactações do solo caso ele venha a ser preparado sob esta umidade. Quando o solo seca, a σ_p aumenta exponencialmente com a redução da umidade, aumentando sua capacidade de suporte de carga do solo, proporcionando um menor risco de ocorrência de compactação do solo. Assim, as operações de manejo da lavoura cafeeira devem ser realizadas em condições de umidade nas

quais as pressões exercidas pelos equipamentos não excedam a capacidade de suporte de carga do solo.

Para analisar os efeitos das operações de mecanização sobre a estrutura do solo, as pressões de preconsolidação determinadas após as operações realizadas nas estações seca e chuvosa com os conjuntos de equipamentos utilizados, a colhedora KTR (Jacto) tracionada pelo trator MF 275; o pulverizador Arbus 2000 (Jacto) tracionado pelo trator MF 265; a roçadora RC² 1500 (Tatu) tracionada pelos tratores MF 50X e MF 265; a granuladora TURBO CK2AG/110 (Komaq) tracionada pelo trator MF 50X; a adubadora (Fertimox) tracionada pelo trator MF 50X e o aplicador de herbicida PH400 (Arbus) tracionado pelo trator MF 265, e o efeito cumulativo do tráfego de todos equipamentos foram plotadas no modelo de capacidade de suporte de carga da Figura 6, para cada profundidade obtendo-se as figuras 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13 respectivamente, conforme sugerido por Dias Junior (2003). Assim, na figura 5, consideraram-se três regiões: uma região situada acima do limite de confiança superior, considerada como sendo a região na qual a compactação do solo já ocorreu; outra situada entre os limites de confiança, sendo considerada como região na qual existe tendência a ocorrer a compactação, e uma situada abaixo do limite de confiança inferior, sendo considerada como a região na qual não existe compactação do solo.

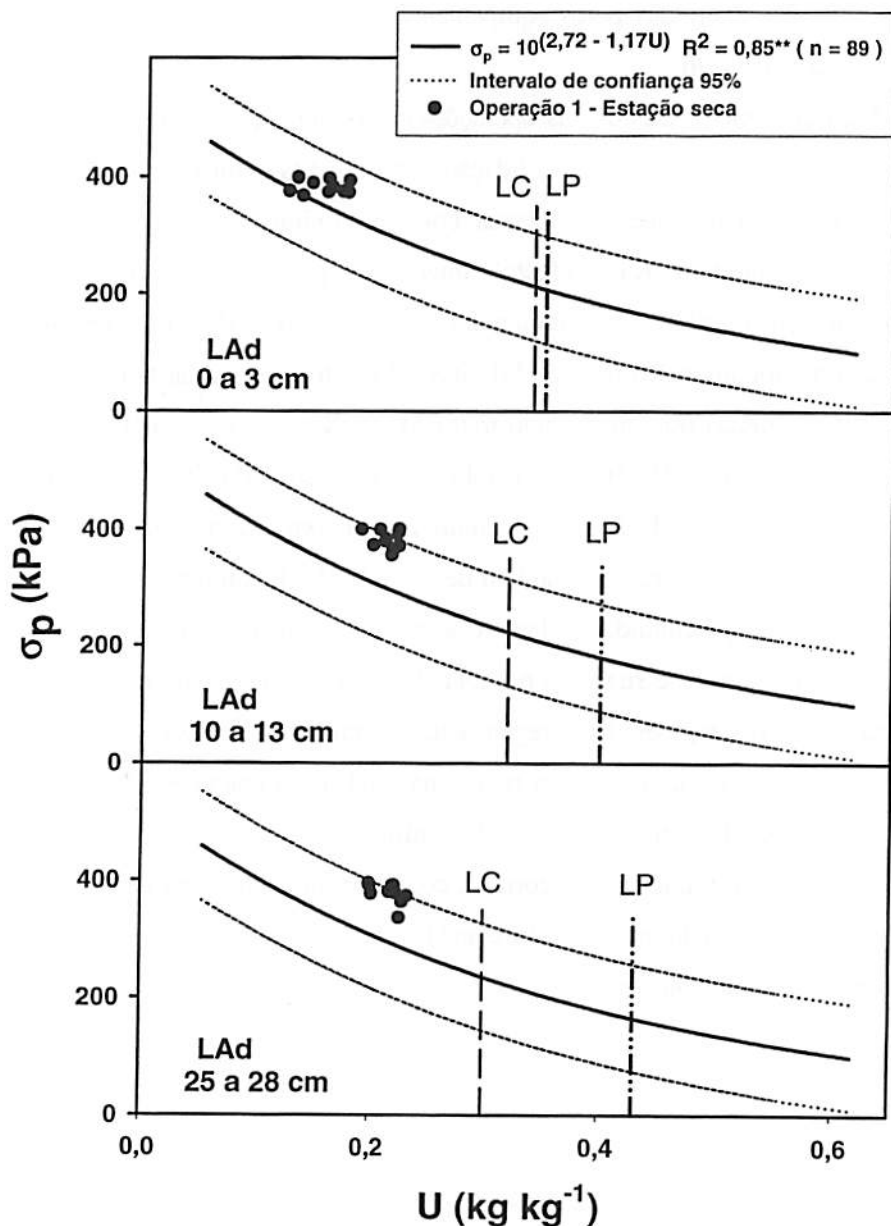


FIGURA 7. Modelo de capacidade suporte de carga para o Latossolo Amarelo distrófico típico nas profundidades de 0 a 3, 10 a 13 e 25 a 28 cm com seus respectivos limites de contração (LC) e plasticidade (LP). Os símbolos representam as pressões de preconsolidação determinadas após a operação da colhedora tracionada pelo trator Massey Ferguson 275 na estação seca.

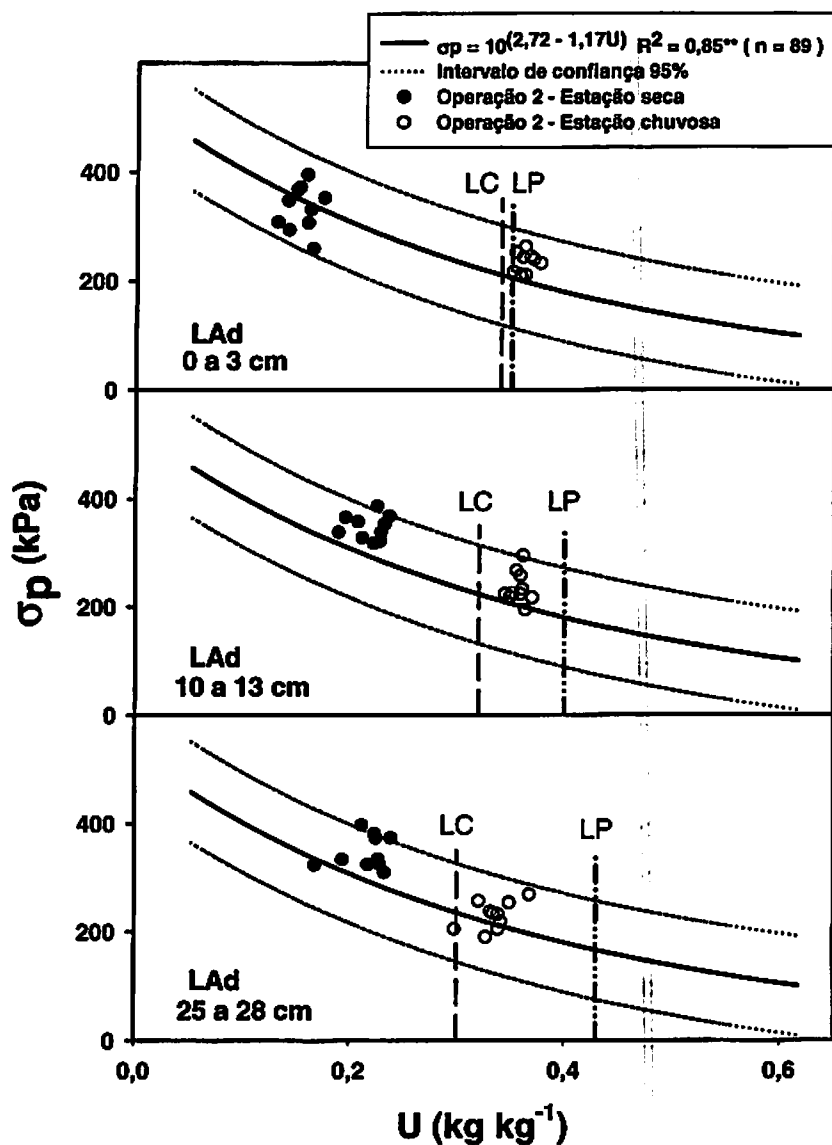


FIGURA 8. Modelo de capacidade suporte de carga para o Latossolo Amarelo distrófico típico nas profundidades de 0 a 3, 10 a 13 e 25 a 28cm com seus respectivos limites de contração (LC) e plasticidade (LP). Os símbolos representam as pressões de preconsolidação determinadas após as operações do pulverizador tracionado pelo trator Massey Ferguson 265 nas estações seca e chuvosa.

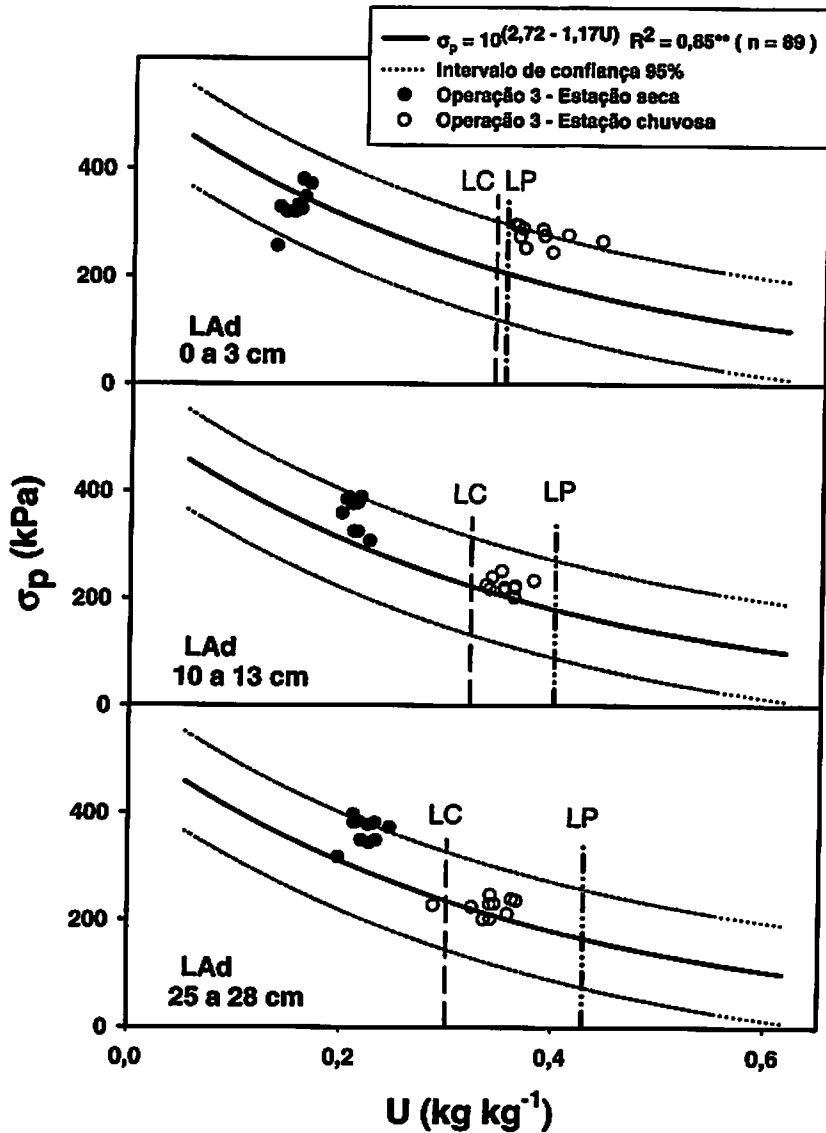


FIGURA 9. Modelo de capacidade suporte de carga para o Latossolo Amarelo distrófico típico nas profundidades de 0 a 3, 10 a 13 e 25 a 28 cm com seus respectivos limites de contração (LC) e plasticidade (LP). Os símbolos representam as pressões de preconsolidação determinadas após as operações da roçadora tracionada pelo trator Massey Ferguson 50X na estação seca e tracionada pelo trator Massey Ferguson 50X e 265 na estação chuvosa.

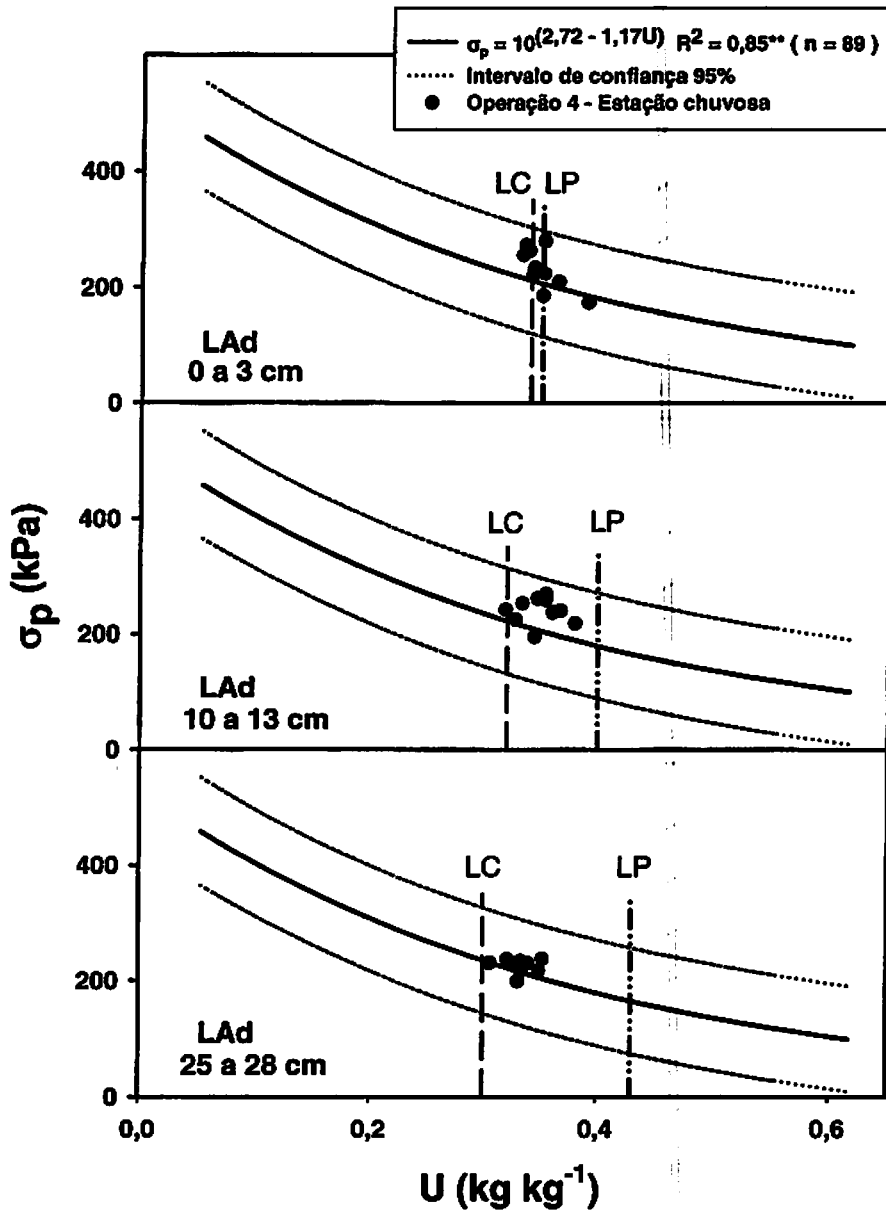


FIGURA 10. Modelo de capacidade suporte de carga para o Latosolo Amarelo distrófico típico nas profundidades de 0 a 3, 10 a 13 e 25 a 28 cm com seus respectivos limites de contração (LC) e plasticidade (LP). Os símbolos representam as pressões de preconsolidação determinadas após as operações da granuladora tracionada pelo trator Massey Ferguson 50X na estação chuvosa.

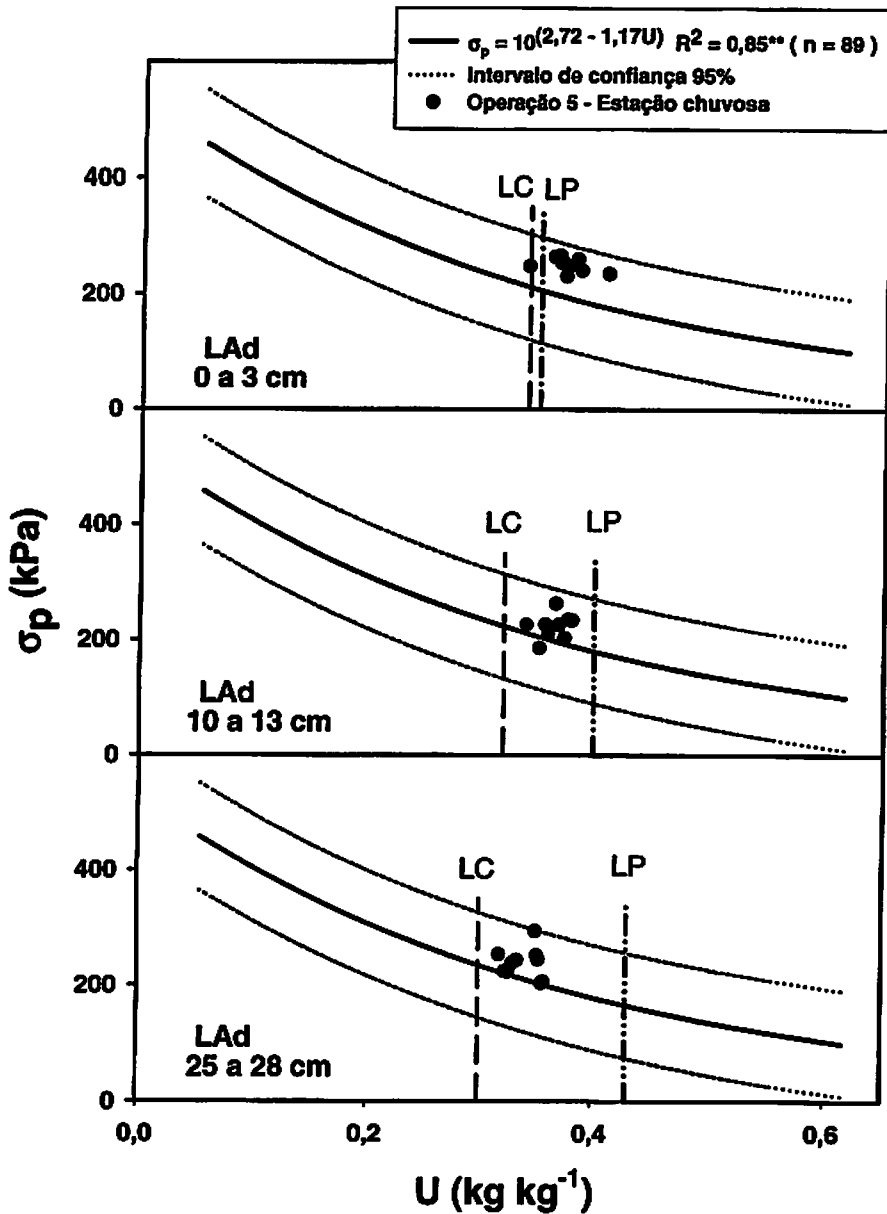


FIGURA 11. Modelo de capacidade suporte de carga para o Latossolo Amarelo distrófico típico nas profundidades de 0 a 3, 10 a 13 e 25 a 28 cm com seus respectivos limites de contração (LC) e plasticidade (LP). Os símbolos representam as pressões de preconsolidação determinadas após as operações da adubadora tracionada pelo trator Massey Ferguson 50X na estação chuvosa.

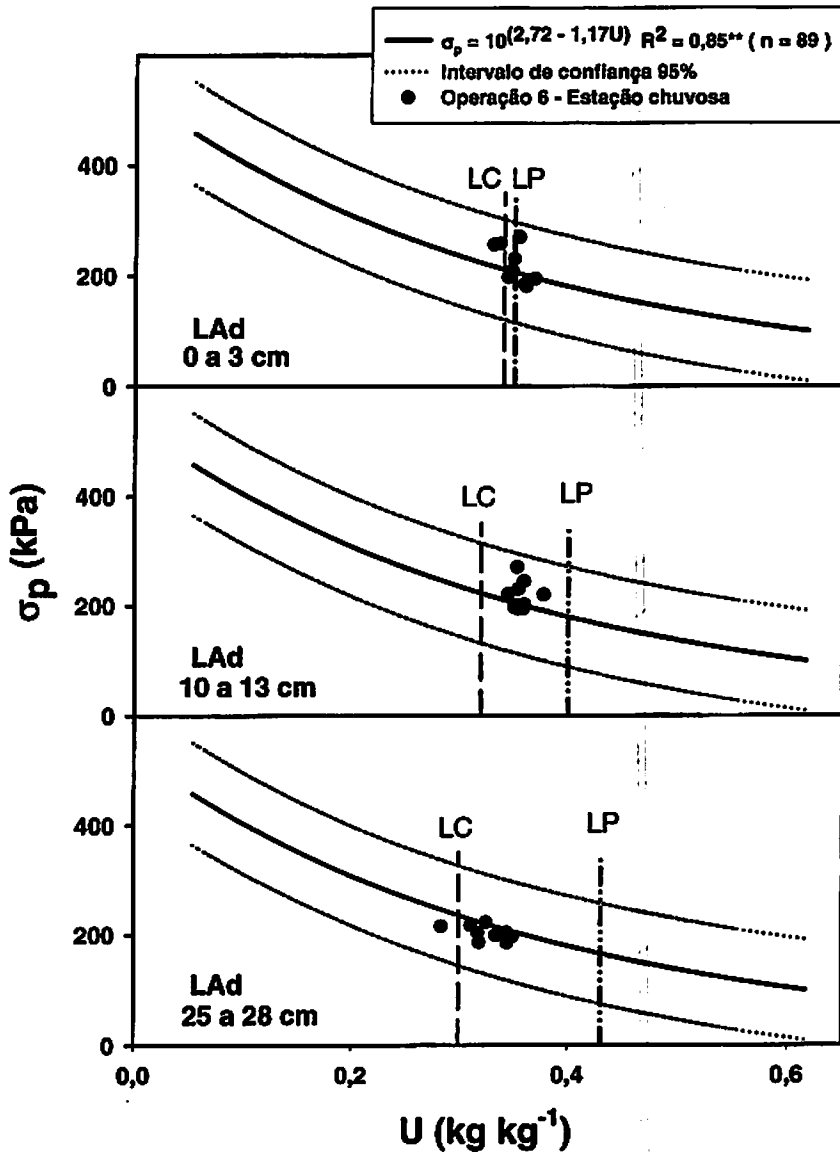


FIGURA 12. Modelo de capacidade suporte de carga para o Latossolo Amarelo distrófico típico nas profundidades de 0 a 3, 10 a 13 e 25 a 28 cm com seus respectivos limites de contração (LC) e plasticidade (LP). Os símbolos representam as pressões de preconsolidação determinadas após a operação do aplicador de herbicida tracionado pelo trator Massey Ferguson 265 na estação chuvosa.

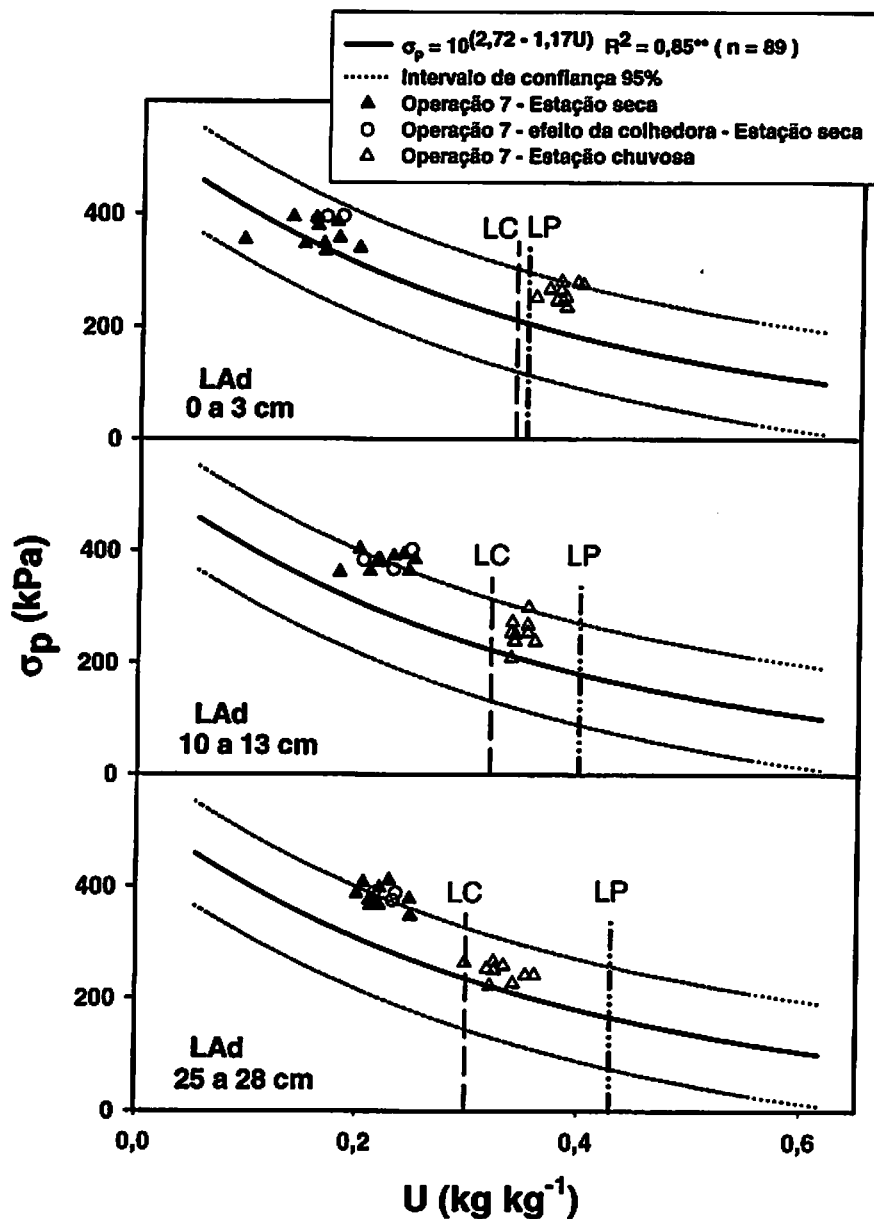


FIGURA 13. Modelo de capacidade suporte de carga para o Latossolo Amarelo distrófico típico nas profundidades de 0 a 3, 10 a 13 e 25 a 28 cm com seus respectivos limites de contração (LC) e plasticidade (LP). Os símbolos representam as pressões de preconsolidação determinadas após as operações de todos os equipamentos nas estações seca e chuvosa.

Considerando os critérios propostos por Dias Junior (2003), verificou-se que as operações realizadas com a colhedora (Figura 7) na estação seca, tendo este equipamento trafegado uma só vez na área, apresentou tendência a compactar o solo na profundidade 0 a 3 cm, enquanto, nas profundidades 10 a 13 e 25 a 28 cm, estas operações causaram compactação do solo em 30 e 20 % dos pontos amostrados, respectivamente. Estes resultados corroboram os obtidos por Castro Neto (2001), que afirmou que a camada de solo que apresenta imediatamente o efeito compactante causado pelo tráfego de um trator agrícola está situada entre a superfície e algum ponto entre 10 e 20 cm de profundidade. Estes resultados discordam daqueles obtidos por Borges et al. (2001), segundo os quais a pressão do rodado da máquina, ou mesmo de implementos agrícolas, não é transmitida a maiores profundidades.

Os efeitos obtidos pelo uso do pulverizador ao trafegar na área uma vez na estação seca e três vezes na estação chuvosa, apresentaram uma tendência a compactar o solo na camada superficial 0 a 3 cm, enquanto, nas profundidades de 10 a 13 e 25 a 28 cm, ocorreram compactações de 10 e 30 % dos pontos amostrados, respectivamente (Figura 8). Na estação chuvosa, o pulverizador causou, em 10% dos pontos amostrados, compactação na profundidade de 10 a 13 cm, no entanto, nas outras profundidades houve somente tendência a compactar o solo. A menor incidência de pontos compactados na época da chuva evidenciou um alívio na resistência mecânica do solo devido à ação da água.

As operações realizadas com a roçadora na época seca (Figura 9) apresentaram tendências a compactar o solo na profundidade de 0 a 3 cm, tendo causado compactação em 10% dos pontos amostrados na profundidade de 10 a 13 cm e em 50% dos pontos amostrados na profundidade de 25 a 28 cm. Na estação chuvosa este equipamento trafegou três vezes, causando compactação em 60% dos pontos amostrados na profundidade de 0 a 3 cm. Essa maior compactação ocorreu devido ao tráfego ter sido realizado em umidades acima do

LP, o que conferiu ao solo nesta umidade, uma baixa capacidade suporte de carga. Esses resultados corroboram com aqueles observados por Imhof et al., (2001), segundo os quais o solo quando úmido apresenta baixa capacidade de suporte de carga e ocorre um incremento em sua resistência à deformação com a redução da umidade do solo. Nas outras duas profundidades, as operações realizadas com a roçadora apresentaram tendências a compactar o solo.

Com relação à granuladora (Figura 10), à adubadora (Figura 11), e ao aplicador de herbicida (Figura 12), cujas operações foram realizadas somente na estação chuvosa, duas, três e uma vez respectivamente, estas apresentaram comportamento semelhantes nas três profundidades estudadas, mostrando uma tendência em compactar o solo.

Na figura 13 são observados os efeitos cumulativos do tráfego de todos os equipamentos quando trafegados na estação seca apresentaram uma tendência em compactar o solo na profundidade 0 a 3 cm tanto na linha de tráfego de todos os equipamentos quanto para a colhedora, devido ao fato de sua maior bitola não coincidir com a linha de tráfego dos outros equipamentos. Para as profundidades de 10 a 13 e 25 a 28 cm, 60 e 40% dos pontos coletados, respectivamente, apresentaram compactação. Respostas semelhantes foram encontradas por Wood et al., (1993), os quais verificaram que os repetidos eventos com o manejo agrícola, ou seja, o crescente número de passada, aumentou a degradação da estrutura do solo. Na estação chuvosa os efeitos desses equipamentos na profundidade de 0 a 3 m apresentaram compactação em 20% dos pontos coletados. Isso se justificou devido às operações terem ocorrido em umidades acima do LP, o qual representa o limite máximo de umidade, na qual as operações motomecanizadas podem ser realizadas para que o solo não seja comprometido (Kondo, 1998). Já na profundidade de 10 a 13 cm foi verificado que 10% dos pontos coletados foram compactados, enquanto, na profundidade de 25 a 28 cm, observou-se uma tendência a causar compactação.

Nas figuras 8, 9, e 13 observou-se que as pressões de preconsolidação induzidas pelas operações mecanizadas na época chuvosa são menores do que as determinadas na época seca. Este fato evidencia, neste caso, um alívio das pressões induzidas pelo tráfego, corroborando com Miranda (2001), que verificou o mesmo efeito em solos irrigados.

5 CONCLUSÕES

O modelo de capacidade suporte de carga do LAd é expresso pela equação $\sigma_p = 10^{(2,72-1,17U)}$ e permitiu, através dele, quantificar os efeitos do tráfego usado no manejo da lavoura cafeeira nas três profundidades estudadas.

As operações realizadas com a colhedora, pulverizador, roçadora e o efeito cumulativo do tráfego de todos estes equipamentos na época seca apresentaram tendência a compactar o solo nas três profundidades, apresentando para todos equipamentos, em alguns pontos, compactação nas profundidades de 10 a 13 e 25 a 28 cm.

As operações realizadas com pulverizador, adubadora, aplicador de herbicida, granuladora e o efeito cumulativo do tráfego de todos estes equipamentos na estação chuvosa apresentaram apenas tendência a compactar o solo. Já as operações realizadas com a roçadora compactaram ou apresentaram tendência a causar compactação na profundidade de 0 a 3 cm, devido ao maior número de passadas e à realização desta operação em condições de alta umidade ($U > LP$).

O efeito cumulativo do tráfego de todos equipamentos foi o que mais causou compactação nas profundidades de 10 a 13 e de 25 a 28 cm.

Observou-se uma redução das pressões de preconsolidação na estação chuvosa em relação à estação seca, indicando uma redução da capacidade suporte de carga devido ao aumento da umidade do solo.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARVIDSSON, J. Subsoil compaction caused by heavy sugarbeet harvestes in southern Sweden I. Soil physical properties and crop yield in six field experiments. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 60, n. 1/2, p. 67-78, June 2001.

① ASSOULINE, S.; TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Effect of compaction on soil physical and hydraulic properties: experimental results and modeling. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 61, n. 2, p. 390-398, Mar./Apr. 1997.

BLAKE, G. R. , HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, C. (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 1, physical and mineralogical methods*. 2. ed. Madison, WI: American Society Agronomy, 1986. p. 377-382. (Agronomy Monograph, 9).

BORGES, E. N.; PASSOS, R. R.; CORRÊA, G. F.; GUIMARÃES, E. C.; SILVA, C. A. DA; BORGES, E. V. S.; GUIMARÃES, P. T. G. Estudo de posições e variações espaciais, para alguns atributos físicos em solo de cerrado utilizado com cafeicultura, submetido a diferentes sistemas de manejo. In: *SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFEEIROS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória, ES. Anais...* Vitória, ES, 2001.

BOWLES, J. E. *Engineering properties of soils and their measurements*. 2. ed. Auckland: McGraw-Hill, 1978.

BOWLES, J. E. *Engineering properties of soils and their measurements*. 3. ed. Auckland: McGraw-Hill, 1986. 218 p.

CANARACHE, A.; HORN, R.; COLIBAS, I. Compressibility of soils in a long term field experiment with intensive deep ripping in Romania. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 56, n. 3/4, p. 185-196, Aug. 2000.

② CANILLAS, E. C.; SALOKHE, V. M. A decision support system for compaction assessment in agricultural soils. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 65, n. 2, p. 221-230, May 2002.

CARMAN, K. Compaction characteristics of towed wheels on clay loam in a soil bin. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 65, n. 1, p. 37-43, Apr. 2002.

CARPENEDO, V. *Compressibilidade de solos em sistemas de manejo*. 1994. 106 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CASAGRANDE, A. The determination of the pre-consolidation load and its practical significance. In: CONFERENCE ON SOIL MECHANIC AND FOUNDATION ENGINEERING, 1936, Cambridge. *Proceedings...* Cambridge: ICSMFE, 1936. v. 3, p. 60-64.

CASTRO NETO, P. *Desenvolvimento e avaliação de equipamentos e metodologia para determinação de parâmetros físicos do solo relacionados a dias trabalháveis com máquinas agrícolas*. 2001. 155 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrônômica, Botucatu, SP.

CHAMEN, T.; ALAKUKKU, L.; PIRES, S.; SOMMER, C.; SPOOR, G.; TJINK, F.; WEISSKOPF, P. *Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review Part 2. Equipment and field practices*. Amsterdam, 2003.

CULLEY, J. L. B.; LARSON, W. E. Susceptibility to compression of a clay loam Haplaquoll. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 51, n. 3, p. 562-567, May/June 1987.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle size analysis. In: KLUTE, C. A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Part 1, physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison, WI: American Society Agronomy, 1986. p. 545-567. (Agronomy Monograph, 9).

③ DEFOSSEZ, P.; RICHARD, G. Models of soil compaction due to traffic and their evaluation. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 67, n. 1, p. 41-64, Aug. 2002.

DEXTER, A. R.; TANNER, D. W. Time dependence of compressibility for remolded and undisturbed soils. **Journal of Soil Science**, Baltimore, v. 25, n. 2, p. 153-164, June 1974.

④ DIAS JUNIOR, M. S. Compactação do Solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: UFV, 2000. p. 55-94.

DIAS JUNIOR, M. S. **Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic**. 1994. 114 p. Tese (Doctorate in Crop and Soil Science) – Michigan State University, East Lansing.

⑤ DIAS JUNIOR, M. S. A soil mechanics approach study soil compaction In: ACHYUTHAN, H. **Soil and soil physics in continental environment**. Chennai: Allied Publishers Private, 2003. p. 179-199.

⑥ DIAS JUNIOR, M. S.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; SILVA, A. R.; FERREIRA, D. F. Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural dos solos em sistemas florestais na região de Aracruz-ES. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 371-380, out./dez. 1999.

⑦ DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. Influência da história de tensão e da umidade na modelagem da compactação do solo. In: ALVAREZV. V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1996a. p. 445-452.

⑧ DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. Revisão de Literatura. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 175-182, maio/ago. 1996b.

⑨ DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 139-151, Nov. 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

ETANA, A.; COMIA, R. A.; HAKANSSON, I. Effects of uniaxial stress on the physical properties of four Swedish soils. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 44, n. 1/2, p. 13-21, Dec. 1997.

FRITTON, D. D. An improved empirical equation for uniaxial soil compression for a wide range of applied stresses. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 65, n. 3, p. 678-684, May/June 2001.

GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho- Escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio convencional. 2000. 89 p. Tese (Doutorado em Água e Solo) - Universidade de Campinas, Campinas, SP.

GUPTA, S. C.; ALLMARAS, R. R. Models to access the susceptibility of soil to excessive compaction. *Advances in Soil Science*, New York, v. 6, p. 65-100, 1987.

GUPTA, S. C.; HADAS, A.; SCHAFER, R. L. Modeling soil mechanical behavior during compaction. In: LARSON, W. E.; BLAKE, G. R.; ALLMARAS, R. R.; VOORHEES, W. B.; GUPTA, S. C. (Ed.). *Mechanics and related process in structured agricultural soils*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1989. p. 137-152.

GUPTA, S. C.; HADAS, A.; VOORHEES, W. B.; WOLF, D.; LARSON, W. E.; SHNEIDER, E. C. Development of quids for estimating the ease of compaction of world soils. Bet Dagan, Israel: Binational Agricultural Research Development/University of Minnesota, 1985. 178 p. (Research Report).

GYSI, M. Compaction of a Eutric Cambisol under heavy wheel traffic Switzerland: Field data and a critical state soil mechanics model approach. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 61, n. 3/4, p. 133-142, Sept. 2001.

HILLEL, D. *Introduction to soil physics*. San Diego: Academic Press, 1982. 365 p.

HORN, R. Compressibility of arable land. *Catena*, Amsterdam, v. 11, p. 53-71, 1988. Supplement.

HORN, R. Strength of structured soils to loading – a review of process on macro and microscale; European aspects. In: LARSON, W. E.; BLAKE, G. R.; ALLMARAS, R. R.; VOORHEES, W. B.; GUPTA, S. C. **Mechanics and related process in structured agricultural soils**. The Netherlands: Kluwer Academic Publisher, 1989. p. 9-22.

IMHOF, S.; SILVA, A. P.; DIAS JUNIOR, M. S.; TORMENA, C. A.

12) Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 11-18, jan./mar. 2001.

ISHAQ, M.; IBRAHIM, M.; HASSAN, A.; SAEED, M.; LAL, R. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan: II. Root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 60, n. 3/4, p. 153-161, July 2001.

13) KONDO, M. K. **Compressibilidade de três Latossolos sob diferentes usos**. 1998. 95 p. Mestrado (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

14) KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 211-218, abr./jun. 1999a.

15) KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 773-782, out./dez. 1999b.

16) KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Estimativa do efeito do uso e da umidade do solo sobre a compactação adicional de três Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 497-506, jul./set. 1999c.

KOOLEN, A. J.; KUIPERS, H. **Agricultural soil mechanics**. New York: Springer, 1983. 241 p.

LARSON, W. E.; BLAKE, G. R.; ALLMARAS, R. R. VOORHEES, W. B.; GUPTA, S. C. **Mechanics and related processes in structured agricultural soils**. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1989. 273 p. (NATO Applied Science, 172).

LARSON, W. E.; GUPTA, S. C. Estimating critical stress in unsaturated soils from changes in pore water pressure during confined compression. **Soil Science**

Society of America Journal, Madison, v. 44, n. 6, p. 1127-1132, Nov/Dec. 1980.

LARSON, W. E.; GUPTA, S. C.; USECHE, R. A. Compression of agricultural soils from eight soil orders. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 44, n. 3, p. 450-457, May/June 1980.

LEBERT, M.; BURGER, N.; HORN, R. Effects of dynamic and static loading on of structured soils. In: LARSON, W. E.; BLAKE, G. R.; ALLMARAS, R. R.; VOORHEES, W. B.; GUPTA, S. C. (Ed.). Mechanics related process in structured agricultural soils. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1989. p. 73-80. (NATO applied sciences, v. 172).

LEBERT, M.; HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v. 19, n. p. 274-286, 1991.

MANTOVANI, E. S. Compactação do Solo. Informativo Agropecuario, Belo Horizonte, v. 13, n. 147, p. 52-55, mar. 1987.

MIRANDA, E. E. V. de. Avaliação da sustentabilidade da estrutura de um Latossolo sob cultivo de cafeeiro na região dos cerrados. 2001. 57 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

NEVENS, F.; REHEUL, D. The consequences of wheel- induced soil compaction and subsoiling for silage maize on a sandy loam soil in Belgium. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v. 70, n. 2, p. 175-184, Apr. 2003.

NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. Fósforo em solo e plantas em condições tropicais. Viçosa: UFV/DPS, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, G. C. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de manejo por 20 anos no Cerrado. 2002. 78 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PYTKA, J. Load effect upon soil stress and deformation state in structured and disturbed sandy loam for two tillage treatments. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v. 59, n. 1, p. 13-25, Apr. 2001.

RAJ, B. VAN.; GUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade.** Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 16 p. (IAC. Circular, 63).

REINERT, D. J. **Soil structural form and stability induced by tillage in a Typic Hapludalf.** 1990. 129 p. Thesis (Doutorate) – Michigan state University, East Lansing.

RIBEIRO, M. A. V. **Resposta da soja e do eucalipto a fósforo em solos de diferentes texturas, níveis de densidade e de umidade.** 1999. 71 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SANTOS, G. A. **Graus de compactação e adubação fosfatada no crescimento e nutrição do milho (*Zea mays L.*) em solos distintos.** 2001 80p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SERVADIO, P.; MARSILI, A.; PAGLIAI, M. PELLEGRINI, S. VIGNOZZI, N. **Effects on some clay soil qualities following the passage of rubber-tracked and wheeled tractors in central Italy.** *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 61, n. 3/4, p. 143-155, Sept. 2001.

19) SILVA, R. B. **Compressibilidade e resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob diferentes intensidades de uso na região dos cerrados.** 2002. 141 p. Tese (Doutorado em solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

33) SILVA, R. B.; LIMA, J. M.; DIAS JUNIOR, M. S. **Efeito da adsorção de fosfato em parâmetros físicos e na compressibilidade de solos tropicais.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 219-226, abr./jun. 1999.

SILVA, R. V.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SOARES, J. M. **Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-amarelo distófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I – Estado inicial de compactação.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 1-8, jan./mar. 2002.

SMUCKER, A. J. M.; ERICKSON, A. E. **Tillage and compactive modifications of gaseous flow and soil aeration.** In: LARSON, W. E.; BLAKE, G. R.; ALLMARAS, R. R.; VOORHEES, W. B.; GUPTA, S. C. (Ed.). **Mechanics related process in structured agricultural soils.** The Netherlands, 1989. p. 205-221. (NATO Applied Science, v. 172)

SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. Statistical methods. 8. ed. Ames: Iowa State University Press, 1989.

SOWERS, G. F. Consistency. In: BLACK, C. A. Methods of soil analysis physical and mineralogical properties including statistics of measurement and sampling. Madison: American Society of Agronomy, 1965. pt. 1, p. 391-399.

STONE, J. A.; LARSON, W. E. Rebond of five one dimensionally compressed unsaturated granular soils. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 44, n. 4, p. 819-822, July/Aug. 1980.

TAYLOR, H. M. Effects of soil strength on seedling emergence, root growth and crop yield. In: BARNES, K. K.; CARLETON, W. M.; TAYLOR, H. M.; THROCKMORTON, R. I.; VANDENBERG, G. E. Compaction of agricultural soils. St. Joseph: ASAE, 1971. p. 292-305. (Monograph)

TEODORO, R. E. F.; MELO, B.; SEVERINO, G. M.; FERNANDES, D. L.; FERREIRA NETO, J. G.; MARCUZZO, K. V. Avaliação de diferentes lâminas de irrigação do cafeeiro no cerrado mineiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro, BA. Anais... Porto Seguro, BA, 2003. 114 p.

WILLIAMSON, J. R.; NIELSEN, W. A. The effect of soil compaction, profile disturbance and fertilizer application on the growth of eucalypt seedlings in two glasshouse studies. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v. 71, n. 1/2, p. 95-107, Jan. 2003.

WOOD, R. K.; REEDER, R. C.; MORGAN, M. T.; HOLMES, R. G. Soil physics properties as affected grain cart traffic. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 36, n. 1, p. 11-14, Jan./Feb. 1993.