



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.  
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

## CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB CULTIVO DE CAFÉ IRRIGADO

José Antonio do Vale Sant'Ana<sup>1</sup>, Wellington Alves de Freitas<sup>1</sup>, João José da Silva Júnior<sup>1</sup>,  
Lidiane Aparecida Borges<sup>1</sup>, Wezer Lismar Miranda<sup>1</sup>, Maurício Cezar Resende Leite Júnior<sup>1</sup>,  
Alisson Souza De Oliveira<sup>1</sup>, Piero Iori<sup>2</sup>

### RESUMO

---

Para aplicação do conceito de sustentabilidade na cafeicultura, deve-se considerar dentre outros fatores, um manejo que favoreça a preservação da estrutura física do solo, sem o risco de causar compactação. O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a susceptibilidade e vulnerabilidade da estrutura de um solo cultivado com café, sob regime de irrigação por gotejamento. O solo analisado é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf). A cultivar de café em estudo é a Acaia MG-1474, plantada no espaçamento de 3,0 m entre linhas e 0,6 m entre plantas. Foram coletadas amostras indeformadas do solo sob a copa do cafeeiro e na entrelinha de plantio, nas profundidades de 0 a 3 e 10 a 13 cm. Para confecção do modelo de capacidade de suporte de carga do solo, as amostras foram submetidas a ensaio de compressão no consolidômetro. Os modelos foram bem ajustados. Não houve diferença significativa entre os modelos sob a copa e na entrelinha para as profundidades avaliadas. Diferença significativa foi observada apenas na comparação entre ambientes (sob copa e entrelinhas), sendo que na entrelinha ocorreu o maior nível de compactação do solo.

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do solo, UFLA, Câmpus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras, MG. e-mail: pieroiori\_@gmail.com. **Palavras-Chave:** ensaio de preconsolidação, compactação do solo, umidade do solo

### LOAD BEARING CAPACITY OF A DYSTROFERRIC RED LATOSOL UNDER IRRIGATED CROP COFFEE

#### ABSTRACT

To apply the concept of sustainability in coffee production, should be considered among other factors, a management that favors the preservation of the physical structure of the soil, without the risk of causing compaction. The present work was to evaluate the susceptibility and vulnerability of the structure of a coffee plantation soil under drip irrigation system. The tested soil is classified as Dystroferic Red Latosol (LVdf). The variety of coffee in study is the Acaia MG-1474, planted in a spacing of 3.0 m between rows and 0.6 m between plants. Samples were collected undisturbed soil under the canopy of the coffee tree planting and spacing, at depths of 0 to 3 and 10 to 13 cm. Order to build the model of load-bearing capacity of soil, samples were maintained within the core cylinders, which were placed into the compression cell. The models were well adjusted. There was no significant difference between the models under the canopy and leading to the depths evaluated. A significant difference was observed only when comparing environments (under canopy and between rows), and was leading in the highest level of soil compaction.

**Keywords:** preconsolidation test, soil compaction, soil moisture

---

<sup>1</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, UFLA, Câmpus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras, MG. e-mail: jantonio@posgrad.ufla.br, freitao@hotmail.com, jjsjunior1@yahoo.com.br, lili\_2126@hotmail.com, wmlismar@yahoo.com.br, mauricio\_vezar\_leite@yahoo.com.br, alissonso@hotmail.com.

<sup>2</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do solo, UFLA, Câmpus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras, MG. e-mail: pieroiori\_@gmail.com.

## 1. INTRODUÇÃO

Os impactos causados ao solo pela exploração agropecuária é algo relevante. Dentre estes, pode-se citar a compactação como um importante parâmetro que define a degradação física dos solos e que tem trazido grande inquietação, uma vez que pode ocasionar inúmeras perdas, inclusive da produtividade (GONTIJO et al., 2008).

A compactação pode ser causada por diversos fatores, como por exemplo, cultivo intensivo, mecanização, tráfego de máquinas durante operações de preparo, plantio e colheita de uma cultura, pisoteio de animais, dentre outros. Quando excessiva e sob inadequadas condições de umidade, pode provocar uma série de prejuízos aos solos, segundo a literatura (ALAKUKKU & ELONEN, 1994; ISHAQ et al., 2001) a compactação causa mudanças desfavoráveis na densidade, além de acarretar a diminuição da infiltração da água no solo (KULLI et al., 2003), gera o decréscimo na aeração do solo (CZYZ et al., 2001), além de incrementar o escoamento superficial, pode ocasionar erosão do solo (HORN et al., 1995). Por esse motivo a compactação do solo é considerada como um dos principais fatores responsáveis pela degradação física do solo (PAGLIAI et al., 2003).

De acordo com QUEIROZ-VOLTAN et al. (2000) em solos compactados, as raízes das plantas não utilizam adequadamente os nutrientes disponíveis, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes, responsáveis pela absorção de água e nutrientes, fica prejudicado. Em consequência, há alteração no funcionamento bioquímico da planta, restringindo, entre outros fatores, o crescimento da parte aérea e a produção da cultura (TURNER, 1996; OLIVEIRA et al., 2012).

Atualmente, buscam-se meios que propiciem o desenvolvimento agrícola e/ou pastoril de forma sustentável minimizando impactos futuros. Neste sentido, mostra-se oportuna a realização de medições das propriedades do solo como alternativa de conhecer previamente as suas características e detectar precocemente a sua capacidade suporte, ou seja, a capacidade em receber pressões.

Metodologias que avaliam esta capacidade são importantes no planejamento de operações e na adoção de estratégias de manejo para garantir menor alteração do ecossistema do solo. E, conforme GONTIJO (2007) a pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) é considerada uma metodologia adequada na prevenção da compactação adicional ao solo. Relaciona

a variação da capacidade suporte de carga dos solos em função da umidade.

Neste contexto, realça-se aqui a pressão de preconsolidação como um indicador quantitativo da resistência interna do solo e da sua sustentabilidade estrutural (GONTIJO et al., 2008).

Reportando à cafeicultura, que é foco deste estudo, o tráfego em condições inadequadas de umidade em áreas cultivadas com cafeeiros tem-se tornado preocupante em decorrência da compactação causada pelas máquinas ao longo dos anos (SILVA et al., 2006). Com a implantação desta cultura em áreas aptas à mecanização e o seu cultivo em larga escala, a utilização de máquinas agrícolas e a degradação da estrutura do solo têm sido observadas com maior frequência (GONTIJO et al., 2008).

Ainda, em qualquer condição de umidade e manejo, se as tensões aplicadas ao solo forem maiores do que a pressão de preconsolidação, a probabilidade do processo de compactação do solo ocorrer é grande, em decorrência da destruição da estrutura do solo (ARAÚJO-JUNIOR et al., 2011). De acordo com LEBERT & HORN (1991) no solo que já experimentou ciclos de secagem e umedecimento, a variação das pressões atuantes sobre ele determinará a formação de duas regiões distintas na curva de compressão do solo.

A Curva de compressão secundária e a reta de compressão virgem. A curva de compressão secundária representa os níveis de pressões sofridas pelo solo no passado, enquanto a reta de compressão virgem representa as primeiras pressões aplicadas ao solo, que resultaram em compactações adicionais.

Para que não haja compactação adicional o solo deve ser cultivado ou trafegado na região da curva de compressão secundária. A pressão de pré-compactação ( $\sigma_p$ ), representar a maior pressão que o solo já sofreu no passado, ou seja, é a pressão máxima que o solo suporta antes que ocorra compactação adicional e pode ser dividida em duas regiões: região de deformações pequenas, elásticas e recuperáveis (curva de compressão secundária) e região de deformações plásticas e não recuperáveis (reta de compressão virgem) (DIAS JUNIOR, 2000).

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).

Como objetivo deste experimento, pretendeu-se verificar a susceptibilidade e

vulnerabilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico cultivado com cafeeiro, quanto à compactação, entre as linhas de plantio e a projeção da copa da planta irrigada por gotejamento

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Departamento de Engenharia e no Laboratório de Física e Mecânica de Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras – MG. As coordenadas geográficas são as seguintes: latitude 21° 14' S, longitude 45° 00' W e a altitude é de 918,8 m, tendo como referência a Estação Climatológica Principal, pertencente à rede de observações meteorológicas de superfície

do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – no convênio UFLA/INMET. O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é do tipo Cwa, caracterizado por uma estação seca entre abril e setembro e uma estação chuvosa de outubro a março. A precipitação e a temperatura média anual são de 1.460 mm e 20,4 °C, respectivamente (DANTAS, 2007).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), apresentando as seguintes características físicas, conforme Tabela 1.

**Tabela 1** Valores das características físicas do solo em diferentes profundidades, para os parâmetros de: Densidade de partículas do solo (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), condutividade hidráulica (K) e condutividade elétrica da solução do solo (CE), da área experimental

Profundidade (cm)	Dp (g/cm <sup>3</sup> )	Ds (g/cm <sup>3</sup> )	PT (%)	K (cm/min)	CE (dS/m)
0 – 10	2,88	1,24	56,91	0,0378	0,40531
10 – 20	2,90	1,39	52,08	0,0794	0,49600
20 – 30	2,93	1,22	58,25	0,0358	0,28300
30 – 40	2,95	1,24	57,98	0,0142	0,22389
40 – 50	2,94	1,22	58,50	0,0254	0,24998

Para a condução deste experimento foi utilizada uma lavoura já implantada em março de 1997 e recepada em outubro de

2004, sendo que a cultivar é Acaiá MG-1474 plantada no espaçamento de 3,0 m entre linhas e 0,6 m entre plantas. A

lavoura é constituída por 13 linhas de plantio com média de 103 plantas por linha totalizando 1339 plantas. O sistema de irrigação utilizado é o gotejamento superficial, sendo caracterizado pela aplicação de água no solo de modo a formar uma faixa contínua ao longo da linha de plantas. As irrigações foram realizadas sempre que a planta consumia 25% da água disponível na camada de 0-20 cm. As entrelinhas, não recebiam irrigação, sendo que os tratos culturais foram realizados de forma manual de acordo com as necessidades da cultura.

Fazendo uso do amostrador de Uhland, coletaram-se em maio de 2011, amostras de solo sendo os tratamentos na projeção da copa (faixa molhada de irrigação), nas profundidades de 0 a 3 cm (C03) e 10 a 13 cm (C13) e na entrelinha de 0 a 3 cm (E03) e 10 a 13 cm (E13), coletando-se 6 amostras de solo indeformadas em cada tratamento, em anéis metálicos identificados, com as dimensões de 2,55 cm de altura por 6,3 cm de diâmetro médio. Após a coleta as amostras de solo foram cuidadosamente embaladas em filme plástico para se evitar uma possível alteração da estrutura do solo e da umidade natural. Em laboratório, o excesso de solo das amostras foi retirado até que atingissem as dimensões do anel, e parte deste excesso foi utilizado para determinar a umidade atual do solo.

Saturou-se duas amostras de cada tratamento, aplicando-se em uma das amostras a sucção de 0,02 atm na mesa de tensão (representando a umidade inicial) e na outra amostra a tensão de 1 atm no extrator de Richards (para escolha do método a se utilizar: o método 1  $\leq$  100kPa ou o método 3  $>$ 100kPa, de acordo com DIAS JUNIOR (1994)). Estimadas essas umidades, as amostras foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial no consolidômetro de acordo com o método proposto por BOWLES (1986), modificado por DIAS JUNIOR (1994) para aplicação do modelo de capacidade de suporte de carga do solo.

As umidades de 0,08 e 0,45  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  foram estabelecidas respectivamente como limites inferior e superior e foram determinados os valores intermediários para modelagem da compactação. As pressões aplicadas a cada amostra, utilizando consolidômetros, obedeceram à seguinte ordem; 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa. Cada pressão foi aplicada até que 90 % da deformação máxima fossem alcançada (TAYLOR, 1948), e somente então se aplicava nova pressão. Após o término do ensaio, as amostras foram levadas à estufa a 105–110 °C, até que se obtivesse massa constante, para determinação da umidade gravimétrica, conforme EMBRAPA (1997).

As pressões de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) foram obtidas por meio da curva de compressão (DIAS JUNIOR & PIERCE, 1995) e marcadas de acordo com a umidade, utilizando-se o software Sigma Plot 12.0 (Jandel Scientific, P.O. Box 7005, San Rafael, CA, USA, versão demonstrativa). Assim foram obtidas as equações matemáticas que correspondessem aos modelos de capacidade de suporte de carga do solo, de acordo com o modelo  $\sigma_p = 10^{(a+0b)}$ . As comparações das equações dos modelos de capacidade de suporte de carga entre os tratamentos foram feitas adotando-se o procedimento descrito por SNEDECOR & COCHRAN (1989).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 1 (a, b, c e d) são apresentados os gráficos do ensaio de preconsolidação para todos os tratamentos com as respectivas equações de ajuste do modelo. As curvas apresentadas representam os valores máximos das pressões que podem ser aplicados ao solo, para uma determinada umidade, para que a degradação da estrutura seja evitada.

O parâmetro estimado “a” (intercepto da regressão linearizada) variou de 2,75 a 2,94, já o parâmetro “b” (coeficiente angular da regressão linearizada), variou de -1,99 a -1,05. Os coeficientes de

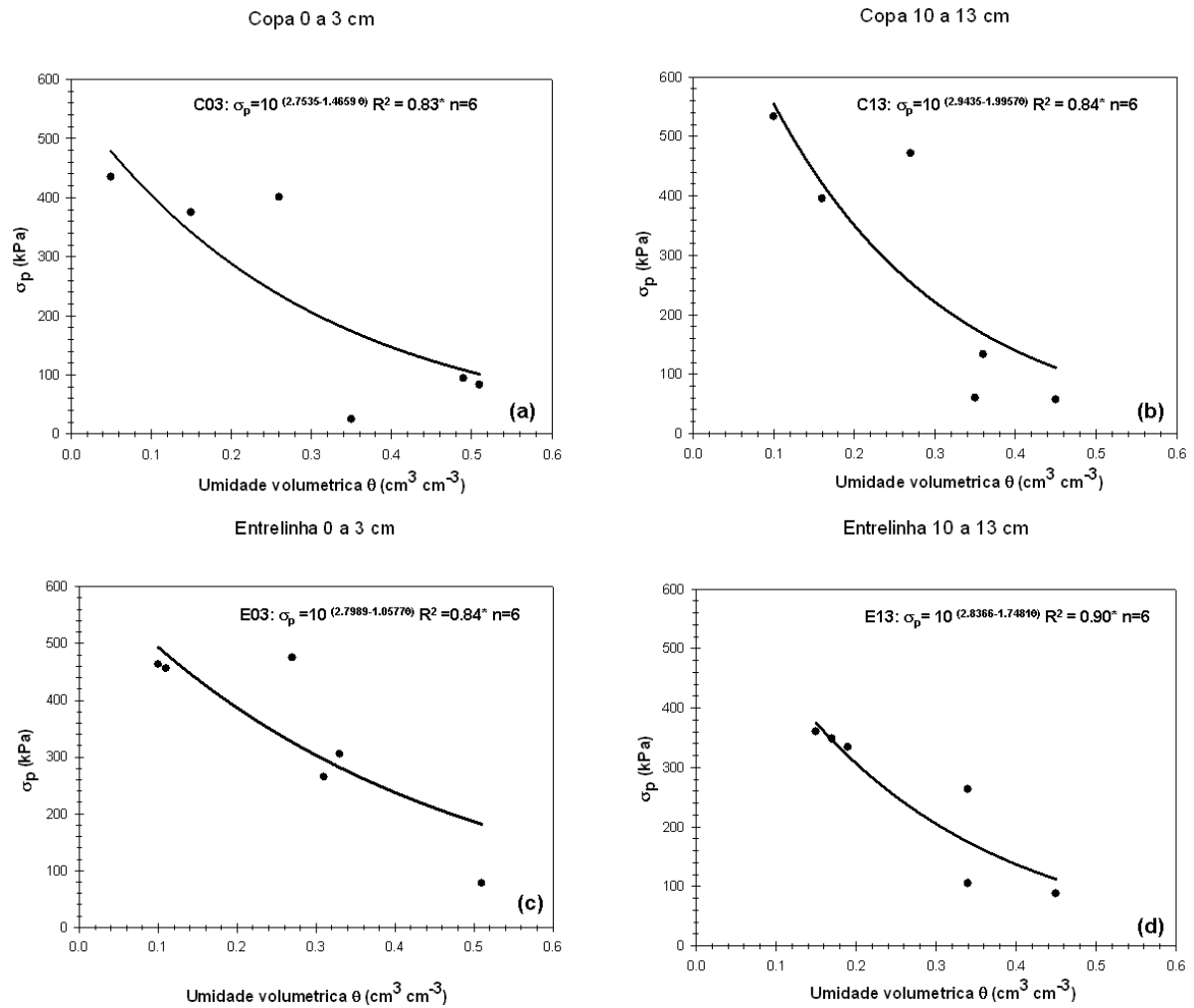
determinação ( $R^2$ ) variaram de 0,83 a 0,90, sendo todos significativos a 5 % pelo teste de t-Student. PENG et al. (2004), estudando a relação entre pressão de preconsolidação e umidade gravimétrica, obtiveram um modelo exponencial semelhante ao utilizado neste estudo. Esses autores concluíram que o parâmetro “a” indica a resistência intrínseca do solo seco e o “b” descreve a influência de atributos do solo, como textura e matéria orgânica, na resistência deste.

O menor valor do coeficiente linear “a” encontrado ocorreu na projeção da copa (C), na profundidade de 0-3 cm. Um menor coeficiente linear indica um solo com menor capacidade de suporte de carga inicial. KONDO & DIAS JUNIOR (1999a) e SILVA & CABEDA (2006), trabalhando em diferentes solos sob mata nativa, encontraram correspondência entre os menores valores do coeficiente linear e de capacidade de suporte de carga.

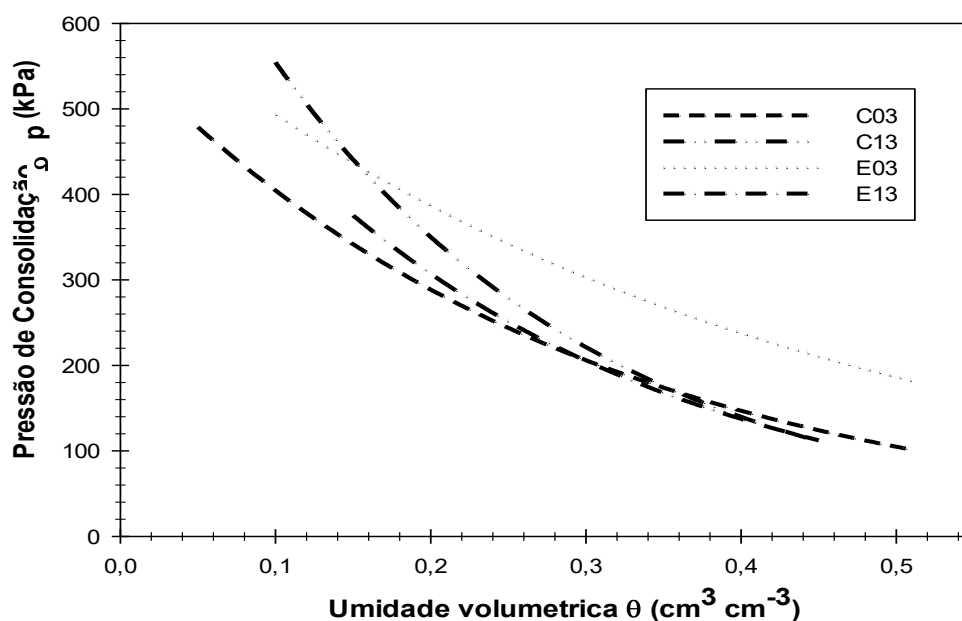
Para fins de uma melhor visualização, as curvas foram relacionadas em um único gráfico (Figura 2). Observou-se que para uma mesma umidade a curva apresentou maior pressão de preconsolidação, logo, maior capacidade de suporte de carga, corresponde a um solo mais compactado. Desta forma, nota-se que o solo representado pela curva E03 apresenta maior capacidade de suporte de

carga para umidades acima de  $0,16 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  e a curva C03 representa o solo com

menor grau de compactação até a umidade de  $0,30 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .



**Figura 1** Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) cultivado com cafeeiro, (a) e (b) na projeção da copa, (c) e (d) na entrelinha nas profundidades de 0-3 e 10-13 cm. \*significativo ao nível de 5%.



**Figura 2** Curvas de pressão de pré-consolidação para um Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf) em diferentes posições de amostragem na lavoura cafeeira

Como não houve diferença estatística entre os modelos (Tabela 2), nas profundidades estudadas, tanto na projeção

da copa quanto na entrelinha, as curvas foram sobrepostas e ajustadas em um único gráfico.

**Tabela 2** Teste de significância, descrito por Snedecor & Cochran (1989), entre os modelos de capacidade de suporte de carga [ $\sigma_p = 10^{(a+\theta b)}$ ], para o Latossolo Vermelho Distroférrico, para os diferentes ambientes de café irrigado.

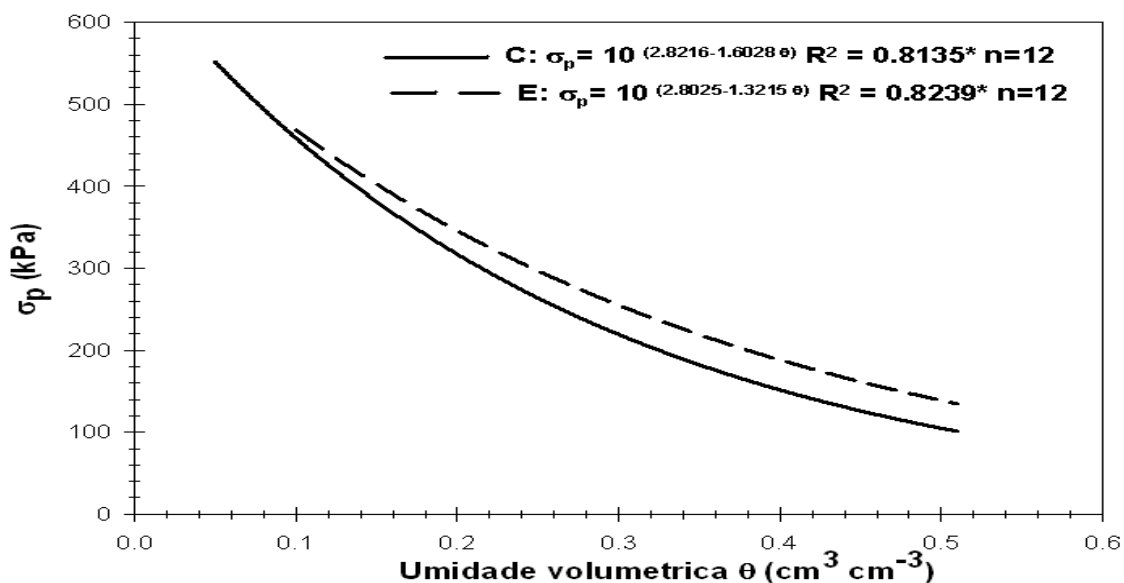
Tratamento	Profundidade (cm)	F	F	
			Coefficiente linear (a)	Coefficiente angular (b)
Copa	0-03 x 10-13	H	ns	ns
Entrelinha	0-03 x 10-13	H	ns	ns
Entrelinha x Copa	0-13	NH	ns	ns

NH: não homogêneo; H: homogêneo; ns: não significativo a 5%



Uma nova equação de regressão foi ajustada, obtendo-se, um único modelo de capacidade de suporte de carga para a projeção da copa e outro para entrelinha (Figura 3). Os parâmetros “a” e “b” do modelo [ $\sigma_p = 10^{(a + \theta b)}$ ], foram de 2,8216 e 2,8025 e -1,6028 e -1,3215 para projeção

da copa e entrelinha, respectivamente. Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram de 0,8135 (projeção da copa) e 0,8239 (entrelinha).



**Figura 3** Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf) cultivado com cafeeiros em diferentes locais de amostragem. C: projeção da copa do cafeeiro e E: entrelinha dos cafeeiros. \*significativo ao nível de 5%.

A projeção da copa e a entrelinha apresentaram comportamentos distintos com relação à capacidade de suporte de carga (Tabela 2), devido aos manejos diferenciados aplicados em cada local. Nesse caso, entre os fatores que influenciam a capacidade de suporte de carga de um solo, o manejo (história de tensão) destaca-se, justificando esse comportamento. A entrelinha apresentou maior capacidade de suporte de carga em razão do trânsito para realização da

colheita e dos tratos culturais, desde a implantação da lavoura. Apresentando desta forma maior compactação e conseqüentemente uma maior degradação da estrutura do solo. Já a projeção da copa apresentou menor capacidade de suporte de carga, devido ao menor trânsito e maior incorporação de matéria orgânica, aliada a irrigação por gotejamento, que acelera o processo de degradação melhorando a estrutura do solo. Quanto aos coeficientes

(a e b) não houve diferença estatística, ao nível de significância de 5% (Tabela 2).

#### 4. CONCLUSÕES

O modelo de capacidade de suporte de carga apresentou um bom ajuste, sendo confirmado pelos altos valores do coeficiente de correlação ( $R^2$ ).

Não houve diferença estatística entre os tratamentos, com relação à profundidade, porém, quanto ao local de amostragem (projeção da copa e entrelinha), foram estatisticamente distintos, sendo que a entrelinha apresentou maior capacidade de suporte de carga, conseqüentemente, maior compactação e degradação da estrutura do solo.

#### 5. REFERÊNCIAS

- ALAKUKKU, L. & ELONEN, P. Finish experiment on subsoil compaction by vehicles with high axle load. **Soil & Tillage Research**, v. 29, p. 151-155, 1994.
- ARAUJO-JUNIOR, C. F., DIAS JUNIOR, M. S., GUIMARÃES, P. T. G., ALCÂNTARA, E. N. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um latossolo induzida por diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 115-131, 2011.
- BOWLES, J.E. **Engineering properties of soils and their measurements**. 3.ed. Auckland, McGraw-Hill, 218p, 1986.
- CZYZ, E. A., TOMASZEWSKA, J., DEXTER, A. R. Response of spring barley to changes of compaction and aeration of sandy soil under model conditions. **International Agrophysics**, v. 15, p. 9-12, 2001.
- DANTAS, A. A. A., CARVALHO, L. G. DE, FERREIRA, E. 2007. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p.1862-1866, 2007.
- DIAS JUNIOR, M.S. & PIERCE, F.J. 1995. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, v. 8, p.139-151, 1995.
- DIAS JUNIOR, M.S. 1994. 114 p. **Compression of three soils under longterm tillage and wheel traffic. East Lansing**, Michigan State University. (Tese de Doutorado).
- DIAS JUNIOR, M. S. Compactação do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 1, p. 56-94, 2000.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006. 306 p.
- \_\_\_\_\_. **Manual de métodos de análises de solo**. 1997. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento. 1997. 212 p.
- GONTIJO, I., DIAS JUNIOR, M. S., GUIMARÃES, P. T., ARAUJO-JUNIOR, C. F. Atributos físico-hídricos de um latossolo de cerrado em diferentes posições de amostragem na lavoura cafeeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2227-2234, 2008.
- GONTIJO, I. 2007. 120 p. **Variabilidade espacial do comportamento compressivo de dois latossolos sob diferentes usos**. Lavras:UFLA. (Tese de Doutorado).

- HORN, R., DOMZAL, H., SLOWINSKA-JURKIEWICZ, A., VAN OUWERKERK, C. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. **Soil & Tillage Research**, v.35, p. 23-36, 1995.
- ISHAQ, M.; HASSAN, A.; SAEED, M.; IBRAHIM, M. & LAL, R. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan. I. Soil physical properties and crop yield. **Soil & Tillage Research**, v. 59, p. 57-65, 2001.
- KONDO, M.K. & DIAS JUNIOR, M.S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 211-218, 1999.
- KULLI, B., GYSI, M., FLUHLER, H. Visualizing soil compaction based on flow pattern analysis. **Soil & Tillage Research**, v. 70, p. 29-40, 2003.
- LEBERT, M.; HORN, R. A. Method to predict the mechanical strength of agricultural soils. **Soil & Tillage Research**, v.19, p.275-286, 1991.
- MIRANDA, E.E.V.; DIAS JUNIOR, M.S.; GUIMARÃES, P.T.G.; PINTO, J.A.O.; ARAÚJO JUNIOR, C.F. & LASMAR JUNIOR, E. Efeito do manejo e do tráfego nos modelos de sustentabilidade da estrutura de um Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiros. **Ciência e Agrotecnologia**, p. 1506-1515, 2003. (Edição especial).
- OLIVEIRA, P. R. de; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. da C.; FRANCO, H. B. J.; PEREIRA, F. de S.; BÁRBARO JÚNIOR, L. S.; ROSSETTI, K. de V. Qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja submetido a níveis de compactação e de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online], v. 36, p. 587-597, 2012.
- PAGLIAI, M., MARSILI, A., SERVADIO, P., VIGNOZZI, N., PELLEGRINI, S. Changes in some physical properties of a clay soil in Central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. **Soil & Tillage Research**, v. 73, p. 119-129, 2003.
- PENG, S.H.; HORN, R.; ZHANG, B. & ZHAO, Q.G. Mechanisms of soil vulnerability to compaction of homogenized and recompact Ultisols. **Soil & Tillage Research**, v. 76, p. 125-137, 2004.
- QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 929-938, 2000.
- SILVA, A.J. & CABEDA, M.S.V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 921-930, 2006.
- SILVA, A.R. DIAS JUNIOR, M.S.; GUIMARÃES, P.T.G. & ARAÚJO JUNIOR, C.F. 2006. Modelagem da capacidade de suporte de carga e quantificação dos impactos causados pelas operações mecanizadas na estrutura de um Latossolo Amarelo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 207-216, 2006.
- SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, 1989. **Statistical methods**. 8.h ed. Ames: Iowa State University.
- TAYLOR, D.W. **Fundamentals of soil mechanics**. New York, John Wiley. 1948. 770 p.
- TURNER, N.C. 1996. Further progress in crop water relations. **Advances in Agronomy**, v. 58, p.293-338, 1996.