



Capacidade de suporte de carga do solo em áreas produtoras de Eucalipto⁽¹⁾.

Reginaldo Barboza da Silva⁽²⁾; Piero Iori⁽³⁾; Ricardo Nakamura⁽⁴⁾; Marília de Souza Bento⁽⁵⁾; Zigomar Menezes de Souza⁽⁶⁾; David de Carvalho⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Trabalho vinculado ao projeto de pesquisa de bolsa de produtividade do 1º autor (Processo CNPq nº 302919/2011-2); ⁽²⁾ Professor do curso de Agronomia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Registro, São Paulo; Bolsista produtividade do CNPq; rbsilva@registro.unesp.br; ⁽³⁾ Professor do curso de Agronomia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”; ⁽⁴⁾ Engenheiro Agrônomo, Agronomia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”; ⁽⁵⁾ Estudante de Agronomia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”; ⁽⁶⁾ Professor do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo;.

RESUMO: O uso de modelos de capacidade de suporte de carga do solo é uma ferramenta útil para auxiliar na prevenção ou na identificação da compactação dos solos. Este trabalho teve por objetivo modelar a capacidade de suporte de carga do solo (CSCS) das camadas superficial e subsuperficial um Latossolo Vermelho (LVd2) e um Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd5), ambos cultivados mecanicamente com a cultura do eucalipto. Os ensaios de compressão uniaxial foram realizados em um consolidômetro automático com interação homem máquina (IHM), com os seguintes níveis de pressão aplicados ao corpo-de-prova: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa. Os valores de pressão e deformação foram devidamente tratados e plotados em um gráfico, obtendo-se, assim, a curva de compressão do solo da qual a pressão de préconsolidação foi estimada. Foi concluído que o Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho apresentaram comportamento estrutural semelhante entre si na camada superficial; a camada subsuperficial do Latossolo Vermelho apresentou maior capacidade de suporte de carga quando comparada à camada superficial deste mesmo solo e às demais camadas do Argissolo Vermelho-Amarelo; para graus de consistência mais elevados (acima de 15%), a menor capacidade de suporte de carga foi evidenciada camada subsuperficial do Argissolo Vermelho-Amarelo.

Termos de indexação: compactação do solo, estrutura do solo, pressão de préconsolidação.

INTRODUÇÃO

São frequentes os questionamentos e até mesmos, alguns resultados de pesquisas relatando o impacto do manejo da cultura do eucalipto sobre o complexo sortivo (fertilidade), erosão hídrica (perda de solo) e mais recentemente, devido à excessiva mecanização (plantio e colheita) sobre a degradação da estrutura do solo.

Um dos reflexos da degradação da estrutura do solo é a compactação do solo. Objetivando avaliar os efeitos da compactação, Dias Júnior & Pierce (1995), Silva et al. (2003), Iori et al. (2012), Iori et al. (2013), empregaram o ensaio de compressão uniaxial. Este consiste na aplicação de pressões sucessivas e contínuas, previamente estabelecidas, a uma amostra indeformada de material de solo na condição parcialmente saturada, obtendo a curva de compressão do solo e a pressão de préconsolidação do solo.

O uso da pressão de préconsolidação como um indicador da sustentabilidade da estrutura do solo se baseia no fato de que esta divide a curva de compressão do solo em duas regiões: uma de deformações elásticas e recuperáveis (portanto, não degradando a estrutura do solo) e uma região de deformações plásticas e não recuperáveis (região em que ocorre degradação estrutural) (Holtz & Kovacs, 1981; Dias Júnior & Pierce, 1996). De acordo com Römken & Miller (1971), a importância do conhecimento da pressão de préconsolidação é amplamente reconhecida por auxiliar na implementação de sistemas conservacionistas de manejo e por estar relacionada com a resistência do solo à penetração das raízes. Além disso, Dias Junior et al. (2002) destacam que nas atividades agroflorestais, a aplicação no solo de pressões maiores do que a pressão de préconsolidação deve ser evitada para que deformações não recuperáveis não ocorram, mantendo, portanto, a condição de sustentabilidade da estrutura do solo.

Dessa forma, o monitoramento da qualidade do solo por meio de seus atributos físico-mecânicos é importante na manutenção e avaliação da sustentabilidade estrutural do solo. Este trabalho teve por objetivo desenvolver modelos de capacidade de suporte de carga do solo em um Latossolo Vermelho e um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado mecanicamente com a cultura do eucalipto.



MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Fazenda Santana, UP 54C226, em áreas de Unidades Florestais da empresa Suzano Papel e Celulose, no município de Itararé – SP. O clima da região, de acordo com Köppen, é o Cfa, temperado úmido, sem estação seca definida, com temperatura média anual de 19,4°C e precipitação pluvial média anual de 1415 mm.

Definiu-se como área experimental, dois talhões produtores de eucalipto com manejos mecanizados. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, nas camadas superficiais (0 a 10 cm) e subsuperficiais (20 a 30 cm) de um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd2), A moderado ou proeminente, textura argilosa, álico, relevo plano a suavemente ondulado (densidade de partícula de 2,43 Mg m⁻³, com 37% de argila, 28% de areia e 35% de silte) e um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd5), A moderado, textura argilosa, fase concrecionária, relevo ondulado (densidade de partícula de 2,50 Mg m⁻³, com 37% de argila, 31% de areia e 32% de silte). As amostras indeformadas foram coletadas na linha de plantio (LP) do eucalipto.

Para a coleta das amostras indeformadas foi utilizado o amostrador Uhland com anel volumétrico. As amostras deformadas foram coletadas com o auxílio de um trado holandês e acondicionadas em sacos plásticos. As análises foram realizadas no Laboratório de Física e Mecânica do Solo da Universidade Estadual Paulista, Campus de Registro. A análise granulométrica das classes de solo foi determinada pelo método da pipeta, de acordo com os procedimentos descritos em Day (1965). A densidade de partícula (método do balão volumétrico) foi determinada de acordo com Embrapa (2011).

Deve ser realçado, que os modelos de capacidade de suporte de carga foram obtidos de amostras indeformadas de solo coletadas na linha de plantio (LP), por entender que as operações agrícolas (preparo e subsolagem) ali empregadas, mobilizou e rompeu a resistência mecânica de camadas compactadas, tonando o solo estruturalmente adequado ao desenvolvimento da planta.

Os ensaios de compressão uniaxial foram realizados em um consolidômetro automático com interação homem máquina (IHM), modelo CNTA-IHM/BR-001/07, desenvolvido por Silva et al. (2015). Os níveis de pressão aplicados ao corpo-de-prova foram: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa, observando-se a suposição que define a

deformação máxima de até 90% do corpo de prova, para cada nível de pressão. Os valores de pressão e deformação foram devidamente tratados e plotados em um gráfico, obtendo-se, assim, a curva de compressão do solo (densidade do solo em função do logaritmo das pressões aplicadas). A partir da curva de compressão foi estimada a σ_p , observando a sugestão dos métodos M1 e M3, propostos por Dias Júnior & Pierce (1995).

Para elaboração dos modelos de capacidade de suporte de carga do solo (MCSC), os valores de σ_p foram plotados em função da umidade volumétrica (θ) a que cada amostra foi submetida e, posteriormente, ajustados ao modelo $\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$, proposto por Dias Júnior (1994). As comparações dos MCSC foram realizadas utilizando a suposição de Snedecor & Cochran (1989). A construção dos gráficos foi realizada por meio da versão demonstrativa do aplicativo Sigma Plot 11.0 (Systat Software Inc®).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **figura 1** são apresentados os modelos de capacidade de suporte de carga para um Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd5) e Latossolo Vermelho (LVd2) nas duas camadas de solo (superficial e subsuperficial) analisadas. Os modelos descrevem o comportamento da pressão de preconsolidação em função do teor de água, conforme o modelo $\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$, sugerido por Dias Junior (1994).

As equações ajustadas para camadas de solo dentro de cada classe de solo diferiram estatisticamente (**Tabela 1**), contudo, quando se compara classes de solo dentro de camada, o LVAd5 não diferiu estatisticamente do LVd2 na camada superficial. Estes resultados sugerem, portanto, que para este último caso, os dados de umidade e pressão preconsolidação sejam juntados e um novo modelo seja ajustado, o qual passa descrever a CSC para as duas classes de solo na respectiva camada.

Dessa forma, foi ajustado um novo modelo de capacidade de suporte de carga ajustado para o Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd5) e Latossolo Vermelho (LVd2) na camada superficial, além dos modelos de capacidade de suporte de carga para o Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd5) na camada subsuperficial e para o Latossolo Vermelho (LVd2) na camada subsuperficial (**Figura 2**).

Os modelos e seus respectivos parâmetros foram altamente significativos, com coeficientes de determinação (R^2) que variaram de 0,86 a 0,94. Os valores de σ_p na condição tenaz (ensaios de compressibilidade realizados para teores de água



abaixo de 10%) não ultrapassaram os 480 kPa e na condição plástica (ensaios de compressibilidade realizados para teores de água próximo da umidade saturação) ficaram acima dos 100 kPa. Os valores de σ_p reduziram exponencialmente conforme o aumento do teor de água, evidenciando que quando mantido constantes os demais atributos físicos (fatores internos) do solo, é a água que governa o comportamento mecânico do solo.

O modelo ajustado para o LVd2 na camada subsuperficial evidencia maior capacidade de suporte do que o PVAd5 e LVd2 na camada superficial e PVAd5 na camada subsuperficial, isto é, foram observados maiores valores de σ_p no LVd2 na camada subsuperficial em relação às demais condições avaliadas (PVAd5 e LVd2 na camada superficial e PVAd5 na camada subsuperficial) para um mesmo conteúdo de água (**Figura 2**).

A melhor preservação das condições estruturais do solo (menor capacidade de suporte de carga) foi evidenciada na camada subsuperficial no PVAd5, especialmente quando este foi submetido a um maior grau de consistência (valores de umidade acima de 15%). Por outro lado, para menores graus de consistência (umidades menores do que 15%), tanto no o PVAd5 e LVd2, a camada superficial evidenciou menor capacidade de suporte de carga (**Figura 2**).

CONCLUSÕES

O Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho apresentaram comportamento estrutural semelhante entre si na camada superficial.

A camada subsuperficial do Latossolo Vermelho apresentou maior capacidade de suporte de carga quando comparada à camada superficial deste mesmo solo e às demais camadas do Argissolo Vermelho-Amarelo.

Para graus de consistência mais elevados (acima de 15%), a menor capacidade de suporte de carga foi evidenciada camada subsuperficial do Argissolo Vermelho-Amarelo.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão da bolsa de produtividade ao primeiro autor e a empresa Suzano Papel e Celulose pela disponibilidade das áreas experimentais e demais suportes à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- DAY, P.R. Particle fractionation and particle size analysis. American Society of Agronomy, 1:545-566, 1965.
- DIAS JÚNIOR, M. S. Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic. 1994. 114 f. Thesis (Ph.D. in Crop and Soil Sciences) – Michigan State University, East Lansing.
- DIAS JÚNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. Soil Tillage Research, 8:139-151, 1995.
- DIAS JÚNIOR, M. S.; PIERCE, J. F. Revisão de literatura: o processo de compactação do solo e sua modelagem. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 20:175-182, 1996.
- DIAS JÚNIOR, M. S.; GOMES, A. N.; ANDRADE, S. C.; AZEVEDO, M. B. Avaliação da sustentabilidade da estrutura de Argissolos em sistemas florestais. Cerne, 8:103-114, 2002.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Embrapa, 2011.
- HOLTZ, R. D.; KOVACS, W. D. An introduction to geotechnical engineering. New Jersey: Prentice-Hall, 1981. 733p.
- IORI, P.; SILVA, R.B.; DIAS JÚNIOR, M.S.; LIMA, J.M. Pressão de preconsolidação como ferramenta de análise da sustentabilidade estrutural de classes de solos com diferentes usos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 36:1448-56, 2012.
- IORI, P.; DIAS JUNIOR, M.S.; AJAYI, A.E.; GUIMARÃES, P.T.G.; PAIS, P.S.M.; ANDRADE, M.L.C. Comparison of field and laboratory models of the load bearing capacity in coffee plantations. Ciência e Agrotecnologia, 37:130-7, 2013.
- SILVA, R. B.; DIAS JÚNIOR, M. S.; SANTOS, F. L.; FRANZ, C. A. B. Influência do preparo inicial sobre a estrutura do solo quando da adoção do sistema plantio direto, avaliada por meio da pressão de preconsolidação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 23:219-226, 2003.
- RÖMKENS, M. J. M.; MILLER, R. D. Predicting root size and frequency from one-dimensional consolidation data: a mathematical model. Plant and Soil, 35:237-248, 1971.
- SILVA, R. B.; MASQUETO, B. J.; LANÇAS, K. L.; SILVA, F. A. M. Desenvolvimento, automação e desempenho de um consolidômetro com interface homem-máquina. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 39:416-427, 2015.
- SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. Statistical methods. 8.ed. Ames, Iowa State University Press, 1989. 503p.

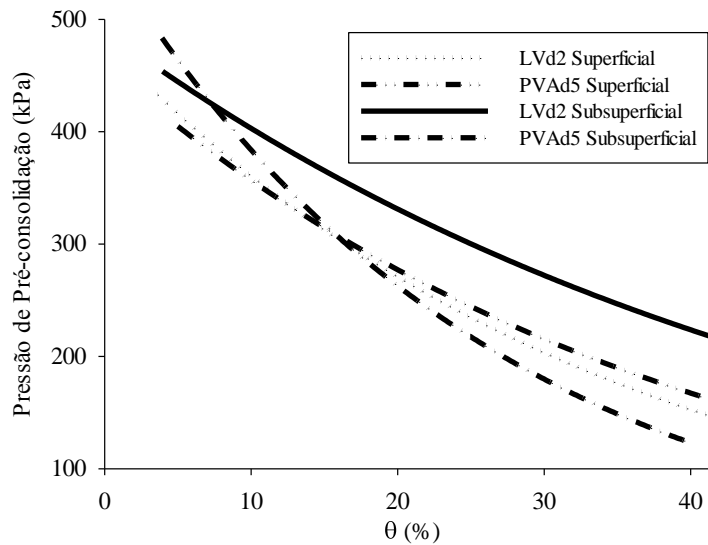


Figura 1. Modelos de capacidade de suporte de carga para um Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd5) e Latossolo Vermelho (LVd2) em duas camadas de solo (superficial e subsuperficial).

Tabela 1. Teste de significância, segundo Snedecor & Cochran (1989), entre os modelos de capacidade de suporte de carga para as diferentes classes de solos (PVAd5 e LVd2) em suas respectivas camadas (superficial e subsuperficial).

Classe/camada de solo	F	Parâmetro do modelo: $T_c = a+bx$	
		Coefficiente angular "b"	Coefficiente linear "a"
PVAd5 _{superfície} vs PVAd5 _{subsuperfície}	H	**	*
LVd2 _{superfície} vs LVd2 _{subsuperfície}	NH	**	*
PVAd5 _{superfície} vs LVd2 _{superfície}	H	Ns	ns
PVAd5 _{subsuperfície} vs LVd2 _{subsuperfície}	H	**	**

F: testa a homogeneidade das variâncias; NH: não homogêneo; H: homogêneo, **: significativo ($p < 0,01$) e NS: não significativo.

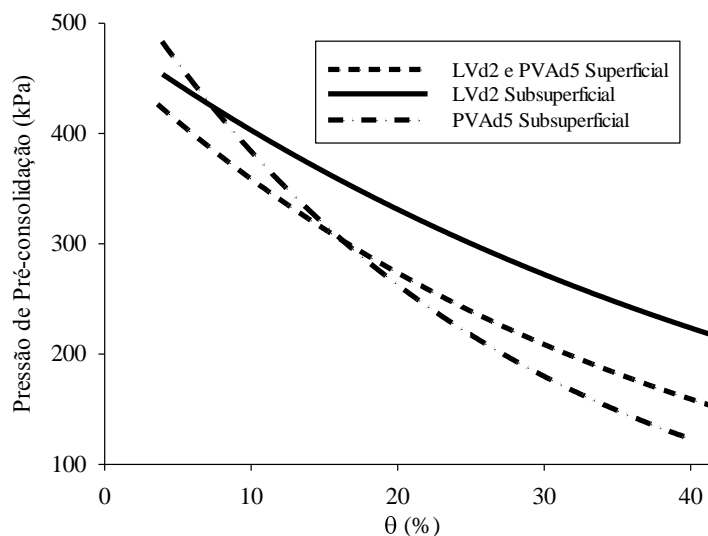


Figura 2. Novo modelo de capacidade de suporte de carga ajustado para o Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd5) e Latossolo Vermelho (LVd2) na camada superficial e modelos de capacidade de suporte de carga para o Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd5) na camada subsuperficial e para o Latossolo Vermelho (LVd2) na camada subsuperficial.