

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DA ESTRUTURA DE ARGISSOLOS EM SISTEMAS FLORESTAIS

Moacir de Souza Dias Junior¹, Antônio do Nascimento Gomes², Sebastião da Cruz Andrade²,
Moisés Rabela Azevedo³

RESUMO: Uma das limitações para que o desenvolvimento florestal sustentável seja atingido está relacionada com as operações motomecanizadas da colheita, as quais podem causar degradação da estrutura dos solos. Os objetivos deste estudo foram: propor um modelo de sustentabilidade da estrutura dos solos cultivados com *Eucalyptus spp.* e determinar a influência das operações de colheita na estrutura do solo. Este estudo foi conduzido em áreas de Argissolo Amarelo (PA) sob *Eucalyptus spp.* A profundidade 0,125 a 0,175 m do PA textura média/argilosa apresentou valores de pressão de preconsolidação (σ_p) maiores do que os da profundidade 0,05 a 0,10 m, para qualquer umidade (U). Na profundidade 0,05 a 0,10 m, as equações foram estatisticamente diferentes e o PA textura arenosa/média apresentou valores de σ_p maiores do que o PA textura média/argilosa para U maiores do que 9 kg kg⁻¹. Assim, espera-se que a camada superficial do PA textura arenosa/média suporte maiores pressões do que a do PA textura média/argilosa. O tráfego efetuado com a carreta com eixo em tandem causou degradação da estrutura do solo em alguns locais.

Palavras-chave: Compactação, pressão de preconsolidação, colheita florestal.

STRUCTURE SUSTAINABILITY EVALUATION OF ARGISSOLS IN FOREST SYSTEMS

ABSTRACT: One of the limitations to reach sustainable forest development is related to mechanical harvest operations which may cause soil structure degradation. The objectives of this study were: to propose a structure sustainability model of soils cultivated with *Eucalyptus spp.* and to determine the effect of harvest operations on soil structure. This study was conducted in a Yellow Argisols (PA) cultivated with *Eucalyptus*. The depth 0,125-0,175 m of the PA texture loam/clay presented σ_p values larger than those of the 0,05-0,10 m depth, for any moisture content (U). In the depth 0,05-0,10 m the equations were statically different and the PA texture sand/loam presented σ_p values larger than the PA texture loam/clay for larger values of moisture content of 9 kg kg⁻¹. Thus, it is expected that

¹ Professor do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, Lavras (MG), 37.200-000, msouzadj@ufla.br. Bolsista do CNPq.

² Engenheiro Florestal, COPENER FLORESTAL LTDA. Alagoinhas (BA), 48.000-000

³ Técnico Agrícola. COPENER FLORESTAL LTDA. Alagoinhas (BA), 48.000-000

the superficial layer of the PA texture sand/loam supports larger pressures than the one of the PA texture loam/clay. The traffic made using the cart with two axes caused structure degradation in some sampled places.

Key words: Compaction, preconsolidation pressure, mechanical operations.

1. INTRODUÇÃO

Com a introdução de normas visando à sustentabilidade dos recursos naturais, as empresas envolvidas com este tipo de atividade têm manifestado interesse na identificação, quantificação e minimização dos efeitos de suas atividades sobre o solo, de tal forma que seja possível, por meio de estudos, adaptar suas atividades de maneira condizente ao desenvolvimento florestal sustentável.

Uma das limitações para que o desenvolvimento florestal sustentável seja atingido está relacionada com as operações mecanizadas necessárias na realização da colheita de madeira que podem causar degradação da estrutura dos solos. Isso, provavelmente, é devido ao fato de não haver um controle rígido da umidade do solo (U) ou de sua capacidade de suporte de carga no momento de realização das operações. Assim, o tráfego indiscriminado das áreas florestadas está se tornando preocupante, devido à possibilidade de disseminação da compactação causada pelo tráfego de máquinas ao longo dos anos, podendo causar, em consequência, uma redução na produtividade das áreas sob tráfego intenso. Portanto, no caso florestal, o uso sustentável do solo está também relacionado com a questão do tráfego de veículos durante as operações, principalmente de colheita e transporte da madeira.

Diferentes sistemas de manejo do solo têm alterado as propriedades físicas e mecânicas do solo (Barnes et al., 1971; Gupta et al., 1985; Larson et al., 1989; Soane & Van Ouwerkerk, 1994; Dias Junior & Pierce, 1996), podendo causar compactação. Assim, diferentes sistemas de manejo podem gerar diferentes níveis de compactação em função da classe de solo e da época da realização das operações mecanizadas. Por-

tanto, a realização de estudos que visem quantificar a capacidade de suporte de carga das diferentes classes de solos, a fim de nortear o planejamento das operações mecanizadas nas empresas, pode ser de grande interesse, para evitar que a compactação do solo possa ocorrer.

Dentro desse contexto, o desenvolvimento de um estudo que contemplasse o desenvolvimento de modelos de sustentabilidade da estrutura das diferentes classes de solo baseado na sua história de manejo e na variação da umidade poderia auxiliar no planejamento das atividades florestais, de maneira a evitar ou minimizar a degradação da estrutura dos solos.

A história de manejo das classes de solo pode ser quantificada pelo monitoramento da pressão de preconsolidação do solo (σ_p), a qual, segundo Dias Junior & Pierce (1996), reflete a maior pressão que o solo já suportou no passado e, conseqüentemente, o tipo de manejo que foi utilizado na área. O uso da pressão de preconsolidação 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 Junior & Pierce, 1996). Assim, nas atividades agroflorestais, a aplicação no solo de pressões maiores do que a pressão de preconsolidação deve ser evitada para que deformações não recuperáveis não ocorram, mantendo, portanto, a condição de sustentabilidade da estrutura do solo (Gupta et al., 1989; Lebert & Horn, 1991).

Diante do exposto, os objetivos deste estudo foram: propor um modelo de sustentabilidade da estrutura de Argissolos cultivados com *Eucalyptus spp.*, em função da pressão de preconsolidação e da umidade e determinar, pelo uso destes modelos, a influência da operação com a carreta em eixo tandem na estrutura destes solos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido em áreas experimentais situadas no litoral norte da Bahia. Utilizou-se um Argissolo Amarelo (PA) textura arenosa/média e um Argissolo Amarelo textura média/argilosa, sob *Eucalyptus spp.*, dos quais obtiveram-se amostras indeformadas nas profundidades 0,05 a 0,10 m e 0,125 a 0,175 m. Estas amostras foram usadas no ensaio de compressão uniaxial (Bowles, 1986, modificado por Dias Junior, 1994). A área em estudo já havia sido plantada por um ciclo, sendo a idade do povoamento de 8 anos. Estes solos representam aproximadamente 66% da área total cultivada com *Eucalyptus spp.* na Copener Florestal LTDA.

A seguir é apresentada uma descrição das máquinas utilizadas na colheita florestal: o corte da madeira é realizado com motosserra, sendo a equipe composta por um operador e um ajudante. O descascamento é realizado com descascadores mecânicos tracionados por tratores 4x4 equipados com guas carregadoras. No baldeio utiliza-se o mesmo trator com uma carreta em tandem que transporta, em média, 12 m³ por viagem.

Em cada solo, o sistema de amostragem consistiu de duas etapas, descritas a seguir.

2.1. Antes da colheita

Foram coletadas, na área sob *Eucalyptus spp.*, dez amostras indeformadas na profundidade 0,05 a 0,10 m e 10 amostras indeformadas na profundidade 0,125 a 0,175 m, com três repetições, totalizando sessenta amostras para

cada classe de solo. Estas amostras foram utilizadas na obtenção da função entre a pressão de preconsolidação (σ_p) e umidade (U) (modelos de sustentabilidade da estrutura) dos solos cultivados com *Eucalyptus spp.*, não apresentando, portanto, nenhuma influência das operações de tráfego da colheita.

2.2. Durante as operações de colheita

Foram coletadas, na área sob *Eucalyptus spp.*, dez amostras indeformadas na profundidade de 0,05 a 0,10 m e dez amostras indeformadas na profundidade 0,125 a 0,175 m, com três repetições, após a passagem da carreta com eixo em tandem. Estas amostras foram coletadas logo após a operação da carreta com eixo em tandem e utilizadas para a determinação das σ_p com a umidade de campo. Para não ocorrer alterações na umidade desde o momento da coleta até o da realização do ensaio de compressão uniaxial no laboratório, estas amostras foram cuidadosamente parafinadas no campo.

As amostras indeformadas de cada classe de solo, e de cada profundidade, foram submetidas ao ensaio de compressibilidade, de acordo com Bowles (1986), modificada por Dias Junior (1994).

Para a obtenção dos modelos σ_p versus U, simularam-se diferentes umidades (valores variando entre 0 e 0,40 kg kg⁻¹) nas amostras indeformadas, pela secagem ao ar das mesmas no laboratório, com três repetições. Após a obtenção da umidade desejada, as amostras foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial, utilizando-se um consolidômetro da marca Boart Longyear, cuja aplicação das pressões foi feita através de ar comprimido. As pressões aplicadas a cada amostra obedeceram à seguinte ordem: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa. Cada pressão foi aplicada até que 90% da deformação máxima fosse alcançada (Taylor, 1948) e somente após é que se aplicou uma nova pressão. Após a realização do ensaio, as σ_p foram obtidas de acordo com Dias Junior & Pierce (1995), usando as cur-

vas de compressão do solo. A seguir, as σ_p foram plotadas versus U simuladas em laboratório. Por meio do uso do software Sigma Plot 4.0, ajustaram-se as equações matemáticas que correspondem aos modelos de sustentabilidade da estrutura com os respectivos intervalos de confiança da população a 5% e a 95%. Os intervalos de confiança da população foram utilizados para avaliar e confrontar as σ_p obtidas de outras populações diferentes daquela usada na obtenção do modelo de sustentabilidade da estrutura. Os modelos de sustentabilidade da estrutura foram ajustados para cada classe de solo e profundidade.

Do excesso das amostras indeformadas foram determinadas a textura (Day, 1986), a densidade de partículas (Blake & Hartge, 1986) e a matéria orgânica (Rajj & Quaggio, 1983).

As análises de regressão foram realizadas utilizando-se o software Sigma Plot 4.0 (Jandel Scientific) e na comparação das regressões utilizou-se procedimento descrito em Snedecor & Cochran (1989).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises físicas de caracterização dos solos estudados são apresentados na Tabela 1.

Os valores de matéria orgânica do PA textura arenosa/média foram maiores nas duas pro-

fundidades estudadas do que os valores do PA textura média/argilosa (Tabela 1). A densidade de partículas do PA textura arenosa/média foi igual a 2,74 Mg m⁻³ e 2,59 Mg m⁻³ para a profundidade 0,05 a 0,10 e 0,125 a 0,175 m, respectivamente e para o PA textura média/argilosa igual a 2,62 Mg m⁻³ e 2,53 Mg m⁻³ para a profundidade 0,05 a 0,10 e 0,125 a 0,175 m, respectivamente (Tabela 1). Já a densidade do solo do PA textura arenosa/média variou entre 1,34 a 1,54 Mg m⁻³ e 1,38 a 1,64 Mg m⁻³ para a profundidade 0,05 a 0,10 e 0,125 a 0,175 m, respectivamente e para o PA textura média/argilosa variou entre 1,21 a 1,48 e 1,26 a 1,71 Mg m⁻³ para a profundidade 0,05 a 0,10 e 0,125 a 0,175 m, respectivamente. A variabilidade dos valores de densidade do solo pode estar associada ao manejo do solo e a intensidade nos quais os processos pedogenéticos ocorreram.

As Figuras 1 a 9 apresentam as curvas de σ_p versus U para classes de solos, umidades e máquina empregada na operação de colheita.

Observa-se que as curvas de σ_p versus U foram influenciadas pela textura do solo, profundidade de coleta e umidade. Para o PA textura arenosa/média, as equações das curvas σ_p versus U foram do tipo $\sigma_p = a + b U$ (Figura 1), com R² significativo a 1% e iguais a 0,96, sendo “a” e “b” parâmetros estimados. Essas são do mesmo tipo do modelo teórico proposto por Dias Junior (1996) para solos sob floresta nativa.

Tabela 1. Análises de caracterização física de um PA textura arenosa/média e um PA textura média/argilosa localizados em áreas experimentais da Copener Florestal Ltda.

Table 1 – Physical characterization analysis of the PA texture sand/loam and a PA loam/sand located at experimental areas of the Copener Florestal Ltda.

Classe	Prof	Argila	Silte	Areia	M O ¹	Dp ²	Ds ³
		----- g kg ⁻¹ -----		----- Mg m ⁻³ -----			
PA ⁴ (are/méd)	0,05-0,10 m	50 ⁵	40	910	27	2,74	1,34-1,54
	0,125-0,175 m	50	40	910	21	2,59	1,38-1,64
PA ⁶ (méd/arg)	0,05-0,10 m	242	79	679	17	2,62	1,21-1,48
	0,125-0,175 m	261	92	647	14	2,53	1,26-1,71

1 - Matéria orgânica, 2 - densidade de partículas, 3 - densidade do solo antes do tráfego, 4 - Argissolo Amarelo textura arenosa/média, 5 - média de três repetições, 6 - Argissolo Amarelo textura média/argilosa.

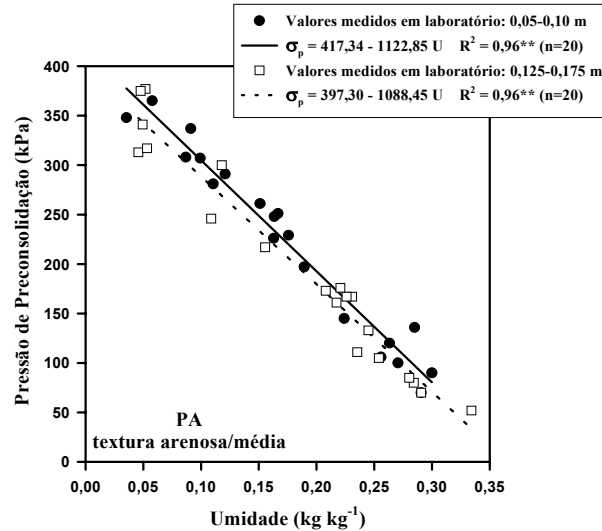


Figura 1. Curvas de pressão de preconsolidação versus umidade para o PA textura arenosa/média para as profundidades 0,05 - 0,10 e 0,125 - 0,175 m.

Figure 1. Curves of preconsolidation pressure versus moisture content for a PA texture sand/loam for 0,05 - 0,10 and 0,125 - 0,175 m depth.

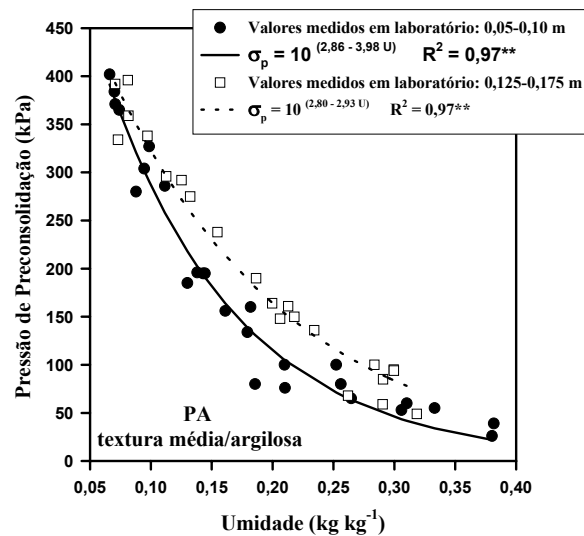


Figura 2. Curvas de pressão de preconsolidação versus umidade para o PA textura média/argilosa para as profundidades 0,05 - 0,10 e 0,125 - 0,175 m.

Figure 2. Curves of preconsolidation pressure versus moisture content for a PA texture loam/clay for 0,05 - 0,10 and 0,125 - 0,175 m depth.

Entretanto, para o PA textura média/argilosa as equações das curvas foram do tipo $\sigma_p = 10^{(a+bU)}$ com coeficientes de determinação (R^2) significativos a 1% e iguais a 0,97 (Figura 2), concordando com os resultados de Dias Junior (1994), em que “a” e “b” são parâmetros estimados. A diferença no tipo das equações pode estar associada à textura dos solos.

A pressão de preconsolidação (σ_p) foi sugerida por Dias Junior (1994) como uma medida alternativa da capacidade de suporte de carga dos solos parcialmente saturados. Assim, os valores máximos das pressões a serem aplicados aos solos para que a degradação da estrutura seja evitada devem ser iguais aos valores das σ_p para uma determinada umidade. Para verificar se existe diferença quanto à capacidade de suporte de carga entre as duas profundidades do PA textura arenosa/média e a do PA textura média/argilosa, as equações de regressão $\sigma_p = f(U)$ foram comparadas por meio do procedimento descrito em Snedecor & Cochran (1989).

As equações de σ_p versus U para as profundidades 0,05 a 0,10 e 0,125 a 0,175 m não foram estatisticamente diferentes para o PA textura arenosa/média. Devido a isso, uma nova regressão foi ajustada considerando todos os valores de σ_p e U das duas profundidades (Figura 3).

Já as equações de σ_p versus U para o PA textura média/argilosa para as profundidades 0,05 a 0,10 e 0,125 a 0,175 m diferiram significativamente em seus coeficientes lineares após a linearização do modelo na forma de potência (Figura 2). A profundidade 0,125 a 0,175 m do Argissolo Amarelo textura média/argilosa, apresentou valores de σ_p significativamente maiores do que os da profundidade 0,05 a 0,10 m, para qualquer U (Figura 2). Estas diferenças podem estar relacionadas com diferentes intensidades nas quais os processos pedogenéticos ocorreram e com a textura dos solos. Considerando-se estes resultados, sugere-se que a profundidade 0,05 a 0,10 m do PA textura média/argilosa seja mais susceptível à compactação do que a profundidade 0,125 a 0,175 m.

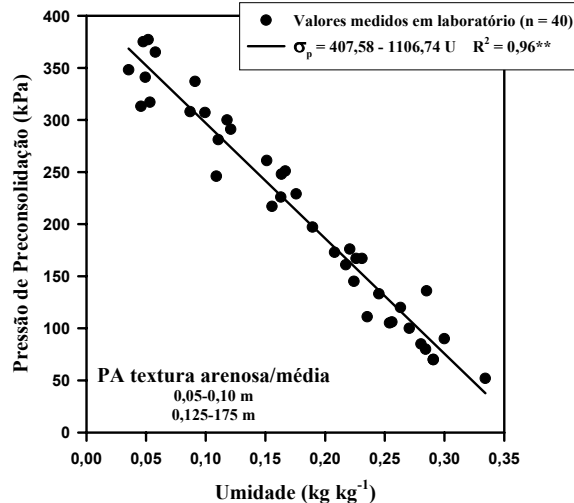


Figura 3. Curva de pressão de preconsolidação versus umidade para o PA textura arenosa/média para as profundidades 0,05 - 0,10 e 0,125 - 0,175 m.

Figure 3. Curve of preconsolidation pressure versus moisture content for a PA texture sand/loam for 0,05 - 0,10 and 0,125 - 0,175 m depth.

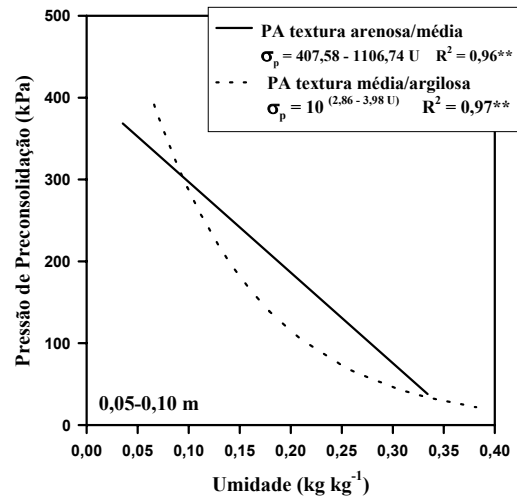


Figura 4. Curvas de pressão de preconsolidação versus umidade para o PA textura arenosa/média e do PA textura média/argilosa para 0,05 a 0,10 m de profundidade.

Figure 4. Curves of preconsolidation pressure versus moisture content for a PA texture sand/loam and a PA texture loam/clay for 0,05 - 0,10 m depth.

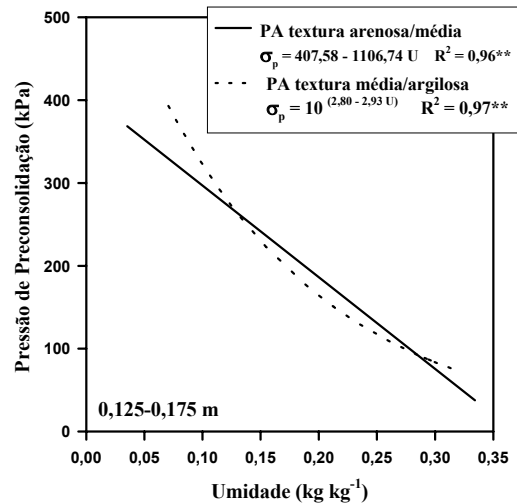


Figura 5. Curvas de pressão de preconsolidação versus umidade para o PA textura arenosa/média e do PA textura média/argilosa para 0,125 - 0,175 m de profundidade.

Figure 5. Curves of preconsolidation pressure versus moisture content for a PA texture sand/loam and a PA texture loam/clay for 0,125 - 0,175 m depth.

As Figuras 4 e 5 apresentam as curvas de pressão de preconsolidação versus umidade do PA textura arenosa/média e do PA textura média/argilosa nas duas profundidades estudadas. Para a profundidade 0,05 a 0,10 m, as equações foram estatisticamente diferentes e observou-se que o PA textura arenosa/média apresentou valores de σ_p significativamente maiores do que o PA textura média/argilosa para umidades maiores do que 9 kg kg^{-1} . No caso da profundidade 0,125 a 0,175 m, as equações foram estatisticamente diferentes apenas na inclinação, possuindo, em ambas as profundidades, interceptos similares. Estas observações sugerem que o PA com textura arenosa/média suporta maiores pressões aplicadas pelas máquinas do que o PA textura média/argilosa. Fica evidenciada, portanto, a importância de se identificar a textura dos solos devido à sua influência na capacidade de suporte de carga e na susceptibilidade à compactação dos solos.

Nas áreas sob *Eucalyptus spp.*, a compactação do solo pode ocorrer durante as operações de colheita, devido ao tráfego das máquinas de corte descendente e extração, se realizadas sob condições inadequadas de umidade. Portanto, o uso sustentável do solo está relacionado com a questão do tráfego de máquinas durante a colheita e durante o transporte da madeira. Apesar de se ter consciência que estas operações podem degradar o solo, não existe uma metodologia capaz de quantificar os níveis de pressões que podem ser induzidos ao solo pelas operações mecanizadas. Assim, na tentativa de uma solução para este problema, a partir dos modelos ajusta-

dos antes das operações de colheita e apresentados nas Figuras 1 e 2, plotaram-se os valores das σ_p obtidas nas amostras que foram coletadas logo após as operações da carreta com eixo em tandem nos dois solos e nas duas profundidades (Figuras 6, 7, 8 e 9).

Nestas figuras, além da curva de σ_p versus U , ajustadas antes das operações da colheita, apresentam-se também os limites do intervalo de confiança a 5% e a 95%. Na Figura 6, observa-se que o tráfego efetuado com a carreta com eixo em tandem induziu pressões de preconsolidação maiores do que a pressão de preconsolidação antes da colheita em 20% dos pontos amostrados na profundidade de 0,05 a 0,10 m para o Argissolo Amarelo textura arenosa/média (pontos acima da linha do limite de confiança).

O tráfego efetuado com a carreta com eixo em tandem induziu pressões de preconsolidação maiores do que a pressão de preconsolidação antes da colheita em 13% dos pontos amostrados na profundidade de 0,125 a 0,175 m para o Argissolo Amarelo textura arenosa/média (pontos acima da linha do limite de confiança) (Figura 7).

No Argissolo Amarelo textura média/argilosa, o tráfego efetuado com a carreta com eixo em tandem induziu pressões de preconsolidação maiores do que a pressão de preconsolidação antes da colheita em 6% dos pontos amostrados na profundidade de 0,05 a 0,10 m, (pontos acima da linha do limite de confiança) (Figura 8).

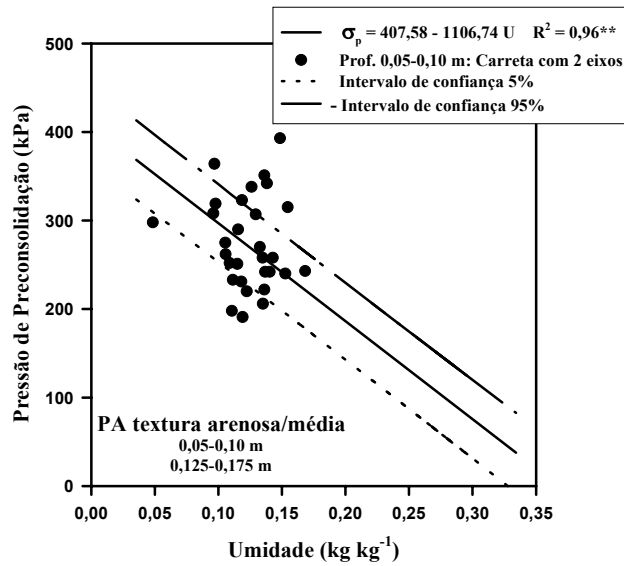


Figura 6. Curvas de pressão de preconsolidação versus umidade de um PA textura arenosa/média, após as operações da carreta com eixo em tandem, na profundidade 0,05 - 0,10 m.

Figure 6. Curves of preconsolidation pressure versus moisture content for a PA texture sand/loam, after the cart with two axes operations for 0,05 - 0,10 m depth.

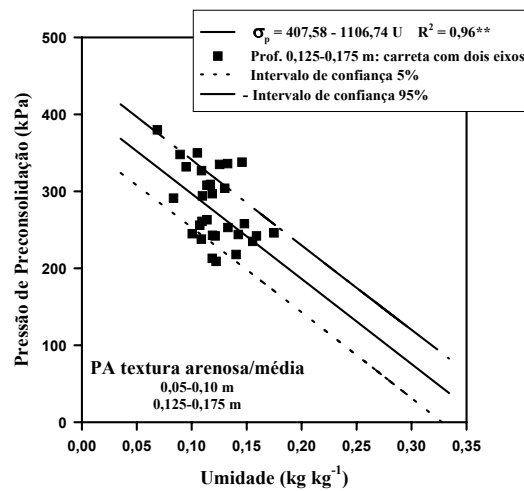


Figura 7. Curvas de pressão de preconsolidação versus umidade de um PA textura arenosa/média, após a operação da carreta com eixo em tandem, na profundidade 0,125 - 0,175 m.

Figure 7. Curves of preconsolidation pressure versus moisture content for a PA texture sand/loam, after the cart with two axes operations for 0,125 - 0,175 m depth.

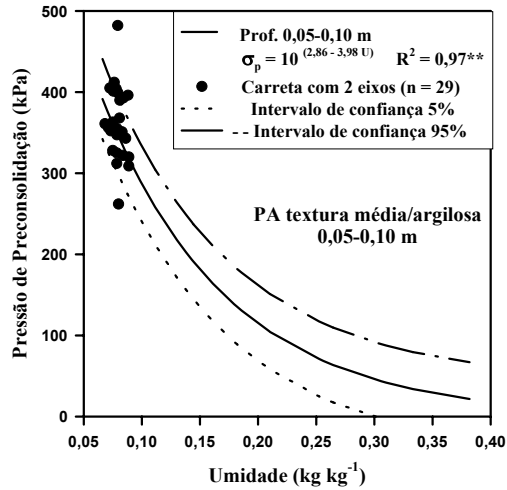


Figura 8. Curvas de pressão de preconsolidação versus umidade de um PA textura média/argilosa, após a operação da carreta com eixo em tandem, na profundidade 0,05 - 0,10 m.

Figure 8. Curves of preconsolidation pressure versus moisture content for a PA texture loam/clay, after the cart with two axes operations for 0,05 - 0,10 m depth.

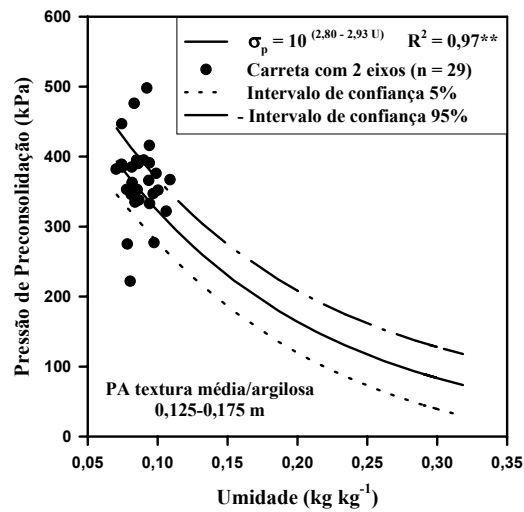


Figura 9. Curvas de pressão de preconsolidação versus umidade de um PA textura média/argilosa, após a operação da carreta com eixo em tandem, na profundidade 0,125 - 0,175 m.

Figure 9. Curves of preconsolidation pressure versus moisture content for a PA texture loam/clay, after the cart with two axes operations for 0,125 - 0,175 m depth.

Na Figura 9, observa-se que o tráfego efetuado com a carreta com eixo em tandem induziu pressões de preconsolidação maiores do que a pressão de preconsolidação antes da colheita em 14% dos pontos amostrados na profundidade de 0,125 a 0,175 m, para o Argissolo Amarelo textura média/argilosa (pontos acima da linha do limite de confiança). Esta incidência maior de pontos acima do limite de confiança talvez não seja devido somente ao tráfego, mas também devido à presença de torrões endurecidos, como foi observado em laboratório. Estes torrões podem ser remanescentes de algum tipo de operação de preparo realizada no passado.

Em resumo, as operações com a carreta com eixo em tandem não tiveram um grande impacto sobre a pressão de preconsolidação dos solos, por estas operações terem sido realizadas sob condição de baixa umidade (Figuras 6, 7, 8 e 9) e sobre um monte de resíduos provenientes da colheita da madeira. Entretanto, os locais onde as pressões de preconsolidação foram maiores do que a pressão de preconsolidação antes da colheita indicam que houve compactação nestes locais, resultando em uma maior capacidade de suporte de carga, devido à passagem da carreta com eixo tandem.

4. CONCLUSÕES

De acordo com as condições em que este estudo foi desenvolvido, pôde-se concluir que:

O modelo de sustentabilidade da estrutura do solo proposto neste estudo é função da pressão de preconsolidação e da umidade do solo.

O uso da pressão de preconsolidação determinada após o tráfego e dos modelos de sustentabilidade da estrutura permitiu quantificar os efeitos da carreta com eixo tandem nas duas profundidades (0,05 a 0,10m e 0,125 a 0,175m).

Estes modelos permitem estimar a pressão de preconsolidação do solo em função da umidade, o que pode ser usado como uma estimativa

dos níveis de pressões que podem ser aplicados aos solos para evitar a sua compactação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARNES, K. K.; CARLETON, W. M.; TAYLOR, H. M.; THROCKMORTON, R. I.; VANDENBERG, G. E. **Compaction of agricultural soils**. St. Joseph: ASAE, 1971. 471 p. Monograph.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Part 1. 2. ed. Madison: ASA, 1986. p. 377-382. (ASA. Agronomy Monography, 9).

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

DAY, P. R. Particle fraction and particle size analysis. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis**. Part 1. 2. ed. Madison: ASA, 1986. p. 545-567. (ASA. Agronomy Monography, 9).

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

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.

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. 1996.

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 Agriculture Research Development. University of Minnesota, 1985. 178 p. Research Report.
- 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.. Academic Publishers, 1989. 273 p. (NATO Applied Science, 172).
- LEBERT, M.; HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, n. 2/3, p.274-286, Feb. 1991.
- GUPTA, S. C. (Ed.). **Mechanics and related process in structured agricultural soils.** The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1989. p. 137-152.
- RAIJ, B.; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 16 p. (IAC. Circular, 63).
- HOLTZ, R. D.; KOVACS, W. D. **An introduction to geotechnical engineering.** New Jersey: Prentice - Hall Englewood cliffs, 1981. 733 p.
- SNEDECOR, G. W.; COCHARAN, **Statistical methods.** 8.h ed. Ames: Iowa State University, 1989.
- 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).
- SOANE, B. D.; VAN OUWERKERK, C. **Soil compaction in crop production.** Amsterdam: Elsevier, 1994. 660 p.
- TAYLOR, D. W. **Fundamentals of soil mechanics.** New York: John Wiley & Sons, 1948. 770 p.