



RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO COMO INDICADORA DO IMPACTO DE OPERAÇÕES AGRÍCOLAS EM ÁREAS FLORESTAIS⁽¹⁾.

Marília de Souza Bento⁽²⁾; Reginaldo Barboza da Silva⁽³⁾; Piero Iori⁽³⁾; Francisca Alcivania de Melo Silva⁽³⁾; Ricardo Nakamura⁽⁴⁾; Jesod Moya⁽²⁾

⁽¹⁾Trabalho executado com recursos do CNPq (Processo nº 302919/2011-2) e Suzano Papel e Celulose.

⁽²⁾Estudante de Agronomia da UNESP, Campus de Registro - SP, e-mail: mariliadesouza@registro.unesp.br; ⁽³⁾Professor do Curso de Agronomia da UNESP, Campus de Registro- SP; ⁽⁴⁾Msc. em Agronomia (Energia na Agricultura), UNESP, Campus de Registro, SP.

RESUMO: O estudo da resistência do solo à penetração em áreas sob o cultivo de espécies florestais pode auxiliar na detecção da compactação do solo, resultante do tráfego solicitado pelas rotineiras operações agrícolas. Portanto, constitui-se um bom indicador da degradação do solo, e uma ferramenta auxiliadora na prevenção do impedimento mecânico do sistema radicular de espécies florestais. Foi objetivo deste trabalho avaliar, por meio da resistência do solo à penetração (RP) o impacto das operações agrícolas em áreas florestais cultivadas com eucalipto. A pesquisa foi conduzida em cultivos florestais da empresa Suzano Papel e Celulose, cujas prospecções foram realizadas em áreas submetidas às seguintes intensidades de tráfego/operações agrícolas: colheita (Co), baldeio com Forwader (BFW) e com trator autocarregável (BTA), linha de tráfego (LT), e linha de plantio (LP). Duas classes de solo (PVA_{d5} e LV_{d2}) foram avaliadas nas seguintes camadas: 0,0 a 200 mm; 200 a 400 mm; e 400 a 600 mm. As camadas com maior susceptibilidade à compactação nas duas classes de solo foram de 0,0 a 200 mm e 200 a 400 mm, denotando a influência negativa das respectivas operações agrícolas e maior susceptibilidade à compactação. No PVA_{d5} a maior resistência mecânica ocorreu na camada de 400 a 600 mm, devendo-se, em parte, ao adensamento natural provindo do horizonte B textural.

Termos de indexação: Índice de cone, tráfego, eucalipto.

INTRODUÇÃO

Dentre as espécies florestais cultivadas, o eucalipto, devido as suas boas características agronômicas e de comercialização - rápido crescimento, boa produtividade, grande adaptação e versatilidade no uso como matéria prima - tem sido amplamente explorado.

Em virtude da crescente demanda no setor de papel e celulose, à posição de destaque do Brasil no

cenário mundial e às exigências de mercado, é fundamental que a sustentabilidade faça parte da estratégia das empresas de exploração florestal em todo o ciclo de produção. Contudo, com a intensificação das operações de colheita florestal mecanizada, iniciada na década de 1990, as empresas brasileiras adotaram um sistema de colheita totalmente mecanizado em substituição à colheita manual ou semimecanizada (Leonello et al., 2012), comprometendo a sustentabilidade do solo, uma vez que essas operações envolvem o tráfego intenso e pesado de máquinas sobre o solo podendo causar a compactação.

Os sistemas de manejo do solo têm grande influência nas características físicas do solo e estão relacionados com a compactação (Silva et al., 2000). O impacto mais significativo nos atributos físicos do solo sob florestas ocorre em associação com operações de colheita, baldeio e subsequente preparo do solo para rebrota ou plantio do ciclo seguinte. Essas atividades alteram a estrutura e os atributos físico-hídricos do solo, dificultando o crescimento e a distribuição das raízes no solo e, conseqüentemente, o desenvolvimento das florestas (Dedecek & Gava, 2005).

Apesar dos avanços tecnológicos em toda a cadeia produtiva do eucalipto, é notória a discrição de estudos técnicos e pesquisas voltadas para a avaliação da qualidade física do solo, mesmo conhecendo-se a importância da quantificação destes atributos-indicadores.

A resistência do solo à penetração (RP), com inúmeras aplicações em diversas áreas da pesquisa agronômica, tem sido utilizada, ao longo de muitos anos. Segundo Cunha et al. (2002), a RP tem sido empregada em estudos de detecção de camadas compactadas, ação de ferramentas de máquinas no solo, prevenção de impedimento mecânico ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas, predição da força de tração necessária para execução de trabalhos e para conhecimento de processos de umedecimento e de ressecamento.

Diante do exposto e da necessidade de realização de estudos que investiguem e proponham alternativas aos efeitos da alteração estrutural do solo, foi objetivo deste trabalho avaliar, por meio da



resistência do solo à penetração (RP), o impacto das operações agrícolas em áreas florestais cultivadas com eucalipto.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Fazenda Santana, UP 54C226, em áreas de Unidades Florestais da empresa Suzano Papel e Celulose, implantadas sobre Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico (PVA_{d5}), A moderado, fase concrecionária, relevo ondulado (com densidade de partícula de 2,50 Mg m⁻³, textura argilosa, com 37% de argila, 31% de areia e 32% de silte) e Latossolo Vermelho Distrófico típico (LV_{d2}), A moderado ou proeminente, álico, relevo plano a suavemente ondulado (com densidade de partícula de 2,43 Mg m⁻³, textura argilosa, com 37% de argila, 28% de areia e 35% de silte), ambas as classes de solo localizadas no Município de Itararé (SP).

O povoamento florestal é proveniente de clone híbrido de *Eucalyptus grandis*, com idade média de 7,36 anos, sendo o último ciclo plantado no período de 09 a 23 de maio de 2007.

A pesquisa foi conduzida em "plots" experimentais localizados nas duas classes de solos PVA_{d5} com 7,52 ha; e LV_{d2} com 5,6 ha.

A avaliação do impacto da intensidade de tráfego considerou essencialmente a ação dos rodados dos conjuntos motomecanizados em suas respectivas operações agrícolas para as cinco condições a seguir: i) colheita (Co); ii) baldeio com Forwader (BFW); iii) baldeio com trator autocarregável (BTA); iv) linha de tráfego (LT), cujos efeitos do tempo de cultivo (média de 7 anos) guardaram a memória da tensão acumulada advinda de todas as operações necessárias às boas práticas da cultura e v) linha de plantio (LP).

Para cada condição de intensidade de tráfego/operações agrícolas foram realizados 20 ensaios (repetições) sendo cada repetição resultante de três réplicas.

O índice de cone (IC), isto é, médias das leituras de resistência do solo à penetração (RP) em uma determinada camada, foi obtido a partir de ensaios de resistência do solo à penetração (RP), os quais foram realizados com um medidor eletrônico de compactação do solo de esforço manual (**Figura 1**), denominado PenetroLOG. A prospecção foi feita até a profundidade de 0,6 m, especialmente, quando o grau de maturidade da camada/horizonte dos solos investigados permitiu. Estes ensaios são regulados pela norma ASAE s. 313.3.

A sistematização e interpretação dos dados foram feitas em dois estágios, sendo o primeiro, o perfil de

penetrometria (curvas de RP em função da profundidade) para cada condição prospectada, e o segundo, uma comparação detalhada entre médias de IC para cada camada e classe de solo, empregando o teste de Scott & Knott ($p < 0,05$), quando F foi significativo.



Figura 1. UP 54C226, Fazenda Santana. Ensaio de resistência do solo à penetração (RP), realizado com o penetroLOG – medidor eletrônico de compactação do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **figura 2** a prospecção realizada permite avaliar os perfis de penetrometria em profundidade, sendo avaliada a profundidade de 0 a 600 mm do PVA_{d5} e LV_{d2}. É evidente o aumento nos valores de RP nas condições em que houve solicitação de tráfego, como por exemplo, na linha de tráfego (LT), depois da colheita (Co) e depois do baldeio, seja com forwader (BFW) ou com trator autocarregável (BTA), especificamente quando se toma como referência a linha de plantio (LP).

No LV_{d2}, a maior resistência é observada na profundidade de 200 a 300 mm e no PVA_{d5} na profundidade de 300 a 400 mm, que neste caso, provavelmente é influência do horizonte B textural (Bt), muito embora observa-se a partir da profundidade de 100 mm um "pico" de RP com incrementos que se estendem até a profundidade de 300 mm. Neste caso, certamente é decorrente da intensidade do tráfego advinda das operações agrícolas. Gava (2003) obteve resultados semelhantes em solos de unidades florestais de eucalipto, ao concluir que as linhas de baldeio apresentaram maior potencial para a ocorrência de compactação. Resultados concordantes, também, com os obtidos por Andrade (2014), que demonstraram maior resistência mecânica do solo em Argissolo Amarelo no horizonte Bt.

Na **tabela 1** são representados os valores de Índice de Cone para cada camada avaliada sob o efeito de cada intensidade de tráfego/operações agrícolas nas duas classes de solo. Na camada de 0,0 a 200 mm os valores médios de índice de cone com as operações de BFW e BTA não diferiram estatisticamente entre si, entretanto, foram



superiores aos valores com a operação de Co e na LT. O mesmo comportamento ocorreu na camada de 200 a 400 mm, porém, nesta camada são registrados os maiores valores de IC. Na camada de 400 a 600 mm os valores para as operações de BFW, BTA e Co não diferiram estatisticamente em PVAd5, mas em LVd2 os valores encontrados para BFW e BTA foram superiores aos encontrados para Co e LT. Na camada de 0,0 a 600 mm há uma exceção onde os valores de IC em PVAd5 para BFW foram superiores aos valores encontrados para BTA que não diferiu estatisticamente dos valores de IC para Co. Isto permite inferir que, o baldeio realizado com trator autocarregável impacta em proporções menores em comparação com o baldeio realizado com Forwader, podendo ser uma alternativa na realização dessa operação agrícola dentro do manejo florestal.

Na camada de 200 a 400 mm foram obtidos em LVd2 valores de IC superiores aos valores de PVAd5, com exceção dos valores observado em BFW. Isso pode ser explicado, pois no LVd2 o incremento de argila do horizonte A para o B é pouco expressivo ou inexistente e a relação textural B/A não satisfaz os requisitos para B textural. No PVAd5 há um evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, com ou sem decréscimo nos horizontes subjacentes (Santos et al., 2006).

Com a eluviação de argila do horizonte superficial para o horizonte B textural em PVAd5, a superfície desta classe de solo fica menos coesa, por conter partículas de argila em menor quantidade quando comparada a superfície de solo de um LVd2 que sofre menos eluviação de argila do horizonte superficial para o horizonte B latossólico. Tanto que nas camadas 200 a 400 mm, 400 a 600 mm e 0,0 a 600 mm foram obtidos valores de IC em PVAd5 iguais ou superiores aos encontrados em LVd2. Isso se deve a granulometria das duas classes de solo (Larson et al. 1980), onde as partículas de argila nas camadas subsuperficiais fazem com que as forças de coesão proporcionem maior estruturação e posterior resistência mecânica do solo a qualquer força externa.

CONCLUSÕES

Para às condições em que a pesquisa foi realizada, RP e IC mostram-se indicadores que permitem discriminar o impacto da intensidade de tráfego/operações agrícolas empregadas em áreas florestais.

A maior resistência mecânica à penetração, independente de classe de solo e operação agrícola, é identificada em profundidade, a partir de 100 mm.

A operação de baldeio feita com forwader (BFW) e trator autocarregável (BTA) promove maior

impacto à estrutura do solo, seguida pela operação de colheita (Co) e a trafegabilidade demandada em LT.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão de bolsa de produtividade ao segundo autor e à Suzano Papel e Celulose pelo apoio logístico dado à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Soil cone penetrometer. Saint Joseph, 2000. 833 p.
- ANDRADE, M. L. de C. Efeito do maquinário de colheita florestal na compactação do solo. Tese de doutorado. Universidade Federal de Lavras, 2014.
- CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. Engenharia na Agricultura, v.10, n.1-4, Jan./Dez., 2002.
- DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. Revista Árvore, 383-390, 2005.
- GAVA, José Luiz. Avaliação da Qualidade do Preparo do Solo em Áreas de Eucalipto Plantado no Sistema de Cultivo Mínimo do Solo. Boletim de Pesquisas Florestais, Colombo, n. 47, p. 55-68, 2003.
- LARSON, W.E.; GUPTA, S.C.; USECHE, R.A. Compression of agricultural soils from eight soil orders. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:450-457, 1980.
- LEONELLO, E. C.; GONCALVES, S. P.; FENNER, P. Efeito do tempo de experiência de operadores de harvester no rendimento operacional. Revista Árvore, 1129-1133, 2012.
- SANTOS, H. G. dos et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa, 2006.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. Biometrics, v.30, n.3, p.507-12, 1974.
- SILVA, V. R. et al. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho Escuro e de um Podzólico Vermelho Amarelo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 239-249, 2000.

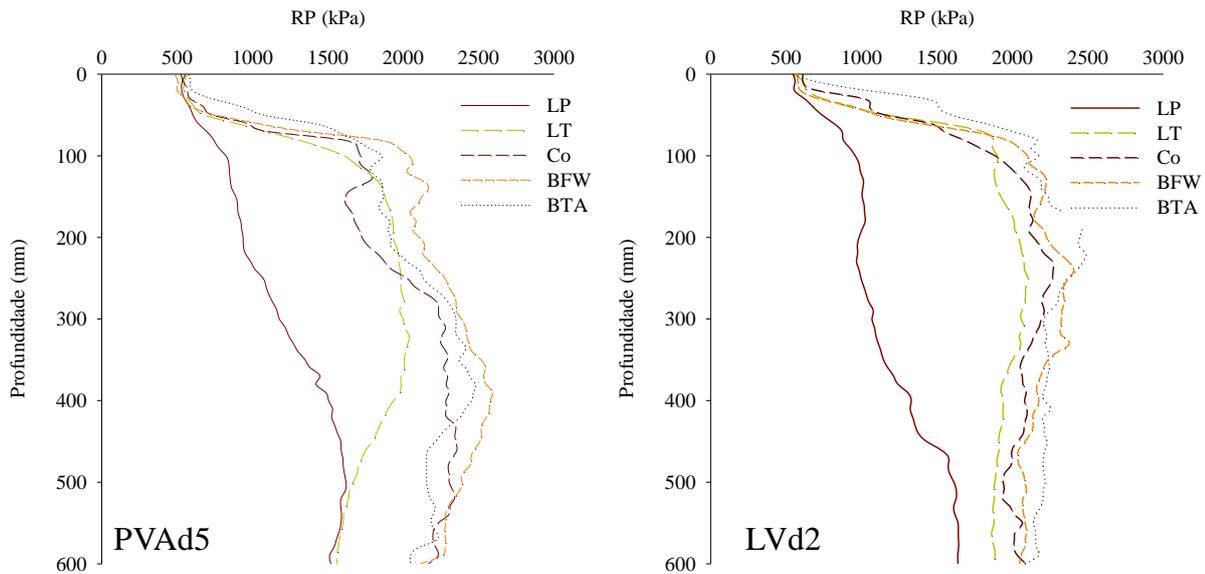


Figura 2. Perfis de penetrometria das duas classes de solo submetidas às distintas condições: Linha de Plantio (LP), Linha de Tráfego (LT), Colheita (Co), Baldeio com Forwader (BFW) e Baldeio com Trator Autocarregável (BTA)

Tabela 1. Valores médios de índice de cone, IC (kPa) de duas classes de solos em suas respectivas camadas, sob diferentes intensidades de tráfego/operações agrícolas, em unidades florestais do estado de São Paulo.

Classe de solo	Intensidade de tráfego/operação agrícola				
	LP	LT	Co	BFW	BTA
	-----0,0 a 200 mm-----				
PVAd5	757 Bc	1362 Bb	1316 Bb	1547 Aa	1494 Ba
LVd2	866 Ac	1576 Ab	1637 Ab	1693 Aa	1902 Aa
	-----200 a 400 mm-----				
PVAd5	1213 Ac	1998 Ab	2158 Ab	2293 Aa	2283 Aa
LVd2	1098 Bc	2035 Ab	2160 Ab	2385 Aa	2287 Aa
	-----400 a 600 mm-----				
PVAd5	1572 Ab	1688 Bb	2286 Aa	2379 Aa	2191 Aa
LVd2	1551 Ac	1893 Ab	2017 Bb	2083 Ba	2184 Aa
	-----0,0 a 600 mm-----				
PVAd5	1174 Ad	1677 Bc	1920 Ab	2104 Aa	1989 Bb
LVd2	1167 Ac	1830 Ab	1938 Ab	2023 Aa	2125 Aa

Para cada camada de solo, letras maiúsculas comparam classes de solo e letras minúsculas comparam intensidade de tráfego/operação agrícola, pelo teste de Scott & Knott ($p < 0,05$).