

Determinação da área impactada pelo tráfego de Forwarder com uso de GPS

Determination of impacted area using GPS as a result of Forwarder traffic

Fernando Seixas
Carlos Gabriel Gonçalves Koury
Fabiano Antonio Rodrigues

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi determinar a extensão da área impactada e a frequência do tráfego do trator florestal auto-carregável ("forwarder"), utilizado no transporte de madeira em sistemas de colheita de toras curtas, por meio da utilização de um aparelho GPS. Foram avaliados também os distúrbios no solo e os níveis de compactação devidos à frequência do tráfego. Um aparelho GPS foi instalado em um "forwarder" Volvo A25C, acompanhando a movimentação do mesmo na extração de madeira de *Eucalyptus grandis* em uma região do Estado de São Paulo. A compactação do solo foi avaliada pela resistência do solo à penetração, em testes com simulação de frequência de tráfego até 25 passadas, e os distúrbios classificados visualmente. A movimentação do "forwarder" foi feita de maneira concentrada, em cerca de um quarto da área experimental. A compactação do solo aumentou com o maior número de passadas, atingindo, após 11 passadas do trator, 74% da compactação final, resultante das 25 passadas.

PALAVRAS-CHAVE: Colheita de madeira, Compactação do solo

ABSTRACT: The main objective of this work was to determine the extension of impacted area and number of forwarder passes over ground using GPS equipment. Soil compaction, as a result of different frequency traffic, and soil disturbance were also estimated. One GPS was instaled in a Volvo A25C forwarder, following its movement during *Eucalyptus grandis* wood primary transportation, in one region of São Paulo State, Brazil. Soil compaction was estimated by cone penetrometer resistance, obtained on a traffic simulation until twenty five passes, and soil disturbance was visually classified. The forwarder movement was concentrated on one fourth of the stand area, and soil compaction increased with passes, reaching, after eleven passes, seventy four percent of total soil compaction obtained with twenty five passes.

KEYWORDS: Harvesting, Soil compaction

INTRODUÇÃO

A compactação é o ato ou ação de agregar as partículas do solo e, por sua vez, reduzir o volume por elas ocupado. Pode ser descrita em termos da tensão aplicada no solo e as mudanças resultantes nas condições do mesmo, incluindo: aumento da densidade natural do solo, decréscimo no volume de macroporos, infiltração e movimento interno de água mais lentos, aeração mais pobre e maior resistência mecânica do solo ao crescimento de raízes. O termo compactação é utilizado para descrever a condição geral do sítio florestal após as operações mecanizadas, embora diversas outras alterações, incluindo distúrbios e deslocamento do solo, também possam ocorrer (Dyrness, 1965).

As principais forças causadoras da compactação em solos florestais originam-se das máquinas utilizadas nas atividades de silvicultura e colheita da madeira (Seixas, 1999). Entre os fatores que influenciam o nível de compactação podem ser citados: quantidade e distribuição da camada orgânica superficial e resíduos da colheita, textura e estrutura do solo, teor de água do solo, pressão aplicada sobre o solo pelas máquinas e equipamentos e frequência de tráfego de veículos (Burger, 1983; Sirois et al., 1985).

Entre os equipamentos tipicamente florestais, algumas restrições são feitas ao uso de "skidders" no arraste de toras em termos da compactação, distúrbios no solo, sulcamento e realocação de nutrientes (McNeel e Ballard, 1992). Em contrapartida, a opção por sistemas de toras curtas utilizando-se de "forwarders", com o transporte das toras confinadas na sua caixa de carga, pode significar a redução do sulcamento e distúrbios no solo, além do menor impacto em termos de compactação. Em um estudo comparativo efetuado por Lanford e Stokes (1995), o sistema de colheita de madei-

ra com "skidder" apresentou praticamente o dobro de distúrbio do solo (65 contra 34%) e produziu mais compactação do que o sistema com "forwarder".

Parte desse distúrbio deve-se à maior movimentação do "skidder" na área, enquanto que o "forwarder" geralmente restringe o tráfego à faixa de resíduos resultante do processamento das árvores feito pelo "harvester", próxima à zona de madeira (toras processadas prontas para extração). Um dos problemas, resultante dessa maior movimentação pelo talhão, é que as primeiras passadas de uma máquina sobre o solo geralmente podem produzir grande parte da compactação total que poderia resultar de um tráfego mais intenso. Pelo menos 60% do aumento esperado para a densidade em uma trilha com uso elevado (mais de 20 passadas) ocorriam após as primeiras 3 a 5 passadas (McNabb e Froehlich, 1983). Esses resultados foram confirmados por Hatchell et al. (1970), Froehlich e McNabb (1984) e Seixas e Souza (1998), indicando a necessidade de se restringir o tráfego de veículos à menor área possível dentro da floresta, mesmo que esta área atinja um maior nível de compactação, para reduzir a extensão do solo compactado.

McDonald et al. (1998) avaliaram a extensão de área impactada pelo tráfego de um "skidder" por meio de GPS, tendo sido desenvolvido um método que transformava os dados de posição em um mapa bi-dimensional da frequência de tráfego em função da localização. GPS deriva da simplificação de NAVSTAR GPS ("Navigation System with Time and Ranging Global Positioning System") e é um sistema eletrônico de navegação, baseado em uma rede de satélites, que permite localização instantânea em qualquer ponto da Terra. Para o transporte aéreo, marítimo ou terrestre, em locais de difícil reconhecimento, como é o caso de florestas ou desertos, são múltiplas as possibilidades de utilização do GPS, como traçar rotas, conhe-

cer a distância real percorrida, estabelecer trajetos de ida e volta, marcar determinado local e retornar a ele a qualquer momento. Outras possibilidades de uso com relação à mecanização florestal e colheita de madeira seriam:

- ✓ Apoio ao operador de "harvester" - uso de um mapa digital e GPS para movimentar-se dentro do talhão. Aviso no caso de ultrapassagem de limites pré-definidos (fronteira do talhão, área de preservação permanente etc.);
- ✓ Informações sobre a madeira como, por exemplo: volume, pilhas e localização podem ser úteis para o próximo operador ("harvester" ⇒ "forwarder" ⇒ caminhão);
- ✓ Relação entre volume colhido de madeira e local;
- ✓ Estudo de tempos e movimentos com máquinas florestais;
- ✓ Avaliação do desempenho (padrão de movimentação) de máquinas e área sob tráfego (estudo de impacto);
- ✓ Pagamento de serviços de preparo de solo de acordo com a área trabalhada.

O objetivo deste trabalho foi determinar a extensão da área impactada e a frequência do tráfego de um "forwarder" utilizado na extração de madeira, em sistema de colheita de toras curtas, utilizando-se um aparelho GPS. Foram avaliados também os níveis de compactação e distúrbios no solo ocorridos na área. Os resultados deste estudo servirão como orientação aos operadores de máquinas florestais quanto à escolha de rotas para retirada de madeira do talhão, visando diminuir o percentual de área impactada e os reflexos sobre a produtividade florestal.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido em uma empresa florestal localizada no município de Lençóis Paulista (22°40'S e 48°27'W), Estado de São

Paulo, trabalhando com sistema de colheita de toras curtas, em povoamento de *Eucalyptus grandis*, em primeiro corte aos sete anos de idade, espaçamento 3x2m, com volume médio de 0,21 m³/árvore. O terreno era suavemente ondulado e o solo um Latossolo Vermelho Amarelo, textura arenosa, com a seguinte composição: 9% de argila, 83% de areia e 8% de silte.

Material

Os seguintes materiais para coleta e processamento de dados foram utilizados neste projeto:

- ✓ Um penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar - Stolf, para avaliar a compactação do solo;
- ✓ Um aparelho GPS, modelo Trimble Pro XL, para determinação das rotas traçadas pelo trator;
- ✓ Um "software" PC-GPS, versão 2.5, para correção diferencial dos dados coletados pelo GPS;
- ✓ "Software" Arcview 3.2, para processamento dos pontos coletados pelo GPS;
- ✓ "Software" AutoCad, versão 2000, para determinação de áreas;
- ✓ Um coletor de dados, modelo JS 603 FieldBook, para armazenamento dos dados de distúrbio do solo.

O sistema de toras curtas era formado por um "harvester", composto por máquina base CAT 320 BL e cabeçote Partek 965, e um "forwarder" Volvo A25C, com potência bruta de 190 kW, pesando 20,9 t e mais 21,4 t de capacidade de carga, resultando em aproximadamente 19 m³ de volume de madeira com casca (Figura 1). O harvester dispunha a madeira em feixes de toras com 6 m de comprimento e distâncias médias de 3 m entre feixes (Figura 2), com o forwarder realizando a extração com um rendimento médio de 48 m³/hora.



Figura 1
 Forwarder Volvo A25C
 (A25C Volvo forwarder)

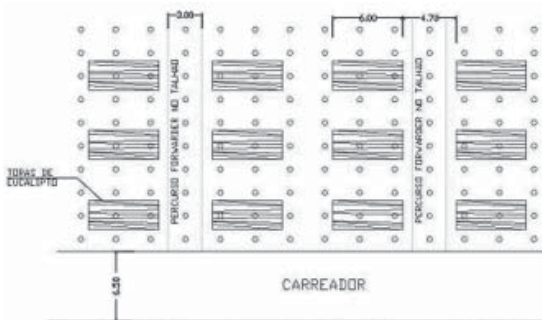


Figura 2
 Esquema de disposição da madeira após corte e processamento pelo harvester.
 (Wood arrangement after felling and processing by harvester)

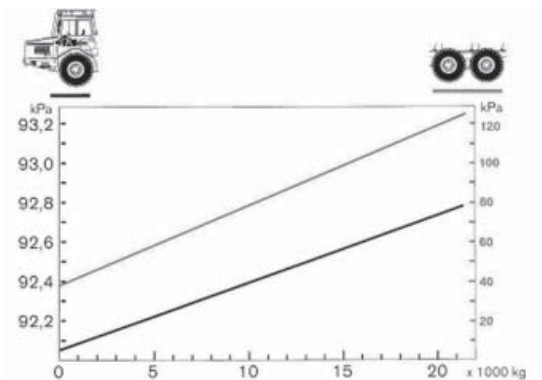


Figura 3
 Pressão aplicada sobre o solo pelo forwarder Volvo A25C equipado com pneus 750/65 R25 (Folheto Técnico Volvo, 1997).
 (Ground pressure by Volvo A25C forwarder with 750/65 R25 tires (Volvo Technical Brochure, 1997))

O "forwarder" Volvo A25C estava equipado com 6 pneus 750/65 R25 proporcionando, de acordo com o fabricante (Folheto Técnico Volvo, 1997), pressões aplicadas sobre o solo abaixo de 120 kPa (Figura 3).

Métodos

A retirada de madeira de dentro da floresta com o "forwarder" foi avaliada em quatro períodos de trabalho, considerados como parcelas neste estudo, utilizando-se um GPS Trimble Pro XL. Uma antena era colocada na parte externa do trator florestal auto-carregável para facilitar a captação de sinais dos satélites (Figura 4).



Figura 4
 Posicionamento de antena externa no forwarder.
 (Position of external antenna on forwarder)

Com base nos dados coletados em campo, foi feita uma correção diferencial para os pontos com uma precisão de aproximadamente 5 metros, compreendendo a bitola das máquinas. Esses pontos foram ligados e determinados o traçado realizado pela máquina e os pontos de sobreposição (pontos em que o trator passou duas ou mais vezes). A coleta de pontos durante o tráfego foi feita em intervalos de 30 segundos, considerando-se a regularidade de tráfego do "forwarder" e a capacidade de memória do GPS.

No processo de correção foram levantados os pontos coletados de forma errônea pelo GPS, como os locais de perda de contato com os satélites, e a definição mais adequada da coleta de pontos quando estes apareciam acumulados sobre um mesmo local, significando que a máquina estava parada, realizando carga ou descarga das toras de eucalipto. Estes pontos acumulados foram eliminados, para que no processamento de imagens e cálculo do número de passadas não fosse evidenciado que a máquina passou pelo local por mais vezes do que realmente aconteceu. Esse processo foi realizado no software Arcview 3.2.

Corrigidos os percursos, definiram-se todas as áreas no AutoCAD 2000, tais como: limite dos talhões; localização dos carregadores; determinação das áreas efetivas colhidas com o "forwarder", durante a coleta dos dados com o GPS.

Elaboradas as imagens definitivas, passou-se então a estudar a densidade de passadas realizadas pelo trator. Para esta análise utilizou-se uma extensão do software Arcview 3.2, denominada "Density Analysis", com o comando Calculate Density. Este comando realiza o cálculo de densidade por pontos levantados. Porém, os percursos realizados pela máquina de colheita estavam marcados por linhas contínuas, que possuíam pontos, coletados pelo

GPS, apenas nos vértices das linhas. Foi utilizado um roteiro elaborado no software Arcview 3.2 (função "script"), que permitiu que os percursos coletados no GPS, representados por linhas contínuas, fossem transformados em uma seqüência de pontos distanciados um metro entre eles. Assim, foi possível iniciar o cálculo de densidade de passadas. Esse cálculo foi realizado levantando o número de pontos existentes por metro quadrado, dentro de uma área circular definida. Nesse caso foi estipulada uma circunferência de raio de 2 metros, formando uma área de busca de 12,57 m² para cálculo das densidades de tráfego. Através dos mapas dos percursos realizados pelas máquinas, pôde-se observar que quando se tratava de apenas uma passada da máquina, o círculo de busca de densidade encontrava até 4 pontos do percurso. A Tabela 1 mostra o número máximo de pontos encontrado dentro de cada classe e a respectiva densidade.

Tabela 1

Número máximo de pontos e densidade por frequência de passadas do "forwarder".
(Maximum number of points and density by frequency of forwarder passes)

Passadas	Pontos	Densidade de pontos
0	0	0,00
1	4	0,32
2	8	1,27
5	20	2,55
10	40	6,37
15	60	12,73
20	80	19,10
25	100	25,46

Encontradas as densidades máximas em cada limite de passadas, foi necessário elaborar os limites máximo e mínimo de densidade por classe, inseri-los no Arcview 3.2 e executar o comando Calculate Density. Com os valores da Tabela 2, o software pôde calcular e elaborar as definições gráficas de cada classe do número de passadas.

Tabela 2

Valores limites de densidade de pontos por passada do trator.

(Limit values of point densities by tractor passes)

Passadas	Limites	
	Mínimo	Máximo
0	0,00000	0,00000
1	0,00001	0,31831
2 a 5	0,31832	1,27324
6 a 10	1,27325	2,54648
11 a 15	2,55649	6,36620
16 a 20	6,36621	12,73240
21 a 25	12,73241	19,09859

Após as definições realizadas de acordo com o número de passadas, foi feita uma reclassificação para que fossem determinadas as áreas que as classes estavam abrangendo. O processo de reclassificação, realizado no Arcview 3.2, ainda na extensão "Density Analysis", com o comando "Reclassify", é utilizado para que os "pixels" (áreas de apresentação de imagens em formato raster), atribuídos a uma mesma classe, passem a assumir valores absolutos únicos. A Tabela 3 mostra os valores absolutos assumidos para cada classe de frequência de passadas. Com estes valores, determinou-se a área total de cada parcela e calcularam-se as porcentagens das áreas atingidas por classe de frequência de passadas.

Tabela 3

Valores absolutos de pontos por passada do trator.

(Absolut values of points by tractor passes)

Passadas	Valor
0	1
1	2
2 a 5	3
6 a 10	4
11 a 15	5
16 a 20	6
21 a 25	7

A determinação da compactação do solo devido à frequência de tráfego foi feita através de valores de resistência do solo (índice de cone) obtidos por meio do uso de penetrômetro de

impacto. A frequência de tráfego foi simulada estabelecendo-se parcelas com 1, 5, 10, 17, 21 e 25 passadas do trator com carga. Em cada parcela foram coletadas, no centro do sulco resultante da passagem do rodado, 10 leituras da resistência do solo com penetrômetro até a profundidade de 50 cm. A análise de variância foi feita com as médias obtidas para cada 2 cm de profundidade no solo, mas somente entre valores dos diferentes tratamentos em uma mesma profundidade. Para cálculo da resistência do solo à penetração, transformou-se o número de impactos do penetrômetro através do perfil do solo em kPa, por meio da fórmula:

$$R = 560 + 689 N \quad (\text{Stolf, 1991})$$

Onde: R é a resistência do solo à penetração em kPa; e

N é o número de impactos por decímetro.

Cinco parcelas de 2.500 m² (50m x 50m) foram distribuídas aleatoriamente pelo local de estudo para a avaliação de distúrbios no solo. O distúrbio foi determinado visualmente em uma malha de pontos, separados 2 m entre si, classificados da seguinte maneira:

- (1) Sem distúrbio.
- (2) Com distúrbio - presença de serapilheira
- (3) Com distúrbio - remoção de serapilheira
- (4) Com distúrbio - solo mineral exposto
- (5) Com distúrbio - solo mineral depositado sobre o terreno
- (6) Distúrbio profundo - sub-solo exposto
- (7) Presença de tocos, rochas ou pedras

O número de pontos em cada classe foi dividido pelo número total de pontos da parcela, obtendo-se a seguir uma estimativa da porcentagem de área em cada classe de distúrbio. Essa estimativa foi comparada com aquela obtida através do GPS.

Foi avaliada também a quantidade de cobertura de matéria orgânica existente por metro quadrado de área, após ter sido efetuado o

corte das árvores. Foi colocada uma moldura de 0,25 m² sobre o solo e coletada toda a cobertura orgânica existente, em termos de folhas e galhos com diâmetro inferior a 4 cm, repetindo-se aleatoriamente o processo por 10 vezes para cada local de estudo.

RESULTADOS

O tráfego do forwarder foi feito de maneira regular, sempre seguindo "encavalado" sobre uma linha de cepas (Figura 5), tendo sido realizada a extração total de 1105 m³ de madeira. A quantidade de matéria orgânica no local de tráfego era de 5,42 kg/m², resultado do processamento das árvores e deposição de galhos pelo harvester na mesma trilha de escoamento da madeira.



Figura 5
Extração de madeira com "forwarder" Volvo A25C.
(Wood transportation by A25C Volvo forwarder)

Em virtude da proximidade das áreas de coleta, os arquivos de dados do GPS foram englobados em uma única imagem (Figura 6). A regularidade do tráfego só não ocorreu próximo aos locais de descarregamento da madeira, onde se observa uma maior movimentação do trator. Considerando-se unicamente a área do talhão correspondente ao raio de ação do "forwarder" em cada coleta, concluiu-se que, em média, 77% da área não tiveram tráfego, com cerca de 62% da área trafegada correspondendo a uma frequência entre duas e cinco passadas (Tabela 4).

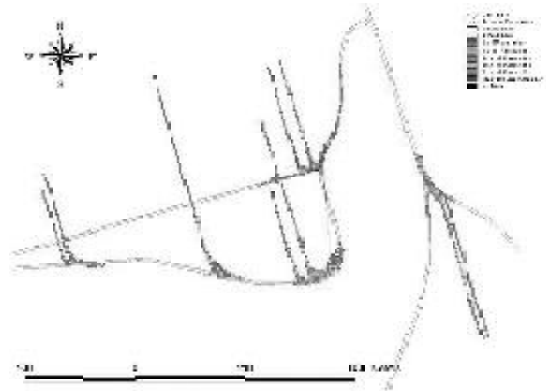


Figura 6
Representação do tráfego do "forwarder" acompanhado por GPS.
(Forwarder traffic representation followed by GPS)

Tabela 4
Área do talhão (%) sob diferentes frequências de tráfego do "forwarder".
(Stand área (%) under different forwarder traffic frequency)

Frequência de Tráfego (Passadas)	Área(%)
Sem tráfego	76,6
2 a 5	14,5
6 a 10	5,9
11 a 15	2,3
16 a 20	0,7

O resultado da determinação dos distúrbios causados no solo está discriminado na Tabela 5. A análise de variância dos dados, excluindo-se a classe 7, apresentou um coeficiente de variação de 30,3%.

Tabela 5
Distúrbios causados no solo pelo tráfego do "forwarder" A25C.
(Soil disturbance as a result of A25C forwarder traffic)

Classe de Distúrbio	Área (%)
(1) Sem distúrbio	73,1a
(2) Com distúrbio - presença de serapilheira	15,5b
(3) Com distúrbio - remoção de serapilheira	9,2b
(4) Com distúrbio - solo mineral exposto	1,3b
(7) Presença de tocos, rochas, pedras	0,9

Neste sistema, observa-se que o tráfego do "forwarder" restringiu-se a uma parcela de 26,0%

da área total sob colheita, com 10,5% sofrendo um impacto mais acentuado (classes 3 e 4). Estes resultados são bem próximos daqueles encontrados por meio do GPS, haja vista que o "harvester" deslocou-se pelas mesmas trilhas e o transporte da madeira é feito na caixa de carga do "forwarder". As avaliações de impactos por parcela estão exemplificadas na representação gráfica de uma das parcelas avaliadas (Figura 7).

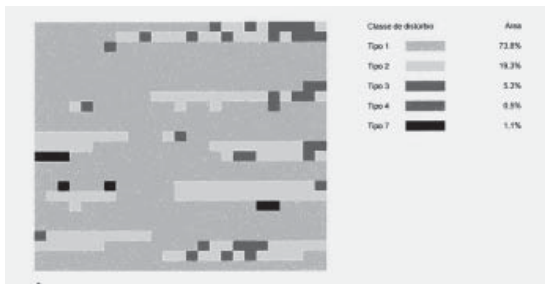


Figura 7
Distribuição e freqüência de distúrbios por classe devido ao tráfego do forwarder em uma parcela.
(Distribution and frequency of soil disturbance by class as a result of forwarder traffic in one plot)

A avaliação da compactação do solo resultante do tráfego do "forwarder", obtida indiretamente pela avaliação da resistência do solo à penetração, encontra-se detalhada na Figura 8. Os valores de conteúdo de água do solo durante o processo de simulação do tráfego do "forwarder" encontram-se na Tabela 6.

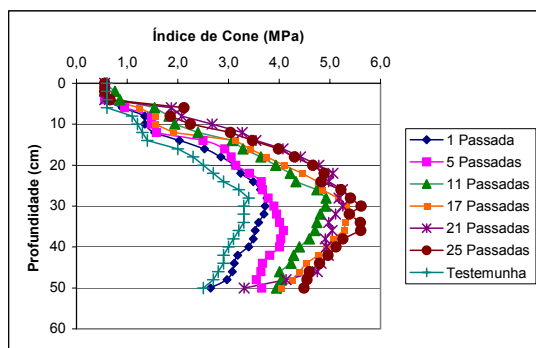


Figura 8
Índice de cone para freqüência de tráfego do forwarder.
(Cone index for forwarder traffic frequency)

Tabela 6

Valores de umidade do solo na simulação de tráfego do forwarder.

(Soil moisture content on forwarder traffic simulation)

Profundidade do Solo(cm)	Umidade(%)
0-10	12,5
11-20	11,1
21-30	12,4
31-40	11,9
41-50	12,7

Não houve compactação significativa nos primeiros quatro centímetros de profundidade do solo. A compactação em relação à testemunha ocorreu em todo o perfil do solo, até a profundidade de 50 cm, somente após 11 passadas do forwarder. Com 5 passadas do forwarder, houve compactação nas faixas de 6 a 8 cm, 12 a 14 cm e entre 36 e 50 cm de profundidade. Não foi registrada compactação após uma única passada do trator, com algumas faixas do perfil do solo sendo destacadas na Tabela 7 para melhor visualização dos efeitos de cada tratamento.

De acordo com os valores da Tabela 7, a compactação devido ao tráfego do "forwarder" continua crescendo de maneira acentuada após 5 passadas da máquina. O nível de compactação atingido após 5 passadas representou 41,2% da compactação total após 25 passadas. Com 11 passadas, atingiu-se 73,5% da compactação total, o que demonstra, nas condições deste estudo, que o impacto aumentou com maior tráfego, não se concentrando nas passadas iniciais. Uma possível explicação pode estar relacionada com o baixo teor de água do solo (12%), que possibilitou uma maior capacidade de suporte na primeira passada, mas que foi sendo suplantada com o aumento do tráfego deste modelo de "forwarder", que apresenta peso total mais elevado (42 t) que modelos convencionais (ex.: forwarder CAT 554 6x6: 22 t).

Tabela 7

Valores médios de índice de cone (MPa) no perfil do solo em virtude da frequência de tráfego do forwarder. (Cone index average values (MPa) as a result of forwarder traffic)

Profundidade (cm)	Tratamentos *						
	Testemunha	1 Vez	5 Vezes	11 Vezes	17 Vezes	21 Vezes	25 Vezes
4 - 6	0,6 e	0,9 bde	0,9 bde	1,4 bcd	1,2 bcd	1,6 ac	1,5 ab
18 - 20	2,5 d	3,1 bcd	3,1 bcd	3,9 abc	4,1 ab	4,7 a	4,7 a
28 - 30	3,3 b	3,7 b	3,9 b	4,9 a	5,3 a	5,3 a	5,6 a
38 - 40	3,0 d	3,4 cd	4,0 bc	4,4 ab	4,9 ab	4,9 a	5,1 a
48 - 50	2,5 b	2,6 b	3,7 a	3,9 a	4,0 a	3,3 ab	4,1 a

(*) A análise de variância não foi efetuada entre diferentes profundidades. Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Observa-se também que o índice de cone de 3 MPa, considerado como limite crítico para o desenvolvimento do sistema radicular (Sands et al., 1979), já ocorria antes do tráfego a partir de 24 cm de profundidade, ressaltando-se que esses valores de resistência à penetração foram obtidos em um solo com 12,1% de conteúdo médio de água. Com a passagem do "forwarder", nas diferentes frequências de tráfego, esse limite foi atingido já na faixa entre 10 e 20 cm do perfil do solo, presumivelmente uma zona com grande concentração de raízes. Ou seja, o tráfego do "forwarder" Volvo A25C resultou, mesmo na situação de baixo teor de água do solo encontrada neste estudo, em condições mais adversas para o crescimento das raízes. No caso da condução da brotação, deve-se procurar avaliar se essa condição poderá vir a ser desfavorável ao desenvolvimento da nova rotação do povoamento de *Eucalyptus grandis*.

CONCLUSÕES

A aplicação do GPS para acompanhamento do tráfego de máquinas de colheita de madeira mostrou-se promissora, possibilitando inclusive determinar o alcance e a frequência de tráfego na área trabalhada.

A quase totalidade da movimentação do "forwarder", registrada pelo GPS, foi feita de

maneira concentrada em cerca de um quarto da área do povoamento, resultado corroborado pela avaliação visual dos distúrbios causados no solo. Neste caso, somente 10% da área total sofreram distúrbio mais acentuado, característica favorável para o sistema de toras curtas empregando "harvester" e "forwarder".

A compactação do solo aumentou com o número de passadas do "forwarder" e não foi significativa após somente uma passada. Contrariamente à bibliografia especializada, a concentração do tráfego, nas condições encontradas neste estudo, seria prejudicial com relação ao aumento do nível de compactação do solo. Contudo, a maior capacidade de carga deste "forwarder" fez com que a maior parte do tráfego estivesse restrita entre duas e cinco passadas do trator, concentrando os maiores efeitos na compactação do solo em 10% da área do povoamento.

AUTORES E AGRADECIMENTOS

FERNANDO SEIXAS é Professor Associado do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ / USP - Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP - 13418-900 - E-mail: fseixas@esalq.usp.br

CARLOS GABRIEL GONÇALVES KOURY é Aluno de graduação do Curso de Engenharia Florestal da ESALQ / USP - Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP - 13418-900.

FABIANO ANTONIO RODRIGUES é Engenheiro Florestal e Mestre em Recursos Florestais pela ESALQ / USP.

Os autores agradecem à Cia. Duratex S.A. pelo apoio e à FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BURGER, J.A. Physical impacts of harvesting and site preparation on soil. In: SOCIETY OF AMERICAN FORESTER: APPALACHIAN SECTION ANNUAL MEETING, 1983. **Proceedings**. Bethesda: SAF, 1983. 9p.
- DYRNESS, C. Soil surface condition following tractor and high-lead logging in the Oregon Cascades. **Journal of forestry**, v.63, p.272-275, 1965.
- FROEHLICH, H.A.; MCNABB, D.H. Minimizing soil compaction in Pacific Northwest forests. In: STONE, E.L., ed. **Forest soils and treatment impacts**. Knoxville: University of Tennessee, 1984. p.159-192.
- HATCHELL, G.E.; RALSTON, C.W.; FOIL, R.R. Effects on soil characteristics and growth of loblolly pine in the Atlantic Coastal Plain. **Journal of forestry**, v.68, p.772-775, 1970.
- LANFORD, B.L.; STOKES, B.J. Comparison of two thinning systems: part 1- stand and site impacts. **Forest products journal**, v.45, n.4, p.74-79, 1995.
- MCDONALD, T.P.; RUMMER, R.B.; TAYLOR, S.E.; ROBERSON, J.R. Using GPS to evaluate traffic patterns of forest harvesting equipment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE AND FORESTRY, 1, 1998. **Proceedings**. Lake Buena Vista, 1998. v.1. p.465-471.
- MCNABB, D.H.; FROEHLICH, H.A. Conceptual model for predicting forest losses from soil compaction. In: PROCEEDINGS OF THE 1983 SAF NATIONAL CONVENTION, 1983. p.261-265.
- MCNEEL, J.F.; BALLARD, T.M. Analysis of site stand impacts from thinning with a harvester-forwarder system. **Journal of forest engineering**, v.4, n.1, p.23-29, 1992.
- SANDS, R.; GREACEN, E.L.; GERARD, G.J. Compaction of sandy soils in radiata pine forests: 1 - a penetrometer study. **Australian journal soil research**, v.17, p.101-113, 1979.
- SEIXAS, F. Avaliação da compactação de solos e sua influência na produtividade e qualidade da floresta. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 4, Campinas, 1999. **Anais**. Viçosa: SIF / UFV, 1999. p.14-35.
- SEIXAS, F.; SOUZA, C.R.S. The use of bulk density and cone penetrometer resistance as indicators to evaluate the influence of forestry machine traffic on soil compaction. In: IUFRO CONFERENCE ON INDICATORS FOR SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT, Melbourne, 1998. **Proceedings**. Melbourne: Natural Resources and Environment, 1998. p.156-157.
- SIROIS, D.L.; STOKES, B.J.; ASHMORE, C. Primary transport of wood on sensitive sites in the Southeast. In: PROCEEDINGS 1985 OF THE COUNCIL OF FORESTRY ENGINEERING. 1985. p.122-127.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, v.15, p.229-235, 1991.