

## RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM ÁREA DE DESBASTE MECANIZADO DE *Eucalyptus saligna*

Guilherme Silveira de Oliveira<sup>1</sup>, Catize Brandelero<sup>2\*</sup>, Francieli de Vargas<sup>3</sup>, Wilson Orlando Rotili<sup>1</sup>, Valmir Werner<sup>2</sup>, Alexandre Russini<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro florestal, Universidade Federal de Santa Maria, 97105-900, Santa Maria, Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Rural (DER), Centro de Ciências Rurais (CCR), UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

<sup>3</sup>Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal (PPGEF), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil.

<sup>4</sup>Campus Itaqui, Universidade Federal do Pampa, 97650-000, Itaqui, Brasil.

\*E-mail: [catizebrandelero@gmail.com](mailto:catizebrandelero@gmail.com)

Recebido em: 30/04/2021

Aceito em: 09/11/2021

### RESUMO

A mecanização florestal se expande cada vez mais no Brasil e, as operações como o desbaste, são comuns em plantios comerciais de eucaliptos. Por outro lado, o tráfego intenso de máquinas acarreta problemas físicos de solo, destacando-se a compactação. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência do solo à penetração (RP) em uma área de desbaste mecanizado de *Eucalyptus saligna* submetido a diferentes condições de tráfego de máquinas. O estudo foi realizado no município de Butiá, Rio Grande do Sul, sendo avaliado três condições de tráfego (sem tráfego, passagem de máquina base com processador e passagem do trator com reboque autocarregável). Foram analisados a resistência penetração nas camadas de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm. Os resultados evidenciaram que a camada superficial é a que apresenta maior efeito do tráfego, devido aos maiores valores de RP observados. Em relação a posição do rodado horizontalmente, as posições fora do rodado e entre rodados foram as que demonstraram menor efeito da pressão do tráfego das máquinas florestais sobre o solo.

**Palavras-chave:** Operações florestais. Compactação de solo. Propriedade física do solo. Máquinas florestais.

### 1 Introdução

As florestas plantadas no Brasil ocupam, aproximadamente, 7,83 milhões de hectares, onde destes, 5,7 milhões são ocupados por eucalipto [1]. No estado do Rio Grande do Sul, segundo informado pela AGEFLOR [2], as florestas plantadas com esta espécie ocupam 426,7 mil hectares, representando 8% da área plantada no país. Estas florestas são destinadas a atender diferentes demandas: papel e celulose, carvão, painéis reconstituídos, pellets, cavacos e madeira serrada. Para que isso seja possível, busca-se o máximo rendimento com a aplicação de diferentes técnicas de manejo como: capinas, desramas e desbastes [3]. Para

Schneider e Schneider [4] a operação de desbaste pode ser sistemática ou seletiva, podendo ser aplicado de forma conjunta para a obtenção de melhores resultados. Assim, é realizado o corte raso de uma linha de árvores e as seletivas são previamente demarcadas por apresentar menor vigor que as demais. Esta técnica favorece o incremento em diâmetro das árvores remanescentes.

Os desbastes podem ser realizados de forma semimecanizada ou mecanizada, sendo que a segunda opção pode ser realizada com o uso de tratores florestais ou adaptados. Devido a sua massa, estas máquinas podem ocasionar dano físico ao solo, principalmente, em condições de alta umidade. Ashburner e Sims [5] recomendam o tráfego de

máquinas quando o solo apresenta uma condição abaixo no limite plástico. Camargo e Alleoni [6] explicam que a compactação é uma alteração ocasionada na estrutura física do solo, reduzindo macro e microporos, o que limita a disponibilidade de ar e água a cultura, restringindo o seu desenvolvimento.

A resistência do solo à penetração é um dos indicadores de compactação, podendo ser avaliada com o uso de penetrômetros estáticos digitais ou penetrógrafos, penetrômetros de impacto e penetrômetros semiautomáticos seguindo a norma ASAE S313-2, possibilitando, a obtenção de respostas quanto ao estado físico do solo [7]. O penetrômetro é composto por uma haste com uma ponta em cone [8], sendo os valores de resistência à penetração do solo determinados no momento da aplicação de uma força vertical pelo operador ao aparelho [9]. Ainda, os valores de resistência à penetração do solo são influenciados pelo diâmetro e pelo ângulo do cone; também, pela taxa de penetração, densidade, umidade do solo, teor de argila e tipo de solo [9]. Os diferentes tipos de cones têm seus diâmetros e ângulos padronizados pela norma ASAE S313.3, tornando conhecido e mais confiáveis os métodos para a realização de trabalhos com penetrometria.

Estes equipamentos vêm sendo utilizados em diferentes estudos para a avaliação dos efeitos da compactação na produção de diversas culturas e, a aplicação da mecanização em diferentes condições de solo e umidade [10].

Deste modo, conhecer os impactos causados pelas operações mecanizadas em áreas florestais, em relação à compactação do solo, é de suma relevância. Estas informações podem implicar diretamente no planejamento das atividades de silvicultura e colheita, assim como, na busca por implementação de uma floresta economicamente viável e ambientalmente correta. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência do solo à penetração (RP) em uma área de desbaste mecanizado de *Eucalyptus saligna*, submetido a diferentes condições de tráfego de máquinas florestais.

## 2 Metodologia

### 2.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido em um plantio comercial de *Eucalyptus saligna*, localizado no município de Butiá, estado do Rio Grande do Sul, com coordenadas geográficas 30°11'5.24''S e 54°58'18.74''W.

Segundo a classificação climática Köppen, o clima da região é o Cfa, tipo Subtropical úmido, com pluviosidade anual

média de 1.652,6 mm e temperatura média de 23°C [11]. O solo da região é classificado como Argissolo Vermelho-Escuro álico e distrófico Tb A moderado e proeminente, com textura média a argilosa e relevo ondulado [12].

A floresta avaliada destina-se a produção de toras para serraria com ciclo de corte de 20 anos. A área em estudo foi implantada no ano de 2008, com espaçamento de 2,5 m x 3,0 m, com uma densidade populacional inicial de 1.333 plantas por hectare. Aos quatro anos de idade foi realizado o primeiro desbaste seletivo de forma semimecanizada.

O segundo desbaste ocorreu aos 10 anos, realizado de forma mecanizada. Foram adotados dois métodos de desbaste: o sistemático (com a retirada de uma linha de árvores a cada quatro linhas) e o seletivo (retirada de árvores que não se enquadram nas características desejadas de produção).

Para a coleta de dados, foram definidos dois locais de desbaste (A e B) pertencentes a área maior, com dimensões de 45 m x 50 m, distantes 230 metros, seguindo a mesma linha de corte. Por questões operacionais, foi definido a terceira linha de corte raso para a alocação das parcelas, permitindo que as máquinas entrassem na linha de corte iniciando pela parcela B e, concluindo na parcela A, conforme demonstra a Figura 1.



Figura 1 – Locais (A e B), onde as operações de desbaste foram realizadas.



## 2.2 Caracterização das máquinas utilizadas

Para realização do corte das árvores no desbaste, foi utilizado uma máquina base (Figura 2) equipada com motor de 95,68 kW de potência nominal e, rodados do tipo esteiras metálica, tendo as seguintes dimensões: 2.980 mm de altura máxima e 2.490 mm de largura. A máquina foi adaptada para a realização de operações de corte de árvores, por meio do acoplamento de um cabeçote florestal processador. A composição de corte possui uma massa total de 25.086 kg (1.306 kg do cabeçote e 23.780 kg da máquina base).



Figura 2 – Máquina base equipada com cabeçote processador utilizados para o abate das árvores.

As operações realizadas pela máquina base equipada com cabeçote processador são: derrubada, desgalhamento, seccionamento e o traçamento das árvores. A deposição das toras de madeira foi realizada em bandeiras ao lado da linha de corte, sendo os resíduos depositados no lado oposto às bandeiras e, sobre a linha de corte.

Para a retirada da madeira do interior do talhão até o pátio de estocagem (baldeio), foi utilizado um trator 4x2 TDA, com 139 kW de potência nominal, acoplado a um reboque autocarregável equipado com braço hidráulico carregador, operado por sistema de *joysticks*. Este equipamento possui 6 metros de comprimento útil e capacidade de carga de 12,23 kN, correspondendo a um volume aproximado de 18,9 m st. O conjunto mecanizado possui massa de 6.500 kg, sendo carregado com  $\frac{3}{4}$  de sua capacidade fora da linha de tráfego,

para posterior passagem de forma uniforme pela linha a ser avaliada (Figura 3).



Figura 3 – Trator e reboque autocarregável utilizado no baldeio da madeira, com  $\frac{3}{4}$  da capacidade.

## 3.3 Penetrometria

Para a coleta dos dados, referentes a resistência do solo à penetração, foi utilizado um penetrômetro eletrônico da marca Falker, modelo PenetroLOG, com haste de 60 cm e ponteira em formato de cone do tipo 2. Este equipamento registra o valor da pressão correspondente à resistência a penetração do solo, de um ponto, em camadas a diferentes profundidades (Figura 4).



Figura 4 – Coleta de dados de resistência do solo à penetração na linha de tráfego.

### 3.4 Delineamento experimental

O estudo foi realizado em duas áreas, definidas como locais (A e B), submetido a diferentes condições de tráfego na operação de desbaste: T0 – condição original do solo antes do início da operação de desbaste; T1 – condição do solo após a passagem da máquina base equipada com processador e T2 – condição do solo após a realização do baldeio com 3/4 de carga. Os pontos no T0 foram coletados a cada 5 m, nas três linhas de desbaste, enquanto em T1 e T2 foram coletados pontos a cada 10 m, em diferentes posições, conforme a passagem do rodado: linha de tráfego do rodado esquerdo (RE), linha de tráfego do rodado direito (RD), lado de fora do rodado esquerdo (FRE), no lado de fora do rodado direito (FRD) e, entre os rodados (ER), conforme pode ser visualizado na Figura 5.

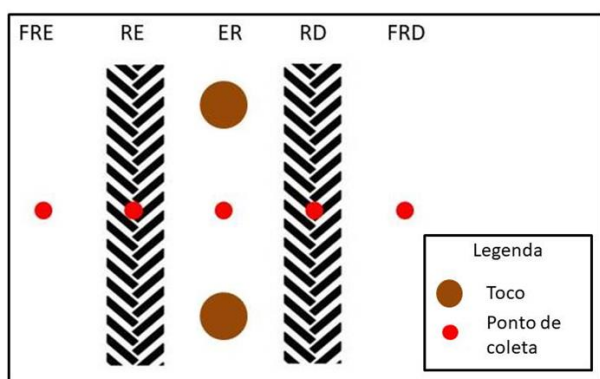


Figura 5. Croqui da coleta de dados de resistência do solo à penetração, onde FRE (Fora do rodado Esquerdo), RE (Rodado Esquerdo), ER (Entre Rodados), RD (Rodado Direito) e FRD (Fora do Rodado Direito).

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), em arranjo bifatorial, sendo os tratamentos definidos pela combinação dos seguintes fatores: local (A e B) como sendo os níveis do primeiro fator e, as condições de tráfego: T0, T1 e T2 correspondentes aos níveis do segundo fator. Os dados referentes a resistência do solo à penetração foram coletados em nas profundidades: 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm. Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro Wilk, para a

verificação da normalidade e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

### 3 Resultados e discussões

Na tabela 1 são apresentados os valores médios de resistência do solo à penetração, nos locais de estudo e condições de tráfego e nas diferentes camadas avaliadas. Analisando-se os valores médios de resistência a penetração separadamente, observa-se, que na camada de 0 a 20 cm, o valor mínimo foi de 1,25 MPa para o tratamento T0 e máximo de 1,79 MPa no T2. Houve diferença significativa entre o T0 e os demais tratamentos em ambos os locais, indicando que ocorreu compactação do solo após a passagem da máquina base equipada com processador. Porém, não houve considerável incremento na compactação após a passagem do trator e reboque autocarregável.

Na camada de 20 a 40 cm não houve diferença significativa entre os locais A e B. No local A, as condições de tráfego não diferiram estatisticamente, enquanto que no local B as condições T0, com 2,25 MPa e T2 com 2,57 MPa, apresentam diferença significativa, indicando considerável aporte na compactação do solo no local após a passagem dos equipamentos.

Tabela 1. Valores médios de resistência à penetração do solo nas diferentes condições de tráfego, locais e camadas avaliadas.

| Resistência a penetração (MPa) - Camada 0 a 20 cm  |            |          |         |  |  |
|--|------------|----------|---------|--|--|
| Local  | Tratamento |          |         |  |  |
|  | T0         | T1       | T2      |  |  |
| B  | 1,46 aB    | 1,74 aA  | 1,79 aA |  |  |
| A  | 1,25 bB    | 1,64 aA  | 1,65 aA |  |  |
| Resistência a penetração (MPa) - Camada 20 a 40 cm |            |          |         |  |  |
| Local  | Tratamento |          |         |  |  |
|  | T0         | T1       | T2      |  |  |
| B  | 2,25 aB    | 2,40 aAB | 2,57 aA |  |  |
| A  | 2,33 aA    | 2,39 aA  | 2,47 aA |  |  |
| Resistência a penetração (MPa) - Camada 40 a 60 cm |            |          |         |  |  |
| Local  | Tratamento |          |         |  |  |
|  | T0         | T1       | T2      |  |  |
| B  | 2,48 aA    | 2,60 aA  | 2,77 aA |  |  |
| A  | 2,19 bA    | 2,14 aB  | 2,23 bA |  |  |

Média seguida pela mesma letra maiúscula indica na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 0,05. Onde: T0



= Sem tráfego, T1 = Passagem da máquina base equipada com processador e T2 = Passagem do trator com reboque autocarregável.

Na camada de 40 a 60 cm referente ao local A, não houve diferença estatística entre as condições de tráfego estudadas. No local B, a condição de tráfego T1 apresentou diferença significativa em relação as demais, sendo que T0 e T2 diferiram entre os locais A e B. O local B foi o que apresentou os maiores valores de resistência do solo à penetração, possivelmente devido a variação nos teores de argila e maior teor de umidade em função da inclinação do terreno, quando comparado ao local A.

Em estudos sobre resistência do solo à penetração, Lopes et al. [14] constataram incrementos de até 104,3% após a passagem de um *harvester* (1,43 MPa) na colheita de *Pinus taeda* em relação a condição original do solo (0,70 MPa). Estes incrementos chegaram a 151,4%, após a passagem do *forwarder* (1,76 MPa), na camada de 0 a 15 cm de profundidade, não havendo diferenças significativas nas demais profundidades estudadas.

Em outro trabalho, realizado por Freitas et al. [15], observaram que ao estudarem diferentes formas de manejo, obtiveram valores de RP superiores a 4 MPa em áreas de pastagem. Quando comparado a áreas com sistemas agroflorestais, os valores foram menores que 1 MPa; já em uma área de toco de mata nativa cortada, os valores ficaram entre 2 e 3 MPa na camada superficial (0 a 20 cm).

Corroborando com o exposto anteriormente, Freitas et al. [15] e Lopes et al. [14] relacionam o maior incremento na resistência a penetração com a umidade do solo e a presença de matéria orgânica. Referente aos valores de resistência do solo à

compactação, Zou et al. [16] consideram o valor crítico em 3 Mpa, porém, tanto neste, quanto nos trabalhos citados anteriormente, não foram encontrados valores médios de resistência a penetração do solo superiores a este valor. Assim, a mecanização do desbaste pode ser uma alternativa, desde que associada a técnicas para a minimização dos danos ao solo, como: promover a deposição dos resíduos na linha de passagem das máquinas e evitar o tráfego de máquinas nas áreas com alta umidade no solo.

Ao se analisar a resistência do solo à penetração em relação a posição de passagem dos rodados observa-se, que no local A para as camadas com profundidades de 20 a 40 cm e 40 a 60 cm, não houve diferença significativa entre as posições do rodado nas diferentes condições de tráfego, tendo como valor mínimo de 1,92 MPa e máximo 2,68 Mpa, respectivamente (Tabela 2).

Na camada de 0 a 20 cm de profundidade (local A), a condição T1 não apresentou estatisticamente diferença significativa, referentes aos valores de resistência do solo à penetração nas posições centrais da linha de tráfego (RE e RD), apresentando valores de 1,81 MPa e 1,85 MPa, para T1 e T2 respectivamente, enquanto que o menor valor foi observado na posição ER com 1,37 Mpa para esta condição. Na condição de tráfego T2 não houve diferença estatística entre as posições do rodado RE (1,83 MPa) e RD (1,95 MPa), apresentando os maiores valores de resistência do solo à penetração, sendo que a posição ER apresentou o menor valor (1,27 MPa).

Tabela 2. Valores médios de resistência do solo à penetração, nas diferentes posições dos rodados, condições de tráfego e camadas, nos locais A e B.

| Resistência a penetração (MPa) - LOCAL A |    |         |         |        |        |         |
|--|----|---------|---------|--------|--------|---------|
|  |    | FRE     | RE      | ER     | RD     | FRD     |
| 0 - 20                                   | T0 | 1,25 a  | 1,25 a  | 1,25 a | 1,25 a | 1,25 a  |
|  | T1 | 1,76 ab | 1,81 ab | 1,37 b | 1,85 a | 1,39 b  |
|  | T2 | 1,75 ab | 1,83 a  | 1,27 c | 1,95 a | 1,44 bc |
| 20 - 40                                  | T0 | 2,33 a  | 2,33 a  | 2,33 a | 2,33 a | 2,33 a  |
|  | T1 | 2,46 a  | 2,68 a  | 2,27 a | 2,26 a | 2,28 a  |
|  | T2 | 2,72 a  | 2,49 a  | 2,07 a | 2,42 a | 2,66 a  |
| 40 - 60                                  | T0 | 2,19 a  | 2,19 a  | 2,19 a | 2,19 a | 2,19 a  |
|  | T1 | 2,13 a  | 2,34 a  | 2,25 a | 1,92 a | 2,05 a  |
|  | T2 | 2,26 a  | 2,13 a  | 2,12 a | 2,20 a | 2,42 a  |
| Resistência a penetração (MPa) - LOCAL B |    |         |         |        |        |         |
|  |    | FRE     | RE      | ER     | RD     | FRD     |

|         |    |         |         |         |         |         |
|---------|----|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0 - 20  | T0 | 1,46 a  | 1,46 a  | 1,46 a  | 1,46 a  | 1,46 a  |
|         | T1 | 1,59 a  | 1,95 a  | 1,56 a  | 1,89 a  | 1,69 a  |
|         | T2 | 1,67 bc | 2,21 a  | 1,35 c  | 2,06 ab | 1,65 bc |
| 20 - 40 | T0 | 2,25 a  | 2,25 a  | 2,25 a  | 2,25 a  | 2,25 a  |
|         | T1 | 2,48 a  | 2,39 ab | 2,08 b  | 2,50 a  | 2,55 a  |
|         | T2 | 2,58 a  | 2,77 a  | 2,18 b  | 2,71 a  | 2,61 a  |
| 40 - 60 | T0 | 2,48 a  | 2,48 a  | 2,48 a  | 2,48 a  | 2,48 a  |
|         | T1 | 2,60 ab | 2,09 b  | 2,47 ab | 2,93 a  | 2,93 a  |
|         | T2 | 2,95 a  | 2,66 a  | 3,05 a  | 2,42 a  | 2,77 a  |

Média seguida pela mesma letra indica, na linha, que os valores não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 0,05. Onde: T0 = Sem tráfego, T1 = Passagem do processador e T2 = Passagem do autocarregável; FRE = Fora do Rodado Esquerdo, RE = Rodado esquerdo, ER = Entre Rodados, RD = Rodado Direito e FRD = Fora do Rodado Direito.

Assim, a umidade potencializa a compactação do solo pelo tráfego de máquinas, conforme indica o estudo realizado por Sampietro et al. [18], na qual descrevem que as máquinas, em condições de alta umidade do solo, ocasionaram aumento de 24% nos valores de resistência do solo à penetração, enquanto em condições de baixa umidade do solo esse aumento ficou na ordem de 13%.

Em estudo sobre resistência do solo à penetração em área com cultivo de algodão, conduzido por Baio et al. [19], constataram que independentemente da posição, na linha de cultura ou na entrelinha, os valores não diferiram para profundidades maiores que 20 cm e, com a diminuição da umidade do solo, os valores de resistência à penetração aumentaram.

Na Figura 6 é possível observar o comportamento da resistência do solo à penetração nas três condições de tráfego. Na camada superficial, 0 a 20 cm, o comportamento das curvas geradas pelas médias nos locais A e B são semelhantes e, podendo-se inferir que, nos locais onde ocorreu a passagem dos rodados ocorreu um significativo aumento da RP.

Na camada correspondente a profundidade de 20 a 40 cm, o comportamento foi semelhante à camada superficial, porém com uma menor amplitude das médias, indicando uma menor ocorrência de compactação neste intervalo de profundidade. Na camada de 40 a 60 cm, as curvas contidas no gráfico indicam que estas profundidades sofrem menor efeito de compactação com a ação do tráfego de máquinas.

A posição ER apresentou os menores valores de resistência do solo à penetração após a passagem das máquinas de corte e baldeio. Isto deve-se a não passagem dos rodados das máquinas, bem como ao acúmulo de resíduos na linha de corte

após o processamento das árvores pela máquina base com processador, indicando assim, que esta pode ser uma alternativa para a diminuição dos efeitos negativos causados ao solo pela operação das máquinas no local.

#### 4 Conclusões

O tráfego de máquinas, nas operações de corte e baldeio após o desbaste mecanizado, causa o aumento da resistência do solo à penetração, principalmente, na camada superficial de 0 a 20 cm.

A pressão exercida pelo contato dos rodados no solo, causa maior compactação no centro das linhas de tráfego em relação às posições fora do rodado e entre os rodados.

As camadas mais profundas do solo estudadas, não sofreram influência na compactação pelo tráfego destas máquinas.

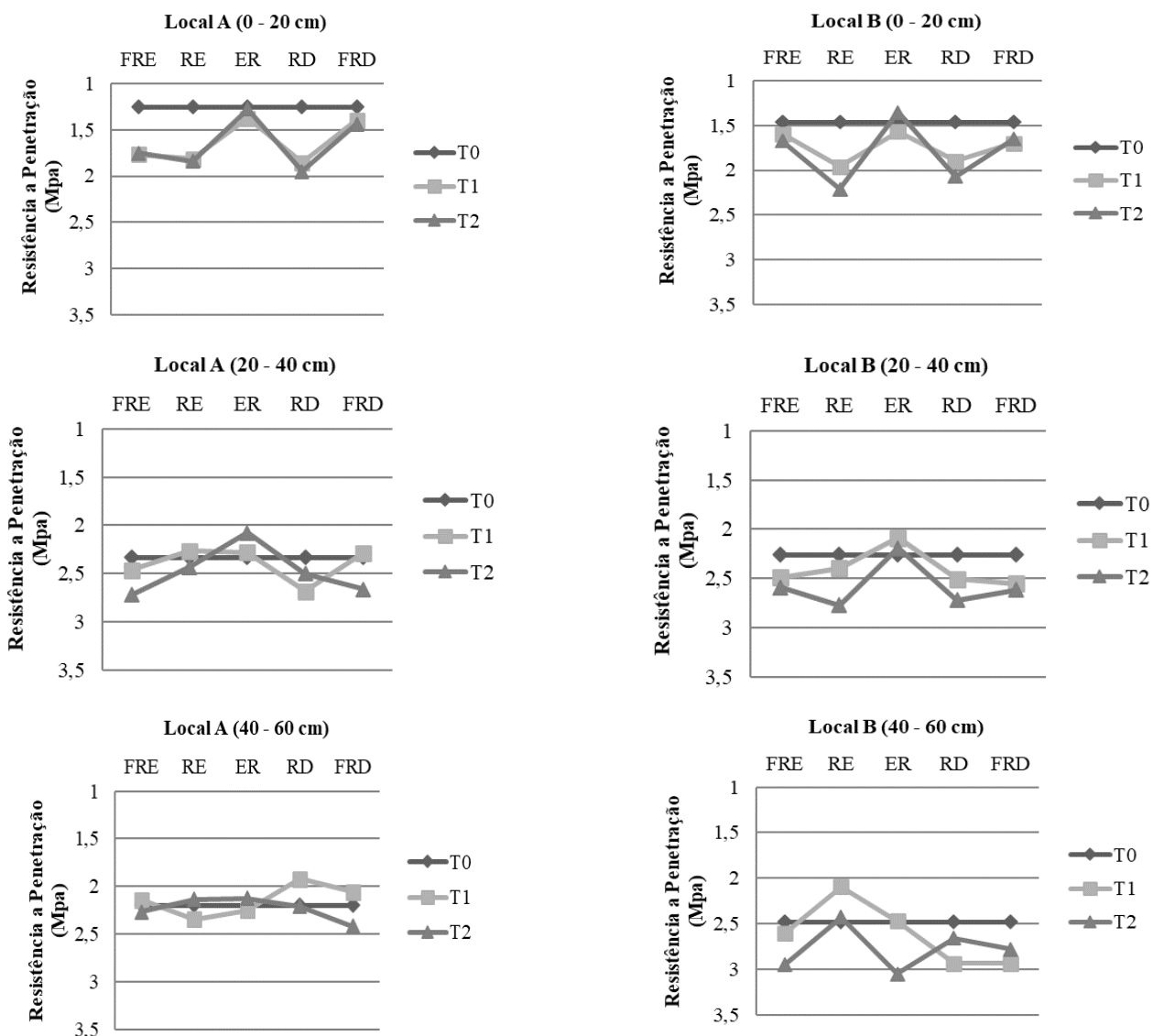


Figura 6. Representação gráfica dos perfis de compactação.

## Agradecimentos

Agradecemos a Agropecuária Condor por permitir e organizar a logística de operações para a coleta de dados deste estudo.

## SOIL RESISTANCE TO PENETRATION IN MECHANIZED THINNING AREA OF *Eucalyptus saligna*

**ABSTRACT:** Forest mechanization is expanding more and more in Brazil and operations such as thinning are common in commercial eucalyptus plantations. However, heavy machinery traffic causes physical soil problems, with compaction standing out. In this sense, the objective of this work was to evaluate the soil resistance to penetration (RP) in an area of mechanized thinning of *Eucalyptus saligna* submitted to different machine traffic conditions. The study was carried out in the municipality of Butiá, Rio Grande do Sul, and three traffic conditions were evaluated (without traffic, passing a base machine with a processor and passing a tractor with a self-loading trailer). The penetration resistance in layers 0 to 20, 20 to 40 and 40 to 60 cm were analyzed. The results showed that the superficial layer is the one that has the greatest traffic effect, due to the higher observed RP values. According to the position of the wheels horizontally, the positions outside of the wheels and between wheels were the ones that showed the least effect of the traffic pressure of forest machines on the soil.

**Keywords:** Forestry operations. Soil compaction. Physical property of the soil. Forestry machines

## Referências

- [1] INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES – IBÁ. Resultado Anual. 2018. Brasília. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>>. Acesso em 19/10/2019.
- [2] ASSOCIAÇÃO GAÚCHA DE EMPRESAS FLORESTAIS – AGEFLOR. A Indústria de Base Florestal no Rio Grande do Sul 2017. Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.ageflor.com.br/noticias/wp-content/uploads/2017/08/A-INDUSTRIA-DE-BASE-FLORESTAL-NO-RS-2017.pdf>>. Acesso em 19/10/2019.
- [3] DAVID, H. C. et al. Efeito da qualidade do sítio e do desbaste na produção de pinus. Floram – Floresta e Ambiente, Vol. 24, 2017.
- [4] SCHNEIDER, R.; SCHNEIDER, P. Introdução ao manejo florestal, 2ª ed. Santa Maria. UFSM, 2008. 492p.
- [5] ASHBURNER, J. E.; SIMS, B.G. Elementos de diseño del y herramientas de labranza. San José: IICA, 1984, 474 p.
- [6] CAMARGO, O. A. de.; ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1997.
- [7] MORAES, M. et al. Use of penetrometers in agriculture: A review. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, Vol. 34, n. 1, p. 179-193, 2014.
- [8] LOWERY, B.; MORRISON, J. E. Soil penetrometers and penetrability. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. Methods of soil analysis. Madison: Soil Science Society of America, p. 363-88. 2002.
- [9] BRADFORD, J. M. Penetrability. In: KLUTE, A. Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods, Madison: American Society of Agronomy, p. 463-478, 1986
- [10] CUNHA, A. R. et al. Resistencia mecânica do solo à penetração do solo sob diferentes densidade e teores de água. Engenharia na Agricultura, Viçosa, Vol. 10, n 1-4, p. 1-7, 2002.
- [11] WREGE, M. S. et al. Atlas climático da região Sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Brasília, DF: EMBRAPA, 334p. 2012.
- [12] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Mapa exploratório de solos do estado do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro, 2002.
- [13] VARGAS, Francieli de. Qualidade física do solo em desbaste mecanizado de *Eucalyptus saligna*. 2019. 63 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2019.
- [14] LOPES, E. et al. Compactação de um solo submetido ao tráfego do harvester e do forwarder na colheita de madeira. Floresta e Ambiente. Vol. 22, n. 2, p. 223-230, 2015.
- [15] FREITAS, I. et al. Resistência a penetração em Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes formas de manejo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Vol. 6, n. 12, p. 1275-1281, 2012.
- [16] ZOU, C. et al. Least limiting water range: a potential indicator of physical quality of forest soils. Australian Journal of Soil Research, 2000.
- [17] SOUZA, W. et al. Machine traffic and soil penetration resistance in guava tree orchards. Revista Caatinga. Mossoró, Vol. 31, n. 4, p. 980-986, 2018.
- [18] SAMPIETRO, J. A. et al. Compactação causada pelo tráfego de feller buncher e skidder em um Neossolo regolítico sob distintas umidades. Ciência Florestal, Santa Maria, Vol. 25, n. 1, p. 239-248, 2015.
- [19] BAILO, F. et al. Soil resistance to penetration in cotton rows and interrows. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Vol. 21, n. 6, p. 433-439, 2017.