

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**INFLUÊNCIA DO RELEVO E DA PRESENÇA DE RESÍDUOS DA COLHEITA
FLORESTAL NO RENDIMENTO E NA QUALIDADE SILVICULTURAL DE UM
SISTEMA DE PLANTIO MECANIZADO**

RAFAEL RIBEIRO SOLER

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU-SP
Setembro - 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**INFLUÊNCIA DO RELEVO E DA PRESENÇA DE RESÍDUOS DA COLHEITA
FLORESTAL NO RENDIMENTO E NA QUALIDADE SILVICULTURAL DE UM
SISTEMA DE PLANTIO MECANIZADO**

RAFAEL RIBEIRO SOLER

Orientador: Prof. Dr. Saulo Philipe Sebastião Guerra

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU-SP
Setembro - 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S685i Soler, Rafael Ribeiro, 1990-
Influência do relevo e da presença de resíduos da colheita florestal no rendimento e na qualidade silvicultural de um sistema de plantio mecanizado / Rafael Ribeiro Soler. - Botucatu : [s.n.], 2016
viii, 55 f. : fots. color., ils. color., grafs. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2016
Orientador: Saulo Philipe Sebastião Guerra
Inclui bibliografia

1. Pinus taeda. 2. Mecanização florestal. 3. Arborização. 4. Silvicultura. I. Guerra, Saulo Philipe Sebastião. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: INFLUÊNCIA DO RELEVO E DA PRESENÇA DE RESÍDUOS DA COLHEITA FLORESTAL NO RENDIMENTO E NA QUALIDADE SILVICULTURAL DE UM SISTEMA DE PLANTIO MECANIZADO

AUTOR: RAFAEL RIBEIRO SOLER

ORIENTADOR: SAULO PHILIFE SEBASTIÃO GUERRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. SAULO PHILIFE SEBASTIÃO GUERRA
Dep de Economia, Sociologia e Tecnologia / Faculdade de Ciências Agronomicas de Botucatu



Prof. Dr. KLEBER PEREIRA LANÇAS
Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP



Prof. Dr. GUSTAVO KIMURA MONTANHA
Depto de Tecnologia em Agronegócio / FATEC

Botucatu, 27 de julho de 2016.

DEDICO

*Ao meu falecido pai, Adão Aparecido Soler, pelos ensinamentos sobre batalhar e persistir
em busca de seus sonhos;*

*À minha mãe, Maria de Lourdes Ribeiro Soler, por todo amor, carinho e paciência em
minha trajetória;*

À minha irmã, Lais Ribeiro Soler, pelo auxílio e apoio em minha carreira.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora por iluminarem e guiarem minha vida;

A toda minha família pelo amor, companheirismo, educação e apoio ao longo da minha formação profissional;

À Faculdade de Ciências Agrônômicas pelo suporte e conhecimento agregado desde a graduação;

Ao Prof. Dr. Saulo Philipe Sebastião Guerra por me orientar, pelos ensinamentos e confiança desde o período de minha graduação;

Ao Programa de Pós Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura pela oportunidade e confiança;

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos que possibilitou minha permanência e dedicação exclusiva ao mestrado;

Ao Prof. Dr. Sergio Augusto Rodrigues pela disponibilidade e auxílio com a estatística deste trabalho;

Ao operador Davi pela amizade e convivência durante o período de coleta de dados;

À empresa Klabin pela oportunidade, confiança e suporte no desenvolvimento do trabalho em campo;

Aos amigos e membros do Laboratório Agroflorestral de Biomassa e Bioenergia – LABB: Ana, André Luiz, André Vitor, Bruna, Carla, Emanuel, Gabriela, Guilherme, Humberto, Julia Bergamin, Julia Ifanger, Marcelo, Mariana, Renan e Samara pela convivência, amizade e paciência durante o mestrado;

Ao Guilherme Corrêa Sereghetti pela amizade, colaboração em campo e convivência ao longo do projeto Plantadora;

Aos demais amigos de Botucatu - SP: Andressa Keller, Giovanna Serrau, Fernando Reis e Luis Paulo Infante pela amizade e convívio durante a graduação e mestrado;

Aos amigos de Assis – SP: Amarildo, Carlos, Caroline e Paulo que mesmo distantes me apoiaram ao longo da graduação e mestrado;

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	VIII
RESUMO	1
SUMMARY	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 O <i>Pinus spp.</i> no setor florestal brasileiro.....	7
2.2 Evolução do plantio florestal.....	8
2.3 O preparo de solo na área florestal	12
2.4 Análise qualitativa do plantio	13
2.5 Influência do relevo em operações florestais.....	14
2.6 Resíduos oriundos dos sistemas de colheita florestal	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1 Descrição da área experimental e espécie utilizada para o plantio.....	17
3.2 Escavadora hidráulica utilizada no conjunto plantador	19
3.3 Cabeçote do conjunto plantador	21
3.4 Sistema de preparo de solo	23
3.5 Delineamento experimental e análises estatísticas	24
3.6 Operação de preparo de solo e plantio.....	26
3.7 Estudo de movimentos e tempos	27
3.8 Disponibilidade mecânica e eficiência operacional.....	28
3.9 Produtividades com e sem reabastecimento do carrossel.....	29
3.10 Análise qualitativa do plantio e profundidade do preparo de solo	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1 Conjunto plantador	33
4.1.1 Preparo de solo.....	33
4.1.2 Estudo de movimentos e tempos.....	34
4.1.3 Eficiência operacional e disponibilidade mecânica	36

4.1.4	Produtividade com e sem reabastecimento do carrossel.....	37
4.2	Parâmetros silviculturais.....	42
4.2.1	Espaçamentos entre mudas	42
4.2.2	Qualidade pós-plantio mecanizado	42
5	CONCLUSÃO.....	48
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área experimental localizada em Lages, SC, na fazenda Guará	17
Figura 2 – Acúmulo de resíduos na bordadura oriundos do sistema de colheita de árvores inteiras em <i>Pinus taeda</i>	18
Figura 3 – Mudanças de <i>Pinus taeda</i> , aos 120 dias, selecionadas para o plantio com o conjunto plantador	19
Figura 4 – Escavadora hidráulica com esteiras do modelo John Deere 200D LC sem a concha original e com as indicações de suas dimensões. Fonte: John Deere (2016)	20
Figura 5 – Versão final do conjunto plantador adaptado para a operação de plantio mecanizado florestal utilizado no experimento	21
Figura 6 – Ilustração do cabeçote Bracke Planter P11.a original com vistas lateral, frontal e superior. Fonte: Bracke Forest (2016)	21
Figura 7 – Sistema de inversão da camada superior do solo através do preparo de solo original do cabeçote Bracke Planter P11.a. Fonte: Adaptado de Hallonborg et al. (1997). 22	
Figura 8 – Sistema de irrigação pertencente ao cabeçote Bracke Planter P11.a. Fonte: Bracke Forest (2016)	22
Figura 9 – Peça sólida de borracha de compactação que atua fechando a abertura da cova do plantio. Fonte: Bracke Forest (2016)	23
Figura 10 – Implemento contendo as três hastes para o preparo de solo adaptado no cabeçote Bracke Planter P11.a	23
Figura 11 – A) Hastes de preparo posicionadas para realização do preparo de solo. B) Hastes posicionadas horizontalmente permitindo o plantio	24
Figura 12 – Esquemas do direcionamento e espaçamento da operação de plantio de <i>Pinus taeda</i> com o conjunto plantador	26
Figura 13 – Pluviosidade registrada nas estações próximas à fazenda Guará em Lages, Sc	32
Figura 14 – Distribuição dos movimentos durante o ciclo de preparo de solo e plantio em áreas sem resíduos	34
Figura 15 – Distribuição dos movimentos durante o ciclo de preparo de solo e plantio em áreas com resíduos	35
Figura 16 – Distribuição dos elementos correspondentes aos turnos de trabalho	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Rendimento operacional e custos aproximados de preparo de solo com alguns equipamentos utilizados no setor florestal. Modificada de GONÇALVES et al. (2002)....	13
Tabela 2 – Especificações e dimensões da escavadora hidráulica do modelo John Deere 200 D LC utilizada no experimento	20
Tabela 3 – Classificação dos tratamentos segundo as classes de relevo e presença de resíduos.....	25
Tabela 4 – Movimentos realizados durante um ciclo de plantio com o conjunto plantador	27
Tabela 5 – Parâmetros para a avaliação qualitativa após o plantio mecanizado de Pinus taeda pelo conjunto plantador.....	30
Tabela 6 – Profundidade média de subsolagem no sistema de preparo de solo.....	33
Tabela 7 – Produtividade sem abastecimento, segundo tipo de relevo e presença de resíduos na área de plantio mecanizado	38
Tabela 8 – Produtividade com abastecimento, segundo tipo de relevo e presença de resíduos na área de plantio mecanizado	39
Tabela 9 – Média dos espaçamentos entre mudas avaliados no experimento realizado com o conjunto plantador, escavadora hidráulica e cabeçote de plantio mecanizado.....	42
Tabela 10 – Frequência relativa fri de cada parâmetro analisado pós-plantio mecanizado em cada tratamento do experimento.....	43
Tabela 11 – Número e percentual de mudas classificadas quanto à fixação, substrato exposto ou totalmente exposta em cada grupo (Ondulado com e sem resíduo, fortemente ondulado com e sem resíduo).....	44
Tabela 12 – Análise qualitativa da presença da característica de cada parâmetro silvicultural avaliado entre os tratamentos no plantio mecanizado	45

RESUMO

O plantio de *Pinus* spp. no Brasil concentra-se principalmente na região sul do país devido às suas condições edafoclimáticas que favorecem seu desenvolvimento. As áreas de plantio de culturas florestais são as mais adversas, inclusive com relevos declivosos onde o cultivo agrícola e/ou pastoril não é o mais recomendado. O objetivo deste trabalho foi avaliar o rendimento operacional de um conjunto plantador, composto por uma escavadora hidráulica com esteiras do modelo 200 D LC¹ e um cabeçote Bracke Planter P11.a¹, realizando o preparo de solo e o plantio em duas classes de declividade e em duas condições de presença de resíduos e avaliar qualitativamente as mudas plantadas. A área experimental situa-se em Lages, SC, na fazenda Guará pertencente à empresa Klabin, onde foram plantadas mudas de *Pinus taeda*. O preparo de solo foi realizado por um implemento adaptado, contendo três hastes, na base do cabeçote e o plantio e a irrigação foram realizados pelo cabeçote plantador. Os dados foram coletados conforme o operador realizava o plantio, segundo as indicações da empresa, impossibilitando a casualização dos dados. O delineamento experimental adotado foi classificatório, onde a área do experimento sofreu uma divisão conforme as condições de relevo, ondulado e forte ondulado, e de presença de resíduos. Para efeito de comparação das variáveis, produtividade sem e com abastecimento de mudas no carrossel, foi realizada a ANOVA para o modelo com dois fatores, e, posteriormente, efetuado o teste de comparações múltiplas de Tukey a 5% de significância. Para a qualidade silvicultural pós-plantio, foi realizado o teste Qui-quadrado para comparar a distribuição das proporções e o teste de Goodman para contrastes entre e dentro de populações multinomiais. Não houve efeito da interação entre os fatores e nem do relevo, apenas a presença de resíduos se mostrou

¹Marcas e modelos não expressam recomendações de uso pelo autor

estatisticamente significativa, obtendo valores de 208 mudas hora⁻¹ para a produtividade com abastecimento e em área com resíduo e 294 mudas hora⁻¹ para a produtividade sem abastecimento e em área sem resíduo. A eficiência operacional durante o estudo foi de 75,13% e a disponibilidade mecânica de 79,6%, valores superiores aos encontrados na bibliografia para operadores inexperientes com o uso deste cabeçote. Quanto aos parâmetros qualitativos, apenas a fixação das mudas obteve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos: ondulado sem resíduo e o forte ondulado com resíduo. Esta diferença foi verificada também com as mudas inclinadas, entre os tratamentos forte ondulado com e sem resíduos. A presença de resíduos afetou a produtividade e a fixação das mudas, enquanto que o relevo mais declivoso interferiu na fixação das mudas.

¹Marcas e modelos não expressam recomendações de uso pelo autor

INFLUENCE BY RELIEF AND HARVESTING SLASH OVER THE YIELD AND SILVICULTURAL QUALITY OF A MECHANIZED PLANTING. Botucatu, 2016. 53 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: RAFAEL RIBEIRO SOLER

Adviser: SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA

SUMMARY

The *Pinus* spp. planting in Brazil concentrates principally in the South of the country because of the soil and climatic conditions favor its development. The areas of the forestry plantations are the most adverse, inclusively with steep reliefs where the agricultural and/or pastoral cultivation are not the most recommended. The aim of this study was to evaluate the yield of a planter group, composed of a hydraulic excavator with belts model 200 D LC and a Bracke Planter P11.a head, performing the soil preparation and the planting in two slope classes and in two conditions of presence of slash, besides of to evaluate in a qualitative way the planted seedlings. The experimental area is located in Lages, state of Santa Catarina, in a farm called Guar, which belongs to the company Klabin, and where it was planted *Pinus taeda* seedlings. The soil preparation was realized by an adapted implement having three rods on the basis of the head, and the planting and the irrigation were performed by the planter head. The data were collected while the operator performed the planting, according to the company directions, what made impossible the data casualization. The experimental design adopted was qualifying, where the experimental area suffered a division according to the relief conditions: wavy, strong wavy, and presence of slash. By comparison of the variables, productivity with and without filling of seedlings on the carousel, it was performed the ANOVA for the model with two factors and, afterwards, made the multiple comparison test of Tukey at 5% of significance. For the post-plantation silvicultural quality, it was realized the Chi-square test to compare the distribution of proportions and the Goodman Test for contrasts between and within multinomial populations. There was no effect of the interaction between the factors and neither of the relief, only the presence of slash was statistically significant, resulting in values of 208 seedlings hour⁻¹ for the productivity with filling and in area with slash, and

¹Brands and models do not express usage recommendations by the author.

294 seedlings hour⁻¹ for the productivity without filling and area without slash. The operational efficiency during the study was 75.13% and the mechanical availability of 79.6%, higher values than those found in the literature for inexperienced operators with the use of this head. About the qualitative parameters, just the seedlings fixation showed a significant statistically difference between the treatments wavy without slash and the strong wavy with slash. This difference was also verified with the inclined seedlings, between the treatments strong wavy with and without slash. The presence of slash affected the productivity and the seedlings fixation, while the steeper relief interfered on the seedlings fixation.

Keywords: forestry mechanization, *Pinus taeda*, afforestation

¹Brands and models do not express usage recommendations by the author.

1 INTRODUÇÃO

A silvicultura consiste no cultivo de espécies florestais e pode ser destinada a vários segmentos na indústria, seja para produtos madeireiros, por exemplo: tábuas e vigas, como também para produtos não madeireiros, tais como o látex, óleos essenciais e também para coleta de sementes.

O gênero *Pinus* foi muito utilizado nos primórdios da produção madeireira no Brasil, principalmente nas regiões mais frias, devido à adaptabilidade dessas espécies com as condições edafoclimáticas desses locais. As espécies de *Pinus* são utilizadas na produção de papel de fibra longa, voltado à produção de embalagens feitas com papel, além de diversos usos de sua madeira na construção civil e para a extração de resina. Com a introdução do gênero *Eucalyptus*, substituiu-se o uso das espécies de *Pinus* pelas espécies de eucalipto mais produtivas e de rápido desenvolvimento. Porém, com a necessidade de produção de fibras longas para a indústria papeleira, retomou-se o plantio de espécies de pinheiros.

O plantio florestal possui diferentes sistemas de operação: manual, semimecanizado e mecanizado, que variam de acordo com o grau de mecanização das operações. O plantio realizado pelo sistema manual consiste no uso de ferramentas simples e mão-de-obra, além de o rendimento ser baixo. Conforme o cultivo de eucalipto se expandiu, as técnicas e a adaptação de ferramentas foram aperfeiçoando, surgindo uma ferramenta denominada de transplantadora de acionamento manual, ou “matraca”, acoplada a um tanque de água que, por sua vez, engata-se a um trator que desloca na área de plantio, permitindo o plantio e irrigação simultâneos, caracterizando o plantio semimecanizado. Enquanto que o plantio mecanizado pode ser realizado por plantadoras,

semeadoras ou pelas transplantadoras mecanizadas. No Brasil, não existe relato de algum cabeçote florestal utilizado para o plantio totalmente mecanizado de mudas florestais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o rendimento operacional de um conjunto plantador, composto por uma escavadora hidráulica com esteiras do modelo 200 D LC e o cabeçote Bracke Planter P11.a, realizando o preparo de solo e o plantio em duas classes de declividade do solo e em duas condições de presença de resíduos e avaliar qualitativamente as mudas plantadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O *Pinus* spp. no setor florestal brasileiro

Os primeiros relatos sobre a introdução do gênero *Pinus* no Brasil são de 1880, no Rio Grande do Sul, com a espécie *Pinus canariensis*. Após longo período, no estado de São Paulo, a partir de 1948, o Serviço Florestal introduziu algumas espécies denominadas “pinheiros amarelos”, como: *P. palustris*, *P. echinata*, *P. elliottii* e *P. taeda*. As duas últimas espécies se destacaram pelos tratos silviculturais serem mais simples dos que as demais, maior crescimento e grande potencial de reprodução no Sul e Sudeste brasileiro (SHIMIZU, 2008).

Na região sul do país, o auge da implantação desse gênero foi durante as décadas de 1960 e 1970, com a criação do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal que concedia incentivos fiscais para o reflorestamento, através de recursos às áreas denominadas “Distritos Florestais” (SIQUEIRA, 2003).

No estado de São Paulo, em 1975, de um total de 459 mil hectares implantados, aproximadamente 190 mil hectares eram do gênero *Pinus* (MONTAGNA e YAMAZOC, 1978).

Ao fim dos anos 1980, a área plantada com o gênero no país atingia, aproximadamente, 54 mil hectares. Uma década depois, anos 1990, a evolução na área plantada atingiu, aproximadamente, 130 mil hectares com *Pinus* spp. Esse panorama de aumento da área plantada se manteve até o fim dos anos 1990, onde a área de plantio de pinus teve uma queda no ritmo. No começo dos anos 2000, o ritmo voltou a crescer

atingindo, em 2006, aproximadamente, 344 mil hectares (BRACELPA, 2004). Em 2014, a área total cultivada com as espécies do gênero *Pinus* corresponde a 1,6 milhões de hectares de florestas plantadas, destacando-se à região sul do país com 88% da área plantada (IBÁ, 2015).

O gênero *Pinus* corresponde há mais de 126 espécies, correspondente à Gimnosperma, ordem Coniferae, família Pinaceae. O uso de indivíduos dessa ordem é vista em pinturas da China Antiga (MIROV, 1967). Atualmente, seu uso é muito amplo, sendo a maior parte para serraria, celulose de fibra longa, extração de resina e entre outros fins.

Alguns dos exemplares utilizados no estado de São Paulo foram: *Pinus oocarpa*, *P. patula*, *P. khasia*, *P. radiata*, *P. longifolia*, *P. canariensis*, *P. pseudostrobus*, *P. strobus*, *P. sylvestris*, *P. pinea*, *P. thunbergii*, *P. halepensis*, *P. pinaster*, *P. palustris*, *P. michoacana*, *P. hartwegii*, *P. teocote*, *P. herrerae*, *P. ponderosa*, *P. nigra*, *P. rudis*, *P. douglasiana*, *P. leiophylla*, *P. tenuifolia*, *P. densiflora*, *P. ayacahuite*, *P. virginiana*, *P. oaxacana* e *P. engelmanni*, com destaque para *P. taeda*, *P. elliotii* e *P. caribaea* var. *hondurensis* (MATTOS, s.d.).

As variações de produtividade estão relacionadas aos fatores ambientais, tais como precipitação, radiação solar e temperaturas médias e extremas. A genética, os tratos silviculturais e suas interações também justificam as produtividades que a cultura atinge em diferentes sítios (LARCHER, 2006).

2.2 Evolução do plantio florestal

Segundo Bäckström (1978), a mecanização na área de implantação florestal teve início no ano de 1965 com o programa “Operação de Plantio Mecanizado” nos países nórdicos. O programa durou até meados de 1970, produzindo quatro diferentes protótipos de máquinas para plantio, onde duas são para plantio contínuo e duas para plantio intermitente (MALMBERG, 1990).

Máquinas de plantio intermitentes significam que o cabeçote realiza o movimento de subida e descida no solo, diferenciando-se de uma de plantio contínuo em que o cabeçote realiza o plantio sem a movimentação de subida e descida no solo (MALMBERG, 1990).

EUA, Alemanha e União Soviética também desenvolveram máquinas de plantio combinadas com sistemas de arados, onde realizavam o plantio em terrenos planos e livres de obstáculos (BÄCKSTRÖM, 1978; MALMBERG, 1990).

No sistema contínuo das máquinas de plantio, na década de 1970, dois protótipos se tornaram comerciais na Suécia, sendo Doroplanter e MoDo Mekan. Eles possuíam um sistema intermitente de preparo de solo e plantando com um sistema de abertura de covas, sendo necessárias duas pessoas para realizar o plantio (BERG, 1991).

Ao fim dos anos 1970, mais duas máquinas foram implantadas no mercado: Serlachius e FIAB YPM 30 (ADELSKÖLD et al., 1983; BERG, 1983; MYHRMAN e ZYLBERSTEIN, 1983; BERG, 1991). Serlachius já era mais desenvolvida que as anteriores, implantada em um forwarder e requeria um operador. Ela possuía um sistema automático de abastecimento de mudas e escarificava o solo segundo o conceito de inversão da camada superficial do solo (STJERNBERG, 1985). A FIAB YPM 30 já possuía melhores sistemas de preparo de solo e para transportar as mudas, do que para a operação de plantio. Este sistema necessitava de duas pessoas, uma operando e outra para corrigir a fixação das mudas (MALMBERG, 1990).

O começo dos anos 1980 foi o auge das pesquisas voltadas ao desenvolvimento da mecanização florestal, tanto na América do Norte e países Nórdicos. Pelo menos 16 diferentes tipos de máquinas de plantio foram desenvolvidos nesse período, desenvolvidas ou comercialmente disponíveis no Canadá (ERSSON, 2010).

Após 15 anos de desenvolvimento, por volta de 1994, introduziu-se uma nova máquina denominada Silva Nova (HALLONBORG et al., 1995). Dois operadores eram necessários, o preparo de solo era feita com um disco que revolve a camada mais superficial do solo, plantando com dois sofisticados braços e, em alguns casos, um sistema automático de reabastecimento de mudas (MALMBERG, 1990; HALLONBORG et al., 1995).

O outro sistema de máquinas de plantio, intermitente, a primeira máquina desenvolvida foi a HIKO (MYHRMAN e ZYLBERSTEIN, 1983; BERG, 1991). Ela é acoplada em um pequeno forwarder, apenas um operador, reabastecimento de mudas manualmente e possuía três braços para o plantio e que também faziam a preparo de solo. (MALMBERG, 1990; BERG, 1991). Este conceito foi deixado de lado por volta dos anos 1980 (MALMBERG, 1990).

Ao fim dos anos 1980, foi desenvolvida a primeira máquina de plantio que obteve sucesso nas operações de preparo de solo e plantio utilizando um cabeçote acoplado à lança – a Öje-planter. Este tipo de máquina era equipado em uma escavadora hidráulica ou *Harvester*, realizando o preparo de solo invertendo a camada superficial do solo e plantando a muda sobre este monte invertido (von HOFSTEN, 1993; HALLONBORG et al., 1997). Este cabeçote está presente nos dias de hoje, mas é denominado Bracke Planter, caracterizado por ser mais robusto e estar adaptado à várias condições de terreno, podendo plantar diversas espécies florestais, além de possuir um carrossel com mais de 85 mudas que é reabastecido manualmente (HALLONBORG et al., 1997; DRAKE-BROCKMAN, 1998).

No começo dos anos 1990, uma nova máquina foi desenvolvida e denominada de EcoPlanter (ÅHLUND, 1995). Esta máquina é acoplada em *Harvesters*, utilizando um sistema que revolve e mistura o solo com o húmus presente, planta duas mudas por vez, podendo até aplicar inseticida durante o plantio e possui uma carga de 240 mudas por ciclo (HALLONBORG et al., 1997; MATTSSON, 1997; HALONEN, 2002; NORMARK e NORR, 2002; SÖNSTEBY e KOHMANN, 2003; TOLBLAD, 2007).

Com o decorrer do tempo, ainda nos anos 1990, o conceito visto na Bracke Planter foi melhorado em um protótipo denominado SwePlant (HALLONBORG et al., 1997). Este protótipo era acoplado em uma pequena ou média escavadora e possuía um sistema de reabastecimento automático, que podia carregar mais de 1680 mudas, e também realizava o preparo de solo via inversão da camada superficial (HALLONBORG et al., 1997; DRAKE-BROCKMAN, 1998).

Em 2006, surge mais um cabeçote com o conceito da Bracke Planter. A M-Planter foi desenvolvida na Finlândia, possuía um sistema que pode realizar o plantio de 162 mudas por ciclo, fazer o preparo de solo através da inversão da camada superficial e plantar duas mudas por vez. Este cabeçote é acoplado em uma escavadora (JOHANSSON, 2007).

Hallonborg et al. (1997) ainda considera mais um grupo de cabeçotes e/ou máquinas envolvidas no plantio. Este grupo é denominado parcialmente mecanizado, ou semi-mecanizado, os quais são pequenos, baratos, facilmente manobráveis e reposicionamento. Este grupo confere ao operador as tarefas mais complicadas, como escolher a área, realizar o plantio e estabelecer a distância entre eles, restando ao cabeçote às tarefas mais árduas, como carregar as mudas e preparar o solo (ERSSON, 2010).

Uma das máquinas que podemos citar deste grupo é o Hevotrac. É uma máquina auto-propelida com 8 pneus que carrega as mudas e possui dois braços para que duas pessoas possam realizar o plantio simultaneamente, porém não realiza o preparo de solo (von HOFSTEN, 1996; HALLONBORG et al., 1997).

Outro exemplo é a Silviplant que também é um auto-propelido de oito pneus. A Silviplant carrega as mudas, possui apenas uma grua hidráulica com um tubo de plantio, trabalhando com apenas um operador e não faz o preparo do solo (HALLONBORG et al., 1997; ERSSON, 2010).

No Brasil, os métodos mais utilizados são o manual e semi-mecanizado. O método manual nada mais é que o uso de uma haste com uma ponta para abrir a cova, denominado chucho, para o plantio e o trabalhador colocar a muda dentro da cova (BURLA, 2001). Já o semi-mecanizado compreende alguns sistemas diferentes, como transplantadoras de acionamento manual acopladas em um reservatório de água e o sistema de transplantadoras mecânicas.

A transplantadora de acionamento manual, ou matraca, é uma ferramenta que pode ser utilizada em substituição ao chucho no sistema manual, ou, quando acoplado em um tanque com água puxado por um trator, corresponde ao semi-mecanizado. Quando acopladas ao tanque de irrigação, ela é capaz de aplicar água, ou polímero hidrorretentor.

A transplantadora mecânica acoplada a um trator, onde se necessita um trabalhador realize o abastecimento das mudas na parte superior de um disco que, com o deslocamento do trator, gira e realiza o plantio. Existem duas rodas localizadas atrás do disco de plantio e laterais à cova que compacta a muda plantada (SILVEIRA, 1989).

Alguns modelos de transplantadoras mecânicas foram desenvolvidos para o cultivo de espécies agrícolas em Santa Catarina. Um destes modelos foi adaptado para plantios de eucaliptos em condições de cultivo mínimo do solo em áreas de uma empresa florestal (SOUZA CRUZ, 1999; IPEF, 2000), sendo denominado MTM-1000, o equipamento necessitava que as mudas fossem colocadas por um trabalhador em um rotor que continha seis células para alocação das mudas. Conforme o trator se deslocava, o rotor controlava a abertura e fechamento destas células, liberando muda a muda para o plantio no sulco do solo e a compactação da muda era realizada por duas rodas compactadoras que fechavam o sulco e as firmavam (METASA, 2002).

2.3 O preparo de solo na área florestal

O plantio de florestas teve como embasamento muitas técnicas oriundas da agricultura. Com o preparo de solo não foi diferente, o arado (de disco ou aiveca) e grade leve eram utilizados na década de 1960 e 1970, e em solos leves era utilizada a grade pesada. O preparo da área total e de forma intensiva gera altos custos operacionais que eram amenizados através dos ganhos na produtividade da floresta (FONSECA, 1978).

O preparo de solo realizado em profundidades rasas, ou quando não efetuadas, reduzem os custos na operação, porém a camada de solo compactada existente na área reduzirá a produção na cultura plantada (LANÇAS, 1988)

Na década de 1980, desenvolveu-se um equipamento denominado de grade *bedding* (SUITER FILHO et al., 1980; SIMÕES et al., 1981). Este sistema consiste em minimizar a compactação no solo, devido ao tráfego de máquinas pesadas, trabalhando apenas nas linhas de plantio. Ele possibilita a formação de camalhões em nível, realinhamento das linhas de plantio e, ainda, adubação de base no preparo de solo em uma única operação. Este equipamento foi utilizado em áreas declivosas, cerca de 30% de declividade, substituindo o uso de coveadoras manuais (SIMÕES et al., 1981).

A década de 1990 ficou marcada pela introdução do sistema de cultivo mínimo do solo, onde a conservação do solo e de suas propriedades físicas e químicas são os fatores principais, reduzindo a área de solo preparada e permanecendo os resíduos da colheita em campo. Este último aspecto teve como estímulo a proibição de sua queima em 1989 no estado de São Paulo, juntamente com o novo conceito de degradação dos solos, a preservação dos recursos naturais e o uso de herbicidas. O uso de herbicidas teve efeito significativo para fortalecer o sistema de cultivo mínimo, pois como não há a inversão da camada superficial, o banco de sementes daninhas permanecia favorável ao crescimento dessas espécies. Sendo assim, a alta infestação inviabilizou economicamente o controle manual operacional, intensificando o uso de herbicidas (GONÇALVES et al., 2002).

Em um sistema de cultivo mínimo, os equipamentos para o preparo de solo mais utilizados são o subsolador, que consiste em uma haste de profundidade superior a 30 cm, e o escarificador, que consiste em hastes dispostas em paralelas atingindo profundidades até 30 cm (GONÇALVES et al., 2002).

A Tabela 1 apresenta os valores para largura de trabalho, rendimento operacional e custo de alguns sistemas de preparo de solo utilizados na área florestal.

Tabela 1 – Rendimento operacional e custos aproximados de preparo de solo com alguns equipamentos utilizados no setor florestal. Modificada de GONÇALVES et al. (2002)

Equipamento	Largura de trabalho (m)	Rendimento Operacional (h ha ⁻¹)	Custo	
			(R\$ h ⁻¹)	(R\$ ha ⁻¹)
Subsolador mono-haste	3,0	1,5 – 2,0	25,00	42,50
Coveador simples	3,0	3,5 – 4,5	20,00	80,00
Grade <i>bedding</i>	3,0	1,5 – 2,5	70,00	140,00
Grade pesada	2,2	1,5 – 2,0	25,00	42,50

Araujo (2013), em seu estudo comparativo, utilizou três equipamentos diferentes para o preparo de solo, trator com grade aradora, trator com subsolador (0,32 m) e trator com subsolador (0,57 m). Obteve-se no tratamento trator com subsolador (0,57 m) menor valor para o rendimento operacional e custo mais elevado, 1,03 h ha⁻¹ e R\$ 92,31 ha⁻¹. Estes valores foram obtidos em um solo pertencente à classe Latossolo Amarelo Distrocoeso Argissólico, com textura média e relevo plano.

2.4 Análise qualitativa do plantio

Para avaliar um novo sistema de plantio, além dos fatores econômicos e de produtividade do equipamento, é de extrema importância analisar a qualidade do plantio, verificando o estado da muda pós-plantio e sua posição em relação à cova de plantio.

A análise qualitativa de plantio refere-se, entre diversos fatores, à qualidade da muda, à sobrevivência, à frequência dos tratos culturais, ao estabelecimento e ao desenvolvimento inicial das mudas (FONSECA, 2000).

McKenzie e Merala (1986) produziram um guia para avaliação de sistemas mecanizados de plantio florestal. Segundo os autores, para um sistema ser

considerado bom, 75% das mudas plantadas precisam estar bem plantadas, ou seja, estar dentro do padrão que julgaram ser o mínimo para a muda se desenvolver. Tais parâmetros são: muda vertical na cova, não ultrapassar 30° em relação à posição perpendicular ao solo; falhas, ou mudas não plantadas, não ultrapassar 20% do total; e, profundidade adequada, não ultrapassar a linha do colo.

Outro fator de extrema importância é de que o sistema de plantio não cause injúrias às mudas plantadas. Em segundo plano, avaliar a profundidade e direcionamento em relação à cova. Para evitar que a muda resseque, a cova deve estar preenchida e até 2-3 cm de solo ao redor do colo da muda (HÖGBERG, 1987; ÖRLANDER et al., 1990).

Mais de 20 cabeçotes de plantio Bracke Planter P11.a estão operando na Finlândia, por causa da escassez de mão de obra e a qualidade do plantio tem sido semelhante ao manual (HARSTELA et al., 2007).

2.5 Influência do relevo em operações florestais

Existem diversos fatores que podem interferir na produtividade e na qualidade de uma operação florestal, dentre os quais estão o relevo, as condições climáticas, tipo de solo e entre outros, principalmente quando atuam em conjunto.

Em seu trabalho, Bramucci (2001) destaca que em áreas declivosas, a produtividade dos equipamentos na operação florestal é afetada pela umidade do solo. Em operações de colheita florestal, existem diversos trabalhos que citam a interferência do relevo na produtividade. Um destes trabalhos conclui que a produtividade de um *Harvester* decresce conforme o percentual de angulação do terreno aumenta, devido ao acréscimo de tempo nos movimentos do ciclo de operação (SIMÕES et al., 2010).

Conway (1976, apud VALVERDE, 1995) assumiu como restrição à operação de um *Feller Buncher* uma angulação no terreno acima de 27° de inclinação e Burla (2008) afirma ser 25° a inclinação máxima a ser trabalhada com máquinas florestais. Gingras (1988) diz que a produtividade começa a ser afetada a partir de 20° de declive. Atualmente, existem máquinas equipadas com um sistema de guincho de tração auxiliar operando em áreas de inclinação superior a 25° (ROBERT, 2013).

Outro estudo utilizando *Feller Buncher*, comparando a produtividade em diversas classes de declividade do terreno conclui que há perda de 50%

na produção na classe de maior inclinação quando comparado a um terreno plano (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2009).

2.6 Resíduos oriundos dos sistemas de colheita florestal

A presença de resíduos nas áreas florestais já foi tratada anteriormente como um problema, pois como eles apresentam alta recalcitrância, sua decomposição é lenta e, assim, permanecendo por longos anos sobre o solo, interferindo nas atividades florestais, como preparo de solo, controle de pragas e doenças, entre outros (ZEN et al., 1995; GONÇALVES, et al., 2000).

A proibição da queima dos resíduos oriundos da colheita florestal gerou dúvida sobre como lidar com essa nova situação, resultando na criação e utilização do sistema de cultivo mínimo (GONÇALVES et al., 2000; 2002).

A quantidade de resíduos deixados sobre o solo pode variar de 10 a 120 t ha⁻¹, dependendo de fatores como espécie utilizada, condições edafoclimáticas, idade, espaçamento e sistema de colheita utilizado (GONÇALVES, et., 2000; SANKARAN et al., 2008; Du TOIT et al., 2008).

O sistema de colheita utilizado é um dos fatores determinantes sobre a disposição destes resíduos no campo, bem como sua quantidade e qualidade. No Brasil, destacam-se dois sistemas de colheita: árvore inteira e toras curtas. No sistema árvore inteira, as árvores são colhidas e carregadas à beira do talhão, ou outro local previamente determinado, onde serão processadas (MACHADO et al., 2014; PULKKI, 2013). Desta maneira, o acúmulo de resíduos se concentra na parte da bordadura do talhão. No sistema de toras curtas, a realização de todas atividades são feitas no local, ou seja, corte, desganhamento, destopamento, traçamento e descascamento (opcional) no mesmo momento e local da derrubada do indivíduo (MACHADO et al., 2014), gerando uma dispersão uniforme dos resíduos ao longo do talhão.

Segundo Viera et al. (2011), a casca e os demais resíduos correspondem a pelo menos 50% dos nutrientes removidos do solo pelas plantas na cultura do *Pinus spp.*

Uma alternativa para destinação dos resíduos florestais é a sua utilização como matéria-prima para geração de energia, servindo como, por exemplo, combustível às caldeiras de fábricas de celulose. SANZ INFANTE e PIÑEIRO VEIRAS

(2003) encontraram, aproximadamente, 39 t ha⁻¹ de resíduos pós-colheita em uma plantação de *Pinus pinaster*, aproveitando em torno de 50 a 60% da biomassa como fonte energética.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área experimental e espécie utilizada para o plantio

O trabalho foi realizado no município de Lages, no estado de Santa Catarina (região da Serra Catarinense). O experimento localizou-se na fazenda Guará, pertencente à empresa Klabin, nas coordenadas $27^{\circ} 52' 30''$ S e $50^{\circ} 17' 42''$ O e $50^{\circ} 17' 06''$ O (Figura 1). A área do talhão onde foi instalado o experimento possui, aproximadamente, 13,9 hectares.



Figura 1 – Área experimental localizada em Lages, SC, na fazenda Guará

O clima predominante na região, segundo a classificação de Köppen (1948), é do tipo Cfb, que caracteriza clima temperado, com verão ameno, chuvas distribuídas uniformemente e sem estação seca. O índice pluviométrico anual está em torno de 1.814 mm e temperatura média anual de 17,8° C (KLABIN, 2014).

O solo predominante no experimento foi classificado como Nitossolo A moderado com textura muito argilosa e fase muito pedregosa e muito rochosa (EMBRAPA, 2013). O relevo da área foi classificado como ondulado, superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives moderados, predominantemente variáveis de 8 a 20%, e forte ondulado, superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros (elevações de 50 a 100m e de 100 a 200m de altitudes relativas, respectivamente) e raramente colinas, com declives fortes, predominantemente variáveis de 20 a 45%, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

O sistema de colheita utilizado na área do experimento foi o de árvores inteiras (MACHADO, 1985), em que as árvores de *Pinus taeda* são derrubadas e extraídas inteiras para a margem do talhão, onde são processadas (PULKKI, 2013; MACHADO et al., 2014) e, por conseguinte, acumulando os resíduos como galhos, partes do tronco, ponteiros e folhas (Figura 2).



Figura 2 – Acúmulo de resíduos na bordadura oriundos do sistema de colheita de árvores inteiras em *Pinus taeda*

As mudas utilizadas para o plantio foram *Pinus taeda*, sendo produzidas no viveiro da empresa localizado na cidade de Telêmaco Borba, PR. Com 120 dias após a germinação e enraizamento, foram enviadas à Lages, SC. As mudas utilizadas no plantio foram selecionadas de acordo com a boa formação do sistema radicular (Figura 3), pois a má agregação das raízes ao substrato possibilita o esfarelamento, ou a desagregação, resultando em mudas enroscadas no carrossel do cabeçote e, desta forma, falhas no plantio.



Figura 3 – Mudas de *Pinus taeda*, aos 120 dias, selecionadas para o plantio com o conjunto plantador

3.2 Escavadora hidráulica utilizada no conjunto plantador

A escavadora hidráulica com esteiras utilizada foi um modelo de 20 toneladas, John Deere 200D LC (Figura 4) em que suas dimensões e características estão apresentadas na Tabela 2.

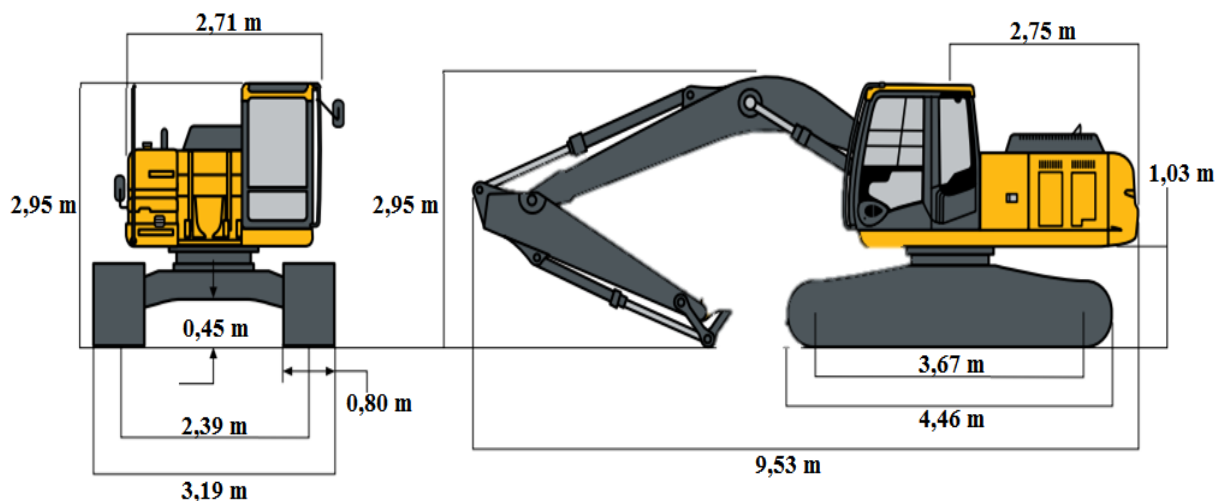


Figura 4 – Escavadora hidráulica com esteiras do modelo John Deere 200D LC sem a concha original e com as indicações de suas dimensões. Fonte: John Deere (2016)

Tabela 2 – Especificações e dimensões da escavadora hidráulica do modelo John Deere 200 D LC utilizada no experimento

ESPECIFICAÇÕES	
Fabricação/modelo do motor	John Deere/6068H
Potência líquida, kW	119
Peso operacional, kg	21.758–22.359
DIMENSÕES	
Tanque de combustível, L	400
Alcance máximo do braço ao nível do solo, m	9,75

A escavadora hidráulica com esteiras foi adaptada para a operação florestal (Figura 5), removendo a concha utilizada para a escavação e adicionados elementos necessários ao plantio, como um reservatório de 700 kg, que foi implantado na lança da escavadora para que pudesse armazenar adubo, bem como um tanque de 3500 litros, que foi acoplado na parte traseira da máquina para estocar água para a irrigação, o qual foi dividido em 2000 litros e 1500 litros. Atrás do reservatório de água foram instalados suportes para transportar caixas de mudas junto à máquina, tendo capacidade para até 12 caixas comerciais com 300 mudas por caixa e um sistema de irrigação

temporizado para molhar as mudas transportadas. Por fim, foi equipada também com guarda-corpos e equipamentos de segurança para se adequar às normas NR-12 e NR-13.



Figura 5 – Versão final do conjunto plantador adaptado para a operação de plantio mecanizado florestal utilizado no experimento

3.3 Cabeçote do conjunto plantador

O cabeçote utilizado consiste no modelo Bracke Planter P11.a (Figura 6). Contendo um carrossel com 72 tubos com diâmetros de 60 mm cada para alocação das mudas a serem plantadas no ciclo.

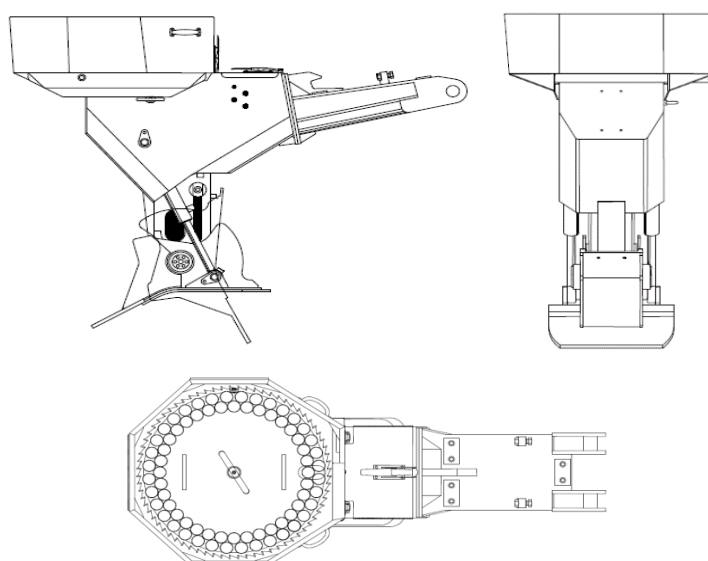


Figura 6 – Ilustração do cabeçote Bracke Planter P11.a original com vistas lateral, frontal e superior. Fonte: Bracke Forest (2016)

O cabeçote original realiza o preparo de solo via inversão da camada superficial do solo (Figura 7), em que a base do cabeçote realiza o movimento de escavação e acumula o solo removido formando um amontoado, onde a muda é plantada.

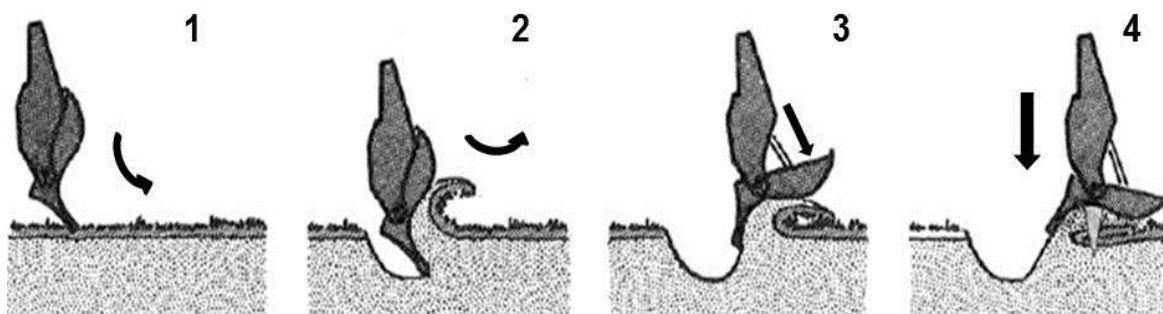


Figura 7 – Sistema de inversão da camada superior do solo através do preparo de solo original do cabeçote Bracke Planter P11.a. Fonte: Adaptado de Hallonborg et al. (1997)

O sistema de irrigação convencional consiste em utilizar a água do reservatório acoplado na parte traseira da escavadora hidráulica para irrigar a muda do plantio. Mangueiras foram instaladas do reservatório até o cabeçote, sendo que dentro do cabeçote existem duas mangueiras de borracha que direcionam o fluxo de água para a muda (Figura 8), permitindo aplicar até 6 L de água por muda.

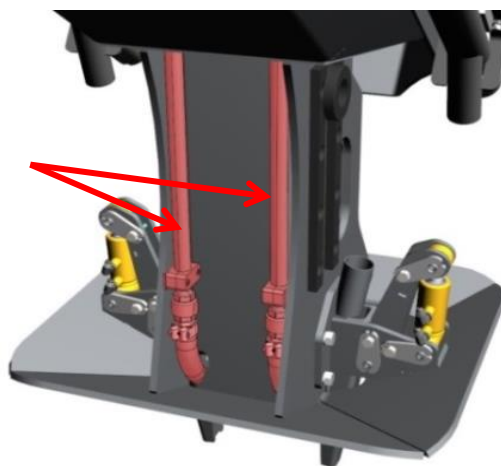


Figura 8 – Sistema de irrigação pertencente ao cabeçote Bracke Planter P11.a. Fonte: Bracke Forest (2016)

O sistema de adubação, através de covetas laterais, dosa a quantidade de adubo com quantias de 60 até 340 g por muda e, para o sistema de compactação da muda, uma peça sólida de borracha desce compactando o solo na cova da

muda (Figura 9). Por fim, um sistema de limpeza que injeta uma mistura de ar com água para limpar a ponta da mandíbula de plantio, evitando acúmulo de sujeira que impeça a queda da muda, além de auxiliar na fixação e posicionamento da muda dentro da cova.

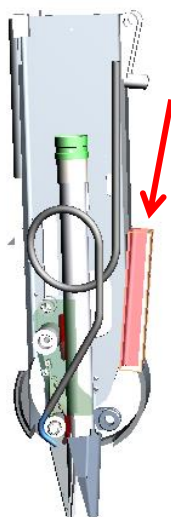


Figura 9 – Peça sólida de borracha de compactação que atua fechando a abertura da cova do plantio. Fonte: Bracke Forest (2016)

3.4 Sistema de preparo de solo

Para o experimento, foi adaptado um implemento contendo três hastes (Figura 10), as duas laterais com 35 cm e a central com 40 cm de comprimento, na base de preparo original do cabeçote Bracke Planter P11.a.



Figura 10 – Implemento contendo as três hastes para o preparo de solo adaptado no cabeçote Bracke Planter P11.a

Com o movimento da base original de preparo de solo, posiciona-se as hastes verticalmente (Figura 11a) e realiza-se o preparo de solo com elas. Depois se inverte a posição da base de preparo e se efetua o plantio (Figura 11b).

Os resíduos não foram removidos, sendo necessário, antes do preparo de solo, realizar a limpeza dos locais dos plantios, amontoando galhos, troncos e acículas, evitando o plantio sobre eles.

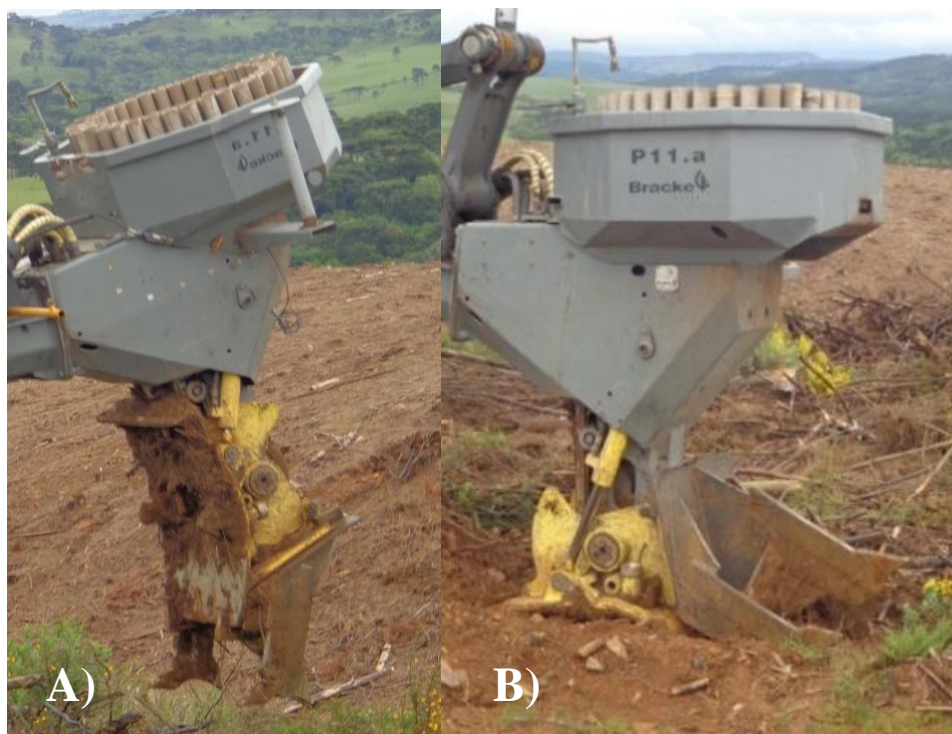


Figura 11 – A) Hastes de preparo posicionadas para realização do preparo de solo. B) Hastes posicionadas horizontalmente permitindo o plantio

3.5 Delineamento experimental e análises estatísticas

O delineamento experimental realizado foi classificado segundo a divisão da área, que continha duas classes de relevo diferentes: ondulado e forte ondulado. Em cada situação de relevo foram separadas as áreas com presença de resíduos da colheita, na margem do talhão, daquelas sem a presença de resíduos, parte central do talhão (Tabela 3).

Tabela 3 – Classificação dos tratamentos segundo as classes de relevo e presença de resíduos

Tratamento	Classificação
T1	Relevo ondulado e sem resíduos
T2	Relevo ondulado e com resíduos
T3	Relevo forte ondulado e sem resíduos
T4	Relevo forte ondulado e com resíduos

A coleta de dados foi realizada aleatoriamente nos tratamentos, sendo coletados de acordo com o plantio realizado pelo conjunto plantador, segundo as orientações da empresa. Isto significa que não havia como controlar a ordem do plantio nos tratamentos e realizar a casualização dos dados. Para a avaliação da produtividade, os ciclos de cada tratamento foram cronometrados mantendo uma distância de três ciclos de plantio para os que foram analisados dentro de cada tratamento, evitando a aproximação entre eles. A escolha das técnicas utilizadas para as análises se deve pela não casualização dos dados e classificação da área do experimento em dois fatores, relevo e local.

Para a comparação das produtividades: sem e com abastecimento das mudas no carrossel, em relação ao tipo de relevo, ondulado e forte ondulado, e local, onde há ou não a presença de resíduos da colheita, foi utilizada a técnica de análise de variância para o modelo com dois fatores, relevo e local, complementadas com o teste de comparações múltiplas de Tukey, considerando um nível de 5% de significância (ZAR, 1999).

Para a análise qualitativa foram selecionados três dos parâmetros silviculturais referentes à fixação das mudas: mudas firmes, substrato exposto e substrato totalmente exposto, do plantio mecanizado e comparados entre os tratamentos. Posteriormente, cada parâmetro foi analisado individualmente para os quatro tratamentos, sendo o teste Qui-quadrado utilizado para comparar a distribuição das proporções em cada grupo. A comparação das proporções de cada parâmetro qualitativo da muda dentro dos grupos e para comparação das proporções entre os grupos em cada parâmetro qualitativo da muda foi realizado o teste de Goodman para contrastes entre e dentro de populações

multinomiais (GOODMAN, 1964; 1965), considerando o nível de 5% de significância. Os resultados dos testes foram apresentados nas tabelas por meio de letras maiúsculas e minúsculas. Letras maiúsculas diferentes em uma mesma coluna indicam diferenças significativas (valor $p < 0,05$) entre os grupos (colunas). Letras minúsculas diferentes em uma mesma linha indicam diferenças significativas (valor $p < 0,05$) entre as proporções observadas para parâmetro qualitativo da muda dentro dos grupos (linhas).

3.6 Operação de preparo de solo e plantio

O conjunto plantador se posicionou sobre uma linha de cepas da rotação anterior e realizou o plantio em cinco linhas, sendo duas para cada lado e a central (Figura 12). Com a máquina sem se deslocar, realizou-se o plantio até o alcance máximo da máquina com o cabeçote, ou seja, 9,45 metros, e, posteriormente, deslocava-se para prosseguir com a operação.

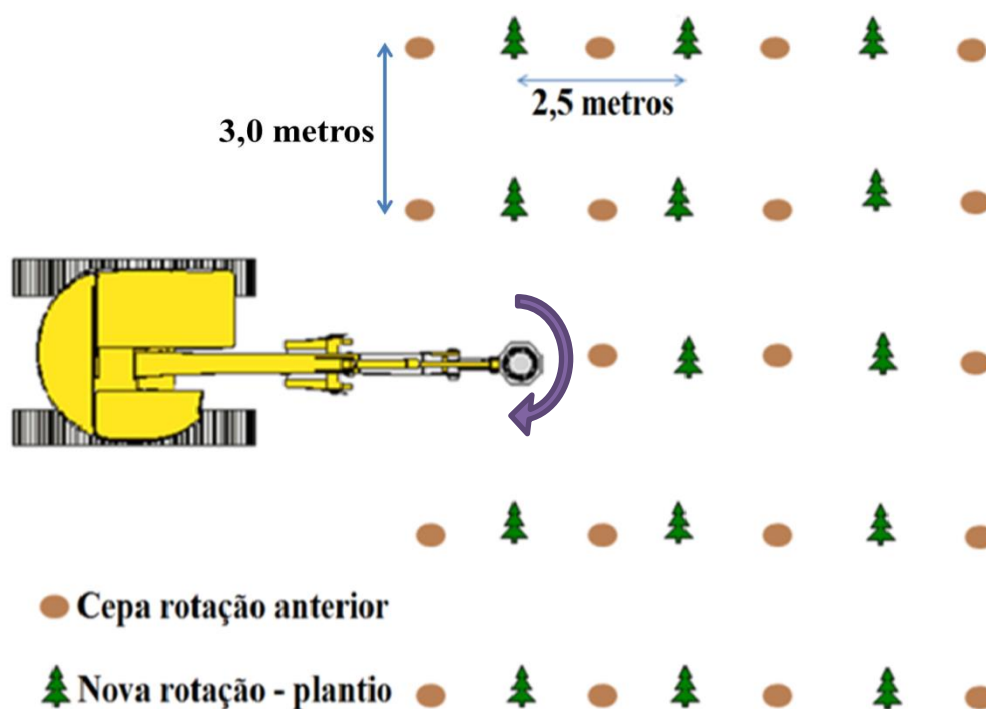


Figura 12 – Esquema do direcionamento e espaçamento da operação de plantio de *Pinus taeda* com o conjunto plantador

O direcionamento e espaçamento entre mudas foram dispostos com base nas cepas do ciclo anterior, ou seja, a muda era plantada entre as cepas acompanhando o alinhamento antigo. Desta forma, o delineado para o experimento foi de 2,5 m para os

espaçamentos entre mudas. A avaliação das mudas foi efetuada aleatoriamente, onde as distâncias entre as mudas foram mensuradas e calculadas as médias para cada tratamento.

A densidade do povoamento da floresta é determinada pelas distâncias entre linhas e entre plantas, sendo necessário um planejamento adequado visando a maior produção (STAPE, 1995).

3.7 Estudo de movimentos e tempos

A avaliação de estudos de movimentos e tempos foi realizada para analisar os pontos a serem melhorados na operação, minimizando os tempos ociosos e buscando, desta forma, aumentar o desempenho operacional da atividade. A metodologia adotada consiste em reiniciar a cronometragem para cada parâmetro, sendo denominada de volta à zero (BARNES, 1977), ou seja, utilizando um cronômetro para verificar o tempo dispendido em cada movimento pré-determinado.

Após a coleta dos dados, foram feitas as análises dos tempos dispendidos durante o ciclo de plantio e o turno de trabalho. O ciclo de operação foi dividido em sete movimentos realizados durante o ciclo de plantio (Tabela 4).

Tabela 4 – Movimentos realizados durante um ciclo de plantio com o conjunto plantador

Movimento	Descrição
Deslocamento	Movimentação da máquina para alcançar as novas posições de plantio
Entre linhas	Alternância entre a linha em que se atingiu o alcance máximo da máquina para a linha ao lado onde se recomeçará o plantio
Entre mudas	Deslocamento do cabeçote da posição do plantio feito para o próximo na mesma linha
Falha	Remoção do cabeçote da posição de plantio e retorno para a mesma posição para replantio
Limpeza	Remoção dos resíduos para a realização do preparo de solo
Plantio	A partir do momento em que o cabeçote é colocado sobre a área de plantio até o momento que finaliza a irrigação
Preparo de solo	Efetuar o revolvimento do solo

3.8 Disponibilidade mecânica e eficiência operacional

Segundo Oliveira et al. (2009), a eficiência operacional foi definida como o percentual do tempo das atividades efetivas, ou seja, o sistema de plantio mecanizado corresponde ao tempo utilizado para exercer as atividades de plantio e abastecimento do carretel (Equação 1):

$$E_o = \left(\frac{HE}{HE+HP} \right) \times 100 \quad (1)$$

Em que:

E_o = eficiência operacional (%);

HE = tempo efetivo de trabalho (horas);

HP = tempo de paradas (horas).

A Equação 2 equivale à disponibilidade mecânica (OLIVEIRA et al., 2009), que corresponde ao tempo em que o conjunto esteve apto a realizar suas atividades, excluindo-se o tempo de manutenção e consertos.

$$DM = \left(\frac{HE}{HE+Tm} \right) \times 100 \quad (2)$$

Em que:

DM = disponibilidade mecânica (%);

HE = tempo efetivo de trabalho (horas);

Tm = tempo total em manutenção (horas).

O turno de trabalho foi dividido em:

- Abastecimento, que é o tempo útil ao abastecimento de consumíveis, como diesel e água;
- Deslocamento, que é o tempo utilizado para levar a máquina da beira do talhão à área de plantio ou vice-versa;
- Ocorrência mecânica, que é o tempo perdido para manutenção e reparos da escavadora e/ou cabeçote, incluindo tempo de aguardo para chegada dos mecânicos;

- Trabalho efetivo, que é o tempo útil na operação, sendo plantio e abastecimento de mudas.

3.9 Produtividades com e sem reabastecimento do carrossel

Durante o turno, coletou-se o maior número de ciclos de plantio possíveis, ou carrosséis, para melhor avaliar o sistema e obter uma produtividade média mais próxima da realidade.

As produtividades foram calculadas em ciclos com e sem o reabastecimento das mudas. Isto permitiu obter a diminuição da produtividade devido ao reabastecimento manual das mudas no carrossel, onde o trabalhador aloca as 72 mudas, uma a uma, no carrossel. A produtividade sem abastecimento (Equação 3) considera o tempo dispendido apenas para a realização do ciclo de plantio.

$$P_{sem} = \frac{n^{\circ} \text{ mudas carrossel}}{T_p} \quad (3)$$

Em que:

P_{sem} = Produtividade sem o reabastecimento das mudas no carrossel (mudas hora⁻¹);

n° mudas carrossel = 72 mudas;

T_p = tempo de plantio do ciclo completo (horas).

A produtividade com reabastecimento (Equação 4) considera o tempo dispendido para o trabalhador alocar as mudas no carrossel e que foram plantadas no ciclo analisado:

$$P_{com} = \frac{n^{\circ} \text{ mudas carrossel}}{T_p + T_a} \quad (4)$$

Em que:

P_{com} = Produtividade com o reabastecimento das mudas no carrossel (mudas hora⁻¹);

n° mudas carrossel = 72 mudas;

T_p = tempo de plantio do ciclo completo (horas);

T_a = tempo de abastecimento de mudas no carrossel para um novo ciclo (horas).

Por ser um estudo de caráter inédito no Brasil, não há trabalhos que possam ser citados comparativamente para analisar o cabeçote, restando à comparação com estudos realizados em países com análises supracitadas, ou ainda com outros cabeçotes utilizados para o plantio mecanizado, por exemplo, M-planter e Risutec, em alguns países escandinavos, como Finlândia e Suécia.

3.10 Análise qualitativa do plantio e profundidade do preparo de solo

As mudas foram avaliadas qualitativamente segundo os parâmetros pré-determinados (Tabela 5), logo após o plantio, antes de um trabalhador verificar o plantio e arrumar qualquer não-conformidade. Foram verificadas 150 mudas por tratamento, sendo 10 repetições aleatoriamente contendo 15 mudas em cada.

Tabela 5 – Parâmetros para a avaliação qualitativa após o plantio mecanizado de *Pinus taeda* pelo conjunto plantador

Parâmetro	Descrição
Fixação das mudas	Muda firme
Colo encoberto	Solo encobrindo o colo da muda mais que 2 cm acima do nível do solo
Danificada	Danos ao substrato e/ou a muda
Plantio inclinado	Muda com inclinação superior à 45°
Substrato completamente exposto	Muda fora da cova e sobre o solo
Substrato exposto	Substrato da muda está acima do nível do solo e que não esteja fora da cova

Os valores encontrados de cada parâmetro foram separados por tratamento e divididos em frequência absoluta (fi) e frequência relativa (fri).

Para a avaliação da profundidade de preparo de solo, foi utilizada uma régua demarcada a cada centímetro e realizado três perfurações no preparo de cada

haste do implemento adaptado no cabeçote. Foram mensuradas, aleatoriamente, 10 plantas de mudas em cada tratamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o ensaio, a precipitação pluviométrica ao longo do mês de novembro de 2015 (Figura 13), foi registrada em estações próximas ao experimento, totalizando 193 mm em 23 dias.

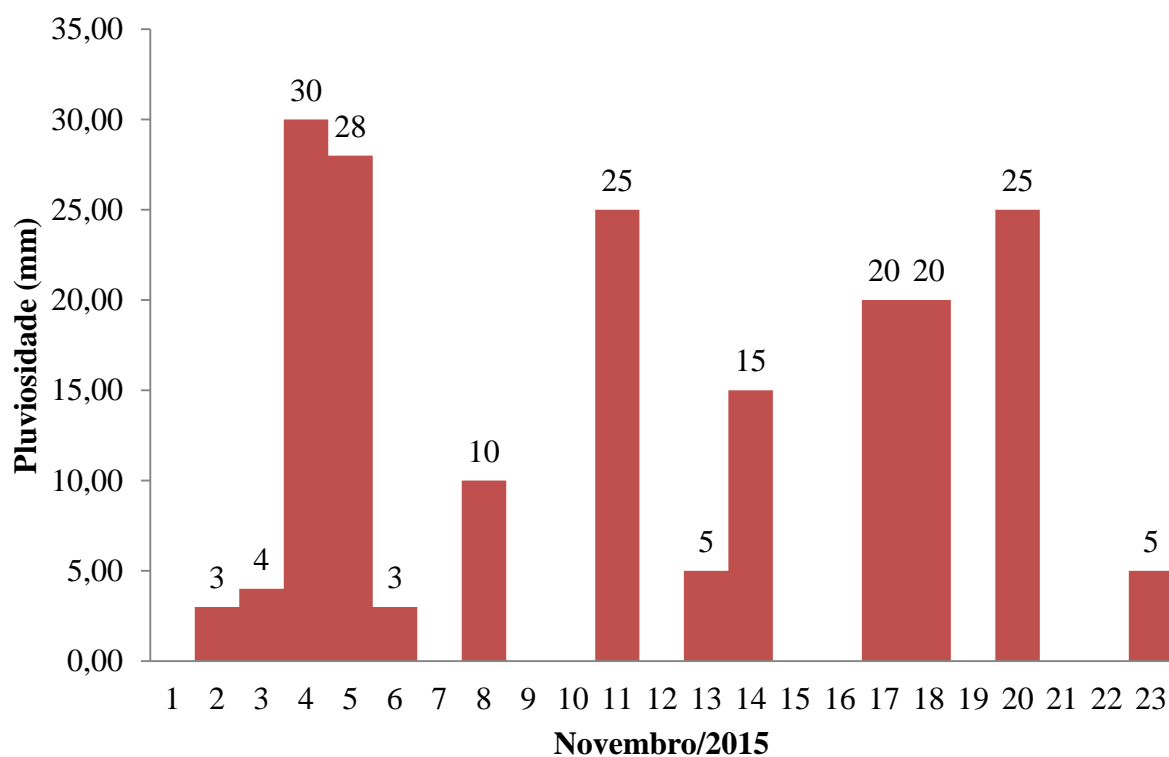


Figura 13 – Pluviosidade registrada nas estações meteorológicas próximas à fazenda Guará em Lages, Sc

4.1 Conjunto plantador

4.1.1 Preparo de solo

As profundidades médias avaliadas no preparo de solo realizado com o cabeçote adaptado (Tabela 6). Os valores encontrados justificam-se pelo tipo de solo presente no experimento, com muitas pedras, dificultando a penetração das hastes e, assim, impedindo profundidades próximas ao comprimento das hastes, 35 cm as laterais e 40 cm a central.

Tabela 6 – Profundidade média de subsolagem no sistema de preparo de solo

Tratamentos	Lado Esquerdo (cm)	Central (cm)	Lado Direito (cm)
T1 – Ondulado sem resíduos	17 ± 0,74	22 ± 2,41	17 ± 0,67
T2 – Ondulado com resíduos	15 ± 3,27	17 ± 3,94	15 ± 3,55
T3 – Forte ondulado sem resíduos	19 ± 2,62	22 ± 1,64	19 ± 2,45
T4 – Forte ondulado com resíduos	16 ± 1,66	18 ± 1,77	16 ± 1,66

Bentivenha et al. (2003) compararam o crescimento inicial de uma floresta de eucalipto em dois tipos de solos, sendo um arenoso e o outro de textura média, sobre duas profundidades de preparo de solo, 0,20 e 0,40 metro. No preparo de 0,20 m, foi notado no sistema radicular tortuosidade, mudança na direção e redução de seu crescimento. Prevedello et al. (2014) realizaram um estudo comparando alguns sistemas de preparo de solo com profundidades diferentes. No tratamento plantio direto, onde a cova foi aberta a 10 cm de profundidade, notou-se um menor desenvolvimento, aos 12 meses de idade da floresta de eucalipto, em diâmetro à altura do peito (DAP) e sobrevivência. A profundidade média encontrada com o conjunto plantador no experimento foi abaixo de 20 cm, onde a floresta de *Pinus taeda* terá o desenvolvimento radicular com tortuosidades, devido à profundidade do preparo de solo, e com isso causar quedas de indivíduos da floresta.

Dedecek et al. (2000) estudaram o desenvolvimento de uma floresta de *Pinus taeda* em segunda rotação implantada em uma área, em que a primeira

rotação foi colheita mecanizada, sob diferentes preparos de solo com diferentes cabeçotes e profundidades de trabalho em um solo de textura argilosa, obtendo como um dos resultados que a relação do crescimento da floresta foi diretamente proporcional às profundidades de preparo de solo, ou seja, quanto mais profundo o preparo de solo, maior foi o desenvolvimento da floresta de *Pinus taeda*.

4.1.2 Estudo de movimentos e tempos

Na Figura 14 e Figura 15 estão apresentadas as porcentagens médias referentes aos movimentos necessários à realização de um ciclo de operação nas áreas em que há a presença de resíduos, em que se realizou a limpeza antes do preparo de solo, e em áreas sem resíduos.

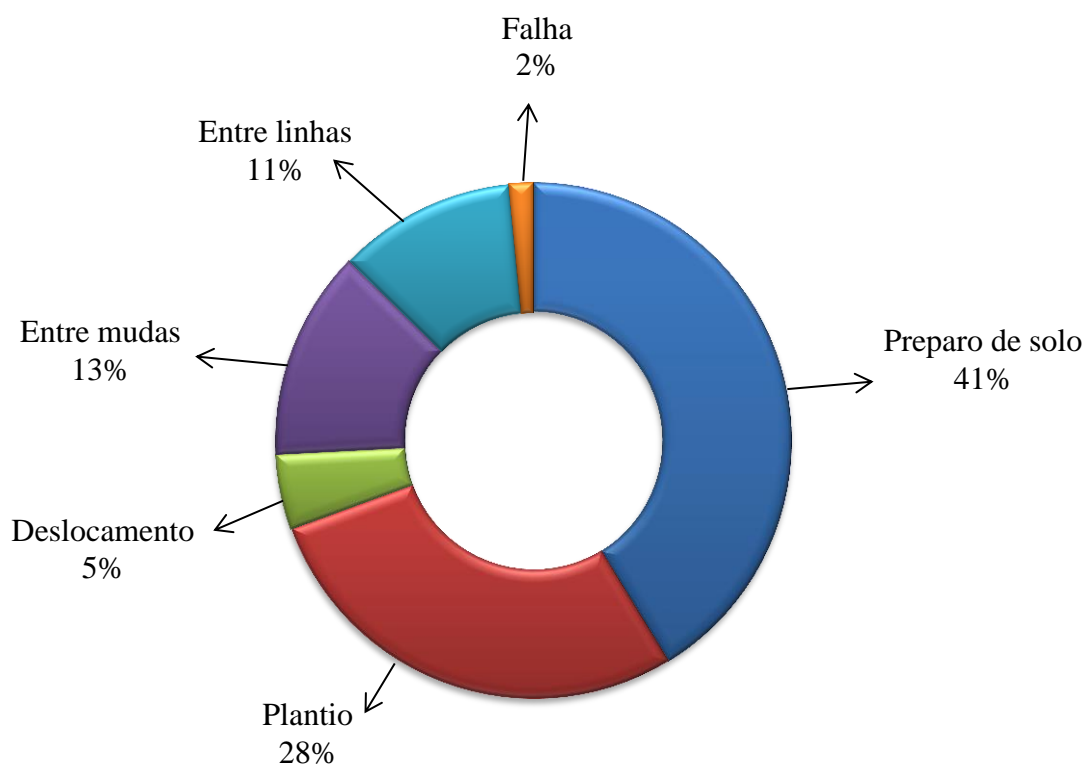


Figura 14 – Distribuição dos movimentos durante o ciclo de preparo de solo e plantio em áreas sem resíduos

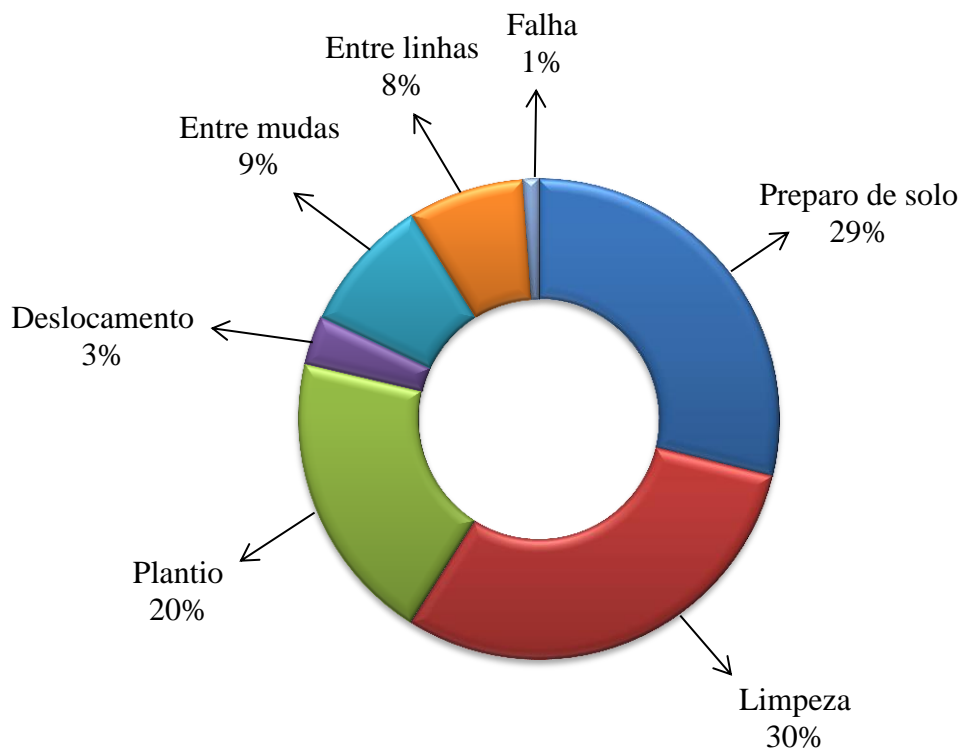


Figura 15 – Distribuição dos movimentos durante o ciclo de preparo de solo e plantio em áreas com resíduos

O preparo de solo dispendeu maior tempo no ciclo de operação em área sem resíduos, apontando um possível elemento a ser melhorado para, desta forma, aumentar a produtividade da operação. A presença de pedras e rochas na área influenciou este elemento, pois, em alguns momentos, o operador precisava realizar o preparo lentamente para evitar danos ao cabeçote.

Nas áreas com presença de resíduos, o dispêndio de tempo gerado para a realização da limpeza do local a ser realizado o preparo de solo foi o maior percentual do ciclo de plantio com 30%. Para não perder área sem o plantio, o operador realizava o amontoamento dos resíduos e abria espaços para a realização do preparo de solo e plantio.

No experimento foi encontrado o valor de 44% para o preparo de solo e 30% para o plantio, totalizando 74% com preparo e plantio em áreas sem resíduos e os valores de 30% para a realização da limpeza, 29% para o preparo de solo e 20% com o plantio, totalizando 79% do ciclo de plantio. Rantala et al. (2009) obtiveram em suas análises 47% do tempo do ciclo, em que o cabeçote Bracke Planter P11.a esteve realizando as operações de preparo de solo, amontoamento e plantio e 6% para a limpeza da área, afastando os resíduos do local. Liepins et al. (2011) encontrou uma taxa de 39% para

preparo de solo e plantio, porém com um cabeçote M-planter, que é outro modelo comercialmente utilizado nos países escandinavos que possui o mesmo conceito de plantio mecanizado da Bracke Planter P11.a, em que realiza o preparo de solo, através do método de inversão da camada superficial do solo, e o plantio, mas a M-planter realiza a operação duplamente, ou seja, dois preparos de solo e dois plantios simultâneos.

4.1.3 Eficiência operacional e disponibilidade mecânica

Na Figura 16 apresenta-se a distribuição dos elementos constituintes da análise de eficiência operacional (E_o), sendo que o resultado obtido durante o ensaio foi 75,13%.

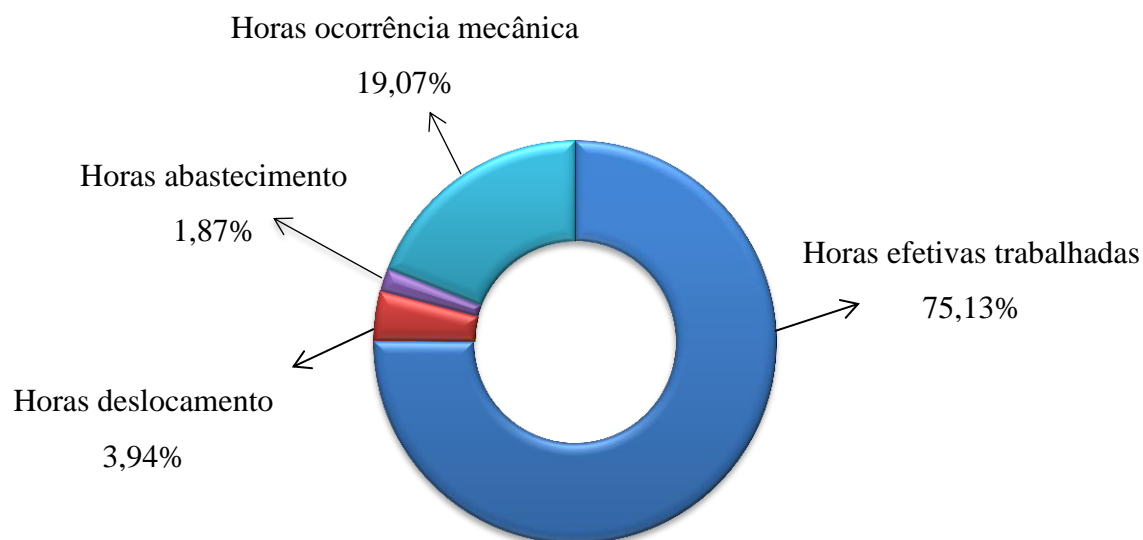


Figura 16 – Distribuição dos elementos correspondentes aos turnos de trabalho

Devido a este ser o primeiro trabalho realizado com máquinas de plantio mecanizado no Brasil e de que no mundo existem poucos trabalhos com análises de disponibilidade mecânica e eficiência operacional destes cabeçotes, foram utilizados estudos com máquinas de colheita florestal no Brasil que pertencem ao setor mais desenvolvido tecnologicamente na área florestal.

A eficiência operacional no ensaio foi inferior à média obtida por Rantala e Laine (2010) que foi de 80,1% com outro cabeçote para plantio, a M-planter, e

treze operadores diferentes durante duas temporadas de operação na Finlândia. Neste trabalho, os autores avaliaram operadores que já possuíam experiência com os que nunca haviam trabalhado com máquinas bases de escavadora ou *Harvesters*, obtendo diferenças entre as eficiências operacionais entre os grupos de operadores. Quando os operadores não possuíam experiência, a eficiência operacional foi reduzida para 66,4%. O operador deste trabalho realizado com o conjunto plantador, escavadora hidráulica e cabeçote Bracke Planter P11.a, anteriormente trabalhava com o preparo de solo utilizando uma escavadora hidráulica.

Em um estudo realizado para a avaliação de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras, Pereira (2011) realizou as análises de eficiência operacional das máquinas constituintes do sistema, obtendo para um *Feller Buncher*, constituído por uma escavadora de 30 toneladas com rodados de esteiras, média de 70%, e para um *Harvester* realizando o seccionamento da madeira para o transporte do campo até a fábrica, constituído por uma escavadora de 21 toneladas com rodados de esteiras, média de 56% na operação. Porém, a exigência dos cabeçotes e a exposição dos mesmos aos impactos contra quedas de árvores, galhos e ou pedaços de madeira, podem influenciar estes resultados, enquanto que no conjunto plantador, o cabeçote não sofria essa exposição aos impactos.

A disponibilidade mecânica (*DM*) resultante durante o período de avaliação do experimento foi de 79,6%, que está incluso o tempo de manutenção e/ou conserto do conjunto plantador. Rantala e Laine (2010) em seu estudo com um cabeçote M-planter avaliaram a disponibilidade mecânica média dos treze operadores em 89% durante duas temporadas de plantio na Finlândia. Como na eficiência operacional, a disponibilidade mecânica também foi afetada pela diferença na experiência profissional dos grupos, sendo reduzida para 78,6% para o grupo de operadores sem experiência com máquinas bases de escavadora hidráulica ou *Harvesters*.

4.1.4 Produtividade com e sem reabastecimento do carrossel

A diferença entre as produtividades sem e com abastecimento consiste no preenchimento de mudas no carrossel, que é realizado de forma manual alocando muda por muda no carrossel.

Ambas as produtividades, sem e com abastecimento, não demonstraram interação entre relevo e local, e quando analisada as médias para o relevo

também não houve interferência sobre as produtividades. Independente do relevo, as áreas sem a presença de resíduos obtiveram maiores produtividades do que as verificadas nas áreas com a presença de resíduos e, por conseguinte, obtiveram diferença estatisticamente significativa entre elas.

Na Tabela 7, as médias para as produtividades sem abastecimento obtidas em cada tratamento estão apresentadas, bem como as médias da combinação dos relevos e presença de resíduos. O efeito da interação Relevo x Presença de resíduos ($p=0,398$) e o efeito principal do relevo ($p=0,332$) não se mostraram estatisticamente significativos. Contudo, houve diferença estatisticamente significativa entre os locais com e sem resíduos ($p=0,003$), identificados na tabela por letras minúsculas.

Tabela 7 – Produtividade sem abastecimento, segundo tipo de relevo e presença de resíduos na área de plantio mecanizado

Relevo	Presença de resíduos		Média (mudas hora ⁻¹)
	Sem resíduo (mudas hora ⁻¹)	Com resíduo (mudas hora ⁻¹)	
Ondulado (mudas hora ⁻¹)	294,508 ± 65,057	268,498 ± 29,601	281,503 ± 51,333
Forte ondulado (mudas hora ⁻¹)	293,037 ± 37,959	247,234 ± 31,730	270,136 ± 41,502
Média (mudas hora ⁻¹)	293,773 ± 52,270 ^a	257,866 ± 31,998 ^b	275,819 ± 46,605

Letras minúsculas distintas indicam diferença significativa entre duas médias de produtividade sem abastecimento ($p<0,05$).

Para a produtividade com abastecimento das mudas no carrossel (Tabela 8) não houve efeito da interação Relevo x Presença de resíduos ($p=0,317$) e o efeito principal do relevo ($p=0,425$) não se mostraram estatisticamente significativos. No entanto, observou-se diferença significativa entre os locais com e sem resíduos ($p=0,002$), identificados na tabela por letras minúsculas.

Tabela 8 – Produtividade com abastecimento, segundo tipo de relevo e presença de resíduos na área de plantio mecanizado

Relevo	Presença de resíduos		Média (mudas hora ⁻¹)
	Sem resíduo (mudas hora ⁻¹)	Com resíduo (mudas hora ⁻¹)	
Ondulado	235,552 ± 45,527	215,807 ± 24,153	225,679 ± 37,147
Forte ondulado	237,325 ± 27,122	200,301 ± 26,393	218,813 ± 32,326
Média	236,438 ± 36,783 ^a	208,054 ± 26,050 ^b	222,246 ± 34,676

Letras minúsculas distintas indicam diferença significativa entre duas médias de produtividade com abastecimento ($p < 0,05$).

A produtividade com abastecimento foi utilizada para comparação aos trabalhos de fora do Brasil, pois eles também consideraram o tempo de abastecimento das mudas no carrossel em suas análises. Laine e Saarinen (2014), em um estudo realizado na Finlândia em áreas recém-colhidas, onde as cepas e os resíduos haviam sido removidos, utilizaram o cabeçote Bracke Planter P11.a acoplado em uma escavadora hidráulica de esteiras de 14 toneladas, e obtiveram uma produtividade média de 244 mudas por hora efetiva de trabalho, tendo como fator que dificultou a operação às áreas pedregosas. Em todos os tratamentos deste experimento realizado em Lages - SC, as produtividades médias que obtiveram diferença estatisticamente significativa foram 236 mudas hora⁻¹ e 208 mudas hora⁻¹ nas áreas sem e com presença de resíduos, respectivamente. Os autores Laine e Saarinen (2014) realizaram o comparativo entre dois cabeçotes de plantio mecanizado, Bracke Planter P11.a e Risutec, onde cada um foi acoplado em uma máquina base de escavadora hidráulica de esteiras com dimensões e pesos diferentes, e concluíram que a dimensão da máquina base não influencia na produtividade. Entre o experimento de Lages – SC e o realizado pelos autores na Finlândia, ambos possuíam como máquinas bases escavadoras hidráulicas de esteiras, porém com dimensões diferentes.

Em outro estudo realizado por Nieuwenhuis e Egan (2002), obtiveram-se valores diferentes para as áreas de implantação florestal e reflorestamento na Irlanda, sendo 250 a 300 mudas hora⁻¹ e 180 a 200 mudas hora⁻¹, respectivamente. A principal diferença entre os dois tipos de áreas onde foram realizados os experimentos foi a cultura do ciclo anterior à implantação da floresta com o plantio mecanizado, sendo que na área de reflorestamento existiam duas espécies florestais, *Pinus sylvestris* e *Picea abies*,

anteriormente e na de implantação existia espécies gramíneas. A área com floresta no ciclo anterior possuía cepas da rotação anterior e também os resíduos da colheita que foram amontoados em pilhas, mas ainda assim estavam presentes no campo. Esta condição se assemelha à encontrada na empresa onde fora realizado o experimento no Brasil, com presença de resíduos e cepas das rotações anteriores. Independente do relevo, a produtividade média obtida na área com resíduo foi de 208 mudas hora⁻¹, valor muito próximo ao encontrado pelos autores nessas condições, 200 mudas hora⁻¹.

Rantala et al. (2009) em um trabalho desenvolvido na Finlândia teve o plantio realizado em três áreas com condições diferentes, presença de cepas e resíduos, resíduos removidos e presenças de cepas, e sem cepas e resíduos. Utilizando dois cabeçotes comparativamente para o plantio mecanizado, sendo Bracke Planter P11.a foi acoplado em uma escavadora hidráulica de esteiras de 22 toneladas e o M-planter acoplado em uma escavadora hidráulica de esteiras de 14 toneladas, realizando o plantio de *Picea abies*. Conforme aumentou o grau de pedras, rochas e cepas na área, a produtividade do cabeçote M-planter diminuiu mais do que a produtividade da Bracke Planter P11.a, enquanto que conforme a quantidade de resíduos na área aumentou, a produtividade do cabeçote P11.a sofreu maior interferência negativa do que o M-planter. Os autores também concluíram que as dimensões e peso da máquina base escavadora hidráulica não afetaram a produtividade. Desta forma, como o cabeçote utilizado para realização do experimento no Brasil foi o Bracke Planter P11.a em condições de presença e ausência de resíduos, também foi obtido diferença estatisticamente significativa entre essas condições, em que os resíduos atuaram negativamente sobre a produtividade.

Rantala e Laine (2010) concluíram que a produtividade foi influenciada de acordo com a experiência dos operadores com máquinas escavadoras hidráulicas e também com os cabeçotes para plantio. As produtividades entre operadores experientes e inexperientes podem atingir até 65% de diferença. O operador que participou do trabalho com o conjunto plantador trabalha com uma escavadora hidráulica de esteiras realizando o preparo de solo com um cabeçote denominado Magnum, onde os movimentos e direções de preparo não se assemelham com os realizados com o cabeçote de plantio mecanizado.

Hallongren et al. (2014) estabeleceram como nível mínimo de 190 mudas hora⁻¹ para que um cabeçote de plantio mecanizado seja competitivo em termos de produtividade com as operações de preparo de solo e plantio manual para as condições dos

países escandinavos. Como para o Brasil ainda não há esse mínimo estipulado e utilizando esse nível estipulado por Hallongren, a menor produtividade obtida durante o experimento, em condições de presença de resíduos, atingiu este nível para ser competitiva com as operações manuais.

Ersson et al. (2014) realizaram uma avaliação da produtividade de um cabeçote Bracke Planter P11.a com adaptação de um sistema de abastecimento de mudas automático, denominado MagMat, obtendo um aumento de até 10% na produtividade dependendo do cabeçote utilizado. No estudo realizado com o conjunto plantador no Brasil, a diferença entre as produtividades sem e com abastecimento chegou a ser 24%. A redução de 10% destes 24% resultaria em até 23 mudas hora⁻¹ de produtividade com o abastecimento das mudas no carrossel.

O fator relevo, dentro das classes analisadas, ondulado e forte ondulado, não interferiu na produtividade como o fator presença de resíduos. Na bibliografia disponível sobre o plantio mecanizado, seja com qualquer cabeçote, não há relação do relevo com a diminuição da produtividade na operação, mas com outros fatores, como: tempo de experiência do operador, presença de resíduos e presença de pedras e rochas.

No setor de colheita florestal, uma das áreas mais desenvolvidas quando o tema é mecanização, existem trabalhos que determinam a faixa de declividade que começa a interferir na produtividade da operação, dependendo do conjunto formado pela máquina base mais o cabeçote. Myiajima (2015) avaliando um *Feller Buncher* do modelo John Deere 903 K, aproximadamente 31 toneladas, com esteiras em duas condições de declividade, sendo plano e ondulado, obtendo diferença estatisticamente significativa entre elas. Oliveira Júnior et al. (2009) avaliaram a produtividade de um *Feller Buncher* do modelo Timberjack 608 L com esteiras e, aproximadamente, 27 toneladas, realizando a colheita em duas áreas com quatro classes de declividade que variaram de 0 a 50%, notaram uma diminuição na produtividade quando a operação foi realizada em declividades superiores a 20%. No estudo desenvolvido com o conjunto plantador, as classes de declividade não interferiram na produtividade, sendo que a classe forte ondulado corresponde a uma declividade superior a 20%, diferente do encontrado no estudo com máquinas de colheita florestal.

4.2 Parâmetros silviculturais

4.2.1 Espaçamentos entre mudas

Os valores médios dos espaçamentos entre mudas (Tabela 9) mais próximos do determinado no início do experimento, 2,5 metros entre mudas, foram os tratamentos 3, forte ondulado sem resíduos com 2,28 metros, e 1, ondulado sem resíduos com 2,27 metros. Os tratamentos 2, ondulado com resíduos com 1,97 metros, e 4, forte ondulado com resíduos com 1,85 metros, tiveram espaçamentos médios bem distantes do delineado, onde a presença de resíduos dificultou a visualização das cepas da rotação anterior que influenciou negativamente a densidade de indivíduos por área, além das pedras e rochas existentes no talhão que dificultavam o posicionamento do conjunto plantador no local correto para o plantio. Rantala e Laine (2010) obtiveram alguns parâmetros que interferiram na operação de plantio com a M-planter, sendo as rochas e pedras, cepas da rotação anterior e obstáculos do relevo como os mais significantes fatores que atrapalhavam o correto posicionamento do plantio.

Tabela 9 – Média dos espaçamentos entre mudas avaliados no experimento realizado com o conjunto plantador, escavadora hidráulica e cabeçote de plantio mecanizado

Tratamento	Espaçamento (m)
Tratamento 1 - Ondulado sem resíduos	2,27 ± 0,20
Tratamento 2 - Ondulado com resíduos	1,97 ± 0,17
Tratamento 3 - Forte Ondulado sem resíduos	2,28 ± 0,22
Tratamento 4 - Forte Ondulado com resíduos	1,85 ± 0,26

4.2.2 Qualidade pós-plantio mecanizado

Os parâmetros qualitativos silviculturais analisados estão apresentados na Tabela 10, em frequência relativa que consiste na porcentagem que cada parâmetro representa em relação ao total. Entretanto, uma muda pode contemplar mais de

um parâmetro como, por exemplo: muda firme e inclinada, muda firme e colo encoberto, muda solta e inclinada, muda firme, inclinada e danificada.

Tabela 10 – Frequência relativa *f_{ri}* de cada parâmetro analisado pós-plantio mecanizado em cada tratamento do experimento

Variáveis	T1 Ondulado sem resíduos (%)	T2 Ondulado com resíduos (%)	T3 Forte ondulado sem resíduos (%)	T4 Forte ondulado com resíduos (%)
Fixação das mudas	64,00	49,33	58,00	47,33
Plantio inclinado	10,00	7,33	15,33	6,00
Substrato exposto	32,00	42,00	32,67	41,33
Substrato totalmente exposto	4,00	8,67	10,00	11,33
Colo encoberto	4,67	7,33	4,00	8,00
Plantio duplo	2,00	4,67	7,33	1,33
Falha	0,00	0,00	3,33	0,00
Danificada	0,67	0,67	0,00	0,67

Foram selecionados os parâmetros referentes à fixação das mudas: muda fixa, substrato exposto e substrato totalmente exposto, para a análise comparativa entre si e por tratamento. O teste Qui-quadrado foi realizado para verificar a homogeneidade das proporções e retornou um valor de p igual a 0,031, indicando que as proporções observadas em cada grupo não são semelhantes (Tabela 11).

Tabela 11 – Número e percentual de mudas classificadas quanto à fixação, substrato exposto ou totalmente exposta em cada grupo (Ondulado com e sem resíduo, fortemente ondulado com e sem resíduo)

Grupos	Situação da muda			Total
	Muda Fixa	Substrato Exposto	Substrato totalmente exposto	
Ondulado sem resíduos	96 (64,0%) ^A	48 (32,0%) ^A	6 (4,0%) ^A	150 (100%)
Ondulado com resíduos	74 (49,3%) ^{AB}	63 (42,0%) ^a	13 (8,7%) ^A	150 (100%)
Forte ondulado sem resíduos	87 (57,6%) ^{AB}	49 (32,5%) ^A	15 (9,9%) ^A	151 (100%)
Forte ondulado com resíduos	71 (47,3%) ^B	62 (41,3%) ^A	17 (11,4%) ^A	150 (100%)

Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre duas proporções observadas nos grupos para cada situação da muda (comparações nas colunas).

Analisando os parâmetros separadamente para cada tratamento, notou-se que para mudas fixas houve diferença estatisticamente significativa em que o tratamento Ondulado sem resíduos foi diferente do Forte ondulado com resíduos. Os outros tratamentos, Ondulado com resíduos e Forte ondulado sem resíduos, não se diferenciaram estatisticamente dos outros dois. Os outros dois parâmetros, substrato exposto e substrato totalmente exposto, apresentaram semelhança estatisticamente significativa entre os tratamentos.

Na análise individual dos parâmetros silviculturais, os resultados estão apresentados (Tabela 12) em forma de presença ou ausência da característica qualitativa do parâmetro analisado, onde a fixação das mudas obteve diferença significativamente estatística entre os tratamentos: Ondulado sem resíduos e Forte ondulado com resíduos. Dentre estes, o melhor resultado foi obtido pelo Ondulado sem resíduos, com 64% de fixação das mudas, e o resultado com menor fixação das mudas foi o Forte ondulado com resíduos, com 47,3%, em que os fatores relevo e presença de resíduos são diferentes entre os tratamentos, sugerindo influência de ambos sobre a taxa de fixação das mudas. Quando analisado dentro de cada tratamento, para o parâmetro fixação ou não da muda, nos tratamentos em que não há resíduos resultaram em proporções de mudas fixas maiores do que as de mudas não fixas. Já para os tratamentos com resíduos, não pode ser feita essa afirmação devido à semelhança obtida pela análise estatística entre as proporções.

A inclinação das mudas plantadas era um fator preocupante devido ao relevo que poderia interferir no plantio. Contudo, não houve diferença estatisticamente significativa entre os relevos, pois os tratamentos: Ondulado com e sem resíduos foram semelhantes aos tratamentos Forte ondulado com e sem resíduos. Estes, porém, apresentaram diferença entre eles, sendo a maior porcentagem de mudas inclinadas para o tratamento Forte ondulado sem resíduos com 15,3% e a menor para o Forte ondulado com resíduos com 6%. Quando analisado a inclinação das mudas dentro de cada tratamento, as proporções de mudas não inclinadas foram superiores estatisticamente às inclinadas.

Os parâmetros substrato exposto, substrato totalmente exposto e coleto encoberto apresentaram semelhança estatisticamente significativa entre eles, não apontando influência dos fatores relevo e presença de resíduos sobre o plantio mecanizado.

Tabela 12 – Análise qualitativa da presença da característica de cada parâmetro silvicultural avaliado entre os tratamentos no plantio mecanizado

Grupos	Presença da característica	Ausência da característica	Total
<i>Fixação das mudas</i> – Teste Qui-quadrado: $p=0,012$			
Ondulado sem resíduos	96 (64,0%) ^A	54 (36,0%) ^B	150 (100%)
Ondulado com resíduos	74 (49,3%) ^{AB}	76 (50,7%) ^{AB}	150 (100%)
Forte ondulado sem resíduos	87 (58,0%) ^{AB}	63 (42,0%) ^{AB}	150 (100%)
Forte ondulado com resíduos	71 (47,3%) ^B	79 (52,7%) ^A	150 (100%)
<i>Plantio inclinado</i> - Teste Qui-quadrado: $p=0,032$			
Ondulado sem resíduos	15 (10,0%) ^{AB}	135 (90,0%) ^{AB}	150 (100%)
Ondulado com resíduos	11 (7,3%) ^{AB}	139 (92,7%) ^{AB}	150 (100%)
Forte ondulado sem resíduos	23 (15,3%) ^A	127 (84,7%) ^B	150 (100%)
Forte ondulado com resíduos	9 (6,0%) ^B	141 (94,0%) ^A	150 (100%)

Continuação Tabela 12

Grupos	Presença da característica	Ausência da característica	Total
<i>Substrato exposto</i> - Teste Qui-quadrado: p=0,131			
Ondulado sem resíduos	48 (32,0%) ^A	102 (68,0%) ^A	150 (100%)
Ondulado com resíduos	63 (42,0%) ^A	87 (58,0%) ^A	150 (100%)
Forte ondulado sem resíduos	49 (32,7%) ^A	101 (67,3%) ^A	150 (100%)
Forte ondulado com resíduos	62 (41,3%) ^A	88 (58,7%) ^A	150 (100%)
<i>Substrato totalmente exposto</i> - Teste Qui-quadrado: p=0,117			
Ondulado sem resíduos	6 (4,0%) ^A	144 (96,0%) ^A	150 (100%)
Ondulado com resíduos	13 (8,7%) ^A	137 (91,3%) ^A	150 (100%)
Forte ondulado sem resíduos	15 (10,0%) ^A	135 (90,0%) ^A	150 (100%)
Forte ondulado com resíduos	17 (11,3%) ^A	133 (88,7%) ^A	150 (100%)
<i>Colo encoberto</i> - Teste Qui-quadrado: p=0,381			
Ondulado sem resíduos	7 (4,7%) ^{Ab}	143 (95,3%) ^{Aa}	150 (100%)
Ondulado com resíduos	11 (7,3%) ^{Ab}	139 (92,7%) ^{Aa}	150 (100%)
Forte ondulado sem resíduos	6 (4,0%) ^{Ab}	144 (96,0%) ^{Aa}	150 (100%)
Forte ondulado com resíduos	12 (8,0%) ^{Ab}	138 (92,0%) ^{Aa}	150 (100%)

Letras maiúsculas distintas indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre duas proporções observadas nos grupos para cada situação da muda (comparações nas colunas).

Arnkil e Hämäläinen (1995) e Härkönen (2008) demonstraram que a qualidade do plantio diminuiu conforme o índice de pedras e rochas aumentaram no solo a ser utilizado o plantio mecanizado. Luoranen et al. (2011), em um estudo comparativo entre Bracke Planter P11.a e EcoPlanter, destacaram que em solos mais rochosos a tendência de danos às mudas for maior do que em solos menos rochosos, o que pode ocasionar o ressecamento das mudas. Utilizando o conjunto plantador não foi identificado um alto índice de mudas danificadas, pois o sistema de preparo de solo serviu para remover as pedras mais próximas do local de plantio ao realizar o preparo.

Luoranen et al. (2011) em um plantio comparativo entre dois cabeçotes de plantio mecanizado, Bracke Planter P11.a e EcoPlanter, com mudas de *Picea abies* na região central da Finlândia, obtiveram até 9% de mudas inclinadas, mas não concluíram que foi por influência das condições da área plantada, como presença de pedras e rochas e/ou tipo de solo, além de plantios mais profundos do que o realizado manualmente por trabalhadores que atinge até 2 cm em média. Ao contrário do estudo de Luoranen, este experimento resultou na interferência da ausência de resíduos, ou seja, nas áreas sem resíduos as mudas ficaram mais inclinadas do que nas áreas com resíduos da colheita. Para que fossem consideradas com o colo encoberto, ou profundas, a muda estava com solo encobrindo seu colo em alturas acima de 2 cm, obtendo índices de até 12%.

Quanto à fixação das mudas, Nieuwenhuis e Egan (2002) destacaram que o cabeçote Bracke Planter P11.a, realizando o plantio de *Picea sitchensis* na região da costa leste da Irlanda, obteve seus piores índices de fixação de mudas em áreas com solos secos e pedregosos devido a não adaptação do sistema de compactação do cabeçote ao tipo de solo. Entretanto, a condição do solo deste experimento foi oposta, ou seja, aquele se encontrava saturado de água, devido principalmente aos fatores relevo e presença de resíduos que interferiram negativamente na fixação das mudas, podendo estar relacionado ao sistema de compactação do solo e fechamento da cova de plantio. Laine e Saarinen (2014), que obtiveram 15,4% de mudas não conformes, apontaram como os principais problemas encontrados na qualidade do plantio com o cabeçote Bracke Planter P11.a: fixação das mudas, plantio raso, danos ao topo da muda e plantio fora do centro do preparo de solo.

A qualidade do plantio mecanizado nas áreas do experimento demonstrou influência dos dois fatores, relevo e presença de resíduos, e analisando os trabalhos existentes na bibliografia, o tipo de solo também foi um fator a ser considerado, principalmente quando este possui alto índice de presença de pedras e rochas ao longo do talhão. Assim como a presença de resíduos e o relevo, as pedras dificultam o fechamento das covas de plantio, impedindo a compactação do solo ao redor do colo da muda e, desta forma, resultando em um plantio com mudas soltas.

5 CONCLUSÃO

O fator relevo não interferiu sobre a produtividade obtida no plantio mecanizado, enquanto que para a qualidade silvicultural o parâmetro fixação das mudas sofreu interferência negativa quando fora realizado no relevo mais declivoso.

A presença de resíduos reduziu a produtividade da operação de plantio mecanizado, bem como o parâmetro fixação das mudas referente à qualidade silvicultural.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADELSKÖLD, G.; BERG S.; SANDGREN, M. Mekaniserad plantering – en ny arbetsoperation i skogsbruket. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Stockholm. **Resultat nr 19**. 1983.

ALAKORPI, J. **Bracke Forest – Mostrador TDM**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <rrsoler22@hotmail.com> em 04 de fev. de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. **Números do setor - 2004**. Disponível em: < <http://bracelpa.org.br/bra2/?q=node/34> >. Acesso em 04 de fev. de 2016.

ARNKIL, R.; HÄMÄLÄINEN, J. Bräcke Planter and Ilves tree planting machines. Metsäteho Review 1/1995. **Finnish with English summary**, 1995.

BÄCKSTRÖM, P.O. **Maskinell plantering – förutsättningar, teknik, prestationer och kostnader**. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Stockholm. Avhandling. 1978.

BARNES, R.M. **Projeto e medida do trabalho**. São Paulo. Edgard Blucher, 1977. 635p.

BENTIVENHA, S.R.P.; GONÇALVES, J.L.M.; SASAKI, C.M. Mobilização do solo e crescimento inicial do eucalipto em função do tipo de haste subsoladora, profundidade de trabalho e características do solo. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 23, n.3, p.588 – 605, set./dez. 2003.

BERG, S. Studier av mekaniserade system för markberedning och plantering. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Stockholm. **Meddelande nr 19**. 1991.

BERG, S. **Mekaniserad plantering**. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Stockholm. Redogörelse nr 5. 1983.

BRACKE FOREST. Bracke P11.a – Planting machine. Disponível em: <<http://www.brackeforest.com/parser.php?did=344:2388>>. Acesso em: 23 de abr. de 2016.

BRAMUCCI, M. **Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de “Harvesters” na colheita de madeira**. Piracicaba, 2001. 50 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

BURLA, E. R. **Avaliação técnica e econômica do harvester na colheita e processamento de madeira em diferentes condições de declividade e produtividade florestal**. 2008. 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

CONWAY, S. **Logging practices. principles of timber harvesting systems**. São Francisco. Miller Freeman Publication, 1976. 416 p.

COSTA, L. M. **Manejo de solos em áreas reflorestadas**. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.). *Relação solo eucalipto*. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p. 237-264.
 DRAKE-BROCKMAN, G. R. Evaluation of the Bracke Planter on UK restock sites. Technical Development Branch. Forestry Commission. Technical Note 7/98. 1998.

DEDECEK, R. A.; MENEGOL, O.; BELLOTE, A. F. J. Avaliação da compactação do solo em plantios jovens de *Pinus taeda*, com diferentes sistemas de preparo do solo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 40, p. 5-21, jan./jun. 2000.

Du TOIT, B.; DOVEY, S. B. Effect of site management on leaf area, early biomass development, and stand growth efficiency of a *Eucalyptus grandis* plantation in South Africa. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, V. 35, n.4, p. 891-900, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2013. 412 p.

ERSSON, B.T.; BERGSTEN, U.; LINDROOS, O. **Reloading mechanized tree planting devices faster using a seedling tray carousel**. *Silva Fennica* 48(2) article 1064. 2014. 14 p.

ERSSON, B.T. **Possible concepts for mechanized tree planting in southern Sweden – an introductory essay on forest technology**. SLU, Arbetsrapport 269, 2010. 51 p.

FINGER, C.A. G. et al. Influência da camada de impedimento no solo sobre o crescimento de *Eucalyptus grandis* (Hill) ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p.137-145, 1996.

FONSECA, S. M. Preparo de solo para implantação de florestas. **Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Piracicaba. 30p (Revisão Bibliográfica da disciplina de pós-graduação ‘Formação e manejo de povoamentos florestais’)**, 1978.

FONSECA, E. P. **Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume., *Cedrela fissilis* Vell. e *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. produzidas sob diferentes períodos de sombreamento**. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2000. 113 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, 2000.

GINGRAS, J. F. The effects of site and stand factors on feller-buncher performance. **Feric Technical Report**, Vancouver, n. 84, p. 1-18, nov. 1988.

GONÇALVES, J. L. M. et al. **Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores**. In: GONÇALVES, J. L. M., BENEDETTI, V.(Eds.). *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 3-57.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; WICHERT, M. C. P.; GAVA, J. L.; **Manejo de resíduos vegetais e preparo do solo**. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba, 2002. 498 p.

GOODMAN, L.A. On simultaneous confidence intervals for contrasts among multinomial populations. **Annals of Mathematical Statistics**, 1964; 35(2): 716-725.

GOODMAN, L.A. On simultaneous confidence intervals for multinomial proportions. **Technometrics**, 1965; 7(2): 247-254.

HALLONBORG, U.; von HOFSTEN, H.; MATTSSON, S.; HAGBERG, J.; THORSÉN, Å.; NYSTRÖM, C.; ARVIDSSON, H. **Maskinell plantering med Silva Nova – nuvarande status samt utvecklingsmöjligheter i jämförelse med manuell plantering**. Skogforsk. Uppsala. Redogörelse nr 6. 1995.

HALLONBORG, U., von HOFSTEN, H., MATTSSON, S.; THORSÉN, Å. **Planteringsmaskiner i skogsbruket – en beskrivning av metoder och maskiner**. Skogforsk. Uppsala. Redogörelse nr 7. 1997.

HALLONGREN H.; LAINE T.; SAARINEN, V-M.; STRANDSTRÖM, M. **Competitiveness of mechanized tree planting in Finland**. Scandinavian Journal of Forest Research v 29 n 2. p 144–151. 2014.

HALONEN, M. **Koneellisen istutuksen tuotos- ja kehittämistutkimus EcoPlanter 2000**. UPM-Kymmene Metsä. Jämsänkosken. Tutkimusraportti 2002. 2002.

HÄRKÖNEN, M. **Work quality of M-Planter and Bräcke forest planting machines**. 2008 M. (Sc.) thesis. University of Joensuu, Faculty of Forest Science, Joensuu. (In Finnish). 2008.

HARSTELA, P.; SAARINEN, V. M.; TERVO, L.; KAUTTO, K. **Productivity of Planting with M-Planter Machine**. Presented at the NSFP Nordic Nursery Conference, Siilinjärvi, 2007. Disponível em: <http://www.metla.fi/tapahtumat/2007/nsfp-taimitarharetkeily/abstracts/nsfp060907-harstela.pdf>. Acesso em: 21 de jan. de 2016.

HÖGBERG, K.A. **Needle conductance and root egress of containerized Scots pine and Norway spruce seedlings after surface and deep planting**. Canadian Journal of Forest Research 17(8). p. 783 - 786. 1987.

IBÁ. Anuário estatístico da IBÁ 2014 – Ano base 2013. Indústria Brasileira de Árvores. 2014. Disponível em: <http://www.iba.org/pt/>. Acesso em: 15 de fev. de 2016.

IBÁ. Anuário estatístico da IBÁ 2015 – Ano base 2014. Indústria Brasileira de Árvores. 2015. Disponível em: <http://www.iba.org/pt/>. Acesso em: 15 de fev. de 2016.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Relatório anual IPEF de 1999**. Piracicaba, 2000. 79 p.

JOHN DEERE. Escavadeira 200 D LC. Disponível em: https://www.deere.com.br/pt_BR/products/equipment/excavators/200d_200d_1c/200d_200d_1c.page . Acesso em: 22 de abr. de 2016.

- KLABIN. **Resumo Público PMF SC 2014**. Disponível em: www.klabin.com.br. Acesso em: 12 de mar. de 2016.
- LAINE, T.; SAARINEN, V.. Comparative study of the Risutec Automatic Plant Container (APC) and Bracke planting devices. **Silva Fennica**, v. 48, n. 3, p.1-16, 2014.
- LANÇAS, K. P. **Subsolador: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiros e número de hastes**. 1988. 171 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1988.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução: Prado, C. H. B. A. São Carlos: Ed. Rima, 2006. 531 p.
- LIEPINS, K.; LAZDINA, D.; LAZDINS, A.. Productivity and Cost-effectiveness of the M-Planter Tree Planting Machine in Latvian Conditions. **Baltic Forestry**, Salaspils, v. 17, n. 2, p.308-313, 2011.
- LUORANEN, J.; RIKALA, R.; SMOLANDER, H.. Machine planting of Norway spruce by Bracke and Ecoplanter: an evaluation of soil preparation, planting method and seedling performance. **Silva Fennica** v. 45, n. 3, p. 341–357, 2011.
- MACHADO, C. C. **Exploração florestal**. 4. ed. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 139 1985. 60 p.
- MACHADO, C.C. et al. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In.: MACHADO, C.C. (Ed). **Colheita florestal**. 3 ed. Viçosa. UFV, 2014. cap. 1, p.15-45.
- MACKENZIE, Dan W.; MERALA, Reymond. **Guidelines for Evaluating Mechanical Tree Planters**. San Dimas, Ca: Forest Service, Equipment Development Center, 1986. 22 p.
- MALMBERG, C.E., 1990. **Mekanisering av skogsodling**. Styrelsen för Teknisk Utveckling. Stockholm. STU-info: 783. 1990.
- MATTOS, J R. **Espécies de Pinus cultivados no Brasil**. São Paulo: Grupo Editorial Chácaras e Quintais, [198-]. 133 p.
- MATTSSON, S., von HOFFSTEN, H., HALLONBORG, U.; GRANLUND, P. **EcoPlanter – en studie av kranspetsmonterat planteringsaggregat**. Skogforsk. Uppsala. Arbetsrapport nr 339. 1996.
- METASA. **Divisão de implementos agrícolas: MTM - transplantadora de mudas**. Disponível em: <http://www.metasa.com.br/implementos/produto_mtm.htm>. Acesso em: 17 abr. de 2016.
- MIROV, N T. **The Genus Pinus**. New York: Ronald Press, 1967. 602 p.
- MYHRMAN, D.; ZYLBERSTEIN, M. Fem planteringsmaskiner. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Stockholm. **Resultat nr 18**. 1983.

MIYAJIMA, R. H. **Influência do relevo e da experiência dos operadores nos rendimentos e custos da colheita de madeira de eucalipto.** 2015. 107 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Florestal, Departamento de Ciência Florestal, Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015.

MONTAGNA, R. G.; YAMAZOC, G. Utilização de madeira de pequenas dimensões. **Silvicultura**, v.2, n.14, p.78-179, 1978.

NIEUWENHUIS, M.; EGAN, D. An Evaluation and Comparison of Mechanised and Manual Tree Planting on Afforestation and Reforestation Sites in Ireland. **International Journal of Forest Engineering**. V. 13, n. 2. 2002.

NORMARK, E.; NORR, M. EcoPlanter – sammanställning av ett utvecklingsprojekt. **Skogsvårdsavdelningen. Holmen Skog. Örnsköldsvik. Rapport.** 2002.

OLIVEIRA JÚNIOR, D.; LOPES, E.S.; FIEDLER, N.C. Avaliação técnica e econômica do Forwarder em extração de toras de pinus. **Scientia forestalis**. Piracicaba, v.37, n.84, p.525-533, 2009.

OLIVEIRA JÚNIOR, E. D.; SEIXAS, F.; BATISTA, J. L. F. Produtividade de *Feller-Buncher* em povoamento de Eucalipto em relevo acidentado. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 39, n. 4, p. 905-912, out./dez. 2009.

ÖRLANDER, G.; GEMMEL, P.; HUNT, J. **Site preparation: a Swedish overview.** FRDA Rep. 105. British Columbia Ministry of Forests, Victoria, B.C. 60 p. 1990.

PEREIRA, A. L. N. **Avaliação de um sistema de colheita de *Pinus taeda* L. em diferentes produtividades do povoamento.** 2011. 77 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-oeste, Irati, 2011

PREVEDELLO, J. et al. Agregação e matéria orgânica de um argissolo sob diferentes preparos do solo para plantio de Eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 78, p.149-158, abr./jun. 2014.

PULKKI, R.E. **Glossary of forest harvesting terminology.** Disponível em. <flash.lakeheadu.ca/~repulkki/REP_terminology.pdf>. Acesso em 10 de fev. de 2016.

RANTALA, J. et al. A Techno-Economic Evaluation of Bracke and M-Planter Tree Planting Devices. **Silva Fennica**, Suonenjoki, v. 43, n. 4, p.659-667, July 2009.

RANTALA, J.; LAINE, T.. Productivity of the M-Planter Tree Planting Device in Practice. **Silva Fennica**, Suonenjoki, v. 44, n. 5, p.859-869, 2010.

ROBERT, R.C.G. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita mecanizada em plantios de eucalyptus spp. em duas condições de relevo acidentado.** 2013. 113 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, 2013.

SANKARAN, K.V.; MENDHAM, D.S.; CHACKO, K.C.; PANDALAI, R. C.; PILLAI, P.K.C.; GROVE, T. S.; O'CONNELL, A. M. Impact of Site Management Practices on Growth of Eucalyptus Plantations in the Monsoonal Tropics in Kerala, India. In.: NAMBIAR, E. K. S. **Site management and productivity in tropical plantation forests**. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR), 2008. p. 23-38.

SANZ INFANTE, F., PIÑEIRO VEIGAS, G., 2003. Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por la cadena monte-industria. Parte 1: situación actual y evaluación de sistemas de tratamiento. **Revista del Centro de Innovación y Servicios Tecnológicos de la Madera de Galicia** (10): 6-25.

SHIMIZU, J. Y. **Pínus na Silvicultura Brasileira**. Colombo, Pr. Embrapa Florestas, 2008.

SILVEIRA, G.M. **As máquinas de plantar: aplicadoras, distribuidoras, semeadoras, plantadoras, cultivadoras**. Rio de Janeiro: Globo, 1989. 257 p.

SIMÕES, J.W. **Formação, manejo e exploração de florestas com espécies de rápido crescimento**. Brasília: IBDF, 1981. 131 p.

SIMÕES, D.; FENNER, P.T.; ESPERANCINI, M.S.T. Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com harvester. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v.38, n.88, p.611-618, 2010.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; BANTEL, C. A.. Análise operacional e econômica do processamento de madeira de eucalipto com "Hypro" em região montanhosa. **Revista Árvore**, Viçosa, Mg, v. 35, n. 3, p.505-514, 2011.

SIQUEIRA, J. P. D. **Os conflitos institucionais da gestão florestal no Brasil - um benchmarking entre os principais produtores florestais internacionais**. 182 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

SILVEIRA, G.M. **As máquinas de plantar: aplicadoras, distribuidoras, semeadoras, plantadoras, cultivadoras**. Rio de Janeiro: Globo, 1989. 257p.

SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS. **EMBRAPA**. 3 Edição. 2013.

SÖNSTEBY, F.; KOHMANN, K. Forsök med maskinell planting på Östlandet. **Norsk institutt för skogforskning**. Oppdragsrapport 3/03. 2003.

SOUZA CRUZ. O conjunto do ano 2000. **O Produtor do Fumo**, n.101, p.8-9, 1999.

STAPE, J.L. **Utilização de delineamento sistemático tipo "leque" no estudo de espaçamentos florestais**. Piracicaba, 1995. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

STAPE, J. L. **Utilização de delineamento sistemático tipo “leque” no estudo de espaçamentos florestais.** 1995. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

STJERNBERG, E.I. Tree Planting Machines: A Review of the Intermittent – Furrow and Spot Planting Types. Forest Engineering Research Institute of Canada. Vancouver. **FERIC Special Report No. SR-31.** 1985.

SUITER FILHO, W.; REZENDE, G.C.; MENDES, C.J.; CASTRO, P.F. Efeitos de diversos métodos de preparo de solo sobre o desenvolvimento de *Eucalyptus grandis* HILL (EX. MAIDEN) plantado em solos com camadas de impedimento. **Circular Técnica IPEF**, n.90, p. 1-9, fev. 1980.

THORSÉN, Å., BRUNBERG, B.; SAMUELSSON, H. Plantering av olika stora täckrotsplanter. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. **Resultat nr 23.** 1984.

TOLBLAD, A. Resultat EcoPlanter 2006. Skogsvårdsavdelningen. Holmen Skog. Örnköldsvik. Resultatrapport. 2007.

VALVERDE, S.R. **Análise técnica e econômica do sistema de colheita de árvores inteiras em povoamentos de eucalipto.** 123 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

VIEIRA, M.; SCHUMACHER, M. V.; BONACINA, D. M. Biomassa e nutrientes removidos no primeiro desbaste de um povoamento de *Pinus taeda* L. em Cambará do Sul, RS. **Revista Árvore**, Viçosa, Mg, v. 35, n. 3, p.371-379, 2011.

von HOFSTEN, H. Hög kvalitet även på högkvaliteten med Öje-Planter. Skogforsk. Uppsala. **Resultat nr 3.** 1993.

von HOFSTEN, H. Delmekaniserad plantering med HevoTrac. Skogforsk. Uppsala. **Resultat nr 12.** 1996.

ZAR, J.H. **Biostatistical analysis.** 4^aed. New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 663 p., 1999

ZEN, S.; YONEZAWA, J. T.; FELDEBERG, J. E. Implantação de florestas no sistema de cultivo mínimo. In: SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTAS, 1., 1991. Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1995. p. 65-72.