



ALISSON ALVES DE OLIVEIRA

**DESEMPENHO OPERACIONAL E QUALIDADE DA
PLANTADORA PLANTMA X2 NO PLANTIO MECANIZADO
DE *Pinus taeda***

**LAVRAS-MG
2023**

ALISSON ALVES DE OLIVEIRA

**DESEMPENHO OPERACIONAL E QUALIDADE DA PLANTADORA PLANTMA
X2 NO PLANTIO MECANIZADO DE *Pinus taeda***

Trabalho de Conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia Florestal, para a
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo
Orientador

Adriene de Oliveira Bastos
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2023**

ALISSON ALVES DE OLIVEIRA

**DESEMPENHO OPERACIONAL E QUALIDADE DA PLANTADORA PLANTMA
X2 NO PLANTIO MECANIZADO DE *Pinus taeda***

**OPERATIONAL PERFORMANCE AND QUALITY OF THE PLANTMA X2
PLANTER IN THE MECHANIZED PLANTING OF *Pinus taeda***

Trabalho de Conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia Florestal, para a
obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 24 de novembro de 2023

Dr. Lucas Amaral de Melo
Me. Carlos Delano Cardoso de Oliveira
Me. Fernanda Leite Cunha

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo
Orientador

Adriene de Oliveira Bastos
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2023**

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, pois sem Ele, nada sou.

Agradeço com todo amor e carinho, a minha mãe Neide, meu pai Valdir e meus irmãos Frank e Sarah, pois sem eles nada seria possível.

Agradeço a todos meus colegas e amigos que Lavras proporcionou. Foram tantos, mas cada um teve um papel fundamental para essa realização e levarei todos no coração para sempre.

Agradeço a todos os professores que fizeram parte dessa história, em especial ao Professor Totonho, Professora Elisa, Professora Gilvano e Professora Soraya.

Agradeço à Terra Junior, pela grande evolução que representou na minha vida.

Agradeço às pessoas que fizeram parte da minha trajetória de estágio na Klabin, em especial ao Sr. Fernando, Reinaldo, Paulo, Antônio Marcos, Antônio Reno, Luiz Ferrari, Luan, Erasmo, Helen, Aline, Thaynara, Ana Clara e Daniella.

Agradeço aos meus colegas Andressa, Ludwig e Su pelo apoio no trabalho.

Agradeço ao meu orientador Lucas Amaral e a Adriene Bastos pelas orientações e conselhos que contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Agradeço a equipe da Timber, pelo apoio durante a avaliação da plantadora.

Embora nossa caminhada ao longo da vida seja algo que dependa só de nós mesmos, as pessoas que cruzam nossos caminhos ou que caminham junto conosco são fundamentais para a nossa jornada, pois é através delas que conseguimos ser uma pessoa melhor e nos tornar o que almejamos.

A felicidade quando compartilhada se multiplica.

RESUMO

Com o avanço tecnológico, o setor florestal tem se tornado cada vez mais competitivo no mercado interno e externo. A mecanização das operações florestais é vista como uma peça importante para aumentar a produtividade e controlar os custos e aspectos administrativos, mantendo a viabilidade econômica da floresta. Com o aumento da área plantada com florestas, novas alternativas surgem para a operação de plantio, com opções totalmente mecanizadas, a fim de aumentar o rendimento e agregar funções em uma mesma operação. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho operacional e qualidade da plantadora Plantma X2 no plantio mecanizado de *Pinus taeda* em fazendas pertencentes à empresa Klabin S/A. Para isso, foi realizado um estudo de tempos e movimentos e, a partir dos dados coletados, foram calculadas a produtividade, a eficiência operacional, a disponibilidade mecânica e a taxa de utilização. Em paralelo, também foi realizado um censo com intuito de avaliar a qualidade do plantio. A produtividade média foi de 1786 mudas/h, a eficiência operacional de 71%, a disponibilidade mecânica de 90% e o grau de utilização de 64%. Já em relação à qualidade do plantio, não houve a ocorrência de mudas mal fixadas, porém foram observadas outras falhas que totalizaram cerca de 3%. Através deste estudo, pode-se concluir que a Plantma X2 apresentou alta performance, tanto em questões de produtividade, quanto de qualidade, quando comparada a outras plantadoras mecanizadas e ao sistema de plantio manual.

Palavras-chave: Eficiência operacional; Produtividade florestal; Análise de qualidade

ABSTRACT

With technological advances, the forestry sector has become increasingly competitive in the domestic and foreign markets. The mechanization of forestry operations is seen as an important part of increasing productivity and controlling costs and administrative aspects, maintaining the economic viability of the forest. With the increase in the forest planted area, new alternatives are emerging for the planting operation, with fully mechanized options, in order to increase yield and also to add functions in the same operation. Therefore, the objective of this study was to evaluate the operational performance and quality of the Plantma X2 planter in the mechanized planting of *Pinus taeda* on farms belonging to the company Klabin S/A. For this, a time and movement study was carried out and, from the data collected, productivity, operational efficiency, mechanical availability, and utilization rate were calculated. In parallel, a census was also carried out to assess the quality of the planting. The average productivity was 1786 seedlings/h, the operational efficiency was 71%, the mechanical availability was 90%, and the degree of utilization was 64%. Regarding the quality of planting, there were no occurrences of poorly fixed seedlings, but other failures were observed, totalizing 2.77%. Through this study, it can be concluded that Plantma X2 presented high performance, in terms of both productivity and quality, when compared to other mechanized planters and the manual planting system.

Keywords: Operational efficiency; Forest productivity; Quality analysis

Sumário

1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1 Klabin S/A	8
2.2 Silvicultura de Pinus	9
2.3 Mecanização do setor florestal	10
2.4 Histórico do plantio mecanizado	11
2.5 Qualidade do plantio	13
2.6 Estudos de movimentos e tempos	13
3 MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 Área de estudo	14
3.2 Preparo da área e plantio	16
3.3 Coleta de dados	16
3.4 Cálculo do tempo produtivo efetivo	17
3.5 Cálculo do tempo improdutivo	17
3.6 Indicadores de desempenho operacional	17
3.7 Produtividade média estratificada	18
3.8 Consumo de combustível	18
3.9 Qualidade do processo de plantio	18
3.10 Processamento dos dados	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1 Análise do desempenho operacional	18
4.2 Produtividade, eficiência operacional, disponibilidade mecânica e taxa de utilização diário.	20
4.3 Produtividade média estratificada	22
4.4 Consumo de combustível	24
4.5 Qualidade do plantio	25
5 CONCLUSÕES	27
REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a demanda por recursos florestais madeireiros e não madeireiros tem aumentado constantemente. O avanço tecnológico no setor florestal tem possibilitado a diversificação dos produtos obtidos a partir da matéria-prima florestal, tornando as atividades relacionadas às florestas um dos setores mais competitivos no mercado interno e externo (IBÁ, 2022).

O Brasil ocupa lugar de destaque na silvicultura mundial. Em 2021, a área de árvores plantadas totalizou 9,93 milhões de hectares, um crescimento de 1,9% em relação ao dado revisado de 2020 (9,75 milhões de hectares), sendo 7,53 milhões de hectares de eucalipto, 1,93 milhão de hectares de pinus e 75 mil hectares plantados de outras espécies (IBÁ, 2022). Entretanto, vários desafios da silvicultura ainda persistem, como número de rotações de cultivo, escassez de mão de obra e a expansão da silvicultura para áreas declivosas ou que apresentam solos com limitações físicas (ROCHA et al., 2015).

Nas décadas de 60 e 70 a silvicultura brasileira estava em estágios iniciais como ciência (SOARES, 2008). Nesse período, predominou o uso de equipamentos agrícolas em sistemas de cultivo intensivo. Embora tenha havido alguma iniciativa no desenvolvimento de ferramentas para atividades florestais, com foco na redução de impactos, essas práticas eram escassas e limitadas, principalmente em áreas de topografia desfavorável. Com o constante avanço de implantação florestal, tornou-se necessário inovar, o que impulsionou a mecanização no setor, buscando melhorias em todas as etapas, desde as técnicas de cultivo, até a colheita, promovendo a eficiência e a produtividade.

A mecanização das operações florestais é vista como uma peça importante para aumentar a produtividade e controlar os custos e aspectos administrativos, mantendo a viabilidade econômica da floresta. A maioria das empresas florestais nacionais adota sistemas mecanizados de preparo de solo, manejos silviculturais e colheita, utilizando equipamentos de última geração, visando à redução dos custos de produção e aumento da produtividade. No entanto, essas mesmas empresas não utilizam sistemas mecanizados de plantio e, quando muito, vêm experimentando sistemas semimecanizados.

A tomada de decisão para a seleção do sistema de plantio manual ou mecanizado é feita pela avaliação dos desempenhos operacional e econômico das atividades. Entretanto, a adoção do sistema de plantio não irá depender somente da capacidade operacional e do custo,

mas também da qualidade do plantio, o que determina se a operação está adequada ou não aos padrões recomendados pela empresa florestal (SEREGHETI, 2016; FESSEL, 2003).

O fator que poderia se aliar à mecanização da silvicultura a fim de consolidar o uso de equipamentos para plantio seria a automatização da operação, uma vez que se pode melhorar o rendimento operacional em atividades que requerem precisão, velocidade, como também a exposição dos trabalhadores em atividades perigosas, pois o trabalho em locais de difícil acesso ou que ofereçam riscos à saúde do trabalhador serão evitados (SOLER, 2020).

Assim, este estudo teve como objetivo determinar o desempenho operacional e avaliar a qualidade da plantadora Plantma X2 no plantio mecanizado de *Pinus taeda* em áreas distintas de preparo do solo e declividade. Para isso, foram utilizados dados reais de operações de uma empresa do setor florestal.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Klabin S/A

A Klabin, uma empresa brasileira com mais de 120 anos de história, é marcada pelo pioneirismo, inovação e sustentabilidade. Fundada por Maurício Freeman Klabin, um imigrante lituano que chegou ao Brasil em 1889, a empresa começou como uma tipografia chamada M.F.Klabin & Irmão. Em 1899, Maurício se associou aos seus primos Hessel e Salomão Klabin e aos irmãos Lafer para criar a Klabin Irmãos & Cia., uma importadora de papéis e artigos de escritório (Florestal Brasil, 2023).

Hoje, a Klabin é a maior produtora e exportadora de papéis para embalagens do Brasil, líder nos mercados de embalagens de papelão ondulado, sacos industriais e papel-cartão. A empresa possui cerca de 356 000 hectares de florestas produtivas nos estados do Paraná, Santa Catarina e São Paulo, compostas pelas espécies do gênero *Pinus* e pelo gênero *Eucalyptus*. Além disso, 42% dessas áreas são compostas por áreas de preservação (KLABIN S/A., 2023).

Com 22 fábricas no Brasil e uma na Argentina, a Klabin opera em todo o ciclo biológico da economia circular florestal, reintegrando tudo o que é extraído à natureza. A empresa desenvolve produtos de base renovável e defende o uso de alternativas biodegradáveis (KLABIN S/A., 2023). Para colaborar com o desenvolvimento da Agenda 2030 da ONU, a Klabin estabeleceu os “Objetivos Klabin para o Desenvolvimento Sustentável” (KODS), um conjunto de metas de curto, médio e longo prazo alinhadas aos aspectos Ambientais, Sociais e de Governança (ESG) para o desenvolvimento socioambiental e econômico (KLABIN S/A., 2023).

A Klabin atua na produção de diversos produtos. Os principais incluem papel e papelão para embalagens, caixas de papelão ondulado, sacos industriais e madeira em toras. A empresa também oferece polpa fluff, polpa de madeira dura, polpa de madeira macia, polpa branqueada de fibra curta e polpa branqueada de fibra longa. Esses produtos são usados para produzir fraldas infantis e adultas, absorventes sanitários e vários tipos de papel, como papel para impressão e escrita, tecido e papéis especiais (KLABIN S/A, 2023).

2.2 Silvicultura de *Pinus*

Há mais de um século, diversas espécies de *Pinus* foram introduzidas no Brasil. Muitas delas foram trazidas por imigrantes europeus para fins ornamentais e produção de madeira. Em 1936, o Instituto Florestal de São Paulo introduziu as primeiras sementes de pinus (*Pinus taeda*, *P. elliottii* var. *elliottii*) no Brasil e estabeleceu várias áreas experimentais em todo o estado (KRONKA et al., 2005).

O gênero *Pinus*, que tem origem na América do Norte e América Central, se adaptou às condições edafoclimáticas do Brasil, principalmente na região Sul. Hoje, ocupa a segunda posição no ranking das espécies mais plantadas no Brasil, correspondendo a 19,4% da área total de florestas plantadas (IBÁ, 2022). Cerca de 89% dos plantios estão concentrados na região Sul, com destaque para os estados do Paraná e Santa Catarina, como os principais polos produtores (IBÁ, 2022).

A silvicultura de *Pinus* no sul do Brasil teve início com o estabelecimento de incentivos fiscais nas décadas de 60 e 70. Naquela época, a estratégia era alocar recursos em áreas designadas como “Distritos Florestais”, priorizando terras com menor potencial produtivo para promover o desenvolvimento do País. As duas principais espécies do gênero *Pinus* plantadas na região sul do Brasil são *P. elliottii* e *P. taeda*, que tiveram excelente adaptabilidade às condições edafoclimáticas da região (VASQUEZ et al., 2007).

O gênero *Pinus* oferece uma ampla gama de produtos que desempenham um papel fundamental na indústria florestal e em diversos setores da economia. A madeira de *Pinus* é valorizada pelas suas fibras longas, que são utilizadas na fabricação de móveis, construção civil, papel e celulose, embalagens, bem como na produção de compensados e laminados. Algumas espécies de *Pinus* são fonte de extrativos, como resina, óleo de terebintina e goma de breu, que encontram aplicação em produtos químicos, tintas, vernizes, na indústria farmacêutica e em diversas outras áreas (EMBRAPA, 2008).

Um dos principais fatores que influenciam no sucesso dos empreendimentos florestais é o solo, devido às suas características químicas, físico-hídricas e biológicas. As características físicas do solo desempenham um papel fundamental em sua fertilidade, pois

regulam a infiltração de água, impactam na capacidade de retenção e disponibilização de água, influenciam a aeração do solo e são determinantes na resistência ao crescimento das raízes das plantas (LACEY, 1993). Conforme Dougherty e Gresham (1988), o desenvolvimento das raízes é o fator preponderante para a sobrevivência e crescimento do *Pinus* no primeiro ano após o plantio. Até que o sistema radicular tenha a oportunidade de se estabelecer, a profundidade efetiva do solo, ou seja, a camada que as raízes podem explorar sem restrições, tem sido um dos fatores mais influentes no crescimento do *Pinus*.

2.3 Mecanização do setor florestal

A mecanização no setor florestal ocorreu de maneira mais gradual em comparação com a agricultura. Uma atividade ou operação é classificada como mecanizada quando é executada por máquinas motorizadas, cujos mecanismos funcionam através de acionamento direto, ou quando são utilizados equipamentos ou ferramentas adaptadas para a execução da atividade específica (LIMA; LEITE, 2014).

Nos países com forte economia florestal, a mecanização das operações florestais tem sido objeto de estudo há décadas. A mecanização começou com a utilização de equipamentos adaptados, originalmente projetados para trabalhos agrícolas, que foram ajustados para uso florestal, atendendo às necessidades do setor. No entanto, o aumento da demanda por mão de obra e o crescimento da produção da indústria florestal motivaram o desenvolvimento de equipamentos específicos para trabalhos florestais (SALMERON, 1980).

A introdução desses novos equipamentos é um processo complexo, envolvendo mudanças nos sistemas de trabalho, dimensionamento de equipes e treinamento de pessoal. As inovações tecnológicas na silvicultura brasileira resultaram em um aumento da produtividade, diminuindo os custos do reflorestamento e, conseqüentemente, aumentando a rentabilidade do setor. Isso impulsionou a expansão da área de reflorestamento e florestamento no Brasil.

As inovações tecnológicas, juntamente com o preço da madeira de florestas plantadas e os incentivos fiscais do Governo Federal, desempenharam um papel crucial nesse processo (ANTONANGELO, 1996).

A mecanização e a automação dos processos silviculturais são cada vez mais necessárias para atender à demanda fabril de madeira de *Eucalyptus* e *Pinus*. As atividades que têm concentrado os maiores esforços e investimento das empresas nos últimos anos são o preparo de solo, o plantio, a irrigação, a adubação e os tratamentos silviculturais mecanizados (IPEF, 2021).

A introdução da mecanização na silvicultura pode trazer vantagens significativas para o setor florestal, incluindo um controle de custos mais eficiente, aumento da produtividade e maior competitividade. Isso pode ser alcançado através da diminuição da dependência de mão de obra, redução dos custos operacionais, melhoria na qualidade dos serviços e a possibilidade de trabalho em turnos. Portanto, a intensificação da mecanização nas operações florestais pode resultar em benefícios operacionais significativos (HAKAMADA et al., 2013).

2.4 Histórico do plantio mecanizado

A operação de plantio é o processo pelo qual as mudas são inseridas em covas previamente abertas no solo. Existem três métodos principais para realizar essa atividade: manual, semimecanizado e mecanizado. A escolha do método depende de vários fatores, incluindo a topografia do terreno, o tamanho da área a ser plantada e o custo associado à operação de plantio (SOLER, 2020).

De acordo com Bäckström (1978), a primeira unidade de plantio do mundo provavelmente foi construída nos Estados Unidos, na década de 1880, sendo uma unidade puxada por cavalos para plantio nas pradarias de Nebraska. No entanto, a mecanização na área de implantação florestal só teve início no ano de 1965 com o programa “Operação de Plantio Mecanizado”, que tinha como objetivo iniciar, acompanhar e acelerar o desenvolvimento de agregados e máquinas para a silvicultura mecânica.

Na década de 1970, a Suécia viu o surgimento das primeiras máquinas de plantio, a Doroplanter e a MoDo Mekan. Estes protótipos, que realizavam escarificação intermitente e plantio em covas, eram operados por dois operadores e comercializadas para as grandes empresas florestais do país. No entanto, no início da década de 1980, o conceito da máquina MoDo Mekan foi superado pelo projeto Silva Nova, que contou com o apoio das quatro maiores empresas florestais suecas (BERG, 1991).

O modelo Silva Nova, lançado na década de 1980, representou uma nova geração de máquinas de plantio florestal. Operado por dois operadores e equipado com um sistema de reabastecimento mecanizado de mudas, o projeto foi, no entanto, descontinuado no início da década de 1990 devido aos custos de investimento elevados e a novas regulamentações que tornaram os custos do plantio mecânico mais altos do que os manuais (MALMBERG, 1990; HALLONBORG et al., 1995). Apesar desses desafios, em 1994, pelo menos seis dessas máquinas estavam trabalhando em áreas de reflorestamento nas regiões norte e central da Suécia. Em 1997, a plantação mecanizada atingiu seu pico, sendo responsável por 9% e 12% da área total plantada em Norrland e Svealand, respectivamente (LINDHOLM; BERG 2005).

Apesar dos avanços, o projeto foi abandonado devido aos custos elevados e à disponibilidade de mão de obra mais barata.

A Plantma X é um aprimoramento da máquina Silva Nova. A empresa responsável por sua criação, a Plantma Forestry AB, foi fundada por Stig Linderholm e Hans Arvidsson, que já haviam participado do desenvolvimento da Silva Nova no final dos anos 1990. O projeto para a nova plantadora Plantma X teve início em 2018, com o objetivo de produzir uma máquina eficiente e de alto desempenho, baseada em experiências anteriores.

O desenvolvimento ocorreu em colaboração com as empresas Holmen, Sveaskog e SCA. Atualmente, há duas unidades da máquina em operação, sendo uma de propriedade da Holmen, na Suécia. Uma segunda unidade (a máquina Plantma X2 original) passou pelos EUA durante o início de 2022 e agora está no Brasil, realizando plantios para diversas empresas com o objetivo de testar seu desempenho no solo brasileiro (SUNDBLAD et al., 2023). No Brasil, a empresa representante da plantadora é a Timber, que está realizando demonstrações em várias empresas do país para apresentar suas funcionalidades.

A plantadora Plantma X2 (Figura 1), que tem como base uma máquina forwarder, planta automaticamente, de acordo com a configuração desejada, utilizando dois braços autônomos. Esses braços estão equipados com sensores que identificam obstáculos, como pedras e tocos, que possam inviabilizar o plantio da muda. A plantadora possui um par de escarificadores que podem atuar em três modos: contínuo, intermitente e remoção leve. O plantio pode ser realizado na cova, no monte ou de forma intermitente. O magazine de mudas tem capacidade para armazenar de 18 mil a 30 mil mudas, dependendo do tamanho das unidades. Todas as configurações podem ser ajustadas em tempo real, enquanto a plantadora está em movimento (GRUPO TIMBER, 2023).

Figura 1: Representação da plantadora florestal Plantma X2.



Fonte: Do Autor (2023)

2.5 Qualidade do plantio

Para se alcançar boa qualidade de plantio, é importante que as mudas sejam de qualidade e que o solo esteja bem preparado (FONSECA, 2000). A qualidade dos plantios mecanizados, além de considerar o viés econômico da operação, deve garantir o estabelecimento de condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das mudas plantadas, assim aumentando o sucesso da implantação (SEREGHETTI, 2016).

Quando se trata de plantio mecanizado, a qualidade é influenciada por fatores específicos, incluindo a profundidade de plantio, a posição vertical das mudas e a preservação das mesmas contra danos provocados pela máquina (LUORANEN et al., 2011). Para que haja qualidade no plantio mecanizado, alguns cuidados devem ser tomados. Primeiramente, a máquina de plantio deve ser cuidadosa para não danificar as mudas durante o processo. Além disso, é crucial que as mudas sejam plantadas na profundidade adequada e em posição vertical (HÖGBERG, 1987, ÖRLANDER et al., 1990). De modo geral, o uso de máquinas eficientes para o preparo do solo e plantio pode melhorar a sobrevivência das mudas e maximizar seu crescimento após o plantio (LUORANEN et al., 2011).

Diversos fatores podem afetar a qualidade das mudas plantadas mecanicamente. O relevo e presença de resíduos são alguns desses fatores. A literatura também revela que o tipo de solo também é um fator importante, especialmente quando há alta incidência de pedras e rochas. Tais elementos dificultam o fechamento das covas de plantio, impedindo a compactação do solo ao redor do torrão da muda, resultando em um plantio com mudas soltas (SOLER, 2016).

A qualidade de plantio pode ser identificada a partir de diferentes aspectos. De acordo com Sereghetti (2016), o plantio de qualidade superior é caracterizado pela fixação constante da muda, sem a presença de variáveis indesejadas, como substrato parcialmente exposto, substrato totalmente exposto, muda inclinada, colo encoberto e plantio duplo. Além disso, esse tipo de plantio deve manter o espaçamento recomendado. Portanto, a ausência dessas variáveis e a aderência ao espaçamento sugerido são indicativos de um plantio de alta qualidade.

2.6 Estudos de tempos e movimentos

Segundo Barnes (1977), o estudo de tempos e movimentos é uma metodologia sistemática aplicada à otimização de sistemas de trabalho. O estudo de tempos e movimentos tem suas raízes no início do século XX, com os trabalhos de Frederick Winslow Taylor e Frank e Lillian Gilbreth que buscavam melhorar a eficiência industrial por meio da análise científica do trabalho. Esta metodologia engloba a análise temporal, que consiste na medição,

classificação e análise crítica do tempo despendido no trabalho com o intuito de eliminar o tempo improdutivo. Paralelamente, o estudo de movimentos realiza uma análise crítica dos movimentos com o objetivo de descrevê-los, minimizar movimentos desnecessários e organizar os movimentos restantes na sequência mais eficiente para a execução das operações.

A análise do trabalho, juntamente com o estudo tempos e movimentos, constitui a ferramenta fundamental para a racionalização do trabalho. Esta abordagem permite que o trabalho seja realizado de maneira mais eficiente e econômica, através da análise detalhada de cada operação de uma tarefa. Essa melhoria é alcançada através da divisão e subdivisão de todos os movimentos necessários para a execução de cada operação (CHIAVENATO, 2003).

O entendimento dos tempos e movimentos tem papel fundamental importante no gerenciamento de processos operacionais. Seixas et al. (2004) destacam a relevância do estudo de tempos e movimentos no aprimoramento de sistemas florestais. Segundo eles, a análise do tempo despendido em cada elemento do ciclo de trabalho possibilita uma organização mais eficiente, com o propósito de otimizar o sistema operacional. Isso implica que, ao entendermos melhor como o tempo é consumido em cada etapa do processo, podemos reestruturar e melhorar o sistema para aumentar a produtividade e eficiência.

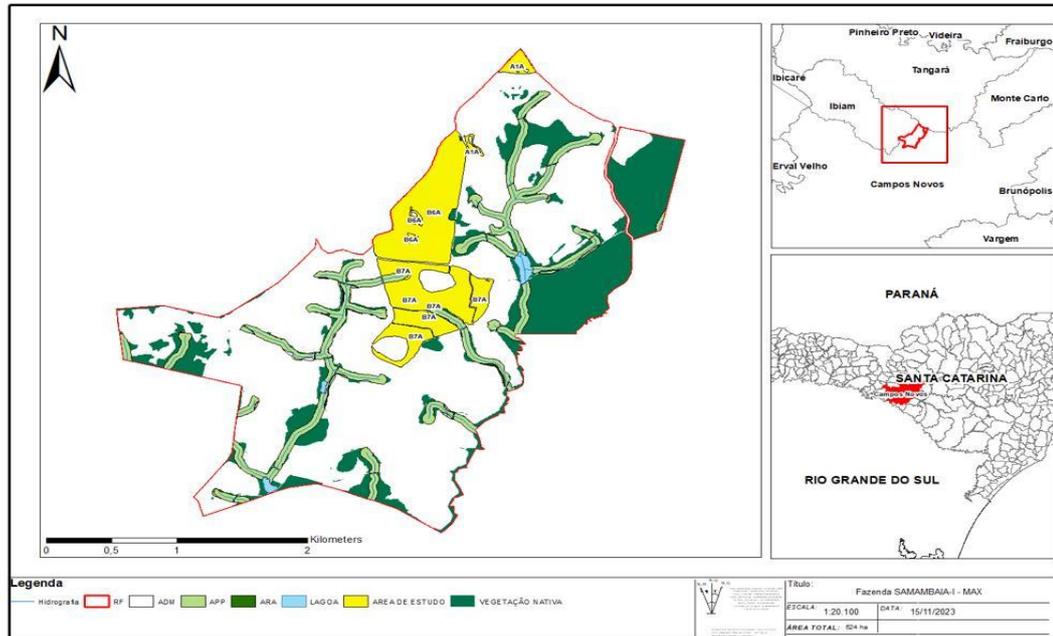
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado em duas fazendas pertencentes à empresa Klabin, localizadas no estado de Santa Catarina, entre os dias 27 de março e 12 de abril de 2023. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb (ALVARES et al., 2013). A temperatura e precipitação média anual são °C e 1841 mm (citação). Durante o inverno, há ocorrência de geadas na região.

A primeira fazenda, chamada Samambaia I (MAX), está situada na cidade de Campos Novos (SC) (Figura 2). Ela consiste em uma área de reforma com o ciclo anterior de *Pinus* com uma idade média de 15 anos. A fazenda abrange uma área de 524 hectares com a predominância de solo do tipo Nitossolo Bruno e precipitação média anual de 1886 mm.

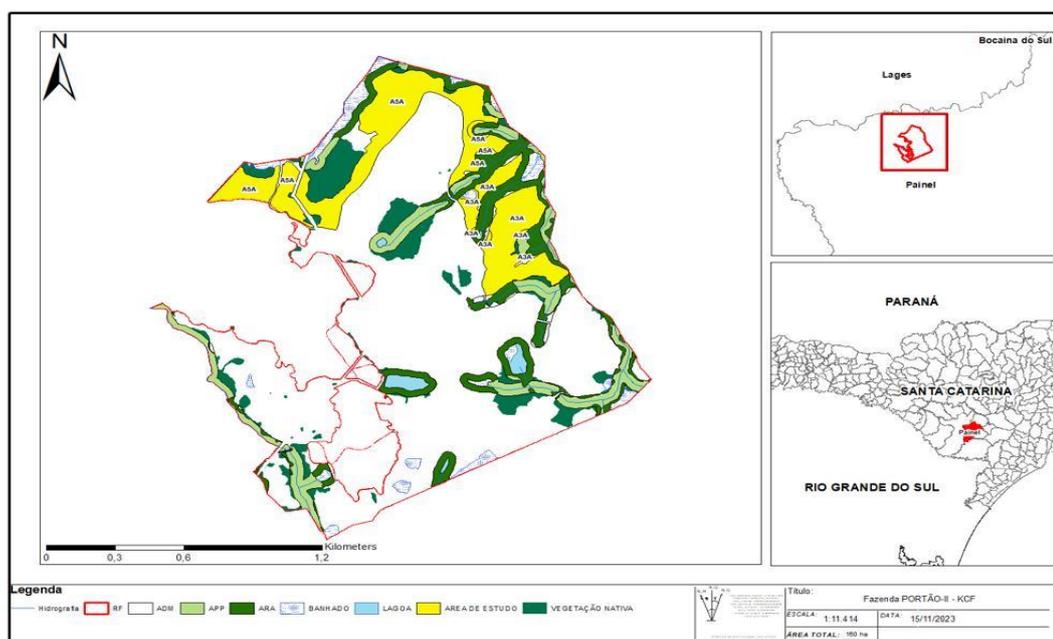
Figura 2: Mapa de localização da fazenda Samambaia, no estado de Santa Catarina.



Fonte: Do Autor (2023)

A segunda fazenda, chamada Portão II (KCF), está localizada na cidade de Painei (SC) (FIGURA 3). Trata-se de uma área de primeira implantação que, anteriormente, era composta por pastagem, campos nativos e área de agricultura. A fazenda ocupa uma área de 160 hectares e o tipo de solo predominante é o Cambissolo/Neossolo e precipitação média anual de 1662 mm.

Figura 3: Mapa de localização fazenda Portão II, no estado de Santa Catarina.



Fonte: Do Autor (2023)

3.2 Preparo da área e plantio

Com o intuito de avaliar as funcionalidades da plantadora Plantma X2 em diferentes ambientes, foram selecionados talhões com particularidades distintas em relação ao manejo do solo e à declividade. Esses talhões foram classificados quanto ao relevo, considerando plano, suave ondulado ou forte ondulado, e quanto ao tipo de manejo do solo, considerando área com preparo do solo, limpa trilha ou sem preparo (TABELA 1).

Tabela 1: Características dos talhões utilizados para avaliar as funcionalidades da plantadora Plantma X2 em uma empresa do setor florestal, em Santa Catarina.

Talhão	Manejo do solo	Predominância
MAX-A1A	com preparo	plano a suave ondulado
MAX-B6A	limpa trilha	plano a suave ondulado
MAX-B7A	com preparo	ondulado a forte ondulado
KCF-A3A	sem preparo	forte ondulado
KCF-A5A	sem preparo	plano

Fonte: Do Autor (2023)

Na fazenda MAX, o talhão A1A, com declividade de plano a suave ondulado, teve o solo preparado com o subsolador com haste de 45 cm de profundidade. No talhão B6A, também com declividade de plano a suave ondulado, não houve preparo do solo, sendo realizada apenas a área uma limpeza na linha de plantio com o implemento limpa trilha. Já no talhão B7A, com declividade forte ondulada, o preparo do solo foi feito com o subsolador com haste de 45 cm de profundidade.

Na fazenda KCF, o talhão A3A apresenta declividade forte ondulada e não teve seu solo preparado. O mesmo ocorreu com o talhão A5A, com declividade de plano à suave ondulado, onde também não houve nenhum tipo de preparo do solo.

O plantio foi realizado com plantadora Plantma X2, utilizando mudas clonais de *Pinus taeda*, obtidas pelo viveiro da Arborgen. Seguindo a recomendação da empresa, o foi espaçamento de 2,5 x 2,5 metros, resultando no plantio de 1600 plantas por hectare.

3.3 Coleta de dados

Para avaliar o desempenho operacional e a produtividade da plantadora Plantma X2, foram coletados em campo os tempos gasto em cada atividade, utilizado o aplicativo *Time Motion Study*.

3.4 Cálculo do Tempo Produtivo Efetivo (TPE)

O Tempo Produtivo Efetivo foi subdividido em três categorias: Tempo Plantado, sendo considerado o tempo que o implemento levou para finalizar o plantio; Tempo de Manobra, tempo relacionado com o tempo gasto pelo operador para manobrar a máquina ao final de cada linha; e Tempo de Deslocamento Operacional, sendo este o tempo relacionado ao deslocamento da máquina para desviar de obstáculos na linha de plantio.

3.5 Cálculo do tempo improdutivo

O tempo improdutivo foi dividido em duas categorias. O Tempo de Perda Operacional representa o tempo gasto com abastecimento, lubrificação, abastecimento de mudas, check list, deslocamento auxiliar e pausas. Por outro lado, o Tempo de Perda Mecânica está relacionado à manutenção e à manutenção preventiva.

3.6 Indicadores de desempenho operacional

Para análise do desempenho operacional, foram utilizados os seguintes indicadores:

(1) produtividade média (Equação 1), dada pelo número de mudas plantadas em relação ao tempo produtivo;

(2) eficiência operacional (Equação 2), obtida pela porcentagem de tempo utilizado no trabalho em relação ao tempo em que o equipamento fica disponível;

(3) disponibilidade mecânica (Equação 3), representada pela porcentagem de tempo em que a máquina ficou disponível para utilização, sem intervenções mecânicas, em relação ao tempo programado; e

(4) taxa de utilização (Equação 4), dada pela eficiência operacional e disponibilidade mecânica.

$$P = MP/TPE \quad (1)$$

Em que: P = produtividade; MP = total de mudas plantadas; TPE = tempo produtivo efetivo.

$$EO = (TPE/(TT-PM))*100 \quad (2)$$

Em que: EO = eficiência operacional; TPE = tempo produtivo efetivo; TT = tempo total de trabalho; PM = perda mecânica.

$$DM = ((TT-PM)/TT)*100 \quad (3)$$

Em que: DM = disponibilidade mecânica; TT = tempo total programado; PM = perda mecânica.

$$TU = EO \times DM \quad (4)$$

Em que: TU = taxa de utilização; EO = eficiência operacional; DM = disponibilidade mecânica.

3.7 Produtividade média estratificada

Para análise da produtividade média estratificada, foram realizadas estratificações baseadas no comprimento da linha de plantio, declividade e manejo do solo. Posteriormente, foi realizada uma análise de correlação de Pearson, entre o rendimento em função das estratificações, para identificar qual condição teve maior impacto na produtividade.

3.8 Consumo de combustível

Para quantificar o consumo médio de combustível em litros por hora, foi realizado o abastecimento completo do tanque da máquina, tanto no início, quanto no final da jornada de trabalho. A diferença resultante, que representa o consumo total de combustível, foi dividida pelo número de horas de tempo produtivo efetivo (Equação 5):

$$CM = (AB_i - AB_f) / TP \quad (5)$$

em que: CM = consumo médio; AB_i = abastecimento inicial; AB_f = abastecimento final; TP = tempo produtivo efetivo.

3.9 Qualidade do processo de plantio

Para mensurar a qualidade do plantio, foi realizado um censo, sendo avaliadas um total de 57 628 mudas, contabilizados o número de falhas no plantio em três aspectos: a) ausência de muda; b) muda fora; e c) muda fora do obstáculo.

3.10 Processamento dos dados

Os dados coletados foram transferidos para uma planilha do Excel para cálculo das médias e correlação. Após a obtenção das médias, foram confeccionados gráficos e tabelas para melhor representação dos resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

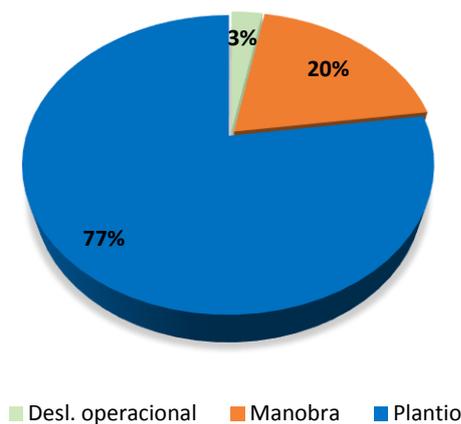
4.1 Análise do desempenho operacional

De acordo com os resultados, foram necessárias 71,59 horas de operação da máquina para realizar a etapa de plantio. Desse total, 25,88 horas foram consideradas improdutivas,

enquanto 45,71 horas foram de produção efetiva. Foram plantadas 80 687 mudas em uma área de 50 hectares.

Das horas totais do tempo produtivo, 77% (35,3 horas) foram dedicadas ao plantio, 20% (9,06 horas) foram dedicadas a manobras (virada ao final da linha) e 3% (1,35 horas) foram dedicadas ao deslocamento operacional (desvio aos obstáculos) (Figura 4). Embora o equipamento não esteja realizando o plantio durante as manobras e o deslocamento operacional, essas atividades foram identificadas como fundamentais para realizar o plantio propriamente dito. Portanto, mesmo que não estejam diretamente envolvidas no ato de plantar, essas atividades são consideradas produtivas, pois contribuem para o desempenho geral do processo.

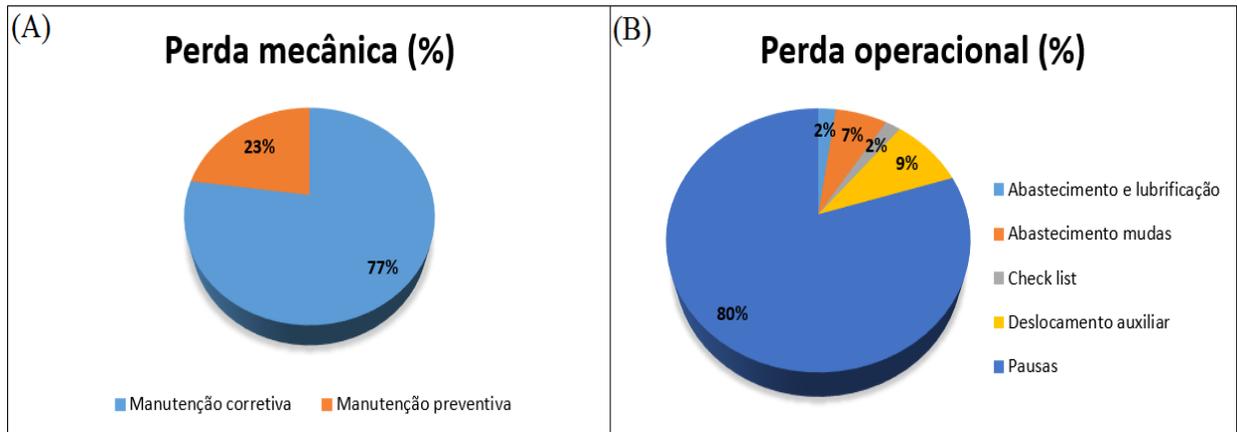
Figura 4: Distribuição do tempo produtivo efetivo da plantadora Plantma X2 no plantio de mudas de *Pinus*, em Santa Catarina.



Fonte: Do Autor (2023)

Para o tempo improdutivo, 29,6% (7,66 horas) foram de perda mecânica, envolvendo manutenção preventiva e corretiva (Figura 5A). Já a perda operacional, que está relacionada ao abastecimento com combustível, à lubrificação, ao abastecimento de mudas, ao check list, ao deslocamento auxiliar e às pausas, foi responsável por 70,6% (18,22 horas) (Figura 5B). A maior interrupção observada no estudo foi referente às pausas de apresentação da plantadora, responsável por 80% da perda operacional. Este resultado se dá pelo fato de que a Plantma X2 é inovadora e inédita no País, o que atraiu muitos visitantes da própria Klabin, bem como de outras empresas.

Figura 5: Distribuição do tempo improdutivo da plantadora Plantma X2 no plantio de mudas de *Pinus*, em Santa Catarina.



Fonte: Do Autor (2023)

De acordo com Fessel (2003), o desempenho de máquinas agrícolas é influenciado por três tipos de informações: operacionais, dinâmicas e de manejo. As informações operacionais se referem à qualidade e quantidade do trabalho realizado, enquanto as informações dinâmicas estão relacionadas à potência utilizada e à velocidade de operação. Por fim, as informações de manejo envolvem ajustes e manutenções realizadas nas máquinas. Mediante isso, é possível verificar que os resultados alcançados pela plantadora Plantma X2 se mostraram satisfatórios.

4.2 Produtividade, eficiência operacional, disponibilidade mecânica e taxa de utilização diário.

Através dos dados coletados, foi obtido, de maneira geral, o potencial médio produtivo de 1786 mudas/hora, a eficiência operacional de 71%, a disponibilidade mecânica de 90% e o grau de utilização de 64%, conforme detalhado na tabela 2.

Tabela 2. Comprimento médio da linha (CM), Declividade (DEC), Manejo do solo (MS), Produtividade média, Eficiência operacional (EO), Disponibilidade mecânica (DM) e Taxa de utilização (TU) da plantadora Plantma X2 no plantio de mudas de *Pinus*, em Santa Catarina.

FAZENDA	CM (m)	DEC	MS	Produtividade		EO (%)	DM (%)	TU (%)
				Mudas/hora	Ha/hora			
MAX-A1A	175	plano a suave ondulado	com preparo	1884	1,18	64	92	58
MAX-B6A	225	plano a suave ondulado	limpa trilho	1891	1,18	78	94	74
MAX-B7A	165	forte ondulado	com preparo	1791	1,12	87	100	87
KCF-A3A	160	forte ondulado	sem preparo	1452	0,91	73	82	60
KCF-A5A	168	plano a suave ondulado	sem preparo	1601	1	75	78	58

Fonte: Do Autor (2023)

O rendimento médio geral da Plantma X2, sem considerar nenhum efeito de estratificação, foi de 1786 mudas/hora. Este resultado é bastante interessante quando comparado a outras plantadoras e ao sistema de plantio manual. Segundo Rantala et al. (2009), em estudos realizados em países nórdicos nos últimos anos, a produtividade alcançada com as máquinas Bracke e M-Planter foi de 266 e 351 mudas por hora, respectivamente. Já o sistema de plantio manual, em um estudo de Fessel (2003), apresentou um rendimento médio de 95 mudas/hora. Em outras palavras, a plantadora Plantma X2 apresentou um rendimento superior ao de 18 operadores.

A eficiência operacional da Plantma X2 foi de 71%, o que pode ser considerado um resultado bom, quando comparado com outros estudos. Soler (2016) encontrou uma eficiência de 46% para a plantadora tripla mecanizada e 75 % para o cabeçote do modelo Bracke Planter P11.a acoplado a uma escavadeira. No entanto, um estudo realizado por Rantala e Laine (2010) mostrou que a eficiência operacional pode ser influenciada pela experiência do operador, sendo os operadores que já possuíam experiência apresentaram maior eficiência quando comparados aos que nunca haviam trabalhado com as máquinas.

A disponibilidade mecânica durante o estudo foi de 90%, sendo que houve paradas para manutenção e/ou conserto. A maior causa de interrupção foi o conserto do alinhamento do funil, o qual direciona a muda do carrossel para a ponteira de plantio. Tal erro foi causado pelo impacto do braço de plantio em afloramentos rochosos, o que comprometeu o sistema. Outro motivo da parada foi a manutenção do carrossel para evitar o enrosco da muda. Porém, a disponibilidade mecânica apresentada pela plantadora foi aceitável. Segundo Fontes e

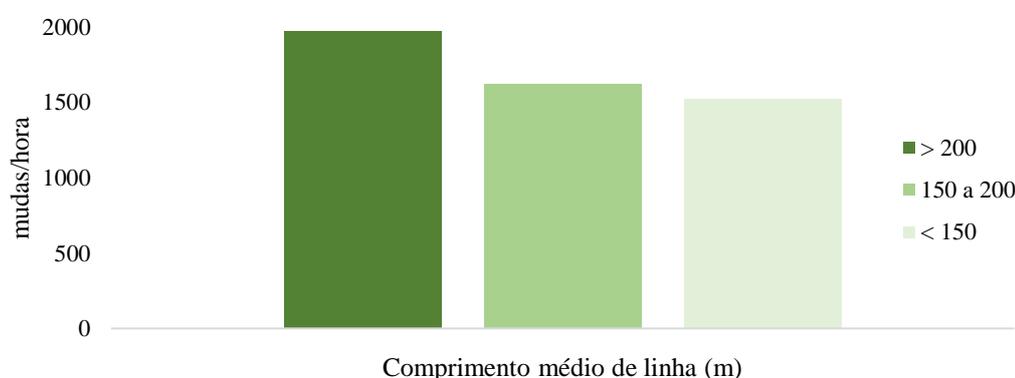
Machado (2002), a disponibilidade mecânica para equipamentos novos é de 92%, enquanto que para máquinas já com um maior tempo de uso, é de 85%.

A taxa média de utilização foi de 64%. O valor baixo pode ser explicado pelo fato de que o indicador está relacionado à eficiência operacional e à disponibilidade mecânica. Em dias em que ambas foram baixas, houve menor aproveitamento da máquina, comprometendo assim a média geral. Segundo Lingner (2017), para reduzir o tempo gasto em manutenção, é possível adotar algumas medidas, tais como o deslocamento imediato de suporte mecânico e um planejamento mais eficiente. Dessa forma, as manutenções corretivas podem ser evitadas e substituídas por manutenções preventivas, o que aumenta a taxa de utilização e reduz os custos da operação.

4.3 Produtividade média estratificada

Pela Figura 6 é possível verificar que as linhas com comprimento acima de 200 metros possibilitaram um rendimento de 1972 mudas/hora, enquanto as linhas com comprimento de 150 a 200 metros, possibilitaram um rendimento de 1621 mudas/hora. Já as linhas menores que 150 metros de comprimento, causaram perda no rendimento, com 1523 mudas/hora. Esses resultados estão relacionados à quantidade de tempo de manobras realizadas pela plantadora, uma vez que linhas de plantio maiores requerem menos manobras e, conseqüentemente, um gasto menor de tempo. Por outro lado, linhas menores exigem mais manobras, o que reflete em um gasto maior de tempo, refletindo na produtividade.

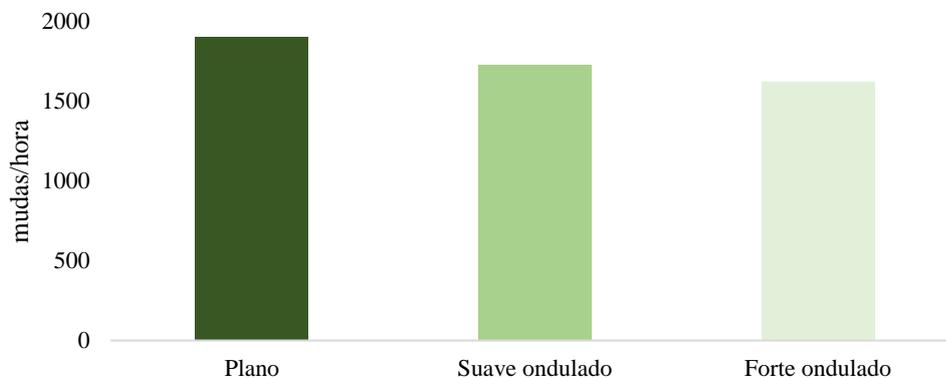
Figura 6: Produtividade da plantadora Plantma X2 no plantio de mudas de *Pinus*, em função do comprimento da linha, em Santa Catarina.



Fonte: Do Autor (2023)

Na Figura 7 é possível observar que a declividade impactou no rendimento. Áreas com declividade forte ondulada obteve-se um rendimento menor, com 1621 mudas/hora. Já áreas com uma declividade suave ondulada trouxeram um rendimento de 1725 mudas/hora, enquanto áreas planas possibilitaram um rendimento de 1900 mudas/hora. Esses resultados podem ser explicados pela velocidade de plantio, uma vez que áreas com topografia mais acidentada exigem que a plantadora opere com velocidade menor, enquanto áreas planas permitem uma velocidade de trabalho maior, trazendo assim uma melhor produtividade.

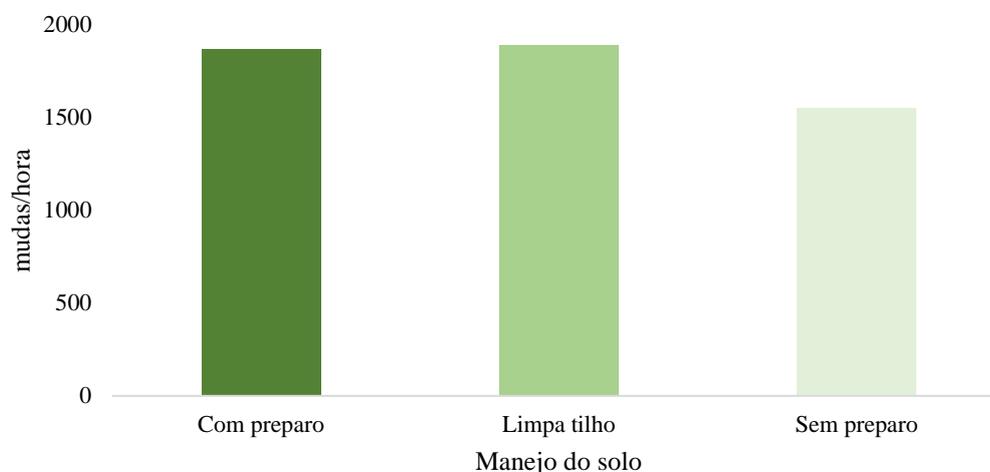
Figura 7: Produtividade da plantadora Plantma X2 no plantio de mudas de *Pinus*, em função da declividade, em Santa Catarina.



Fonte: Do Autor (2023)

A Figura 8 mostra a produtividade em função do manejo do solo. Áreas onde não foi realizado nenhum tipo de preparo do solo obteve-se um rendimento de 1551 mudas/hora. Já a área onde foi realizada a subsolagem possibilitou um rendimento de 1868 mudas/hora. Por fim, áreas onde foi realizada a atividade de limpa trilho, ou seja, foram removidos apenas os resíduos da linha de plantio sem nenhum revolvimento do solo, possibilitaram um rendimento de 1891 mudas/hora. De acordo com os resultados, é possível verificar que em área com preparo do solo e área com limpa trilho apresentaram 1,3% de diferença no rendimento, uma variação pequena. Porém áreas sem nenhum tipo de preparo do solo interferiram negativamente no rendimento, quando comparadas às outras condições, podendo ser explicado que nesta condição a plantadora operava em uma velocidade menor.

Figura 8: Produtividade da plantadora Plantma X2 no plantio de mudas de *Pinus*, em função do manejo do solo, em Santa Catarina.



Fonte: Do Autor (2023)

Em relação à correlação de Pearson, o comprimento médio das linhas teve um impacto maior no rendimento quando comparado às demais variáveis analisadas, devido ao fato de que em linhas mais curtas são necessárias mais manobras, o que acarreta um tempo maior. Já em relação à declividade e condição da área, apesar de apresentar uma diferença de rendimento de acordo com a correlação, não foi tão significativo (TABELA 3).

Tabela 3. Correlação de Pearson das variáveis comprimento médio da linha, declividade, manejo do solo e a produtividade da plantadora Plantma X2 no plantio de mudas de *Pinus*, em Santa Catarina.

Fatores	Comprimento médio da linha (m)	Declividade	Manejo do solo	Produtividade
Produtividade	0,752581801	-0,42239	-0,489047613	1

Fonte: Do Autor (2023)

4.4 Consumo de combustível

O consumo médio geral de combustível durante os levantamentos feitos neste estudo foi de 25,57 litros/hora. No entanto, a tabela 4 indica que a condição da área e a declividade tiveram um impacto significativo no consumo de combustível. Em áreas com limpeza de trilho e sem preparo do solo, a plantadora, além de realizar o plantio, fazia simultaneamente uma escarificação com um nível maior de pressão, aumentando o consumo. Além disso, em áreas declivosas, também houve um aumento no consumo de combustível.

Tabela 4 - Consumo médio de combustível por área da plantadora Plantma X2 no plantio de mudas de *Pinus*, em Santa Catarina.

Talhão	Manejo do solo	Declividade	Consumo L/h	Mudas/hora
A1A	com preparo	plano a suave ondulado	26,03	1884
B6A	limpa trilho	plano a suave ondulado	27,34	1891
B7A	com preparo	ondulado a forte ondulado	26,48	1791
A3A	sem preparo	forte ondulado	27,56	1452
A5A	sem preparo	plano	20,46	1601

Fonte: Do Autor (2023)

A condição da área e a declividade são fatores importantes que afetam o consumo de combustível em máquinas agrícolas. Segundo Silva e Silva (2018), o consumo de combustível em tratores agrícolas foi afetado principalmente pela condição da área e a declividade do terreno. Em relação às colheitadeiras de cana-de-açúcar, um estudo realizado por Ramos et al. (2016), observou-se que a declividade do terreno teve um impacto significativo no consumo de combustível.

4.5 Qualidade do plantio

A análise da qualidade do plantio revelou que cerca de 3% (1595 mudas) apresentaram algum erro de plantio e não atenderam aos padrões estabelecidos (Tabela 5).

Tabela 5 – Avaliação de qualidade do plantio da plantadora Plantma X2 no plantio de mudas de *Pinus*, em Santa Catarina: (A) ausência de muda; (B) muda fora; (C) muda fora por obstáculo.

Fazenda	Resíduo	(A)	(B)	(C)	Total falhas	Total avaliadas
MAX-A1A	médio	75	155	75	305	9673
MAX-A1A	médio	25	40	20	85	2973
MAX-A1A	médio	35	40	65	140	8655
MAX-A1A	alto	10	15	30	55	2265
MAX-A1A	alto	70	45	75	190	8125
MAX-B6A	alto	60	80	95	235	8069
MAX-B6A	alto	60	120	125	305	6321
MAX-B7A	alto	25	15	40	80	4386
KCF-A3A	alto	15	30	35	80	2316
KCF-A5A	ausente	10	15	0	25	903
KCF-A5A	ausente	50	45	0	95	3942
Total		435	600	560	1595	57628
%		0,75%	1,04%	0,97%	2,77%	100%

Fonte: Do Autor (2023)

Para melhor demonstrar as três categorias de falhas, ao longo do estudo foram registradas fotos que representam o cenário real dos erros (Figura 9).

Figura 9 – Falhas do plantio mecanizado de mudas de *Pinus*, com a plantadora Plantma X2 em Santa Catarina. A: Ausência de muda; B: muda fora; C: muda fora por obstáculo.



Fonte: Do Autor (2023)

A segunda categoria, Falha B (muda fora), representou 1,04% (600 mudas). Esta ocorre quando a muda fica fora do solo com todo o substrato exposto. Tal resultado pode ser atribuído ao um erro mecânico, situação em que o braço de plantio tem um atraso e perde o tempo de abertura da ponteira, puxando a muda para fora do solo e/ou a muda apresenta um substrato desagregado, fazendo com que a muda não seja plantada.

Já a terceira categoria, Falha C (muda fora por obstáculo), representou 0,97% (560 mudas). Este resultado está relacionado com a presença de obstáculos, como pedra, raiz, galhos ou algum tipo de resíduos, que impediram que a muda fosse plantada corretamente.

Enquanto a primeira categoria, Falha A (ausência de muda), representou 0,75% (435 mudas). Esta falha ocorre quando o plantio é realizado pela plantadora, mas há ausência de muda. Este problema pode estar relacionado por erros operacionais, como a falta de abastecimento da muda no carrossel de plantio, ou por problemas mecânicos, como o enrosco da muda nos tubos.

Na área de reforma da fazenda 1 (MAX), a maior concentração de resíduos estava localizada na borda dos talhões, o que compromete a qualidade do plantio, acumulando falhas por obstáculos. Já na área de implantação da fazenda 2 (KCF), apesar da ausência de resíduos vegetais, o comprometimento da qualidade do plantio ocorria devido à presença de afloramentos rochosos ao longo dos talhões.

Ao longo de toda a avaliação, não foi constatada nenhuma muda solta ou mal fixada, erro que pode ocorrer no plantio manual. Conforme Sereghetti (2016), o plantio manual resultou em uma fixação de mudas inferior ao plantio mecanizado. Isso ocorre devido ao mecanismo do equipamento mecanizado, que compacta o solo ao redor da muda, proporcionando maior firmeza. Em contrapartida, o plantio manual depende da compactação realizada pelo trabalhador. A fixação adequada da muda é crucial, pois a compactação elimina bolsões de ar que podem oxidar e necrosar as raízes, prejudicando a absorção de água e nutrientes, o que pode retardar o crescimento e até causar a morte da muda.

4 CONCLUSÕES

Os resultados de desempenho operacional da plantadora Plantma X2 foram satisfatórios. Com eficiência operacional de 71%, disponibilidade mecânica de 90% e rendimento médio de 1786 mudas/hora.

A qualidade do plantio foi superior a outros estudos que relataram que o plantio mecanizado não resultava em uma fixação correta da muda, algo que não ocorreu no plantio

realizado pela Plantma X2. As falhas de plantio observadas foram menores que 3%, resultado bastante satisfatório. No entanto, é importante destacar que as operações pré-plantio, principalmente o manejo de resíduos, podem impactar diretamente seu desempenho operacional.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 6, pág. 711-728, 2013.
- ANTONANGELO, A. **As inovações tecnológicas na silvicultura brasileira e seus impactos sobre a expansão desta atividade.** Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-20190821-115007/publico/AntonangeloAlessandro.pdf>.
- BÄCKSTRÖM, P.O. Maskinell plantering – förutsättningar, teknik, prestationer och kostnader. **Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Stockholm.** Avhandling. 1978.
- BARNES, R. M. **Estudos de movimentos e de tempos - projeto e medida do trabalho.** Tradução da 6 ed. Americana. São Paulo, Edgard Blucher. 1977. 635 p.
- BERG, S. Studier av mekaniserade system för markberedning och plantering. **Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Stockholm. Meddelande nr 19.** 1991.
- CHIAVENATO, I. **Introdução à teoria geral da administração.** 7ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.
- DOUGHERTY, P, M., & GRESHAM, C. A. Conceptual Analysis of Southern Pine Plantation Establishment and Early Growth. **Southern Journal of Applied Forestry**, 12, 160-166, 1988.
- FESSEL, V. A. G. **Qualidade, desempenho operacional e custos de plantios, manual e mecanizado, de *Eucalyptus grandis*, implantados com cultivo mínimo do solo.** 83 f. Orientador: Marcos Milan, Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2003.
- FLORESTAL BRASIL. **Klabin: história e curiosidades de uma gigante brasileira.** 2023. Disponível em: <https://florestalbrasil.com/klabin-historia-e-curiosidades-de-uma-gigante-brasileira/>. Acesso em: 30 out. 2023.
- 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.** 113 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.
- FONTES, J. M.; MACHADO, C. C. Manutenção mecânica. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita florestal.** Viçosa: UFV, 2002, p. 243-291.
- GRUPO TIMBER (2023). **Plantio de mudas mecanizado com Plantmax X2.** Disponível em: <https://grupotimber.com.br/plantio-de-mudas-mecanizado-com-plantmax-x2/>. Acesso em: 08, nov. 2023.

- HAKAMADA, R. E. et al., Mecanização e automação no setor florestal. **Anais da 45a Reunião Técnico Científica do Programa Temático de Silvicultura e Manejo**, v. 17, n. 38, p. 99 - 101. 2012. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr38/st38.pdf>. Acesso em: 26 de out de 2023.
- 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**. n 17. v 8: p 783–786. 1987.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ)**. Relatório anual 2022. São Paulo, Brasília: IBÁ, 2022. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf> Acesso em: 16 Out. 2023.
- Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF). **Levantamento do Nível de Mecanização na Silvicultura: Edição 2020/2021**, 2021. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/nivel-de-mecanizacao-2018-2019/>. Acesso 19 out. 2023.
- KLABIN. **Relatório de Sustentabilidade**. São Paulo: KLABIN, 2021a. Disponível em: https://rs2022.klabin.com.br/documents/1097700624/1142030969/klabin_RS2022_PT.pdf/8a63303d-eae0-c1a4-8cb7-33b4228a96ec?t=1692824743109. Acesso em: 27 out. 2023.
- KRONKA, F. J. N.; BETOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005. 160 p.
- LACEY, S. T. Soil deformation and erosion forestry. Sydney: **Forest Commission of New South Wales**, 1993. 62 p.
- LIMA, J.S.S.; LEITE, A.M.P. Mecanização. In. MACHADO, C.C.(Ed). **Colheita florestal**. 2 ed. Viçosa. UFV. Cap.2, p.46-73. 2014.
- LINDHOLM, E.; BERG, S.. Energy use in Swedish forestry in 1972 and 1997. **International Journal of Forest Engineering**, v. 16, n. 1, p. 27-37, 2005.
- LINGNER, Diego et al. **Desempenho de forwarder em corte final de Pinus spp. considerando diferentes operadores**. 2017.
- SILVA, R. G., SILVA, J. R. **Influência da declividade do terreno no consumo de combustível de colhedoras de cana-de-açúcar**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 22(10), 682-687. 2018.
- 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 45(3): 341–357. 2011.
- MALMBERG, C. E. **Mekanisering av skogsodling**. Styr. för teknisk utveckling, 1990.
- HALLONBORG, U. et al., **Maskinell plantering med Silva Nova – nuvarande status samt**

- utvecklingsmöjligheter i jämförelse med manuell plantering. Skogforsk.** Uppsala. Redogörelse nr 6. 1995.
- ÖRLANDER, G.; GEMMEL, P.; HUNT, J. **Site preparation: a Swedish overview.** BC Ministry of Forests, 1990.
- RAMOS, C. R. G. Eficiência e demanda energética de uma colhedora de cana-de-açúcar em talhões de diferentes comprimentos. **Energia na agricultura**, v. 31, n. 2, p. 121-128, 2016.
- RANTALA, J., & LAINE, T. Productivity of the M-Planter tree-planting device in practice. **Silva Fennica**, v. 44, n. 5, p. 859-869, 2010.
- RANTALA, J., HARSTELA, P., SAARINEN, V. M., & TERVO, L. A Techno-Economic Evaluation of Bracke and M-Planter Tree Planting Devices. **Silva Fennica**, Suonenjoki, v. 43, n. 4, p.659-667, July 2009.
- ROCHA, J. H. T. et al. Considerações Finais: Conservação e preparo do solo. **Série Técnica IPEF**, v. 23, n. 44, p. 60-61, 2015. Disponível em:<https://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr44.aspx>. Acesso em: 16 Out. 2023.
- SALMERON, A. (1980). **Mecanização da exploração florestal.** IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr088.pdf>. Acesso 20 out. 2023.
- SEBBENN, A. M.; SHIMIZU, J. Y.; AGUIAR, J. Y. S. Produção de Resina de Pinus e Melhoramento Genético. In SEBBENN et al., Pínus na silvicultura Brasileira. **Embrapa Florestas**. 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jarbas-Shimizu/publication/262564740_Especies_de_Pinus_na_silvicultura_brasileira/links/5caa26c6ba6fdcca26d064a23/Especies-de-Pinus-na-silvicultura-brasileira.pdf.
- SEIXAS, F.; BARBOSA, R.F.; RUMMER R. Tecnologia que protege a saúde do operador. **Revista da madeira**, Curitiba, v.14, n.82, p.68-73, 2004.
- SEREGHETTI, G. C. **Qualidade do plantio manual e mecanizado para eucalipto e pinus.** Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Faculdade de Ciências Agrônomicas-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2023.
- SOARES, R. A. A evolução da mecanização na silvicultura brasileira. **Revista Opiniões**. Ribeirão Preto, SP, p. 16, dez./fev., 2009.
- SOLER, R. R. **Influência do relevo e da presença de resíduos da colheita florestal no rendimento e na qualidade silvicultural de um sistema de plantio mecanizado.** Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Campus de Botucatu, Botucatu-SP, 2016.

SOLER, R. R.. **Desempenho operacional e econômico do ensaio de uma plantadora tripla automatizada de mudas florestais**. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Campus de Botucatu, Botucatu, 2020.

SUNDBLAD, L.; HANNERZ, M.; MANNER, J. ERSSON, B. T.; Tidigare, nuvarande och framtida planteringsmaskiner. **Skogforsrt**, p.1-27, 2023. Disponível em: https://www.skogforsk.se/cd_20230210110435/contentassets/4adfc07ad8154bcca7cee5270fb548e2/arbetsrapport-1149-2023-tidigare-nuvarande-och-framtida-planteringsmaskiner.pdf. Acesso em: 28 Out. 2023.

VASQUEZ, A. G. et al. Uma Síntese da Contribuição do Gênero Pinus Para o Desenvolvimento Sustentável no Sul do Brasil. **Floresta**, v. 37, n. 3, p. 445–450, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v37i3.9941>. Acesso em: 16 Out. 2023.