

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEBORA KRECZKIUSKI

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA E VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE
CONTROLADOR DE VAZÃO NO CONTROLE DE MATO COMPETIÇÃO EM
PLANTIOS FLORESTAIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS

2022

DEBORA KRECZKIUSKI

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA E VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE
CONTROLADOR DE VAZÃO NO CONTROLE DE MATO COMPETIÇÃO EM
PLANTIOS FLORESTAIS**

**ANALYSIS OF THE EFFICIENCY AND ECONOMIC FEASIBILITY OF THE USE OF
FLOW CONTROLLER IN THE CONTROL OF WEEDS COMPETITION IN FOREST
PLANTATIONS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Dois Vizinhos, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientadora: Prof. Dra. Elisabete Vuaden
Co-orientador: Prof. Dr. Eleandro José Brun

**DOIS VIZINHOS
2022**



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

DEBORA KRECZKIUSKI

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA E VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE
CONTROLADOR DE VAZÃO NO CONTROLE DE MATO COMPETIÇÃO EM
PLANTIOS FLORESTAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Florestal - Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 08/junho/2022

Elisabete Vuaden (Orientadora)
Doutora em Manejo Florestal
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Veridiana Padoin Weber
Doutora em Engenharia Florestal
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Pedro Valério Dutra de Moraes
Doutor em Fitossanidade
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**DOIS VIZINHOS
2022**

*“Nunca se ouviu dizer que alguém
tenha feito um pedido a Nossa
Senhora e não tenha sido atendido.”*

Pe. Juarez de Castro

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente à Deus e à Nossa Senhora pelo dom da vida, e por me proporcionarem força durante todo o período da minha primeira graduação.

Aos meus pais, Nelson Kreczkuski e Verônica Derhun Kreczkuski que me auxiliaram e apoiaram em todos os momentos da vida e não mediram esforços para que eu pudesse realizar este sonho de cursar o ensino superior.

À minha irmã, Camila Kreczkuski, que me acolheu em seu colo e foi meu porto seguro, principalmente no início deste curso.

Ao meu irmão caçula, Alexandro Kreczkuski, que entendeu e permaneceu ao lado de nossos pais durante todos os períodos de minha ausência.

À toda a minha família, tios, tias e primos que contribuíram de alguma forma e entenderam minha ausência em datas e momentos especiais da vida.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação, em especial à Elisabete Vuaden, orientadora deste trabalho, e ao Eleandro José Brun que me acolheu em seu grupo de pesquisa e nunca mediu esforços para ensinar, propiciando melhor desempenho no meu processo de formação profissional.

Ao grupo PET Produção Leiteira, Tutor Fernando Kuss e colegas Petianos que permitiram a vivência de diversas experiências e proporcionaram melhor desenvolvimento pessoal. – “Uma vez Petiana, sempre Petiana”.

Aos meus colegas de curso, por compartilharem comigo tantos momentos de dificuldade, descoberta e aprendizado. Em especial agradeço à Marjorie Elisa Maia Reis e Vinicius Sato por serem meus parceiros de estudo ao longo de todo o percurso da graduação.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Dois Vizinhos, por oportunizar esta experiência incrível e viabilizar o processo de minha formação profissional.

RESUMO

KRECZKIUSKI, D. **Análise da Eficiência e Viabilidade Econômica do Uso de Controlador de Vazão no Controle de Mato Competição em Plantios Florestais.** 2022, 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso II (Bacharel em Engenharia Florestal). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2022.

O desenvolvimento ascendente da área florestal nos últimos anos, se deve ao adentro da tecnologia no setor. A mecanização trouxe consigo ganhos em produtividade, contudo, para a otimização de processos, ferramentas e sensores são necessários para intervir na qualidade da operação. Deste modo, o trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência e a viabilidade econômica do emprego de controladores automáticos de pulverização, em atividades de controle de mato competição em plantios de *Eucalyptus* sp. Para isso, foram avaliados dois sistemas de aplicação de herbicida, sendo pelo acionamento hidráulico dos bicos (sistema convencional) e controle automático de aplicação (sistema automatizado). Os testes foram feitos em escala operacional, compreendendo 3 fazendas de plantio de eucalipto, segmentados por talhões de área variável, apresentando características físicas semelhantes. A aplicação foi sobre mudas recém implantadas de *Eucalyptus* sp., utilizando os herbicidas FORDOR® 750 WG e MISSIL® com dose de 200 g.ha⁻¹, e 115 ml.ha⁻¹, respectivamente. Para validar tecnicamente o sistema automatizado e comparar com o sistema convencional, foram levantados dados para análise da eficiência, rendimento operacional em ambos os métodos de aplicação. Para prognose econômica da contratação do sistema automatizado, foram calculados e analisados os custos mensais para cada sistema de aplicação, levando em consideração o desperdício de calda e custo da aquisição do sistema automatizado, dentro de um horizonte de planejamento de 12 meses. Os resultados mostraram que o método convencional apresenta menor eficiência de aplicação e maior desvio de calda em relação ao automatizado, sendo as diferenças significativas à 5% de probabilidade de erro. Em relação aos custos envolvidos na operação, para os dois métodos estudados, a maior porcentagem está relacionada ao consumo de herbicida, sendo em média 57% do total gasto. Quanto aos cenários econômicos, os três avaliados se mostraram viável economicamente, e, portanto, o custo de locação do sistema automatizado traz retorno positivo de valor à empresa. Portanto, o custo total investido no horizonte de planejamento estabelecido, para o método automatizado, é menor quando comparado ao custo do método convencional por hectare.

Palavras-chave: avaliação econômica de projetos florestais; controle de mato competição; controle do fluxo de vazão de herbicida.

ABSTRACT

KRECZKIUSKI, D. **Analysis of the Efficiency and Economic Feasibility of the Use of Flow Controller in the Control of Weeds Competition in Forest Plantations.** 2022, 57 f. Course Conclusion Work I (Bachelor of Forestry Engineering). Federal Technological University of Parana, Dois Vizinhos, 2022.

The upward development of the forestry area in recent years is due to the technology in the sector. Mechanization brought gains in productivity, however, for the optimization of processes, tools and sensors are necessary to intervene in the quality of the operation. Thus, the objective of this work is to evaluate the efficiency and economic viability of the use of automatic spray controllers in weed control activities in *Eucalyptus* sp. In this way, two systems of herbicide application were evaluated, being by the hydraulic activation of the nozzles (conventional system) and automatic control of application (automated system). The tests were carried out on an operational scale, comprising 3 eucalyptus plantations, segmented by plots of variable area, with similar physical characteristics. The application was on newly implanted seedlings of *Eucalyptus* sp., using the herbicides FORDOR® 750 WG and MISSIL® with doses of 200 g.ha⁻¹ and 115 ml.ha⁻¹, respectively. To technically validate the automated system and compare it with the conventional system, data were collected to analyze the efficiency and operational performance in both application methods. For the economic prognosis of hiring the automated system, the monthly costs for each application system were calculated and analyzed, taking into account the waste of grout and the cost of acquiring the automated system, within a planning horizon of 12 months. The results showed that the conventional method presents lower application efficiency and greater spray deviation in relation to the automated one, with significant differences at 5% error probability. Regarding the costs involved in the operation, for the two methods studied, the highest percentage is related to herbicide consumption, being 57% of the total spent. As for the economic scenarios, the three evaluated proved to be economically viable, and therefore, the cost of leasing the automated system brings a positive return of value to the company. Therefore, the total cost invested in the established planning horizon, for the automated method, is lower when compared to the cost of the conventional method per hectare.

Keywords: economic evaluation of forest projects; competition bush control; herbicide flow-flow control.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização do Município de Telêmaco Borba, Paraná	23
Figura 2 - Trator John Deere com potência de 100 CV (A) e pulverizador conceição (B) a serem utilizados no método convencional de aplicação de herbicida	26
Figura 3 - Ilustração das pontas de pulverização utilizadas com jatos AIUB (A) e TTI (B).....	27
Figura 4 - Sistema de controle de pulverização, sendo antena e computador de bordo (A), fluxômetro magnético (B) e válvula solenoide (C).....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Fazenda e suas respectivas áreas para avaliação dos métodos de controle de mato competição automatizado e convencional	24
Tabela 2 - Eficiência de aplicação de herbicida para os métodos automatizado e convencional	35
Tabela 3 - Desvio de aplicação de herbicida para os métodos automatizado e convencional	36
Tabela 4 - Rendimento operacional das máquinas na atividade de aplicação de herbicida, para os métodos automatizado e convencional	37
Tabela 5 - Eficiência operacional, disponibilidade mecânica das máquinas utilizadas para os métodos automatizado e convencional.....	38
Tabela 6 - Itens que compõem o módulo de aplicação convencional e seus respectivos custos	40
Tabela 7 – Itens que compõem o módulo de aplicação automatizada com os respectivos custos	41
Tabela 8 – Indicadores de consumo, tempo de trabalho e rendimento para as operações estudadas	41
Tabela 9 - Componentes do custo operacional do módulo de aplicação convencional	43
Tabela 10 – Componentes do custo operacional do módulo de aplicação automatizada	46
Tabela 11 – Dose de herbicida aplicada por hectare para cada cenário estudado ..	48
Tabela 12 – Comparação do custo entre método automatizado e convencional, considerando 0% de variação no desvio de aplicação	48
Tabela 13 - Variação no custo entre método automatizado e convencional, com 5% de variação no desvio de aplicação no método automatizado e 10% no convencional	49
Tabela 14 - Variação no custo entre métodos estudados, com desvios medidos em campo, sendo -9,3% no método automatizado e -18,5% no convencional.....	50

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	Setor Florestal Brasileiro	15
3.2	Avanço Da Silvicultura	16
3.3	Automação Florestal	17
3.4	Tecnologias de Aplicação de Herbicida.....	18
3.4.1	Tipos de Pulverizadores	19
3.4.1.1	Pulverizador costal	19
3.4.1.2	Pulverizador acoplado	20
3.4.1.3	Pulverizador de arrasto.....	20
3.4.1.4	Pulverizador automotriz	20
3.4.1.5	Pulverizador aéreo	21
3.4.2	Tipos de bicos de pulverização.....	21
3.4.2.1	Pontas de Pulverização Jato Plano	22
3.4.2.2	Pontas de Pulverização de Jato Cônico Vazio.....	22
3.4.2.3	Pontas de Pulverização de Jato Cônico Cheio	22
3.4.2.4	Pontas de Pulverização Para Aplicação Dirigida e em Faixa	22
4.	MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1	Descrição da Área de Estudo.....	23
4.1.1	Descrição da área experimental	24
4.2	Obtenção dos Dados	25
4.2.1	Descrição dos equipamentos	26
4.2.2	Análise técnica dos sistemas.....	28
4.2.2.1	Levantamento dos dados	28
4.2.3	Análises para comparação dos sistemas.....	28
4.2.4	Análise dos dados	30
4.2.5	Levantamento dos custos envolvidos nos sistemas.....	30
4.2.5.1	Custos fixos.....	30
4.2.5.1.1	<i>Itens próprios / adquiridos.....</i>	31
4.2.5.1.2	<i>Itens locados</i>	32
4.2.5.1.3	<i>Salário dos funcionários</i>	32
4.2.5.1.4	<i>Alimentação.....</i>	32
4.2.5.2	Custos variáveis	32
4.2.5.2.1	<i>Custo de Combustível</i>	33

4.2.5.2.2	<i>Custo de abastecimento</i>	33
4.2.5.2.3	<i>Lubrificante</i>	34
4.2.5.2.4	<i>Manutenção</i>	34
4.2.5.2.5	<i>Insumo (herbicida)</i>	34
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1	Qualidade e rendimento da aplicação de herbicidas.....	35
5.2	Análise e levantamento de custos	39
5.2.1	Método convencional de aplicação de herbicida	42
5.2.2	Método automatizado de aplicação de herbicida.....	44
5.2.3	Comparação de cenários entre os métodos de aplicação estudados	47
6.	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

O Setor Florestal no Brasil, sobretudo a economia, começou a se destacar logo após a implantação dos incentivos fiscais ao reflorestamento, Lei nº 5.106 de setembro de 1966. Atualmente, com posição de destaque no desenvolvimento de uma economia de baixo carbono, o setor de florestas plantadas vem sendo evidenciado pela alta produtividade, tecnologia embarcada, melhores práticas de manejo florestal e responsabilidade social (IBÁ, 2017).

Devido à inclusão voluntária aos programas de certificação florestal, Forest Stewardship Council® (FSC®), Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC) e International Organization for Standardization (ISO), o setor de base florestal é reconhecido mundialmente. Sua atuação comumente aos princípios socioambientais, envolve mais de 6,9 milhões de pessoas, auxilia na conservação da biodiversidade e reduz emissões de gases de efeito estufa (IBÁ, 2020).

No que se refere aos indicadores econômicos, o setor contribui de forma positiva para a balança comercial devido ao recolhimento de impostos. Segundo o relatório IBÁ (2020) em 2019, com um total de 9 milhões de hectares cultivados, contribuiu com receita bruta total de R\$ 97,4 bilhões, representando 1,2% do PIB Nacional.

Pode-se afirmar que o desenvolvimento ascendente da área florestal nos últimos anos, se deve ao adentro da tecnologia no setor. Atividades ligadas ao cultivo de árvores tem se tornado um importante instrumento em práticas de reflorestamento (MALINA, 2013). Deste modo, com intuito de aumentar o grau de eficiência e reduzir gastos, a silvicultura de precisão se torna destaque de investimento nesse cenário, proporcionando maior controle da produção, otimização de mão de obra e melhor aproveitamento de recursos.

O manejo preciso das florestas, nada mais é do que conceito que entende as desuniformidades presentes nas áreas e busca melhor explorá-las, visando retornos econômicos e sustentáveis. Contrário ao modelo tradicional de manejo florestal, a silvicultura de precisão leva em consideração microambientes de determinada área geográfica, com propósito de elevar o grau de eficiência das intervenções culturais preventivas e/ou corretivas, reduzindo custos de produção (MAEDA et al, 2014).

Com o crescente desenvolvimento da mecanização florestal, muito se ganhou em produtividade e qualidade de operação. Nas intervenções culturais, o uso de equipamentos agrícolas, adaptados ao uso florestal, tornam-se indispensáveis, visto que, apresentam alto rendimento operacional e maior qualidade do processo.

O controle de mato competição está relacionado aos tratos culturais, ou seja é uma das principais ações envolvidas no desenvolvimento da cultura. Conforme trabalho desenvolvido por Zen (1987), a influência da mato competição em plantios de *Eucalyptus* sp, reduz sensivelmente a produção volumétrica, cerca de 64%, enquanto está em competição com a comunidade infestante.

Por isso, a aplicação dos defensivos químicos, uma das poucas operações que ocorre várias vezes durante o ciclo de produção, considera-se com um dos itens de maior impacto e custo. Logo, esses fatores em paralelo à segurança, determinam a necessidade e a condição de pulverizadores evoluídos tecnologicamente (EMBRAPA, 2021).

Conforme Lacerda (2014), entre as mais diversas técnicas de aplicação de agroquímico disponíveis no mercado, as que se baseiam no princípio de acionamento hidráulico das gotas é a que mais se destaca. Todavia, a qualidade de aplicação permanece dependente à manutenção do equipamento assim como da operacionalização, visto que a garantia da boa distribuição da calda depende de o trator operar em velocidade constante dentro de todo talhão.

A padronização da distribuição de calda em uma determinada área, é consideravelmente impraticável frente aos obstáculos e diversidade existentes no campo. A vista disso, com intuito de otimizar o processo, elevando o rendimento de operação, ferramentas e sensores são necessários para intervir na qualidade da aplicação.

Deste modo, o trabalho se justifica na necessidade de avaliar, de maneira quantitativa e qualitativa, a eficiência de controladores de pulverização de herbicidas, além da viabilidade econômica de sua contratação.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência de aplicação de herbicida e a viabilidade econômica do emprego de controladores automáticos de pulverização, em atividades de controle de mato competição em plantios de *Eucalyptus* sp.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar e comparar a eficiência e o desvio de aplicação do método convencional e automatizado de aplicação de herbicida;
- Comparar o rendimento e eficiência operacional de máquinas com e sem o sistema automatizado;
- Realizar o levantamento dos custos envolvidos no módulo de aplicação de herbicida, para o método automatizado e convencional;
- Comparar cenários que viabilizam a contratação do serviço de aplicação automatizada.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Setor Florestal Brasileiro

Recorrente aos esforços de pesquisa, solo e às condições climáticas favoráveis, o Brasil tem se tornado um dos líderes mundiais em produtividade florestal. Fundamentado em bases tecnológicas e sustentáveis, o setor de florestas plantadas possui grande potencial de expansão e muita relevância para a economia do país (MAGGI et al, 2018).

Com a publicação do primeiro Código Florestal, e os incentivos fiscais ao reflorestamento, a partir de 1965, a atividade florestal começou a se intensificar. Desde então, com expansão das áreas de plantio e a evolução das práticas de manejo, o Brasil alcançou o título de segundo maior exportador mundial de celulose, atrás apenas dos Estados Unidos (ABRACOMEX, 2018).

Com representatividade menor que 1% do território nacional, as florestas plantadas são responsáveis por mais de 90% de toda a matéria prima utilizada em fins produtivos (AGROPÓS, 2020). Esse setor, que inclui fabricação de produtos de madeira e celulose, papel, painéis de madeira, pisos laminados e carvão vegetal para aço verde, gera emprego e renda para o Brasil, combinada com uma atuação socialmente e ambientalmente responsável (IBÁ, 2020).

A multifuncionalidade das florestas se apresenta como alternativa economicamente viável e interessante aos produtores. Com a intensificação por produtos certificados e renováveis, a silvicultura brasileira ganha excelente oportunidade de crescimento, visto essa grande tendência mundial, conforme acordado pela COP-21 da Convenção do Clima.

Arelado à alta produtividade, com menores custos e maiores taxas de retorno do investimento, espécies de eucalipto tem grande importância comercial na economia brasileira. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (2020), 77% do total de áreas florestadas, é representada pelo cultivo de eucalipto, com 6,97 milhões de hectares. A adoção de boas práticas de manejo, o melhoramento genético e as condições edafoclimáticas do País garantem bons incrementos à cultura. Conforme

ainda a mesma revista, em 2019, o Brasil apresentou produtividade média de 35,3 m³.ha⁻¹ ao ano.

3.2 Avanço Da Silvicultura

Segundo a definição de Lamprecht (1990), Silvicultura é a ciência dedicada ao estudo dos métodos naturais e artificiais de cultivar, regenerar e melhorar os povoamentos florestais com vistas a satisfazer as necessidades do mercado, ou seja, trata-se da ação de cultivar árvores em determinada área, com propósito econômico e socioambiental.

De modo geral, a silvicultura pode ser classificada entre clássica e moderna. Sendo que, o manejo de florestas naturais, definido como silvicultura clássica, busca por forças produtivas que não prejudiquem a estabilidade natural do ecossistema. Já a silvicultura moderna, por sua vez, trabalha com florestas plantadas que são mantidas artificialmente (EMBRAPA; AGEITEC; 2021).

Nas últimas décadas, houve um crescimento ascendente na substituição de produtos florestais de origem nativa pela matéria prima de florestas plantadas. De acordo com dados da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS) do IBGE (2020), dentro de um horizonte histórico, a participação da lenha da silvicultura em relação ao total consumido, passou de cerca de 20% em 1990, para 79,8% em 2020. A vista disso, mensura-se a importância da aquisição e adaptação de novas tecnologias no segmento florestal.

Conforme Vetorazzi & Ferraz (2020), o aumento significativo da demanda por produtos florestais aliado aos avanços científicos e tecnológicos, expande o consenso das florestas de precisão. O uso de novas tecnologias para manejo do solo e intervenções culturais, consiste em um novo modelo de administração florestal chamado de Silvicultura de Precisão (SP).

A técnica, baseada no conhecimento prévio de variáveis espaciais e temporais dos fatores de produção, permite intervenções controladas e localizadas no campo florestal. Brandelero et al, (2007) tratam a SP como uma nova área do setor florestal, a qual altera o enfoque dado à silvicultura moderna. O sistema convencional aborda a floresta de maneira uniforme, já na silvicultura de precisão esta mesma área

é tratada geograficamente ponto a ponto, ou seja, a área total é dividida em frações de unidades diferenciadas pelo índice de qualidade de sítio.

Com a necessidade de analisar detalhadamente pontos do empreendimento florestal e viabilizar as intervenções de maneira local, com exatidão e precisão adequada, os conceitos de geotecnologias e silvicultura são fundidos. As técnicas de geoprocessamento aliadas aos tratamentos silviculturais, fornecem subsídios para identificar e correlacionar variáveis que interferem na produtividade das florestas, viabilizando as tomadas de decisões ágeis e eficientes (ORTIZ, 2003). Além disso, passa a promover a otimização de recursos aliados à atividades produtivas, elevando ganhos em produtividade e maximização de lucros.

3.3 Automação Florestal

A necessidade de elevar o rendimento das operações, evoluir em produtividade e aumentar a precisão de aplicação das recomendações silviculturais, demonstra o quão benéfico foi o aumento da taxa de mecanização nas operações florestais. Limitada a terrenos planos ou suavemente ondulado, a mecanização de atividades silviculturais vem sendo apontada como fator de competitividade neste mercado. Denota-se assim, que com o seu advento na silvicultura, muito se ganhou em qualidade e rendimento de operação (ALMADO, 2013).

No setor florestal a mecanização compreende um processo mais moroso quando comparado ao agrícola, que se destaca pela constante inovação e pelo maior nível de automação de algumas operações. Todavia, para Almado (2013), a mecanização e a automação representam dois conceitos distintos. Enquanto a mecanização trata do uso de máquinas para realizar determinado trabalho, substituindo a força humana, a automação consiste na realização do trabalho por meio de máquinas controladas automaticamente e que são capazes de se regularem sozinhas.

A automação, definida por Inamasu et al, (2016) é como um sistema no qual os processos operacionais de produção agrícola, pecuária e/ou florestal são monitorados, controlados e executados por meio de máquinas e ou dispositivos mecânicos, eletrônicos ou computacionais para ampliar a capacidade de trabalho humano (BASSOI et al, 2019).

Na silvicultura, a automação vem sendo inserida devido a necessidade de maior uniformidade das aplicações, melhoria ergonômica das atividades, valorização dos trabalhadores qualificados para operar as máquinas, além da redução de custos variáveis envolvidos na atividade. Além dessas vantagens, a maximização da eficiência, redução dos tempos de operação implicam em oportunidades de crescimento do segmento. Com a automatização das operações, a possibilidade de identificação de falhas é facilitada, gerando assim impactos positivos na manutenção de máquinas, reduzindo tempos improdutivos durante as operações (VIEIRA et al, 2016).

A vista disso, mudanças operacionais que trazem benefícios como redução de custos e aumento da qualidade, justificam a mecanização e a automação florestal no segmento silvicultural.

3.4 Tecnologias de Aplicação de Herbicida

Tecnologia de aplicação de defensivos, definida por Mutuo (1990), é o emprego de todos os conhecimentos científicos que proporcionam a correta colocação do produto biologicamente ativo no alvo, em quantidade necessária, de forma econômica e com mínimo de contaminação em outras áreas.

A crescente taxa de utilização de herbicidas e outros defensivos químicos aumenta a preocupação quanto à contaminação ambiental. A vista disso, Shiratsuchi & Fontes (2002), ressaltam a importância da tomada de decisão embasada em recomendações técnicas seguidas do acompanhamento e monitoramento das operações de pulverização.

O conhecimento quanto a correta utilização de pulverizadores melhora a eficiência e a produtividade do setor florestal. Por isso, é necessário escolher corretamente o pulverizador que irá se adequar ao tipo e tamanho da plantação. O impacto dessa boa escolha será visto na qualidade do produto final e custos na operação (ANDEF, 2010).

Segundo Casali (2015), existem no mercado diversos modelos e tecnologias de pulverizadores. Desde os mais simples, como pulverizadores costais, aos mais sofisticados, como pulverizadores hidráulicos, podendo ser autopropelidos, que

possuem tração própria ou, tratorizados do tipo carreta, que necessitam de um trator para sua utilização.

3.4.1 Tipos de Pulverizadores

3.4.1.1 Pulverizador costal

São os menores pulverizadores disponíveis no mercado, compostos por um reservatório que contém alças e que pode ser carregado nas costas do próprio operador. Possuem reservatório a partir de 1,0 litro, utilizados em sementeiras, estufas e viveiros para aplicações localizadas, até reservatórios com 20 litros ou mais. Esses pulverizadores operam a partir do bombeamento manual, motorizado ou a bateria, que é realizado diretamente no equipamento por uma alavanca. Dessa forma, o líquido é pressurizado no interior do reservatório e liberado com o uso do gatilho (CASALI, 2015).

Os pulverizadores manuais funcionam como uma mochila, usado nas costas do operador. Ele conta com um tanque, uma tampa de fácil limpeza, alavanca, mangueira e lança. Seu peso é inferior a 25 kg. É uma ferramenta robusta, que não necessita de muitas manutenções. Indicado para pequenos produtores (MAXMAQ, 2019).

Os motorizados, possuem jato de maior alcance, e por consequência apresentam maior rendimento de operação. São pulverizadores costais mais pesados e que podem causar lesões ao operador por conta do barulho e peso do motor. Como desvantagem, necessitam de maiores manutenções em relação aos outros modelos, além de apresentarem maior custo de aquisição (PADOVAN et al, 2019).

Em contrapartida, os pulverizadores elétricos servem para aumentar o conforto do operador, incorporando tecnologia nas técnicas de pulverização costal. Eles permitem um controle maior da pressão do trabalho, assim como um volume maior de aplicação (MAXMAQ, 2019).

A utilização desses pulverizadores é mais comum pelos pequenos agricultores, em função da área cultivada ser menor. Nesse segmento, constituem um equipamento indispensável para a melhor condução e proteção da lavoura. Além de portátil, muita tecnologia está envolvida (JACTO, 2020).

3.4.1.2 Pulverizador acoplado

Esse tipo de pulverizador é acoplado no sistema hidráulico e terceiro ponto do trator, e são acionados pela tomada de potência. De modo geral, são pulverizadores que apresentam uma barra articulável para transporte, que é estendida na operação. Nessa barra estão colocados em paralelo e de modo espaçado os bicos pulverizadores adequados ao objetivo da pulverização (MENEZES & MARTINS, 2009).

Considerando a extensão da barra associada à capacidade do reservatório, esses pulverizadores podem cobrir grandes áreas cultivadas. Desse modo, no setor florestal, são mais recomendados para dessecação das áreas. Pulverizadores acoplados mais utilizados na silvicultura, são os tipos conceição, com barra protegida. Esses modelos são comumente utilizados para pulverização de herbicida na linha ou na entrelinha, tendo como intuito economizar calda e não prejudicar a cultura de interesse (COSTA, 2019).

3.4.1.3 Pulverizador de arrasto

Tracionados pela barra de tração do trator, os pulverizadores de arrasto apresentam tanques com capacidade superior a 1000 litros e barras de pulverização de 10 a 25 metros de comprimento. São comumente utilizados em culturas agrícolas, de menor porte (rasteiras) (MENEZES, 2019). Segundo Embrapa (2015), melhoram a eficiência de aplicação por serem ajustáveis em velocidade, pressão de trabalho e distância entre bicos.

3.4.1.4 Pulverizador automotriz

Pulverizadores automotrizes ou autopropelidos apresentam um conjunto de tecnologia afinada com a agricultura de precisão. Quanto a velocidade de trabalho, Lobo Júnior (2011) caracterizou os pulverizadores autopropelidos como máquinas muito rápidas, de alto desempenho, conseguindo desenvolver velocidades operacionais entre 15 e 30 km/h durante a aplicação de agroquímicos. Ainda, o autor destaca que em situações extremamente favoráveis, é possível com estes equipamentos, conseguir alcançar velocidades operacionais próximas dos 40 km/h.

Quanto as barras de pulverização, podem ser instaladas na parte traseira ou na parte frontal dos pulverizadores autopropelidos, com acionamento hidráulico e comprimento de 15 até 48 metros. Ressalta-se que este tipo de máquina é projetado para realizar o trabalho em grandes áreas, dispondo de tanque de 2 a 4 500 litros e operando centenas de hectares por dia (CASALI, 2015).

Maior precisão na aplicação de defensivos, rendimento operacional elevado, otimização de insumos e maior proporção de conforto e segurança ao operador são as principais vantagens dos pulverizadores autopropelidos.

3.4.1.5 Pulverizador aéreo

A pulverização aérea pode ser realizada com o uso de drones, helicópteros e aviões agrícolas, cada um com suas especificidades. Os drones, por sua vez, veem sendo utilizados para aplicações mais precisas e em áreas de difícil acesso. Para grandes áreas com necessidade de maior rendimento operacional recomenda-se o uso de aviões. E, como alternativa aos aviões, pela menor velocidade e maior proximidade da cultura, os helicópteros são mais indicados (JONES, 2019).

As principais justificativas quanto a incorporação desta tecnologia, se deve a maior rapidez na realização da pulverização, execução em condições de solos encharcados, onde a pulverização terrestre se torna crítica ou não praticável e redução de perdas na produção que ocorrem em algumas culturas pelo amassamento provocado pela passagem no caso da pulverização terrestre. Entretanto, conforme descrito por Costa (2017), a eficácia da aplicação aérea em relação à terrestre depende de vários fatores, como: tipo das barras de pulverização, altura de voo, volume da calda, ajustamento dos bicos de pulverização; além de fatores ambientais que podem ter uma influência maior na aplicação aérea em relação à terrestre.

3.4.2 Tipos de bicos de pulverização

Os bicos ou então pontas de pulverização são componentes fundamentais em um pulverizador. A escolha adequada desses componentes é essencial, pois garante que o produto seja aplicado de forma eficiente e os resultados em produtividade e qualidade sejam positivos (TEEJET TECHNOLOGIES).

No mercado, existe uma ampla variedade de bicos para pulverização. Dentre os principais são as pontas de Jato Plano, cuja distribuição do líquido se dá como um leque, e o cônico, que tem padrão circular. Os dois são subdivididos em outros modelos que apresentam características diferentes e que impactam na trajetória e no tamanho das gotas. Por isso, é importante conhecer suas funcionalidades (TEEJET TECHNOLOGIES).

3.4.2.1 Pontas de Pulverização Jato Plano

São bicos usados para aplicação de herbicidas em área total, com ângulo grande e extremidades afiladas para cobertura uniforme em pulverização em área total. A faixa de melhor operação fica entre 2 e 4 bar de pressão.

3.4.2.2 Pontas de Pulverização de Jato Cônico Vazio

Bicos comumente utilizados para aplicações em área total de inseticidas, fungicidas, desfolhantes e fertilizantes foliares a pressões de 3 bar (40 PSI) ou mais. Produzem deposição uniforme de jato cônico de 80°.

3.4.2.3 Pontas de Pulverização de Jato Cônico Cheio

Esse tipo de ponta é mais utilizado em pulverização de pesticidas a altas pressões e vazões. Especialmente adequadas para pós molháveis e outros produtos químicos abrasivos. Produzem gotas menores para cobertura total com pesticidas de contato e aplicações foliares. Operam com pressão máxima de pulverização até 20 bar (300 PSI).

3.4.2.4 Pontas de Pulverização Para Aplicação Dirigida e em Faixa

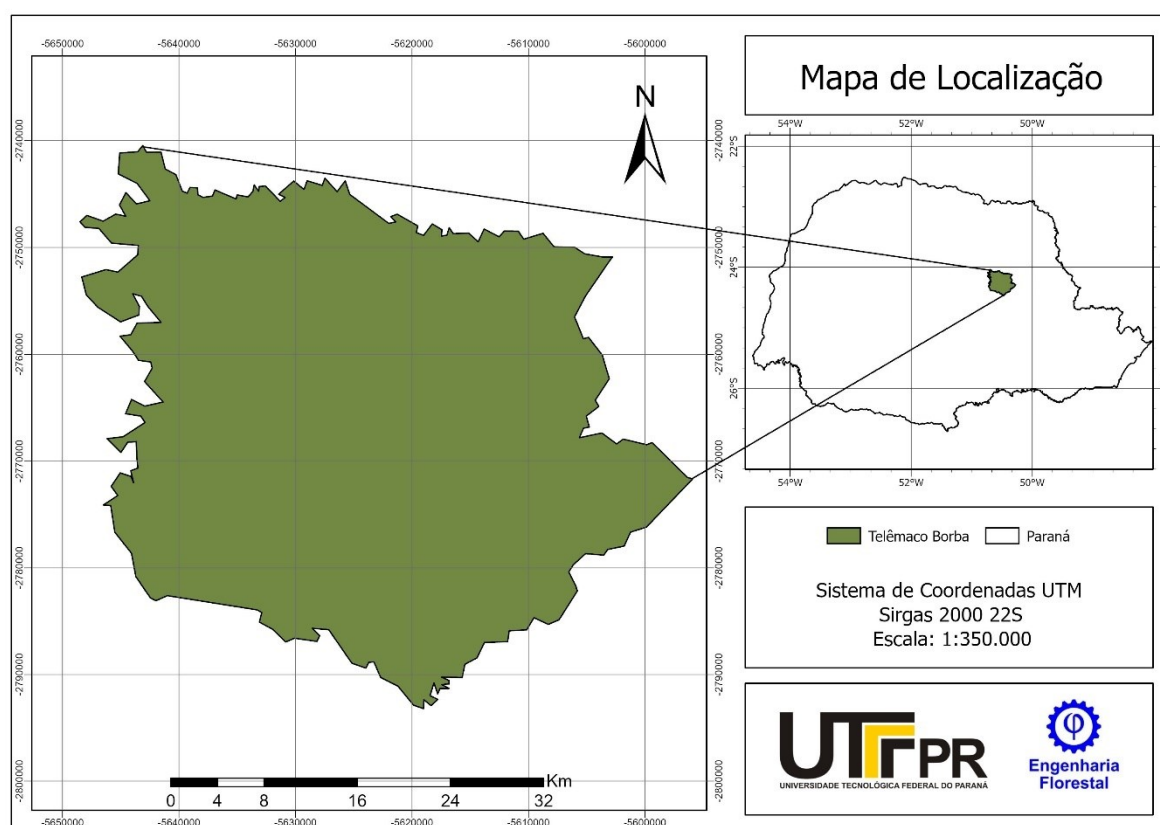
São bicos utilizados na extremidade da barra de pulverização ao redor do perímetro do campo para proteger as áreas sensíveis. Operam entre 2 e 8 bar de pressão de pulverização (30–115 PSI).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição da Área de Estudo

O estudo foi realizado em áreas de plantio de *Eucalyptus* sp. na região de Telêmaco Borba Paraná (Figura 1). O município está localizado ao Centro-leste Paranaense, inserido na Região Administrativa Campos Gerais. Pertencente ao Segundo Planalto de Ponta Grossa, situa-se entre as coordenadas geográficas: Latitude 24° 19' 37" S e Longitude 50° 36' 58" W, com sede municipal à 760 metros de altitude em relação ao nível do mar (PLANO DIRETOR, 2005).

Figura 1 - Mapa de localização do Município de Telêmaco Borba, Paraná



Fonte: IBGE, modificado pela autora (2021).

De acordo com a classificação de Köppen (2013), o clima de Telêmaco Borba é definido como Cfb, clima temperado, com verão ameno e temperatura média do mês mais quente em torno de 22°C. As chuvas são distribuídas de maneira igualitária, com precipitação de 1.100 a 2.000 mm, contudo, sem estação seca definida (EMBRAPA, 2020). O solo da região apresenta duas variações mais significativas, sendo o pedozóico vermelho-amarelo e o latossolo vermelho escuro (ATLAS GEOLÓGICO, 2001).

Atualmente, o uso do solo mais significativo do município é voltado ao reflorestamento. Sua paisagem é caracterizada como suavemente ondulada, constituída por sedimentos paleozóicos do denoviano, carbonífero e do permiano. Quanto à formação fitogeográfica, ao Sul do município, categoriza-se como Estepe Gramíneo Lenhosa e ao Norte Floresta Ombrófila Mista (SEMA, 2002).

4.1.1 Descrição da área experimental

As avaliações foram realizadas em escala operacional, de modo que a área experimental compreendeu 3 fazendas de plantio de eucalipto, segmentados por talhões/tratamentos de área variável, conforme Tabela 1, apresentando características físicas semelhantes.

Tabela 1- Fazenda e suas respectivas áreas para avaliação dos métodos de controle de mato competição automatizado e convencional

Método	Fazenda 1 (ha)	Fazenda 2 (ha)	Fazenda 3 (ha)
Automatizado	42,09	30,70	11,00
Convencional	54,46	34,26	9,24

Fonte: autora (2021).

A aplicação do insumo foi sobre mudas recém implantadas de *Eucalyptus* sp., utilizando FORDOR® 750 WG e MISSIL® com dose de 200 g.ha⁻¹, e 115 ml.ha⁻¹, respectivamente.

O Fordor é classificado como produto seletivo sistêmico à base do ingrediente ativo Isoxaflutole, do grupo químico Isoxazol, atua tanto em pré-emergência de gramíneas como também de algumas dicotiledôneas. O Missil também é um herbicida seletivo e controla plantas daninhas do tipo gramíneas de folhas estreitas, porém controla somente em pós-emergência.

A recomendação de aplicação se manteve constante para todas as áreas, sendo 160 L.ha⁻¹ de calda. Entretanto, visto que a aplicação ocorreu somente sobre a linha de plantio, dentro de uma faixa de 2 metros, a proporção por hectare compreendeu um total de 60% do recomendado.

4.2 Obtenção dos Dados

Foram levantados dados de dois métodos de aplicação de herbicida, sendo o primeiro pelo acionamento hidráulico dos bicos (sistema convencional) e controle automático de aplicação (sistema automatizado), para após realização das análises comparativas.

Para avaliação e posterior cálculo da eficiência operacional das máquinas EOP(%) e disponibilidade mecânica DM(%), foram coletados dados referentes aos tempos e movimentos da operação, contabilizando os tempos produtivos, de manutenção, improdutivos e auxiliares. Para demais análises mensuraram-se também o consumo de combustível dos tratores e a quantidade de calda (herbicida) aplicada por área, em hectare.

No método convencional de aplicação de herbicida, o pulverizador foi regulado e calibrado de modo que aplicasse o volume de calda recomendado por hectare. Para isso, levou-se em consideração a taxa de aplicação, velocidade de trabalho, tipo de bico e o espaçamento entre eles. Após definição, foram feitos ajustes na pressão, conforme especificação do fabricante do bico, de modo que a vazão de cada ponta atendesse a necessidade de aplicação na área. Logo, para a garantia da eficiência de aplicação, o operador foi orientado a operar a máquina em velocidade constante durante todo o percurso, conforme definido na calibração do equipamento, sendo essa velocidade de 5 km/h.

Para a regulagem do sistema automatizado, todas as especificações técnicas do equipamento (pulverizador) e do trator foram inseridas no computador de bordo, instalado previamente na máquina. Tais informações referiram-se à largura da barra de pulverização, tipo de pontas, vazão das respectivas, distância entre elas, capacidade do tanque e entre outras. Em relação à máquina, o sistema solicitou largura, altura e comprimento total do trator, distância entre os pneus, distância da máquina até o implemento, além da altura e localização da antena em relação ao solo.

Posterior a regulagem do sistema à máquina, foi necessário calibrá-lo conforme a recomendação técnica de aplicação de herbicida para as áreas em estudo. Para esse sistema, a calibração consistiu apenas em inserir informações referentes à quantidade de calda que será aplicada por hectare. Provido dessas informações, o

sistema se autorregulou, disponibilizando uma faixa ideal de velocidade para operação.

A certificação da empresa permite desvio máximo de aplicação de herbicida, dentro de uma faixa de 10% a -10%. Caso ocorram variações além dela, são tomadas providências para minimizar o erro. O sistema automatizado, foi uma das metodologias propostas para mitigar a grande variação na aplicação de calda já que o mesmo garante desvio de até 5% em relação à recomendação por hectare.

4.2.1 Descrição dos equipamentos

No método convencional de aplicação, foi utilizado pulverizador Conceição JB 600, com tanque de fibra de vidro e capacidade para 600 litros de calda com agitador hidráulico, acoplado a um trator agrícola John Jeere 6100J, com potência nominal de 100 cv (Figura 2).

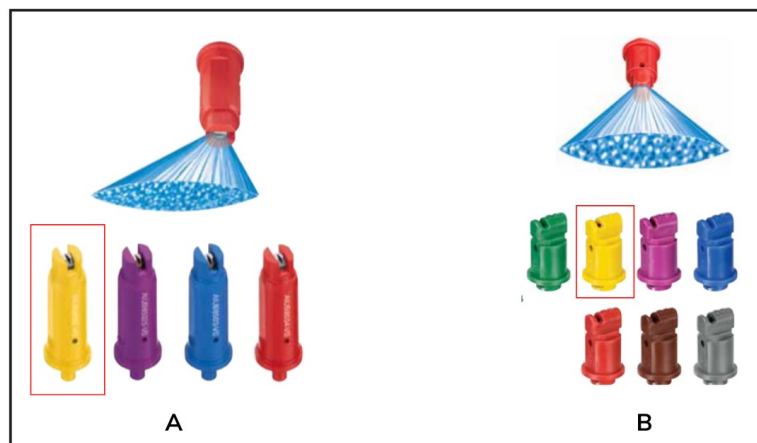
Figura 2 - Trator John Jeere com potência de 100 CV (A) e pulverizador conceição (B) a serem utilizados no método convencional de aplicação de herbicida



Fonte: autora (2021).

O pulverizador utilizado para o teste foi uma conceição, o qual dispõem de uma barra protegida de 1800 mm com saída para 4 bicos ou pontas de pulverização. Para tal atividade, visto que não foram utilizados produtos químicos fito toxicológicos à cultura do eucalipto, a proteção da barra não foi utilizada. As pontas utilizadas foram as amarelas da Teejet, com jato plano (TTI) ao centro da barra, e nas extremidades pontas de aplicação dirigida e em faixa (AIUB), com características de pulverização de jato plano (Figura 3).

Figura 3 - Ilustração das pontas de pulverização utilizadas com jatos AIUB (A) e TTI (B)

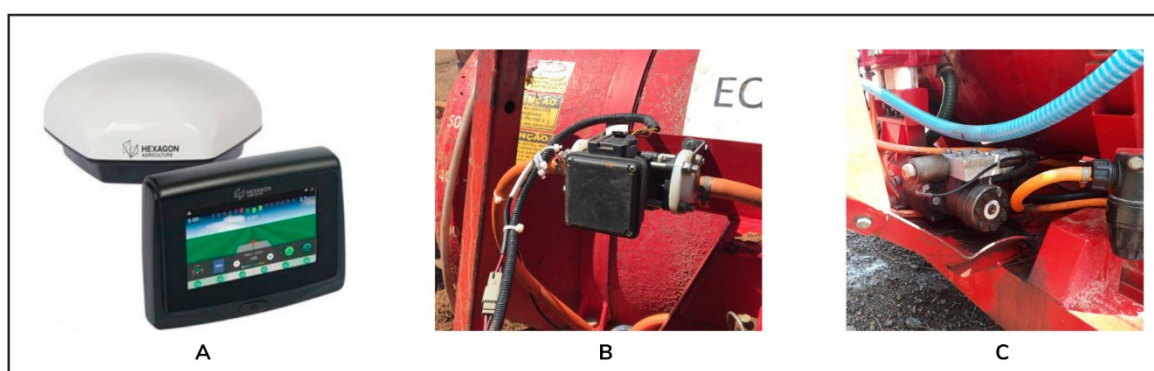


Fonte: TeeJet Technologies; modificado pela autora (2021).

Para o sistema automatizado, fez-se à utilização de um trator e implemento de pulverização com as mesmas características e especificações técnicas do modelo convencional. Entretanto, para este método, foi instalado um controlador da taxa de pulverização, o qual realizou controle automático do fluxo aplicado, visando aplicar dose com desvio de até 5% em relação à recomendação técnica.

O sistema automatizado contempla em pacote, antena GPS, computador de bordo, fluxômetro magnético, válvula solenoide, taxa fixa de aplicação e sistema de gestão de relatórios (SWS) (Figura 4).

Figura 4 - Sistema de controle de pulverização, sendo antena e computador de bordo (A), fluxômetro magnético (B) e válvula solenoide (C)



Fonte: Hexagon & autora (2021).

4.2.2 Análise técnica dos sistemas

4.2.2.1 Levantamento dos dados

No intuito de avaliar tecnicamente a eficiência de aplicação e validar a garantia de desvio de calda de até 5% para o sistema automatizado, visto que esta garantia é dada pelo fornecedor, foram coletadas informações à cerca da quantidade de calda gasta dentro de uma determinada área em hectare. Da mesma forma foi realizado para o sistema convencional, entretanto, com intuito de validar o desvio de 10%, sendo este valor máximo permitido e certificado pelo FSC. Após a coleta, os dados foram comparados com recomendação de calda para a área.

Baseado nas premissas estabelecidas pela certificação, todos os desvios que ocorreram fora da faixa permitida foram avaliados e posterior tomado um plano de ação para mitigá-lo. Desta forma, quando o desvio foi positivo, maior que 10%, ou seja, muito produto aplicado, reavaliou-se a condição do pulverizador, bicos ou qualquer outro problema cabível. Já quando o desvio foi negativo, menor que 10%, necessitou-se de reaplicação de produto, visto que a eficiência de controle poderia ser baixa.

4.2.3 Análises para comparação dos sistemas

A fim de identificar ganhos em qualidade e rendimento de operação, as metodologias propostas para avaliação da eficiência de aplicação e rendimento operacional, nos respectivos métodos de aplicação de herbicida, foram submetidas a análises comparativas. Logo, para ambos os métodos de aplicação, a eficiência de aplicação, desvio de calda e rendimento operacional foram calculados conforme as equações da Embrapa, Ageitec (Agência Embrapa de Informação Tecnológica).

Cálculo da Eficiência de Aplicação em porcentagem:

$$Ef (\%) = \left(\frac{DR}{DA} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

Ef(%)= Eficiência de aplicação;

DR = Dose recomendada (L.ha⁻¹);

DA= Dose aplicada (L.ha⁻¹).

Desvio de aplicação em porcentagem:

$$D (\%) = \left(\frac{DA-DR}{DR} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Onde:

D(%)= Desvio de aplicação;

DA= Dose aplicada (L.ha⁻¹);

DR= Dose recomenda (L.ha⁻¹).

Rendimento operacional:

$$RO = \frac{\text{área trabalhada}}{\text{tempo}} \quad (3)$$

Onde:

RO= Rendimento operacional (ha.h⁻¹);

Área trabalhada (ha);

Tempo (h).

Em posse da tomada de tempos e movimentos da operação, a Eficiência Operacional e a Disponibilidade Mecânica, foram calculadas pelas respectivas equações:

Cálculo da Eficiência Operacional, em porcentagem:

$$EOP (\%) = \left(\frac{TT}{TD} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

Onde:

EOP(%)= Eficiência Operacional em %;

TT = Tempo de Trabalho em que o equipamento executou um serviço;

TD= Tempo disponível ou (Tempo Programado – Tempo em Manutenção).

Cálculo da Disponibilidade Mecânica das máquinas, em porcentagem:

$$DM (\%) = \left(\frac{TP-TM}{TP} \right) . 100 \quad (5)$$

Onde:

DM(%)= Disponibilidade Mecânica em %;

TP = Tempo programado para o trabalho, em horas;

TM= Tempo utilizado para manutenção.

4.2.4 Análise dos dados

Para averiguar o efeito dos métodos (convencional e automatizado) na eficiência, no desvio de aplicação e no rendimento operacional, foram realizados testes de comparação de média (Teste T: duas amostras presumindo variâncias diferentes), com auxílio da ferramenta Excel.

As diferenças estatísticas entre as médias foram determinadas a 5% de probabilidade de erro.

4.2.5 Levantamento dos custos envolvidos nos sistemas

Para o levantamento dos custos nos sistemas de aplicação estudados, considerou-se 2 módulos de aplicação de herbicida, sendo um de aplicação convencional e outro de aplicação automatizada. Para ambos os métodos, o horizonte de planejamento utilizado para cálculo e fechamento de custos foi de um ano.

4.2.5.1 Custos fixos

O levantamento dos custos envolvidos em cada módulo foi realizado conforme a realidade atual da empresa. Portanto, produtos e serviços próprios, ou seja, itens adquiridos por ela, foram cotados de acordo com preço de mercado e seu valor ponderado para o horizonte de planejamento estabelecido, conforme a sua depreciação mensal. E, para os itens/materiais locados, o lançamento de valor foi conforme seu custo real mensal, e distribuído para os 12 meses.

4.2.5.1.1 Itens próprios / adquiridos

Os custos com materiais próprios, foram levantados conforme o valor de mercado e posteriormente, calculado a depreciação e aplicado a taxa de juros, conforme Equação 6 e 7, respectivamente.

Para o cálculo da depreciação, utilizou-se o método de depreciação linear, no qual para obter o valor depreciável foi subtraído o valor residual do item do seu valor de aquisição. Por meio da divisão do valor depreciável pela vida útil estimada, obteve-se a quota de depreciação a ser deduzida mensalmente.

Depreciação em anos:

$$D = \frac{(Vi - Vf)}{N} \quad (6)$$

Onde:

D = depreciação (%);

Vi = valor inicial (R\$);

Vf = valor final (R\$);

N = Vida útil do equipamento, em anos.

Para fins de cálculo do valor final do equipamento, considerou-se o seguinte valor:

Vf = 20% do Vi ao ano.

Os juros foram calculados pela aplicação de uma taxa de juros ao investimento.

$$J = \frac{(Vi) \cdot i}{2} \quad (7)$$

Onde:

J = juros (%);

Vi = valor inicial (R\$);

i = taxa de juros (%);

Para efeito de cálculo, levou-se em consideração a taxa de juros de 8% ao ano.

4.2.5.1.2 Itens locados

Para os equipamentos locados, o lançamento de valor foi conforme seu custo real mensal, calculado para o horizonte estabelecido, sendo 12 meses. O cálculo é expresso pela Equação 8.

$$VA = VM * 12 \quad (8)$$

Onde:

VA = Valor Anual (R\$);

VM = Valor Mensal (R\$).

12 = horizonte de planejamento, em meses.

Ainda, levando em conta o número de máquinas e equipamentos que compõem o módulo de aplicação, o valor anual individual, foi calculado por essa quantidade.

4.2.5.1.3 Salário dos funcionários

Nos custos de mão-de-obra, estão inclusos os salários diretos e indiretos (encargos e benefícios) que os operadores recebem, expresso na Equação 9.

$$\text{Salário anual} = (\text{Salário de registro}) \times 13 \quad (9)$$

Onde:

13 = doze meses de trabalho, mais o décimo terceiro salário

4.2.5.1.4 Alimentação

O custo com alimentação foi calculado conforme o número de pessoas que trabalham no módulo. Sendo incluso café da manhã e almoço.

4.2.5.2 Custos variáveis

Os custos variáveis como, combustível, manutenção e insumos químicos (herbicida), foram levantados conforme a utilização e necessidade de cada módulo estudado. Ressalta-se que os resultados do rendimento operacional, eficiência e desvio de aplicação influenciaram diretamente no fechamento dos custos variáveis da operação de cada módulo.

4.2.5.2.1 *Custo de Combustível*

O custo com combustível foi estimado baseando-se na média do consumo do trator agrícola, expresso pela Equação 10. O mesmo foi calculado multiplicando-se o consumo médio por hora de trabalho da máquina, pelo atual preço do diesel entregue para a empresa.

$$C = Cmm . \text{Preço do combustível} \quad (10)$$

Onde:

C = combustível;

Cmm = consumo médio por hora de trabalho da máquina (L);

Preço do combustível (R\$).

4.2.5.2.2 *Custo de abastecimento*

Visto que os módulos de aplicação de herbicida não possuem estrutura para manter caminhão comboio fixo para abastecimento das máquinas, o custo com abastecimento de combustível é cobrado por cada litro abastecido em campo. Para o cálculo, considera-se o preço médio por litro multiplicado pela quantidade abastecida, conforme Equação 11.

$$Ab = . \text{Preço do abastecimento} . Cmm \quad (11)$$

Onde:

Ab = Abastecimento;

Cmm = consumo médio por hora de trabalho da máquina (L);

Preço do abastecimento (R\$).

4.2.5.2.3 Lubrificante

Para o cálculo do consumo de lubrificação das máquinas, foi considerado 20% do custo do combustível, conforme Equação 12.

$$L = C.20\% \quad (12)$$

Onde:

L = lubrificante (R\$);

C = custo com combustível (R\$).

4.2.5.2.4 Manutenção

Da mesma forma que para o abastecimento, o custo com manutenção é cobrado um valor médio por hora trabalhada em campo. Desta forma, o custo total da atividade é calculado pela Equação 13.

$$CM = PM.Horas\ de\ manutenção \quad (13)$$

Onde:

CM = Custo de manutenção (R\$);

Horas de manutenção (h);

PM = Preço da manutenção (R\$.h⁻¹)

O preço da manutenção vem definido pela empresa, visto que é um serviço terceirizado pelo setor de manutenção.

4.2.5.2.5 Insumo (herbicida)

O custo com herbicida é calculado conforme a Equação 14.

$$CH = (DR + D).PH \quad (14)$$

Onde:

CH= Custo de herbicida (R\$);

DR = Dose recomendada (L.ha⁻¹) ou (g.ha⁻¹);

D = Desvio de aplicação (L.ha⁻¹) ou (g.ha⁻¹);

PH = Preço do Herbicida (R\$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Qualidade e rendimento da aplicação de herbicidas

A utilização de herbicidas pré e pós emergentes tem apresentado excelentes resultados com eficiência em torno de 90% quando aplicado sob as condições ideais, segundo Roman et al. (2005).

Na Tabela 2, observa-se que para o método automatizado, a eficiência de aplicação média teve resultado superior em relação ao convencional, apresentando diferença significativa à 5% de probabilidade de erro.

Tabela 2 - Eficiência de aplicação de herbicida para os métodos automatizado e convencional

Método	Fazenda	Eficiência de aplicação (%)	Média	CV%
Automatizado	Fazenda 1	89,6	90,0 a	1,1%
	Fazenda 2	89,4		
	Fazenda 3	91,2		
Convencional	Fazenda 1	84,0	81,5 b	6,0%
	Fazenda 2	75,9		
	Fazenda 3	84,6		

Fonte: a autora (2022).

É fato que a utilização do controlador de vazão no método automatizado, trouxe uma menor oscilação da eficiência entre as fazendas. Na operação convencional, a eficiência de aplicação é dependente da constância de velocidade de operação. E, por isso, quanto maior for a variação da velocidade, menor será a eficiência de aplicação. Em contrapartida, o método convencional de aplicação, por regular automaticamente a pressão dos bicos, conforme a variação de velocidade da operação, apresentou melhores resultados na eficiência.

Os desvios de aplicação, apresentados na Tabela 3, são representados pela diferença entre o volume de calda aplicado e o recomendado, sobre o volume total de calda herbicida aplicado na área.

Tabela 3 - Desvio de aplicação de herbicida para os métodos automatizado e convencional

Método	Fazenda	Desvio de aplicação (%)	Média	CV%
Automatizado	Fazenda 1	-9,4	-9,3 a	-4,7%
	Fazenda 2	-9,6		
	Fazenda 3	-8,8		
Convencional	Fazenda 1	-16,0	-18,5 b	-26,2%
	Fazenda 2	-24,1		
	Fazenda 3	-15,4		

Fonte: a autora (2022).

Conforme o padrão estabelecido, os desvios máximos permitidos pela certificação da empresa são de 10% de variação em relação a recomendação de calda. Para o método automatizado, o desvio de aplicação trouxe resultados dentro dos critérios estabelecidos pelos padrões do FSC, entretanto, fora da garantia dada pelo fornecedor da tecnologia embarcada, o qual estipulava variação de até 5%. Para o método convencional, o alto desvio negativo observado significa uma não conformidade e, portanto, traz a necessidade de reaplicação da calda para aumentar a eficiência e garantir o controle da mato-competição.

Quando são observados desvios negativos de aplicação de calda, há economia de insumo, reduzindo assim o custo variável da atividade. Entretanto, quando são valores fora dos padrões estabelecidos pela qualidade, ou seja, maior que 10%, a eficiência de aplicação é muito baixa, havendo necessidade de reaplicação de calda, aumentando ainda mais o custo da atividade.

Para os métodos estudados, o desvio de aplicação teve diferença significativa à 5% de probabilidade de erro, no qual, o método automatizado apresentou melhores resultados. O método convencional teve alta variação do desvio entre as fazendas (-26,2%), apresentando média acima do permitido pela certificação. Deste modo, as fazendas e os respectivos talhões que tiveram aplicação pelo método convencional terão re-aplicação de herbicida, visando atingir a eficácia de controle desejada.

Da mesma forma que para a eficiência de aplicação, o desvio possui dependência direta da constante velocidade de aplicação, sendo que, quanto maior a variação da velocidade, maior será o desvio de calda aplicada. Para o automatizado essa regra não se aplica, o sistema como um todo, possui tecnologia que controla a pressão dos bicos quando há variação de velocidade dentro de uma faixa pré estabelecida pelo próprio sistema.

Na Tabela 4, o rendimento operacional médio de 1,8 ha/h para o método automatizado e de 1,6 ha/h para o convencional não diferiram estatisticamente à 5% de probabilidade de erro.

Tabela 4 - Rendimento operacional das máquinas na atividade de aplicação de herbicida, para os métodos automatizado e convencional

Método	Fazenda	Rendimento operacional (ha/h)	Média	CV%
Automatizado	Fazenda 1	1,8	1,8 a	10,8%
	Fazenda 2	1,6		
	Fazenda 3	2,0		
Convencional	Fazenda 1	1,6	1,6 a	10,3%
	Fazenda 2	1,7		
	Fazenda 3	1,4		

Fonte: a autora (2022).

A constância da velocidade de operação em 5 km/h para o método convencional, influenciou para o menor rendimento da operação. Além disso, características do terreno, como presença de tocos, locais de manobra, são variáveis que tem influência direta no rendimento da operação mecanizada.

O método automatizado apresentou rendimento maior justamente pelo fato de não necessitar controlar a velocidade da máquina, já que a qualidade da aplicação vinha sendo controlada pela tecnologia embarcada.

Em áreas planas, com menor disposição de resíduos, o método automatizado apresentou rendimento operacional maior, como é o caso da Fazenda 3 e Fazenda 1. Os rendimentos operacionais menores neste método são resultados da menor velocidade de operação, como é o caso da Fazenda 2 que teve menor rendimento de operação, influenciado pela característica do terreno.

Para o método convencional, houve uma grande variação no rendimento entre as fazendas escolhidas para o teste, resultando em uma média de rendimento operacional próxima ao resultado do automatizado. A decorrência desse rendimento, aliado às características do terreno, influenciaram os demais resultados como, a eficiência de aplicação que apresentou baixa porcentagem, e o desvio da aplicação de calda, que teve valores negativos.

A baixa eficiência de aplicação de calda e os valores negativos de desvio do método convencional, evidenciados nas Tabelas 2 e 3, mostram que a quantidade de

calda aplicada foi menor do que a recomendação para a área. Assim, quanto maior o desvio da velocidade da operação estipulada, menor será a eficiência de aplicação e maior será o desvio de calda. Desta forma, valores altos de rendimento da operação convencional, próximos inclusive ao automatizado, trouxe perdas à qualidade de aplicação de herbicida, havendo necessidade de reaplicação de calda, visto que o desvio de aplicação foi acima de -10%.

Na Tabela 5, estão exibidos os resultados da eficiência operacional e disponibilidade mecânica, em porcentagem, das máquinas utilizadas no teste operacional.

Tabela 5 - Eficiência operacional, disponibilidade mecânica das máquinas utilizadas para os métodos automatizado e convencional

Método	Fazenda	EOP (%)	DM (%)
Automatizado	Fazenda 1	73,7	63,6
	Fazenda 2	78,5	79,5
	Fazenda 3	80,8	80,0
Média		77,7 b	74,4 a
CV%		4,7%	12,5%
Convencional	Fazenda 1	83,7	78,3
	Fazenda 2	86,9	80,0
	Fazenda 3	84,3	80,6
Média		85,0 a	79,6 a
CV%		2,0%	1,5%

Fonte: a autora (2022).

Em que: EOP (%) – Eficiência Operacional, em porcentagem; e, DM (%) – Disponibilidade Mecânica, em porcentagem.

A média da eficiência operacional no método automatizado teve diferença de 7,3% em relação ao método convencional. Esse resultado, é significativo e as médias se diferem estatisticamente à 5% de probabilidade de erro.

As consequências pelas quais o método automatizado apresentou menor valor de eficiência operacional, pode ser explicado pelo elevado tempo despendido para manutenção do sistema embarcado, reduzindo as horas efetivas de trabalho. Para o método convencional, a eficiência operacional média de 85%, é considerada padrão de acordo com Deere e Company (1975); e Molin e Milan (2002), que preconizam um percentual de eficiência operacional de 70 a 90%.

Para a disponibilidade mecânica dos tratores, as médias dos diferentes métodos de aplicação estudados não apresentaram diferença significativa a 5% de probabilidade de erro. Entretanto, para o método automatizado houve elevada variação da média entre as fazendas estudadas.

5.2 Análise e levantamento de custos

A fim de analisar a viabilidade econômica da contratação do sistema automatizado de aplicação de herbicida, foram levantados todos os custos envolvidos na atividade, sendo eles fixos e variáveis.

Para a comparação dos custos entre os sistemas, convencional e automatizado, foi realizado o levantamento, em separado, de todos os itens que compõem um módulo completo de aplicação de herbicida.

Na Tabela 6 são expressos os valores para cada item de custo envolvido no módulo de aplicação convencional. Dentre os itens nela citados, o trator e caminhão pipa possuem custo mensal, ou seja, são locados pela empresa.

Para valoração dos itens próprios da empresa, como é o caso do pulverizador, fez-se pesquisa de mercado e posteriormente, calculou-se o valor de depreciação e juros sobre o capital investido, conforme as fórmulas dispostas anteriormente na metodologia.

Tabela 6 - Itens que compõem o módulo de aplicação convencional e seus respectivos custos

Equipamentos	Item	Unidade	Valores
*Trator Jonh Jeere	Aluguel	R\$.mês ⁻¹	6.500,00
	Combustível	R\$.L ⁻¹	4,05
	Abastecimento	R\$.L ⁻¹	1,12
	Reparo e manutenção	R\$.h ⁻¹	105,00
	Lubrificantes	R\$.L ⁻¹	0,81
	Salário tratorista	R\$.mês ⁻¹	1722,50
	Refeição (café e almoço)	R\$.dia ⁻¹	28,50
*Caminhão Pipa	Aluguel	R\$.mês ⁻¹	12.000,00
	Combustível	R\$.L ⁻¹	4,05
	Abastecimento	R\$.L ⁻¹	1,12
	Reparo e manutenção	R\$.h ⁻¹	105,00
	Lubrificantes	R\$.L ⁻¹	0,81
	Salário camioneiro	R\$.mês ⁻¹	2.329,16
	Refeição (café e almoço)	R\$.dia ⁻¹	28,50
**Pulverizador Conceição JB 600	Valor inicial	R\$	21.050,00
	Valor final	R\$	4.210,00
	Reparo e manutenção	R\$.h ⁻¹	105,00
	Juros	%	8
Herbicida	Fordor	R\$.Kg	701,44
	Missil	R\$.L ⁻¹	397,31

Fonte: a autora (2022).

Em que: *refere-se a itens locados; e, ** itens adquiridos pela empresa.

Em que: 1 USD = 5,15 BRL

É válido ressaltar, que todos os valores levantados, são explícitos conforme a realidade atual do módulo de aplicação, tendo itens locados e outros efetivamente comprados.

Para valoração dos itens com custo variável, os valores foram levantados com o setor de manutenção e calculados para o horizonte de planejamento estabelecido, considerando dos dados e resultados obtidos em campo.

O módulo automatizado é composto pelos mesmos equipamentos do módulo convencional, descritos na Tabela 6. Entretanto, para este sistema de aplicação, faz-se necessário a locação do pacote completo de automatização, e aquisição de um fluxômetro.

O sistema automatizado de aplicação, composto por antena GPS, computador de bordo e sistema de gestão de relatórios (SWS), possui custo mensal, visto que atualmente é locado pela empresa. Para seu apto funcionamento, faz-se necessário

a aquisição de um fluxômetro magnético, o qual é responsável por regular a pressão dos bicos de pulverização. Para este equipamento, foi calculado o custo de depreciação e juros sobre o capital investido. Os valores unitários do sistema são expressos na Tabela 7.

Tabela 7 – Itens que compõem o módulo de aplicação automatizada com os respectivos custos

Equipamentos	Item	Unidade	Valores
Sistema automatizado	Aluguel	R\$.mês ⁻¹	1940,00
	Valor Inicial	R\$	5.293,05
Fluxômetro	Valor Final	R\$	1.058,61
	Juros	%	8

Fonte: a autora (2022).

Em que: 1 USD = 5,15 BRL

Para melhor entendimento dos custos, a tabela 8 traz alguns indicadores que foram utilizados para cálculo dos custos variáveis e rendimentos da operação.

Tabela 8 – Indicadores de consumo, tempo de trabalho e rendimento para as operações estudadas

Indicador	Unidade	Automatizado	Convencional
Consumo trator	L.h ⁻¹	20,3	21,4
Horas trabalhadas - trator	h.dia ⁻¹	6,5	6,5
Consumo caminhão	Km.L ⁻¹		2,25
Total rodado - caminhão	km.dia ⁻¹		78
Manutenção máquina base	h.dia ⁻¹	0,7	0,65
Manutenção implemento	h.dia ⁻¹	0,2	0,15
Horas acessórias/auxiliares	h.dia ⁻¹	1,5	1,5
Dias de trabalho	dia.mês ⁻¹		22
Mês de trabalho	mês.ano ⁻¹		12
Total de máquinas	maq.módulo ⁻¹		6
Rendimento Operacional	ha.h ⁻¹	1,8	1,6
Rendimento Operacional	ha.mês ⁻¹	257,4	228,8
Rendimento Operacional	ha.ano ⁻¹	3088,8	2745,6
Rendimento Operacional	ha.ano.módulo ⁻¹	18532,8	16473,6

Fonte: a autora (2022).

Todos os dados dispostos na tabela anterior foram coletados em campo durante as operações de teste nas Fazendas 1, 2 e 3. Para chegar no valor final de consumo dos tratores, fez-se uma média do consumo por hora trabalhada. Em relação ao consumo do caminhão, 2,25 Km.l⁻¹ é um valor tabelado e disponibilizado pelo setor de logística florestal da empresa. A média diária rodada pelo caminhão, diz respeito à rota de abastecimento de água até as fazendas do teste.

Quanto as horas despendidas à manutenção, tempo produtivo, acessório e auxiliar, as mesmas foram determinadas pela coleta de tempos e movimentos, e posteriormente feito uma média diária para cada item.

5.2.1 Método convencional de aplicação de herbicida

Um módulo completo de aplicação de herbicida é composto por 6 tratores e 1 caminhão pipa para abastecimento de água e insumo nos pulverizadores. O fechamento da quantidade de máquinas dentro do módulo, foi definido conforme a disponibilidade do caminhão pipa em atender o abastecimento dos tratores, não havendo gargalo de produção para nenhuma das partes envolvidas.

Através dos valores unitários expressos na Tabela 6, considerando o horizonte de planejamento estabelecido (um ano), foram determinados os custos totais (R\$.ano⁻¹) de cada componente do módulo de aplicação convencional de herbicida. Ressalta-se que, para fins de cálculo, foram consideradas 6,5 horas efetivas de trabalho por dia, 22 dias úteis no mês e 12 meses de trabalho no ano.

Sendo assim, a Tabela 9, traz os custos fixos, variáveis e custos referentes à mão de obra, em R\$.ano⁻¹, para cada item descrito na Tabela 7.

Tabela 9 - Componentes do custo operacional do módulo de aplicação convencional

Equipamento/material	Qtde	Componentes do custo	Custo (R\$/ano)	%
Trator Jonh Jeere	6	Aluguel	468.000,00	
		SOMA CUSTO FIXO	468.000,00	8,7
		Combustível	893.188,30	
		Abastecimento	247.005,16	
		Reparo e manutenção	108.108,00	
		Lubrificantes	178.637,66	
		SOMA CUSTO VARIÁVEL	1.426.939,11	26,5
		Salário tratorista	124.020,00	
		Refeição (café e almoço)	45.144,00	
		SOMA CUSTO MÃO DE OBRA	169.164,00	3,1
CUSTO TOTAL (R\$/ano)			2.064.103,11	38,3
Caminhão Pipa	1	Aluguel	144.000,00	
		SOMA CUSTO FIXO	144.000,00	2,7
		Combustível	37.065,60	
		Abastecimento	10.250,24	
		Reparo e manutenção	5.040,00	
		Lubrificantes	617,76	
		SOMA CUSTO VARIÁVEL	52.973,6	1,0
		Salário camioneiro	27.949,12	
		Refeição (café e almoço)	7.524,92	
		SOMA CUSTO MÃO DE OBRA	35.473,92	0,7
CUSTO TOTAL (R\$/ano)			232.447,52	4,3
Pulverizador Conceição JB 600	6	Depreciação	20.208,00	
		Juros	1.010,40	
		SOMA CUSTO FIXO	21.218,40	0,4
		Reparo e manutenção	2.772,00	
		SOMA CUSTO VARIÁVEL	2.772,00	0,05
CUSTO TOTAL (R\$/ano)			23.990,40	0,45
Herbicida	6	Fordor	2.311.048,40	
		Missil	752.689,49	
CUSTO TOTAL (R\$/ano)			3.063.737,89	56,9
TOTAL (R\$/ano)			5.384.278,92	100,0

Fonte: a autora (2022).

Em que: 1 USD = 5,15 BRL

Para os itens alugados, o único custo fixo, referiu-se ao valor de sua locação mensal. Já para aos itens adquiridos efetivamente, como é o caso único e exclusivo do pulverizador, os custos fixos referiram-se à depreciação do equipamento e juros sobre o capital investido.

Em relação aos custos variáveis, seu fechamento levou em consideração o rendimento operacional e consumo das máquinas, além de considerar o tempo despendido, em horas, para cada atividade.

Na caracterização do valor gasto com reparo e manutenção, observou-se o tempo parado em manutenção, sendo esse tempo médio de 0,65 horas.dia⁻¹ para manutenção de máquina base, e 0,15 horas.dia⁻¹ para manutenção do implemento.

Da mesma forma, o consumo médio dos tratores, o qual para o método convencional fechou em 21,4 L.h⁻¹, serviu de base para o cálculo do valor gasto em combustível, lubrificantes, e custos com abastecimento. Como os módulos da silvicultura não possuem caminhão comboio exclusivo para abastecimento e lubrificação das máquinas, o custo do abastecimento é cobrado em R\$.L⁻¹ abastecido em campo. O valor de R\$.L⁻¹ 1,12 foi estabelecido pela empresa, considerando a média de quilômetros rodados dentro das fazendas.

Para o cálculo do valor gasto com herbicida (Missil e Fordor), levou-se em consideração a recomendação de calda por hectare, sendo, 0,115 Kg.ha⁻¹ e 0,200 L.ha⁻¹, respectivamente, além do rendimento operacional anual para este módulo de aplicação. Para este método, considerando rendimento de 1,6 ha.h⁻¹, com 6,5 horas diárias de trabalho e 22 dias úteis de trabalho por mês, são pulverizados 2745,6 ha.ano⁻¹. Sabendo que o número total de máquinas que compõem o módulo são 6, a produção anual fecha em 16.473,6 hectares.

O custo operacional total do módulo de aplicação convencional, expresso em R\$.ano⁻¹, fechou em 5.384.278,92, representado pela somatória dos custos fixos, variáveis de cada equipamento/material, além da mão de obra despendida à atividade. É visto que a maior porcentagem de custo (56,9%) está relacionada ao consumo de herbicida, devido seu alto valor unitário. Desta forma, ressalta-se a importância da correta aplicação desses insumos em campo, visto que o desperdício pode trazer grandes perdas financeiras à empresa.

5.2.2 Método automatizado de aplicação de herbicida

Os custos levantados para o método automatizado seguiram a mesma metodologia do método convencional. Entretanto, alguns itens foram acrescidos, sendo aqueles referentes à automatização do sistema de aplicação de herbicida.

Na tabela 10 são expressos os custos operacionais referentes ao módulo de aplicação automatizada. É notável que, os custos fixos, além daqueles relacionados

ao sistema de automatização, permaneceram os mesmos do sistema convencional, entretanto, houve variação nos custos variáveis.

A variação nesses custos variáveis é explicada devido diferença nos valores de consumo das máquinas e rendimento operacionais coletados em campo. Para este método, os tratores apresentaram consumo de $20,4 \text{ L.h}^{-1}$, e rendimento operacional de $1,8 \text{ ha.h}^{-1}$, representando uma diferença de 2.059,2 hectares pulverizados ao final de um ano.

Tabela 10 – Componentes do custo operacional do módulo de aplicação automatizada

Equipamento/material	Qtde	Componentes do custo	Custo (R\$/ano)	%
Trator Jonh Jeere	6	Aluguel	468.000,00	
		SOMA CUSTO FIXO	468.000,00	8,0
		Combustível	844.817,69	
		Abastecimento	247.005,16	
		Reparo e manutenção	116.424,00	
		Lubrificantes	168.963,54	
		SOMA CUSTO VARIÁVEL	1.377.210,38	23,5
		Salário tratorista	124.020,00	
		Refeição (café e almoço)	45.144,00	
		SOMA CUSTO MÃO DE OBRA	169.164,00	2,9
CUSTO TOTAL (R\$/ano)			2.014.374,38	34,4
Caminhão Pipa	1	Aluguel	144.000,00	
		SOMA CUSTO FIXO	144.000,00	2,5
		Combustível	37.065,60	
		Abastecimento	10.250,24	
		Reparo e manutenção	5.040,00	
		Lubrificantes	617,76	
		SOMA CUSTO VARIÁVEL	52.973,60	0,9
		Salário camioneiro	27.949,92	
		Refeição (café e almoço)	7.524,00	
		SOMA CUSTO MÃO DE OBRA	35.473,92	0,6
CUSTO TOTAL (R\$/ano)			232.447,52	4,0
Pulverizador Conceição JB 600	6	Depreciação	20.208,00	
		Juros	1.010,40	
		SOMA CUSTO FIXO	21.218,40	0,36
		Reparo e manutenção	2.772,00	
		SOMA CUSTO VARIÁVEL	2.772,00	0,05
CUSTO TOTAL (R\$/ano)			23.990,40	0,41
Herbicida	6	Fordor	2.599.929,45	
		Missil	846.775,68	
CUSTO TOTAL (R\$/ano)			3.446.705,12	58,8
Sistema Automatizado Fluxômetro	6	Aluguel	139.680,00	
		Depreciação	6.351,66	
		Juros	317,58	
		SOMA CUSTO FIXO	146.349,24	2,5
CUSTO TOTAL (R\$/ano)			146.349,24	2,5
TOTAL (R\$/ano)			5.863.866,67	100,0

Fonte: a autora (2022).

Em que: 1 USD = 5,15 BRL

Da mesma forma que para o método convencional, a maior porcentagem de custo no método automatizado está relacionada aos herbicidas utilizados, representando 58,98% do custo total. Na sequência, 34,4% dos custos é representado

pelo custo dos tratores, sendo que seu maior peso se remete aos custos variáveis, muito bem representado pelo custo de combustível.

Com acréscimo dos itens para o sistema automatizado, representando um percentual de 2,5% em relação ao custo total do módulo, o valor anual da atividade, se apresenta com custo de R\$ 5.863.866,67, sendo apenas 1,4% mais cara em relação ao método convencional de aplicação.

Os custos de aplicação pré-emergente seletiva são superiores aos custos de aplicação com herbicidas alternativos. Para aplicação pré-emergente em culturas anuais, as opções de herbicidas flumizyn, trifluralina e atrazina, representam custo que podem variar entre R\$122,00 e R\$204,00, valores esses superiores quando comparados aos custos de herbicidas com ausência de resistência e que podem ser aplicados em pós-emergência (Embrapa Trigo).

Comparando os custos de herbicidas pré-emergente para aplicação em culturas perenes, que é o caso das florestas, com os custos de pré-emergentes em culturas anuais, é possível notar que ambos constituem e estão na mesma faixa de valor. A grande vantagem das florestas é que a aplicação ocorre apenas no primeiro ano após a implantação da cultura, considerando rotação de 7 anos. Já em culturas anuais a aplicação ocorre todos os anos, visto que a rotação é anual, ou em grande parte semestral, já que são implantadas as safrinhas.

5.2.3 Comparação de cenários entre os métodos de aplicação estudados

Com objetivo de verificar cenários que a viabilizam a contratação do sistema automatizado de aplicação, considerou-se três diferentes situações, levando em consideração a variação no desvio de aplicação de insumo e seu respectivo custo.

Para todos os cenários analisados, levou-se em consideração o somatório dos custos fixos, variáveis e de mão de obra. Entretanto, o custo com insumo, o qual também se caracteriza como variável, foi calculado em separado, justamente por ser o principal fator de variação quando há desvio na aplicação de insumo por hectare.

Na tabela 11 estão exibidas as doses de insumo com seu respectivo desvio de aplicação, para cada cenário estudado.

Tabela 11 – Dose de herbicida aplicada por hectare para cada cenário estudado

Desvio de aplicação de calda		Método			
		Automatizado		Convencional	
		Missil (L.ha ⁻¹)	Fordor (Kg.ha ⁻¹)	Missil (L.ha ⁻¹)	Fordor (Kg.ha ⁻¹)
Cenário 1	Desvio 0%	0,115	0,200	0,115	0,200
	Desvio 5%	0,121	0,210	-	-
Cenário 2	Desvio 10%	-	-	0,127	0,220
	Desvio -9,8%	0,104	0,180	-	-
Cenário 3	Desvio -18,5%	-	-	0,094	0,163

Fonte: a autora (2022).

Para o cenário 1, levou-se em consideração a recomendação técnica de calda, não havendo variação no volume aplicado. No cenário 2, para o método automatizado, foi considerado variação de 5% na dose aplicada, visto ser essa a garantia dada pelo fornecedor, e, 10% de variação para o convencional, sendo esse o volume de variação máximo permitido pelo FSC. E por último, no cenário 3, foram estudados os valores de variação conforme as coletas de campo, sendo desvio de -9,8% para o automatizado, e -18,5% para o convencional.

Os custos com o cenário 1, disposto na Tabela 12, foram considerados como custo base da atividade, sem variação na quantidade de insumo aplicada (0% de desvio).

Tabela 12 – Comparação do custo entre método automatizado e convencional, considerando 0% de variação no desvio de aplicação

Cenário 1 - Desvio 0%			
CUSTO /MÉTODO	Automatizado	Convencional	DELTA
Fixo	779.567,64	633.218,40	-146.349,24
Variável	1.432.955,98	1.482.684,71	49.728,73
Mão de obra	204.637,92	204.637,92	0,00
Insumo	3.446.705,12	3.063.737,89	-382.967,24
TOTAL	5.863.866,67	5.384.278,92	-479.587,75
R\$/há	316,40	326,84	10,44

Fonte: a autora (2022).

Em que: 1 USD = 5,15 BRL.

Na presente situação, o sistema automatizado de aplicação possui um custo de R\$ 479,587,75 a mais por ano em relação ao convencional. Nota-se que a grande diferença no custo entre os métodos, está relacionado ao custo com herbicida, e isso se explica devido ao maior rendimento operacional anual do sistema automatizado.

É notório que o custo do insumo por hectare é o mesmo para o método convencional e automatizado, sendo R\$.ha⁻¹ 185,97. A diferença no custo anual final dos insumos, é vista devido ao método automatizado ter maior rendimento da operação equiparado ao convencional.

Em relação aos custos variáveis, nota-se que o automatizado apresenta custo de R\$ 49.728,73 a menos que o convencional, justamente pelo menor consumo de combustível das máquinas. Para os custos fixos, o método automatizado apresenta valor maior devido ao investimento mensal do sistema automático de aplicação.

Referindo-se ao cenário 2, levando em conta os desvios máximos esperados, sendo 10% para o convencional (exigência da certificação) e 5% para o automatizado (garantia do fornecedor), o sistema de aplicação convencional continua a apresentar maior custo por hectare, sendo essa diferença de R\$ 56,89, apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Variação no custo entre método automatizado e convencional, com 5% de variação no desvio de aplicação no método automatizado e 10% no convencional

Cenário 2 - Desvio 5% automatizado e 10% convencional			
CUSTO /MÉTODO	Automatizado	Convencional	DELTA
Fixo	779.567,64	633.218,40	-146.349,24
Variável	1.432.955,98	1.482.684,71	49.728,73
Mão de obra	204.637,92	204.637,89	-0,03
Insumo	3.619.040,38	3.982.080,96	363.040,58
TOTAL	6.036.201,93	6.302.621,96	266.420,03
R\$/há	325,70	382,59	56,89

Fonte: a autora (2022).

Em que: 1 USD = 5,15 BRL.

O valor investido na locação do sistema automatizado, para os módulos de aplicação automatizada, considerando a variação de insumo máxima garantida pelo fornecedor (5% de desvio), é vista como investimento. Além de melhorar a qualidade de aplicação, traz retorno positivo de valor para a empresa, visto seu maior rendimento de operação e menor consumo de combustível. Desta forma, a contratação do sistema, considerando este cenário de desvios, também se mostrou viável economicamente.

A Tabela 14 traz os resultados do terceiro cenário, o qual levou em consideração os desvios de calda medidos em campo, sendo -9,3% para o método automatizado, e, -18,5% para o convencional.

Tabela 14 - Variação no custo entre métodos estudados, com desvios medidos em campo, sendo -9,3% no método automatizado e -18,5% no convencional

Cenário 3 - Desvio -9,3% automatizado e -18,5% convencional			
CUSTO /MÉTODO	Automatizado	Convencional	DELTA
Fixo	779.567,64	633.218,40	-146.349,24
Variável	1.432.955,98	1.482.684,71	49.728,73
Mão de obra	204.637,92	204.637,89	-0,03
Insumo	3.040.825,38	2.732.384,43	-308.440,94
TOTAL	5.457.986,92	5.052.925,43	-405.061,49
R\$/há	294,50	633,57	339,07
Reaplicação	5.457.986,92	10.437.204,36	4.979.217,43
R\$/há	294,50	633,57	339,07

Fonte: a autora (2022).

Em que: 1 USD = 5,15 BRL.

O custo com insumo para este cenário, foi inferior ao cenário base que possui 0% de variação de insumo aplicado. Como a quantidade de calda aplicada foi inferior a recomendação, observada pelos desvios negativos, o custo final teve redução para os dois métodos, com expressividade maior para o método convencional, que teve maior variação negativa de calda.

Levando em consideração o alto desvio de aplicação do método convencional, sendo superior a variação permitida pela certificação, há necessidade de reaplicação do herbicida nessas áreas. Por isso, o custo por hectare para o método convencional passa a ser de R\$ 633,57. O custo final da reaplicação levou em consideração o custo aplicado com desvio de -18,5% somado ao custo do cenário 1, com 0% de desvio.

Na presente situação, observando o delta de custo entre os métodos (R\$ 339,07) a contratação do pacote de aplicação automatizada torna-se ainda mais viável economicamente.

Este último cenário, mostra o quão importante é o investimento em tecnologias de aplicação de herbicida. Mesmo o desvio na aplicação automatizada sendo negativo, ainda está dentro dos padrões de qualidade estabelecido pela

empresa, não havendo necessidade de reaplicação de calda para garantir a eficácia de controle.

Para os cálculos e valores apresentados nos três cenários, são considerados situações críticas, ou piores cenários, por se tratar de um projeto. Entretanto, é válido ressaltar que toda e qualquer tomada de decisão em relação à reaplicação de herbicida, não deve ser baseada apenas em números. As recomendações devem ser seguidas de avaliações de campo, conforme a infestação do mato-competição, mostrando a necessidade ou não de reaplicação, visto que a atividade representa custo elevado.

Para a presente situação, não houve necessidade de reaplicação. Nas áreas em que ocorreu aplicação convencional, a infestação por mato competição foi maior quando comparada à automatizada, entretanto, optou-se por aguardar o segundo trato cultural, com 120 dias após do primeiro controle.

6. CONCLUSÃO

O método automatizado de aplicação de herbicida, apresentou resultados coerentes quanto à eficiência de aplicação, sendo superiores de maneira significativa quando comparado aos resultados do método convencional. Em relação as respostas de desvio de aplicação, o método automatizado não apresentou dados conforme a garantia dada pelo fornecedor. Entretanto, teve melhor resultado em comparação ao desvio do método convencional, atendendo os requisitos dos padrões de qualidade FSC.

A diferença do rendimento da operação entre os métodos estudados, não foram significativas, sendo muito influenciadas pela característica do terreno em que ocorreram os testes. Com esse resultado, é conclusivo o quão influente é a variação de velocidade para a qualidade de aplicação, principalmente no método convencional, que possui dependência direta sobre esse fator.

Para todos os custos levantados, sendo fixos e variáveis, considerando o horizonte de planejamento estabelecido, nota-se diferença de R\$ 479.587,75 entre os métodos de aplicação estudados, sendo que o automatizado possui maior custo anual. Quando diluído por hectare, o automatizado se mostra viável e apresenta diferença de R\$ 10,44 em relação ao convencional.

A partir do estudo feito entre os três possíveis cenários, conclui-se que a contratação do sistema automatizado é viável economicamente para todos os cenários estudados. O custo final investido no ano para cada módulo, quando diluído por hectare é menor quando comparado ao custo do método convencional.

É conclusivo que a viabilidade de contratação do pacote de aplicação automatizada não se refere apenas à diferença de custo que há entre um método e outro. Com a utilização do sistema automatizado, a qualidade de aplicação é superior e não é totalmente dependente da prática do operador como no sistema convencional.

Da mesma forma, é válido ressaltar que, as tomadas de decisões para reaplicação de calda, além de observar os números de desvio e eficiência de aplicação, é necessário a vistoria em campo para avaliar a infestação e a qualidade de controle após aplicação.

REFERÊNCIAS

- ABRACOMEX - Associação Brasileira de Consultoria e Assessoria em Comércio Exterior. **Brasil: maior exportador mundial de celulose**. 2018. Disponível em: < <https://www.abracomex.org/brasil-maior-exportador-mundial-de-celulose>>. Acesso em: 17 out. 2021.
- AGROPOS. **Eucaliptocultura no Brasil**. Belo Horizonte, Minas Gerais. 2020. Disponível em: < <https://agropos.com.br/eucalipto-no-brasil/>>. Acesso em: 17 out. 2021.
- ALMADO, R. P. Intensificação da mecanização e da automação em atividades silviculturais na Arcelormittal bioflorestas. **Série Técnica IPEF**, v. 17, n. 38, agosto de 2013.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. **Koppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*, 22: 711-728, 2013.
- ANDEF - Associação Nacional de Defesa Vegetal. **Manual de Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários**. São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.lpv.esalq.usp.br/sites/default/files/Leitura%20%20Manual%20Tecnologia%20de%20Aplicacao.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2021.
- ATLAS GEOLÓGICO DO ESTADO DO PARANÁ. Curitiba, 2001. Disponível em: <<http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Geologico-do-Estado-do-Parana>>. Acesso em: 10 out. 2021.
- BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; VAZ, C. M. P.; SPERANZA, E. A.; CRUVINEL, P. E. **Agricultura de precisão e agricultura digital**. In: TECCOGS – Revista Digital de Tecnologias Cognitivas, n. 20, jul./dez. 2019, p. 17-36.
- BRANDELERO, C; ANTUNES, M. U. F.; GIOTTO, E. **Silvicultura de precisão: nova tecnologia para o desenvolvimento florestal** Precision silviculture: new technology for the forestry development. *Ambiência*, v. 3, n. 2, p. 269-281, 2007.

CASALI, A. L. **Caracterização, Avaliação e Classificação dos Pulverizadores Autopropelidos produzidos no Brasil**. 2015. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria RS, 2015.

COSTA, G. M. **Guia Prático de Tecnologia de Aplicação de Herbicida e Segurança no Trabalho na Silvicultura**. 2019.

COSTA, C.C. Custos e Benefícios do Uso da Pulverização Aérea de Agrotóxicos na Agricultura. **Embrapa Instrumentação**. São Carlos, SP, 2017.

DEERE & COMPANY. Measuring machine capacity. In FMO – Fundamentals of Machine Operation: Machinery Management. Moline: Illinois. 1975. Chapter 2, 28p.

EMBRAPA. **Produção integrada de uva para processamento: manejo de pragas e doenças** – Brasília, DF: Embrapa, 2015.

EMBRAPA; AGEITEC. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Silvicultura**. Brasília DF. 2021. Disponível em:

<<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fmcbbqcwh02wyiv80kxlb36vbkge01.html>>. Acesso em: 20 out. 2021.

EMBRAPA. Plantas Daninhas. Brasília DF. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-plantas-daninhas/sobre-o-tema>>. Acesso em: 14 dez. 2021.

IBÁ INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual Ibá 2020**. São Paulo. 2020. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2021.

IBÁ INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Florestas Plantadas: Oportunidades e desafios da indústria brasileira de base florestal plantada no caminho da sustentabilidade**. Brasília, 2017. Disponível em: <https://www.abaf.org.br/wp-content/uploads/2017/11/iba_seminario-cni.pdf>. Acesso em: 17 out. 2021.

INAMASU, R. Y.; BELLOTE, A. F. J.; LUCHIARI JUNIOR, A.; SHIRATSUCHU, L. S.; OLIVEIRA, P. A.V.; BERNARDI, A. C.C. Portfólio Automação Agrícola, Pecuária E Florestal. **Embrapa Instrumentação**, São Carlos, SP, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da extração vegetal e da silvicultura – PEVS**. 2020. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/31802-pevs-2020-com-crescimento-de-17-9-valor-da-producao-de-silvicultura-e-extracao-vegetal-chega-a-r-23-6-bilhoes>>. Acesso em: 25 out. 2021.

JACTO. **Conheça os 5 principais tipos de pulverizadores**. 2020. Disponível em: <<https://blog.jacto.com.br/tipos-de-pulverizadores/>>. Acesso em: 27 out. 2021.

JONES, F. Pulverização por drones. **Revista Pesquisa Fapesp**. Edição 283 set. 2019. Disponível em: < <https://revistapesquisa.fapesp.br/pulverizacao-por-drones/>>. Acesso em: 27 out. 2021.

LACERDA, S. C. **Aplicação de solução aquosa na pulverização com atomizador costal motorizado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Goiás. Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Anápolis, GO, 2014.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura en los trópicos: Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas: posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. 1990.

LOBO JUNIOR, M. I. **Aplicação Terrestre com Pulverizadores Autopropelidos**. 2011. Disponível em: < <http://www.pulverizador.com.br/aplic-terrestre-01.htm>>. Acesso em: 27 out. 2021.

MAEDA, S.; AHRENS, S.; CHIARELLO, S. R.; OLIVEIRA, E. B.; STOLLE, L.; FOWLER, J. A. P.; BOGNOLA, I. A. Silvicultura de Precisão. **Embrapa Florestas**. Colombo, PR, 2014.

MAGGI, B.; NOVACKI, E. R.; ARAÚJO, W. V.; ANJOS, J. M.; SALOMÃO, J. A. F.; REZENDE, W. V. Plano Nacional de Desenvolvimento de Florestas Plantadas. **Mapa**. Brasília, DF, 2018.

MALINA, L. L. A territorialização do Monopólio no Setor celulístico papeleiro: a atuação da Veracel Celulose no Extremo Sul da Bahia. 2013. 358 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: FUNEP, 1990. 139 p.

MAXMAQ. **Pulverizador Costal**. Principais tipos e como escolher o ideal. 2019. Disponível em: <<https://maxmaq.com.br/blog/pulverizador-costal/>>. Acesso em: 27 out. 2021.

MENEZES, F. A. L. **Inspeção de pulverizadores hidráulicos no município de Silvânia- GO**. 2019. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia). Centro Universitário de Anápolis UniEVANGÉLICA. Anápolis, 2019.

MENEZES, D.; MARTINS, D. S. **Automação e controle de pulverização em máquinas agrícolas**. Regrad, Marília-SP, v.1, ano 2, 2009, pg. 23 - 34.

MOLIN, J. P.; MILAN, M. Trator-implemento: dimensionamento. Capacidade operacional e custo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (ed.) Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba: Instituto de Pesquisas Florestais, 2002.p. 409-436

PADOVAN, L. A.; MARQUES, J. C.; BENTOS, S. G. **Agrotóxicos: aplicação com pulverizador costal motorizado**. Senar. São Paulo, 2018.

PLANO DIRETOR. **Plano Diretor de Desenvolvimento de Telêmaco Borba “Telêmaco Borba, Construindo O Futuro”**. Telêmaco Borba PR, 2005.

ROMAN, E. S.; VARGAS, L.; RIZZARDI, M. A. HALL, L. BECKIE, H.; WOLF, T. M. Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação. **Embrapa**. Passo Fundo: Gráfica Editora Berthier, 2005.

SHIRATSUCHI, L. S.; FONTES, J. R. A. **Tecnologias de Aplicação de Herbicidas**. Embrapa, Palotina PR, 2002.

SEMA - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Relatório Final do Atlas de Vegetação do Paraná**. Curitiba PR, 2002.

TEEJET TECHNOLOGIES. **Catálogo 51A-PT**. Disponível em: <
https://www.teejet.com/CMSImages/TEEJET_PT/documents/catalogs/cat51a-pt.pdf
>. Acesso em: 27 out. 2021.

ORTIZ, J. L. **Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2003.

VETTORAZZI, C. A., & FERRAZ, S. F. D. B. **Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais**. Borém A, Giúdice MP, Queiroz DM. Agricultura de precisão. Viçosa: Editora UFV, 2000.

VIEIRA, C. G.; DORNELAS, G. V.; JUNIOR, J. D.; SILVA, J. F.; BORGES, M. P.; BRUNHEROTO, V. SILVA, V. E. **Mecanização e Silvicultura de Precisão na Eldorado**. Série Técnica IPEF, v. 24 n. 45, julho de 2016.

ZEN, S. **Influência da Matocompetição em Plantios de *Eucalyptus grandis***. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v.4, n.12, p.25 – 35, Set.1987.