



JOSIANE MARIA DA SILVA

**ASSERTIVIDADE DO SENSOR DE COMPRIMENTO DE
MADEIRA NA COLHEITA FLORESTAL MECANIZADA**

**LAVRAS-MG
2020**

JOSIANE MARIA DA SILVA

**ASSERTIVIDADE DO SENSOR DE COMPRIMENTO DE MADEIRA NA
COLHEITA FLORESTAL MECANIZADA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Engenharia Florestal para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Carlos Eduardo da Silva Volpato
Orientador
Prof. Dr. Dione Richer Momolli
Coorientador

**LAVRAS-MG
2020**

JOSIANE MARIA DA SILVA

**ASSERTIVIDADE DO SENSOR DE COMPRIMENTO DE MADEIRA NA
COLHEITA FLORESTAL MECANIZADA
WOOD LENGTH SENSOR ASSERTIVENESS IN FOREST HARVESTING
MECHANIZED**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Engenharia Florestal para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 14 de Agosto de 2020.

Prof. Dr. Carlos Eduardo da Silva Volpato

Prof. Dr. Dione Richer Momolli

Tauan Bonin Góiz

UFLA

UFLA

BRACELL

Prof. Dr. Carlos Eduardo da Silva Volpato
Orientador

Prof. Dr. Dione Richer Momolli
Coorientador

**LAVRAS-MG
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Silva, Josiane Maria da.

Assertividade do sensor de comprimento de madeira na colheita
florestal mecanizada / Josiane Maria da Silva. - 2020.

40 p. : il.

Orientador(a): Carlos Eduardo da Silva Volpato.

Coorientador(a): Dione Richer Momolli.

Monografia (graduação) - Universidade Federal de Lavras,
2020.

Bibliografia.

1. Assertividade do sensor de comprimento. 2. Colheita
Florestal. 3. Comprimento de toras. I. Volpato, Carlos Eduardo da
Silva. II. Momolli, Dione Richer. III. Título.

Ao meu pai (in memoriam) por ser minha inspiração e exemplo em toda minha vida. E a minha mãe exemplo de amor e dedicação e aos meus irmãos pelo grande apoio e incentivo.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me guiar durante toda essa trajetória.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciências Florestais juntamente com todos os excelentes professores pelo ensino de qualidade contribuindo para meu desenvolvimento, conhecimento e pela excelente formação.

Ao meu orientador, Carlos Eduardo e ao meu coorientador Dione por toda orientação e apoio científico para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha família, em especial ao meu pai José Donizete (*in memorian*) por todo amor, incentivo e perseverança. É aquele que me ensinou que a simplicidade e a honestidade são os nossos princípios e que batalhou muito para que eu chegasse até aqui. Essa trajetória só foi possível por me guiar aí de cima.

À minha mãe, Maria das Dores por todo amor, carinho, ensinamentos, pela sua fé e orações, que sempre me apoia nas minhas decisões, minha fortaleza, aquela que me ensinou a ser sempre forte e que é minha maior motivação.

Aos meus incríveis seis irmãos Cristiane, João Carlos, Luciani, Paulo Sérgio, Luiz Henrique e Marcelo, e aos meus maravilhosos sobrinhos Mário, Ana Clara e Brenda pelo amor incondicional e pelo todo apoio, vocês são meu alicerce e porto seguro.

Ao meu namorado Lucas por todo companheirismo, carinho, incentivo, paciência e por sempre me guiar nas minhas escolhas, e ser aquele que me motiva a ter sempre persistência.

A todos os meus amigos de Lavras, em especial Caio, Rafaela, Luan, Marcela e Vanessa, as meninas do apartamento 102 e minha turma 2015/2 de Engenharia Florestal contribuíram com os melhores momentos e crescendo juntos nessa jornada.

A empresa pela confiança em conceder a grande oportunidade de estágio, e pela realização deste trabalho, contribuindo com a minha carreira profissional e pessoal. Pelos grandes amigos adquiridos durante essa caminhada e por tudo que me proporcionaram, em especial, Tauan, Ana Beatriz, Gabriel, Bruno, Marco Goés, João Paulo e Matheus e a todos da colheita e transporte florestal, grata por todo aprendizado.

Aos técnicos da empresa John Deere por toda assistência dada para realização desse trabalho.

À empresa júnior, Floresta Jr., por despertar em mim o lado empreendedor e contribuir pela minha formação profissional.

E a todos que contribuíram de alguma forma em minha jornada, sou imensamente grata!

Muito obrigada!

“Portanto não percam a coragem pois ela traz uma grande recompensa” (Hebreus 10:35)

RESUMO

A colheita florestal é uma das etapas mais onerosas em se tratando de custo de operacionalização. Determinar os sistemas e equipamentos disponíveis para realizar essa atividade é imprescindível para otimizar a produção e amenizar os custos. No Brasil, o sistema mais utilizado para corte de *Eucalyptus* é o de toras curtas, em que todas as atividades junto ao corte são realizadas no local de derrubada das árvores. Neste sistema as máquinas mais utilizadas são *Harvester* para efetuar o corte e, *Forwarder* para remoção. Dentro do sistema de toras curtas nota-se variabilidade no comprimento das toras, isso é um dos fatores que influenciam na operação de colheita e transporte florestal, afetando o rendimento e produtividade da operação. Toras de maiores comprimentos favorecem ganhos econômicos dentro da logística florestal e reduzem perdas na colheita florestal. Diante disso, a empresa florestal onde foi realizado o estudo adotou o comprimento de toras igual a 6,50 metros. E para atender os critérios de qualidade do produto final, entregue na fábrica, se faz necessário maior assertividade no comprimento da madeira. Com isso, para garantir a assertividade no comprimento alvo estabelecido, este trabalho objetivou-se avaliar a precisão do sensor de comprimento em posições distintas no cabeçote do *Harvester*. O estudo foi realizado em uma área de colheita de eucalipto da empresa. Foram utilizadas quatro máquinas da marca John Deere sendo o modelo da máquina base JD 2144G com cabeçote H215E. O sistema adotado pela empresa é o de toras curtas. A coleta de dados ocorreu no período de 22/08 a 8/10 de 2019, sendo o operador da máquina responsável por medir o comprimento das toras que foram processadas durante o seu turno de trabalho. Foram amostradas aleatoriamente 4 toras por feixe avaliado, sendo o mínimo 20 toras, com auxílio de uma trena e anotado em um formulário de campo. Foram definidas quatro máquinas, sendo representadas como quatro tratamentos distintos: uma máquina com o sensor acoplado no peito do cabeçote com peça protetora e outra sem, e as outras o sensor de comprimento acoplado no rolo alimentador com e sem a peça protetora. Obteve-se o correspondente a 8373 medições de toras de todos os tratamentos. Foram avaliados estatisticamente com teste de média (Tukey e Scott-Knott), controle estatístico de processo (CEP) e distribuição de frequência. Os tratamentos sem a peça protetora foram iguais estatisticamente, e tiveram média geral mais próximo ao alvo. Já os tratamentos com a peça protetora não se diferenciaram estatisticamente e foram menos assertivas. Porém, os tratamentos com o sensor no rolo alimentador tiveram maior variabilidade, considerados dessa forma menos precisos. Com o sensor acoplado no peito do cabeçote teve-se menor variabilidade dos dados e medições com maior frequência dentro do target. Dessa forma, o sensor que obteve maior precisão no comprimento das toras foi o que estava acoplado no peito do cabeçote e sem a peça protetora, sendo mais assertivo no comprimento alvo estabelecido, de 6,50 metros.

Palavras-chave: Colheita Florestal. Sensor. Comprimento

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de estudo	20
Figura 2 - Dispositivo de medição de comprimento.....	22
Figura 3 - Sensor de comprimento acoplado no peito do cabeçote.	23
Figura 4 - Sensor de comprimento acoplado no rolo alimentador.	23
Figura 5 - Fluxograma do procedimento de medições das toras.	25
Figura 6 - Alocação da peça protetora no cabeçote do harvester. A: Cabeçote; B: Cabeçote com peça protetora e C: Cabeçote sem peça protetora.....	26
Figura 7 - Comprimento médio e desvio padrão	30
Figura 8 - Carta de controle de qualidade de processo, a: média dos pontos amostrais b: desvio padrão.	31
Figura 9 - Distribuição de frequência com tolerância de 40 cm.....	32
Figura 10 - Distribuição de frequência com tolerância de 20 cm.....	33
Figura 11 - Distribuição de frequência com tolerância de 10 cm.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos.....	25
Tabela 2 - Valores relativos ao comprimento da madeira em cada tratamento.....	28
Tabela 3 - Teste de média (Tukey e Scott-Knott)	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	Objetivo geral.....	13
2.2	Objetivos específicos.....	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.1	Setor florestal.....	14
3.2	Colheita Florestal.....	15
3.2.1	Sistemas de Colheita Florestal.....	16
3.2.2	Corte florestal.....	17
3.2.3	Extração florestal.....	17
3.2.4	Transporte Florestal.....	19
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	20
4.1	Área de estudo.....	20
4.2	Sistema de colheita.....	20
4.3	Harvester.....	21
4.4	Dispositivo de medição de comprimento.....	21
4.5	Amostragem.....	24
4.6	Coleta de dados.....	24
4.7	Análise estatística.....	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
6	CONCLUSÃO.....	34
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

A alta demanda por produtos florestais favorece o mercado madeireiro de florestas plantadas, dessa forma fez-se com que houvesse maior investimento e tecnologia por parte de empresas, a fim de aumentar a produção do setor florestal (GONÇALVES et al., 2011). Diante dessa demanda aumenta-se a importância em ter um sistema de suprimento de madeira eficiente, que requeira alternativas de colheita que levem à sustentabilidade técnica, econômica e ambiental (MALINOVSKI et al., 2006; MACHADO et al., 2014a).

Considerada como a fase final do processo produtivo de madeira, as atividades de colheita apresentam algumas perspectivas positivas. Destaca-se sua importância no cenário socioeconômico do país, além de diminuir a pressão relacionada a exploração sobre florestas nativas (DE FREITAS et al., 2015). A colheita de madeira pode ser considerada uma das etapas mais importantes para o sucesso de uma empresa florestal, visto ser a mais onerosa em se tratando de custo de produção (SCHETTINO et al., 2019).

A colheita florestal é composta por uma série de operações que envolvem etapas como corte, descascamento, processamento, remoção, transporte e descarregamento da madeira no processo fabril, sendo considerada a etapa final do ciclo de operação florestal (SANTOS et al., 2018a). As operações de colheita são realizadas por métodos mecanizados, com o uso de máquinas de elevada capacidade produtiva e alto valor agregado. Portanto, é necessário a racionalização das atividades, de modo a garantir o aumento da produtividade e a redução dos custos, dentro de um planejamento preestabelecido (RODRIGUES et al., 2018).

A otimização dos recursos utilizados na colheita florestal pode garantir a permanência da empresa no mercado competitivo, onde a colheita representa uma parcela importante no custo da madeira. Determinar os tipos de sistemas e equipamentos disponíveis para realizar essa atividade é imprescindível para racionalizar a utilização desses recursos (GONÇALVES, 2011).

Os sistemas de colheita mais utilizados no setor florestal são o de toras longas e o de toras curtas. De acordo com as condições do povoamento florestal e a finalidade do processamento, define-se qual tipo de sistema de colheita florestal será utilizado, e conseqüentemente, os tipos de máquinas que devem ser empregadas no processo (NASCIMENTO et al., 2011).

No Brasil, o mais utilizado para corte de *Eucalyptus* é o sistema de toras curtas, onde todas as atividades complementares ao corte (desgalhamento, destopo, toragem e

descascamento) são realizadas no local de derrubada das árvores. Neste sistema, as toras com até 7 metros de comprimento, são dispostas em feixes e removidas para a margem do talhão formando as pilhas (LINHARES et al., 2012; MALINOVSKI et al., 2014). Dentro do sistema de toras curtas nota-se variabilidade no comprimento das toras, isso é um dos fatores que influenciam na operação de colheita florestal, afetando o rendimento, produtividade da operação, refletindo em perdas econômicas significativas (MEDERSKI et al., 2018; SERPE et al., 2018).

No transporte de madeira, por exemplo, o comprimento das toras é um fator extremamente importante, influenciando na logística de carregamento dos caminhões. Madeiras muito curtas que ficam dispostas de forma incorreta nos compartimentos de carga, podem causar grandes acidentes durante o percurso do caminhão, que se desloca da fazenda até a fábrica (NADOLNY, 2019). Nesse sentido Machado e Lopes (2000), ao estudarem a influência do comprimento da madeira nos custos do transporte, afirmam que, quanto maior o comprimento das toras, menores são os custos do transporte, devido, principalmente, ao melhor aproveitamento da carga sobre os veículos.

Diante desse pressuposto, visando atender maior produtividade na colheita e otimização da caixa de carga dos caminhões no transporte florestal, a empresa de celulose e papel, adotou o comprimento de toras igual a 6,50 metros. Assim, quando são produzidos sortimentos com dimensões padronizadas pelo mercado consumidor, estes podem recusar os produtos caso não apresentem as medidas pré-estabelecidas (OLIVEIRA et al., 2017; BEMBENEK et al., 2015). Dessa forma, para atender os critérios de qualidade estabelecidos do produto final, entregue na fábrica, se faz necessário maior assertividade no comprimento da madeira.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a assertividade do sensor de comprimento de madeira em posições distintas no cabeçote do *Harvester* para garantir precisão no comprimento alvo estabelecido.

2.2 Objetivos específicos

1. Avaliar em qual posição no cabeçote do *harvester* o sensor de comprimento teve a maior precisão: rolo alimentador ou no rolo do peito do cabeçote.
2. Avaliar a influência da peça protetora na assertividade do comprimento da madeira a qual foi alocada no rolo do peito do cabeçote.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Setor florestal

No cenário mundial, o setor florestal tem adquirido grande destaque em produção e contribuição para desenvolvimento econômico, por meio de maiores oportunidades de emprego e constante crescimento no PIB (DE ARAUJO et al., 2017).

A crescente demanda mundial por madeira aliado aos aspectos edafoclimáticos favoráveis contribuem para que o Brasil tenha papel de destaque no cenário mundial, o que proporciona ao país poder de influência nas decisões relacionadas ao setor florestal (LEITE et al., 2013).

A produção florestal brasileira apresenta vantagens quando comparada com a produção florestal de outros países. O Brasil possui a maior produtividade mundial de coníferas e folhosas em plantio de florestas comerciais com foco na produção de madeira (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ARVORES- IBÁ, 2014). Além disso, o setor florestal brasileiro ganhou maior reconhecimento devido à contribuição para economia, desenvolvimento social e ambiental do país (FIEDLER et al., 2017).

Considerando apenas as florestas plantadas, este setor proporcionou uma geração de empregos diretos em 2018 que cresceu quase 1%, para 513 mil, impactando 3,8 milhões de pessoas direta e indiretamente. O setor consolida sua relevância também em dados econômicos nacionais, com uma participação de 1,3% do PIB e 6,9% do PIB industrial, alcançando uma receita total de R\$ 86,6 bilhões (IBÁ, 2019).

No Brasil, a área de florestas plantadas chega a 7,83 milhões de hectares, principalmente com os gêneros de *Eucalyptus*, *Pinus* e *Acácia*. Os plantios de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares desse total, enquanto as áreas com pinus somam 1,6 milhão de hectares, e outras espécies, entre elas seringueira, acácia, teca e paricá, representam cerca de 590 mil hectares (IBÁ, 2019).

O país lidera o ranking de produtividade florestal, com média de 35,7 m³/ha/ano, o que representa quase duas vezes mais a produtividade dos países do hemisfério norte. O mercado florestal destina à fabricação de celulose, papel, energia, carvão, madeira serrada, óleos essenciais e demais subprodutos de origem florestal. Além do desempenho recorde em exportação, com vendas de US\$ 12,5 bilhões, o setor destaca-se como maior exportador mundial de celulose (IBÁ, 2019)

Em relação a produção de celulose, o Brasil se encontra em segundo lugar no ranking mundial, com produção de 21,1 milhões de toneladas, ficando atrás apenas dos Estados Unidos que se destacam com uma produção de 48,3 milhões de toneladas (FAO, 2019). O Brasil é o maior produtor mundial de celulose de fibra curta, sendo a variável clima favorável ao desenvolvimento das diferentes espécies do gênero *Eucalyptus*. Nos demais países produtores, especialmente aqueles de clima temperado, a produção de celulose de fibra longa é maior, pois o clima favorece o desenvolvimento das plantações de *Pinus* (MOREIRA et al., 2017).

Para que seja possível essa produção em grande escala, é necessário que a matéria prima chegue ao processo fabril. Assim sendo, dentro deste setor, uma das atividades consideradas mais importante é a colheita florestal, visto ser a mais onerosa em relação ao custo de produção (FREITAS, 2005).

3.2 Colheita Florestal

Colheita e transporte florestais compreendem todas as operações que tem por objetivo retirar a madeira de dentro da área de efetivo plantio e leva-la até seu local de transformação, com a maior produtividade, menor custo respeitando as leis ambientais (VOLPATO, 2019).

Desta maneira, entende-se que esse processo é um conjunto de operações que envolve corte, extração e transporte (MACHADO, 2014b). A colheita de madeira é um processo que demanda alto custo, portanto, a viabilidade econômica das operações é uma consideração importante no gerenciamento de recursos florestais (SOMAN, 2019).

A crescente demanda por redução de custos operacionais, a escassez de mão de obra e a preocupação com segurança no trabalho são algumas das razões que explicam a expansão da mecanização das operações de colheita florestal (SOARES, 2016). Visando maior aproveitamento e melhor beneficiamento da madeira se faz necessário novas técnicas e aperfeiçoamento das atividades de colheita florestal (JACOVINE et al. 2001). Diante disso, a mecanização florestal se destaca proporcionando vantagens quando comparada aos demais métodos empregados (MOREIRA, 2017; LEITE et al. 2014a)

A colheita mecanizada é um processo contínuo de melhorias nas condições de trabalho e redução do custo final da madeira (SANTOS, 2018b). Além de proporcionar reduções acentuadas em um curto período de tempo, essa técnica pode ser considerada um dos fatores para aumentar a produtividade e redução do trabalho manual no setor (PEREIRA et al., 2015).

Com o grande avanço da mecanização florestal é possível utilizar sistemas na colheita que garantem a produtividade e minimizam os custos operacionais. Esses sistemas devem

atender ao tipo de espécie florestal, idade do povoamento, finalidade a que se destina o produto, condições gerais da área de colheita e, portanto, um sistema que atende a uma série de fatores condicionantes do terreno e do tipo de operação (SILVA et al., 2003).

3.2.1 Sistemas de Colheita Florestal

Os sistemas de colheita podem ser classificados quanto à forma da madeira na fase de extração, ao local onde é realizado o processamento final e ao grau de mecanização (CHO, 2019). Para Machado et al. (2014a) existem alguns sistemas de colheita de madeira: sistema de toras longas (*tree-length*), de toras curtas (*cut-to-length*), árvores inteiras (*full-tree*), sistema de árvores completas (*whole-tree*), e sistemas de cavaqueamento (*chipping*).

O sistema de toras longas envolve o corte e o desgalhamento das árvores no local de abate, transporte das mesmas e posterior processamento à margem da estrada ou no pátio. No sistema de toras curtas, as árvores são cortadas e processadas em toras, com dimensões de acordo com o uso final, no próprio local de abate. No sistema de árvores inteiras (*full-tree*) a árvore é derrubada e levada para a margem da estrada ou para o pátio intermediário, onde é processada. O sistema de árvores completas (*whole-tree*) a árvore é arrancada com parte de seu sistema radicular e levada para a margem da estrada ou para o pátio temporário, onde é processada. Já no sistema de cavaqueamento (*chipping*) a árvore é derrubada e processada no próprio local, sendo levada em forma de cavacos para um pátio de estocagem ou diretamente para a indústria.

Os principais modelos de sistemas de colheita mecanizada utilizados são: motosserra com mini *skidder*; motosserra com auto carregável; motosserra com guincho; *harvester* com *forwarder*; *feller-buncher* com *skidder* e processador; *feller-buncher* com *skidder* e grade desgalhadora; *feller-buncher* com *skidder* em conjunto com *delimber* e *slasher*; *slingshot* com *forwarder* (MACHADO, 2014b).

Os modelos mais utilizados pelas empresas florestais para o sistema de toras longas é a combinação de “*Skidder* com *Feller-buncher*” sendo considerada bem representativa, enquanto que o módulo “*Harvester* com *Forwarder*” trabalha em um sistema de colheita com processamento das árvores no local de abate, ou seja, utilizado no sistema de toras curtas (*cut-to-length*) (LIMA e LEITE 2008).

Neste trabalho, a operação é realizada no sistema de toras curtas, e os principais maquinários utilizados são o *Harvester*, para corte, e o *Forwarder* para remoção da madeira.

3.2.2 Corte florestal

A primeira etapa da colheita florestal é o corte das árvores, essa operação expressa importância significativa para as próximas etapas, pois nessa fase ocorre o preparo inicial da madeira, influenciando nas operações posteriores. O corte envolve operações de derrubada, desganhamento, traçamento e empilhamento (SANT'ANNA, 2014). Como toda operação é realizada no campo, alguns fatores ambientais podem interferir na produtividade da operação.

Dentre os diversos fatores que influenciam o corte, os principais são: a declividade do terreno, o diâmetro das árvores, a densidade do povoamento, a situação do sub-bosque, o tipo de equipamento utilizado, a capacidade e treinamento do operador e principalmente o nível de segurança que esta operação fornece (SALMERON, 1980; LEITE et al., 2014b).

O corte florestal é considerado uma etapa de elevado risco de acidentes, onde os operadores ficam expostos às condições climáticas, em diferentes tipos de terreno e de florestas, sujeitos ainda a acidentes com animais peçonhentos (CANCELA, 2013). Além de exigir grande esforço físico do operador e apresentar problemas com ergonomia. (SANTOS, 2014). Diante desse cenário fez-se necessário a mecanização do setor florestal.

As máquinas utilizadas no corte florestal irão depender do objetivo da operação e principalmente da área de colheita, ressalta-se a forte inserção da mecanização no setor de colheita florestal, isso se dá devido a produção intensiva. Portanto, é importante ressaltar que o elevado custo de aquisição faz com que aumente a preocupação das empresas nos indicadores de disponibilidade mecânica e eficiência operacional (PAGNUSSAT et al., 2019)

Fatores como, alto rendimento individual, ergonomia, segurança do operador e possibilidade de trabalho em turnos variados são algumas das vantagens do corte mecanizado. Porém, algumas limitações interferem nesta operação, como por exemplo, declividade do terreno, limitação do diâmetro de corte (máximo), alto investimento inicial, e estrutura especializada de manutenção (SIMÕES e FENNER, 2010).

As principais máquinas utilizadas nessa etapa são *Harvester*, cuja finalidade é cortar e processar árvores dentro das florestas e *Feller Bunch*, que através de um “abraço hidráulico”, corta e acumula as árvores, antes do tombamento (VIEIRA et al., 2016).

3.2.3 Extração florestal

A extração florestal é a operação de remoção da madeira do local em que houve o corte até a margem do talhão, estradas, carreador local, pátio intermediário ou local de

processamento, podendo ser feita de forma manual, com animais ou mecanizada. A extração manual e semimecanizada é utilizada principalmente em regiões declivosas, devido à impossibilidade de entrada de máquinas e ausência de equipamentos adequados (SEIXAS et al., 2014).

Dependendo da forma como a remoção ocorrerá define-se dois processos de extração: Baldeio e Arraste. Esses dois processos de extração se diferem dependendo do tipo de equipamento que será utilizado, carga extraída e a forma como será realizada a extração (SEIXAS et al., 2014).

O baldeio florestal consiste no transporte de toras do meio do talhão por meio de veículos com plataforma de carga. As principais máquinas empregadas são os Forwarders e tratores agrícolas auto carregáveis (CANTO et al., 2006; MALINOVSKI et al., 2014; ZAGONEL, 2005). Outro processo de extração utilizado é conhecido como arraste, sendo definido quando ocorre o contato parcial ou total da madeira com o terreno (BERTIN, 2010). Cada empresa adota o sistema de extração em função de suas características ou limitações como, por exemplo, a topografia, a disponibilidade de capital, e demais fatores envolvidos.

É necessário um planejamento detalhado, pois essa etapa é considerada uma das mais críticas da colheita florestal. Com isso é necessário otimizar o sistema de trabalho empregando equipamentos que atendem de maneira efetiva essa operação (BANTEL, 2006).

Conhecer todos os fatores que interferem nessa etapa com o intuito de minimizar o custo dessa operação, garantem a viabilidade das operações florestais. Os principais fatores são o tempo de ciclo da operação, carregamento, descarregamento, número de viagens por hora, disponibilidade mecânica, capacidade de carga, custo com salários, máquinas e materiais (MALINOVSKI et al., 2006).

Nessa etapa, é importante ressaltar também alguns parâmetros que podem influenciar na operação como por exemplo o sentido de fluxo de remoção, capacidade de arraste, topografia, declividade, espaçamento de linha e entrelinha, disposição dos feixes, tipo e capacidade de suporte do solo, performance do operador, distancia de remoção, comprimento de tora e volume por hectare (MACHADO, 2014b).

Outro fator determinante é o local onde ocorrerá a disposição da madeira que será removida, após o corte. Essa tomada de decisão e planejamento é definido juntamente com outro segmento da colheita que é o transporte florestal. O local estabelecido para que a remoção ocorra é justamente locais estratégicos, que possibilitem o tráfego dos caminhões, sendo possível o carregamento e o transporte da madeira para a fábrica (GARBIN et al., 2017).

3.2.4 Transporte Florestal

As etapas de colheita e transporte são consideradas atividades de suma importância, pois chegam a representar grande parcela dos custos totais da madeira posta na indústria (SILVA et al., 2014). Essas atividades chegam a representar 60% dos custos de produção de uma floresta, dessa forma são consideradas atividades chave para garantir a rentabilidade florestal (DINIZ et al., 2018).

O transporte florestal é etapa final do ciclo de colheita florestal, sendo caracterizado por dois importantes processos: o carregamento e descarregamento da madeira. O carregamento refere-se à operação em que a madeira é colocada no veículo de transporte, sendo o meio de ligação entre a extração e o transporte principal. Enquanto o descarregamento ocorre quando se retira a madeira do veículo de transporte no local de utilização final, pátios ou unidades de processamento (DA ROCHA et al., 2007). Os principais fatores no carregamento e descarregamento são: comprimento das toras, peso específico da madeira, fator de empilhamento, volume do feixe e organização da pilha de toras, área útil da garra, tempo de ciclo da grua, e disponibilidade dos veículos de transporte (MINETTE et al., 2015).

Empresas florestais enfrentam dificuldades no controle da carga e na correta distribuição do peso sobre os eixos dos veículos. Isso ocorre devido aos diferentes tipos e volumes, espécies e comprimentos de madeira transportada (DA SILVA LOPES et al., 2016). Outro fator está relacionado às estradas e malhas viárias, pois influencia significativamente no valor final do produto (ZAGONEL et al., 2008), uma vez que uma maior extensão e qualidade de estradas permite uma redução nos custos de produção. Porém, a construção de elevada densidade de estrada, pode ocasionar um investimento excessivo e perda de área produtiva (SOUZA et al., 2018).

É necessário ter um planejamento inicial feito na floresta, em termos da dimensão dos talhões, densidade e qualidade da rede viária, determinar a distância de transporte e condicionar a escolha do sistema de transporte mais adequado a fim de condicionar a rede viária necessária (CARMO, 2013). As variáveis que consomem maior tempo do ciclo operacional estão relacionadas ao deslocamento, ressalta-se que a distância média de transporte pode afetar diretamente nos custos finais do processo (DINIZ, 2020).

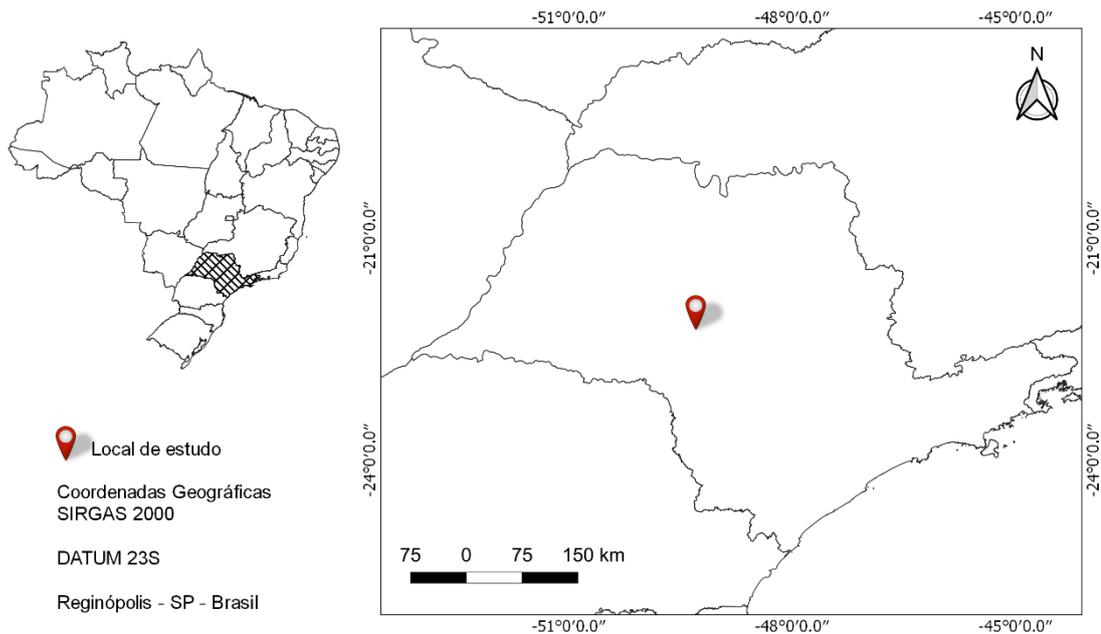
Nesse contexto, a busca pela redução de custos e otimização da etapa de transporte é fundamental, pois este representa um dos principais fatores na composição dos custos, justificando a busca pela eficiência e qualidade em todas as fases do processo (BERGER et al., 2003; RODRIGUES, 2007).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

Este estudo foi realizado em uma área de plantio comercial de eucalipto de uma empresa florestal localizada no município de Reginópolis no centro-oeste do estado de São Paulo (Figura 1), entre as coordenadas geográficas $49^{\circ} 11' 31,761''$ O e $21^{\circ} 59' 9,586''$ S, no fuso 23S. De acordo com a classificação climática de Köppen, adaptada por Alvares et al., (2013) o clima é do tipo Cfa, com uma temperatura média de 21.7°C , sendo a média anual pluviométrica de 1186 mm.

Figura 1 - Área de estudo



Fonte: Do autor (2020)

A área da propriedade é composta por 740,78 hectares sendo o plantio comercial de eucalipto correspondente a 537,40 hectares, destinado a fabricação e exportação de polpa celulósica.

4.2 Sistema de colheita

O sistema de colheita utilizado pela empresa é o de “Toras curtas” (Cut-to-length). As operações de derrubada e de processamento das árvores são realizadas pelo *harvester*. Após

corte, a extração da madeira é realizada por tratores agrícolas autocarregáveis, os *forwarders*, que remove a madeira na forma de “baldeio”, do interior do talhão até a beira da estrada, descarregando em pilhas. Em sequência, ocorre o carregamento da madeira sobre os veículos de transporte, o qual é realizado por tratores agrícolas equipados com gruas hidráulicas (MANGOYANA, 2011; LOPES et al., 2016). A utilização dessas máquinas permite a mecanização de grandes áreas florestais, aumentando o rendimento operacional e a segurança dos operadores (MAGALHÃES e KATZ, 2010).

4.3 Harvester

O *harvester* é uma máquina auto propelida, podendo ser de esteiras ou pneus, com capacidade de realizar o corte e processamento das árvores dentro da floresta. É composto por um cabeçote e um braço hidráulico que faz a função de posicionamento na árvore, conduzindo a derrubada e finalmente o corte e processamento (GUEDES et al., 2017). Os principais componentes de um cabeçote são suas facas, vertical, frontais direita e esquerda e, traseiras direita e esquerda, os rolos que são responsáveis por alimentar o cabeçote e fazer o movimento no fuste, e o sabre, que realiza os cortes de derrubada e traçamento.

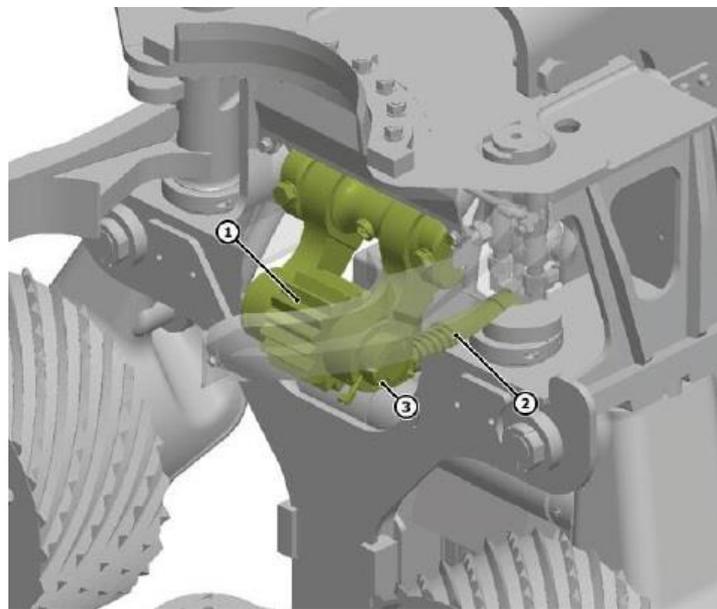
Neste trabalho, a máquina base utilizada foi John Deere 2144G, sobre esteiras, adicionada de um motor John Deere 6 cilindros, 159 HP, a 1800 RPM com capacidade de 585 L. O peso operacional é de 25 t com lança padrão de 8,500 m e lança de longo alcance de 8,310 m (JOHN DEERE, 2017). Sendo equipada com um cabeçote H215E com capacidade máxima de corte de 550 mm e abertura máxima de rolos 550 mm e massa 1.690 Kg e com previsão de vida útil de 30.000 h. Os cabeçotes ainda vem equipados com sensores que medem o diâmetro e comprimento dos fustes (WARATAH, 2017).

O sensor de comprimento no cabeçote do *Harvester* permite garantir a assertividade no processamento das toras. Para avaliação, o sensor foi acoplado no rolo do peito do cabeçote e no rolo alimentador, e uma peça protetora foi acoplada no rolo do peito que visa a manutenção de suas peças durante a operação de corte. Uma vez que o processamento ocorre de forma automática, o sensor auxilia na exatidão e precisão do comprimento das toras, durante a operação.

4.4 Dispositivo de medição de comprimento

Dispositivo de medição de comprimento é composto por mola e roda de medição (1) que também faz parte do descascamento de boa qualidade. As facas de descascamento e os braços de rolos de alimentação pressionam a árvore contra a roda de medição (1), e o braço articulado (2) mantém a roda carregada contra a árvore. Durante a alimentação, o sistema de medição converte o sinal do sensor em comprimento. O dispositivo de medição de comprimento possui também os seguintes componentes que mantem o fio do sensor bem protegido, que é a conexão dos cabos e cabeça do sensor (3).

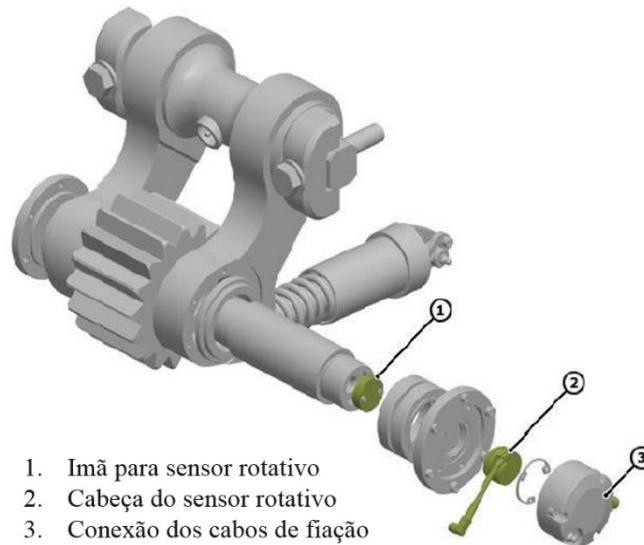
Figura 2 - Dispositivo de medição de comprimento



Fonte: Waratah (2017)

O sensor de medição foi acoplado em duas posições distintas, sendo no rolo do peito do cabeçote e no rolo alimentador. Com o sensor instalado no braço da roda de medição (rolo do peito), a medição de comprimento é realizada com medições de ângulo sem toque, calculadas a partir de rotação da roda de medição de comprimento. Um ímã de posição gira junto com a roda, diante da área de captação da cabeça do sensor. O ímã de posição (1) e a cabeça do sensor (2) são alinhados entre si utilizando a placa de reação como divisor.

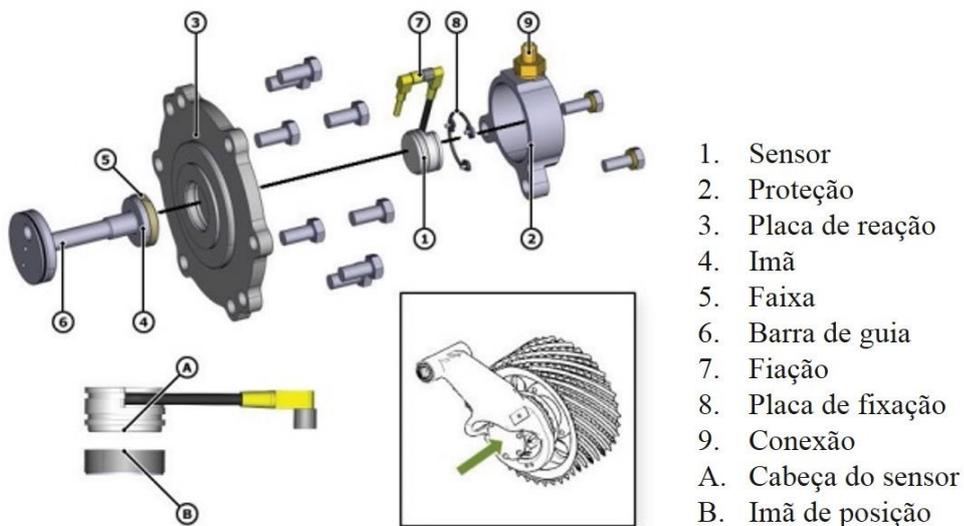
Figura 3 - Sensor de comprimento acoplado no peito do cabeçote.



Fonte: Waratah (2017)

O sensor instalado no motor de alimentação (rolo alimentador) a medição de comprimento segue o mesmo princípio, sendo realizada com medições de ângulo sem toque, porém são calculadas a partir da rotação do motor de alimentação. Um imã de posição gira junto com o motor de alimentação, diante da área de captação da cabeça do sensor. A cabeça do sensor (A) e o imã de posição (B) são alinhados entre si utilizando a placa de reação como divisor.

Figura 4 - Sensor de comprimento acoplado no rolo alimentador.



Fonte: Waratah (2017)

4.5 Amostragem

Para inferir estatisticamente sobre as operações o número de amostras foi definido de acordo com a equação 1 proposta por Conaw (1977). Assim foi definido o número mínimo de medições necessárias para proporcionar um erro de amostragem máximo de 10%.

$$n \geq \frac{t^2 * s^2}{e^2} \quad Eq (1)$$

Sendo:

n = número mínimo de medições necessários;

t = valor de t, para o nível de probabilidade desejado (n-1) graus de liberdade;

s = desvio padrão da amostra; e

e = erro admissível, em porcentagem (10%).

Ao observar o ciclo de trabalho e o desempenho da operação, o número de árvores processadas por turno em média é de 450, dessa forma foi possível a partir da amostragem, definir o número mínimo de dados de comprimento de madeira para cada tratamento, sendo 45 amostras por dia em cada tratamento, ou seja, 45 medições de comprimento das toras processadas. Foram elaborados formulários específicos, sendo o operador responsável pela coleta de dados.

4.6 Coleta de dados

Os dados foram coletados no período de 22 de agosto a 08 de outubro de 2019 na área de colheita florestal da empresa. Sendo o operador responsável por realizar as medições das toras que efetuou o corte, cujo comprimento alvo estabelecido das toras de 6,50 metros. Os dados foram obtidos somente por quatro operadores, representando cada tratamento. Nesta empresa, a jornada de trabalho é realizada por meio de turnos de 8 horas, sendo representadas pelas letras de serviço A, B, C e D. Para este trabalho, definiu-se quatro operadores da letra de serviço C.

Após a amostra piloto foi definido o número mínimo de mensuração das toras, sendo o correspondente a 45 toras. A cada uma hora e meia de operação, o operador anotava em um

formulário de campo o comprimento de 20 toras processadas, com o auxílio de uma trena e um formulário para coleta de dados. Esse mesmo procedimento foi feito para os quatro tratamentos.

As medições ocorreram intercalando os feixes de madeira e foram amostradas aleatoriamente 4 toras por feixe avaliado. Ao final do teste, foram realizadas um total de 8373 medições. Conforme fluxograma da figura 5:

Figura 5 - Fluxograma do procedimento de medições das toras.



Fonte: Do autor (2020)

Para reduzir interferências, no sistema de corte, todas as máquinas estavam com a mesma configuração do sistema. Foram selecionadas quatro máquinas para avaliação definidas como tratamento 1, 2, 3 e 4 conforme apresentado na tabela 1:

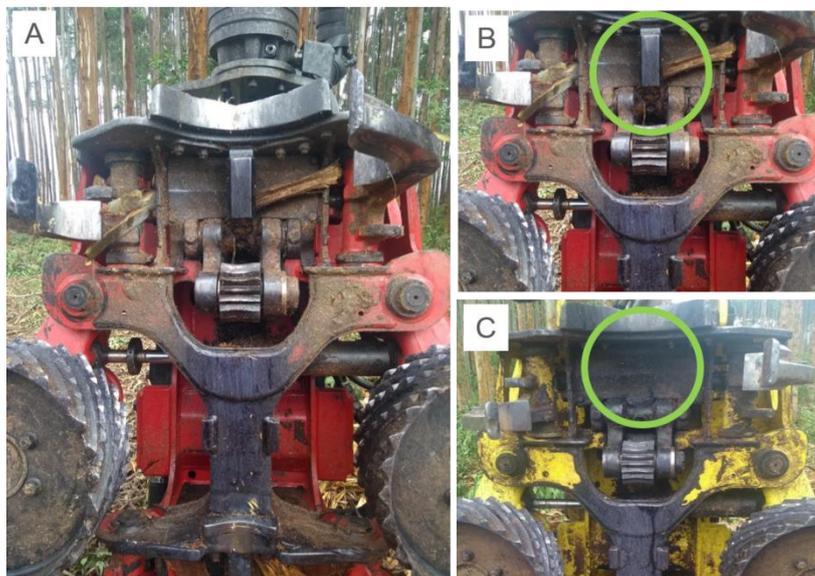
Tabela 1 - Descrição dos tratamentos

Tratamento	Localização do sensor de comprimento
T1	Peito do cabeçote sem peça protetora
T2	Peito do cabeçote com peça protetora
T3	Rolo alimentador sem peça protetora
T4	Rolo alimentador com peça protetora

Fonte: Do autor (2020)

Para realização desse trabalho foi alocado uma peça protetora no cabeçote do *harvester* a fim de observar a influência na assertividade do comprimento, sendo a mesma representada na Figura 6.

Figura 6 - Alocação da peça protetora no cabeçote do *harvester*. A: Cabeçote; B: Cabeçote com peça protetora e C: Cabeçote sem peça protetora



Fonte: Do autor (2020)

4.7 Análise estatística

Os dados coletados para análise de variância (ANAVA), foram realizados sob um delineamento inteiramente casualizado. Para avaliação das variáveis cada máquina foi considerada como um tratamento. Foram coletadas em média 2000 amostras em cada tratamento. Em seguida, foi utilizado o software SISVAR 5.6 nos procedimentos estatísticos, em que inicialmente procedeu-se a análise de variância (ANAVA) do tipo fator único tendo como variáveis resposta, comprimento e, as máquinas ou tratamentos como variável independente. A partir do quadro de Anava, foi empregado o teste F e em seguida foi realizado o teste de Tukey e Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Os dados foram apresentados por meio de cartas de controle, utilizando o Controle estatístico de processo (CEP) a fim de identificar pontos errôneos no comprimento das toras, as quais podem estar relacionadas com a influência do posicionamento do sensor e a peça protetora acoplada. No trabalho, cada posição do sensor no cabeçote e alocação da peça protetora foi considerada como um tratamento.

Nas análises de carta CEP, os valores encontrados dentro dos limites da amplitude móvel são considerados aceitáveis. Para evitar valores negativos no Limite inferior de controle (LIC), o mesmo foi considerado como valor nulo (LIC=0, para a carta de valores individuais e LIC=1, para a carta de amplitude móvel). Para estimar as linhas médias e os limites dos gráficos

de controle, foram usadas as equações 1, 2 e 3, propostas por Molnau, Montgomery e Runger (2001).

$$X = \mu \quad Eq (1)$$

$$UB = \mu + 3\sigma/(c^2\sqrt{n}) \quad Eq (2)$$

$$LB = \mu - 3\sigma/(c^2\sqrt{n}) \quad Eq (3)$$

As análises CEP foram realizadas no software Minitab. Para tanto, foram inseridos os dados extraídos dos formulários e tabulados em planilhas eletrônicas. As cartas resultantes das análises CEP foram do tipo X BAR S, apresentadas de duas formas: uma considerando as médias das amostras coletadas e outra em relação ao desvio padrão das amostras, conhecido como gráfico de alcance.

Para identificação de erros no processo foi necessário estabelecer um limite médio, e neste estudo foi estabelecido 6,50 metros e uma tolerância de variabilidade igual 40 centímetros inferior ou superior em relação ao alvo, definido como limite inferior (LI) e superior (LS), respectivamente.

A fim de verificar a variação dos dados em relação ao alvo estabelecido, a distribuição de frequência por classe é utilizada, sendo a associação das respectivas frequências a todos os distintos valores observados da variável em estudo. A representação adequada de variáveis quantitativas contínuas dá-se através da construção de classes de frequências. O histograma também pode ser usado em algumas situações para representar a distribuição de frequências de uma variável quantitativa discreta (GONÇALVES, 1978).

O gráfico de frequência de classe permite mostrar a variação nos comprimentos das toras com valores de tolerância estabelecidos. A tolerância é a variação em centímetros permitido pela empresa em que o comprimento de toras pode apresentar em relação ao target ou alvo estabelecido pela mesma, ou seja, valores superiores ou inferiores ao target. Neste trabalho, o target estabelecido foi de 6,50 metros, e o valor de tolerância permitido, ou seja, de variação no comprimento de toras é de 20 centímetros. Dessa forma, o comprimento das toras não pode apresentar valores acima de 6,70 e nem valores abaixo de 6,30 metros.

No gráfico de frequência por classe, estabeleceu-se valores de tolerância iguais a 10, 20 e 40 centímetros, a fim de verificar a variação do corte de madeira em cada tratamento em diferentes níveis de tolerância estabelecida. Dessa forma, pode-se verificar a variabilidade do corte em cada tratamento, em porcentagem, e a frequência que cada tratamento possui dentro

da tolerância do target. A análise foi realizada no software Excel 2013 com os dados correspondente as medições de comprimento de cada tratamento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2, são apresentados os resultados referentes a 8.373 medidas de comprimento de toras. Nessa tabela são demonstrados os resultados de cada tratamento, como o número de dados coletados, e comprimento médio correspondente.

Tabela 2 - Valores relativos ao comprimento da madeira em cada tratamento

Tratamentos	Menor comp.	Maior comp.	Amplitude	Comp. médio	Nº de amostras
T1	4,90	7,00	2,10	6,46	2207
T2	6,01	6,97	0,96	6,42	2195
T3	5,53	6,99	1,46	6,46	2061
T4	5,82	7,02	1,20	6,42	1910

Fonte: Do autor (2020)

*Comp.=comprimento

Conforme observado na tabela 2, os tratamentos T1 e T3 (sem a peça protetora) tiveram maior assertividade em relação aos tratamentos com a peça protetora. A partir desses resultados, ressalta-se que a peça protetora tem influência no comprimento final das toras.

Os tratamentos com peça protetora apresentaram valores mais distantes do alvo estabelecido (6,50 m) quando comparadas aos demais. Isso pode ter ocorrido pois, nas operações com a peça protetora foram observadas maiores quantidades de cascas presas na peça. Como a madeira processada é destinada à produção de polpa de celulose, é necessário que as toras não apresentem casca, dessa forma neste sortimento são realizadas duas ou mais passadas dos rolos do cabeçote, de forma a realizar o descascamento da madeira. Nesses casos o operador interrompe o movimento do rolo retornando depois de tracionar ao fuste, esse movimento de vai-e-vem pode alterar a medição do fuste a ser processado pelo equipamento (JACOVINE et al., 2005). Nesse sentido analisando a qualidade de processamento de madeira em dois sistemas mecanizados Rosa et al., (2014) observaram esses mesmos fatores na qualidade final de corte da madeira.

Mesmo apresentando valores inferiores aos tratamentos sem a peça protetora, ressalta-se que aplicação da peça está na redução de custos. Pois, o objetivo da alocação está mais relacionado as vantagens que essa peça traz para a manutenção de peças do rolo e, não sua influência sobre a sensibilidade da medição do comprimento de madeira no cabeçote. A manutenção é vista como uma das atividades fundamentais na produção, sua correta aplicação evita paradas operacionais contribuindo para maior disponibilidade mecânica produtividade e redução dos custos (BROWN e DINIZ, 2017).

De forma a avaliar estatisticamente os tratamentos, na tabela 3 são apresentados análise de variância e testes de média pelo teste de Tukey e Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 3 - Teste de média (Tukey e Scott-Knott)

FV	GL	SQ	QM	Fc
TRATAMENTO	3	3.431184	1.143728	56.281
Erro	8129	165.195031	0.020322	
CV (%) =	2.21			

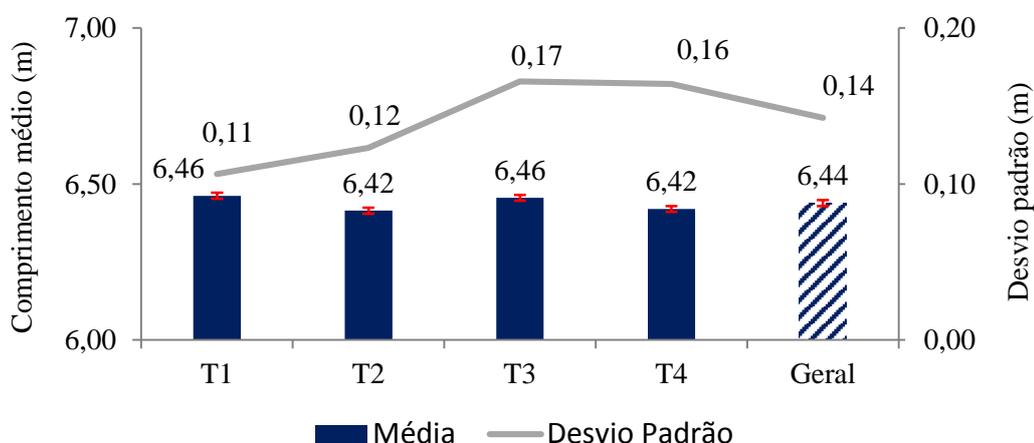
Tratamentos	Médias	Resultados do teste
T2	6.416	a1
T4	6.420	a1
T3	6.455	a2
T1	6.462	a2

Fonte: Do autor (2020)

A partir das médias apresentadas na tabela 3 pode ser observado que os tratamentos 2 e 4 (com peça protetora) não se diferenciam entre si. E os tratamentos 1 e 3 (sem peça protetora) não se diferenciaram estatisticamente. Os tratamentos com peça protetora diferiram estatisticamente dos tratamentos sem peça protetora. Além disso os tratamentos sem a peça protetora apresentaram médias próximas do alvo estabelecido.

Em relação aos dados de maneira geral, na figura 7 são demonstrados os resultados do comprimento médio e o desvio padrão existente entre os tratamentos.

Figura 7 - Comprimento médio e desvio padrão



Fonte: Do autor (2020)

Os tratamentos 1 e 3 apresentaram médias iguais a 6,46 metros e os tratamentos 2 e 4 médias correspondente a 6,42 metros. Porém, ao analisar o desvio padrão entre os tratamentos, aqueles que estavam com o sensor acoplado no peito do cabeçote, T1 e T2, apresentaram menores desvios enquanto os tratamentos com o sensor acoplado no rolo alimentador, T3 e T4, tiveram desvio padrão maiores. Como o desvio padrão é uma medida de dispersão e o seu valor reflete a variabilidade das observações em relação à média, tratamentos com menor desvio possuem menor variabilidade entre os dados (LUNET, 2006). Dessa forma, o sensor acoplado no peito do cabeçote teve menor variabilidade dos dados. Diante dos quatro tratamentos, o tratamento 1, teve menor desvio padrão e a média mais próxima do alvo estabelecido cujo sensor está localizado no rolo do peito do cabeçote.

O fato da madeira girar durante o descascamento pode ser um fator limitante para o bom funcionamento do sensor no rolo alimentador. No trabalho de Dietz e Urbanke (2013) mostraram que os erros obtidos no comprimento das toras podem ser associados à ferramenta de medição do cabeçote, que ocorre pela contagem do número de giros realizados pelo rolo de medição durante o processamento da madeira. O giro da madeira acontece pela ação dos rolos alimentadores com suas lâminas em helicóide, simétricas, e pela resistência do deslocamento da madeira dentro do cabeçote. Esses dois pontos criam uma equação única e necessária ao descascamento eficaz.

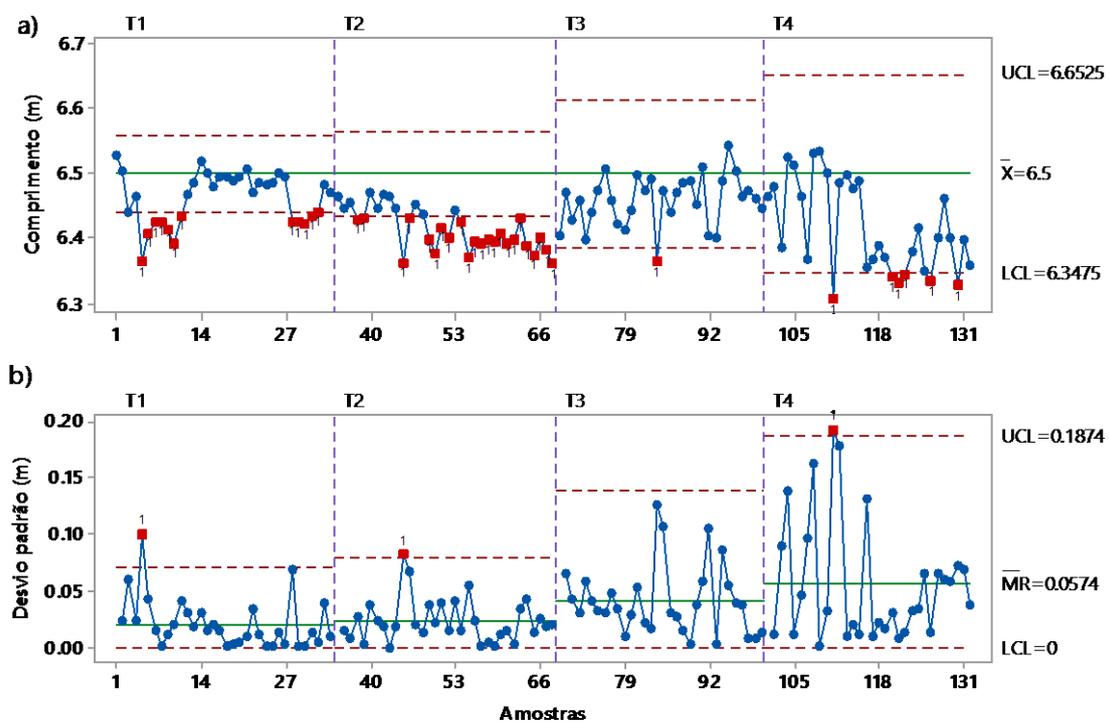
O rolo alimentador tem atrelado ao seu eixo o sensor de medição de comprimento, portanto mede cada movimento que o rolo produz. Desse modo com o giro da árvore o rolo vai medir em helicóide, neste processo o comprimento linear pode ser prejudicado por fatores como diâmetro do fuste e o quanto a árvore gira.

Além disso o movimento do rolo de tração faz a madeira patinar implicando em erro no comprimento. Dessa forma, árvores com diâmetro maior podem apresentar comprimento abaixo do estabelecido e árvores de menor diâmetro tendem a ter toras mais compridas. Este fenômeno não pode ser ajustado no sistema de controle da máquina, uma vez que os pulsos de medição chegam normalmente ao computador de bordo.

A proposta de um dispositivo de medição separado (rolo do peito do cabeçote), que não esteja atrelado à tração da árvore, garante maior precisão na medição, pois elimina os erros ocasionados pelo giro da madeira.

Afim de analisar a variabilidade dos dados entre os tratamentos, na figura 8 são apresentadas as análises pelo método de Controle Estatístico de Processo (CEP). A carta CEP é um ramo da estatística, usado para monitorar e controlar processos. (YOUSEFI et al., 2019). Aplicação das cartas CEP contribuem na detecção das variações de desempenho e identifica fatores importantes que afetam o processo (OAKLAND, 2007).

Figura 8 - Carta de controle de qualidade de processo, a: média dos pontos amostrais b: desvio padrão.



Fonte: Do autor (2020)

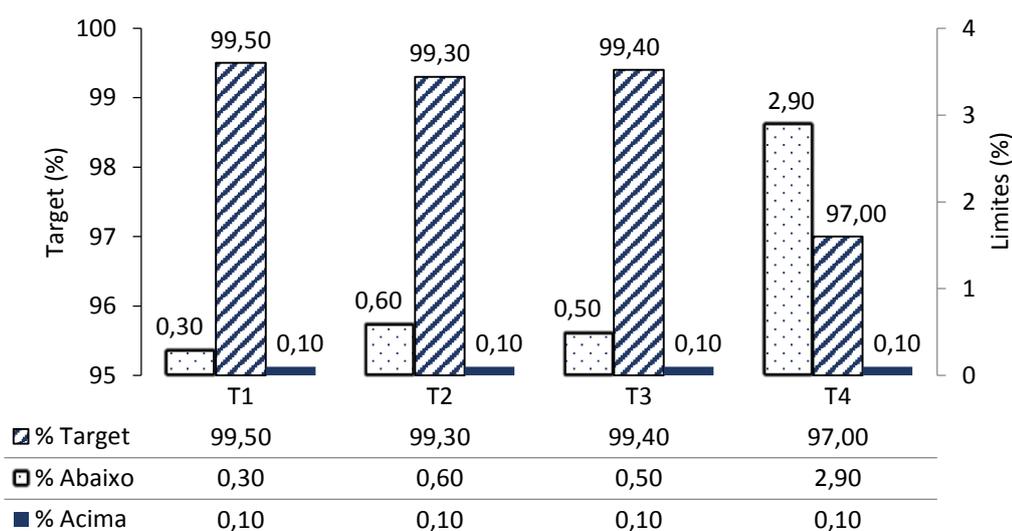
Os tratamentos 1 e 2 apresentaram muitos pontos abaixo do LI sendo considerados tratamentos com menor exatidão (Figura 8). Porém, são considerados precisos pois possuem maior frequência na média e menor variação entre os dados.

Os tratamentos 3 e 4 tiveram menos pontos fora do limite de tolerância, o que significa estarem no padrão estabelecido. Entretanto, apresentaram maior variação em relação à média, neste caso são considerados menos precisos devido à alta variabilidade. A exatidão e precisão do comprimento alvo é influenciada diretamente pela operação. Pontos fora da curva em relação à média, como pode ser notado nos tratamentos 1 e 2, podem ser trabalhados de forma que se amenizem, pois, o desvio padrão é menor. Além disso é importante ressaltar que apesar de serem menos exatos, os tratamentos estão dentro da tolerância permitida de 40 centímetros.

É comum que empresas adotem um intervalo ou uma margem de tolerância em relação ao comprimento alvo estabelecido, como uma margem de erro, mínima e máxima. Para atender de forma contínua os critérios de qualidade e maior frequência de toras com comprimento padrão. As figuras a seguir mostram a distribuição dos dados com margem de erro de 10, 20 e 40 centímetros em relação ao alvo estabelecido de 6,50 m mostrando a variação dos comprimentos das toras processadas nos diferentes tratamentos.

Na figura 9 são apresentadas as distribuições dos tratamentos em relação a tolerância estabelecida de 40 centímetros. Em que, target: alvo estabelecido (6,50 m); abaixo: limite inferior (6,10 m) e acima: limite superior (6,90 m).

Figura 9 - Distribuição de frequência com tolerância de 40 cm.

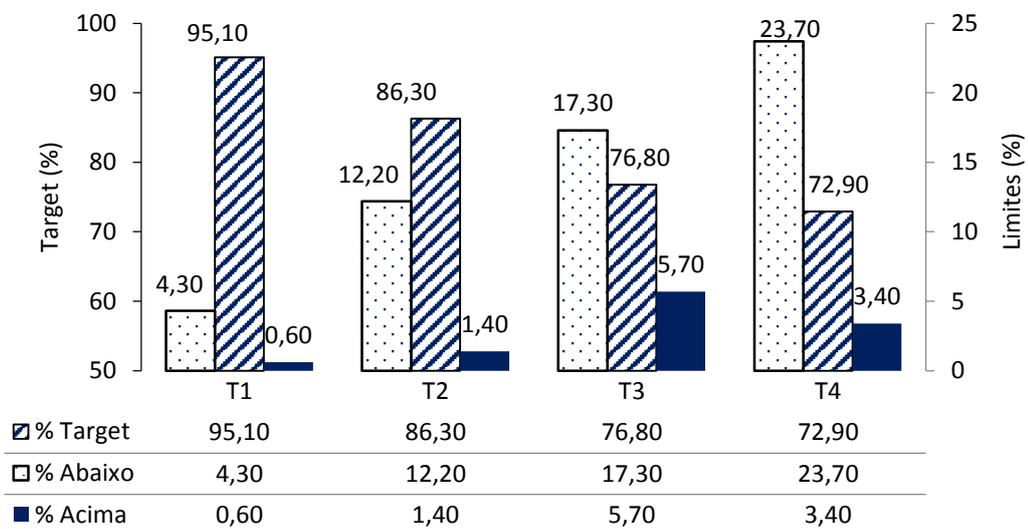


Fonte: Do autor (2020)

Ao estabelecer 40 centímetros de tolerância, os tratamentos apresentaram frequência dentro do estabelecido (target), que corresponde a 99.5%, 99.3% 99.4% e 97% sendo os tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Isso significa que os tratamentos ultrapassam com pouca frequência toras acima de 6,90 metros e abaixo de 6,10 metros.

Na figura 10 são apresentadas as distribuições dos tratamentos em relação a tolerância estabelecida de 20 centímetros. Em que, target: alvo estabelecido (6,50 m); abaixo: limite inferior (6,30 m) e acima: limite superior (6,70 m).

Figura 10 - Distribuição de frequência com tolerância de 20 cm.

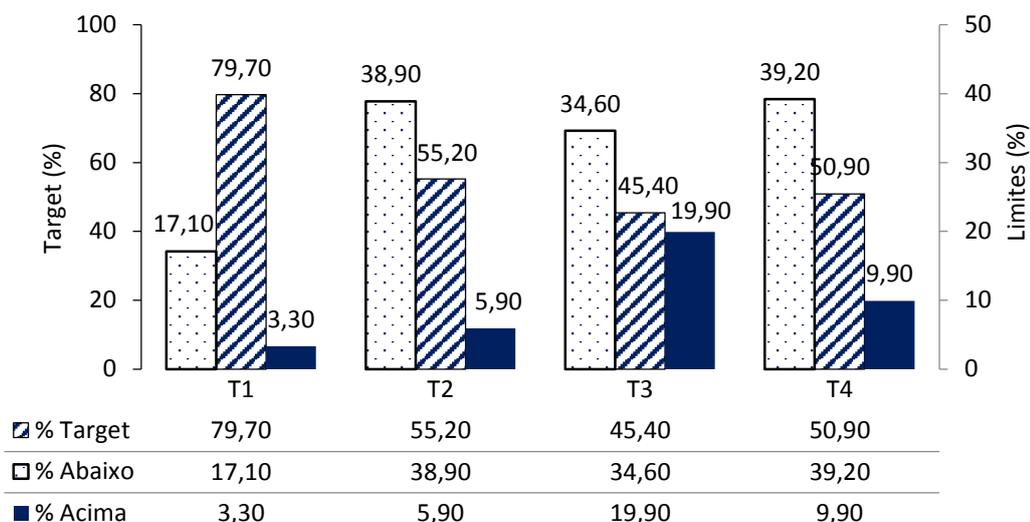


Fonte: Do autor (2020)

Ao diminuir a tolerância para 20 centímetros pode ser observado uma queda nos valores de frequência dentro do estabelecido (target). Nessa análise destaca-se o tratamento 1, com maior frequência dentro do target estabelecido, cerca de 95.1%. É importante salientar que este tratamento tem o sensor acoplado no rolo do peito do cabeçote. Confirmando ser o tratamento com maior assertividade no corte de madeira.

Na figura 11 são apresentadas as distribuições dos tratamentos em relação a tolerância estabelecida de 10 centímetros. Em que o target: alvo estabelecido (6,50 m); abaixo: limite inferior (6,40 m) e acima: limite superior (6,60 m).

Figura 11 - Distribuição de frequência com tolerância de 10 cm.



Fonte: Do autor (2020)

A frequência dos dados em relação ao target diminui com a redução da margem de tolerância que se estabelece. Dentre todas as tolerâncias estabelecidas nota-se que a frequência de comprimento de toras abaixo do target é maior quando comparadas a frequência de comprimento acima do target. No trabalho de Mederski et al. (2018) avaliando a precisão do comprimento do tronco e eficiência do colhedor no processamento de carvalhos explicam que toras com comprimento inferior ao esperado ocorrem devido ao movimento inverso dos rolos de alimentação com as facas parcialmente abertas.

Observando os resultados da figura 11 nota-se que o tratamento 1 mantém com maior frequência quando comparados aos demais, com 79,70% das toras medidas estão dentro do alvo estabelecido.

6 CONCLUSÃO

Diante dos resultados, o sensor acoplado no rolo do peito do cabeçote sem a peça protetora teve maior precisão e assertividade no comprimento da madeira. A avaliação acerca da peça protetora demonstrou que não houve impacto significativo na precisão da operação de corte de madeira, conforme resultados apresentados no tratamento 2. Porém, cabe uma análise financeira, avaliando se a instalação da peça protetora auxilia na redução de custo com manutenção de peças do rolo, viabilizando a utilização da proteção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

BANTEL, C. A. **Análise de extração de madeira de eucalipto com forwarder em floresta de primeira e segunda rotação**. 2006. 126 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

BEMBENEK, M. et al. Length accuracy of logs from birch and aspen harvested in thinning operations. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 39, n. 6, p. 845-850, 2015.

BERGER, R. et al. Minimização de custos de transporte florestal com a utilização da programação linear. **Revista Floresta**, v.33, n.1, p.53-62, 2003.

BERTIN, V. A. S. **Análise de dois modais de sistemas de colheita Mecanizados de eucalipto em 1ª rotação**. 2010. 82 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2010.

BROWN, R. O.; DINIZ, C. C. C. Colheita florestal e manutenção de equipamentos móveis. Anais da I Semana de Aperfeiçoamento em Engenharia Florestal da UFPR. **Anais...** Curitiba (PR): UFPR, 2017.

CANCELA, K. C. **Análise de programas de prevenção de riscos ambientais de empresas de colheita florestal**. 2013. 72 p. Monografia (Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2013.

CANTO, J. L. do; MACHADO, C. C.; GONTIJO, F. M. Colheita e transporte florestal em propriedades rurais fomentadas no Estado do Espírito Santo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 6, p. 989-998, nov./dez. 2006.

CHO, Min-Jae et al. Comparison of Productivity and Cost between Two Integrated Harvesting Systems in South Korea. **Forests**, v. 10, n. 9, p. 763, 2019.

CONAW, P.L. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. 264p.

CARMO, F. C. A. et al. Análise da densidade ótima de estradas florestais em propriedades rurais. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 451-459, 2013.

DA ROCHA, E. B. et al. Estudo de tempo e movimento de um carregador florestal em floresta plantada. **Cerne**, Lavras, v. 13, p. 11-16, 2007.

DA SILVA LOPES, E.; VIEIRA, T. P.; RODRIGUES, C. K. Avaliação técnica e de custos do transporte rodoviário com diferentes espécies e sortimentos de madeira. **Floresta**, Paraná, v. 46, n. 3, p. 297-306, 2016.

DE ARAUJO, V. A. et al. Importância da madeira de florestas plantadas para a indústria de manufaturados. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 90, p. 189-200, 2017.

DIETZ, H. U.; URBANKE, B. Lastenheft Harvestervermessung: eine Projektarbeit des KWF. **Groß-Umstadt: Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik**, 2013.

DINIZ, C. C. C.; CERQUEIRA, C. L.; DE OLIVEIRA, F. M. Influência do sortimento de toras na produtividade de um carregador florestal. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 14, n. 3, p. 247-253, 2018.

DINIZ, C. C. C. et al. Análise técnica e de custos do transporte de biomassa florestal com carreta piso móvel. **Agropecuária científica no semiárido**, Patos, v. 16, n. 1, p. 34-38, 2020.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. 2019. World Food and Agriculture – Statistical pocketbook 2019. Rome. Disponível em: <<http://www.fao.org/forestry/statistics/80938@180723/en/>>. Acesso em: 22 abr. 2020.

FIEDLER, N. C. et al. Análise operacional da colheita florestal em sistema mecanizado de toras curtas. **Revista Árvore**, v. 41, n. 3, 2017.

FREITAS, K.E. **Análise técnica e econômica da colheita florestal mecanizada**. 2005. 27p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

DE FREITAS, L. C. et al. Avaliação quantitativa de impactos ambientais da colheita florestal em dois módulos. **Ceres**, Viçosa, v. 54, n. 313, 2015.

GARBIN, M. et al. Colheita mecanizada do eucalipto para produção de celulose na perspectiva da Avaliação do Ciclo de Vida. **LALCA-Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida**, v. 1, n. 1, p. 86-111, 2017.

GONÇALVES, F. A. Estatística descritiva. São Paulo: **Atlas**, 1978.

GONÇALVES, S. B. **Análise técnica das atividades de colheita semimecanizada em áreas declivosas no sul do Espírito Santo**. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

GUEDES, I. L. et al. Performance and Cost Evaluation of Two Cable Yarder Systems in The Extration Of Eucalyptus Wood. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p.571-580, 2017.

IBÁ. **Relatório anual 2014**. Brasília: Ed. Indústria Brasileira de Árvores, 2014. 80p. Disponível em: <<http://www.iba.org/pt/biblioteca-iba/publicacoes>>. Acesso em: 27 mar. 2020.

IBÁ. **Relatório anual 2019**. Brasília: Ed. Indústria Brasileira de Árvores, 2019. 80p. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>> Acesso em: 03 abr. 2020

JACOVINE, L. A. G. et al. Avaliação da perda de madeira em cinco sistemas de colheita florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 463-470, 2001.

JACOVINE, L. A. G. et al. Avaliação da qualidade operacional em cinco subsistemas de colheita florestal. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 391-400, 2005.

JOHN DEERE. **Máquina florestal 2144G**. Moline, USA: Deere Company, 2017. Disponível em: <<https://www.deere.com.br/pt/magazines/publication.html?id=cdc3b139#1>>. Acesso em: 27 abr. 2020.

LEITE, E. da S. et al. Technical and costs modeling of a harvester on cutting eucalyptus timber for the cut-to-length system. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 98, p. 205-215, 2013.

LEITE, E. da S. et al. Modelagem do desempenho da extração de madeira pelo “forwarder”. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 879-887, 2014a.

LEITE, E. da S. et al. Performance of the harvester on eucalyptus crops in different spacing and slopes. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 95-101, 2014b.

LIMA, J. S. S.; LEITE, A. M. P. Mecanização. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa: Ed. UFV. p. 43-65, 2008.

LINHARES, M. et al. Eficiência e desempenho operacional de máquinas harvester e forwarder na colheita florestal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 212-219, 2012.

LOPES, E. S. et al. Efeito do sortimento da madeira na produtividade e custo do forwarder no desbaste comercial de Pinus taeda. **Scientia Forestalis**. v. 44, n. 109, p. 57-66, 2016.

LUNET, N.; SEVERO, M.; BARROS, H. Desvio padrão ou erro padrão. **Arquivos de Medicina**, v. 20, n. 1-2, p. 55-59, 2006.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 124-129, 2000.

MACHADO, C. C.; SILVA, E.N; PEREIRA, R.S.; O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita Florestal**. 3. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2014a. 543p.

MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. 3. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2014b. 543p.

MAGALHÃES, P.A.D; KATZ, I. Estudo da viabilidade econômica da mecanização do processo de colheita florestal com harvester em uma indústria madeireira. **Tékhné Lógos**, Botucatu, v.2, n.1, p.72-91, 2010.

MALINOVSKI, J.R. et al. Sistemas. In: MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita florestal**. Viçosa: Ed. UFV, 2014. 543p.

MALINOVSKI, R.A.; MALINOVSKI, R.A.; MALINOVSKI, J.R.; YAMAJI, F.M. Análise das variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de madeira em função das características físicas do terreno, do povoamento e do planejamento operacional florestal. **Floresta**, Curitiba, v.36, n.2, p.169-182, 2006.

MANGOYANA, R. B. Bioenergy from forest thinning: carbon emissions, energy balances and cost analyses. **Renewable Energy**, v. 36, n. 9, p. 2368-2373, 2011.

MEDERSKI, P. S. et al. Investigation of log length accuracy and harvester efficiency in processing of oak trees. **Croatian Journal of Forest Engineering**, v. 39, n. 2, p. 173-181, 2018.

MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P.; FIEDLER, N. C.; SILVA, E. N. Carregamento e descarregamento. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2015.

MOLNAU, W. E.; MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. Statistically constrained economic design of the multivariate exponentially weighted moving average control chart. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 17, n. 1, p. 39-49, 2001.

MOREIRA, JMMAP; DE OLIVEIRA, E. B. Importância do setor florestal brasileiro com ênfase nas plantações florestais comerciais. **Embrapa Florestas-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2017.

NADOLNY, A. et al. Qualidade na operação de corte florestal em povoamentos submetidos a dois modelos de desbaste mecanizado. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 39, n. 1, 2019.

NASCIMENTO, A. C; LEITE, A. M. P.; SOARES, T. S.; FREITAS, L. C. Avaliação técnica e econômica da colheita florestal com Fellerbuncher. **Cerne**, Lavras, v.17, n. 1, p. 9-15, 2011.

OAKLAND, J. S. **Statistical process control**. Routledge, 2007.

OLIVEIRA, G. S. et al. Análise técnica, econômica e da qualidade em primeiro desbaste mecanizado. **Espacios**, v. 38, n. 26, p. 1-5, 2017.

PAGNUSSAT, M. B.; LOPES, E. S.; SEIDLER, R. D. Behavioural profile effect of forestry machine operators in the learning process. **Journal of Forest Science**, v. 65, n. 4, p. 144-149, 2019.

PEREIRA, A. L. N.; LOPES, E. S.; DIAS, N. A. Análise técnica e de custo do feller buncher e skidder na colheita de madeira em diferentes produtividades do povoamento. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 981-989, 2015.

RODRIGUES, P. **Introdução aos sistemas de transporte no Brasil e à logística internacional**. 4. ed. São Paulo: Ed. Aduaneiras, 2007.

RODRIGUES, C. K. et al. Influência do volume das árvores no desempenho do processador florestal harvester em povoamento de eucalipto. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 2, p. 237-242, 2018.

ROSA, M. O.; DE OLIVEIRA, F. M.; JAGUARIAÍVA, P. R. Análise da qualidade do processamento de madeira em dois sistemas mecanizados de colheita florestal. **Revista da União Latino-americana de Tecnologia**, Jaguariaíva, n. 2, p. 19-37, 2014.

SALMERON, A. A mecanização da exploração florestal. **Piracicaba: IPEF**, p. 1-10, 1980.

SANT'ANNA, C. M. Corte florestal. In: MACHADO, C. C. (Org.). **Colheita florestal**. Viçosa: Ed. UFV, 2014. 543p.

SANTOS, W. F. N. **Análise técnico-econômico de sistemas de colheita: toras curtas e toras longas sob métodos mecanizado e semimecanizado**. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2014.

SANTOS, DWF do N. et al. Analyze technical and economic of two subsystems of forest harvesting of cut to length. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 13, n. 2, 2018a.

SANTOS, DWF do N. et al. Technical, economic and environmental evaluation of harvester's performance under different engine rotation. **Scientia Forestalis**, n. 118, p. 319-326, 2018b.

SCHETTINO, S. et al. Multi-criteria analysis on mapping of areas for mechanized forest harvesting. **Scientia Forestalis**, n. 124, p. 766-775, 2019.

SEIXAS, F.; CASTRO, G. P. Extração. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2014. 543p.

SERPE, E. L.; FIGUEIREDO FLHO A.; ARCE, J. E. Coeficientes downgrade para sortimentos de toras de pinus. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 116-121, 2018.

SILVA, C.B.; SANT'ANNA, C.M.; MINETTE, L.J. Avaliação ergonômica do feller-buncher utilizado na colheita de eucalipto. **Cerne**, Lavras, v.9, n.1, p.109-118, 2003.

SILVA, M. L.; MIRANDA, G. M.; CORDEIRO, S.A.; LEITE, E. S. Custos. In: MACHADO, C. C. (Editor). **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2014. 543p.

SIMÕES, D.; FENNER, P.T. Influência do relevo na produtividade e custos do harvester. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.85, n.38, p.107-114, 2010.

SOARES, T. A. **Análise da produtividade dos turnos de trabalho no processamento de árvores**. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2016.

SOMAN, H.; KIZHA, A. R.; ROTH, B. E. Impacts of silvicultural prescriptions and implementation of best management practices on timber harvesting costs. **International Journal of Forest Engineering**, v. 30, n. 1, p. 14-25, 2019.

SOUZA, F. L. et al. Optimum and acceptable forest road density in pine harvesting for cut-to-length and full tree systems. **Scientia Forestalis**, n. 118, p. 189-198, 2018.

VOLPATO, C.E.S. **Máquinas e mecanização florestal**. 20 mar. 2019. 14 p. Notas de aula. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

VIEIRA, G. C. et al. Custos operacionais e de produção na atividade mecanizada de corte florestal. **Nativa**, Sinop, v. 4, n. 5, p. 342-346, 2016.

WARATAH. **Cabeçote harvester H215E**. Joensuu, Finlândia: Waratah, 2017. Disponível em: <<https://pt.waratah.com/harvester-head-h215e.html>>. Acesso em: 27 abr. 2020.

YOUSEFI, N. et al. Using statistical control charts to monitor duration-based performance of project. **The Journal of Modern Project Management**, v. 6, n. 3, 2019.

ZAGONEL, R. **Análise da densidade ótima de estradas de uso florestal em relevo plano de áreas com produção de Pinus Taeda**. 2005. 99 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

ZAGONEL, R.; CORRÊA, C. M. C.; MALINOVSKI, J. R. Densidade ótima de estradas de uso florestal em áreas de relevo plano em povoamentos de Pinus taeda no planalto catarinense. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 33-41, 2008.