UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

DANIELY SILVEIRA GOMES

INFLUÊNCIA DO DESCASCAMENTO E DO COMPRIMENTO DA TORA NA PRODUTIVIDADE DO CORTE MECANIZADO

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO
2025

DANIELY SILVEIRA GOMES

INFLUÊNCIA DO DESCASCAMENTO E DO COMPRIMENTO DA TORA NA PRODUTIVIDADE DO CORTE MECANIZADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientador: Nilton Cesar Fiedler
Conselheiro: William Masioli

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO
2025

DANIELY SILVEIRA GOMES

INFLUÊNCIA DO DESCASCAMENTO E DO COMPRIMENTO DA TORA NA PRODUTIVIDADE DO CORTE MECANIZADO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Engenharia Florestal, do Centro de Ciências agrárias e Engenharias (CCAE), como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Florestal.

Aprovado em 14 / 03 / 2025.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)
Orientador

Documento assinado digitalmente
gov.br ANTONIO HENRIQUE CORDEIRO RAMALHO
Data: 14/03/2025 14:15:11-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Antonio Henrique Cordeiro Ramalho
Universidade Federal do Oeste do Pará

Documento assinado digitalmente
gov.br MILLANA BURGER PAGNUSSAT
Data: 17/03/2025 19:45:00-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dra. Millana Burger Pagnussat
Suzano AS

Msc. William Masioli
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES

Scanned with CamScanner

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela força e sustento para continuar diante das dificuldades durante todo período de graduação.

Aos meus pais, Davi Gomes e Edilene Florindo, que contribuíram de todas as maneiras possíveis para minha formação, ao meu irmão David Gomes pelo companheirismo e apoio.

Ao meu companheiro Bruno Alburquerque, pela parceria durante minha jornada e incentivo à realização dos meus sonhos.

Aos meus primos, Cristian Brunoro, Laviny Vimercati e Laysa Brunoro pelo suporte durante meu deslocamento para universidade.

Aos meus amigos, Camila Esposti, Gabriela Aguiar, Gustavo Jaske, Isabela Marçal, Maria Paula Reggiane, Matheus Pilro e Raul Jacobem, pelo auxílio nas matérias do curso e apoio para conclusão do curso.

À Universidade Federal do Espírito Santo, ao Departamento de Engenharia Florestal e da Madeira, ao Núcleo de Pesquisa em Mecanização, Ergonomia, Colheita, Logística e Incêndios Florestais, pelo ensino e auxílio na realização desta pesquisa.

À banca examinadora deste trabalho Antônio Henrique Ramalho, Millana Pagnussat, Nilton Cesar Fiedler e William Masioli, pela dedicação e considerações visando o melhor resultado deste trabalho.

À todos que contribuíram de alguma forma para a conclusão desta pesquisa, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A colheita de madeira é influenciada por diversas variáveis, como diâmetro das árvores, Volume Médio Individual (VMI) e Comprimento Médio das Toras (CMT). O presente estudo analisou a influência do CMT e do descascamento na produtividade do corte de madeira de eucalipto. Foram utilizados dados de uma empresa florestal com áreas produtivas localizadas no extremo sul da Bahia, Espírito Santo e nordeste de Minas Gerais. O método de colheita de madeira empregado foi o de toras curtas (Cut-to-Length – CTL), realizado pelo *Harvester* esteira. Inicialmente, foram aplicadas restrições dos dados por meio de variáveis de controle, tais como a ausência ou presença de sinistros na área, horímetro das máquinas, performance operacional e declividade do terreno. Em seguida, os dados filtrados foram classificados em blocos pela metodologia de Delineamento Casualizado (DCB). Na sequência, os outliers foram identificados e removidos pelo uso do box plot. Por fim, os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) e à comparação das médias por meio dos testes de Tukey ou Kruskal-Wallis ao nível de 5% de probabilidade, conforme a distribuição dos dados. Os resultados indicaram que toras com 6 metros de comprimento apresentaram maior produtividade (m^3/h_t), e que os tratamentos com casca tiveram desempenho superior aos sem casca em todas as classes de VMI analisadas. Assim, conclui-se a importância de considerar o CMT e o processo de descascamento para definição de metas operacionais durante o planejamento florestal, além de incentivar estudos futuros para modelagem de produtividade para maior precisão de estimativa da produção.

Palavras-chave: Colheita florestal; Otimização; Volume de madeira.

ABSTRACT

Timber harvesting is influenced by various variables, such as tree diameter, Individual Mean Volume (IMV), and Mean Log Length (MLL). This study analyzed the influence of MLL and debarking on the productivity of eucalyptus wood cutting. Data from a forestry company with productive areas located in the extreme south of Bahia, Espírito Santo, and the northeast of Minas Gerais were used. The timber harvesting method employed was the short-log system (Cut-to-Length – CTL), carried out by a tracked harvester. Initially, data constraints were applied using control variables such as the absence or presence of incidents in the area, machine hour meter readings, operational performance, and terrain slope. Next, the filtered data were classified into blocks using the Completely Randomized Design (CRD) methodology. Subsequently, outliers were identified and removed using the box plot method. Finally, the data were subjected to the Shapiro-Wilk normality test ($p > 0.05$) and mean comparison through Tukey or Kruskal-Wallis tests at a 5% probability level, depending on the data distribution. The results indicated that logs with a length of 6 meters had higher productivity (m^3/ht) and that debarked treatments performed better than non-debarked treatments across all analyzed IMV classes. Thus, the importance of considering MLL and the debarking process when setting operational targets during forest planning is highlighted, as well as encouraging future studies on productivity modeling to improve production estimate accuracy.

Keywords: Timber harvesting; Optimization; Wood volume.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais especificações de algumas máquinas florestais empregadas nos processos de corte e baldeio. 17

Figura 2 – Mapa de localização das áreas de colheita estudadas. 23

Figura 3 – Esquema ilustrativo do procedimento operacional da colheita de madeira em áreas de reforma. A) Visão horizontal. B) Visão vertical. 24

Figura 4 – Harvester Komatsu modelo PC200F-8 M0. 25

Figura 5 – Fluxo de comunicação dos registros operacionais desde o sistema embarcado nas máquinas florestais até a disponibilidade das bases de dados. ..26

Figura 6: Frequência relativa das unidades de produção por tipo de espaçamento. 27

Figura 7 – Frequência relativa de operadores de *Harvester* em diferentes classes de horas trabalhadas. 30

Figura 9: Histograma da produtividade (m^3/h_t). 34

Figura 10: Histograma de distribuição da produtividade (m^3/h_t) 37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classes de VMI da base geral. 27

Tabela 2: Produção (m^3) por classe de horímetro avaliado.....29

Tabela 3: Representação da quantidade de operadores por classes e média dos quartis. 30

Tabela 4: Delineamento em blocos com base nas classes de VMI e o descascamento. 31

Tabela 5: Delineamento em blocos com base nas classes de VMI e CMT. 31

Tabela 6: Delineamento em blocos com base nas classes de VMI e o descascamento. 33

Tabela 7: Estatística descritiva nas Unidades de Produção (UPs) avaliadas na pesquisa. 34

Tabela 8: Teste de Tukey para tratamentos do descascamento. 35

Tabela 9: Delineamento em blocos com base nas classes de VMI e CMT. 36

Tabela 10: Estatística descritiva nas Unidades de Produção (UPs) avaliadas na pesquisa. 36

Tabela 11: Resultado do teste de Shapiro-Wilk nos dados amostrados para a análise do CMT. 36

Tabela 12: Teste de Tukey para tratamentos do Comprimento Médio da Tora. ...37

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANOVA – Análise de Variância

CMT – Comprimento Médio de Toras

CTL – Cut-To-Lenght

CV – Coeficiente de Variação

DBC – Delineamento em Blocos Casualizados

HSD - Honest Significant Difference

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores

IPC – Inventário Pré-Corte

IQR – Intervalo InterQuartil

M^3/h_t – Metros cúbicos por hora trabalhada

RPM – Rotação Por Minuto

UP – Unidade de Produção ou Unidade Produtiva

VMI – Volume Médio Individual

VMI_{cc} - Volume Médio Individual Com Casca

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12

2. OBJETIVOS 13

2.1. Objetivo geral 13

2.2. Objetivos específicos 13

3. REVISÃO DE LITERATURA 14

3.1. Setor florestal brasileiro 14

3.2. Colheita de madeira 14

3.2.1. Etapas da colheita 15

3.2.1.1 Corte 15

3.2.1.2 Extração 15

3.2.2. Métodos de colheita de madeira 16

3.2.3. Principais máquinas utilizadas no método mecanizado 16

3.3. Sistemas de colheita de madeira 17

3.3.1. Sistema de toras curtas *(Cut To Length)* 17

3.3.2. Sistema de toras longas *(tree length)* 18

3.3.3. Sistema de árvores inteiras *(full tree)* 18

3.3.4. Sistema de árvores completas *(whole tree)* 19

3.3.5. Sistema de cavaqueamento *(chipping)* 19

3.4. Planejamento 19

3.4.1. Métodos de planejamento 19

3.4.2. Níveis hierárquicos de planejamento quanto a temporalidade 20

3.4.3. Variáveis de influência no corte e processamento da madeira 21

4. MATERIAL E MÉTODOS 23

4.1. Caracterização da área de estudo 23

4.2. Sistema de colheita de madeira e máquinas avaliadas 23

4.3. Base de dados 25

4.4. Análise de dados 28

4.4.1. Variáveis de interesse e controle 28

4.4.2. Restrição dos dados 28
4.4.3. Planejamento experimental.....31
4.4.4. Análise estatística 32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....33
5.1. Comparação da produtividade da madeira com e sem casca.....33
5.2. Comparação da produtividade do corte de tora longa e curta.....35
6. CONCLUSÕES 39
7. REFERÊNCIAS.....40

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por produtos florestais impulsiona as empresas a buscarem continuamente por resultados satisfatórios, fundamentando-se no planejamento e decisões durante o processo de investimento. Uma necessidade estratégica é a potencialização da eficiência e produtividade das operações do setor florestal (MASIOLI et al., 2024).

O planejamento das operações florestais tem como objetivo principal estabelecer estratégias que assegurem o cumprimento das metas de produção estabelecidas pela indústria. Além disso, busca fornecer informações essenciais para fins gerenciais e operacionais, alimentar o sistema de controle de custos, manter a integração entre os diversos níveis hierárquicos, compor a base de dados do sistema de planejamento, fornecer dados relevantes para o pagamento de pessoal e o treinamento adequado, e, por fim, garantir a execução efetiva do plano estratégico da empresa (RODRIGUES, 2018).

No planejamento operacional, é crucial considerar os fatores que podem influenciar diretamente a performance da operação, garantindo maior precisão na definição de metas e tomada de decisões. A colheita de madeira é particularmente sensível a diversas variáveis que impactam a eficiência das máquinas, tais como o diâmetro das árvores, o Volume Médio Individual (VMI), o tamanho dos galhos e da copa, a densidade da madeira e o comprimento das toras (RODRIGUES, 2018).

Entre as variáveis que influenciam na eficiência do corte mecanizado, o descascamento pode interferir no peso das toras e o atrito com as facas do cabeçote. Além dessa variável, o comprimento das toras pode impactar no manuseio durante o processamento, e consequentemente, afetar no rendimento operacional. Nesse sentido, estudar a influência do descascamento e comprimentos de tora na produtividade do corte pelo *harvester* torna-se uma análise importante para a fase de planejamento florestal, contribuindo para o alcance das metas de produção pré-estabelecidas, com maior precisão e menor custo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Analisar a influência do descascamento e do comprimento da tora na produtividade do corte mecanizado.

2.2. Objetivos específicos

- Analisar a influência do descascamento na produtividade do corte da madeira;
- Avaliar a influência do comprimento médio da tora (CMT) na produtividade do corte da madeira.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Setor florestal brasileiro

A formação de florestas com fins econômicos no Brasil teve início com a introdução do gênero *Eucalyptus* no estado de São Paulo, destinado à produção de dormentes, postes e lenha para locomotivas regionais (MACHADO et al., 2014). Entre as décadas de 1960 e 1987, os incentivos governamentais impulsionaram significativamente a expansão das plantações florestais no país. No entanto, grande parte dessas áreas foi posteriormente perdida devido ao planejamento inadequado. Atualmente, o Brasil é líder mundial na produção de eucalipto, com florestas plantadas em todo o território nacional, concentradas principalmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, com destaque para os estados de Minas Gerais (28,1% da área plantada), Mato Grosso do Sul (17,0% da área plantada) e São Paulo (12,7% da área plantada) (IBÁ, 2024).

Em 2023, o Brasil atingiu, pela primeira vez, a marca de mais de 10 milhões de hectares de florestas plantadas, representando um crescimento de 3% em relação a 2022. Entre as espécies cultivadas, o eucalipto se destaca, ocupando 76% da área total de plantio (IBÁ, 2024).

A cadeia produtiva do setor brasileiro de florestas plantadas apresenta uma notável diversidade de produtos, abrangendo desde a produção e colheita até a transformação da madeira para a obtenção dos produtos finais (Machado et al., 2014). Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2024), entre os segmentos das áreas plantadas, destacam-se os produtores independentes, responsáveis por 38% da área total, seguidos pelas empresas de papel e celulose, com 36%. O restante é direcionado para indústrias de carvão vegetal (11%), pisos e painéis (4%), madeira serrada e produtos sólidos (3%), além de outros usos (8%).

3.2. Colheita de madeira

A colheita da madeira de eucalipto desempenha um papel crucial no setor florestal produtivo. Deve contar com planejamento detalhado e gestão minuciosa para garantir a qualidade dos serviços e produtos, potencialização da produtividade operacional, mitigação dos riscos que possam comprometer o trabalho posterior e competitividade dos custos operacionais (RODRIGUES, 2018).

De acordo Sant’anna (2014) a colheita florestal representa um conjunto de operações no povoamento florestal, incluindo derrubada das árvores, desgalhamento, destopamento, traçamento e pré-extração, seguidas pela extração da madeira, que pode ser realizada por métodos como baldeio e arraste. Essas etapas são fundamentais na transformação da madeira em produto final, seguindo técnicas e padrões estabelecidos. A colheita pode ser executada de diferentes maneiras, como árvores inteiras, toras curtas ou toras longas, dependendo das particularidades do manejo e dos objetivos de produção (SANTOS, 2014).

3.2.1. Etapas da colheita

A colheita de madeira abrange as etapas de corte, extração e carregamento das toras ou árvores (MACHADO et al., 2014). Em outras palavras, compreende o conjunto de atividades desde o preparo das árvores para o abate até o transporte para o destino final (RODRIGUES, 2018).

3.2.1.1 Corte

O corte, etapa inicial da colheita de madeira, exerce profunda influência nas operações subsequentes. Esta fase abrange processos como derrubada, desgalhamento, destopamento, traçamento e pré extração da madeira (SANT’ANNA, 2014).

Esta atividade pode ser conduzida manualmente, de forma semimecanizada ou totalmente mecanizada. O método de corte mecanizado oferece diversas vantagens, como alta eficiência operacional, agilidade na resposta às metas de produção, maior segurança e ergonomia para os operadores, possibilidade de operações em turnos e redução de custos operacionais. Por outro lado, requer um investimento significativo na aquisição de equipamentos, além da necessidade de mão-de-obra qualificada, uma sólida infraestrutura de manutenção e suporte técnico. Além disso, pode apresentar restrições quanto aos diâmetros mínimos e máximos das árvores (SANT’ANNA, 2014).

3.2.1.2 Extração

A extração florestal se refere ao deslocamento da madeira da área de corte até locais de armazenamento temporário, tais como a margem do talhão, o

carreador ou o pátio de transição. Esta fase corresponde a uma parcela considerável dos gastos operacionais e impacta diretamente a eficiência logística subsequente. Essa etapa pode ser realizada por dois métodos operacionais distintos, dependendo das condições do terreno, dos equipamentos disponíveis e do destino final da madeira como baldeio ou arraste. No baldeio, as toras são deslocadas sem contato com o solo, sendo carregadas em uma plataforma, como no caso do carregador florestal (*Forwarder)*. Por outro lado, o arraste implica o contato parcial ou total das toras com o solo, e pode ser realizado pelo trator florestal arrastador (*Skidder)* (RODRIGUES, 2018).

3.2.2. Métodos de colheita de madeira

Os métodos de colheita florestal abrangem os procedimentos utilizados para realizar as atividades de corte e extração da madeira. Esses métodos são classificados em três categorias principais: manual, semimecanizado e mecanizado (RODRIGUES, 2018). Sua escolha é determinada por fatores como a topografia do terreno, a disponibilidade de máquinas e os objetivos específicos da produção. Os métodos mecanizados, por sua vez, têm sido cada vez mais adotados devido à sua maior eficiência operacional, segurança, ergonomia e redução no tempo necessário para a execução das operações. No entanto, dependendo do destino final da madeira, é possível e viável empregar métodos combinados, nos quais diferentes técnicas de execução são integradas para otimizar a eficiência operacional (RODRIGUES, 2018).

3.2.3. Principais máquinas utilizadas no método mecanizado

No Brasil, o corte florestal mecanizado geralmente envolve o uso de duas máquinas: o *harvester* e o *feller buncher*. A seleção da máquina mais apropriada para operação, depende do sistema de colheita a ser empregado, à demanda produtiva, e, especialmente, aos requisitos dimensionais das toras exigidos pela indústria (Robert, 2012). Comumente, a atividade de extração da madeira de forma mecanizada ocorre pelo *Forwarder e Skidder* (Figura 1).

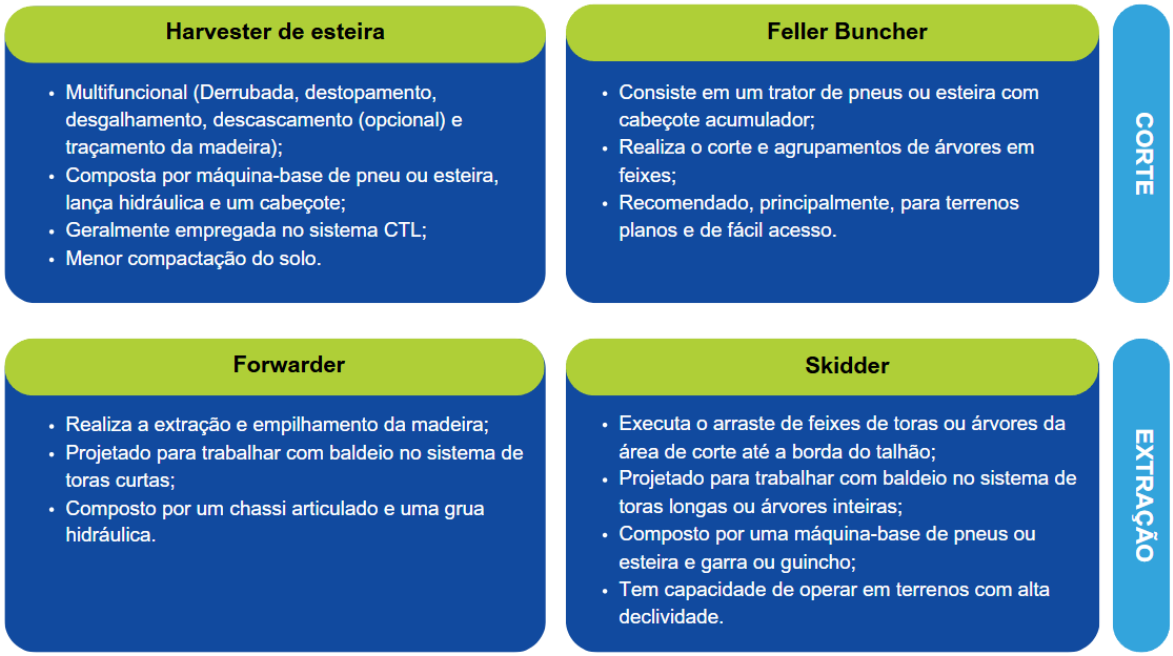

Figura 1 – Principais especificações de algumas máquinas florestais empregadas nos processos de corte e baldeio.

Fonte: Adaptado de Machado et.al., 2014; Rodrigues, 2018 e Santos, 2014.

3.3. Sistemas de colheita de madeira

3.3.1. Sistema de toras curtas *(Cut To Length)*

No Brasil, o sistema de colheita de eucalipto mais adotado, especialmente por empresas de celulose e papel, é o sistema de toras curtas, mais conhecido como Cut-to-Length (CTL). Esse método envolve o corte e processamento da madeira diretamente no talhão onde as árvores são derrubadas, desgalhadas e traçadas, permitindo que as toras sejam extraídas já dimensionadas para o uso final. Uma das principais vantagens desse sistema se trata da redução do impacto ambiental, uma vez que o deslocamento das máquinas ocorre sobre uma camada de resíduos resultantes do corte e processamento das árvores, e consequentemente, gera menor compactação do solo (SZYMCZAK et al., 2014).

O comprimento das toras processadas varia conforme os objetivos de produção e as especificações da indústria. No entanto, é comum que as toras tenham até 6 metros de comprimento, atendendo às demandas específicas do mercado e às capacidades dos equipamentos utilizados na extração (MALINOVSKI, 2014).

A implementação do sistema CTL tem se mostrado eficaz na melhoria das condições de trabalho, redução dos custos operacionais e contribuição para a preservação ambiental, consolidando-se como uma prática predominante na colheita de eucalipto no Brasil.

3.3.2. Sistema de toras longas *(tree length)*

O sistema de toras longas (tree length) é uma metodologia de colheita florestal amplamente utilizada, na qual as árvores são cortadas e passam por processos de desgalhamento e destopamento diretamente no local de derrubada. Diferentemente do sistema de toras curtas (Cut-to-Length - CTL), o traçamento das toras e, em alguns casos, o descascamento da madeira são realizados posteriormente, geralmente nas margens do talhão ou em áreas específicas de processamento (SANTOS 2014).

Esse sistema é caracterizado pela extração da madeira em fustes que ultrapassam 6 metros de comprimento, permitindo uma maior flexibilidade no processamento posterior, conforme as demandas da indústria. Estudos recentes indicam que esse método apresenta vantagens operacionais significativas, como custos reduzidos e maior eficiência mecânica em comparação ao sistema CTL (MALINOVSKI, 2008).

Por outro lado, o transporte de toras longas exige equipamentos específicos para manejar o peso e o volume da madeira, sendo comuns o uso de *Feller Bunchers* para o corte e *Skidders* para a extração da madeira até a borda do talhão. A escolha entre os sistemas de toras longas e toras curtas depende de fatores como a topografia do terreno, o tipo de floresta, os objetivos do manejo e as exigências da indústria madeireira. Pesquisas recentes apontam que a aplicação do sistema tree-length é mais eficiente em áreas de relevo suave a moderado, onde o transporte da madeira pode ser otimizado por meio de equipamentos de grande porte (RODRIGUES, 2018).

3.3.3. Sistema de árvores inteiras *(full tree)*

O sistema de árvores inteiras implica na derrubada e no arraste das árvores sem raízes para a margem da estrada, visando o seu processamento posterior (Rodrigues, 2018). Este sistema requer elevado grau de mecanização, pode ser utilizado em terrenos planos a inclinados e geralmente, é aplicado na colheita de

árvores de maior porte (MALINOVSKI et al., 2014). Entre as máquinas e equipamentos mais empregados nesse sistema estão o *Feller Buncher, Skidder* e *Garra Traçadora* (MALINOVSKI et al., 2014).

3.3.4. Sistema de árvores completas *(whole tree)*

O método de árvores completas visa a remoção da árvore por inteiro, inclusive com parte do seu sistema radicular, sendo então transportada para as bordas do talhão (RODRIGUES, 2018). Esse sistema é recomendado quando as raízes possuem valor comercial (MALINOVSKI et al., 2014). Caso contrário, sua viabilidade é comprometida devido ao alto impacto ambiental, especialmente no meio físico e biológico, uma vez que a biomassa é retirada da área florestal, o que prejudica o ciclo de nutrientes e a produtividade da floresta (RODRIGUES, 2018).

Devido à complexidade na extração das árvores com suas raízes, e consequentemente à necessidade de equipamentos de grande potência, atualmente há poucas tecnologias adequadas para o sistema de árvores completas (MALINOVSKI et al., 2014).

3.3.5. Sistema de cavaqueamento *(chipping)*

Neste sistema, as árvores são abatidas e retiradas para as margens do talhão, onde são processadas em forma de cavacos. Posteriormente, o produto é transportado de forma adequada para a indústria. A aplicação desse método é restrita pelas condições topográficas, de solo e climáticas (RODRIGUES, 2018).

3.4. Planejamento

O planejamento da colheita de madeira abrange a análise de todos os fatores que podem influenciar as operações. Sua principal função é identificar potenciais riscos que possam afetar a produção florestal e antecipar resoluções de problemas, estimar os custos operacionais, otimizar os recursos disponíveis, e considerar possíveis ajustes no plano original para atender às metas de produção estabelecidas pela indústria (RODRIGUES, 2018).

3.4.1. Métodos de planejamento

No setor florestal, existem três métodos de planejamento mais comuns, sendo eles:

(a) Imitativo: neste método, o planejador se baseia em informações de outras empresas, o que pode resultar em grandes riscos de erro devido às diferenças entre as realidades das empresas;

(b) De tentativa: baseia-se no histórico operacional; e

(c) Científico: Este método utiliza dados reais para prever situações da sequência de produção. Para isso, geralmente são empregadas técnicas de pesquisa operacional (RODRIGUES, 2018).

A utilização de métodos científicos no planejamento da colheita de madeira é crucial para compreender a influência conjunta das variáveis, uma avaliação que só é possível através do emprego de análises estatísticas (MACHADO; LOPES, 2014).

3.4.2. Níveis hierárquicos de planejamento quanto a temporalidade

O planejamento envolve considerações tanto de curto prazo quanto de longo prazo para garantir uma gestão sustentável dos recursos florestais e assertividade nas decisões. No primeiro caso, analisa-se situações que poderão acontecer dentro de um período de até três anos, a depender da empresa e caracterização do risco. Ademais, o planejamento de curto prazo se baseia em métodos científicos para antecipar potenciais problemas na colheita de madeira e estimar seus possíveis impactos, permitindo uma resposta proativa a situações adversas. Por outro lado, o planejamento de longo prazo apresenta caráter mais orientativo do que prescritivo, dada a maior incerteza associada a ele, fornecendo diretrizes para soluções futuras ao invés de tomadas de decisões imediatas (MACHADO; LOPES, 2014).

O planejamento de colheita de madeira é organizado em três níveis hierárquicos distintos, cada um com sua própria perspectiva temporal, sendo eles: (a) Planejamento estratégico: envolve ações com período de abrangência considerado longo (b) Planejamento tático ou gerencial: médio prazo (c) Planejamento operacional: planejamento de curto prazo (MACHADO; LOPES, 2014).

(a) Planejamento estratégico: representa o nível mais alto de planejamento, onde as metas de longo prazo são estabelecidas, juntamente com diretrizes gerais para a colheita de madeira. É neste nível que a visão da empresa florestal define o manejo e sistema de colheita a serem aplicados, o consumo de

madeira para sustentar a indústria, as áreas a serem colhidas em cada ciclo produtivo, a necessidade de compra de madeira no mercado, entre outras decisões estratégicas.

No planejamento estratégico são confeccionados controles de inventários e mapas que auxiliaram nas análises técnicas e financeiras que direcionarão os demais níveis de planejamento (RODRIGUES, 2018).

(b) Planejamento tático ou gerencial: Neste nível, as metas estratégicas são convertidas em ações específicas de médio prazo. O principal objetivo é desenvolver um plano detalhado de colheita e transporte da madeira, com base nas informações dos projetos e dos talhões disponíveis para corte fornecidas pela equipe de planejamento florestal. Isso garante que recursos como mão de obra e equipamentos sejam utilizados de forma eficiente, maximizando a eficiência operacional e atingindo as metas estabelecidas no planejamento estratégico. O planejamento tático abrange a programação das operações de colheita em áreas específicas da floresta, a gestão do inventário florestal, o manejo silvicultural e a logística de transporte da madeira colhida (LOPES, 2016).

(c) Planejamento operacional: representa o nível mais detalhado e prático de planejamento. Seu foco está na execução das atividades diárias de colheita de madeira. Segundo Rodrigues (2018), o planejamento operacional envolve a programação e coordenação das atividades de campo, como a preparação das áreas de corte, mão de obra e a manutenção de equipamentos dentro dos limites pré-determinados no planejamento estratégico e tático. Decisões operacionais, como a designação de equipes de trabalho, a gestão da logística de transporte e a garantia da conformidade com as normas de segurança e regulamentações ambientais, são tomadas neste nível.

3.4.3. Variáveis de influência no corte e processamento da madeira

Segundo Malinovski e Malinovski (1998), a produtividade de uma determinada operação depende tanto de variáveis externas, que caracterizam o terreno, quanto de variáveis relacionadas às máquinas, especialmente as operacionais e suas especificações. Para Simões et al. (2014), a produtividade das máquinas florestais e os custos da operação de colheita podem ser impactados por diversos fatores, sendo os principais: Volume Médio Individual (VMI), declividade do terreno, eficiência operacional das máquinas e produtividade das florestas.

O corte de madeira está sujeito a uma variedade de variáveis, que podem impactar direta ou indiretamente na performance operacional. Entre os fatores mais relevantes a serem considerados, destacam-se: a) Características do terreno, como declividade, ventos e densidade do sub-bosque; b) Características dos povoamentos florestais, incluindo o clone de eucalipto, a idade da floresta e o Volume Médio Individual (VMI) das árvores; c) Manejo e procedimento operacional, como o tipo de corte, o Comprimento Médio da Tora (CMT), a prática de desbaste, entre outros; d) Ergonomia das máquinas utilizadas e) Condições climáticas f) Perfil e experiência dos operadores (Rodrigues, 2018).

O Comprimento Médio da Tora (CMT) e a presença ou ausência de casca são variáveis discutidas sobre seu impacto na eficiência operacional da colheita florestal. São definidos pela indústria conforme as condições e as exigências do destino final da madeira.

O Comprimento Médio da Tora (CMT) pode impactar diretamente a produtividade da colheita florestal, influenciando o corte, extração, transporte e processamento da madeira. Estudos recentes indicam que toras mais longas reduzem a quantidade de traçamentos necessários durante a operação, fato que minimiza o tempo total de processamento por árvore colhida, e aumenta significativamente a produtividade da colheita de madeira, especialmente em sistemas mecanizados que utilizam equipamentos como harvesters e feller bunchers. O CMT maior está associado a uma maior eficiência no ciclo operacional da colheita, reduzindo o tempo de parada das máquinas e otimizando o desempenho das operações (BELISARIO, 2017).

Existe uma lacuna de trabalhos científicos que analisem a influência do descasamento na produtividade do corte mecanizado, entretanto, entende-se que o processamento da madeira com casca requer uma etapa adicional de descascamento, o que aumenta o tempo total de processamento e reduz a produtividade.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido em áreas de uma empresa florestal de celulose e papel localizada no extremo sul da Bahia, norte e centro do Espírito Santo e região nordeste de Minas Gerais (Figura 2).

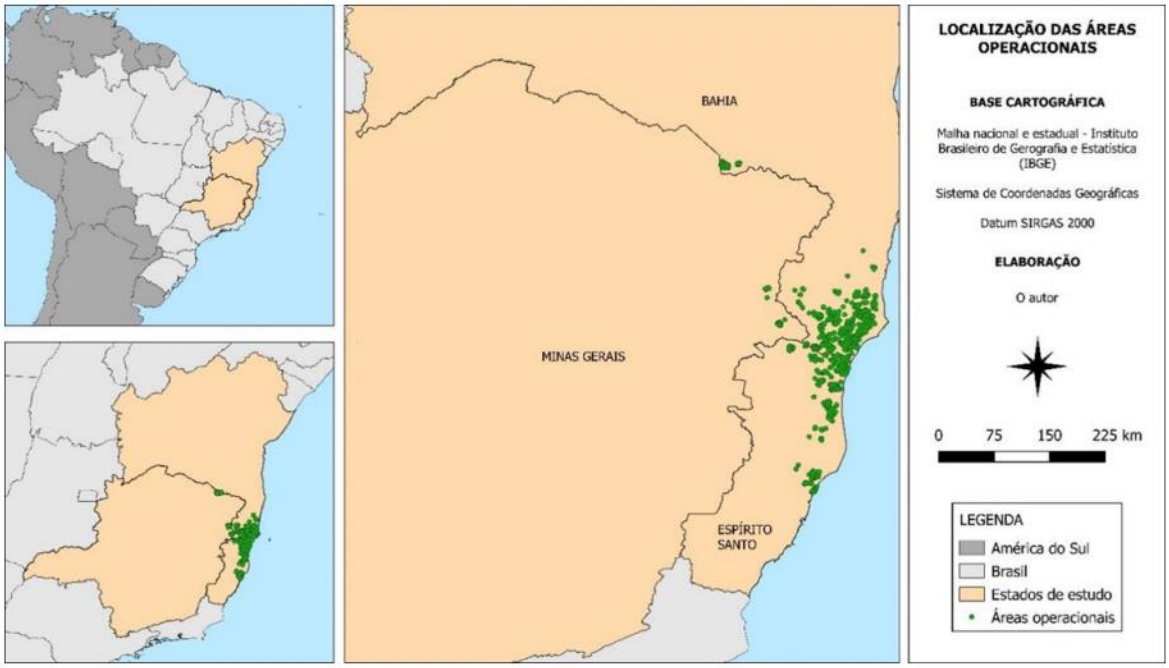

Figura 2 – Mapa de localização das áreas de colheita estudadas.

Fonte: Costa, 2024.

A região possui um relevo predominantemente plano a suavemente ondulado, conforme relatado por Lacerda et al., (2015), com algumas áreas de tabuleiros costeiros e vales fluviais que contribuem para a diversidade geomorfológica. Ainda segundo o autor, o clima da região é classificado como tropical Aw segundo Köppen, com precipitação média anual de 1.360 mm, sendo o período chuvoso de outubro a dezembro, embora variações locais possam ocorrer devido à influência do relevo e da proximidade com o mar.

4.2. Sistema de colheita de madeira e máquinas avaliadas

O sistema de colheita utilizado consiste no método de toras curtas (Cut-to-Length - CTL). Nesse método, o *Harvester* realiza a derrubada e processamento

da madeira dentro do talhão, enquanto o *Forwarder* é responsável pela extração da madeira para as margens da estrada.

Para a etapa de derrubada da árvore, o operador posiciona estrategicamente o equipamento para cortar até quatro linhas sem a necessidade de movimentação lateral, otimizando o tempo produtivo da operação. Desde modo, o *Harvester* entra no talhão em linha reta e se posiciona na segunda das quatro linhas de plantio, a aproximadamente um metro da primeira fileira, garantindo espaço adequado para a organização dos feixes de madeira processada. O traçamento é realizado sobre a área que as árvores foram derrubadas, evitando resíduos florestais – casca, copa, galhos, entre outros – sob a pilha de toras processadas. Por fim, após o processamento, os resíduos são movidos para a posição entre esteiras da máquina (Figura 3). Vale lembrar, que à medida que o corte de árvores é realizado, o *Harvester* segue adiante, avançando a operação sobre o restante do talhão.

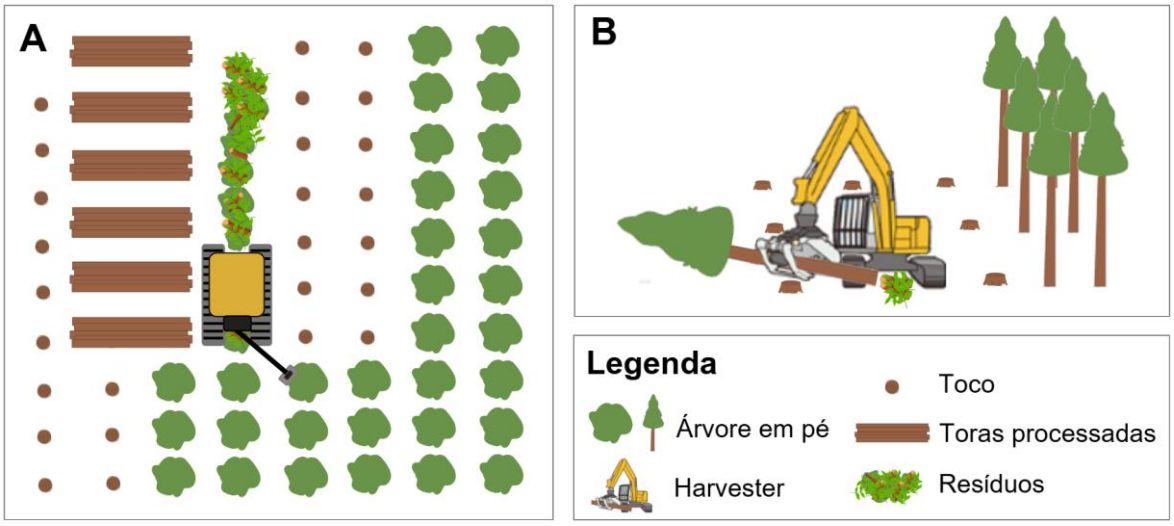

Figura 3 – Esquema ilustrativo do procedimento operacional da colheita de madeira em áreas de reforma. A) Visão horizontal. B) Visão vertical.

Fonte: a autora.

A operação de colheita florestal ocorreu em três turnos ao longo do dia, operando 24 horas seguidas. Os turnos foram divididos em: das 07:00 às 15:00, das 15:00 às 23:00 e das 23:00 às 07:00. Os operadores seguiram um regime de escala 6x2 rotativo.

Na área em estudo, foram utilizados diferentes modelos de *Harvester* na operação de corte. No entanto, para esta pesquisa, foi considerado somente o de

marca Komatsu, modelo PC200F-8 M0, com rodados de esteiras (Figura 4). Esta máquina se destaca pela sua força de tração de 178 kN e sua cabine é equipada com vidros de Lexan, fato que proporciona maior segurança ao operador. Como complemento essencial para a operação, utiliza-se o cabeçote Komatsu 370E, que possui 1.600 kg, diâmetro máximo de corte de 700 mm, velocidade de alimentação de até 5 m/s e seis facas desgalhadoras, para um desempenho preciso e rápido no processamento da madeira (Komatsu Forest, 2024).

Figura 4 – Harvester Komatsu modelo PC200F-8 M0.

Fonte: a autora.

4.3. Base de dados

O banco de dados e demais informações adicionais foram fornecidas pela empresa, incluindo o procedimento operacional de colheita de madeira, dados cadastrais dos talhões, dados de inventário florestal, dados espaciais dos projetos florestais, número de horas programadas para o trabalho, horas trabalhadas, e o registro de produção dos operadores. Os dados foram organizados no software Microsoft Excel 2019®.

Para a pesquisa, foi disponibilizado dados de 2.673 Unidades de Produção (UPs), contendo informações diárias de corte com *Harvester* de janeiro a dezembro de 2023, incluindo operador, máquina e equipe (módulo de colheita).

Os registros de produção são gerados eletronicamente pelo computador de bordo da máquina, que monitora e transmite dados em tempo real. Dados como horímetro, horas trabalhadas (h_t), produção (m^3) e rotações por minuto (RPM) são registrados automaticamente através de sensores instalados no equipamento. Além disso, o sistema de telemetria é integrado aos apontamentos eletrônicos feito pelos operadores durante a operação, registrando de forma automática as atividades executadas e os tempos de operação. Todas as informações são transmitidas por meio de rede sem fio para um sistema central de gerenciamento, contínuo.

Diariamente, uma equipe técnica administrativa valida os registros extraídos do sistema central da telemetria, com o objetivo de garantir a qualidade da informação (Figura 5).

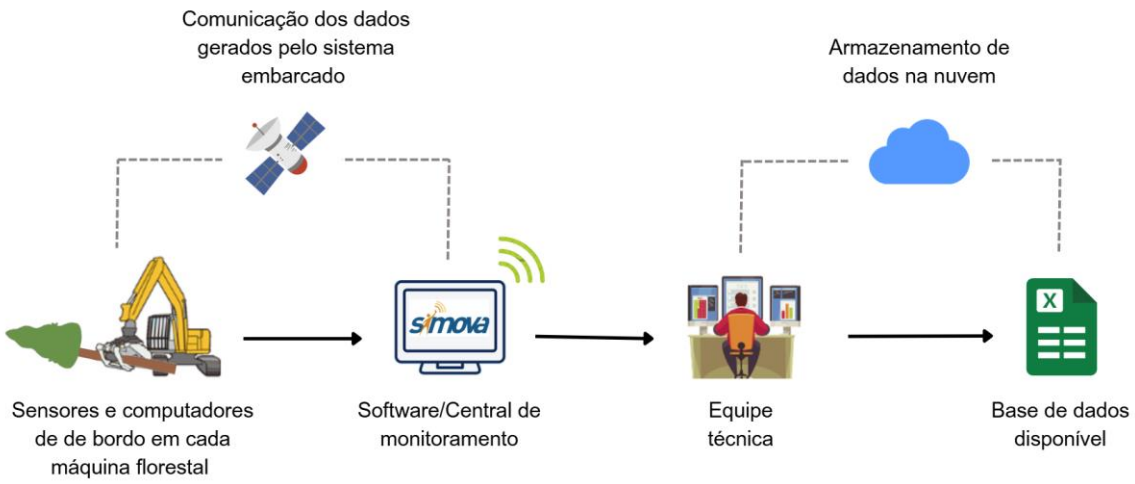

Figura 5 – Fluxo de comunicação dos registros operacionais desde o sistema embarcado nas máquinas florestais até a disponibilidade das bases de dados.

Fonte: a autora.

Tendo em vista a representatividade dos espaçamentos de plantio, 35,5% das áreas estavam configuradas como 3×2,5 m, seguidas por 3×3 m, correspondente a 29,0%, 3×2 m com 19,4% de representatividade, 3,5×2 m com12,9%, e os 3,2% restantes no espaçamento 3,5×2,5 m, como demonstrado na Figura 6.

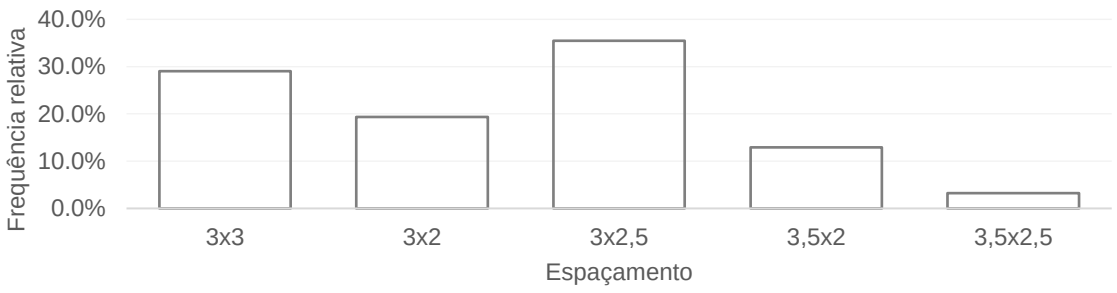

Figura 6: Frequência relativa das unidades de produção por tipo de espaçamento. Fonte: a autora.

O VMI foi obtido através do inventário pré-corte (IPC) das áreas, sendo todos considerados com casca. Compreendendo a importância do VMI para a colheita florestal mecanizada, os VMIs das UPs foram divididos em classes, utilizando o método de Sturges. Aplicando o método de Sturges em todo conjunto de dados, o número de classe ideal foi igual a 10,3088, arredondado para 11 classes de VMI com casca (VMI_{CC}). O valor máximo de VMI_{CC} foi igual a 0,513 m^3/árv e o mínimo de 0,035 m^3/árv. Assim, o intervalo entre classes resultou em 0,0464 m^3/árv. (Tabela 1).

Tabela 1- Classes de VMI da base geral.

Classe
<0,040
0,040 - 0,090
0,090 - 0,140
0,140 - 0,190
0,190 - 0,240
0,240 - 0,290
0,290 - 0,340
0,340 - 0,390
0,390 - 0,440
0,440 - 0,490
0,490 - 0,540

Fonte: a autora.

4.4. Análise de dados

4.4.1. Variáveis de interesse e controle

Foram consideradas como variáveis de interesse a produtividade do corte (m^3/ht), o CMT (m), e a realização do descascamento das toras (com ou sem casca). A produtividade efetiva da operação foi determinada pela razão do volume total produzido por UP, em m^3, e o tempo trabalhado efetivamente na mesma área, expresso em horas (LEITE, 2012).

$$P = Vol. / Ht$$

Em que: P = produtividade (m^3/h_t); Vol = volume produzido na UP; Ht = horas efetivamente trabalhadas.

Por outro lado, foram estabelecidas variáveis de controle para minimizar interferências externas e garantir a precisão dos resultados. Nesse caso foram consideradas a presença ou ausência de sinistros na área, horímetro das máquinas, performance dos operadores, entre outras variáveis.

4.4.2. Restrição dos dados

Os dados analisados são originados de diferentes condições operacionais, porém algumas restrições foram estabelecidas nas UPs, sendo eles:

a) presença ou ausência de sinistros ao longo do ciclo da UP;

b) horímetro das máquinas;

c) performance dos operadores;

d) declividade do terreno; e

e) outras variáveis.

a) Presença ou ausência de sinistros

Foram selecionadas UPs sem histórico de sinistros, expurgando áreas com registros de infestação por pragas e doenças, ocorrência de vendavais, incêndios florestais e outros eventos adversos que possam comprometer o desenvolvimento da floresta e, consequentemente, a performance da colheita.

b) Horímetro das máquinas

Para melhor entendimento do perfil das máquinas, foi feita uma abertura dos dados de produção, em m^3, por faixa de horímetro: 0–5.000, 5.000–10.000, 10.000–15.000, 15.000–20.000, 20.000–25.000 e 25.000–30.000 horas trabalhadas pela máquina (Tabela 2).

Tabela 2: Produção (m^3) por classe de horímetro avaliado.

Classes	***Produção (m^3)***
0 - 5.000	142.368
5.000 - 10.000	890.637
10.000 - 15.000	1.594.496
15.000 - 20.000	1.027.161
20.000 - 25.000	1.483.140
25.000 - 30.000	1.379.791

Fonte: a autora.

No entanto, considerando que a empresa florestal adota um plano de manutenção eficaz para os equipamentos, incluindo reforma dos equipamentos mais velhos, foram expurgadas da análise as máquinas com horímetro igual ou abaixo de 5.000 horas trabalhadas.

c) Performance dos operadores

Foi realizada uma análise preliminar de cada operador, considerando o tempo médio de trabalho na atividade de corte e processamento da madeira durante o período avaliado neste trabalho. Para a pesquisa, foram incluídos apenas operadores com mais de 250 horas de experiência (Figura 7), o que garante pelo menos um mês de operação plena.

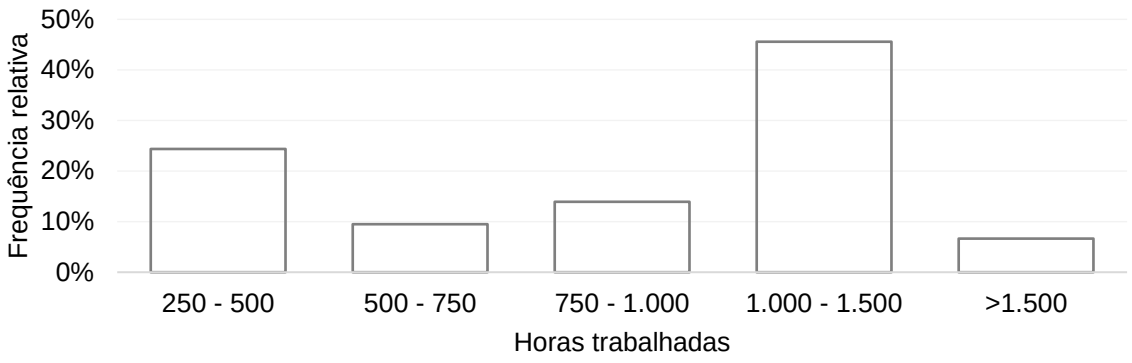

Figura 7 – Frequência relativa de operadores de *Harvester* em diferentes classes de horas trabalhadas.

Fonte: a autora.

Também foi avaliada a performance operacional, levando em conta a aderência dos colaboradores à curva de produtividade de corte adotada pela empresa, um modelo quadrático que tem como variável independente o VMI, e como variável dependente a produtividade, expressa em metros cúbicos por hora trabalhada. Nessa análise, foram examinados 165 operadores, organizados em rol da maior para a menor aderência à curva, e posteriormente classificados em quartis (Tabela 3). Com o objetivo de isolar o efeito da experiência e habilidade técnica, os operadores selecionados para as análises seguintes estavam posicionados nas classes Q3 e Q4, sendo o terceiro e quarto quartil, respectivamente.

Tabela 3: Representação da quantidade de operadores por classes e média dos quartis.

Classes	***Quartil***	***Nº operadores***
Q1	92,3%	42
Q2	97,4%	41
Q3	101,9%	41
Q4	115,9%	41

Fonte: a autora.

d) Declividade do terreno

Foram consideradas apenas áreas planas, isto é, áreas com grau de declividade médio abaixo de 5º.

e) Outras variáveis

Além das restrições citadas anteriormente, foram consideradas somente UPs com um tipo de produto, ou seja, madeira com casca ou sem casca.

4.4.3. Planejamento experimental

Para a amostragem dos dados, adotou-se o delineamento em blocos casualizados (DBC), visando reduzir a variabilidade experimental e minimizar os efeitos de fatores não controlados (Pimentel-Gomes, 2009). Desta forma, para a comparação de médias no corte e avaliação da influência do descascamento, foram considerados dois tratamentos: madeira com ou sem casca, tendo as classes de VMI com blocos as classes de VMI (Tabela 4). No caso do CMT, os tratamentos foram toras de 6m e toras de 2,8 m, também considerando as classes de VMI como blocos (Tabela 5).

Tabela 4: Delineamento em blocos com base nas classes de VMI e o descascamento.

Classes de VMI	***Tratamento***	***Bloco***
Classe 1	Com Casca	T1
Classe 1	Sem Casca	T2
Classe 2	Com Casca	G1
Classe 2	Sem Casca	G2
Classe 3	Com Casca	W1
Classe 3	Sem Casca	W2

Fonte: a autora.

Tabela 5: Delineamento em blocos com base nas classes de VMI e CMT.

Classes de VMI	***Tratamento***	***Bloco***
Classe 1	6 m	H1
Classe 1	2,8 m	H2
Classe 2	6 m	Z1
Classe 2	2,8 m	Z2

Fonte: a autora.

Desta forma, foram selecionadas áreas de mesmo VMI e com um acúmulo de horas trabalhadas equivalentes, variando apenas os tratamentos estudados. As áreas foram amostradas por meio de sorteio, utilizando o software Microsoft Excel 2019®. O sorteio foi feito com base na disponibilidade de dados da empresa.

4.4.4. Análise estatística

Os outliers foram identificados e removidos pelo uso do box plot, usando o intervalo interquartil (IQR) conforme Weisberg (2005). Valores fora de Q1 - 1,5IQR e Q3 + 1,5IQR foram considerados discrepantes. A visualização foi complementada na plotagem dos gráficos.

Os dados amostrados foram submetidos a um teste de normalidade, utilizando o teste de Shapiro-Wilk, considerados em distribuição normal quando p-valor > 0,05, com probabilidade de erro de 5% (Royston, 1982).

Para a comparação das médias de produtividade (m^3/h_t), adotou-se o teste de Tukey para os conjuntos de dados que apresentaram distribuição normal. Quando essa condição não foi atendida, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis, adequado para a comparação de médias em dados não paramétricos. Ambos os testes foram aplicados nos blocos experimentais, considerando um nível de confiança de 95%. As análises do teste de Tukey foram realizadas no software Sisvar 5.7 (Build 91), enquanto o teste de Kruskal-Wallis foi conduzido no Excel, utilizando a extensão Real Statistics (Release 9.4.5).

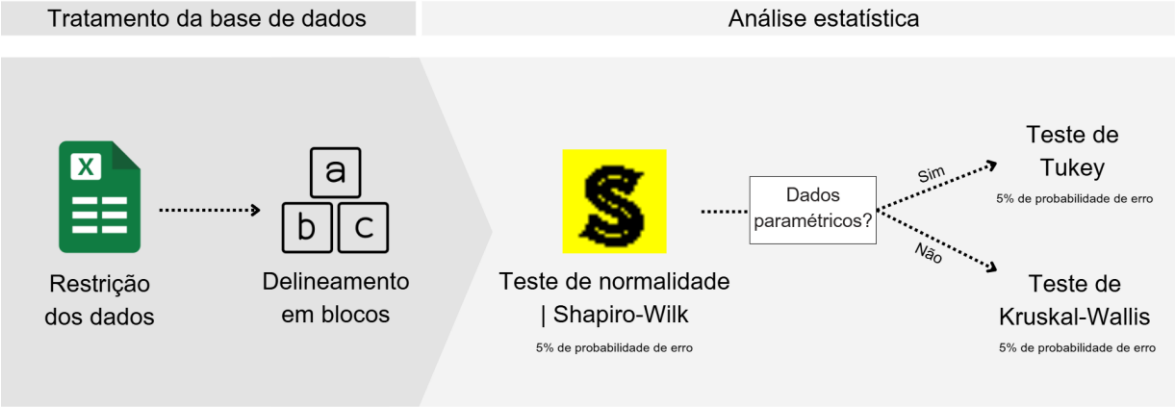

Figura 8 – Metologia aplicada para comparação de média de produtividade em diferentes CMT e descascamento em função do VMI.

Fonte: a autora.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Comparação da produtividade da madeira com e sem casca

Após a amostragem limitando o horímetro, performance dos operadores, características do terreno e demais variáveis ambientais e operacionais, e realizando a distribuição em blocos, considerando as classes de Volume Médio Individual com casca (VMI_{CC}) e os tratamentos aplicados, foram definidas três classes distintas: 0,140 - 0,190, 0,190 - 0,240 e 0,240 - 0,290, cada uma subdividida em dois tratamentos, CC e SC (Tabela 6).

Tabela 6: Delineamento em blocos com base nas classes de VMI e o descascamento.

Classes	***Tratamento***	***Bloco***
0,140 - 0,190	Com Casca	T1
0,140 - 0,190	Sem Casca	T2
0,190 - 0,240	Com Casca	G1
0,190 - 0,240	Sem Casca	G2
0,240 - 0,290	Com Casca	W1
0,240 - 0,290	Sem Casca	W2

Fonte: a autora.

O teste de normalidade pelo método de Shapiro-Wilk indicou que os dados de produtividade (m^3/h_t), transformados seguem uma distribuição não normal, uma vez que o *p-valor* foi menor que 0,05 (Tabela 7).

Tabela 7: Resultado do teste de Shapiro-Wilk nos dados transformados.

Variável	***n***	***W***	***Pr<W***
Produtividade	166	0,9579602	0,0000676

Fonte: a autora.

O histograma dos dados transformados indica um comportamento não paramétrico, observado pela assimetria e variação na distribuição dos dados. A maior representatividade ocorre entre 19,71 e 25,53, entretanto a distribuição apresenta uma extensão mais longa à direita, apontando desvio da normalidade (Figura 9).

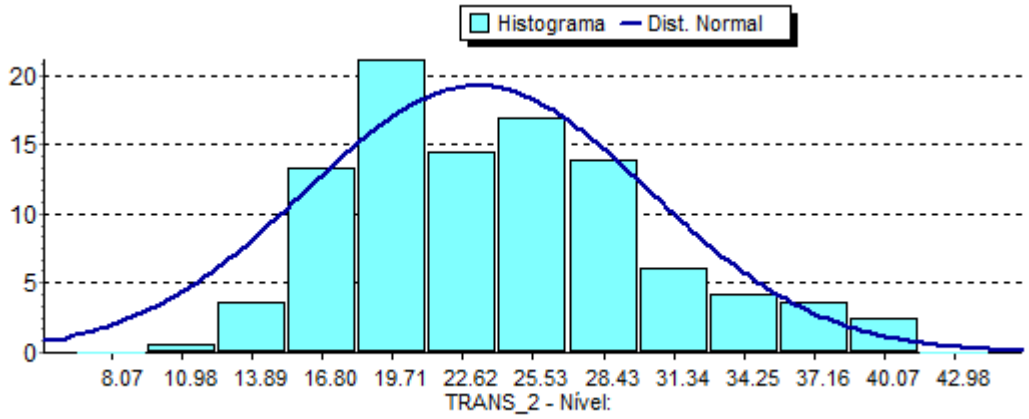

Figura 9: Histograma da produtividade (m^3/h_t).

Fonte: a autora.

O conjunto de dados analisado compreendeu 166 observações de produtividade transformada (m^3/h_t), onde a produtividade média foi de 24,186 m^3/h_t, e o erro padrão estimado foi de 0,468 (Tabela 5). O desvio padrão foi de 6,040 e variância da amostra igual a 36,482, indicando uma variação alta entre os valores individuais e dispersão dos dados em torno da média.

A amplitude total da amostra, determinada pela diferença entre o máximo (40,070 m^3/h_t) e o valor mínimo (10,980 m^3/h_t), foi de 29,090. Além disso, o coeficiente de variação (CV) de 24,972% indica uma dispersão dos dados relativamente considerável (Tabela 7).

Tabela 7: Estatística descritiva nas Unidades de Produção (UPs) avaliadas na pesquisa.

Estatística descritiva	***Produtividade (m^3/h_t)***
n	166
Média	24,186
Erro padrão	0,468
Desvio padrão	6,040
Variância da amostra	36,482
Amplitude total (A)	29,090
Mínimo	10,980
Máximo	40,070
CV*	24,972

*Coeficiente de variação

Fonte: a autora.

Uma vez que os dados de apresentarem como não paramétricos, a aplicação do teste de Kruskal-Wallis indicou que os tratamentos CC apresentaram produtividade superior aos tratamentos SC em todas as classes de VMI analisadas, com diferenças estatisticamente significativas dentro de cada bloco experimental, uma vez que o *p-valor* foi inferior a 0,05 (Tabela 8).

Tabela 8: Teste de Turkey para tratamentos do descascamento.

Classe VMI	***Tratamento***	***Bloco***	***Produtividade média***	***P -valor*** **Kruskal-Wallis**
0,140 - 0,190	Com Casca	T1	24,31	0,0000337*
0,140 - 0,190	Sem Casca	T2	19,07	
0,190 - 0,240	Com Casca	G1	27,56	0,0002184*
0,190 - 0,240	Sem Casca	G2	22,33	
0,240 - 0,290	Com Casca	W1	37,40	0,0026997*
0,240 - 0,290	Sem Casca	W2	26,27	

* Significativo a 5% de probabilidade de erro

Fonte: a autora.

No bloco T, representado pela classe de VMI entre 0,140 e 0,190, o tratamento CC obteve uma produtividade média de 24,31, enquanto o tratamento SC apresentou 19,07, com diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos (p-valor = 0,0000337). No bloco G, referente à classe de VMI entre 0,190 e 0,240, o tratamento CC apresentou uma produtividade média de 27,56, enquanto o tratamento SC obteve 22,33, indicando também uma diferença significativa entre os tratamentos (p-valor = 0,0002184). Já no bloco W, para a classe de VMI entre 0,240 e 0,290, o tratamento CC teve a maior produtividade registrada, com 37,40, enquanto o tratamento SC apresentou 26,27, confirmando novamente a diferença significativa entre os tratamentos (p-valor = 0,0026997).

Essas observações reforçam apontam que fatores como o descascamento geram um impacto significativo a eficiência do corte mecanizado.

5.2. Comparação da produtividade do corte de tora longa e curta

Foram definidas duas classes distintas: 0,190 - 0,240 e 0,240 - 0,290, cada uma subdividida em dois tratamentos, tora de 6 e 2,8 metros (Tabela 9).

Tabela 9: Delineamento em blocos com base nas classes de VMI e CMT.

Classes	***Tratamento***	***Bloco***
0,190 - 0,240	6 m	H1
0,190 - 0,240	2,8 m	H2
0,240 - 0,290	6 m	Z1
0,240 - 0,290	2,8 m	Z2

Fonte: a autora.

O conjunto de dados analisado contou com 25 observações de produtividade (m^3/h_t), apresentando média de 28,486, e desvio padrão de 7,949. A produtividade variou entre 15,020 e 44,990 (m^3/h_t), com amplitude total de 29,970 (Tabela 10).

Tabela 10: Estatística descritiva nas Unidades de Produção (UPs) avaliadas na pesquisa.

Estatística descritiva	***Produtividade (m^3/h_t)***
N	25
Média	28,486
Erro padrão	1,589
Desvio padrão	7,949
Variância da amostra	63,200
Amplitude total (A)	29,970
Mínimo	15,020
Máximo	44,990
CV*	27,907

*Coeficiente de variação

Fonte: a autora.

O teste de normalidade pelo método de Shapiro-Wilk indicou que os dados de produtividade (m^3/h_t) considerando o Comprimento Médio de Toras (CMT) como variável tratamento, seguem uma distribuição paramétrica, ou seja, p-valor é superior a 0,05 (Tabela 11).

Tabela 11: Resultado do teste de Shapiro-Wilk nos dados amostrados para a análise do CMT.

Variável	***n***	***W***	***Pr<W***
Produtividade	25	0,93120805	0,092677

Fonte: a autora.

O gráfico da produtividade mostra uma leve assimetria, com a maior concentração de valores entre aproximadamente 22,51 e 37,50 unidades de

produtividade, fato que sugere que a produtividade do corte de madeira segue, em grande parte, um padrão próximo da normalidade, mas pode apresentar desvios devido a variações operacionais, ambientais ou do próprio equipamento (Figura 10).

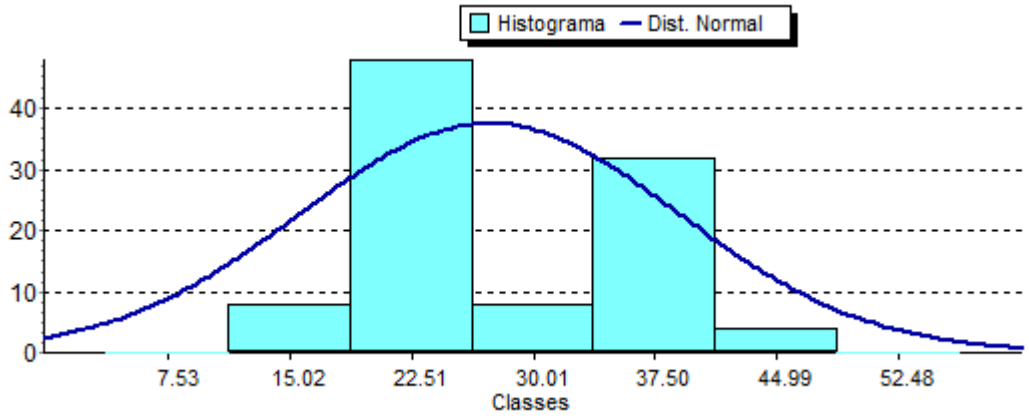

Figura 10: Histograma de distribuição da produtividade (m^3/h_t)

Fonte: a autora.

O teste de Tukey apresentou diferenças significativas na produtividade do *harvester* em função do tratamento aplicado e da classe de VMI. Os resultados indicam que o maior Comprimento Médio da Tora (6 metros) obteve maior produtividade em ambas as classes de VMI avaliadas (Tabela 12).

Tabela 12: Teste de Tukey para tratamentos do Comprimento Médio da Tora.

Classe VMI	***Tratamento***	***Bloco***	***Produtividade média***	***Tukey***
0,190 - 0,240	6 m	H1	28,74	a1
0,190 - 0,240	2,8 m	H2	20,86	a2
0,240 - 0,290	6 m	Z1	38,77	b1
0,240 - 0,290	2,8 m	Z2	23,91	b2

Fonte: a autora.

No bloco H1, correspondente à classe VMI de 0,190 - 0,240, a produtividade média foi de 28,74 m^3/h_t, enquanto no bloco H2, submetido ao mesmo VMI, mas com um corte de 2,8 m, a produtividade foi reduzida para 20,86 m^3/h_t. O mesmo padrão foi observado na classe VMI de 0,240 - 0,290, onde a produtividade do bloco Z1, com comprimento da tora de 6 metros atingiu 38,77 m^3/h_t, sendo significativamente superior ao bloco Z2, caracterizado pela tora de 2,8 metros, que apresentou produtividade de 23,91 m^3/h_t.

A comparação das médias de produtividade (m^3/h_t) no corte revelou uma diferença significativa entre os diferentes tipos de madeira (com e sem casca) e o Comprimento Médio da Tora (CMT), ou seja, ambos os tratamentos analisados no trabalho demonstraram influência na produtividade (m^3/h_t) do corte de madeira.

Em todas as classes de VMI avaliadas, a produtividade do corte da madeira demonstrou influência com a variação do CMT, indicando um acréscimo de tempo do ciclo operacional quando a tora é mais longa. Do mesmo modo, a produtividade da colheita apresentou uma redução no processamento da madeira sem casca, uma vez que a etapa de descascamento é obrigatória, prolongando o ciclo operacional por árvore.

O mesmo resultado foi observado em outros estudos que avaliaram o impacto do comprimento da tora na eficiência operacional do *harvester.* De acordo com Belisario (2017) comprimentos maiores de corte, aumentam a produtividade de operação do *Harvester.*

6. CONCLUSÕES

A análise revelou que o descascamento da madeira (com e sem casca) e o comprimento das toras influenciam significativamente na produtividade (m^3/h_t) do corte.

Os resultados ressaltam a relevância da definição estratégica dessas variáveis na operação de corte mecanizado com *harvester.* Observou-se que maiores comprimentos de tora e o corte da madeira com casca proporcionam um aumento na produtividade (m^3/h_t).

Dessa forma, no planejamento florestal, é fundamental considerar essas variáveis na definição de metas operacionais para a colheita em cada UP. Além disso, destaca-se a importância da continuidade deste estudo, por meio da modelagem dos dados e da definição de curvas de produtividade que incluam variáveis adicionais além do VMI, comumente utilizado no planejamento da atividade de colheita de madeira.

7. \REFERÊNCIAS

BELISARIO, A. V.; Influência do comprimento de tora de eucalipto na produtividade da colheita e transporte florestal mecanizado. Monografia, UFES, Jerônimo Monteiro, 2017.

COSTA, E. B. A.; Modelagem e curva de produtividade no baldeio de eucalipto com uso de Forwarder. Monografia, UFAL, Rio Largo, 2024.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. Relatório Anual 2024. São Paulo: **IBÁ,** 2024.

KOMATSU FOREST. *Cabeçote Harvester 370E*. 2024. Disponível em: https://www.komatsuforest.com.br/produtos/cabeçotes-harvester/370e. Acesso em: **01 mar. 2025**.

LACERDA, L. C.; FIEDLER, N. C.; CHICHORRO, J. F.; CARMO, F. C. A.; MENDONÇA, A. R. Análise operacional da extração florestal mecanizada em módulos próprios e terceirizados. **Nativa**, Sinop, v. 03, n. 03, p. 205-209, jul./set. 2015.

LEITE, E. S. **Modelagem técnica e econômica de um sistema de colheita florestal mecanizada de toras curtas**. 2012. 129 p. Teste (Doutorado – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2012.

LOPES, E. S; Planejamento estratégico na colheita de madeira. Revista Opiniões. Mar-Mai. P. 34, 2016.

MACHADO, C.C.; LIMA, J.S.S.; LEITE, A.M.P. Mecanização. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal.** 3 ed. Viçosa, MG, Ed. UFV, 2014. p. 46-73.

MACHADO, C.C.; LOPES, E.S. Planejamento. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal.** 3 ed. Viçosa, MG, Ed. UFV, 2014. p. 206-252.

MACHADO, C.C.; SILVA, E.N.; PEREIRA, R.S.; CASTRO, G.P. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal.** 3 ed. Viçosa, MG, Ed. UFV, 2014. p. 15-45.

MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, J. R. **Evolução dos sistemas de colheita de madeira para pinus na região Sul do Brasil**. Curitiba: FUPEF, 1998.108p.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A. Sistemas. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal.** 3 ed. Viçosa: UFV, 2014. 543 p.

MASIOLI, W.; FIEDLER, N.C.; BRISSON, E. V.; ALMEIDA, A. T. S.; LACERDA, L. C. Variables que influyen en la productividad de la explotación maderera en un sistema de troncos cortos. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales,** São José dos Pinhais, v.17, n.2, p. 01-14, 2024.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental.** 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009.

ROBERT, R. C. G. **Guia prático de operações florestais na colheita de madeira.** 1 ed. Curitiba: Ed. Do Autor, 2012. 112 p.

RODRIGUES, C. K. Classificação dos sistemas de colheita da madeira. In: RODRIGUES, C. K. **Colheita e transporte florestal.** 1 ed. Curitiba, PR, Ed. Do autor, 2018. p. 28-36.

RODRIGUES, C. K. Etapas da colheita florestal. In: RODRIGUES, C. K. **Colheita e transporte florestal.** 1 ed. Curitiba, PR, Ed. Do autor, 2018. p.1-27.

RODRIGUES, C. K. Planejamento e gestão das operações de colheita da maderia. In: RODRIGUES, C. K. **Colheita e transporte florestal.** 1 ed. Curitiba, PR, Ed. Do autor, 2018. p.37-54.

ROYSTON, P. An extension of Shapiro and Wilk's W test for normality to large samples. **Applied Statistics**, v.31, p.115-124, 1982.

SANT´ANNA, C. M. Corte. In: MACHADO, C. C. **Colheita Florestal.** 3 ed. Viçosa, MG, UFV, 2014. p.543.

SANTOS, D. W. F. D. N.; LEITE, E. S.; SOUZA, D. R.; FERNANDES, H. C. **Análise técnica-econômica de sistemas de colheita: toras curtas e toras longas sob métodos mecanizado e semimecanizado**. Magistra. Cruz das Almas - BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB. 2014.

SIMÕES, D.; FENNER, P.T.; ESPERANDINI, M.S.T. **Produtividade e custos do feller-buncher e processador florestal em povoamento de eucalipto de primeiro corte.** Ciência Florestal, v. 24, n. 3, p. 621-630. 2014.

SZYMCZAK, D. A.; BRUN, E. J.; REINERT, D. J.; FRIGOTTO, T.; MAZZALIRA, C. C.; LÚCIO, A. D.; MARAFIGA, J. Compactação do solo causada por tratores florestais na colheita de Pinus taeda L. na região sudoeste do Paraná. **Árvore,** v. 38, n. 1, p. 641-648, 2014.

WEISBERG, S. **Applied linear regression**. 3. ed., Wiley, Colorado, 2005.