

GUSTAVO SILVA OLIVEIRA

**VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM OS CUSTOS DA QUALIDADE EM OPERAÇÕES
DE COLHEITA MECANIZADA DE *Pinus* spp. EM QUARTO DESBASTE E CORTE
RASO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Philippe Ricardo Casemiro Soares.

Co-orientador: Prof. Dr. Jean Alberto Sampietro.

Lages, SC

2018

**Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC**

Silva Oliveira, Gustavo
VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM OS CUSTOS DA
QUALIDADE EM OPERAÇÕES DE COLHEITA MECANIZADA DE
Pinus spp. EM QUARTO DESBASTE E CORTE RASO /
Gustavo Silva Oliveira. - Lages , 2018.
89 p.

Orientador: Philippe Ricardo Casemiro Soares
Co-orientador: Jean Alberto Sampietro
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal, Lages, 2018.

1. Setor florestal. 2. Planejamento. 3.
Desdobramento da função qualidade. 4. Gestão da
qualidade. I. Casemiro Soares, Philippe Ricardo. II.
Sampietro, Jean Alberto. , .III. Universidade do
Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal. IV. Título.

GUSTAVO SILVA OLIVEIRA

**VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM OS CUSTOS DA QUALIDADE EM OPERAÇÕES
DE COLHEITA MECANIZADA DE *Pinus* spp. EM QUARTO DESBASTE E CORTE
RASO**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Florestal.

Banca examinadora:

Orientador: _____

Prof. Dr. Philipe Ricardo Casemiro Soares
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro externo: _____

Prof. Dr. Marcos Milan
Universidade do Estado de São Paulo

Membro interno: _____

Prof. Dr. Thiago Floriani Stepka
Universidade do Estado de Santa Catarina

Lages, SC, 16 de fevereiro de 2018

*Aos meus pais, Adelar e Marloiva, meus irmãos
Tiago e Taís, meu sobrinho Tarcísio e meu avô
Adolar por todo apoio e amor recebidos!*

Dedico...

AGRADECIMENTOS

A concretização de um sonho passa por um trabalhoso percurso do qual muitos fazem parte, sendo esse o fruto da contribuição de todos que ao meu lado estiveram.

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora Medianeira que guiaram e iluminaram cada passo e deram-me força, fé, coragem, saúde e amor, essenciais para chegar até aqui e querer ir além.

Ao meu porto seguro, rainha e mãe Marloiva, grande modelo de resiliência, caráter e amor, quando eu crescer quero ser igual a você. Ao meu querido pai Adelar pelo carinho e incentivo. Aos meus “manos” Tiago e Tais e meu sobrinho Tarcísio, que sempre me apoiaram e estiveram presentes em inesquecíveis e deliciosos momentos. Juntos somos mais. Carrego vocês sempre comigo e com muito amor. Obrigado por serem sempre tão presentes em minha vida, mesmo quando estamos distantes!

Meu avô Adolar exemplo de trabalho e responsabilidade e meu anjo da guarda, minha avó Maria que com certeza está vibrando com cada conquista minha rumo a evolução.

Ao meu orientador e amigo Philippe Soares pela confiança no meu trabalho, que durante essa caminhada foi muito mais que um orientador, mas um querido amigo, que juntamente com sua família, me abriram as portas da sua casa. O meu muito obrigado pelo apoio, compreensão e ensinamentos transmitidos com tamanha dedicação e carinho.

Aos queridos e inestimáveis amigos que fazem parte da família que a gente escolhe: o meu eterno carinho especial a todos vocês: sempre presentes, queridos, divertidos, companheiros e também tão compreensivos nas ausências que uma pós-graduação provoca algumas vezes: Chaiane, Maycon, Douglas, Mireli, Rafaela, Juliana, Joseane, Taíze, Tarik, Kemely, Jéssica, Jaque, Monique, Amanda, Leka e Sandra. Ao Jover pela torcida e carinho; ao Marcos pelos inúmeros aprendizados e companheirismo; e ao Helison pela força e incentivo nesta fase final.

Ao grupo TJ Coaching, que me trouxe sabedoria e discernimento, para acreditar em mim em busca de novas superações nesse caminho de constante transformação.

Aos meus professores, em especial ao meu coorientador Jean Sampietro pelo apoio e colaboração; a banca examinadora, pelo gentil aceite do convite para participar desse trabalho com suas valiosas contribuições.

À Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em especial ao Programa de Pós graduação da Engenharia Florestal pelos quais tenho tanta admiração e me sinto orgulhoso de ter feito parte.

À empresa Florestal Gateados Ltda., pela parceria na realização do trabalho; e a FAPESC pelo auxílio financeiro para realização de parte dessa pesquisa.

RESUMO

OLIVEIRA, Gustavo Silva. **Variáveis que influenciam os custos da qualidade em operações de colheita mecanizada de *Pinus* spp. em quarto desbaste e corte raso.** 2018. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2018.

O processo de globalização e as exigências dos clientes tornam o oferecimento de bens e serviços cada vez mais complexos, evidenciando a indispensabilidade no investimento da gestão da qualidade para a sobrevivência das empresas, com o intuito de reduzir os custos, otimizando e mantendo a qualidade dos processos produtivos. Das etapas de produção de madeira, a colheita florestal compreende os maiores custos e riscos de perdas. Desta maneira, este estudo objetivou determinar as variáveis que influenciam os custos da qualidade na colheita florestal mecanizada de *Pinus* spp. em operações de quarto desbaste e corte raso, visando contribuir no controle de qualidade da atividade florestal. A pesquisa foi desenvolvida em uma empresa localizada no município de Campo Belo do Sul, Santa Catarina, que destina sua produção de madeira para múltiplos usos. Deste modo, o trabalho foi dividido em duas etapas, sendo a primeira a identificação das variáveis que influenciam os custos da qualidade em quatro categorias (avaliação, prevenção, falhas internas e externas). Para isso, adaptou-se a metodologia QFD (Desdobramento da Função da Qualidade) para traduzir as necessidades dos clientes internos e externos (fatores críticos de sucesso) das atividades de colheita florestal mecanizada da empresa em características técnicas mensuráveis (variáveis que influenciam os custos da qualidade), determinando o peso para cada relação e, conseqüentemente, obtendo-se o balanço das categorias, além das correlações das variáveis que influenciam os custos da qualidade avaliadas como: forte, média, fraca e inexistente. Na segunda etapa, realizou-se a simulação de seis cenários compreendendo diferentes alturas de toco e pré-traçamento nas intervenções de quarto desbaste e corte raso, sendo o primeiro cenário as especificações da empresa, o segundo a situação real, por meio das medições realizadas a campo em unidades amostrais, o cenário 3 (alturas de toco e pré-traçamento de 10,0 e 5,0 cm respectivamente) e os demais cenários simulados aumentando sucessivamente 10,0 cm sobre o especificado pela empresa. Para este fim, utilizou-se as funções de afilamento para quantificação dos sortimentos e retornos econômicos em cada cenário. Os resultados mostraram que dentre as 29 variáveis que influenciam os custos da qualidade identificadas, 18 foram classificadas como de avaliação e prevenção e 11 como de falhas internas e externas. Dos pesos relativos da importância das variáveis que influenciam os custos da qualidade nas categorias, 37,17% foram em prevenção e 26,49% em avaliação, enquanto que as variáveis de falhas internas e externas representaram 26,57% e 9,73%, respectivamente. Na matriz de correlações, para um total de 406 células, foram encontradas 334 correlações: 195 (58%) forte, 86 (26%) média e 53 (16%) fraca. No quarto desbaste, o cenário 3 apresentou o maior ganho econômico 19.934,21 R\$ ha⁻¹, seguido do cenário 2 mensurado com as unidades amostrais 19.925,78 R\$ ha⁻¹, superando as expectativas de produção (cenário 1). No corte raso, o cenário 1, apresentou uma maior quantidade de madeira 532,43 t ha⁻¹, no entanto, o cenário 3 representou uma maior receita 135.781,32 R\$ ha⁻¹, devido a uma maior quantidade madeira nos sortimentos com valor comercial superior. Desta forma, a empresa deve buscar aperfeiçoar a qualidade do processo de colheita, realizando um maior investimento em avaliação e prevenção para reduzir as não conformidades, expandindo as receitas, além de um maior aproveitamento dos recursos naturais.

Palavras-chave: Setor florestal. Planejamento. Desdobramento da função qualidade. Gestão da qualidade.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Gustavo Silva. **Variables that influence quality costs in mechanized harvesting operations of *Pinus* spp. in fourth thinning and clearcutting.** 2018. 89 l. Dissertation (Master in Forest Engineering – Area: Forest Engineering) – Santa Catarina State University. Forestry Engineering Graduate Program, Lages, 2018.

The globalization process and the demands of the clients make the offer of goods and services more complex, showing the indispensability in the investment of the quality management for the survival of the companies, in order to reduce costs, optimizing and maintaining the quality of productive processes. Considering the timber production stages, harvesting comprises the highest costs and risks of losses. Therefore, this study aimed to determine the variables that influence costs of quality in the mechanical harvesting of *Pinus* spp. in operations of fourth thinning and clearcutting, in order to contribute to the quality control of the forest activity. The research was developed in a company located in the municipality of Campo Belo do Sul, Santa Catarina, which uses its wood production for multiple uses. Thus, the work was divided in two stages, the first one was the identification of quality costs in four categories (evaluation, prevention, internal and external failures). For this, the QFD (Quality Function Deployment) methodology was adapted to express the critical success factors of the company's mechanized forest harvesting activities on measurable technical characteristics, determining the weight for each relation and, consequently, the balance of the categories, besides the correlations of the variables that influence the quality costs evaluated as: strong, medium, weak and nonexistent. In the second phase, the quality evaluation was performed using taper functions for wood quantification and economic returns in six scenarios comprising different stump heights and pré-bucking, in the fourth thinning and clearcutting interventions. In the second stage, the simulation of six scenarios comprising different heights of stump height and pré-bucking was performed in the fourth thinning and clearcutting interventions, the first scenario being the company's specifications, the second being the actual situation, through measurements to field in sample units, scenario 3 (heights of stump and pre-tracing of 10.0 and 5.0 cm respectively) and the other simulated scenarios increasing successively 10.0 cm over that specified by the company. Among the 29 quality costs identified, 18 were classified as evaluation and prevention and 11 as internal and external failures. Concerning the relative weights in relation to the importance of quality costs in the categories, 37.17% were in prevention and 26.49% in evaluation, while the costs of internal and external failures represented 26.57% and 9.73%, respectively. In the correlation matrix, for a total of 406 cells, 334 correlations were found: 195 (58%) strong, 86 (26%) mean and 53 (16%) weak. In the fourth thinning, scenario 3 presented the highest economic gain 19,934.21 R\$ ha⁻¹, followed by scenario 2 measured with the sample units 19,925.78 R\$ ha⁻¹, overcoming production expectations (Scenario 1). In clearcut, scenario 1 presented a higher amount of wood (532.43 t ha⁻¹), however, scenario 3 showed a higher income of 135,781.32 R\$ ha⁻¹, due to a larger quantity of wood in the assortments with higher commercial added value. Thus, the company must seek the improvement of the quality of the harvesting process, performing a greater investment in evaluation and prevention in order to reduce unconformities, leading to an increased revenue, as well as a greater use of natural resources.

Keywords: Forestry sector. Planning. Quality function deployment. Quality management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1– Esboço da casa da qualidade. | 33 |
| Figura 2 – Localização das áreas do estudo no município de Campo Belo do Sul, região serrana do estado de Santa Catarina. | 38 |
| Figura 3 – Especificações da empresa: A - Altura de toco; B - pré-traçamento. | 41 |
| Figura 4 - Estrutura da matriz QFD “casa da qualidade”. FCS: fatores críticos de sucesso, GI: grau de importância, VCQ: variáveis que influenciam os custos da qualidade. | 43 |
| Figura 5 - Visualização parcial das correlações entre os custos da qualidade. | 58 |
| Figura 6 - Distribuição das classes de DAP (cm) dos indivíduos destinados ao quarto desbaste, quanto a sua frequência absoluta (N/ha). | 61 |
| Figura 7– Quantidade de toras (%) para os diferentes sortimentos em cada cenário. | 63 |
| Figura 8- Distribuição das classes de DAP (cm) dos indivíduos destinados ao corte raso, quanto a sua frequência absoluta (N/ha). | 66 |
| Figura 9- Quantidade de toras (%) para os diferentes sortimentos em cada cenário. | 68 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1- Características das situações avaliadas: quarto desbaste e corte raso. | 39 |
| Tabela 2 - Descrição das máquinas utilizadas nos módulos de colheita florestal mecanizada. | 40 |
| Tabela 3 – Escala em relação ao peso e o grau de importância..... | 44 |
| Tabela 4– Símbolos e pesos utilizados na matriz de relações. | 45 |
| Tabela 5– Simbologia da matriz de correlações..... | 46 |
| Tabela 6- Classificação dos múltiplos usos oriundos das florestas de Pinus spp..... | 47 |
| Tabela 7 - Coeficientes e parâmetros estatísticos para a equação de afilamento ajustadas para os dados para variável di. | 50 |
| Tabela 8 - Alturas de toco e pré-traçamento (cm) para diferentes cenários no quarto desbaste e corte raso..... | 51 |
| Tabela 9 - Graus de importância para os fatores críticos de sucesso (FCS) para as atividades de colheita florestal mecanizada..... | 52 |
| Tabela 10- Variáveis que influenciam os custos da qualidade e seus pesos relativos do processo em %..... | 55 |
| Tabela 11 – Informações estatísticas dos dados de volume (m ³) das parcelas para toco e pré-traçamento nas intervenções de quarto desbaste e corte raso..... | 60 |
| Tabela 12 - Informações estatísticas dos dados de DAP (cm) dos povoamentos destinados as intervenções de quarto desbaste. | 61 |
| Tabela 13 – Limite inferior, ponto médio e limite superior de cada classe e características dendrométricas de DAP (cm) e altura total (m) dos indivíduos selecionados do inventário florestal de estoque de madeira para cada classe diamétrica..... | 62 |
| Tabela 14 – Quantificação dos sortimentos em toneladas por hectare (t ha ⁻¹) e valor monetário por hectare (R\$ ha ⁻¹) para cada sortimento nos diferentes cenários avaliados..... | 64 |
| Tabela 15- Informações estatísticas dos dados de DAP (cm) dos indivíduos destinados as intervenções de corte raso..... | 66 |
| Tabela 16 – Limite inferior, ponto médio e limite superior de cada classe e características dendrométricas de DAP (cm) e altura total (m) dos indivíduos selecionados do inventário florestal de estoque de madeira para cada classe diamétrica..... | 67 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 23 |
| 2 OBJETIVOS | 25 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 25 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 25 |
| 3 REVISÃO BIBLIGRÁFICA | 26 |
| 3.1 SETOR FLORESTAL BRASILEIRO E CATARINENSE | 26 |
| 3.2 COLHEITA FLORESTAL..... | 27 |
| 3.3 GESTÃO DA QUALIDADE | 28 |
| 3.3.1 Gestão da qualidade no setor florestal..... | 29 |
| 3.3.2 Custos da qualidade..... | 31 |
| 3.3.3 <i>Quality Function Deployment</i> (QFD) | 32 |
| 3.4 DETERMINAÇÃO DE SORTIMENTOS | 35 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS | 38 |
| 4.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 38 |
| 4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES DE COLHEITA FLORESTAL MECANIZADA..... | 39 |
| 4.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO QFD..... | 42 |
| 4.3.1 Qualidade desejada (Fatores críticos de sucesso) | 43 |
| 4.3.2 Qualidade planejada (Grau de importância - GI)..... | 43 |
| 4.3.3 Características técnicas (Variáveis que influenciam os custos da qualidade)..... | 44 |
| 4.3.4 Matriz de relação (qualidade desejada e características técnicas)..... | 44 |
| 4.3.5 Qualidade projetada..... | 45 |
| 4.3.6 Matriz de correlação (entre as variáveis que influenciam os custos da qualidade).. | 46 |
| 4.4 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS | 46 |
| 4.4.1 Classificação dos sortimentos | 47 |
| 4.4.2 Coleta dos dados da situação real..... | 47 |
| 4.4.3 Estimativa dos sortimentos..... | 48 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 52 |
| 5.1 CUSTOS DA QUALIDADE..... | 52 |
| 5.2 DESPERDÍCIOS DE MADEIRA | 60 |

| | |
|-----------------------------|-----------|
| 5.2.1 Quarto desbaste | 60 |
| 5.2.2 Corte Raso | 66 |
| 6 CONCLUSÕES..... | 72 |
| 7 RECOMENDAÇÕES..... | 73 |
| REFERÊNCIAS | 74 |
| APÊNDICE | 87 |
| ANEXO..... | 88 |

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro vem se destacando mundialmente devido aos avanços tecnológicos e conhecimentos gerados por décadas de pesquisa, fato que associado ao fim dos incentivos fiscais e a diminuição dos estoques de matéria prima, desencadeou a busca pelo aperfeiçoamento das atividades de produção (ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS - ACR, 2016).

Além dos avanços do setor, a constante globalização da economia resulta em crescentes exigências por parte dos consumidores, caracterizando a competitividade na indústria e colaborando para que o diferencial de qualidade seja fundamental para as empresas que desejam alcançar o sucesso esperado, mantendo-se competitivas no mercado nacional e internacional.

Como medida de sobrevivência, as empresas inevitavelmente devem alcançar consideráveis níveis de produtividade, eficiência e qualidade, atenuando custos e, por conseguinte, reduzindo desperdícios para expansão dos lucros, tornando seus produtos e/ou serviços cada vez mais atrativos (MARTINS, 2001). Neste ponto de vista, a aplicação de ferramentas e metodologias que avaliem, identifiquem e quantifiquem perdas apresenta grande potencial, tendo em vista o aprimoramento contínuo do sistema de produção nas empresas.

Entretanto, a evolução e aplicação de ferramentas e metodologias de gestão da qualidade no setor florestal ainda é recente quando comparado a outros setores da economia. Esta problemática ocorre devido à carência de pesquisas que corroborem com a otimização dos processos e que estas cheguem até as empresas. Conseqüentemente, a falta de recursos investidos em controle e prevenção dos processos gera elevados custos de falhas, internas e externas, ocasionando a insatisfação dos clientes e perda de mercado.

Conforme Juran e Gryna (1993) um ponto considerável para melhorias dos processos é uma efetiva identificação e controle de variáveis que influenciam os custos de qualidade. Deste modo, a falta de informações mais recentes referentes aos custos de qualidade do processo produtivo, observada no setor florestal, pode desencadear perdas sociais, ambientais e econômicas, especialmente nas atividades de colheita florestal e transporte que representam aproximadamente 50% dos custos finais de matéria prima posta na indústria (MACHADO et al., 2008).

Neste contexto, como alternativa que apresenta potencial de adaptação para a determinação das variáveis que influenciam os custos relacionados à qualidade, o *Quality Function Deployment* (QFD) tem por objetivo aprimorar o desenvolvimento do processo produtivo em conjunto com as necessidades dos clientes, cooperando no alcance das garantias

esperadas durante a execução das atividades. Segundo Akao e Mazur (2003) a ferramenta é adaptada em vários países no mundo e tem como principais objetivos um menor gasto de tempo, atenuação no descontentamento de clientes e custos de perdas, além da contribuição na intercomunicação dentro das organizações.

Outra análise que pode ser realizada, especialmente para a atenuação de variáveis que influenciam nos custos de falhas internas, é a quantificação e qualificação dos produtos madeireiros por meio dos modelos de afilamento, que permitem estimar o volume total ou comercial da tora em qualquer diâmetro ou altura especificados (MIGUEL et al., 2011). Neste sentido, essa técnica contribui no estudo dos sortimentos de madeira, visando maior produtividade, eficiência e qualidade nas atividades de colheita florestal mecanizada (MENDONÇA, 2006).

Devido a necessidade de informações para subsidiar a tomada de decisões, as hipóteses levantadas para responder o problema da pesquisa foram:

- i. A análise e sistematização das variáveis que afetam os custos da qualidade na colheita florestal mecanizada irão contribuir no planejamento da empresa, possibilitando a atenuação de desperdícios e conseqüentemente dos custos de falhas;
- ii. A quantificação dos sortimentos de madeira nos diferentes cenários permitirá a empresa a potencialização dos procedimentos da colheita florestal mecanizada.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

A presente pesquisa teve por objetivo determinar as variáveis que influenciam os custos da qualidade na colheita florestal mecanizada de *Pinus* spp. em operações de quarto desbaste e corte raso, tendo em vista auxiliar nos processos de gestão de atividades de uma empresa florestal.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir as variáveis que influenciam os custos da qualidade no processo de colheita florestal mecanizada nas operações de quarto desbaste e corte raso;
- Determinar o balanço das variáveis que influenciam os custos da qualidade nas categorias de avaliação, prevenção e falhas;
- Determinar a correlação das variáveis que influenciam os custos da qualidade;
- Avaliar e quantificar cenários, considerando diferentes alturas de toco e pré-traçamento, buscando alternativas para redução das variáveis de custos da má qualidade.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SETOR FLORESTAL BRASILEIRO E CATARINENSE

O setor de florestas plantadas oferta 91,0% de toda a madeira com destinações industriais no país, equivalendo a uma área de efetivo plantio, em 2016, de 7,84 milhões de hectares, alcançando R\$ 71,1 bilhões quanto ao Produto Interno Bruto (PIB) setorial. Em relação ao PIB brasileiro, o setor de árvores plantadas fechou 2016 com participação de 1,1% de toda a riqueza gerada no País e 6,2% do PIB industrial. Além disso, o setor empregou diretamente 510 mil pessoas, além de empregos indiretos (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ, 2017).

Atualmente, o setor engloba uma ampla gama de empresas, investidores e empreendedores, que vão desde o fornecimento de insumos até o produto final, produzindo madeira para múltiplos usos como: celulose, papel, painéis de madeira reconstituída, pisos laminados, painéis compensados, móveis, demais produtos sólidos de madeira, carvão vegetal, biomassa para fins energéticos, entre outros (IBÁ, 2017).

Das espécies plantadas no país, destacam-se os dois gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Do gênero *Pinus*, as espécies de *P. elliottii* Engelm. e *P. taeda* L. tiveram sua silvicultura intensificada a partir dos incentivos fiscais do ano de 1966, promovidos pelo governo federal (BARROS, 2006). Além disso, o gênero *Pinus* apresenta um incremento médio anual (IMA) volumétrico de 30,5 m³/ha.ano. Estes valores são resultados da associação de investimentos das organizações em pesquisas e desenvolvimento florestal, otimizando as técnicas florestais (IBÁ, 2017).

Dentre os estados brasileiros, Santa Catarina vem progredindo nos plantios destas espécies atingindo, no ano de 2015, 542 mil hectares de *Pinus*. Além disso, devido a um aumento na demanda por madeira, as áreas de plantios no estado vêm aumentando consideravelmente, atingindo uma produção de 194 milhões de m³ para este mesmo ano. Além disso, o estado possui grande influência no mercado nacional e internacional quando se trata de produtos florestais. Deste modo, Santa Catarina apresenta a quarta maior produção de madeira em toras e, referente ao *Pinus*, possui a segunda maior área plantada do país, após o estado do Paraná (ACR, 2016).

3.2 COLHEITA FLORESTAL

A colheita florestal é definida por Conway (1976) como o trabalho executado desde o preparo das árvores para a derrubada até o transporte para o local de uso final. O planejamento das operações, medições, recebimento da matéria prima no pátio da indústria e a comercialização da madeira também estão envolvidos no processo. Entre as atividades da colheita florestal estão os desbastes e o corte raso.

Das etapas que envolvem o processo de produção de produtos madeiráveis, a colheita florestal é a de maior relevância do ponto de vista econômico, devido à sua significativa contribuição no custo final do produto e às ameaças de perdas atribuídas a essa operação (DUARTE, 1994). Machado et al. (2008) destacaram que a colheita florestal representa, aproximadamente, 50% do custo final da madeira posta na fábrica. Possivelmente, também é a que traz maior retorno com a implementação de programas de qualidade, permitindo a visualização de resultados com maior eficiência e segurança (TRINDADE et al., 1991).

Rezende et al. (1997) afirmaram que para manterem-se em crescente desenvolvimento, as organizações do setor florestal devem focar principalmente na otimização das atividades da colheita da madeira, melhorando a qualidade do produto e serviço, redução das perdas, melhorias na eficiência das máquinas, maximização da produtividade e minimização dos custos de produção. Aprimorando estes conceitos, Lopes (2001) destacou que para alcançar sucesso na colheita florestal é imprescindível que se realizem todas as manutenções necessárias, assim como realizar o uso das tecnologias de planejamento e, principalmente, o controle das atividades, juntamente com o controle de falhas e perdas.

Além disso, conforme Rezende et al. (1997), otimizar as atividades da colheita florestal é fundamental para manter a competitividade do mercado. Quando o intuito é a redução de custos, torna-se necessário conhecer a capacidade de produção, assim como efeitos que interferem no rendimento, buscando técnicas que melhor se adaptem ao desempenho operacional dos sistemas de colheita (SILVA et al., 2003).

Ainda, conforme Stroher et al. (2014), dentre os fatores de não conformidade no processo de colheita florestal, destaca-se as alturas excedentes de toco e pré-traçamento em povoamentos de *Pinus taeda*, verificando em sua pesquisa perdas volumétricas de $4,79 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$. Já Luz et al. (2016) verificaram perdas econômicas de R\$ 43,29 ha^{-1} , quanto a alturas excedentes de cepas em povoamentos de *Eucalyptus urophylla*, considerando o valor da madeira de R\$ 37,00 m^{-3} .

3.3 GESTÃO DA QUALIDADE

O direcionamento dos esforços para obtenção de bons resultados com a qualidade está diretamente relacionado ao entendimento de seus conceitos. É, então, atribuído a estes conceitos a adequação ao uso de produtos e serviços que atendam às especificações dos seus usuários (MONTGOMERY, 2004).

A qualidade no mundo competitivo significa a conformidade dos bens e serviços com as necessidades do cliente, fazendo assim com que as empresas obtenham liderança no mercado (MICHALSKA, 2005). Feigenbaum (1991) definiu qualidade em produtos e serviços como o arranjo das características de manutenção, confiabilidade, engenharia, produção e marketing, por meio dos quais produtos e serviços corresponderão às exigências dos consumidores.

De acordo com Paladini et al. (2005), a qualidade surgiu no período dos artesãos, que tinham total controle do processo de produção, apontando uma relação direta entre os clientes. Neste período, o foco de qualidade era o produto final. Em seguida, a revolução industrial trouxe conceitos importantes, como a padronização e a produção em massa. É neste período que ocorreu a evolução dos controles de qualidade, disseminando no mundo inteiro a busca pela excelência em qualidade de produtos e serviços (TRINDADE et al. 2012).

Em meados de 1924, Walter A. Shewhart criou, nos Estados Unidos, os gráficos de controle, agregando alguns conceitos de estatística e realidade produtiva da empresa *Bell Telephone Laboratories*, e o Ciclo PDCA (*plan-do-check-act*), ferramenta responsável pela condução das dinâmicas de análise e solução de contrariedades. Como medida para redução de custos, anos mais tarde técnicas de amostragem e ferramentas de controle estatístico do processo com regras distintas foram criadas, diminuindo as inspeções nos processos produtivos (TRINDADE et al. 2012).

Após a Segunda Guerra Mundial, novos elementos para agregar na gestão de qualidade surgiram no Japão. Em 1945, Joseph M. Juran contribuiu na formação da primeira associação profissional da área da qualidade. Um pouco mais tarde, ele apresentou o *Planning and Practices in Quality Control* que alia planejamento e levantamento dos custos da qualidade (PALADINI et al. 2005). Conforme Trindade et al. (2012), neste mesmo período o Japão buscava a reconstrução pós-guerra, foi então que William E. Deming surgiu com a ideia de foco no controle da qualidade, fazendo com que a participação dos colaboradores e da gerência fossem indispensáveis para a gestão.

Com a globalização, em 1987 surge o ISO (*Internacional Organization for Standardization*) que visa colaborar na gestão da qualidade facilitando a relação com clientes e

fornecedores ao longo da cadeia de produção. Recentemente, o programa mais utilizado para gestão de qualidade é o Seis Sigma (*Six Sigma* no inglês), método que alia a visão estatística de períodos anteriores com análise e solução de problemas (PALADINI et al., 2005).

Deste modo, com o avanço tecnológico e estudos voltados a melhorias no gerenciamento das organizações, algumas ferramentas de qualidade são essenciais, entre elas: gráficos de dispersão, cartas de controle, diagrama de Pareto, *Brainstorming*, *Benchmarking*, diagrama de Ishikawa, histogramas, 5W2H, 5S, folhas de verificação e fluxograma (BONDUELLE, 2007).

3.3.1 Gestão da qualidade no setor florestal

No setor florestal brasileiro, a caracterização da qualidade começou a ser difundida a partir da década de 1980, com um trabalho que abrangeu operações de estabelecimento, conservação, exploração e desbrota da floresta (FREITAS et al., 1980). Em seguida, estudos que apontavam sistemas de auditoria foram desenvolvidos, sendo realizada a comparação das equipes de operações com as recomendações definidas em normas técnicas, identificando não conformidades. No entanto, estes métodos geraram divergências no interior das organizações devido ao caráter de policiamento das atividades (TRINDADE et al., 2012).

Em meados de 1987, adotou-se a concepção de autogestão, na qual quem controla o trabalho são os próprios colaboradores. Posteriormente, concluiu-se que o controle de qualidade deveria ser de responsabilidade do pessoal operacional (JACOVINE; TRINDADE, 2008).

Desde então, pesquisas estão sendo realizadas visando a avaliação da qualidade no setor. Um exemplo é o trabalho elaborado por Almeida (2000) que verificou em uma empresa florestal especializada na produção de carvão vegetal que houve uma evolução no caráter de inspeção dos trabalhos, aderindo o controle de qualidade total. Conforme o autor, estes avanços contribuíram em melhorias nas atividades, tanto no aprimoramento das tarefas, quanto na conduta dos colaboradores em relação a correção de problemas.

Trindade (1993) avaliando o controle de qualidade em atividades de produção de mudas e silvicultura de uma empresa florestal, concluiu que para o funcionamento adequado das atividades a participação coletiva é fundamental para que haja melhorias da qualidade em todo processo produtivo. A partir da preocupação por parte das empresas, surgiram outros estudos que objetivavam controlar a qualidade das atividades florestais, visando o aumento da qualidade dos produtos (TRINDADE, 2000).

Dentre alguns trabalhos encontrados na gestão da qualidade florestal, Soares et al. (2015) definiram indicadores de desempenho nas atividades de controle de plantas invasoras em uma empresa florestal, utilizando adaptações nas metodologias Desdobramento da Função Qualidade (QFD) e *Balanced Scorecard* (BSC), posteriormente observaram alguns aspectos que poderiam gerar desperdícios nos processos executados pela empresa.

Jacovine et al. (2005) avaliaram qualidade das operações em cinco subsistemas de colheita adotados por empresas florestais que utilizam madeira para produção de celulose e painéis. Os pontos considerados e mensurados foram: cepas danificadas, altura de cepas e da faixa de fratura, comprimento de toras e toras com gancho. Posteriormente, constataram que, independentemente do subsistema utilizado, o estabelecimento de controles é fundamental para identificação e solução de problemas que afetam a qualidade das operações que compõem a colheita florestal.

Pereira et al. (2012) investigaram a qualidade do corte florestal com motosserra, em propriedades rurais no sul do Espírito Santo, considerando aspectos da qualidade e a perda de madeira retida nas cepas. Os itens avaliados demonstraram qualidade irregular, indicando a necessidade de melhoria no corte com motosserras. Já Fiedler et al. (2013) avaliaram a qualidade da colheita florestal em povoamentos de *Eucalyptus* spp., analisando as operações executadas pelo método semimecanizado em relevo plano e declivoso no leste do estado de Minas Gerais, avaliando-se itens da qualidade das operações em sistemas de colheita de toras curtas.

Na parte industrial do setor, Coletti, Bonduelle e Iwakiri (2010) utilizaram da gestão da qualidade para avaliar as imperfeições decorrentes do processo de fabricação de lamelas para pisos de madeira. Matos e Milan (2009) utilizaram o FMEA (Análise de Modo e Efeito de Falhas), para o processamento da madeira, fundamentado na determinação dos pontos críticos do processo produtivo de esquadrias de madeira em uma empresa florestal. Soares et al. (2012) examinaram e avaliaram a qualidade dos procedimentos de uma empresa do setor de pisos de madeira a partir da adaptação da metodologia do FMEA.

Neste contexto, os avanços da qualidade no setor florestal são crescentes, entretanto, ainda existe a necessidade de pesquisas que auxiliem principalmente na prática das atividades florestais (TRINDADE et al., 2012).

3.3.2 Custos da qualidade

Os custos da qualidade compreendem todas as despesas ocorridas pela empresa visando prevenir problemas, controlar as falhas e oferecer bens e serviços com diferencial (BERLINER e BRIMSON, 1992).

Para Feigenbaum (1994) o sucesso ou o fracasso dos processos consistem na mensuração dos custos de todas as áreas que se dividem em: custos do controle, sendo compreendidos aqueles relacionados com prevenção e avaliação, e um segundo grande grupo que englobam os custos de falhas no controle, sejam elas internas ou externas. Tais categorias são descritas pelo autor como:

- **Avaliação:** Todos os custos associados à medição, avaliação e auditoria de características da matéria-prima, componentes e produtos para assegurar a conformação com os padrões de qualidade;
- **Prevenção:** Gastos ocasionados com o propósito de evitar defeitos. São os custos associados às atividades do projeto, implementação e operação do sistema de qualidade, juntamente com a administração e auditoria do sistema;
- **Falhas internas:** Custos relacionados a materiais, componentes e produtos que não satisfazem os padrões de qualidade, causando perdas na produção, identificados antes do produto deixar a empresa;
- **Falhas externas:** Todos os custos resultantes de não conformidades observadas pelos clientes/consumidores.

Desta maneira, Robles Jr. (1994) destacou que a mensuração de todos os custos envolvidos no processo de qualidade objetiva satisfazer:

- Avaliação dos programas de qualidade;
- Conhecimento da distribuição dos custos em todas as categorias;
- Aumento da produtividade;
- Comprovação do quão importante é unir os investimentos em qualidade com os demais projetos;
- Visualização do quanto a empresa tem investido nas diferentes categorias de custos da qualidade, mostrando o quanto deve ser investido em cada uma destas categorias.

Conforme Sakurai (1997) para que a empresa estabeleça uma meta efetiva para controlar a atividade gerencial, os custos de avaliação e prevenção são fundamentais, com o intuito de reduzir os custos de falhas. Desta maneira, alguns estudos vêm sendo desenvolvidos abordando os custos da qualidade de produtos e serviços em vários setores da economia.

Dentre eles, destaca-se o trabalho de Garrison e Noreen (2001) que afirmaram que os custos da qualidade das companhias americanas variam de 10 a 20% das vendas totais, enquanto alguns profissionais da área apontam que esses custos deveriam situar-se de 2 a 4%. Já Imberman (2001) em pesquisa junto a empresas norte-americanas de vários setores industriais, constatou um custo de qualidade equivalente a 7,2%, provocado pela falta da qualidade.

No setor florestal brasileiro, Leite et al. (2005) determinaram os custos da qualidade na produção de mudas de *Eucalyptus* spp., em uma empresa florestal que destina sua produção de madeira à fabricação de celulose e papel. Como conclusão, os autores levantaram que os custos de prevenção representaram 39,5% do total levantado, correspondendo aos custos para evitar não conformidades, enquanto os custos de falhas (internas e externas) representaram 60,5% dos custos da qualidade para estas atividades.

3.3.3 *Quality Function Deployment (QFD)*

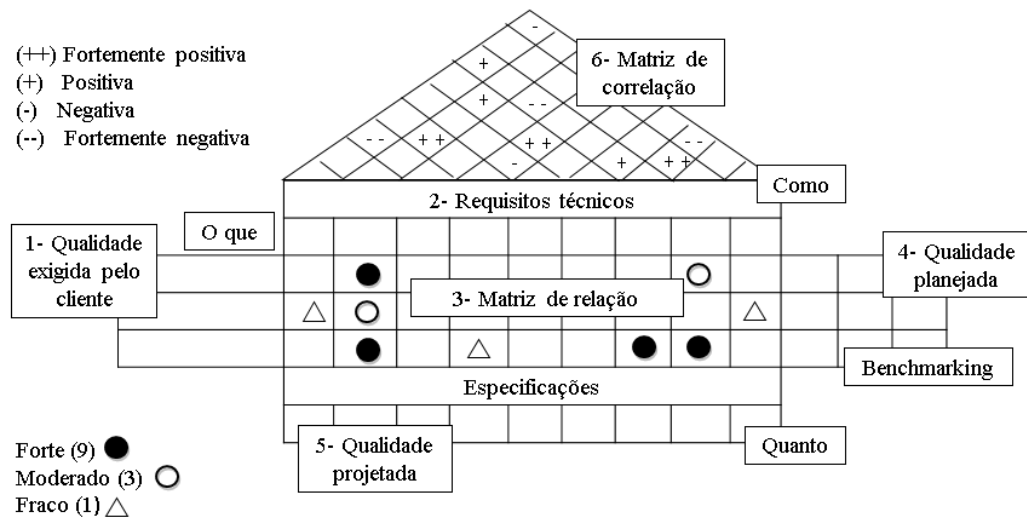
O *Quality Function Deployment (QFD)* surgiu no Japão em meados de 1960. Foi neste período que os bens e serviços por parte das empresas do país eram vistos como de pouca qualidade. Sendo assim, o método QFD foi elaborado para otimizar a produção a partir da exigências e necessidades dos clientes e também garantir a qualidade durante todo o processo de desenvolvimento (AKAO, 1997).

O QFD é uma ferramenta importante no controle e desenvolvimento de produtos e serviços, traduzindo as necessidades dos consumidores em características técnicas mensuráveis (CAMPOS, 1992). Deste modo, Cheng e Melo Filho (2007) afirmaram que esta ferramenta possui um eficiente potencial na metodologia de ouvir, traduzir e transmitir de forma priorizada, a voz do cliente para o interior das companhias.

Conforme Miguel e Weidmann (1999) a execução do QFD compreende cinco fases: primeiramente os objetivos são definidos; em seguida formam-se as equipes, preferencialmente multifuncionais; na terceira fase são levantadas as necessidades e expectativas dos clientes, que podem ser obtidas por meio de estudos de mercado, entrevistas e questionários; na quarta fase é elaborada a casa da qualidade (Figura 1), que relaciona os itens desejados pelos clientes com

as características técnicas mensuráveis; e a quinta fase compõe o desdobramento da função qualidade em atributos do produto que respondem aos desejos do cliente.

Figura 1– Esboço da casa da qualidade.



Fonte: Adaptado Mirshawka e Mirshawka Junior, 1994.

Na Figura 1, o item qualidade exigida (1) compreende as exigências e necessidades dos clientes, denominadas “O que”. Posteriormente, ocorre o desdobramento dos itens de qualidade exigida em requisitos técnicos, denominados “Como” (2). Na matriz de relação é determinada a intensidade da influência de um requisito técnico sobre a qualidade exigida e, conseqüentemente, o atendimento das necessidades dos clientes (3). O item (4) é a qualidade planejada definida pelo benchmarking que compara as empresas que utilizam o mesmo produto e com base nisso é estabelecido melhorias e o grau de importância para cada item da qualidade exigida. Na qualidade projetada (5), as metas definidas pela equipe são conferidas. O “telhado” da casa (6) é a matriz de correlação, identificando a intensidade de influência entre os requisitos técnicos (fortemente positiva, positiva, negativa, fortemente negativa).

Dentre os principais benefícios expostos na literatura em relação à utilização do QFD destacam-se: redução das reclamações por parte dos clientes e do tempo de desenvolvimento dos projetos; maiores perspectivas de atendimento as necessidades dos clientes (internos e externos); redução na alteração do projeto e/ou serviço e progresso no aprendizado das pessoas envolvidas no processo produtivo (CARNEVALLI; SASSI; MIGUEL, 2004).

O método QFD iniciou na área industrial, do setor automobilístico e com o passar dos anos vem sendo implantado nos diversos setores da economia (CHENG et al., 1995;

NICOLOSI, 2011). Conforme pesquisas realizadas por Carnevalli et al. (2004), a partir da década de 1990 o método começou a ser implantado no Brasil.

No setor automobilístico, Yadav e Goel (2008) utilizaram o método QFD para verificar a satisfação dos clientes ao dirigir os veículos. Este trabalho buscou otimizar o processo de fabricação e redução no tempo de desenvolvimento de projetos. Já Miller et al. (2005) adotaram esta metodologia visando melhorias no conforto durante a abertura e fechamento de portas de um carro em uma empresa. Obtiveram resultados voltados a alteração de alguns pontos levantados no projeto original.

Outros setores industriais também aplicaram o método QFD, como o desenvolvido por Miguel et al. (2003) que utilizaram o desdobramento para aprimorar filmes flexíveis de polipropileno para embalagens. Talmasky (2002) adotou o QFD na gestão de projetos para a produção moveleira, tendo como objetivos a redução no número de etapas e uma maior flexibilidade e transparência em todas estas etapas.

3.3.3.1 Aplicação do método QFD no setor agrícola-florestal.

O método QFD vem se destacando em diversos setores da economia, especialmente na indústria e otimização de serviços e desenvolvimento de novos produtos. Entretanto, na área agrícola-florestal, mesmo diante de consideráveis benefícios que garantem a qualidade de produtos e serviços, o método é recente e pouco utilizado (CARNEVALLI et al., 2013).

Dentre os trabalhos documentados, Nagumo (2005) utilizou o método QFD buscando o planejamento na qualidade de mudas de café. Em sua metodologia, o autor aderiu a qualidade exigida pelos clientes juntamente com a aplicação de ferramentas de controle de qualidade. Posteriormente, constatou que parâmetros como: estado nutricional, altura e diâmetro do caule estavam sob controle no processo produtivo das mudas, ao mesmo tempo que profundidade de plantio, altura de enxertia e peso de substrato por recipiente necessitam de uma maior atenção por parte da empresa para que ocorressem melhorias.

Sissi (2002) empregou a metodologia do QFD para conferir o grau de satisfação dos clientes, no planejamento da qualidade do tomate de mesa. A pesquisa foi realizada em um supermercado, por meio de levantamento da qualidade exigida pelos clientes. Os resultados permitiram avaliar que alguns pontos exigidos compreenderam procedimentos simples de se alcançar, enquanto outros demandavam a associação de diversas atividades e aprimoramento no pós-colheita.

Do mesmo modo, Rocco (2013) verificou a relação entre 114 características técnicas com os 38 itens de qualidade exigida da produção de laranja para a indústria, com o intuito de sistematizar o processo produtivo. A aplicação do método permitiu a percepção e entendimento dos requisitos que não se pode medir por intermédio dos atributos mensuráveis. Já Sarriés (1997) adaptou a metodologia para a quantificação das impurezas minerais em carregamentos de cana-de-açúcar, detectando os pontos críticos, e corrigindo-os.

Felicio (1998) adotou o método para atender as exigências dos clientes em relação à carne bovina posta no mercado, formulando a matriz da qualidade para avaliar os fatores que impactam sobre a qualidade. Guazzi (1999) aderiu à matriz da qualidade para três distintas cooperativas do setor agrícola. Ferreira (2012) implantou o planejamento da qualidade por intermédio do QFD, e detectou 122 itens de qualidades exigidas no setor sucroenergético.

No setor florestal, Milan et al. (2003) adotaram o QFD para o planejamento da qualidade nas atividades de preparo do solo, obedecendo às exigências das mudas de *Eucalyptus* spp.. Em seguida, requisitos técnicos foram determinados, entre os mais relevantes quando considerado seus pesos relativos foram: largura e profundidade do sulco e tamanho dos torrões.

Soares et al. (2015) adaptaram o método QFD para determinar os indicadores de desempenho no controle de plantas invasoras em plantações florestais em uma empresa que destina sua produção para celulose e papel. Do mesmo modo, Dias et al. (2015) avaliaram a aplicabilidade desse método no levantamento da qualidade do carvão vegetal comercializado para cocção. A metodologia QFD mostrou-se, do ponto de vista do consumidor, uma ferramenta útil para definição da melhor qualidade do carvão vegetal utilizado para cocção de alimentos.

Neste contexto, o método QFD é uma importante ferramenta para o sucesso na gestão, contribuindo na competitividade e sobrevivência das empresas nos dias atuais (CHENG, 2010). Entretanto, no setor florestal ainda existe uma carência em estudos que incorporem o método em seus processos produtivos.

3.4 DETERMINAÇÃO DE SORTIMENTOS

Visando um maior aproveitamento da matéria prima florestal, as empresas vêm utilizando de sortimentos para atender as suas demandas. Neste contexto, segundo Machado et al. (2004) sortimento refere-se aos usos da madeira de um mesmo tronco para diferentes finalidades e se caracteriza pelo “seccionamento” do fuste pelas variáveis, diâmetro, altura e fator de forma. Deste modo, para o levantamento dos rendimentos nos povoamentos, as funções

de afilamento aparecem como importantes instrumentos para determinar economicamente e biologicamente as consequências do manejo nas áreas de florestas (FISCHER et al., 2001).

Neste ponto de vista, como alternativa para aumentar a utilização da matéria-prima, as técnicas de otimização aplicadas à obtenção de múltiplos usos de madeira podem contribuir de maneira considerável. De acordo com Arce (2000) o inconveniente do processamento adequado do fuste, pode ser agregado à otimização dos sortimentos em conformidade com a oferta, isto é, qual é a forma mais favorável de traçar os fustes. Já a dificuldade na destinação ótima de múltiplos usos da madeira pode estar associado com a otimização em função da demanda.

Para isso, é imprescindível o uso de modelos matemáticos para descrição do perfil longitudinal do tronco, ou seja, o seu afilamento (AHRENS e HOLBERT, 1981). O conceito de função de afilamento ou função *taper* em inglês, é determinado pelo declínio do diâmetro da base até o ápice do tronco (MIGUEL, 2009). Essas funções vêm sendo discutidas há, aproximadamente, um século, apresentando-se como ferramenta importante na mensuração e manejo florestal (FANG et al., 1999). Com isso, as funções de afilamento são eficientes alternativas para quantificar os sortimentos dos povoamentos, principalmente nas toras de maiores dimensões que possuem maior valor agregado (SOUZA, 2007).

Machado e Figueiredo Filho (2009) também destacaram que as funções de afilamento funcionam como importante ferramenta nos levantamentos florestais que buscam estimar o volume de madeira das árvores em pé, principalmente quando a madeira visa fins comerciais. Sendo assim, estimar o volume de madeira para cada produto é fundamental, visto a existência de diferenças no valor agregado dos sortimentos.

Os modelos de afilamento permitem estimar características dos povoamentos que compreendem o volume entre pontos do fuste, diâmetro a qualquer ponto do tronco e altura em determinado diâmetro (PRODAN et al. 1997). Consequentemente, essas ferramentas podem reunir erros quando estimados por área, em detrimento aos ajustes serem efetuados para restrita base de indivíduos. Entretanto, esses erros podem ser reduzidos quando aumentado o tamanho da amostra, o que acarreta em maiores custos (SCOLFORO, 1998).

No Brasil, as funções de afilamento começaram a ser utilizadas a partir da década de 1970, com o intuito de quantificar o sortimento para espécies de *Pinus* spp., citando-se os estudos de (SCHNEIDER, 1986; LIMA, 1986; JORGE e LARA, 1993).

Conforme Demaerschalk e Kozak (1977) dentre diversas técnicas estatísticas de modelagem, os modelos denominados não segmentados permitem unir eficiência a certa facilidade de emprego. Dentre os modelos classificados como não segmentados (que utilizam apenas uma única equação para descrever o fuste da base até o ápice) estão os polinomiais

(CAMPOS e LEITE, 2009). Os modelos polinomiais de grau mais elevado surgem a partir da dificuldade de descrever a área próxima à base do tronco (ROJO et al. 2005). De acordo com Borges (1982) o polinômio do quinto grau é usado para estimar o volume de toras com base nas funções de afilamentos.

Neste contexto, Kohler (2013) descreveu o polinômio do quinto grau como adequado para expressar o perfil do tronco, todavia, subestimou os diâmetros na parte superior do fuste. Yoshitani Junior et al. (2012) inferiram em seu trabalho que a equação do polinômio do quinto grau proporcionou aos dados estimativas precisas de diâmetro e altura.

A utilização do polinômio do quinto grau foi utilizada para estimativa de diâmetros da 1º e 2º tora em árvores de *Pinus taeda* L., para florestas acima de 20 anos, no estado de Santa Catarina na região do planalto Catarinense (SOUZA et al., 2008). Fischer et al. (2001) utilizaram as funções de afilamentos em razão volumétrica para representar o fuste das árvores em diferentes classes diamétricas, no estado do Paraná.

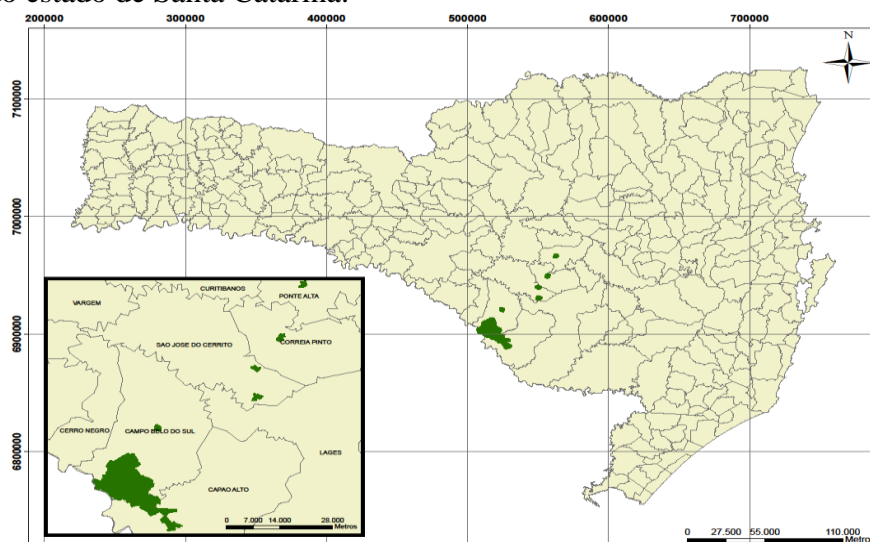
Na região sul do Brasil, devido ao uso diversificado e crescente de madeira de *Pinus* spp., principalmente das espécies de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L., acarretaram cada vez mais no uso das funções de afilamento, destacando o polinômio do 5º grau para descrever o perfil das árvores (FIGUEIREDO FILHO et al., 1996).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho foi desenvolvido nas áreas de uma empresa florestal localizada no município de Campo Belo do Sul-SC (Figura 2), atuante no setor primário, com o plantio, manejo e comercialização de madeira das espécies de *Pinus* spp., *Eucalyptus* spp., e *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. A altitude média do município é de 950m e a precipitação anual varia de 1.300 a 2.400mm. O solo de maior destaque é o Nitossolo Háplico, porém em algumas áreas de maior declividade apresenta Cambissolo e Neossolo Litólico (CAMPO BELO DO SUL, 2004).

Figura 2 – Localização das áreas do estudo no município de Campo Belo do Sul, região serrana do estado de Santa Catarina.



Fonte: Empresa Florestal, 2018.

Para os plantios avaliados, em geral, são realizados quatro desbastes antes do corte raso, podendo variar até seis, de acordo com o desenvolvimento da floresta. Os desbastes objetivam beneficiar o crescimento das árvores remanescentes, concebendo toras de maior dimensão e boa qualidade no corte final. Já o corte raso, consiste na eliminação de todos os indivíduos existentes no maciço florestal.

De acordo com a demanda da empresa para determinação das variáveis que influenciam os custos da qualidade, duas situações distintas foram avaliadas, sendo uma logo após a realização do quarto desbaste (quando a floresta atinge os 21 anos de idade) e outra posterior ao corte raso (acima dos 25 anos de idade) (Tabela 1).

Tabela 1- Características das situações avaliadas: quarto desbaste e corte raso.

| Características | Intervenções | |
|---|------------------------|--------------------|
| | 4º Desbaste | Corte Raso |
| Espécie | <i>Pinus elliottii</i> | <i>Pinus taeda</i> |
| Idade do povoamento (anos) | 21 | 34 |
| Área total (ha) | 32,8 | 174,5 |
| Equipe de colheita | Colheita 2 | Colheita 1 |
| Espaçamento do plantio (m) | 2,0 x 3,0 | 2,0 x 3,0 |
| Diâmetro à altura do peito (cm) | 31,3 | 45,8 |
| Altura média (m) | 24,6 | 34,8 |
| Volume médio individual (m ³) | 0,82 | 2,5 |
| Produção esperada na intervenção (m ³ /ha) | 120,0 | 582,3 |
| Declividade (°) | 0 - 5 | 5 - 10/ 10 - 15 |
| Densidade retirada na intervenção (N/ha) | 146 | 233 |

Fonte: Empresa Florestal, 2018, adaptado pelo autor.

O primeiro (entre os 7 e 8 anos de idade) e segundo (entre os 11 e 12 anos de idade) desbastes ocorreram de forma sistemática, ou seja, foi retirada toda a quinta linha dos povoamentos e, posteriormente, de forma seletiva, as árvores que concorrem por água, luz e nutrientes com os indivíduos remanescentes. Estas intervenções foram realizadas quando a área basal do povoamento ultrapassou 40m² ha⁻¹.

Os desbastes posteriores foram realizados somente de forma seletiva, conforme desenvolvimento da floresta. Além destas intervenções, os povoamentos passaram por tratamentos silviculturais como a poda, para obtenção de madeira de alta qualidade, sem a presença de nós e, por fim, o corte raso foi realizado nos povoamentos acima de 25 anos de idade, restando para esta intervenção aproximadamente 300 árvores por ha.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES DE COLHEITA FLORESTAL MECANIZADA

O sistema de colheita utilizado nos módulos mecanizados é o de toras curtas, composto por *Harvester*, *Forwarder* e carregador mecânico. Os *Harvesters* são utilizados para a derrubada e processamento das árvores, consistindo no descascamento, desganhamento e no seccionamento de toras com comprimento pré-determinado, ou seja, é realizado o traçamento do fuste, disponibilizando as toras para a extração.

A extração é realizada por baldeio com o uso de *Forwarder*. Esta máquina possui uma caixa de carga e uma grua hidráulica que permite a extração de madeira do talhão. No carregamento, carregadores mecânicos, com esteira, braço hidráulico e grua, são utilizados para

o carregamento de madeira em veículos de transporte. As especificações técnicas das máquinas de corte, processamento e baldeio utilizadas na colheita 1 e 2 são apresentadas na Tabela 2.

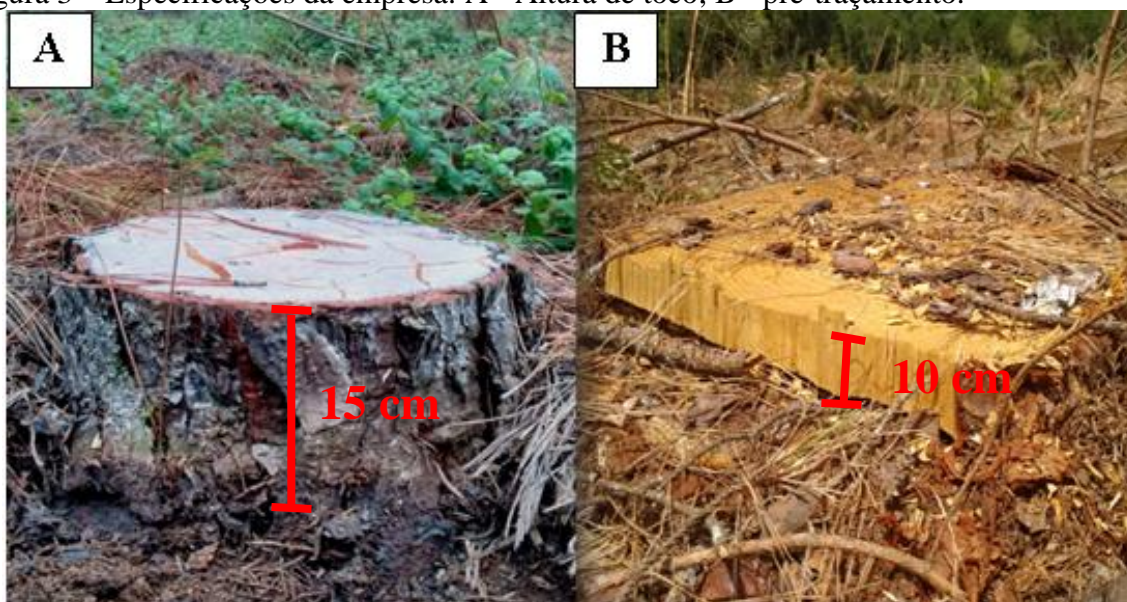
Tabela 2 - Descrição das máquinas utilizadas nos módulos de colheita florestal mecanizada.

| Colheita | Especificações técnicas | Máquina |
|----------|--|--|
| 1 | <i>Harvester John Deere 909MH; Cabeçote HTH 624C (1WA624CXLF0000345)</i> |  |
| | <i>John Deere Forwarder 1910E 8x8</i> |  |
| | <i>John Deere Forwarder 1910E 6x6</i> |  |
| 2 | <i>Harvester John Deere 1470 E; Cabeçote H290 (EJH290X000054)</i> |  |
| | <i>Forwarder John Deere 1510 E (FFC)</i> |  |

Para este estudo, a avaliação foi realizada em dois módulos de colheita mecanizada, denominados 1 e 2. A colheita 1 opera em atividades de 5º e 6º desbastes e o corte raso. Os demais módulos, entre eles a colheita 2, operam nos desbastes inferiores como o 4º.

Visando um controle efetivo de qualidade, a empresa apresenta no seu planejamento especificações para as diversas operações da colheita florestal. Para as atividades com *Harvester* é admitido uma altura de toco de até 15cm (Figura 3a) e pré-traçamento de no máximo 10cm (Figura 3b), estas especificações equivalem tanto para o quarto desbaste quanto para o corte raso.

Figura 3 – Especificações da empresa: A - Altura de toco; B - pré-traçamento.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A altura de toco é admitida com o intuito de conservar e proteger o sabre do *Harvester*. Entretanto, os excedentes das alturas especificadas pela empresa acarretam em perdas significativas, principalmente, por envolver diretamente as toras de maior valor comercial, em função das dimensões superiores.

O termo pré-traçamento se refere, neste trabalho, ao disco de madeira eliminado da primeira tora do fuste. Este procedimento é realizado como uma medida de segurança quando a floresta apresenta indivíduos de grandes dimensões, contribuindo no traçamento correto dos indivíduos e conseqüentemente evitando causar defeitos às toras.

4.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO QFD

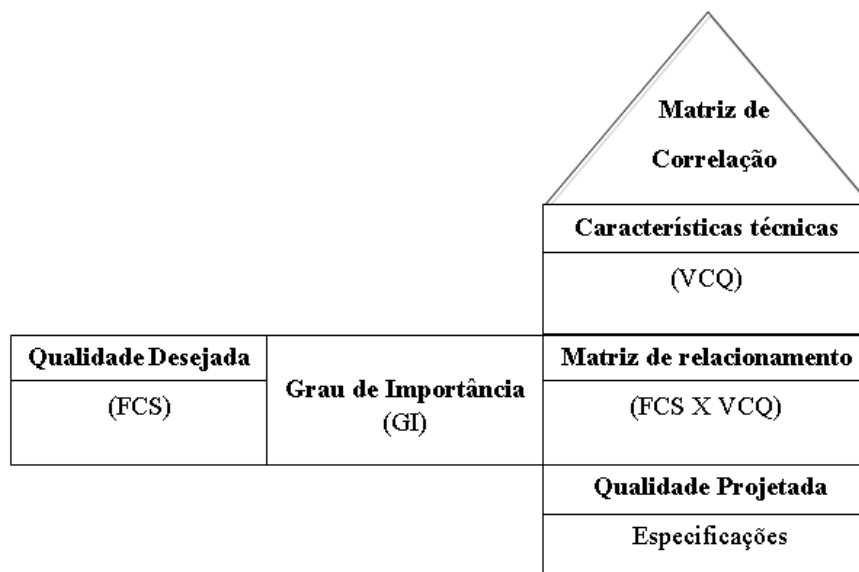
A empresa investe em estudos que buscam o controle de qualidade, principalmente nas atividades de colheita, que compreendem os maiores custos de produção. Esta pesquisa busca dar continuidade ao trabalho de Garcia (2017) que realizou a identificação dos fatores críticos de sucesso que ocorrem nas operações de colheita e, conseqüentemente, precisam de um maior controle, visando reduzir os custos e aprimorar a relação com os clientes externos (indústria de processamento da madeira, representados nesta pesquisa pelo departamento comercial da empresa) e internos (setor de silvicultura, responsável pelo preparo da área para um novo ciclo). Para isso, Garcia (2017) realizou seu estudo por meio de três etapas: mapeamento do processo, identificação e avaliação dos pontos críticos e avaliação do processo.

Na atual pesquisa, adaptou-se a metodologia descrita por Jacovine et al. (1999) visando a determinação das variáveis que influenciam os custos da qualidade, nas categorias de custos de prevenção, avaliação e os de falhas internas e externas.

O método QFD, adaptado para a determinação destas variáveis a partir dos fatores críticos de sucesso do processo, recomenda que a implementação ocorra por meio de reuniões com todos os departamentos do processo produtivo. Desta maneira, organizou-se uma equipe com engenheiros, responsáveis técnicos pelo controle de qualidade das atividades de colheita, colaboradores e os responsáveis pela pesquisa.

Para elaboração da casa da qualidade, primeiramente buscou-se avaliar as exigências por parte dos clientes (qualidade desejada), com base nos fatores críticos de sucesso apontados por Garcia (2017) e a verificação do grau de importância para cada exigência (. Posteriormente, realizou-se o desdobramento das exigências dos clientes em variáveis que influenciam os custos da qualidade (características técnicas). Em uma terceira etapa efetuou-se a determinação da relação entre a qualidade desejada e as características técnicas (matriz de relação). Em seguida, conferiu-se pesos para cada relação (qualidade projetada), e por fim realizou-se a correlação entre as características técnicas, formando o telhado da qualidade (matriz de correlação). Na Figura 4 a estrutura da matriz QFD, compondo a “casa da qualidade”.

Figura 4 - Estrutura da matriz QFD “casa da qualidade”. FCS: fatores críticos de sucesso, GI: grau de importância, VCQ: variáveis que influenciam os custos da qualidade.



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Govers, 1996.

4.3.1 Qualidade desejada (Fatores críticos de sucesso)

A primeira fase da matriz envolve a definição das necessidades dos clientes (internos e externos). No caso desta pesquisa, as necessidades dos clientes foram tratadas como os fatores críticos de sucesso do processo de colheita florestal mecanizada.

Assim, para a definição dos itens da qualidade desejada, utilizou-se os requisitos solicitados e considerados fundamentais pelas empresas que adquirem os produtos oriundos destas atividades. Dentre eles, aqueles levantados por Garcia (2017): danos às árvores remanescentes, sortimentos, altura de toco e árvores deixadas no talhão. Estes itens foram submetidos a análise da equipe responsável pela pesquisa para validação e verificação da existência de outros fatores críticos a serem considerados. Desta forma, a qualidade desejada por parte dos clientes na matriz proposta foi configurada.

4.3.2 Grau de importância – GI

Para a elaboração desta etapa, uma reunião foi realizada junto à equipe, visando identificar quais as características e serviços são de maior relevância. Desta maneira, a obtenção do grau de importância com o intuito de atender a qualidade exigida por parte dos clientes (internos e externos), detectando quais são os itens mais importantes para o processo de colheita

florestal mecanizada, atribuindo-os peso de 1 a 5 (Tabela 3), seguindo a escala utilizada por Likert et al., (1993).

Tabela 3 – Escala em relação ao peso e o grau de importância.

| Grau de Importância | |
|----------------------------|------------------------|
| Peso | Descrição |
| 1 | Muito pouco importante |
| 2 | Pouco importante |
| 3 | Certa importância |
| 4 | Importante |
| 5 | Muito importante |

Fonte: Likert et al., (1993).

4.3.3 Características técnicas (Variáveis que influenciam os custos da qualidade)

Na fase de desdobramento da qualidade exigida em requisitos técnicos, definiu-se junto com a equipe quais os atributos de variáveis que influenciam os custos da qualidade que podem ser medidos, avaliando o atendimento as exigências dos clientes (fatores críticos de sucesso).

Para o desdobramento, buscou-se realizar uma revisão na literatura de quais variáveis compreendem cada categoria e, desta maneira, adaptar quais as mais relevantes e compatíveis com a realidade da empresa, determinados/adaptados em reunião da equipe. Posteriormente, esses atributos foram alocados nas quatro categorias de custos da qualidade: prevenção, avaliação, falhas internas e falhas externas.

4.3.4 Matriz de relação (qualidade desejada e características técnicas)

Para reconhecimento da relação entre os fatores críticos de sucesso e as variáveis que influenciam os custos da qualidade na matriz de relacionamento, adaptou-se a metodologia apresentada por Govers (1996) que determina a intensidade de cada relação em símbolos padronizados para os diferentes pesos (9, 3, 1 ou 0, em caso de inexistência na correlação - Tabela 4). Mais uma vez, a correlação foi definida por meio do senso comum da equipe, integrando individualmente as correlações.

Tabela 4– Símbolos e pesos utilizados na matriz de relações.

| Relações | | |
|--------------------|----------------|-------------|
| Intensidade | Símbolo | Peso |
| Forte | ● | 9 |
| Média | ○ | 3 |
| Fraca | ✕ | 1 |
| Inexistente | Vazio | 0 |

Fonte: Govers, 1996.

4.3.5 Qualidade projetada

Com o uso da matriz é possível conferir pesos para cada variável por meio da relação entre fatores críticos de sucesso e variáveis que influenciam os custos da qualidade, com o objetivo de ressaltar as mais relevantes variáveis para o processo de colheita florestal mecanizada na empresa, determinada a partir do produto entre grau de importância e o peso da relação entre fator crítico de sucesso e variável que influencia o custo da qualidade, conforme a Equação 1 (MILAN et al., 2003).

$$W_{ij} = GI_i \times P_{ij} \quad (1)$$

Em que: W_{ij} – Peso absoluto do relacionamento entre o i -ésimo FCS e o j -ésimo VCQ (variável que influencia o custo da qualidade); GI_i – Grau de importância do i -ésimo FCS; P_{ij} – Peso da relação entre o i -ésimo FCS e o j -ésimo VCQ, de acordo com metodologia de Govers (1996).

O peso absoluto da variável que influencia o custo foi obtido pelo somatório de seus respectivos pesos absolutos de relacionamento com os fatores críticos de sucesso (W_{ij}), como demonstrado na Equação 2 (MILAN et al., 2003).

$$AW_j = \sum_{i=1}^n W_{ij} \quad (2)$$

Em que: AW_j – Peso absoluto do j -ésimo VCQ;

Já o peso relativo, em porcentagem, de cada variável que influencia o custo da qualidade foi estimado pela Equação 3.

$$RW_j = \frac{AW_j}{\sum_{j=1}^n AW_j} \times 100 \quad (3)$$

Em que: RW_j – Peso relativo do j-ésimo VCQ.

Por meio dos pesos, identificou-se quais as variáveis que influenciam os custos mais importantes e críticos para o sucesso das atividades de colheita florestal mecanizada desenvolvidas pela empresa.

4.3.6 Matriz de correlação (entre as variáveis que influenciam os custos da qualidade)

Na próxima etapa de estruturação da matriz, a correlação entre as variáveis que influenciam os custos da qualidade foi determinada com o intuito de auxiliar na identificação da existência de interdependência entre eles. Deste modo, verificou-se a importância da correlação das variáveis que influenciam os custos de prevenção e avaliação com variáveis de falhas. Assim, juntamente com a equipe, realizou-se a classificação da correlação por intermédio da metodologia adaptada de Govers (1996) sendo as correlações avaliadas como: forte, média, fraca e inexistente (Tabela 5).

Tabela 5– Simbologia da matriz de correlações.

| Correlação | |
|-------------|------------|
| Intensidade | Simbologia |
| Forte | ● |
| Média | ○ |
| Fraca | ✕ |
| Inexistente | Vazio |

Fonte: Adaptado de Govers (1996).

4.4 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS

Para simulação de cenários, primeiramente verificou-se as especificações da empresa, ou seja, a situação desejada para altura de toco e pré-traçamento, definidas na fase de planejamento (Cenário 1). Em seguida, utilizou-se o inventário de estoque de madeira provenientes da empresa para elaboração de tabelas de distribuição de frequência (TDF), considerando as características dendrométricas, da variável de diâmetro à altura do peito (DAP) dos indivíduos destinados ao quarto desbaste e corte raso.

Os dados de DAP foram agrupados em classes pelo método estatístico de *Sturges*, utilizando-se as análises de estatística descritiva. Desta maneira, obteve-se as seguintes variáveis: número de classes, amplitude, limite inferior (LI), limite superior (LS), ponto médio (Xi), frequência absoluta (FA) e frequência relativa (FR).

4.4.1 Classificação dos sortimentos

Dentro da produção da empresa existe uma gama de múltiplos usos da madeira oriundos das suas florestas. Para este trabalho, os sortimentos que, conforme a classificação da empresa, compreendem toras livre de nós “LP” (lâmina de *Pinus*) e “MPP” (madeira para processo de *Pinus*) foram analisados.

O diâmetro mínimo comercial considerado pela empresa foi de oito centímetros e o comprimento fixo de tora foi de 2,70m, por representar a maioria dos sortimentos LP estabelecido na empresa. Os produtos madeireiros disponíveis para comercialização, considerando a madeira carregada com toras “LP” e toras de madeira no talhão “MPP”, foram determinados de acordo com a classificação da empresa exposta na Tabela 6.

Tabela 6- Classificação dos múltiplos usos oriundos das florestas de *Pinus* spp.

| Sortimento | Diâmetro (cm) | | Comprimento (m) | Preço madeira c/ casca (R\$ t) | Possíveis destinações |
|------------|---------------|----------|-----------------|--------------------------------|-----------------------|
| | Inferior | Superior | | | |
| MPP | 8 | 18 | 2,7 | 40,00* | Energia |
| LP01 | 18 | 25 | 2,7 | 119,00 | Celulose |
| LP02 | 25 | 35 | 2,7 | 197,00 | Serrados |
| LP04 | 35 | 41,9 | 2,7 | 270,00 | Laminação |
| LP06 | Acima de 42 | - | 2,7 | 352,00 | Laminação |

*O valor do preço do sortimento MPP é considerado no talhão.

Fonte: Empresa Florestal, 2018, adaptado pelo autor.

4.4.2 Coleta dos dados da situação real

Para a coleta dos dados nas duas intervenções avaliadas (quarto desbaste e corte raso) em uma situação real (Cenário 2), realizou-se amostragem-piloto com 10 unidades amostrais, pelo método de área fixa, processo de amostragem aleatória, com área de 400 m² e forma quadrangular (20 m x 20 m), conforme sugerido por Durigan (2003). Desta maneira, coletou-

se diâmetro e altura do toco em duas posições, determinando-se o valor médio para cada variável. Já para o levantamento do pré-traçamento, mensurou-se o diâmetro e altura dos discos encontrados dentro das unidades amostrais. A mensuração das variáveis foi realizada com fita métrica.

De posse dos dados, definiu-se, em função do volume total (m^3) de toco e pré-traçamento para cada parcela, a amostra definitiva por intervenção (número de parcelas) por meio da equação proposta por Sanqueta et al. (2009) para população infinita:

$$n = \frac{t^2 * CV\%^2}{E\%^2} \quad (4)$$

Em que: n – número de parcelas necessárias; t – valor tabelado de t para nível de significância de 95%; CV% – coeficiente de variação (%); E% – erro máximo admitido (10%).

Posteriormente, análises de estatística descritiva foram empregadas, com o intuito de acrescentar e contribuir na interpretação dos resultados.

4.4.3 Estimativa dos sortimentos

A estimativa dos sortimentos em diferentes cenários ocorreu por meio das funções de afilamentos, para obtenção dos diâmetros em diferentes alturas e dos volumes totais e parciais dos fustes das árvores. Para isso, foi definido um indivíduo obtido pelo inventário florestal do estoque de madeira com característica de DAP compatível a cada classe de diâmetro.

Para que se consiga obter o diâmetro a qualquer altura desejada é necessário isolar a variável d_i , a partir dos valores de diâmetro a altura do peito (DAP) e altura total (h) expresso na função de Schöepfer (1966), conforme Equação 5.

$$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{hi}{h}\right) + \beta_2 \left(\frac{hi}{h}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{hi}{h}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{hi}{h}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{hi}{h}\right)^5 + \varepsilon_i \quad (5)$$

Em que: d_i - diâmetro estimado (cm); hi - altura ao longo do tronco (m); DAP - diâmetro à altura do peito (cm); h - altura total (m); $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ e β_5 - parâmetros da equação a serem estimados; ε_i – erro da estimativa.

Isolando-se d_i , obtém-se a função de afilamento pela qual se estima o diâmetro correspondente a qualquer altura na árvore (Equação 6).

$$di = dap \left(\beta_0 + \beta_1 \frac{hi}{h} + \beta_2 \left(\frac{hi}{h} \right)^2 + \beta_3 \left(\frac{hi}{h} \right)^3 + \beta_4 \left(\frac{hi}{h} \right)^4 + \beta_5 \left(\frac{hi}{h} \right)^5 \right) \quad (6)$$

Para integrar a função e atingir a expressão que proporciona as estimativas dos volumes, efetua-se a seguinte simplificação.

$$C_0 = \beta_0; C_1 = \frac{\beta_2}{h^{p2}}; \dots; C_n = \frac{\beta_n}{h^{pn}}$$

Em que: cn – constante indeterminada.

Em seguida, para obtenção do volume com casca (v), segundo Schöepfer (1966) a função da área seccional foi integralizada, entre o limite superior (h2) e o inferior (h1) que se deseja conhecer conforme Equação 7 e 8.

$$v = K \int_{h1}^{h2} di^2 \delta h \quad (7)$$

$$v = K DAP^2 \int_{h1}^{h2} (C_0 + C_1 h_1^{p1} + C_2 h_2^{p2} + \dots + C_n C_n^{pn})^2 \delta h \quad (8)$$

Em que: v – volume do sortimento (m³); K - $\pi/40000$; di - diâmetro correspondente a qualquer altura (cm); hi – altura ao longo do fuste (m); pn - expoentes variando de um a cinco; δh – erro da estimativa.

Após integrar, a Equação 9 propicia obter os sortimentos e volumes comerciais correspondentes a qualquer porção da árvore e/ou o volume total.

$$v = K * DAP^2 \left[\frac{1}{11} C_5^2 h_i^{11} + \frac{1}{5} C_4 C_5 h_i^{10} + \frac{1}{9} (2C_5 C_3 + C_4^2) h_i^9 + \frac{1}{8} (2C_3 C_4 + 2C_5 C_2) h_i^8 + \right. \\ \left. \frac{1}{7} (2C_2 C_4 + 2C_5 C_1 + C_3^2) h_i^7 + \frac{1}{6} (2C_1 C_4 + 2C_3 C_2 + 2C_5 C_0) h_i^6 + \frac{1}{5} (C_2^2 + 2C_4 C_0 + 2C_1 C_3) h_i^5 + \right. \\ \left. \frac{1}{4} (2C_3 C_0 + 2C_1 C_2) h_i^4 + \frac{1}{3} (C_1^2 + 2C_2 C_0) h_i^3 + C_0 C_1 h_i^2 + \right. \\ \left. C_0^2 h_i \right] \quad (9)$$

Em que: v – volume do sortimento (m³); K - $\pi/40000$; DAP – diâmetro à altura do peito (cm); C – constante indeterminada; hi - altura ao longo do fuste (m).

Após a quantificação dos sortimentos, o volume foi transformado e quantificado em massa, visto a comercialização do produto final ocorrer em toneladas. Sendo assim, utilizou-se

o fator de conversão 0,828 para o gênero *Pinus* com casca, conforme Florestar Estatístico (2004).

4.4.3.1 Métodos e seleção de Ajuste

O modelo de Schöepfer (Polinômio do Quinto Grau – 1966) já é utilizado pela empresa, desta forma, as informações de avaliação das estatísticas de ajuste e de precisão foram fornecidas pela mesma, de acordo com os parâmetros descritos por Draper e Smith (1966):

- Análise gráfica dos resíduos (%): Obtida pela diferença entre valores observados e estimados, avaliando a magnitude do erro das estimativas (ANEXO A).
- Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj});
- Erro-padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$).

Na Tabela 7 são apresentados os parâmetros estatísticos para o modelo do polinômio do quinto grau, da variável d_i (diâmetro com casca estimado em cm) com o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{xy}\%$), fornecidos pela empresa.

Tabela 7 - Coeficientes e parâmetros estatísticos para a equação de afilamento ajustadas para os dados para variável d_i .

| Espécie | Autor | Coeficientes | | | | | | $R^2_{aj}^*$ | $S_{yx}\%$ |
|------------------------|----------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|------------|
| | | β_0 | β_1 | β_2 | β_3 | β_4 | β_5 | | |
| <i>Pinus taeda</i> | Schoffer | 1,08 | 3,15 | 13,42 | 27,96 | 25,43 | 8,82 | 0,97 | 6,41 |
| <i>Pinus elliottii</i> | | 1,07 | 3,40 | 16,83 | 39,42 | 40,57 | 15,85 | 0,97 | 6,12 |

* Coeficiente de determinação ajustado.

Fonte: Empresa Florestal, adaptado pelo autor 2018.

4.4.4 Cenários

Desta forma, para avaliar os efeitos do processo de colheita florestal mecanizada, considerando diferentes alturas de toco e pré-traçamento, simulou-se o número de toras e sortimentos obtidos ao longo do fuste, tanto para o desbaste como para o corte raso (Tabela 8).

Tabela 8 - Alturas de toco e pré-traçamento (cm) para diferentes cenários no quarto desbaste e corte raso.

| Cenários | Altura (cm) | |
|----------|-------------|----------------|
| | Toco | Pré-traçamento |
| 1 | 15,0 | 10,0 |
| 2 | Real | Real |
| 3 | 10,0 | 5,0 |
| 4 | 20,0 | 15,0 |
| 5 | 25,0 | 20,0 |
| 6 | 35,0 | 20,0 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Para o cenário 1, levou-se em consideração a situação determinada no planejamento da empresa, ou seja, altura de toco e pré-traçamento não ultrapassando 15 e 10cm, respectivamente. O cenário 2 foi obtido pela mensuração de altura de toco e pré-traçamento em uma situação real com a aplicação das unidades amostrais. Já no cenário 3, considerou-se altura de toco 10cm e pré-traçamento 5cm. Nos demais cenários, adotou-se alturas de toco e pré-traçamento com valores superiores ao especificado pela empresa. Posteriormente foram obtidas as estimativas de sortimentos em toneladas por hectare ($t\ ha^{-1}$) e valor monetário por hectare ($R\$ ha^{-1}$), considerando o preço madeira c/ casca ($R\$ t^{-1}$) para cada sortimento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CUSTOS DA QUALIDADE

A matriz da qualidade (Apêndice A) representa a organização do planejamento das variáveis que influenciam os custos da qualidade da colheita florestal mecanizada por meio do método QFD. Os fatores críticos levantados por Garcia (2017) foram: sortimentos, altura de toco, árvores deixadas no talhão, estes para as duas intervenções avaliadas, e danos às árvores remanescentes no quarto desbaste. O “pré-traçamento”, para as duas intervenções, foi acrescentado pela equipe responsável (Tabela 9).

Tabela 9 - Graus de importância para os fatores críticos de sucesso (FCS) para as atividades de colheita florestal mecanizada.

| Atividades | Fatores Críticos de Sucesso | Grau de Importância |
|------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Quarto desbaste | Danos as árvores remanescentes | 4,5 |
| | Sortimentos | 5,0 |
| Quarto desbaste e corte raso | Altura de toco | 3,0 |
| | Pré-traçamento | 2,5 |
| | Árvores deixadas no talhão | 3,5 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

O primeiro fator crítico de sucesso compreende os “danos às árvores remanescentes”, que ocorrem em atividades de desbaste, principalmente pelas máquinas florestais de extração nas entrelinhas dos plantios, podendo causar lesões nos indivíduos que serão conduzidos para as próximas intervenções. Assim, conforme Minette (1988) na extração da madeira é fundamental o uso de equipamentos dimensionados em concordância com espaçamento dos indivíduos para execução das tarefas, bem como o treinamento dos operadores.

Dentre os fatores críticos encontrados, este foi o segundo com maior grau de importância, evidenciando perdas da qualidade no produto final. Neste sentido, é indispensável a prevenção e avaliação dos indivíduos remanescentes, evitando que estes fiquem danificados com lesões até as próximas intervenções (MALINOVSKI, 2008). De acordo com Camargo (1999) para que haja a manutenção da qualidade da floresta, os desbastes devem ser inspecionados pelas organizações por meio de um controle de danos.

A rigorosidade e a proporção deste fator crítico causam prejuízos para as futuras rotações, resultando em redução da produtividade dos indivíduos danificados e da qualidade, principalmente nas primeiras toras que possuem maior valor agregado. Conforme Lineros et al.

(2003), Ribeiro et al. (2002) e Vasiliauskas (2001) as lesões promovidas pelas máquinas podem posteriormente ser atacadas por fungos, prejudicando a qualidade da madeira e, por conseguinte, gerando dispêndios econômicos significativos. Ligné (2004) e Sirén (2001) afirmaram que estas não conformidades podem ser promovidas pela técnica utilizada, experiência dos operadores, volume dos indivíduos retirados, densidade da floresta, entre outros fatores.

Malinovski (1998) analisando os danos causados em povoamentos de *Pinus taeda* com o sistema de colheita de toras curtas, verificou que 5% das árvores remanescentes sofreram algum tipo de lesão no quarto desbaste. Já Mcneel et al. (1992) analisaram que menos de 5% das árvores remanescentes sofreram lesões produzidas no desbaste, com sistema *Harvester* e *Forwarder*.

O fator crítico de sucesso “sortimentos” apresentou o maior grau de importância, dentre os avaliados, por afetar os clientes internos e externos. O sortimento, determinando os múltiplos usos que podem ser obtidos de um determinado fuste, é essencial para o rendimento da floresta. As não conformidades deste fator caracterizam-se por falhas que ocorrem quando as toras de madeira não apresentam as dimensões de comprimento e classificação diamétrica adequadas, devido a imprecisões relacionadas às atividades do *Harvester* ou alocação das toras nas pilhas de madeira.

Dentre os fatores que podem ter influenciado na imprecisão do *Harvester* estão: a declividade do terreno, classe de solo, volume por árvore, experiência do operador, condições da máquina, manutenção e direção da operação (BRAMUCCI, 2001). Já as falhas na separação das toras nas pilhas são decorrentes da calibração das máquinas utilizadas, planejamento da operação, capacitação dos colaboradores e a ampla quantidade de sortimentos comercializados pela empresa.

Os múltiplos usos da madeira tornam a tomada de decisões muito mais complexa quanto ao traçamento do fuste. Conforme Oliveira e Lopes (2009) o uso de diferentes sortimentos para toras de *Pinus* visa atender aos diversos consumidores de uma determinada região, entretanto, erros ocorridos no traçamento pode ocasionar em um menor aproveitamento. Desta maneira, a reparação deste fator crítico permitirá produzir o máximo de rendimento financeiro, obtendo sortimentos mais lucrativos (CAMPOS et al., 2013).

Já a “altura de toco” é classificada como um fator crítico em função das alturas excedentes a 15 cm após colheita florestal. A ocorrência de tocos acima das especificações da empresa pode ser evidenciada em terrenos com maiores declividades e locais com afloramentos rochosos, visando a redução de danos no sabre da máquina. Tais desperdícios de madeira

ocorrem na tora de maior valor econômico, além de um retrabalho no rebaixamento de tocos nas futuras implantações. Além disso, este fator dificulta as atividades futuras na área, como preparo do solo, adubação, entre outros, em função das dificuldades de tráfego das máquinas e implementos (EQUIPE DA DIRETORIA FLORESTAL DA VERACEL, 1994).

Conforme Foelkel (2014) um dos maiores desafios da colheita florestal é efetuar as operações de maneira com que os tocos fiquem o mais próximo do solo, maximizando o aproveitamento das toras mais grossas. Neste sentido, a reparação deste fator propicia melhorias relevantes em termos de eficiência, segurança, controle de qualidade e desempenho das operações (FINK et al., 2008).

Já o “pré-traçamento” refere-se ao disco de madeira eliminado da primeira tora do fuste, visando não danificar estas toras. Esta atividade também é realizada como uma medida de segurança do *Harvester*, quando a floresta apresenta indivíduos de grandes dimensões. Caracteriza-se como um fator crítico quando os discos de madeira apresentam alturas excedentes a 10cm após colheita florestal. Entretanto, este fator apresentou o menor grau de importância em função das menores perdas quando comparados aos demais.

Já o fator crítico de sucesso “árvores deixadas no talhão” compreende a matéria prima cortada, com dimensões acima de 8,0cm de diâmetro e 1,50m de altura. Este fator ocorre pela não percepção por parte dos colaboradores no momento da derrubada, processamento e extração ou pela queda deste material das máquinas de extração. Na maioria dos casos, as perdas decorridas dessa etapa da colheita apresentam toras com menores dimensões e, conseqüentemente, valor comercial, entretanto, contribuem nas receitas finais esperadas da floresta.

Desta maneira, dispêndios verificados pelos fatores críticos de sucesso ocorrem devido a não conformidade do processo produtivo com o planejamento da empresa e estão diretamente relacionados com os investimentos que a organização realiza em qualidade, tanto em prevenção quanto em avaliação.

Na sequência, a equipe definiu as variáveis que influenciam os custos da qualidade com seus pesos relativos do processo, por meio do desdobramento dos fatores críticos de sucesso, totalizando 29 custos nas quatro categorias (Tabela 10).

Tabela 10- Variáveis que influenciam os custos da qualidade e seus pesos relativos do processo em %.

| Categorias de custos | Custos da qualidade | Peso relativo do processo % |
|-----------------------------|--|------------------------------------|
| Prevenção | Planejamento da qualidade; | 5,81 |
| | Revisão de novos produtos; | 3,68 |
| | Controle de processos; | 1,94 |
| | Análise e aquisição de dados; | 5,81 |
| | Relatórios de qualidade; | 1,94 |
| | Informação da qualidade; | 1,94 |
| | Controle do projeto; | 2,63 |
| | Medidas de qualidade e controle do equipamento; | 2,74 |
| | Manutenção do sistema de qualidade; | 5,81 |
| | Custos administrativos da qualidade; | 1,94 |
| | Estudo de processos. | 1,94 |
| Subtotal | | 37,17 |
| Avaliação | Inspeção de Matéria-prima; | 5,81 |
| | Testes de equipamento; | 3,89 |
| | Avaliação de estoques; | 3,68 |
| | Custos de preparação para inspeção e teste; | 1,94 |
| | Custos de controle de compras; | 1,55 |
| | Demonstração e relatórios de qualidade; | 5,81 |
| | Testes de produção. | 2,81 |
| Subtotal | | 26,49 |
| Falhas internas | Refugos; | 4,13 |
| | Retrabalho; | 3,33 |
| | Falhas do fornecedor; | 3,75 |
| | Material rejeitado para outras finalidades; | 4,66 |
| | Ações corretivas derivadas de materiais e processos; | 3,44 |
| | Outros custos internos; | 4,66 |
| | Paradas/Esperas. | 2,60 |
| Subtotal | | 26,57 |
| Falhas Externas | Material devolvido; | 2,10 |
| | Custos com garantia; | 2,98 |
| | Custos de concessões dadas aos clientes, descontos; | 2,98 |
| | Serviço de atendimento ao cliente. | 1,73 |
| Subtotal | | 9,73 |
| Total | | 100 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Dos fatores que influenciam os custos da qualidade, 37,17% foram relacionados à prevenção e 26,49% a custos de avaliação. Estes resultados corroboram com Mattos (1997) em pesquisa aos custos da qualidade, em que pesos relativos representando uma maior parcela de

custos em avaliação e prevenção, colabora para que o produto ou processo tende a possuir menores índices de falhas.

Para a categoria de custos de prevenção, três dos fatores apresentaram maior destaque na colheita florestal mecanizada, com peso relativo de 5,81%. O “planejamento da qualidade”, que engloba os custos relacionados à definição de estratégias de maneira contínua para a concretização das atividades de colheita, livre de falhas. Este fator engloba também a organização de táticas necessárias para informar as determinações para os colaboradores em todo o ambiente empresarial envolvido no processo de colheita.

Outro fator de maior relevância nesta categoria foi “análise e aquisição de dados”, ao qual interfere em todos os fatores críticos de sucesso, por meio da quantificação de falhas. Shank e Govindarajan (1997) destacaram a importância deste custo no contexto dos fatores direcionadores para atenuação de falhas e aumento da qualidade nas atividades. Este resultado corrobora com as ideias de Crosby (1994) e Feigenbaum (1994) destacando este custo como fundamental no monitoramento da eficácia do sistema, propiciando o aperfeiçoamento dos procedimentos.

Já o terceiro fator para o custo de prevenção, que representou 5,81% do total, foi a “manutenção do sistema de qualidade”, ressaltando a importância da continuidade do uso de ferramentas e estratégias no processo produtivo. Neste sentido, a empresa deve manter seus processos e sua capacidade de atender aos requisitos dos clientes. Este custo apresenta grande relevância em todo o processo de colheita, devido a necessidade de estabelecer um cronograma de manutenção, para que não ocorra interrupções nas atividades.

Os fatores que afetam os custos de avaliação de maior relevância foram: “inspeção de matéria prima”, que confere uma maior segurança por meio de um conjunto de ações, que objetivam a detecção de não conformidades no processo; “demonstração e relatórios da qualidade” que permitem uma análise detalhada e ágil da produtividade, ambos com peso relativo de 5,81%.

Considerando os fatores que influenciam os custos de falhas, 26,57% representaram falhas internas e 9,73% externas. Conforme Feigenbaum (1994) uma organização ideal, com eficientes investimentos em avaliação e prevenção leva os valores de falhas a zero. Juran e Gryna (1980) em seu estudo afirmaram que uma atividade está 100% dentro do controle de qualidade, quando não existe falhas no processo, porém, essa variável leva a um alto gasto em avaliação e prevenção.

Dos fatores para falhas internas, destaca-se: “utilização de materiais rejeitado para outras finalidades” com 4,66% do peso relativo, visto que a empresa utiliza sua produção em

sortimentos para múltiplos usos e em alguns casos ocorre a desclassificação de toras, apontando erros no planejamento; “outros custos internos” que foram abordados para este trabalho levando em consideração, nesse caso, alguns custos esporádicos que podem ocorrer em alguma parte do processo, como manchas na madeira que ocorrem em períodos mais quentes do ano. De acordo com Slack et al. (2007) os custos podem ser atenuados pela eficiência, produtividade e uso melhor do capital de projeto. Estando estas medidas diretamente relacionadas a uma boa administração e realização de estudos completos de todo o processo.

Já as falhas externas estão associadas aos defeitos identificados fora da empresa. Os fatores de maior relevância foram os custos com “garantias” e “concessões dadas a clientes externos, descontos” ambos com 2,98% do peso relativo. Nesta fase são abordadas as falhas provenientes do produto e reclamações, levando em consideração a perda de confiança dos clientes, perda de tempo devido a deficiência do projeto e perdas nas futuras vendas.

Os fatores encontrados nesta categoria são considerados os mais graves, pois englobam as oportunidades perdidas em relação a novas vendas, a perda de novos clientes pela má qualidade, além de lucros em clientes potenciais. Sakurai (1997) ainda afirmam que neste caso a empresa não foi capaz de detectar os defeitos antes da expedição dos produtos. Leite et al. (2005) determinaram os custos da qualidade na produção de mudas de *Eucalyptus* spp., em uma empresa que destina sua produção de madeira à fabricação de celulose e papel. Dos custos encontrados, 60,5% representaram custos de falhas (internas e externas), indicando a necessidade em um maior investimento em custos de avaliação e prevenção.

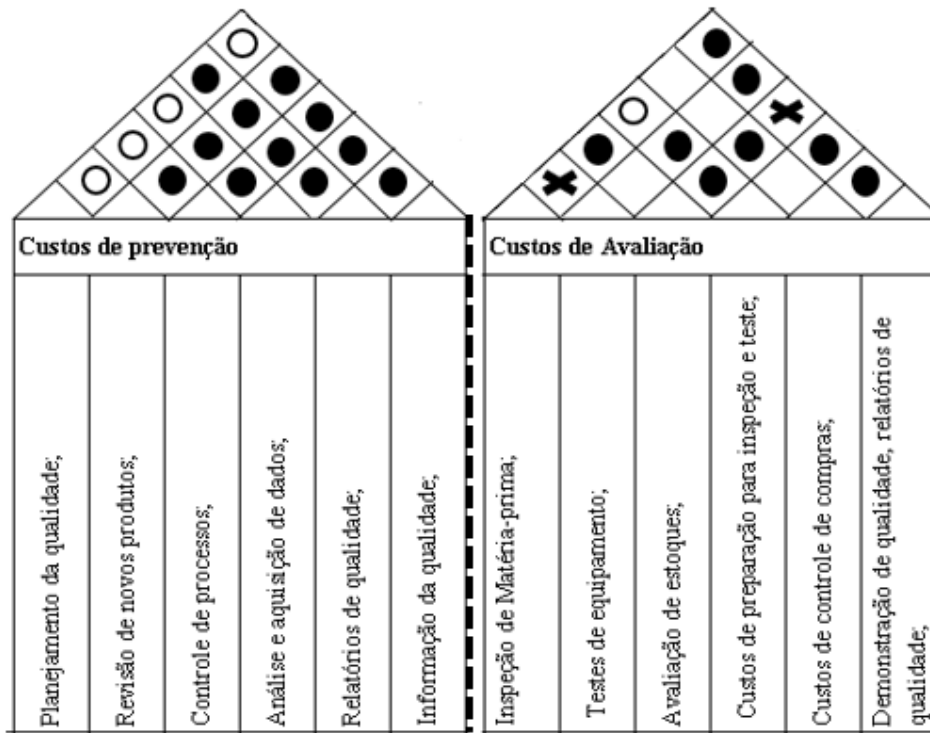
Desta forma, o entendimento e análises dos custos da qualidade para atenuação de falhas, por meio da mensuração e do registro dos mesmos, torna-se uma importante ferramenta gerencial. Estas análises possuem efeito significativo na sistematização dos custos de maneira continua fazendo com que se conheça as categorias mais significativas e suas distribuições ao longo do tempo, na intenção de distribuir os gastos de avaliação e prevenção para que ocorra a redução dos custos de falhas, principalmente as externas que afetam diretamente os consumidores.

Após a identificação da qualidade projetada, efetuou-se a adequação da matriz de correlações, colaborando na seleção dos fatores prioritários da qualidade. Esta etapa tem o intuito de demonstrar quais deles apresentarão alterações no processo de colheita florestal mecanizada, quando pretende-se alterar os demais custos, haja visto a influência gerada em todo o processo.

Para um total de 406 células, foram encontradas 334 correlações: 195 (58%) forte, 86 (26%) média e 53 (16%) fraca. Na Figura 5, verifica-se parcialmente as correlações entre alguns

dos fatores. A matriz de correlação de todos os fatores que afetam os custos da qualidade, encontra-se no Apêndice A.

Figura 5 - Visualização parcial das correlações entre os custos da qualidade.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Na Figura 5, observa-se algumas correlações nos fatores que afetam os custos de prevenção e avaliação na colheita florestal mecanizada. Essas correlações manifestam-se no que remete cada custo, ou seja, tomando como exemplo o fator “controle de processos”, pertencente a categoria dos custos de prevenção, observa-se que aumentando a “informação da qualidade”, aumenta-se o “controle dos processos” reduzindo custos com falhas.

De maneira geral, as categorias de custo apresentaram um maior número de correlações fortes, principalmente na avaliação e prevenção. Conforme Robles Jr. (1996) estas categorias asseguram a qualidade das operações, como ajustes, monitoramento, inspeção, testes, revisão, entre outros. Deste modo, a correlação entre os custos permite detectar aperfeiçoamentos em projetos específicos e segui-los para otimizar a qualidade e, assim, reduzir os custos de má qualidade, principalmente os de falhas. Juran e Gryna (1991) relataram ainda a possibilidade de identificar os custos de prevenção e avaliação que apresentam correlação forte com os custos de falhas internas e externas, visando criar medidas para atenuação da insatisfação dos clientes e as respectivas ameaças às vendas.

Neste sentido, o levantamento dos custos da qualidade é de suma importância, pois, no ponto de vista de Hansen e Mowen (2001) e Rust et. al. (1994) facilita a empresa avaliar se o empenho feito para o aumento da qualidade diminui custos de não conformidades. Já para Feigenbaum (1994) as empresas que aumentam os investimentos nos custos de prevenção e avaliação, diminuem os custos com falhas. Juran e Gryna (1991) em estudo de uma fabricante de pneus dos Estados Unidos, observaram a redução de 10% dos custos da baixa qualidade, após o acréscimo de 4,3% nos custos de prevenção.

Nesta perspectiva, dentre os fatores levantados, verificou-se que para as atividades de colheita florestal mecanizada, o de prevenção “planejamento da qualidade” teve correlação forte com todos os fatores de falhas (internas e externas), indicando que maiores investimentos no planejamento resultariam na redução das falhas ocorridas no processo e, conseqüentemente, seus custos.

Outro fator de prevenção que apresentou correlação forte com todos os de falhas foi a “análise e aquisição de dados”, pois este permite a identificação e organização de determinada não conformidade. Tais resultados corroboram com a necessidade de pesquisas e análises com certo grau de certeza, aumentando a percepção das equipes envolvidas no processo de colheita quanto a problemas, que venham a causar aumentos em custos de falhas.

O fator para avaliação “demonstração da qualidade e relatórios da qualidade” teve correlação forte com todos os custos de falhas externas, evidenciando que maiores recursos gastos neste tipo de avaliação, irá contribuir para que não ocorra custos gerados pela distribuição de produtos não conformes ou defeituosos aos consumidores. Conforme Galloro e Stephani (1995) os relatórios relacionados a custos da qualidade necessitam ser práticos, acessíveis e de fácil entendimento, apresentando continuidade, padronização e coerência, para possibilitar a confrontação periódica. Robles Jr. (1996) ainda salientou que os relatórios de custos da qualidade devem ser esboçados de maneira que possibilite a máxima flexibilidade para observar a dinâmica operacional das atividades.

Deste modo, estes resultados revelam a disposição no desempenho desses custos na diminuição das falhas externas, gerando relatórios, com informações agregadas, fornecendo subsídios na tomada de decisão.

5.2 DESPERDÍCIOS DE MADEIRA

O resumo dos parâmetros de estatística descritiva dos dados de volume (m^3) das parcelas para altura de toco e pré-traçamento no quarto desbaste e corte raso são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Informações estatísticas dos dados de volume (m^3) das parcelas para toco e pré-traçamento nas intervenções de quarto desbaste e corte raso.

| Volume (m^3) | Intervenção | | | |
|-------------------------------------|-----------------|----------------|------------|----------------|
| | Quarto desbaste | | Corte raso | |
| | Toco | Pré-traçamento | Toco | Pré-traçamento |
| Mínimo (m^3) | 0,00038 | 0,00010 | 0,00610 | 0,00300 |
| Média (m^3) | 0,00071 | 0,00032 | 0,00739 | 0,00357 |
| Máximo (m^3) | 0,00098 | 0,00073 | 0,00868 | 0,00475 |
| Desvio padrão (m^3) | 0,00016 | 0,00023 | 0,00092 | 0,00068 |
| Coefficiente de variação (%) | 22,81 | 22,72 | 12,47 | 19,13 |
| Erro padrão da estimativa (m^3) | 0,00003 | 0,00007 | 0,00029 | 0,00027 |
| Nº de parcelas necessárias | 23 | 25 | 8 | 20 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Ao calcular a intensidade amostral necessária com a aplicação das 10 unidades amostrais piloto, posteriormente foram aplicadas no total 26 parcelas para o quarto desbaste e 21 para o corte raso, desta forma, mostrando que o estudo foi satisfatório para estimar o volume na situação real.

5.2.1 Quarto desbaste

5.2.1.1 Distribuição diamétrica

O resumo da estatística descritiva dos dados fornecidos pela empresa do inventário florestal do estoque de madeira dos povoamentos destinados as intervenções de quarto desbaste em função do DAP é apresentado na Tabela 12.

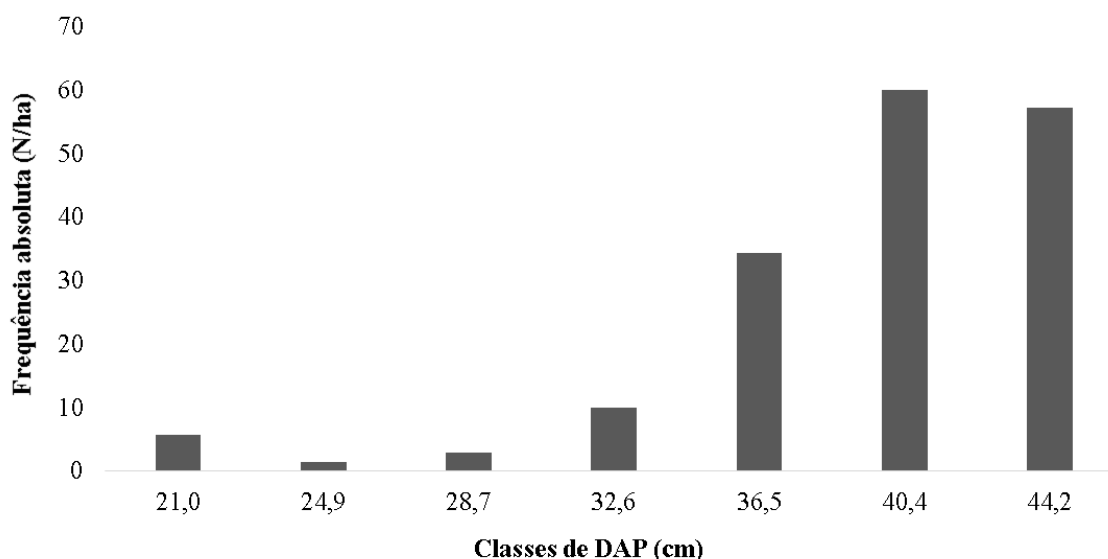
Tabela 12 - Informações estatísticas dos dados de DAP (cm) dos povoamentos destinados as intervenções de quarto desbaste.

| Estatísticas | DAP |
|------------------------------|------------|
| Mínimo (cm) | 21,0 |
| Média (cm) | 38,2 |
| Máximo (cm) | 46,0 |
| Desvio padrão (cm) | 5,0 |
| Coefficiente de variação (%) | 16,39 |
| Erro de amostragem (cm) | 0,49 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Conforme Carelli (2008) para conhecer a estrutura diamétrica de uma floresta é importante obter informações sobre a produção e estoque de madeira, dando suporte na tomada de decisões sobre a necessidade de reposição florestal. Pelo método estatístico, os dados avaliados foram distribuídos em 7 classes diamétricas (Figura 6).

Figura 6 - Distribuição das classes de DAP (cm) dos indivíduos destinados ao quarto desbaste, quanto a sua frequência absoluta (N/ha).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Na Figura 6, observa-se uma maior quantidade de indivíduos concentrados nas classes de maior diâmetro. A redução do número de indivíduos da menor classe diamétrica para a maior ocorreu devido aos desbastes, realizados até os 21 anos da floresta. Para o total de dados, o DAP médio de classes variou de 21,0 a 44,2cm. Com o passar do tempo a distribuição de frequência se deslocou para a direita, com indivíduos apresentando maiores diâmetros. Esse

deslocamento das curvas de distribuição dos diâmetros também foi encontrado por Machado et al. (2006) estudando povoamentos desbastado de *Pinus taeda* L. no estado de Santa Catarina.

O comportamento da distribuição neste estudo também foi encontrado por Clutter e Benett (1965) que observaram que as curvas de distribuição diamétrica após desbaste para *Pinus elliottii* Engelm. se deslocaram para a direita em função da idade dos povoamentos, ocorrendo decréscimo no número de árvores nas classes inferiores e aumento no número de árvores nas classes superiores.

Deste modo, a seleção de árvores retiradas nos desbastes anteriores, que ocorreram de forma sistemática e seletiva nas duas primeiras intervenções e de forma seletiva na terceira, beneficiaram o crescimento de indivíduos nos estratos superiores.

5.2.1.2 Quantificação dos sortimentos

Na Tabela 13 são apresentados o limite inferior, ponto médio e limite superior de cada classe diamétrica e características dendrométricas de DAP (cm) e altura total (m) dos indivíduos selecionados do inventário florestal de estoque de madeira por classe.

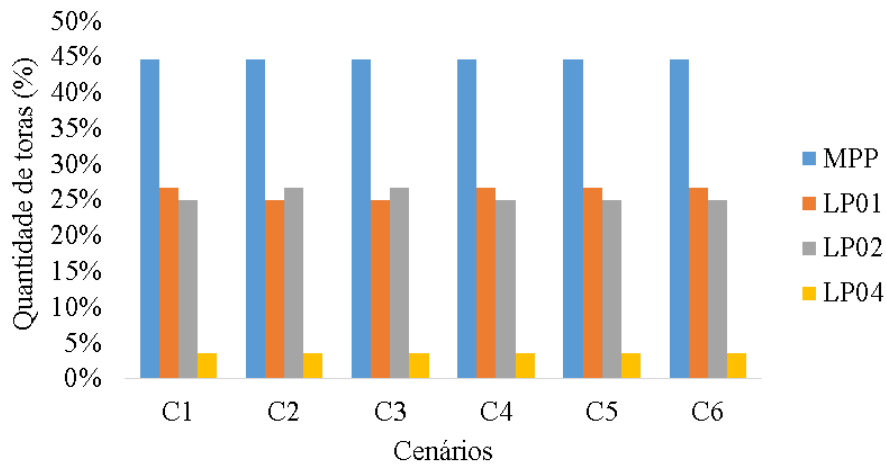
Tabela 13 – Limite inferior, ponto médio e limite superior de cada classe e características dendrométricas de DAP (cm) e altura total (m) dos indivíduos selecionados do inventário florestal de estoque de madeira para cada classe diamétrica.

| Classes | Limite inferior (cm) | Ponto médio (cm) | Limite superior (cm) | Indivíduos | |
|---------|----------------------|------------------|----------------------|------------|------------------|
| | | | | DAP (cm) | Altura Total (m) |
| 1 | 19,1 | 21,0 | 22,9 | 21,0 | 22,7 |
| 2 | 23,0 | 24,9 | 26,8 | 25,0 | 24,1 |
| 3 | 26,9 | 28,7 | 30,6 | 29,0 | 23,8 |
| 4 | 30,7 | 32,6 | 34,5 | 33,0 | 26,8 |
| 5 | 34,6 | 36,5 | 38,4 | 37,0 | 26,7 |
| 6 | 38,5 | 40,4 | 42,2 | 40,0 | 24,6 |
| 7 | 42,3 | 44,2 | 46,1 | 44,0 | 23,5 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Analisando cenários para diferentes alturas de toco e pré-traçamento, obteve-se a quantidade de toras (%), para cada cenário (Figura 7).

Figura 7– Quantidade de toras (%) para os diferentes sortimentos em cada cenário



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Nas atividades de quarto desbaste, os sortimentos MPP e LP04 não apresentaram redução de toras para os diferentes cenários. Confrontando os cenários planejado (C1) e realizado (C2), observa-se que as alturas de toco e pré-traçamento não interferiram na maioria dos sortimentos quantificados, com exceção do sortimento LP01 que ocorreu um decréscimo de 2% de toras, porém desencadeando em um aumento no número de toras no sortimento LP02 que apresenta maior valor comercial.

Mesmo com a quantidade de toras reduzidas no sortimento LP01 para o realizado (C2), este fato não interferiu no sortimento MPP, ou seja, as toras subsequentes. Este resultado foi diferente do encontrado por Campos e Tavares (2010) em pesquisa da influência do comprimento e otimização de toras em *Pinus pinaster* Aiton, que verificaram redução em alguns dos sortimentos após a colheita. Ainda Mendonça (2006), estudando a otimização do volume de toras comerciais de *Eucalyptus* spp. em função da qualidade do fuste, verificou redução na quantidade de toras dos sortimentos de maior valor agregado em função das perdas. Segundo Foelkel (2015) o volume de madeira mensurado pelo inventário florestal de estoque raramente será alcançado, pois nestas estimativas não está sendo consideradas as perdas da colheita florestal.

Os cenários realizado (C2) e alturas de toco e pré-traçamento de 10 e 5 cm, respectivamente (C3), foram os que apresentaram melhores resultados quanto ao aproveitamento de toras com maior valor agregado. Desta maneira, a aplicação de um destes dois cenários no planejamento da empresa, irá contribuir em um melhor aproveitamento dos plantios florestais, de maneira a otimizar o valor econômico da madeira, elevando ao máximo o número de toras que podem ser retiradas do fuste.

Na Tabela 14, os diferentes cenários avaliados são analisados, permitindo uma melhor visualização das perdas e ganhos, conforme as mudanças em altura de toco e pré-traçamento (Tabela 14).

Tabela 14 – Quantificação dos sortimentos em toneladas por hectare ($t\ ha^{-1}$) e valor monetário por hectare ($R\$ ha^{-1}$) para cada sortimento nos diferentes cenários avaliados.

| Cenários | Sortimentos | $t\ ha^{-1}$ | $R\$ ha^{-1}$ |
|----------|--------------|---------------|------------------|
| 1 | MPP | 21,19 | 847,51 |
| | LP01 | 34,26 | 4.077,47 |
| | LP02 | 57,26 | 11.280,80 |
| | LP04 | 12,63 | 3.410,61 |
| | Total | 125,35 | 19.616,39 |
| 2 | MPP | 21,44 | 857,64 |
| | LP01 | 31,37 | 3.733,43 |
| | LP02 | 60,43 | 11.904,26 |
| | LP04 | 12,71 | 3.430,46 |
| | Total | 125,95 | 19.925,78 |
| 3 | MPP | 21,46 | 858,28 |
| | LP01 | 31,44 | 3.741,21 |
| | LP02 | 60,43 | 11.904,26 |
| | LP04 | 12,71 | 3.430,46 |
| | Total | 126,03 | 19.934,21 |
| 4 | MPP | 20,84 | 833,46 |
| | LP01 | 33,94 | 4.038,84 |
| | LP02 | 56,83 | 11.194,78 |
| | LP04 | 12,49 | 3.372,36 |
| | Total | 124,09 | 19.439,44 |
| 5 | MPP | 20,46 | 818,42 |
| | LP01 | 33,62 | 4.000,66 |
| | LP02 | 56,40 | 11.111,02 |
| | LP04 | 12,36 | 3.335,96 |
| | Total | 122,84 | 19.266,07 |
| 6 | MPP | 20,09 | 803,53 |
| | LP01 | 33,30 | 3.962,92 |
| | LP02 | 55,99 | 11.029,39 |
| | LP04 | 12,23 | 3.301,30 |
| | Total | 121,60 | 19.097,14 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Analisando todos os cenários, o sortimento que apresentou maiores valores foi o LP02, seguido por LP01 e LP04. Um dos fatores que possibilitaram este resultado foi a variação da dimensão das toras, tendo em consideração que o sortimento LP02 apresenta diâmetros entre

25,0cm e 35,0cm, enquanto que LP04 apresenta diâmetros superiores a 35,0cm, visto a idade dos indivíduos nas intervenções de quarto desbaste.

Confrontando os cenários planejado (C1) e realizado (C2), o quarto desbaste superou as expectativas de produção, acarretando em aumento na receita final, apenas apresentando menores ganhos nos sortimentos LP01. Entretanto, a redução no sortimento não representou perdas na receita total planejada pela empresa para esta intervenção, devido ao fato dos sortimentos LP02 e LP04 apresentarem uma proporção acima do esperado pelo planejamento do controle de qualidade e pelas características de maior valor agregado, ou seja, madeira livre nó e com as maiores dimensões. Estes resultados apontam que os operadores conseguiram realizar as atividades com maior eficiência que o esperado por parte da empresa.

Além disso, alguns fatores podem ter levado a esses resultados encontrados com a quantificação dos sortimentos no realizado (C2), como a baixa declividade dos talhões avaliados nas áreas das intervenções avaliadas. Segundo Stampfer et al. (1999) a inclinação do terreno tem influência quanto a produtividade do *Harvester*. Além disso, outros fatores podem explicar as conformidades com o planejamento no caso do quarto desbaste, entre alguns deles: o baixo diâmetro das árvores a serem colhidas; menor volume individual das árvores; baixa declividade dos talhões; boa experiência dos operadores; entre outros.

Quando comparados os cenário planejado com aquele de menores alturas de toco e pré-traçamento, respectivamente C1 e C3, observa-se perdas por madeira retidas em toco e pré-traçamento de 0,08 t ha⁻¹. Fink et al. (2008), analisando a quantidade de madeira retida em tocos, encontrou perdas de 0,067 t ha⁻¹, pelo método de colheita semimecanizada. Já Serpe (2017) constatou perdas de 0,23 t ha⁻¹ nas atividades de colheita florestal mecanizada com *Feller* direcional. Deste modo, estes trabalhos apontam que independente dos módulos utilizados, podem ocorrer perdas no processo de colheita florestal.

No cenário realizado (C2), a quantidade de madeira desejada por parte da empresa está de acordo com os objetivos do planejamento das operações de colheita, no entanto, em relação ao desempenho das atividades no quarto desbaste, C3 (alturas de toco e pré-traçamento de 10 e 5 cm respectivamente) apresenta as maiores receitas em relação aos demais cenários, evidenciando que a empresa deve buscar alterações no planejamento de suas especificações e treinamento de seus colaboradores visando otimizar o processo. Entretanto, estes resultados corroboram com a descrição de Foelkel (2014) em que um dos desafios da colheita florestal é que a altura de toco fique o mais próximo do solo, ocasionando consequentemente em menores perdas.

5.2.2 Corte Raso

5.2.2.1 Distribuição diamétrica

O resumo da estatística descritiva da floresta destinada às intervenções de corte raso em função do DAP é apresentado na Tabela 15.

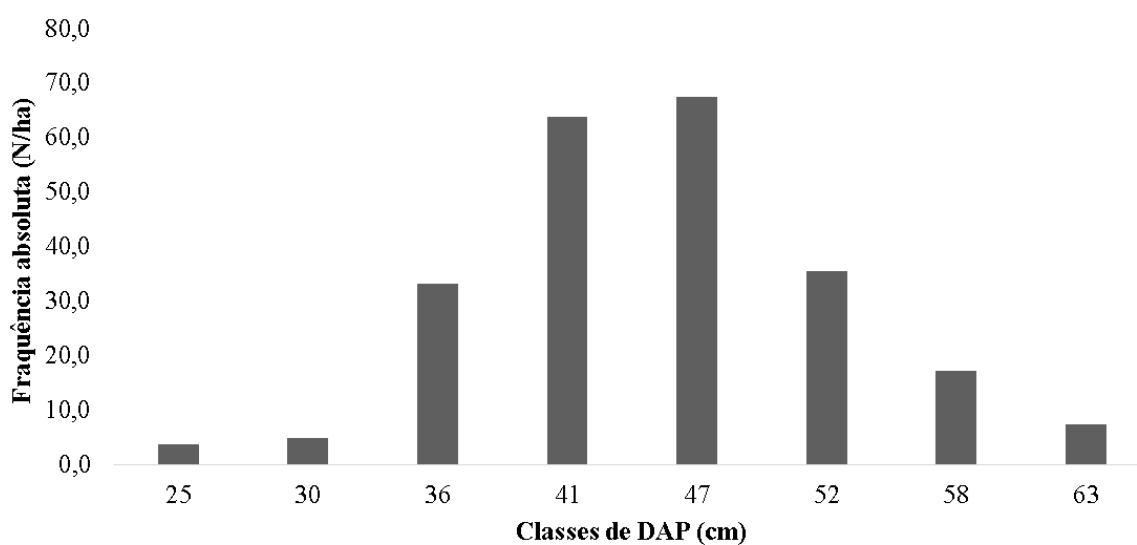
Tabela 15- Informações estatísticas dos dados de DAP (cm) dos indivíduos destinados as intervenções de corte raso.

| Estatísticas | DAP (cm) |
|------------------------------|-----------------|
| Mínimo (cm) | 25,0 |
| Média (cm) | 44,9 |
| Máximo (cm) | 65,0 |
| Desvio padrão (cm) | 7,2 |
| Coefficiente de variação (%) | 16,0 |
| Erro de amostragem | 0,52 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Posteriormente, a partir da análise dos dados pelo método estatístico, os dados foram distribuídos em 8 classes diamétricas (Figura 8).

Figura 8- Distribuição das classes de DAP (cm) dos indivíduos destinados ao corte raso, quanto a sua frequência absoluta (N/ha).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Observou-se uma relação entre o valor central das classes e a frequência, apresentando maior concentração de árvores nas classes do centro de distribuição, caracterizando as florestas plantadas, como é o caso do gênero *Pinus*. Estes resultados coincidem com o encontrado por Couto (1980) em trabalho com as distribuições diamétricas para *Pinus caribea* var. *caribea*, e também por Nogueira et al. (2005) no estudo da distribuição diamétrica para um híbrido de *Eucalyptus*.

As maiores frequências estão na quinta classe com um ponto médio de 47cm de diâmetro, visto as intervenções das práticas de manejo que ocorreram, contribuindo com o desenvolvimento dos indivíduos que foram deixados até o corte raso devido a diminuição da competição entre si. A partir da sexta classe, pode-se observar a diminuição de indivíduos com maiores diâmetros, indicando a estagnação do crescimento da floresta.

5.2.2.2 Quantificação dos sortimentos

Na Tabela 16, são apresentados o limite inferior, ponto médio e limite superior de cada classe, além das características de DAP (cm) e altura total (m) dos indivíduos selecionados do inventário florestal destinados ao corte raso, para cada classe diamétrica.

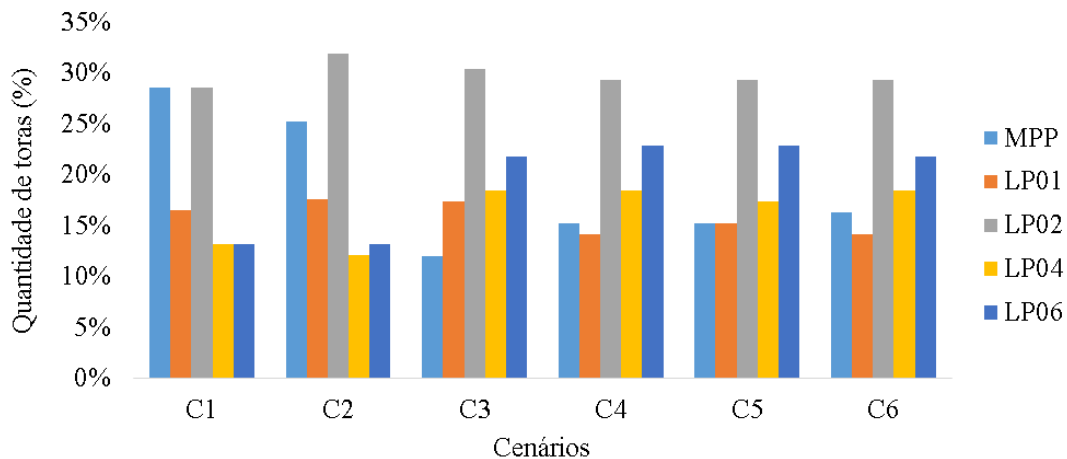
Tabela 16 – Limite inferior, ponto médio e limite superior de cada classe e características dendrométricas de DAP (cm) e altura total (m) dos indivíduos selecionados do inventário florestal de estoque de madeira para cada classe diamétrica.

| Classes | Limite inferior (cm) | Ponto médio (cm) | Limite superior (cm) | Frequência relativa (%) | Indivíduos | |
|---------|----------------------|------------------|----------------------|-------------------------|------------|------------------|
| | | | | | DAP (cm) | Altura Total (m) |
| 1 | 22,3 | 25,0 | 27,7 | 2 | 25,0 | 29,2 |
| 2 | 27,8 | 30,0 | 33,1 | 2 | 33,0 | 35,4 |
| 3 | 33,2 | 36,0 | 38,5 | 14 | 36,0 | 34,0 |
| 4 | 38,6 | 41,0 | 43,9 | 27 | 42,0 | 33,5 |
| 5 | 44,0 | 47,0 | 49,3 | 29 | 46,0 | 33,8 |
| 6 | 49,4 | 52,0 | 54,8 | 15 | 52,0 | 35,6 |
| 7 | 54,9 | 58,0 | 60,2 | 7 | 58,0 | 32,3 |
| 8 | 60,3 | 63,0 | 65,6 | 3 | 62,0 | 27,3 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Posteriormente a seleção dos indivíduos para cada classe de diâmetro, os diferentes cenários para os cinco sortimentos encontrados no corte raso foram comparados (Figura 9).

Figura 9- Quantidade de toras (%) para os diferentes sortimentos em cada cenário.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A quantidade de toras obtidas no cenário realizado (C2), com a aplicação das unidades amostrais, demonstrou perdas de madeira em três dos cinco sortimentos avaliados, evidenciando que os excedentes em altura de toco e pré-traçamento estão afetando a distribuição dos sortimentos ao longo do fuste, contrariando as especificações da empresa (C1). Neste sentido, as perdas acrescidas nos sortimentos com maior valor agregado apresentam problemas de não conformidades com o planejamento, não atendendo a produção esperada, evidenciando uma falta de investimento em medidas de controle nos processos e caracterizando-se como um custo de falha interna.

De maneira a identificar medidas para melhoria da produtividade, realizou-se a quantificação dos sortimentos em toneladas por hectare ($t\ ha^{-1}$) e valor monetário por hectare ($R\$\ ha^{-1}$) para cada sortimento em diferentes cenários (Tabela 16).

Confrontando o planejado (C1) e realizado (C2), os sortimentos mais finos e de baixo volume não representam tanto nas metas econômicas da empresa, por apresentarem menores valores comerciais, porém colaboram no total de madeira esperado da floresta. Deste modo, as perdas de madeira ocorreram de forma mais expressiva nos sortimentos com maior valor comercial, principalmente nas toras de madeira livre de nó, representando reduções na produção e receita.

Tabela 16 - Quantificação dos sortimentos em toneladas por hectare (t ha⁻¹) e valor monetário por hectare (R\$ ha⁻¹) para cada sortimento nos diferentes cenários avaliados.

| Cenários | Sortimentos | t ha ⁻¹ | R\$ ha ⁻¹ |
|----------|--------------|--------------------|----------------------|
| 1 | MPP | 30,65 | 1.226,02 |
| | LP01 | 48,68 | 5.792,69 |
| | LP02 | 153,20 | 30.179,91 |
| | LP04 | 118,35 | 31.955,37 |
| | LP06 | 181,55 | 63.906,95 |
| | Total | 532,43 | 133.060,93 |
| 2 | MPP | 23,28 | 931,34 |
| | LP01 | 47,35 | 5.634,77 |
| | LP02 | 160,48 | 31.614,80 |
| | LP04 | 108,41 | 29.269,94 |
| | LP06 | 166,65 | 58.661,08 |
| | Total | 506,17 | 126.111,93 |
| 3 | MPP | 4,15 | 165,82 |
| | LP01 | 25,05 | 2.981,31 |
| | LP02 | 106,28 | 20.936,36 |
| | LP04 | 114,92 | 31.029,16 |
| | LP06 | 229,17 | 80.668,68 |
| | Total | 479,57 | 135.781,32 |
| 4 | MPP | 6,24 | 249,74 |
| | LP01 | 22,00 | 2.617,79 |
| | LP02 | 96,94 | 19.097,17 |
| | LP04 | 108,98 | 29.425,59 |
| | LP06 | 236,80 | 83.353,89 |
| | Total | 470,97 | 134.744,19 |
| 5 | MPP | 6,03 | 241,38 |
| | LP01 | 23,01 | 2.738,09 |
| | LP02 | 98,17 | 19.340,21 |
| | LP04 | 101,79 | 27.482,68 |
| | LP06 | 237,77 | 83.696,51 |
| | Total | 466,78 | 133.498,88 |
| 6 | MPP | 5,96 | 238,26 |
| | LP01 | 22,58 | 2.687,31 |
| | LP02 | 97,30 | 19.168,29 |
| | LP04 | 109,96 | 29.689,15 |
| | LP06 | 226,87 | 79.857,00 |
| | Total | 462,67 | 131.640,00 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Em relação ao valor monetário dos dois cenários, as receitas reduziram 5,22%. Esta diferença se encaixa nos custos de falhas internas, apresentando não conformidades em relação ao planejamento da empresa e, conseqüentemente, retorno econômico da floresta. Fiedler et al.

(2013) em sua pesquisa analisando a qualidade da colheita florestal em povoamentos de *Eucalyptus*, relataram que a perda de volume de madeira retido nas cepas proporciona, em termos monetários, valores entre 14,92 a 21,82 R\$ ha⁻¹. Pereira et al. (2012) com colheita semimecanizada, afirmaram que a falta de acompanhamento das operações desencadeia em desperdícios de matéria prima, para qualquer sistema de colheita florestal. Estes autores em avaliação da qualidade do corte florestal com motosserra em *Eucalyptus grandis*, verificaram perdas econômicas de aproximadamente 172,53 R\$ ha⁻¹.

O cenário 6 (alturas de toco e pré-traçamento de 35,0 e 20,0cm, respectivamente) foi o que apresentou redução na quantidade de madeira em quatro dos cinco sortimentos em relação ao C1 (planejado). Sartori (2013) analisando a otimização no processamento de *Eucalyptus* para múltiplos usos da madeira, verificou que ao comparar diferentes cenários de sortimentos ao longo do fuste pode ocorrer redução entre 0,90 e 12,50% das receitas.

Stroher et al. (2014) em estudo na colheita florestal mecanizada com *Harvester* em plantios de *Pinus taeda*, identificaram desperdícios de aproximadamente 4,57 t ha⁻¹ em altura de toco e pré-traçamento fora da especificação. Ainda no mesmo trabalho, analisando os desperdícios de madeira ocorridos em tocos de *Eucalyptus urophylla* na colheita florestal mecanizada com *Feller buncher*, os autores verificaram perdas de 0,28 t ha⁻¹.

Um dos fatores relevantes para as perdas é o módulo de colheita ter sido recentemente reformulado pela empresa, levando a necessidade de um maior treinamento dos colaboradores. Veracel (2014), em estudo da mudança no sistema de colheita florestal, verificou que a altura média de tocos no sistema toras curtas, com *Harvester*, foi de 15cm e com a utilização do sistema de colheita toras longas, com *Feller buncher*, reduziu para 10cm. Ainda, conforme Jacovine et al. (2005) os excedentes de altura de toco são referentes, principalmente, ao treinamento e à habilidade dos operadores.

Neste contexto, Richardson e Makkonen (1994) descrevem que a produtividade dos operadores pode aumentar em 45% após dois anos de experiência. Outros fatores que interferem na produtividade das atividades de colheita são descritos por Seixas (1998) como: o clima, a capacidade de suporte do terreno, relevo, características dendrométricas das árvores, peso e qualidade da madeira etc. Burla (2008) descreve outras causas como espaçamento de plantio e distância de extração. Jacovine et al. (2005), Fiedler et al. (2013) e Rosa e Oliveira (2014) verificaram que erros operacionais acarretam em desclassificação de sortimentos de maior valor para classes com menor valor de mercado.

Já para de Akay et al. (2004) um fator importante na produtividade é a declividade do terreno, ou seja, as condições de maior declividade podem reduzir a produtividade. Além das

perdas de madeira que levam a redução das receitas, a ocorrência de não conformidades com o controle de qualidade do especificado pela empresa desencadeia em dificuldades no replantio.

Ainda em relação às não conformidades destas intervenções, qualquer um dos cenários quantificados trariam maiores receitas, em relação ao realizado (C2), principalmente os resultados encontrados para C3 (alturas de toco e pré-traçamento de 10 e 5 cm, respectivamente), que apresentou uma menor quantidade total de madeira em relação a C1 (desejado), entretanto, maiores receitas. Este fato é explicado pela maior quantidade de sortimentos LP06, que apresentam um maior valor comercial, evidenciando a necessidade de otimizar a produção para obter-se sortimentos de maiores dimensões.

Nesta perspectiva, a identificação de oportunidades de melhorias, que priorizem a minimização ou erradicação dos desperdícios nos processos encontrados na colheita florestal mecanizada possibilita a obtenção de informações que possam ser utilizadas para a tomada de decisões, visando a atenuação de falhas internas e, conseqüentemente, seus custos. Conforme Crosby (1994), a perquirição por uma produção de qualidade superior por intermédio de um melhor desenvolvimento e maior aproveitamento de matéria-prima, potencializa o processo produtivo e qualificação da mão-de-obra dos operários, mitigando os custos de produção.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que apesar do controle de qualidade na colheita florestal da empresa apresentar variáveis que influenciam os custos voltadas para avaliação e prevenção do processo, ainda possui elevadas variáveis que influenciam os custos de falhas, principalmente internas. No entanto, dentre as 29 variáveis que influenciam os custos da qualidade, 18 concentraram-se nas categorias de avaliação e prevenção, evidenciando que a empresa está buscando a eliminação de variáveis compreendidas em custos com falhas internas e externas.

Os fatores críticos de sucesso como os “danos as árvores remanescentes” e “sortimentos” apresentaram alto grau de importância, destacando a necessidade de uma maior atenção por parte do controle de qualidade, visto que estes afetam diretamente os clientes externos;

No quarto desbaste, observando o realizado (C2), a empresa superou as expectativas de produção e retornos econômicos planejados, realizando as operações com retornos da floresta acima do esperado, entretanto, estas atividades ainda podem ser otimizadas com a implantação do cenário com alturas de toco e pré-traçamento de 10 e 5 cm respectivamente (C3).

Já nas intervenções de corte raso, a empresa opera abaixo do planejado (C1), gerando variáveis que influenciam os custos da má qualidade pelas perdas de madeira e, conseqüentemente, redução nas receitas, além disso quaisquer um dos demais cenários trariam maiores retornos positivos, assim a empresa deveria atentar para a melhoria do processo, visando a redução dos custos relacionados à baixa qualidade

7 RECOMENDAÇÕES

- Recomenda-se uma maior orientação aos operadores das máquinas responsáveis pela atividade de colheita, visto as não conformidades principalmente nos talhões do corte raso, o que geraria menores volumes de madeira desperdiçadas e facilitaria as operações em uma nova rotação;
- Um corte mais rente ao solo resultaria em economia no retrabalho de rebaixamento de tocos apresentando um melhor rendimento e menores custos, entretanto estas situações devem ser avaliadas considerando os danos que podem vir a ocorrer nas máquinas florestais. Da mesma forma, futuros levantamentos e medidas para reduzir falhas podem ser realizadas em relação as atividades de colheita florestal mecanizada, juntamente com o alinhamento das máquinas e treinamento dos operadores;
- Um maior investimento em variáveis que influenciam os custos de avaliação e prevenção dos processos de colheita seriam uma alternativa para reduzir as não conformidades, levando o aumento das receitas, além de um maior aproveitamento dos recursos naturais;
- Sugere-se ainda maiores investimentos para melhorias no planejamento das operações, estabelecendo medidas em todo o processo produtivo, além da organização de trabalho e treinamento para todos colaboradores, visando um maior preparo de toda a equipe.

REFERÊNCIAS

AHERNS, S.; HOLBERT, D. Uma função para forma de tronco e volume de *Pinus taeda* L. **Boletim de pesquisa florestal**. Colombo – PR, n. 3, p. 37 – 68, 1981.

AKAO, Y. QFD: Past, present, and future. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON QFD, 1997, Linköping, **Proceeds of the. Linköping**, 1997.

AKAO, Y.; MAZUR, G.H. The leading edge in QFD: past, presente and future. **Internacional Journal of Quality e Reliability Management**, v. 20, n.1, p. 20-35, 2003.

AKAY, A.E.; ERDA, O.; SESSIONS, J. Determining productivity of mechanized harvesting machines. **Journal of Applied Sciences**, v. 4, n.1, p. 100-105, 2004.

ALMEIDA, A. R. C. **Gestão operacional da qualidade: uma abordagem prática e abrangente no setor florestal**: Campinas: Editora da Unicamp, 2000. 128p.

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS. **Anuário estatístico de base florestal para o estado de Santa Catarina 2016 ano base 2015**. 105 p. Lages/SC, 2016.

ARCE, J. E. **Um sistema de análise, simulação e otimização do sortimento florestal em função da demanda por multiprodutos e dos custos de transporte**. 2000. 125p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

BARROS, M. V. **Fator de cubicação para madeira empilhada de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, com toretes de dois comprimentos, e sua variação com o tempo de exposição ao ambiente**. 2006. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

BERLINER, C; BRIMSON, J. A. **Gerenciamento de Custos, em indústrias avançadas**. São Paulo: T.A. Editor, 1992.

BORGES, J. F. **Seccionamento, do fuste de *Pinus taeda* L. para obtenção do volume de madeira serrada, através da função de forma polinomial**. 1982. 91p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1982.

BONDUELLE, G. **Qualidade total na gestão florestal. Material didático do curso de especialização à distância em gestão florestal**. Universidade Federal do Paraná, PECCA,

Curitiba, 2007. 205p.

BRAMUCCI, M.: **Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de “Harvesters” na colheita de madeira.** 2001. Dissertação. ESALQ, Piracicaba, 2001.

BURLA, E. **Avaliação técnica e econômica do Harvester na colheita e processamento de madeira em diferentes condições de declividade e produtividade florestal.** 2008. 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

CAMARGO, C. **Compactação do Solo causada pela colheita de *Pinus taeda*, pelo sistema de fuste (*Tree Length*).** 1999. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1999.

CAMPO BELO DO SUL. **Usina Hidrelétrica Barra Grande.** Campo Belo do Sul, jan. 2004. Disponível em: <http://www.campobelodosul.sc.gov.br/cms/diretorio/index/codMapaItem/11969>. Acesso em: 03 mar. 2017.

CAMPOS V. F. **Controle de qualidade total.** Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1992. 230 p.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas.** 3. ed. Viçosa: UFV, 2009.

CAMPOS, B. P. F.; BINOTI, D. H. B.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; BINOTI, M. S. Conversão de árvores em multiprodutos da madeira utilizando programação inteira. **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.5, p.881-887, 2013.

CAMPOS, C.; TAVARES, M. Influência do comprimento e origem do toro na otimização do aproveitamento e do valor de rolos de pinho bravo. **Silva Lusitana**, Oeiras, v.18, n.1, p.123- 132, 2010.

CARELLI, C. N. **Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda* L. em diferentes idades e espaçamentos.** 2008. Dissertação. Santa Maria: (Mestrado em Concentração em Manejo Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

CARNEVALLI, J. A.; SASSI, A. C.; MIGUEL, P. A. C. Aplicação do QFD no desenvolvimento de produtos: levantamento sobre seu uso e perspectivas para pesquisas futuras. **Gestão e produção**. v. 11, n.1, p. 33-49, 2004.

CHENG, L. C.; MELO FILHO, L. D. R. **QFD – Desdobramento da função qualidade na gestão de desenvolvimento de produtos**. São Paulo: Editora Blucher, 2007. 539p.

CHENG, L. C.; SCAPIN, C. A., OLIVEIRA, C. A. De, KRAFETUSKI, E., DRUMOND, F. B., BOAN, F. S., PRATES, L. R. VILELA, R. M. **QFD: Planejamento da Qualidade**. Belo Horizonte: UFMG; Fundação Cristiano Ottoni, 1995, 262p.

CLUTTER, J. L.; BENETT, F.A.; A diameter distributions in old-field slash pine plantations. **Georgia Forest Research Council Report**, n. 13, p. 1-9, 1965.

COLETTI, J.; BONDUELLE, G.M.; IWAKIRI, S. Avaliação de defeitos no processo e fabricação de lamelas para pisos de madeira engenheirados com o uso de ferramentas de controle da qualidade. **Acta Amazônica**, v. 40, n. 1, p. 135-140, 2010.

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

COUTO, H. T. Z.; **Distribuições de diâmetros em plantações de *Pinus caribaea* Morelet. var. *caribaea***. 1980. 83p. Tese de livre Docência. Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1980.

CROSBY, P. B. **Qualidade é investimento**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1994.

DEMAERSCHALK, J. P., KOZAK, A. The whole-bole system: a conditional dual-equation system for precise prediction of tree profiles. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.7, n.3, p.488-497, 1977.

DIAS, A. F. J.; ANDRADE, C. R.; BRITO, J. O.; MILAN, M. Desdobramento da Função Qualidade (QFD) na Avaliação da Qualidade do Carvão Vegetal Utilizado para Cocção de Alimentos. **Floresta e Ambiente**. v. 22, n. 2, p. 262-270, 2015.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: Jonh Willey e Sons. 1966. 407p.

DUARTE, R. C. G. **Sistema de corte florestal mecanizado**. 1994. 21 f. Monografia (Exigência para conclusão do curso de Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

DURIGAN, G. **Métodos para análise de vegetação arbórea**. Métodos de Estudos em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre. Curitiba: UFPR; Fundação Boticário de Proteção à Natureza; 2003.

EQUIPE DA DIRETORIA FLORESTAL DA VERACEL. Mudança no processo de colheita florestal com interação na silvicultura. In: III Encontro Brasileiro de Silvicultura. **Anais...** Campinas, SP. 2014.

FANG, Z.; BORDERS, B. E.; BAILEY, R L. **Tree volume and upper-stem diameter predictions for planted Loblolly and Slash Pine based on a compatible volume-taper system with segmented-stem form factors** (PMRC Technical Report 1999-3), 1999. 20p.

FEIGENBAUM, A. Controle da qualidade total. V. 1,2,3 e 4. Tradução de Regina Cláudia Loverri; revisão técnica José Carlos de Castro Waeny. São Paulo: **Makron Books**, 1994.

FELICIO, P. E. Avaliação da qualidade da carne bovina. In: SIMÓSIOS SOBRE PRODUÇÃO INTENSIVA DE GADO DE CORTE, 1998, Campinas. **Anais...** São Paulo: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 1998, p. 92-99.

FERREIRA, A. F. **Gestão da qualidade agrícola para o setor sucoenergético**. 2012, 77p. Dissertação – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

FIEDLER, N. C.; CARMO, F. C. de A.; SÃO TEAGO, G. B.; CAMPOS, A. A. de; SILVA, E. N. da. Análise da qualidade da colheita florestal de eucalipto em diferentes declividades. **Revista.C.E.F.** v.22, n.1, 2013.

FIGUEIREDO FILHO, A.; BORDERS, B. E.; HITCH, K. L. Taper equations for *Pinus taeda* plantations in Southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, n. 83, p. 39-46, 1996.

FINK, J. L.; VALÉRIO, A. V.; WATZLAWICK, A. F. LISBOA. G. S.; SILVESTRE, R. **Caracterização da altura de corte em desbaste de *Pinus elliottii* com 6 anos**. 2008.

Disponível em:

<http://www.unicentro.br/pesquisa/anais/seminario/pesquisa2008/pdf/artigo_731.doc>.

Acesso em: 20 out. 2017.

FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R. S.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; MELLO, J. M. de; MAESTRI, R. Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 167-188, 2001.

FLORESTAR ESTATÍSTICO. **Revista do setor florestal paulista para o desenvolvimento sustentável**. v. 7, n. 16, p. 48-50, 2004.

FOELKEL, C. O. Problema das cepas residuais das florestas plantadas de eucaliptos. **Eucalyptus Newsletter**, n.45, 2014.

FOELKEL, C. O. Medição da madeira na forma de toras empilhadas. **Eucalyptus Newsletter**, n.48, 2015.

FREITAS, M. de; SILVA, A. P.; CANEVA, R. A.; BEIG, O.; Avaliação e controle de qualidade em florestas de Eucalyptus. **Circular Técnica**. IPEF, Piracicaba. São Paulo, n. 91, 8 p, fev. 1980.

GARCIA, B. M. **Indicadores críticos de qualidade em operações mecanizadas de colheita em desbaste e corte raso de *Pinus taeda* L.** 2017. Dissertação. Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 2017.

GARRISON, R. H.; NOREEN, E. W. **Contabilidade gerencial**. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

GOVERS, C. P. M. What and how about quality function deployment (QFD). **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 46-47, p. 575-585, Dec. 1996.

GUAZZI, D. M. **Utilização do QFD como ferramenta de melhoria continua do grau de satisfação de clientes internos: Uma aplicação em cooperativas agropecuárias**. 1999. 209p. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.

IMBERMAN, W. “Eliminating the cost of poor quality”. **FDM Des Plaines**, p. 100-103, 2001.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBA 2016**. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf>. Acesso em: 20 jun 2017.

JACOVINE, L. A. G., TRINDADE, C. Qualidade Total. In: MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. Ed. Viçosa, MG: Ed UFV. 2008. p. 337-373.

JACOVINE, L. A. G.; REZENDE, J. L. P.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G.; TRINDADE, C.; Descrição e uso de uma metodologia para avaliação dos custos da qualidade na Colheita Florestal Semimecanizada, **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.9, n.1, p. 143-160, 1999.

JACOVINE, L. A.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G.; MINETTI, L. J. Avaliação da qualidade operacional em cinco subsistemas de colheita florestal. **Revista Árvore**. Viçosa-MG, v.29, n.3, p.391-400, 2005.

JORGE, L. A. B.; LARA, H. A. Programa de sortimento de madeira serrada de povoamentos de *Pinus elliottii* com alternativas de produtos padronizados. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, 1993. v.2, p. 539-544.

JURAN, J. M., GRZYNA, F. M. **Quality planning and analysis**. Ed. New York: McGraw-Hill, 1980.

JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M. Controle de qualidade handbook. Tradução de Maria Cláudia de Oliveira Santos. São Paulo: **Makron Books**, McGraw-Hill, 1991. v. 1. 377p.

JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M. Controle de qualidade: qualidade em diferentes sistemas de produção, v. 8, São Paulo: **Makron Books**, 1993.

KOHLER, S. V. **Evolução do afilamento do tronco e do sortimento em plantios de *Pinus taeda* L. nos estados do Paraná e Santa Catarina**. 2013. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – Paraná. 2013.

LEITE, H. G.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, C. A. B.; ALMEIDA, R. P.; PIRES, I. E.; SILVA, M. P.; **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.6, p.955-964, 2005

LIGNÉ, D. **New technical and alternative silvicultural approaches to pre-commercial thinning**. 2004. 140 p. Doctoral Thesis. Department of Silviculture, Swedish University of Agricultural Sciences. Umeå, Sweden. 2004.

LIKERT, R. ROSLOW, S.; MURPHY, G. A simple and reliable method of scoring the Thurstone attitude scales. **Personnel psychology**, v. 46, p. 689-690, 1993.

LIMA, F. **Análise de funções de “taper” destinadas à avaliação de multiprodutos de árvores de *Pinus elliottii***. Viçosa: UFV. 1986. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1986.

LINEROS, M.; ESPINOSA, M.; JIMENEZ, A. Daño a los árboles remanentes por sistema *harvester-forwarder* en raleo comercial de *Pinus radiata* D. Don. **Revista Bosque**, Valdivia, v.24, n.1, p. 87-93, 2003.

LOPES, E. S. **Aplicação do programa SNAP III (Scheduling and Network Analysis Program) no planejamento da colheita e do transporte florestal**. 2001. 150p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2001.

LUZ, D. S.; FREITAS, L. C.; ROCHA, I. P. SOUSA, M. M.; LOPES, T. S. Análise da perda de rentabilidade da madeira remanescente em cepas de *Eucalyptus urophylla*. In: IV Semana de Engenharia Florestal da Bahia e I Mostra da Pós-Graduação em Ciências Florestais da UESB, 2016, Vitória da Conquista. **Anais...** Bahia: UESB, 2016.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R. S. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita florestal**. 2 ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. p. 15-42.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba. 2003. 309p.

MACHADO, S. A.; TÊO, S. J.; URBANO, E.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R. Comparação de métodos de cubagem absolutos com o volume obtido pelo xilômetro para bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). **Revista Cerne**, Lavras - MG, v. 12, n. 3, p. 239-253, 2006.

MACHADO, S. A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FIGUEIREDO, D. J. Comparação de modelos de afilamento do tronco para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa* Schiede. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo - Paraná, n. 48, p. 41-64, jan./jun. 2004.

MCNEEL, J.F.; BALLARD, T.M. Analysis of site stand impacts from thinning with a *harvester-forwarder* system. **Journal of Forest Engineering**, Vancouver, p. 23-29, 1992.

MALINOVSKI, R.A. Os impactos da colheita mecanizada de madeira sobre o povoamento remanescente. In: 6º Evento de Iniciação Científica da UFPR, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR- Universidade Federal de Paraná, 1998. p. 213.

MALINOVSKI, J.; CAMARGO, C.; MALINOVSKI, R. Sistemas de colheita. In: MACHADO, C. **Colheita florestal**. 2da ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 501 p.

MARTINS, Eliseu. **Contabilidade de custos**. 8 ed. São Paulo: Atlas, 2001.

MATTOS, J. C. **Custos da qualidade como ferramenta de gestão da qualidade: conceituação, proposta de implantação e diagnóstico nas empresas com certificação ISO 9000**. 1997. Dissertação. DEP/UFSCar. São Carlos, 1997.

MATOS, R.B. de; MILAN, M. Avaliação sistêmica do modo de análise de falhas e efeitos (FMEA) para o desenvolvimento de indicadores de desempenho de empresas de pequeno porte. **Revista Árvore**, v. 33, n. 5, p. 977-985, 2009.

MENDONÇA, A.R. de; **Avaliação de uma metodologia para otimização do volume de toras comerciais de Eucalyptus sp. em função da qualidade do fuste**. 2006. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2006.

MICHALSKA, J. **Factors creating the quality management in the enterprise, Proceedings of the Scientific International Conference. The intellectual capital as a chance on improvement of the quality management in the conditions of globalization** INTELLECT 2005, Kazimierz Dolny, 2005, p. 187-191.

MIGUEL, E.P. **Avaliação biométrica e prognose da produção de *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) na região norte do estado de Goiás**. 2009. 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2009.

MIGUEL, E.P.; MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J.E.; Modelos polinomiais para representar o perfil e o volume do fuste de *Eucalyptus urophylla* na região norte do Estado de Goiás. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 41, n.2, p.355-368, 2011.

MIGUEL, P. A. C.; TELFSER, M.; MARUCA, A.; GELLONETI, A.; SARACURA, A. MARTINS, L.; HORI, M.; RIBEIRO, P.; CAMPOS, R. de; MARCONATO, T.; MORA, V. Desdobramento da qualidade no desenvolvimento de filmes flexíveis para embalagens. **Revista Polímeros**, v. 13, n. 2, p. 97-94. 2003

MIGUEL, P. C. WEIDMANN, A. Construção da casa da qualidade exemplo didático para o ensino do desdobramento da função qualidade (QFD). **Revista de Ensino de Engenharia**. v. 18, n.1, p. 41-50. 1999.

MILAN, M.; BARROS, J.W.D.; GAVA, J.L. Planning soil tillage using Quality Function Deployment (QFD). **Scientia Agricola**, v. 60, n.2, p. 217-221, 2003.

MILLER, K.; BRAND, C.; HEATHCOTE, N.; RUTTER, B. Quality function deployment and its application to automotive door design. **Journal of automobile Engineering**. London, v. 219, n. 23, p. 28-39, 2005.

MINETTE, L. J. **Avaliação técnica e econômica dos tratores florestais transportadores (forwarders), na extração de madeira de eucalipto**. 1988. 77 p. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1988.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 513 p. 2004.

NAGUMO, G. K. **Desdobramento da função qualidade (QFD) aplicado a produção de mudas de café (*Coffea arabica L.*)**. 2005. 61 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Engenharia de ecossistemas, Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

NICOLOSI, M. **Planejamento da qualidade da aplicação a lâncas em taxa variável**. 2001, 101p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Engenharia de Biossistemas, Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

NOGUEIRA, G. G., LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; CARVALHO, A. F.; SOUZA, A. L. de. Modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.4, p.579-589, 2005.

OLIVEIRA, D; LOPES, E; FIEDLER, N. Avaliação técnica e econômica do *forwarder* na extração de toras de Pinus. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.37, n.84, p.525-533, 2009.

PALADINI, E. P; BOUER, G., FERREIRA, J. J. do A., CARVALHO, M. M., MIGUEL, P. A. C., SAMOBYL, R. W., ROTONDARO, R. G. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro, Elsevier, 2005. 355 p.

PEREIRA, D. P.; FIEDLER, N. C.; GUIMARÃES, P. P.; MÔRA, R.; Bolzan, H. M. R.; PLASTER, O. B.; Avaliação da qualidade do corte florestal com motosserra. **Revista Cerne**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 197-203, abr./jun. 2012.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal**. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 1997. 586 p.

REZENDE, J.L.; FIEDLER, N.C.; MELLO, J.M.; SOUZA, A.P. **Análise técnica e de custos de métodos de colheita e transporte florestal**. Lavras: UFLA, 1997.

RIBEIRO, N.; SITO, A.; GUEDES, B.; STAISS, C. **Manual de silvicultura tropical**. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane, 2002. 123 p.

RICHARDSON, R.; MAKKONEN, I. The performance of cut-to-length systems in Eastern Canada. **FERIC Technical Report**, v. 109, p. 1-16, 1994.

ROBLES JR, A. **Custos da Qualidade: uma estratégia para a competição global**. São Paulo: Atlas, 1994.

ROCCO, G. **Planejamento e sistematização de características técnicas para atender em sistema de produção agrícola; um estudo de caso na citricultura**. 2013. 98p. Dissertação (Mestrado) – Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2013.

ROJO, A.; PERALES, X.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, F.; GONZÁLEZ-ALVAREZ J. G.; GADOW, K. Stem taper functions for maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Galicia (Northwestern Spain). **European Journal of Forest Research**, Dordrecht, v.124, n.3, p.177-186, 2005.

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

SAKURAI, M. **Gerenciamento integrado de custos**. São Paulo: Atlas, 1997.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; DALLA CORTE, A. P.; FERNANDES, L. V. de. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução**. Curitiba: Curitiba: Mult-Graf, 2006. 270 p.

SARRIES, G. A. **Controle estatístico da qualidade para impurezas minerais em carregamentos de cana-açúcar**. 1997. 88 p. Tese (Doutorado) Centro de energias nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

SARTORI, M. S. **Proposta de otimização para reflorestamento de eucalipto utilizando**

multiprodutos. 2013. 70 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

SCHNEIDER, P.R. Forma de tronco e sortimentos para *Pinus elliottii* Engelm. da floresta nacional de Passo Fundo, Rio Grande do Sul. **Acta Forest Brasil**, Curitiba, n.1, p. 43-64, 1986.

SCHOEPFER, W. Automatisierung des Massem, Sorten und Wertberechnung stenender Waldbestände Schriftenreihe Bad. [S.I]: **Wurt-Forstl.**1966.

SCOLFORO, J. R. S.; RIOS, M. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; MAESTRI, R. Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil do fuste de *Pinus elliottii* Engelm. **Revista Cerne**, Lavras, v.4, n.1, p.100-122, 1998.

SEIXAS, F. Mecanização e exploração florestal. Piracicaba, SP: LCF/ESALQ/USP, (**Apostila de Colheita Florestal**).1998. 130 p.

SERPE, E. L. **Sortimento do estoque volumétrico e rendimento de madeira serrada em floresta de *Pinus* spp.** 2017. 100 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) –Universidade Estadual do Centro-Oeste. 2017.

SHANK, J. K., GOVINDARAJAN, V. **A Revolução dos Custos “Como reinventar e redefinir sua estratégia de custos para vencer em mercados crescentemente competitivos”**. Tradução de Luiz Orlando Coutinho Lemos. 8ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

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

SIRÉN, M. Tree damage in single-Grip *harvester* thinning operations. **International Journal of Forest Engineering**, Vantaa, v.12, n.1, p.29-38, 2001.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARRISON A.; JOHNSTON, R. **Operations Management**. 5º ed. Trans-Atlantic Publications, 2007.

SISSI, M. K. **Desenvolvimento de tomate de mesa, com uso do método QFD (*Quality Function Deployment*), comercializado em um supermercado Campinas**. 2001. 200p. Tese. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

SOARES, P.R.C.; MILAN, M.; JANKOWSKY, I. P.; KANIESKI, M. R.; TIMOFEICZYK, R. J.; Avaliação dos pontos críticos na manufatura de pisos de madeira. **Scientia Florestalis**, Piracicaba/SP, v. 40, n. 95, p. 407-415, set. 2012.

SOARES, P. R. C.; TIMOFEICZYK, R. J.; GARZEL, J. C.; SILVA, L.; MILAN, M.; Sistema de medição de performance para o controle de plantas invasoras em plantações florestais. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 1, p. 175-184, 2015.

SOUZA, C. A. M. de; CHASSOT, T.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; FLEIG, F. D. Modelos de afilamento para o sortimento de fuste de *Pinus taeda* L. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2506-2511, 2008.

SOUZA, C.A.M., **Avaliação de modelos de taper não segmentado e segmentados na estimação da altura e volume comercial de fustes de *Eucalyptus* sp.** 2007. 108 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre – ES.

STAMPFER, K.; LOSCHEK, J. Harvester operations increase productivity of cable extraction systems. **Osterreichische Forstzeitung (Arbeit im Wald)**, v. 11, n. 2, p. 4-6, 1999.

STROHER, R. R.; NIKKEL, A.; NODARI, A. N.; SANTOS, A. S.; ROBERT, R. C. G. Avaliação da perda de madeira em dois sistemas de colheita florestal mecanizada. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n.19, p. 238-249, 2014.

TAMALSKI, E. M.; A gestão da qualidade no desenvolvimento de produtos moveleiros. In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Niterói, 2011. **Resumos**. Niterói: 2002, 82p.

TRINDADE, C. **Análise da gestão da qualidade na empresa florestal**. 2000. 141 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

TRINDADE, C.; JACOVINE, L. A. G.; REZENDE, J. L. P.; SARTÓRIO, M. L. **Gestão e controle da qualidade na atividade florestal**. Viçosa-MG: Editora UFV, 2012. 253 p.

TRINDADE, C.; SARTÓRIO, M.L.; REZENDE, J.L.P. Controle de qualidade na exploração florestal. In: Simpósio Brasileiro sobre Exploração e Transporte Florestal, 1, Belo horizonte, 1991. **Anais...** Viçosa: SIF/UFV, 1991, p.185-197.

TRINDADE, C. **Desenvolvimento de um sistema de controle de qualidade para a atividade florestal**. 1993. 164 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1993.

VASILIAUSKAS, R. Damage to trees due to forestry operations and its pathological significance in Temperate Forests. **Journal of Forestry**, Uppsala, v.74, n.4, p.319-336, 2001.

VERACEL. Mudança no processo de colheita florestal com interação na silvicultura. In: 3º Encontro Brasileiro de Silvicultura, 2014, Campinas. **Anais...** Curitiba: Embrapa Florestas, 2014. p.47-57.

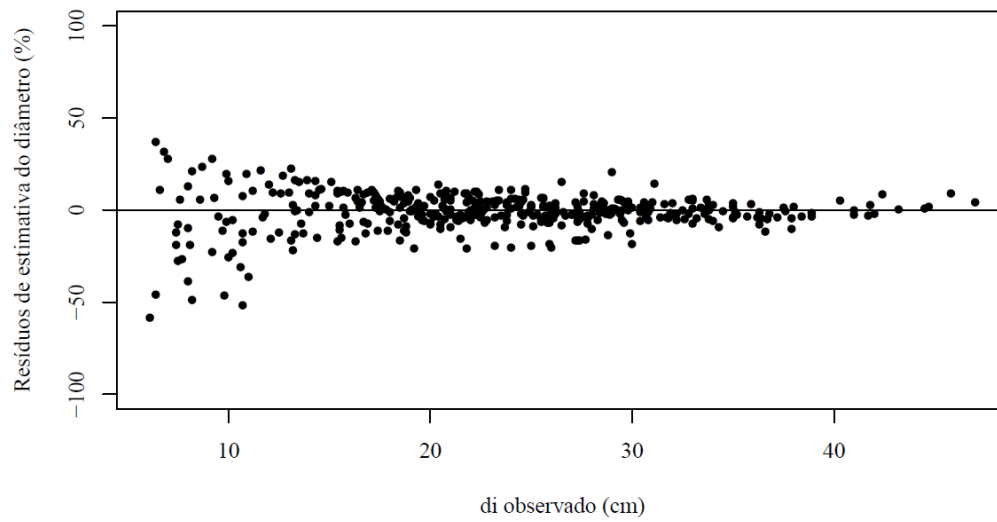
YADAV, O. P.; GOEL, P. S. Customer satisfaction driven quality improvement target planning for product development in automotive industry. **Internacional Journal of Production Economics**. Washington, v. 113, p. 908-1011, 2008.

YOSHITANI JUNIOR, M.; NAKAJIMA, N. Y.; ARCE, J. E.; MACHADO, S. A.; DRUSZCZ, J. P.; HOSOKAWA, R. T.; MELLO, A. A. Funções de afilamento para plantios desbastados de *Pinus taeda* L. **Revista Floresta**, Curitiba - PR, v. 42, n. 1, p. 169-176, jan/mar. 2012.

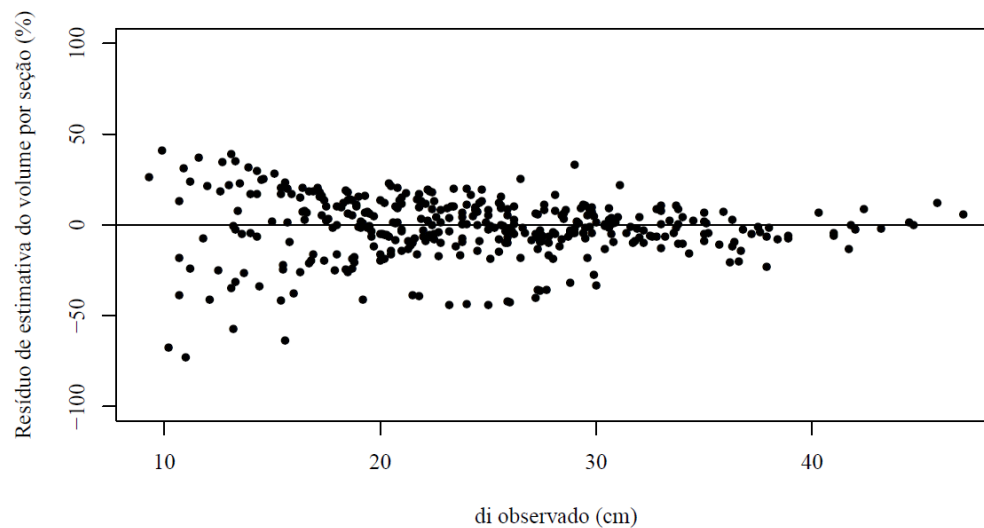
ANEXO

ANEXO A – ANÁLISE GRÁFICA DOS RESÍDUOS (%)

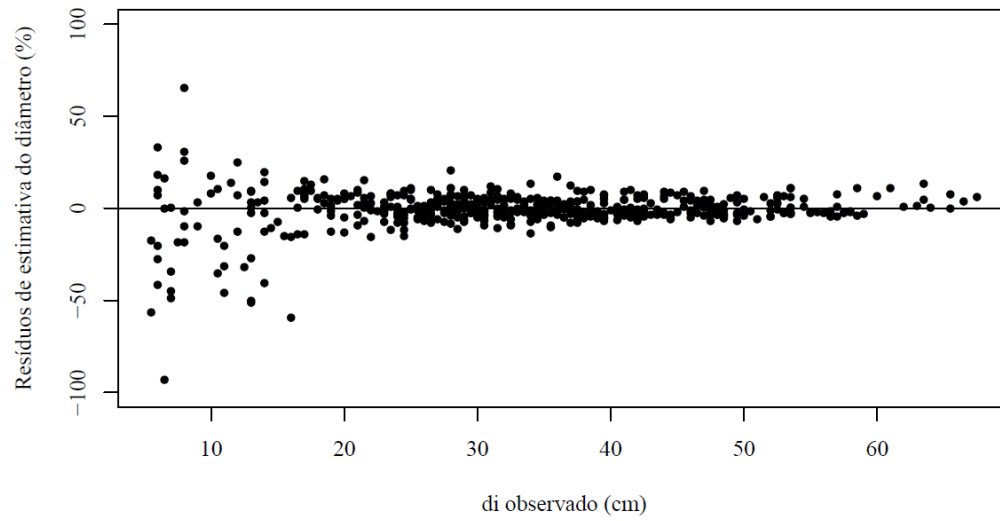
Distribuição dos resíduos da variável di (diâmetro estimado): *Pinus elliottii* Engelm.;



Distribuição dos resíduos da variável vi (volume estimado): *Pinus elliottii* Engelm.;



Distribuição dos resíduos da variável di (diâmetro estimado): *Pinus taeda L.*



Distribuição dos resíduos da variável vi (volume estimado): *Pinus taeda L.*

