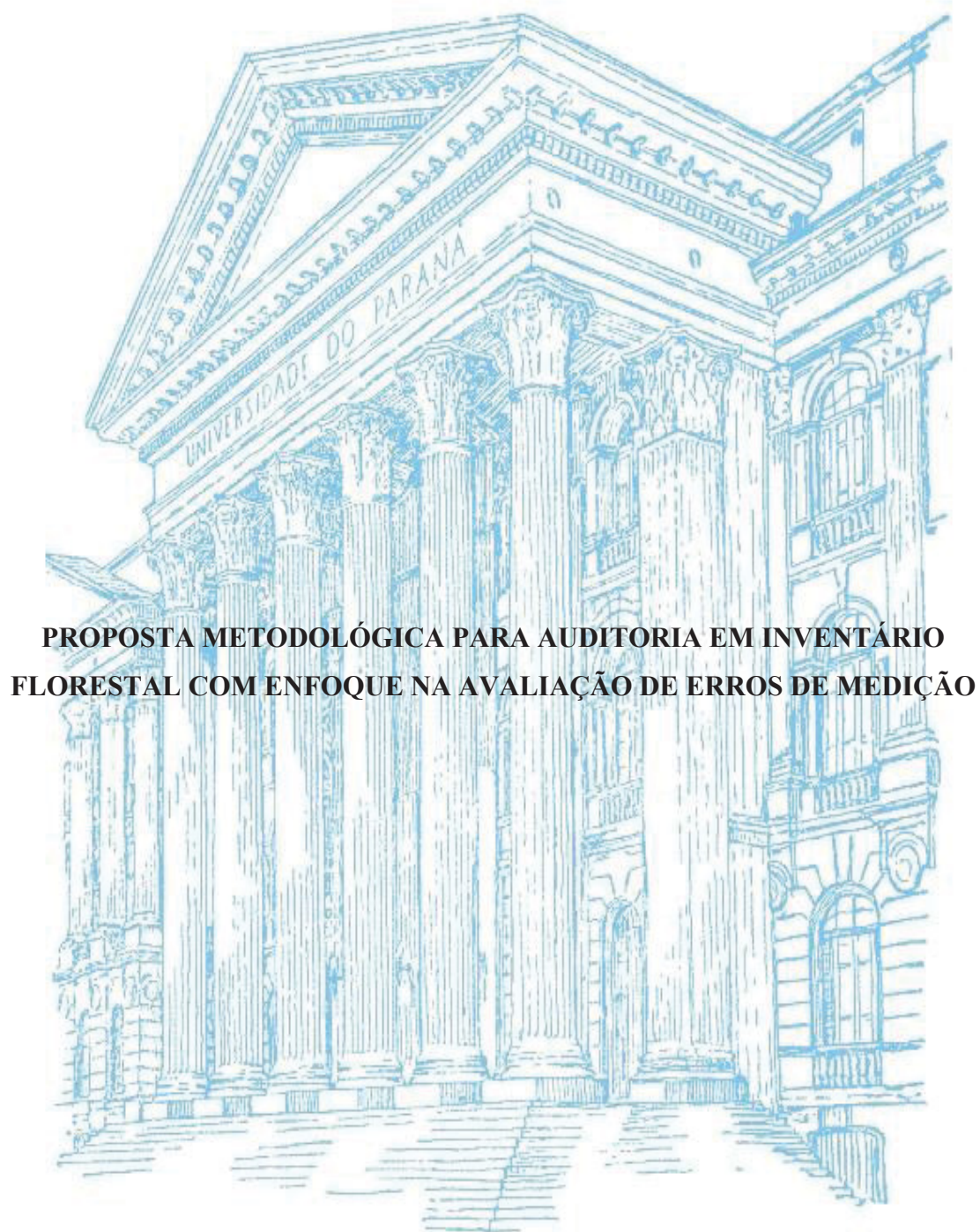


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SAMUEL ALVES DA SILVA



**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA AUDITORIA EM INVENTÁRIO  
FLORESTAL COM ENFOQUE NA AVALIAÇÃO DE ERROS DE MEDIÇÃO**

CURITIBA

2017

SAMUEL ALVES DA SILVA

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA AUDITORIA EM INVENTÁRIO  
FLORESTAL COM ENFOQUE NA AVALIAÇÃO DE ERROS DE MEDIÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, área de concentração em Manejo Florestal, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

**Orientador:** Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

**Coorientador:** Prof. Dr. Júlio Eduardo Arce

**Coorientadora:** Profa. Dra. Ana Paula Dalla Corte

CURITIBA

2017

Ficha catalográfica elaborada pela  
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Silva, Samuel Alves da

Proposta metodológica para auditoria em inventário florestal com enfoque na  
avaliação de erros de medição / Samuel Alves da Silva. – Curitiba, 2017.  
86 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

Coorientadores: Prof. Dr. Júlio Eduardo Arce

Profa. Dra. Ana Paula Dalla Corte

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências  
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba,  
30/10/2017.

Área de concentração: Manejo Florestal.

1. Inventário florestal. 2. Dendrometria. 3. Árvores - Medição. 4. Teses. I. Nakajima,  
Nelson Yoshihiro. II. Arce, Júlio Eduardo. III. Dalla Corte, Ana Paula. IV. Universidade  
Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.524.6



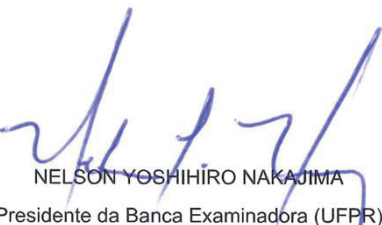
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
Setor CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA FLORESTAL


## TERMO DE APROVAÇÃO


Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **SAMUEL ALVES DA SILVA** intitulada: **PROPOSTA METODOLÓGICA PARA AUDITORIA EM INVENTÁRIO FLORESTAL COM ENFOQUE NA AVALIAÇÃO DE ERROS DE MEDIÇÃO**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 30 de Outubro de 2017.

  
NELSON YOSHIHIRO NAKAJIMA  
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

  
SEBASTIÃO DO AMARAL MACHADO  
Avaliador Interno (UFPR)

  
AURÉLIO LOURENÇO RODRIGUES  
Avaliador Externo (SANEPAR)



*À minha amada esposa Bruna*

***DEDICO.***

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela capacidade intelectual, saúde e toda a condição para a realização desse sonho.

Ao meu orientador e amigo, Professor Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima, pelos inúmeros conselhos, oportunidade, liberdade, confiança e grande exemplo humano e profissional.

Ao meu co-orientador Professor Dr. Julio Eduardo Arce pela dedicação, atenção e imensa contribuição para a realização deste trabalho.

À minha co-orientadora Professora Dra. Ana Paula Dalla Corte pela contribuição, sugestões e grande aprendizado desde os tempos de estágio e iniciação científica.

Ao Engenheiro Florestal M.Sc. Leonardo Machado Pires, pela atenção e grande auxílio na obtenção dos dados.

Ao Professor Dr. Sebastião do Amaral Machado pelos ensinamentos e dedicação à Ciência Florestal.

À minha esposa Bruna Bastos, pelo amor, carinho, dedicação, companheirismo, compreensão e apoio em todos os momentos.

Ao meu pai Wilson e minha mãe Neuci pelos ensinamentos valiosos, exemplo de vida e minha criação.

À minha irmã Karen e meu cunhado Athos pelo imenso apoio no início da minha carreira.

À minha sogra Ana Celia pela grande compreensão, apoio e amizade.

À minha amiga Akemi pela confiança e oportunidade.

À TTG Brasil, por possibilitar o desenvolvimento deste trabalho com dados de seus plantios florestais.

À Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus amigos da graduação e pós-graduação pelo companheirismo, boas conversas e saudável amizade.

“...O justo florescerá como a palmeira; crescerá como o cedro no Líbano.

Os que estão plantados na casa do Senhor florescerão nos átrios do nosso Deus.

Na velhice ainda darão frutos; serão viçosos e vigorosos, para anunciar que o Senhor é reto.

Ele é a minha rocha e nele não há injustiça. ”

**Salmo 92.**

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi testar uma nova metodologia para avaliação de medições de variáveis dendrométricas em auditorias de inventários florestais e comparar com a metodologia convencional de auditorias, utilizada em diversas empresas do setor florestal. Para isso, foram realizadas remedições em 5% do total de parcelas do inventário, o equivalente a 144, todas obtidas aleatoriamente dentro de 24 projetos de plantios do gênero *Eucalyptus*, onde foram tomados os valores de circunferência a 1,30 m de altura (CAP) e altura total de todas as árvores. Os dados foram avaliados pelo método convencional de auditoria, usando como critérios de avaliação das medições dos valores de CAP e altura total, a diferença relativa entre os valores médios, a frequência por classe de erros e os valores extremos de medições (Cenário 1), e pelo método proposto, que utilizou como critérios de avaliação o teste *t* de Student e os indicadores estatísticos de Raiz do erro quadrático médio em percentagem (REQM%), Viés em percentagem (Viés%), desvio médio (DM) e gráfico de distribuição dos resíduos (Cenário 2). A avaliação convencional mostrou pouca diferença relativa entre a média das medições dos valores de CAP da auditoria e do inventário, variando entre -0,61% e 0,47%, nenhum projeto ultrapassou os limites de diferença relativa pré-estabelecidos, assim como não houve valores extremos e nenhuma parcela foi reprovada. Para os valores de altura total, a diferença relativa entre as médias variou entre -1,36% e 0,83% não havendo reprovação por esse critério. Um projeto foi reprovado pela análise da frequência e não houveram valores extremos. Foi possível observar uma variação entre -1,54% e 1,05% nos volumes médios estimados. Apresentaram diferença estatística 19 projetos, ao nível de 5% de probabilidade através do teste *t* de Student para os valores de CAP e 11 projetos para os valores de altura total. Os valores de CAP apresentaram REQM% entre 0% e 0,7432% já os valores de altura total entre 0,6526% e 3,8981%. Os resultados do Viés% variaram entre -0,6063% e 0,4654% para os valores de CAP e entre -1,3581% e 0,8303% para os de altura total. Os resultados de DM, variaram entre 0,0000 e 0,2882 para os valores de CAP e entre 0,0329 e 0,6667 para os de altura total. Para o volume estimado apresentaram REQM%, Viés% e DM variando respectivamente entre 0,4524% e 2,9472%, -1,6044% e 1,0456% e 0,0001 e 0,0049. Para os valores de CAP, observou-se que todos os projetos apresentaram dispersões inferiores a  $\pm 5\%$ , algumas tendências a superestimativas e subestimativas e maiores dispersões na classe de valores de CAP de 35 cm a 45 cm. Para os valores de altura total as dispersões variaram na ordem de até  $\pm 10\%$  e não foram observadas tendências. Foi observado que as dispersões dos resíduos tendem a diminuir conforme os valores de altura total das árvores aumentam. Para as estimativas do volume total com casca, as dispersões variaram entre  $\pm 10\%$ , assim, foi possível observar tendências a superestimativas e subestimativas. Também se observou que as dispersões dos resíduos tendem a diminuir conforme o volume individual das árvores aumenta. Sendo assim, concluiu-se que o uso dos indicadores estatísticos proporciona uma maior eficiência na capacidade da auditoria de interpretação da influência dos erros de medições nas variáveis dendrométricas de interesse e seus resultados podem ser facilmente comparados e anexados aos processos estatísticos do inventário florestal.

Palavras-chave: Erros-não amostrais; Inventário florestal; Exatidão.

## ABSTRACT

The objective of this work was to test a new methodology for the assessment of measurements of dendrometric variables in forest inventory audits and compare it with the conventional auditing methodology used in several companies in the forest sector. For this, remeasurements were taken in 5% of the total plots of the inventory, equivalent to 144, all randomly selected within 24 projects of plantations of the genus *Eucalyptus*, where the values of circumference at 1.30 m height (CBH) and total height of all trees were measured. The data were evaluated by the conventional method, using the relative difference between the mean values, the frequency by class of errors and the extreme values of measurements (Scenario 1), and by the proposed method, which used Student's *t* test and the root mean square error (RMSE%), percentage bias (% bias), mean deviation (MD) and residual distribution graph (Scenario 2). The conventional assessment showed little relative difference between the mean values of auditory and inventory CBH values, ranging from -0.61% to 0.47%, no project exceeded the relative difference limits pre-established, as well as there were no extreme values and no portion was disapproved. For the total height values, the relative difference between the means ranged from -1.36% to 0.83%. There was no failure by this criterion, one project was rejected by frequency analysis and there were no extreme values. It was possible to observe a variation between -1.54% and 1.05% in the estimated mean volumes. Statistical difference was presented by 19 projects at the 5% probability level by the Student *t*-test for the CBH values and 11 projects for the values of total height. CBH values presented RMSE% between 0% and 0.7432% and the total height values between 0.6526% and 3.98981%. The Bias% results ranged from -0.6063% to 0.4654% for CBH values and between -1.3581% and 0.8303% for total height. For MD results, they ranged from 0.0000 to 0.28882 for CBH values and between 0.0329 and 0.6666 for total height. For the estimated volume, RMSE%, Bias% and MD varied respectively between 0.4524% and 2.9472%, 0.9918 and 0.9999, -1.6044% and 1.0456% and 0.0001 and 0.0049. For CBH values, it was observed that all the projects showed dispersions below  $\pm 5\%$ , some tendencies to overestimate and underestimates, and greater dispersions in the class of CBH values of 35 cm to 45 cm. For the values of total height, they presented dispersions varying in the order of up to  $\pm 10\%$ , no tendencies were observed and it was observed that the dispersions of the residuals tend to decrease as the values of total height of the trees increase. For the estimates of the total volume out-side bark, the dispersions varied around  $\pm 10\%$ , thus, it was possible to observe tendencies to overestimations and underestimations, also it was observed that the dispersions of the residuals tend to decrease as the individual volume of the trees increases. Thus, it was concluded that the use of the statistical parameters presents a greater efficiency in the audit capacity of interpretation of the influence of measurement errors on the dendrometric variables of interest and their results can be easily compared and attached to the statistical processes of the forest inventory.

Keywords: Non-sampling errors; Forest Inventory; Accuracy.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DOS VALORES DE CAP .....	67
FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS ALTURAS TOTAIS ....	68
FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DOS VOLUMES .....	69

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RESUMO DESCRITIVO DOS PROJETOS AUDITADOS .....	49
TABELA 2 - CRITÉRIOS DE AUDITORIA PARA ANÁLISE DAS MEDIÇÕES DE VALORES DE CAP .....	53
TABELA 3 - CRITÉRIOS DE AUDITORIA PARA ANÁLISE DAS MEDIÇÕES DE VALORES DE ALTURA TOTAL .....	54
TABELA 4 - SÍNTESE DAS ANÁLISES REALIZADAS PARA AS MEDIÇÕES DOS VALORES DE CAP .....	57
TABELA 5 - SÍNTESE DAS ANÁLISES REALIZADAS PARA AS MEDIÇÕES DOS VALORES DE ALTURA TOTAL .....	58
TABELA 6 - RESULTADO DA ESTIMATIVA DO VOLUME POR PROJETO .....	59
TABELA 7 - RESUMO DAS ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS E RESULTADOS DO TESTE $t$ PARA OS VALORES DE CAP .....	60
TABELA 8 - RESUMO DAS ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS E RESULTADOS DO TESTE $t$ PARA OS VALORES DE ALTURAS TOTAL .....	61
TABELA 9 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS ENTRE OS VALORES DE CAP E ALTURA TOTAL .....	63
TABELA 10 - RESUMO DAS ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS E RESULTADOS DO TESTE $t$ DOS VOLUMES TOTAIS COM CASCA .....	64
TABELA 11 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME TOTAL COM CASCA .....	65

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
2.1.	OBJETIVO GERAL .....	18
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
<b>3.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
3.1.	PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO FLORESTAL.....	19
3.1.1.	Definições de planejamento .....	19
3.1.2.	Planejamento e controle da produção .....	21
3.1.3.	O planejamento da produção aplicado ao setor florestal .....	22
3.1.3.1.	A cadeia produtiva florestal .....	22
3.1.3.2.	Tipos de planejamento da produção florestal .....	23
3.1.3.3.	Características do planejamento da produção florestal.....	25
3.1.3.4.	Ferramentas e processos de planejamento .....	26
3.1.3.5.	Importância das informações para a produção florestal.....	26
3.2.	INVENTÁRIOS FLORESTAIS .....	27
3.3.	ERROS EM INVENTÁRIOS FLORESTAIS .....	29
3.3.1.	Ocorrência de erros em inventários Florestais .....	29
3.3.2.	Características dos erros de medições.....	30
3.3.3.	Efeitos nas estimativas do inventário florestal.....	31
3.3.4.	Estudos sobre a influência dos erros de medições .....	32
3.3.5.	Estudos para a mitigação dos efeitos dos erros de medições.....	34
3.3.6.	Efeito dos erros de medições no planejamento da produção florestal .....	35
3.4.	GESTÃO DA QUALIDADE .....	37
3.4.1.	Definição de qualidade.....	37
3.4.2.	Histórico do controle da qualidade .....	37

3.4.3.	Sistema de gestão da qualidade.....	39
3.4.4.	ISO 9000 .....	39
3.4.5.	Auditoria .....	40
3.5.	CONTROLE DA QUALIDADE EM INVENTÁRIO FLORESTAL.....	42
3.5.1.	Controle da qualidade no setor florestal .....	42
3.5.2.	Metodologias para auditoria e controle da qualidade de inventários florestais .....	42
3.5.2.1.	Inventário Florestal Nacional Suíço (IFNS) .....	42
3.5.2.2.	Programa de Garantia de Qualidade do inventário florestal nacional dos EUA.....	43
3.5.2.3.	Metodologia para a auditoria de inventário florestal no setor privado brasileiro ...	45
3.5.3.	Estudos sobre a qualidade em inventário florestal.....	47
<b>4.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>49</b>
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	49
4.2.	AMOSTRAGEM E COLETA DE DADOS.....	50
4.3.	ETAPAS DO PROCESSO DE AUDITORIA.....	50
4.3.1.	Aferição dos aparelhos de medição .....	51
4.3.2.	Alocação das parcelas .....	52
4.3.3.	Número de fustes .....	52
4.3.4.	Avaliação dos cenários.....	52
4.3.4.1.	Cenário 1 – Comparação da auditoria do inventário florestal com o inventário florestal convencional.....	52
4.3.4.1.1.	Avaliação dos valores de CAP no Cenário 1 .....	52
4.3.4.1.2.	Avaliação dos valores de altura total no Cenário 1.....	53
4.3.4.2.	Cenário 2 – Proposta de auditoria do inventário florestal tendo como base indicadores estatísticos .....	54
4.4.	ESTIMATIVAS DE VALORES DE ALTURA TOTAL E VOLUME DE MADEIRA .....	56
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
5.1.	CENÁRIO 1 - AVALIAÇÃO DOS VALORES DE CAP .....	57

5.2.	CENÁRIO 1 - AVALIAÇÃO DOS VALORES DE ALTURA TOTAL.....	58
5.3.	CENÁRIO 1 - ANÁLISE DOS VOLUMES ESTIMADOS .....	59
5.4.	CENÁRIO 2 - AVALIAÇÃO DAS MEDIÇÕES DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DE ACORDO COM A METODOLOGIA PROPOSTA ..	60
5.4.1.	Análise dos valores de CAP através do teste $t$ de Student.....	60
5.4.2.	Análise dos valores de altura total através do teste $t$ de Student .....	61
5.4.3.	Análise estatística comparativa das medições dos valores de CAP e Altura total...	62
5.4.4.	Análise dos volumes estimados através do teste $t$ de Student.....	64
5.4.5.	Análise estatística comparativa dos volumes estimados.....	65
5.4.6.	Análise das medições das variáveis dendrométricas por meio da distribuição gráfica dos resíduos .....	66
5.5.	VARIAÇÕES E DESEMPENHO DAS ESQUIPES DE MEDIÇÕES .....	70
5.6.	RELAÇÕES ENTRE CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS E ERROS DE MEDIÇÃO .....	71
5.7.	INFLUÊNCIA DOS ERROS DE MEDIÇÕES NOS VOLUMES ESTIMADOS.....	72
5.8.	USO DE INDICADORES ESTATÍSTICOS PARA AVALIAÇÃO DAS MEDIÇÕES.....	73
5.8.1.	Teste $t$ de Student.....	73
5.8.2.	Raiz do erro quadrático médio .....	74
5.8.3.	Viés%.....	74
5.8.4.	Desvio médio .....	75
5.8.5.	Distribuição gráfica dos resíduos.....	75
5.8.6.	Avaliação do uso de indicadores estatísticos .....	75
5.9.	COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO DE MEDIÇÕES .	76
5.10.	USO DOS RESULTADOS NO PLANEJAMENTO .....	77
5.10.1	Planejamento de inventário florestal.....	77
5.10.2.	Planejamento da produção florestal .....	78
6.	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>79</b>

7.	<b>RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>80</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>81</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Devido, em especial, aos fatores de condições edafoclimáticas favoráveis, disponibilidade de terra e o alto desenvolvimento técnico e científico, o Brasil é o maior produtor mundial de celulose de fibra curta e um dos maiores produtores florestais do mundo. O setor florestal brasileiro representa aproximadamente 5,5% do produto interno bruto da indústria nacional e 1,1% da riqueza gerada no país. A área ocupada por plantios florestais corresponde a 0,9% de todo o território nacional, o equivalente a aproximadamente 8 milhões de hectares, dos quais 5,56 milhões de hectares são de plantios do gênero *Eucalyptus*, o mais cultivado no país (IBÁ, 2016).

O adequado planejamento da produção florestal é um dos fatores imprescindíveis para o sucesso dos empreendimentos florestais e devido à dimensão do setor florestal brasileiro se torna uma atividade muito complexa. O planejamento florestal tem como principal finalidade otimizar a alocação de fatores de produção, mostrar a melhor maneira de usar os recursos florestais, visando a maximização das utilidades da floresta (PUKKALA, 2013). Devido à multiplicidade de critérios abrangentes envolvidos no processo de tomada de decisões, o planejamento de recursos florestais é um problema muito complexo. Assim, cada tomada de decisão envolve critérios de diferentes naturezas como: questões econômicas, ambientais e questões sociais (DIAZ-BALTEIRO; ROMERO, 2008).

Devido ao longo horizonte de planejamento dos projetos florestais, alguns fatores incontrolláveis, como os econômicos, biológicos e climáticos trazem um alto grau de risco e incertezas no processo de tomadas de decisões e podem interferir no sucesso desses projetos. Uma vez que as tomadas de decisões são realizadas com base na situação real da floresta, a importância das informações qualitativas e quantitativas obtidas por meio do inventário florestal é fundamental para a produção florestal e por isso devem ser precisas e acuradas. Caso contrário, depender de informações que não representam a realidade da floresta para a tomada de decisão pode constituir em outra grave fonte de risco para o empreendimento (PUKKALA, 1998).

Devido aos altos custos necessários para realização do censo florestal, onde todos os indivíduos do povoamento florestal em questão são mensurados, essa atividade quase sempre é inviável. Sendo assim, são utilizadas técnicas de amostragem, onde são mensurados os indivíduos de apenas algumas unidades amostrais selecionadas de toda a população florestal e posteriormente, com o auxílio de modelos estatísticos, as variáveis individuais como volume,

biomassa, teor de carbono ou outra variável de interesse são agregadas ao nível de unidades amostrais e extrapoladas para todo o povoamento (MCROBERTS; WESTFALL, 2016).

Considerando que de uma forma geral, o inventário florestal baseado em amostragem tem como objetivo obter uma representação verdadeira da população-alvo, erros de variadas fontes podem ocorrer durante as diferentes etapas de um inventário, podendo ocasionar uma representação irreal das características do povoamento florestal e influenciar a confiabilidade da tomada de decisões inerentes ao planejamento da produção florestal (BRASSEL; LISCHKE, 2001).

De acordo com Gertner (1991), diversos tipos de erros acometem as estimativas do inventário florestal e são classificados em amostral e não amostrais. O erro de amostragem é considerado o mais importante e é resultante da adoção do processo de amostragem em detrimento do censo florestal, ou seja, é ocasionado por não se mensurar todos os indivíduos da população e depende do tamanho da amostragem, dimensões das unidades amostrais e método de amostragem. Outros tipos de erros são classificados como não amostrais, entre eles o erro de medição que é resultante da má qualidade das medições, muitas vezes relacionada a restrições de tempo e recursos técnicos e financeiros.

De acordo com Omule (1980), um erro de medição é a diferença entre o verdadeiro valor e a medição inexata de um objeto qualquer, podendo ser mensurada em termos de tendenciosidade, que é uma distorção sistemática de uma medida a partir do valor verdadeiro e de um objeto a ser medido e aleatoriedade, que é a difusão de várias medições do mesmo objeto em torno de sua média.

Segundo Gertner (1990), embora seja dada muita ênfase aos erros de amostragem, e pouca ou nenhuma atenção para os erros de medições, sendo comum a suposição de que não existem erros nas medições das unidades amostrais, de acordo com Gertner e Dzialowy (1984) os erros de medições podem afetar seriamente a precisão e acurácia de estimativas de modelos estatísticos, e conseqüentemente, todo o planejamento da produção florestal. Esse tipo de erro pode afetar a construção e a interpretação dos modelos estatísticos (KANGAS, 1998), a adaptação a situações de sobra ou falta de matéria-prima (KANGAS; KANGAS, 1999) e, assim, causar perdas econômicas pela não otimização dos recursos (MÄKINEN; KANGAS; MEHTÄTALO, 2010).

Gertner e Khol (1992) enfatizam a necessidade do estudo, avaliações e verificações das diferentes fontes de erros potenciais, bem como a quantificação da contribuição proporcional de cada fonte para o erro total do inventário. Uma alternativa válida para a prática dessas atividades é o emprego de conceitos e ferramentas da gestão da qualidade e estratégia

de administração, orientada a criar consciência da qualidade em todos os processos organizacionais, inclusive, nas atividades de inventário florestal quando se trata de organizações do setor (OLIVEIRA, 2003).

Uma importante ferramenta da gestão da qualidade é a auditoria, que de forma resumida, segundo Araújo (2001), implicam em uma comparação imparcial entre o fato concreto e o desejado, com o intuito de expressar uma opinião ou de emitir comentários materializados, e de acordo com Ramos (1991), a auditoria tem como objetivos avaliar a conformidade dos procedimentos para o desenvolvimento, manutenção e garantia da melhoria contínua da qualidade de um determinado produto ou serviço.

Considerando as características de longo horizonte de planejamento, necessidade de elevado montante de dinheiro e ocupação de grandes extensões de terras, as atividades ligadas as áreas de produção destes empreendimentos, como é o caso do inventário florestal são relativamente caras.

Sendo assim, além de possibilitar a conferência da qualidade de um serviço de custo relativamente alto, o desenvolvimento de metodologias de auditoria visa garantir a formação de uma visão mais crítica da ocorrência de erros de medições, bem como, que seus resultados possam ser usados no planejamento de novos inventários e permitam verificar e melhorar a eficácia dos procedimentos de medições, principalmente através de treinamento, garantindo assim, uma melhora contínua da atividade.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver e testar uma metodologia para aplicação em auditorias de inventários florestais visando a detecção de possíveis erros de medições dendrométricas.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as medidas dendrométricas obtidas na auditoria de inventário florestal e compará-las com as obtidas no inventário florestal, com base no valor médio das medições, frequências de variações e valores extremos, forma essa difundida em grandes empresas do setor florestal brasileiro (avaliação convencional), que neste trabalho é denominado de Cenário 1.
- Avaliar as medidas dendrométricas obtidas na auditoria de inventário florestal e compará-las com as obtidas no inventário florestal, com base na aplicação de indicadores estatísticos (metodologia proposta), que neste trabalho é denominado de Cenário 2.
- Analisar possíveis relações entre os erros de medições e características dendrométricas dos povoamentos.
- Comparar as metodologias quanto ao uso dos resultados no planejamento de novos inventários, treinamento de equipes e composição do erro global do inventário.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO FLORESTAL

##### 3.1.1. Definições de planejamento

De acordo com Maximiano (2004) planejamento é um processo que visa à tomada de decisões que de alguma forma visam influenciar ou mesmo, serem colocadas em prática no futuro. Assim, é um processo fundamental da administração de qualquer tipo de organização. Embora não sejam reconhecidos como tal, os primeiros conceitos de planejamento provavelmente surgiram ainda na pré-história, onde devido às restrições de espaço e tecnologia para a conservação de alimentos, existia uma grande necessidade de programação das atividades ligadas à alimentação (HINDLE, 2002).

Considerando o contexto empresarial, de acordo com Orlickas (2010) o processo de planejamento visa não só prever, mas também minimizar os efeitos do que possa comprometer e maximizar tudo aquilo que possa facilitar os resultados esperados de um determinado empreendimento, desse modo, permitindo que o gestor tome decisões mais efetivas e eficientes. Já Chiavenato (2005), além do contexto de tomada de decisões antecipadas de sobre o que fazer, também cita que planejar consiste em simular um futuro desejado e estabelecer previamente os cursos de ação necessários e os meios adequados para atingir os objetivos. O autor também relata que existem três tipos de filosofia de planejamento:

- Planejamento conservador: que está voltado para a estabilidade e a manutenção da situação existente. As decisões são tomadas a fim de obter bons resultados, mas não necessariamente a maximização deles, pois isso implicaria mudanças radicais na organização que dificilmente o planejamento realizará devido a sua ênfase em conservar as práticas já estabelecidas. Ou seja, resumidamente, esse tipo de filosofia de planejamento está voltado para a identificação e solução de deficiências e problemas internos, e não para a exploração de novas oportunidades.

- Planejamento otimizante: que está voltado para a adaptabilidade e inovação dentro da organização. As decisões são tomadas a fim de se obter a maximização dos resultados, seja através da minimização de recursos ou a maximização dos recursos disponíveis. Resumidamente, esse tipo de filosofia de planejamento está baseado em uma preocupação em melhorar as práticas estabelecidas na organização e no processo de melhora contínua.

- Planejamento adaptativo: que está voltado para as contingências e o futuro da organização. As decisões são tomadas com o objetivo de aliar os diferentes interesses envolvidos, elaborando uma composição adaptável, capaz de levar a resultados para o desenvolvimento natural da empresa. Resumidamente, esse tipo de filosofia de planejamento está voltado para adaptação ambiental.

Existem três diferentes tipos de planejamento, variando de acordo com períodos e prazos, abrangência de departamentos e tarefas, nível organizacional, dentre outros aspectos. Cada tipo de planejamento possui uma área de competência, e devem trabalhar em harmonia e sinergia para o cumprimento dos objetivos. Os diferentes tipos de planejamento são: o planejamento estratégico, que é efetuado pelos dirigentes de mais alto nível da organização, pois são os que possuem visão sistêmica ou global da empresa e tem melhores condições para ficarem atentos ao que ocorre no ambiente externo. Corresponde ao plano maior, no qual todos os demais estão subordinados, é o planejamento mais amplo e abrange, onde toda a organização busca objetivos em nível organizacional, tem como característica: objetivos de longo prazo, tendo seus efeitos e consequências estendidos durante vários anos. Sendo a definição clara da missão da empresa, a definição para determinado horizonte, das estratégias globais, das estratégias funcionais e das políticas, elementos que devem constar de um processo de planejamento competente (CHIAVENATO, 2005).

O planejamento tático é desenvolvido pelos níveis intermediários das empresas, tendo como principal finalidade a otimização dos recursos disponíveis para o alcance de objetivos. O planejamento tático tem finalidades mais restritas, visando determinadas áreas e não toda a organização, seu tempo de duração é menor que o do planejamento estratégico e nele são trabalhados os objetivos, estratégias e políticas estabelecidas no planejamento estratégico (OLIVEIRA, 2009).

O planejamento operacional é desenvolvido e elaborado pelos níveis inferiores da hierarquia das organizações. Normalmente, os planos de ação ou operações, são focados nas atividades diárias, tratam de cronogramas, tarefas específicas e alvos mensuráveis, envolvendo responsáveis pela realização do plano de cada unidade. O prazo do planejamento operacional é mais curto, sua amplitude é mais restrita, sendo assim o risco nas tomadas de decisões baseadas nesse planejamento é menor que nos demais. (MONTANA; CHARNOV, 2009).

### 3.1.2. Planejamento e controle da produção

O planejamento e controle da produção é o gerenciamento das atividades de qualquer operação produtiva, de modo a satisfazer de forma contínua à demanda dos consumidores visando às limitações de tempo, custos, capacidade e qualidade, com o objetivo de atender da melhor forma possível os planos estabelecidos nos três níveis hierárquicos estabelecidos no planejamento das organizações (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002).

Segundo Lutosa et al. (2008), os sistemas de Planejamento e Controle da Produção evoluíram como fruto da evolução da própria ciência da administração, desde os esforços de Taylor, com os princípios da administração científica no início do século XX, que tratava a administração como ciência baseada na observação, medição, análise e aprimoramento dos métodos de trabalho que permitiram o desenvolvimento de trabalhos como o estudo de tempos e movimentos desenvolvido por Frank Gilbreth, estudos de sistemas de programação de produção baseado em gráficos e cálculos iniciados por Henry Gantt, até os princípios da produção em massa de automóveis utilizando linhas de montagem desenvolvida por Henry Ford.

Com o avanço tecnológico pós-guerra, década de 1950, a complexidade dos bens evoluiu consideravelmente, levando a necessidade de cálculos cada vez mais complexos para a capacidade do cérebro humano. Dessa forma, na década de 1960, diversos pesquisadores desenvolveram e passaram a utilizar métodos para a realização desses cálculos, que foram aperfeiçoados nas décadas seguintes. Em paralelo ao crescente desenvolvimento tecnológico e metodológico iniciado na década de 1990, decorrente da globalização, questões ambientais, de sustentabilidade e de responsabilidade social assumiram importância essencial para os sistemas de gestão de empresas que impactaram as funções do planejamento e controle da produção.

Para Pereira e Erdmann (1998), a produção, vista como um sistema é um conjunto de recursos humanos, físicos, tecnológicos e informacionais capazes de transformar entradas em saídas, materiais ou imateriais e produzir bens e serviços. A produção ainda pode ser subdividida em subsistemas, considerando a informação um recurso estratégico e essencial para a tomada de decisões. Uma dessas subdivisões do sistema de produção é o subsistema gerenciador de informações, responsável por estabelecer as ligações entre os componentes e fazer com que as ações aconteçam de forma coordenada, fornecendo subsídios para a integração dos diversos subsistemas ou áreas da organização. Assim, o Planejamento e Controle da Produção é um sistema de informações que gerencia a produção no que se diz respeito a quantidades a serem produzidas, tipos de bens ou serviço e tempo necessário para sua execução.

De acordo com Fidelis e Cândido (2006), a informação é um recurso estratégico fundamental ao processo de tomada de decisão e elaboração da estratégia empresarial. A utilização eficiente deste recurso fornece a sustentabilidade ao estabelecimento de um forte diferencial organizacional, uma vez que a informação permite o conhecimento, pelo tomador de decisão, da sua organização, do seu negócio e do ambiente no qual ela está inserida. Para o autor, uma vez que a nova economia mundial está baseada na informação e requer das organizações um conhecimento para coletar, trabalhar, interpretar e gerenciar este recurso, é importante ressaltar que altos investimentos em tecnologia da informação não são suficientes para gerar vantagem competitiva, sendo necessário para isso o uso inteligente da informação, ação que se concretizará através do real uso deste recurso estratégico sob a ótica da lucratividade e competitividade empresarial.

Considerando a existência de diversos modelos de produção, também existem diferentes tipos de informação, fontes e formas de obtenção. Segundo McGee e Prusak (1994), a informação não se limita apenas a coleta de dados, mas sim ao resultado dos dados, que é a organização, o ordenamento, a atribuição de significados e a inserção desses dados em um determinado contexto.

### 3.1.3. O planejamento da produção aplicado ao setor florestal

#### 3.1.3.1. A cadeia produtiva florestal

De acordo com Frayret et al. (2008), as cadeias de suprimento são organizações distribuídas onde o material e a informação fluem em muitas direções, dentro e além das fronteiras organizacionais, através de complexas redes de negócios de fornecedores, fabricantes, distribuidores, até chegar nos consumidores finais. Assim, semelhante às outras indústrias, os diferentes produtos florestais passam dos produtores florestais para madeireiras, indústrias de celulose, papel, painéis, entre outros beneficiadores, e através de muitos canais de distribuidores e atacadistas, até finalmente chegar aos mercados. Porém, ao contrário da cadeia de fornecimento de produção tradicional, que tem uma estrutura de produto convergente (isto é, montagem), a indústria florestal possui processos de produção específicos, como, por exemplo, a transformação dos processos de produção ao longo da cadeia de abastecimento, que tem uma estrutura divergente de co-produção, em que as árvores são divididas em muitos produtos a todos os níveis do processo de produção, outra peculiaridade da produção florestal é natureza altamente heterogênea da madeira. Essas particularidades da produção florestal

tornam o planejamento e controle da produção florestal uma tarefa difícil. Portanto, para a compensação da falta de controle sobre esses elementos estocásticos, as organizações do setor florestal devem ter rápida troca de informações sobre a disponibilidade, qualidade da oferta, produção e demanda, ao longo de toda a cadeia de abastecimento florestal e reagir rapidamente de forma coordenada com os membros da cadeia de suprimentos, para corrigir quaisquer desvios ou distúrbios do planejamento.

### 3.1.3.2. Tipos de planejamento da produção florestal

D'Amours, Ronnqvist e Weintraub (2008) explicam as questões e decisões tomadas em cada um dos tipos de planejamentos da cadeia da produção florestal e relatam a existência de poucas pesquisas sobre o planejamento estratégico especificamente da indústria de produtos florestais, o que leva a crer que a escassez de pesquisas neste domínio ressalta a necessidade de integrar as decisões relacionadas ao manejo florestal e às operações florestais nos processos de tomada de decisão e pesquisas sobre o tema. Segundo os autores, quando se trata de planejamento estratégico na produção florestal, devido a alguns fatores como os longos ciclos de rotação dos povoamentos florestais e o longo período de depreciação das fábricas, como é o caso da produção de celulose, em que normalmente são construídas para durarem mais de 30 anos, o planejamento estratégico da produção florestal realmente é de longo prazo. Dessa forma, as tomadas de decisões estratégicas incluem escolhas relacionadas às estratégias de manejo florestal, tratamentos silviculturais, destinação das áreas de conservação, construção de estradas, abertura e fechamento de fábricas, localização e aquisição de novas fábricas, investimentos em processos (máquinas, equipamentos de transporte, tecnologia de informação), desenvolvimento de produtos e mercados, divulgação financeira e operacional, estratégias de planejamento (por exemplo, inventário, fabricação sobre encomenda, corte por encomenda) e localização de estoque (por exemplo, localização de pontos de desacoplamento e depósitos).

As decisões tomadas no planejamento estratégico têm um grande impacto em todas as decisões do empreendimento florestal. Portanto, a abordagem da tomada de decisões define parâmetros importantes com relação à tecnologia necessária, capacidades, níveis de estoque e distâncias máximas para os clientes, dentre outros que implicam naturalmente na avaliação de como o investimento se enquadra em toda a cadeia de abastecimento, incluindo as decisões de mercados, produtos, tendências, previsões, distribuição dos produtos, custos, abastecimento das unidades de produção, procedência da madeira, fornecimento de energia e legislação em geral (D'AMOURS; RONNQVIST; WEINTRAUB, 2008).

De acordo com os respectivos autores, o planejamento tático ou de médio prazo é ligeiramente diferente dependendo se a tomada de decisão aborda o manejo florestal ou a produção/distribuição. No manejo florestal, as abordagens de planejamento hierárquico são amplamente implementadas, pois permitem que o planejamento tático seja inicialmente abordado sem levar em conta as questões espaciais, assim, embora os problemas estratégicos de planejamento de manejo florestal geralmente sejam de muitos anos, os problemas de planejamento tático são frequentemente revistos, muitas das vezes anualmente. Na abordagem da produção/distribuição, o planejamento tático normalmente aborda as regras de alocação que definem qual unidade ou grupo de unidades é responsável pela execução das diferentes atividades da cadeia de suprimentos ou quais recursos ou grupo de recursos serão usados. Ele também define as regras em termos de ‘lead times’ de produção/distribuição, dimensionamento de lotes e políticas de inventário.

O planejamento tático também serve como ponte entre o planejamento estratégico abrangente de longo prazo e o planejamento operacional detalhado de curto prazo, deve assegurar que o planejamento operacional esteja em conformidade com as diretrizes estabelecidas no planejamento estratégico, mesmo que o horizonte de planejamento seja muito mais curto. São exemplos de decisões táticas típicas do planejamento tático: à alocação de clientes para as fábricas, definição da capacidade de distribuição necessária, planejamento do transporte, cronogramas de produção. Outras utilidades importantes do planejamento tático estão vinculadas à sazonalidade, já que em muitos casos, as mudanças das condições climáticas ao longo do ano tornam impossível o transporte de madeira durante certos períodos e a projeção do orçamento, considerando que a maioria das empresas executa uma importante tarefa de planejamento ao projetar o orçamento anual para o ano seguinte, avaliando as implicações das decisões em toda a produção, com o objetivo de maximizar o lucro líquido (D’AMOURS; RONNQVIST; WEINTRAUB, 2008).

O Planejamento operacional ou de curto prazo, precede e determina as operações na realidade, e por esta razão deve refletir adequadamente a realidade detalhada em que as operações ocorrem, este momento preciso das operações é crucial. Geralmente não é suficiente saber a semana ou o mês em que uma determinada ação deve ocorrer, o período de tempo deve ser definido em termos de dias ou horas. O planejamento operacional geralmente é distribuído entre as diferentes instalações ou unidades nas instalações, devido à enorme quantidade de dados que devem ser manipulados no nível operacional. Dentro do processo de produção, um tipo de problema de planejamento operacional trata do corte e deve ser resolvido por muitos das fábricas de produtos de madeira. Programar os diferentes produtos em movimento através

das linhas de fabricação é também um típico problema de planejamento operacional, assim como o controle da produção envolvendo decisões de planejamento operacional em tempo real (D'AMOURS; RONNQVIST; WEINTRAUB, 2008).

De acordo com os respectivos autores, o controle da produção é particularmente crítico na indústria de celulose e papel, visto que as características dos produtos de saída dependem muito da precisão da mistura de fibras e produtos químicos. Outro tipo de abordagem do planejamento operacional está relacionado com os problemas do transporte, especificamente o roteamento e despacho feito em vários pontos da cadeia de produção, onde, por exemplo, de uma mesma frota, é necessário usar caminhões para transportar madeira da floresta para as fabricas ou para o transporte de produtos finais das fabricas para os clientes ou centros de distribuição.

### 3.1.3.3. Características do planejamento da produção florestal

Considerando que o principal propósito do planejamento da produção é otimizar a alocação de fatores de produção, para Pukkala (2013), na produção florestal, a tarefa do planejamento é mostrar a melhor maneira de usar os recursos florestais, visando a maximização do bem-estar ou as utilidades da floresta para com o seu proprietário. Esta definição engloba dois aspectos importantes do planejamento. Primeiro, o planejamento é por natureza, sempre uma otimização, mesmo quando não são utilizados métodos numéricos. Em segundo lugar, o planejamento visa maximizar o benefício ou utilidade do proprietário da floresta. Considerando esses aspectos, para ser capaz de maximizar a utilidade de uma floresta, o profissional que deseja executar o planejamento da produção florestal deve ter pleno conhecimento de quais produtos e recursos florestais são capazes de trazer utilidades para o proprietário, sempre levando em consideração as preferências do mesmo.

De acordo com Diaz-Balteiro e Romero (2008), devido à multiplicidade de critérios abrangentes envolvidos no processo de tomada de decisões, o planejamento de recursos florestais é um problema muito complexo. Assim, cada tomada de decisão envolve critérios de diferentes naturezas como questões econômicas (por exemplo: madeira, forragem, gado, caça, etc.), questões ambientais (por exemplo: sequestro de carbono, erosão do solo, conservação da biodiversidade, etc.) e questões sociais (por exemplo: atividades recreativas, nível de emprego, povoamento, etc.). Além disso, a complexidade da maior parte dos problemas florestais tende a aumentar na medida em que o interesse de diferentes grupos sociais ou partes interessadas, que dão importâncias relativas aos diferentes critérios, se envolvem no processo.

#### 3.1.3.4. Ferramentas e processos de planejamento

Segundo Diaz-Balteiro e Romero (2008), existe uma diversidade de ferramentas utilizadas no processo de planejamento da produção florestal para apoiar as tomadas de decisões, entre elas destacam-se: Programação Multi-Objetivo (Multi-Objective Programming - MOP), Programação de Objetivos (Goal Programming - GP), Programação de Compromisso (Compromise Programming - CP), Teoria da utilidade de múltiplos atributos (Multi-Attribute Utility Theory - MAUT), Programação Fuzzy Multi-Critérios (Fuzzy Multi-Criteria Programming - FMCP), Análise Hierárquica de Processos (Analytic Hierarchy Process - AHP), Outros Métodos Discretos (Other Discrete Methods - ODM), Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis - DEA) e Técnicas de tomada de decisões do grupo (Group Decision Making Techniques - GDM). Essas ferramentas podem ser empregadas em diferentes áreas de aplicação florestal, como na programação da colheita, conservação da biodiversidade florestal, sustentabilidade florestal, florestamento, planejamento regional, indústria florestal, riscos e incertezas, dentre outras.

De acordo com Maness e Norton (2002), vale a pena ressaltar que as diversas ferramentas utilizadas no planejamento da produção florestal têm o objetivo de apoiar a tomada de decisões, auxiliar no tratamento de variáveis e restrições envolvidas no processo de produção, analisar cenários econômicos e explorar a validade de suposições, ou seja, as decisões não devem ser tomadas apenas com base nas ferramentas.

Para fornecer suporte sólido para a tomada de decisões, o planejamento da produção florestal deve incluir etapas como: identificação e estruturação do problema de decisão, análise preliminar dos objetivos, descrição da floresta, determinação de possíveis esquemas de tratamento para cada povoamento florestal, exame das possibilidades de produção, geração de alternativas de planos florestais, análise detalhada dos objetivos e preferências e avaliação e comparação dos planos florestais alternativos, sendo que, geralmente a etapa final é a compilação do planejamento selecionado para a floresta. Embora as etapas do planejamento sigam uma sequência, o processo não costuma seguir essa ordem, e as etapas são realizadas de forma interativa, e muitas vezes são realizadas ao mesmo tempo (KANGAS et al. 2000).

#### 3.1.3.5. Importância das informações para a produção florestal

Segundo Pukkala (1998), devido a diversas variáveis incontrolláveis que podem interferir em projetos com longo horizonte de planejamento, existe um alto grau de risco e

incertezas em planejamentos florestais de longos períodos e tomadas de decisões. Quando se trata da produção florestal, alguns dos fatores incontroláveis mais importantes são variáveis econômicas e biológicas. Considerando a importância das informações para o planejamento florestal, se os dados de inventário em que se baseia o planejamento não são precisos e acurados, esses dados constituem outra fonte de risco, já que as tomadas de decisões realizadas dependem da situação real da floresta e essas informações são errôneas.

Considerando que, na prática, o planejamento da produção florestal não é apenas análise e otimização de preferências, Pukkala (2013) relata que, embora a gestão de dados, os cálculos, simulações por computador e o uso de diversas ferramentas, desempenhem um importante papel nos processos do planejamento da produção florestal, todas essas atividades são desenvolvidas com base nos dados provenientes dos inventários florestais. Assim, é ressaltada a fundamental importância dessa atividade como fonte de informações que subsidia todo o planejamento da produção florestal.

### 3.2. INVENTÁRIOS FLORESTAIS

Como sugerido pela palavra “inventário”, que se refere a uma descrição detalhada das propriedades de uma determinada pessoa, o inventário florestal refere-se às diversas informações sobre as características qualitativas e quantitativas das florestas. A história dos inventários florestais remonta à Idade Média, quando a exploração intensiva dos recursos florestais levou à escassez de produtos madeireiros. Dessa forma, fez-se necessário o planejamento florestal, que inicialmente era executado com base em avaliações de áreas florestais e estimativas brutas de estoque em crescimento (GABLER; SCHADAUER, 2007). Segundo Tomppo et al. (2010), os inventários florestais evoluíram gradualmente, com conteúdo, conceitos e definições constantemente atualizadas e adaptadas às necessidades de quem os solicitam, havendo sistemas avançados de inventário florestal estabelecidos em todo o mundo.

De acordo com Westfall e Patterson (2007), embora exista uma crescente ênfase na análise da dinâmica dos recursos florestais ao longo do tempo, o objetivo primário do inventário florestal é avaliar o estado atual dos recursos florestais. O conhecimento da dinâmica desses recursos permite avaliar os efeitos das práticas correntes e a elaboração de metas e objetivos desejados. Devido à natureza, baseada em processos de amostragem da grande maioria dos inventários florestais, a determinação de tendências significativas das condições dos recursos

depende da precisão associada aos valores estimados e do nível, ou limite de confiança determinado.

Para McRoberts e Westfall (2016), através do inventário florestal e dos programas de monitoramento é possível prever o volume, a biomassa ou o teor de carbono de árvores individuais usando modelos estatísticos baseados em observações, como a classificação da espécie e medições de atributos das árvores, principalmente o diâmetro e a altura. As estimativas dos modelos de árvores individuais são agregadas ao nível de parcelas e as estimativas ao nível de parcelas são utilizadas para produzir estimativas de grandes extensões de áreas de florestas, que frequentemente são expressas em uma base por unidade de área.

Devido aos altos custos necessários, disponibilidade de pessoal, tempo necessário desde o início das atividades até a publicação dos resultados dos inventários florestais, quase sempre é inviável a realização do censo florestal, onde todos os indivíduos do povoamento localizado na área em questão são mensurados. Portanto, são utilizados processos de amostragem, onde são selecionadas pequenas porções (amostras) de toda a população florestal e as árvores localizadas nessas amostras ou parcelas amostrais, devem ser avaliadas com precisão. Assim, baseando-se em teorias de probabilidade, os indivíduos incluídos na amostra são utilizados para inferência sobre toda a população (BRASSEL; LISCHKE; 2001).

Segundo Brassel e Lischke (2001), de uma forma geral, o objetivo de um inventário baseado em amostra é obter uma representação verdadeira da população-alvo. Porém, erros de variadas fontes, podem ocorrer durante as diferentes etapas de um inventário e podem levar a uma representação irreal das características do povoamento florestal e influenciar a confiabilidade dos resultados. Dessa forma, para manter o erro global das estimativas de um inventário florestal o mais baixo possível, autores como Gertner e Khol (1992) enfatizam a necessidade do estudo, avaliações e verificações das diferentes potenciais fontes de erros, assim como também a quantificação da contribuição proporcional de cada fonte para o erro total do inventário, sendo que, uma ferramenta importante para essa atividade é a compilação de erros, na qual a combinação das diferentes fontes de erros pode ser utilizada para revisão de métodos, avaliação de parcelas, equipes de campo, sistema de informação geográfica, tendenciosidades, eficiência e consistência dos dados.

### 3.3. ERROS EM INVENTÁRIOS FLORESTAIS

#### 3.3.1. Ocorrência de erros em inventários Florestais

De acordo com Cunia (1965), qualquer estimativa de volume proveniente de amostras de inventários florestais está sujeita a três principais fontes de erros: os provenientes do processo de amostragem; do método estimativo; e os erros de medição. Quando se trata de funções de crescimento florestal, Gertner (1991) relata que diversos tipos de erros acometem as variáveis independentes, como o erro de medição, resultante da má qualidade das medições, muitas vezes relacionada a restrições de tempo e recursos financeiros, o erro de amostragem, resultante da adoção do processo de amostragem e depende do tamanho da amostra, dimensões das unidades amostrais e método de amostragem, o erro de processamento, resultando da utilização de variáveis já estimadas para a confecção de novas funções, resultando em um erro de modelagem estocástico, progressivo, que normalmente não são contabilizados e por último o erro de agrupamento, decorrente de erros no agrupamento dos dados em classes, como por exemplo, classes de diâmetro à altura do peito, 1,3 m do solo (DAP) e altura total.

Para McRoberts e Westfall (2016), a incerteza nas estimativas de um modelo estatístico é frequentemente ignorada, tornando os resultados das estimativas de precisão erroneamente otimistas. Essa incerteza nas estimativas de modelos estatísticos pode ser atribuída a quatro fontes primárias: (1) especificação do modelo, (2) incerteza nos valores das variáveis independentes, (3) incerteza nas estimativas dos parâmetros do modelo e (4) variabilidade residual em torno das previsões do modelo.

Quando utilizados processos de amostragens, alguns indivíduos da população são utilizados para a estimação dos parâmetros estatísticos, os valores estimados para toda a população não são "valores verdadeiros", mas sim "estimativas", que estão sujeitas ao chamado erro de estimativa ou de amostragem. A razão para esses erros é o fato de que é possível selecionar exatamente  $\binom{N}{n}$ , ou seja, amostras de tamanho  $n$  de uma população de tamanho  $N$ , e que as amostras mostram variação aleatória. Portanto, em resumo, ao realizar inferências sobre toda a população com base nas amostras, envolvem esse componente aleatório, que assim como as estimativas, também pode ser calculado. Os desvios dos "valores verdadeiros" também podem ser decorrentes de erros de medição ou de atribuições errôneas (por exemplo, classificação de espécies), e em alguns casos, onde os parâmetros populacionais são derivados com a ajuda de funções ou modelos estatísticos, os erros de estimativas também podem

influenciar a confiabilidade dos resultados. Em contraste com o erro de amostragem, esses erros são chamados erros não-amostrais (BRASSEL; LISCHKE; 2001).

Assim, os erros de amostragem e não-amostrais podem influenciar a acurácia dos resultados de uma estimativa, que significa desviar o valor estimado do valor verdadeiro, e na precisão, que se refere a dimensão desse desvio da estimativa quando o procedimento de amostragem é repetidamente aplicado à população. Portanto, uma estimativa pode ser precisa ou imprecisa, tendenciosa ou imparcial. Tendenciosidades nos resultados dos inventários florestais podem ocorrer devido a erros de medição, erros de estimativa, assim como também podem ser decorrentes dos métodos estatísticos. Como normalmente não são consideradas no cálculo do erro de amostragem, estimativas tendenciosas podem ocorrer mesmo quando o erro de amostragem for baixo e os resultados aparentemente são muito fiáveis (COCHRAN, 1977).

### 3.3.2. Características dos erros de medições

De acordo com Omule (1980), um erro de medição é a diferença entre o valor verdadeiro e a medição inexata de um objeto qualquer, podendo ser mensurada em termos de tendenciosidade, que é uma distorção sistemática de uma medida a partir do valor verdadeiro de um objeto a ser medido. E aleatoriedade, que é a difusão de várias medições do mesmo objeto em torno de sua média. Considerando que a maior parte das atividades de campo de um inventário florestal se resume a medições das dimensões de árvores e dos povoamentos florestais, é de suma importância que essas medições sejam precisas. Porém, é muito comum encontrar variações significantes nas medições de diferentes equipes de campo, que na maioria das vezes está relacionada à tendenciosidades dos medidores e a defeitos dos equipamentos utilizados.

Segundo Canavan e Hann, (2004), existe erros quando há diferenças entre um valor observado ou estimado de um determinado atributo ou população e o seu valor real. Devido ao nível de precisão com que as medições são feitas, a presença de erros de medição na coleta de dados é inevitável, podendo levar a estimativas tendenciosas e imprecisas. Diferente dos erros amostrais, o aumento do tamanho da amostra não é tipicamente um método viável para reduzir os efeitos dos erros de medição, já que esses erros podem ter característica cumulativa. Sendo assim, os métodos para a correção dos erros de medições são baseados na distribuição probabilística dos erros.

Para Kangas e Kangas (1999), o efeito dos erros de medição dos valores de CAP nas variáveis de área basal e diâmetro médio são considerados aditivos, possuem distribuição

normal e mutuamente independente entre os povoamentos florestais. Já os efeitos dos erros de medições dos valores de CAP e altura total, quando utilizados em métodos estatísticos para a estimativa do crescimento individual em diâmetro, altura total, volume e altura da copa, são considerados multiplicativos e possuem distribuição log-normal.

Esses autores também relatam que a estrutura dos erros varia de acordo com a fonte do erro. Por exemplo, erros de medições aditivos no inventário florestal, estão perfeitamente correlacionados com os planos de manejo de um determinado povoamento florestal (correlação interna do povoamento). Por outro lado, os erros de medição em diferentes povoamentos florestais podem ser independentes (correlação entre povoamentos). Sendo assim, pode se supor que erros de estimativa são correlacionados positivamente com os planos de manejo de um determinado povoamento, portanto, se o crescimento de um povoamento é superestimado com um determinado tratamento, o mesmo provavelmente acontecerá com alternativas de tratamento para o mesmo povoamento. Porém, se estas correlações não podem ser observadas, apenas um tratamento por vez poderá ser aplicado em um povoamento, em um determinado período de tempo. Os erros de estimativa também podem estar correlacionados positivamente com os povoamentos e o planejamento dos períodos considerados.

Os erros para diferentes produtos florestais em um determinado povoamento florestal podem estar correlacionados, por exemplo, se o crescimento de um povoamento em determinado período é superestimado, então o valor do crescimento do estoque no final deste período também será superestimado, o que é um erro de característica aditiva. Os erros também podem ser independentes dos valores das variáveis medidas ou estimadas, ou dependentes deles, como por exemplo, uma tendência de os erros de medições das alturas das árvores serem maiores ou o contrário, que nesse caso é um erro de característica multiplicativa. Assim, o efeito dos erros multiplicativos é maior que o aditivo.

### 3.3.3. Efeitos nas estimativas do inventário florestal

Segundo Gertner (1990), é dada muita ênfase aos erros provenientes do processo de amostragem e do método de estimativa, e significativamente pouca ou nenhuma atenção para os erros de medições, sendo comum a suposição de que não existem erros nas medições das unidades amostrais. De acordo com Kangas (1998), embora o problema dos erros de medições nas calibrações dos dados não seja normalmente considerado no contexto florestal, esses erros afetam a construção e a interpretação dos modelos estatísticos, principalmente se as modelagens estiverem sendo usadas para o estudo de fenômenos biológicos. O autor ainda relata a

necessidade da consideração desses erros, caso a interpretação dos modelos estatísticos e o significado dos coeficientes seja importante.

Quando se trata da regressão linear, segundo Stefanski (2000), uma das consequências em ignorar os erros de medições é atenuação do coeficiente de inclinação, ou seja, uma tendência à zero, resultando em ajustes de modelos tendenciosos e fazendo com que a relação entre as variáveis independentes e dependentes pareçam mais fracas do que realmente são. Em caso de modelos multivariados e não-lineares, a situação é ainda mais complicada, e dependendo da relação entre os valores medidos e reais e as outras variáveis do modelo, os reais efeitos dos erros de medições podem estar ocultos, a exibição da relação de dados observada não está presente nem mesmo nos dados reais, ou até mesmo os sinais dos coeficientes estimados podem estar alterados (KANGAS, 1998). Kangas (1996) relata que na estimativa de volumes individuais de árvores, se os modelos forem de natureza linear, com uma média dos desvios igual à zero, significa a não tendenciosidade do modelo ajustado. Porém, se a natureza do modelo não for linear, os erros com média zero podem apresentar tendenciosidades nas estimativas.

Também estudando os efeitos dos erros de medições nas variáveis dos coeficientes de modelos de crescimento e predição de crescimento florestal, Kangas (1998), ao simular os efeitos dos erros de medições nas variáveis valores de DAP, altura total e altura comercial, constatou que, devido à correlação entre as variáveis independentes do modelo, quando uma variável era alterada, todos os coeficientes do modelo também eram, concluiu então que os erros de medições afetaram os resultados de crescimento e que em casos de tendenciosidade consideráveis nas medições, os coeficientes do modelo com tendenciosidades podem causar problemas.

#### 3.3.4. Estudos sobre a influência dos erros de medições

Embora existam poucos estudos publicados no Brasil, os erros não amostrais, dentre eles, os erros de medições, são objeto de estudo de diversos pesquisadores internacionais, como por exemplo, Gertner e Dzialowy (1984), que por meio de simulação, estudaram os efeitos dos erros de medições nas variáveis: incremento em valores de DAP; diâmetro de copa e mortalidade, todos componentes da estimativa de crescimento florestal. Os autores concluíram que os erros de medições podem causar sérios efeitos nas estimativas dos modelos, constatando que pequenas variações nas medições dos valores de DAP podem causar tendenciosidades na

estimativa da área basal, podendo uma variação de 10% nas medições dos valores de DAP causar erros de até 25% na estimativa da área basal.

Ao estudar o efeito dos erros de medições na estimativa de volumes individuais para o Inventário Florestal Nacional Austríaco, Berger et al. (2014), com o objetivo de quantificar esse efeito, utilizaram as abordagens da lei de propagação do erro e a simulação de Monte Carlo e as estimativas da incerteza total também incluíram variabilidade associada ao próprio modelo. Os autores observaram que ambas as abordagens indicaram que o desvio padrão relativo sobre as parcelas das estimativas de volume para todas as espécies de árvores é de aproximadamente 11%, ao verificarem a participação de cada fonte de erro na incerteza total, os autores descobriram que o erro na medição do diâmetro superior foi o que deu a maior contribuição. Sendo assim, o aumento da acurácia das medições do diâmetro superior possui o maior potencial de melhoria na precisão das estimativas globais. Assim, concluíram que embora a incerteza das estimativas de volumes de fuste individuais possa ser considerada negligenciável para avaliações a níveis nacionais, é muito relevante para estimativas em pequena escala e para parcelas utilizadas para treinamento.

Com o objetivo de avaliar a magnitude da tendenciosidade introduzida por erros de medições aleatórios na estimativa de crescimento de árvores individuais em parcelas permanentes e temporárias do inventário nacional sueco, que combina os dois tipos de parcelas, Suty, Nyström e Ståhl (2013), utilizaram a expansão em série de Taylor e os dados do inventário nacional sueco para comparar a tendenciosidade esperada na estimativa de crescimento do volume do fuste para diferentes classes de diâmetro de *Pinus sylvestris* L. e *Picea abies* (L.) Karst. Os resultados encontrados mostraram que ambos os tipos de parcelas foram pouco afetados pelos erros aleatórios de medições, e a comparação empírica mostra que as maiores variações individuais foram encontradas nas árvores de maiores diâmetros. Segundo os autores, essa maior diferença pode ser explicada pela pouca amostragem para a confecção dos modelos de volume para essa classe de diâmetros.

A propagação de incertezas de estimativas de volume para árvores individuais para a estimativa de volume de grandes áreas foi estudada por McRoberts e Westfall (2016). Os autores relatam que a incerteza nas estimativas dos modelos é geralmente ignorada, de modo que o resultado e a precisão da estimativa de volume de grandes áreas normalmente são otimistas. Nesse contexto, o objetivo principal do trabalho desenvolvido foi estimar os efeitos da incerteza das previsões nas estimativas de volume de grandes áreas, devido ao erro de medição do diâmetro e altura, incerteza de parâmetro e variância residual do modelo. Devido à complexidade associada às múltiplas fontes de incerteza, natureza não-linear dos modelos e

heterocedasticidade, foram utilizadas abordagens de simulação pelo método de Monte Carlo. Observou-se que os efeitos da incerteza de estimativas de volume, estoque e crescimento em grandes áreas, não foram significativos quando foram utilizados estimadores por meio de amostragem aleatória simples. No entanto, com o uso de estimadores estratificados, que reduzem os efeitos da variabilidade da amostragem, os efeitos da incerteza de previsão do modelo não foram necessariamente insignificantes. Portanto, os efeitos adversos da incerteza dos parâmetros e da variância residual foram maiores do que os efeitos dos erros de medição do diâmetro e da altura, concluindo-se de que deve-se ter cautela com estimativas de volume de grandes áreas que não consideram as incertezas das estimativas dos modelos estatísticos.

### 3.3.5. Estudos para a mitigação dos efeitos dos erros de medições

Ao estudar a sensibilidade do erro de medição na estimativa de volume de um povoamento florestal, Gertner (1990) apresentou uma metodologia para avaliar a importância relativa do erro de medição na média e variância do volume de um povoamento florestal estimado por uma função não-linear. Ao concluir que em comparação com o erro de amostragem os erros de medição possuem menor influência sobre a estimativa do volume, mas mesmo assim são significantes, o autor ainda relata a necessidade de se fazer um levantamento das fontes de erros que afetam as estimativas de volumes dos inventários florestais, para que assim, possam ser desenvolvidos métodos de levantamento de dados que minimizem os efeitos das fontes de erros identificadas.

Canavan e Hann (2004) desenvolveram métodos de correção que utilizam a distribuição probabilística dos erros de medições para conter os efeitos negativos dos mesmos, embora existisse a suposição de que a distribuição dos erros fosse sempre normal, o estudo desenvolvido pelos autores mostrou que essa afirmação nem sempre é correta e apresentou o método de modelagem de distribuição de erros em duas etapas, que segundo os autores é um método mais flexível para a modelagem dos erros de medições.

Considerando que medições precisas muitas vezes são onerosas, e os pesquisadores podem enfrentar uma situação de *trade-off* entre a alta precisão das medições e uma grande amostragem, Zschokke e Lüdin (2001) estudaram o equilíbrio ótimo entre tamanho amostral e precisão de medições, apresentando análises estatísticas com base em dados medidos incorretamente. Através do teste *t* de Student para amostras independentes, observaram que o efeito das medições imprecisas sobre a precisão de um experimento pode ser estimado, as medições imprecisas resultam em uma pequena perda de precisão nas estimativas e em alguns

casos é possível determinar um ótimo de precisão nas medições. Assim, os autores reforçam que não recomendam o uso de medições imprecisas, mas em casos que a melhor precisão é onerosa, pode ser mais eficiente. Em termos de tempo e/ou custos totais, simplesmente aumentar o tamanho da amostra em vez de maximizar a precisão da medição, pode não ser recomendado, caso esses erros tenham característica multiplicativa.

Kangas (1996) estudou a influência dos erros de medições na estimativa de volume. O autor comparou o uso da expansão de séries de Taylor, simulação de Monte Carlo e modelagem recursiva, com relação à redução da tendenciosidade em um experimento de simulação. Todos os métodos apresentaram reduções das tendenciosidades, porém, pode ser observado que quando as suposições sobre os modelos não se mantiveram, as correções, não necessariamente foram capazes de melhorar as estimativas. Assim, foi concluído que os métodos escolhidos diferem em relação às suposições, a natureza das informações utilizadas e a seleção do melhor método é relativa à situação.

Uma compilação de erro em inventário florestal mostra os efeitos dos erros individuais e em grupos de erros na precisão das estimativas. Com o objetivo de desenvolver uma compilação de erros para o inventário nacional da Suíça e identificar as fontes de erros, que incluem erros de medições de atributos quantitativos e qualitativos, erro de regressão e erro de amostragem, Gertner e Khol (1992), observaram que em geral, as estimativas não eram muito sensíveis a erros aleatórios imparciais, mas eram sensíveis a erros sistemáticos de medição.

### 3.3.6. Efeito dos erros de medições no planejamento da produção florestal

Para Gertner e Dzialowy (1984), a ocorrência de erros de medições nos inventários florestais podem afetar seriamente a precisão e acurácia de estimativas de modelos estatísticos, e conseqüentemente a isso, todo o planejamento da produção florestal.

De acordo com Kangas e Kangas (1999), considerando que as fontes de erros possuem características diferentes, os efeitos também são diferentes, assim como a interpretação desses efeitos pode ser diferente, como, por exemplo, em um caso onde o preço da madeira foi superior ao esperado, em que a decisão pode se adaptar à nova situação através da venda de um maior volume de madeira. Por outro lado, se a estimativa do crescimento de um determinado povoamento florestal é superestimada ou subestimada, não é possível se adaptar a essa situação, já que os verdadeiros valores permanecerão desconhecidos até o momento da colheita desse povoamento.

Considerando que para a elaboração do planejamento do manejo florestal são utilizadas informações de diversas variáveis biométricas florestais e que na maioria das vezes essas variáveis são estimadas por meio de sistemas de simulação, assume-se que inevitavelmente contenham diversas fontes de incertezas que afetaram o planejamento, como os erros de estimativa e erros de medição. De acordo com esses autores, quando se trata de otimização e o uso da programação linear, normalmente, a incerteza na estimativa da produção florestal causa tendenciosidades otimistas nos valores observados na função objetivo, que aumenta com a variância do erro. Porém, a magnitude das tendenciosidades também depende da estrutura e das relações do erro com as variáveis objetivas.

Por meio de simulação, os autores citados estudaram o efeito das incertezas na otimização da produção florestal, provenientes dos erros de estimativas e de medições, considerando a correlação destes erros e as relações entre as variáveis objetivo, bem como o efeito de duas diferentes abordagens de otimização. Os autores observaram que as relações entre as variáveis objetivo e a dos erros tiveram um efeito notável nos resultados de otimização. A correlação entre os erros das alternativas de tratamento mostrou-se importante: quanto maior a correlação entre os tratamentos, menor foi o valor absoluto da tendência. Como foi considerado para o estudo que os erros de medições eram de característica aditiva e os erros de predição de característica multiplicativa, constatou-se que o efeito dos erros multiplicativos foi maior do que o dos erros aditivos. Uma vez que os erros de medição foram assumidos como sendo aditivos e perfeitamente correlacionados entre as alternativas de tratamento, seu efeito sobre o valor da função de utilidade observada foi considerado pouco significativo. Porém, os autores ainda relatam que se os erros de medição também fossem assumidos como de característica multiplicativa, provavelmente os resultados teriam sido diferentes.

Mäkinen, Kangas e Mehtätalo (2010), com o objetivo de formar uma imagem realista sobre as vantagens do investimento em dados de maior acurácia e ampliar a compreensão dos riscos e incertezas inerentes à tomada de decisões sobre manejo florestal, analisaram as distribuições, correlações e tendências de erros ao usar métodos alternativos de inventário florestal. Seus efeitos sobre o planejamento da produção florestal, bem como os diferentes métodos de simulação de erros, afetam as estimativas de perdas econômicas causadas por um período de colheita não otimizado por conta desses erros. A avaliação foi realizada por meio do Valor Presente Líquido (VPL) e Valor Esperado de Informação Perfeita (VEIP), que fornece um limite para o valor potencial do experimento e, portanto, se este limite superior é menor que o custo da experimentação, essa não deve ser realizada. Os autores observaram que os erros tinham distribuição normal, apresentavam tendências notáveis e mostraram correlações

significativas entre os erros e diversos atributos, sendo que, o fator que mais afetou as perdas de otimização foi a forte tendência em subestimar as propriedades do crescimento do estoque dos povoamentos florestais maduros. Também foi observado que os métodos de simulação de erros, fazem significativa diferença na análise dos efeitos dos erros, sendo muito importante usar um desses métodos de simulação que gere erros realistas.

### 3.4. GESTÃO DA QUALIDADE

#### 3.4.1. Definição de qualidade

De acordo com Deming (2000), a qualidade está ligada a um grau previsível de uniformização e fiabilidade a um custo baixo, adequado às necessidades do mercado, ou seja, a conformidade de um produto com suas especificações técnicas. Para Juran (1990), existe uma necessidade de se buscar uma unanimidade para a conceituação de qualidade para que haja maior facilidade na discussão do assunto. Para o autor, a qualidade está relacionada à adequação ao uso e a satisfação da necessidade dos clientes. Já Feigenbaum (1991), considera qualidade todas as características de um produto ou serviço referentes a marketing, engenharia, manufatura e manutenção, que atenderam às expectativas dos clientes, ou seja, está ligada a satisfação dos clientes assim como também a melhoria da colaboração e comunicação entre os departamentos das organizações. Para Crosby (1994), a qualidade está relacionada à conformidade com as exigências (requisitos e especificações), e a sua ênfase está na produção sem defeitos e no envolvimento e motivação dos recursos humanos das organizações.

Garvin (1992) relata que definir qualidade é uma tarefa difícil, devido à quantidade de conceitos complexos intrínsecos à sua definição, a interpretação de qualidade pode e é feita de formas diferentes. Assim, o respectivo autor definiu oito dimensões que se inter-relacionam para a análise da qualidade: desempenho, características, confiabilidade, conformidade, durabilidade, atendimento, estética e qualidade percebida.

#### 3.4.2. Histórico do controle da qualidade

De acordo com Montgomery (2000), anterior ao surgimento do conceito de linha de montagem, as inspeções de qualidade dos produtos eram realizadas pelo próprio artesão, que o produzia e levava em consideração as características pré-estabelecidas pelos clientes. Com o surgimento do conceito de linha de montagem, a preocupação com a qualidade dentro das

organizações no início do século XX passou a ser muito grande e as inspeções tornaram-se fundamentais no controle de qualidade e a partir da década de 1920 a qualidade passou a ser vista como uma função gerencial diferente das outras dentro das organizações.

Devido a mudanças políticas, sociais, ambientais e econômicas, ao longo da história, a forma como as organizações planejam, definem, adquirem, controlam e demonstram a qualidade se modificou, porém, ao longo de todo esse tempo a qualidade assumiu diferentes padrões, que alguns autores chamam de eras da qualidade. De acordo com Lucinda (2010), marcada por incertezas acerca da qualidade dos produtos, a primeira era da qualidade, conhecida como era da inspeção, ocorreu na década de 1920, quando a qualidade era voltada para a linha de produção e a inspeção era realizada no produto pronto, não era suficiente para atender a uma demanda crescente e limitava-se a descobrir defeitos, deixando a prevenção em segundo plano.

Entre as décadas de 1930 e 1940 ocorreu a segunda era, a do controle estatístico da qualidade, onde o foco passou a ser o desempenho e a qualidade do processo e apareceram os setores de qualidade nas organizações. Ficou marcada pelo uso da inspeção por amostragem em detrimento da inspeção total da produção. Uma importante figura dessa era foi o estatístico norte americano W.A Shewhart, que desenvolveu um sistema para mensurar a variabilidade na linha de produção que ficou conhecido como Controle Estatístico de Processo – (CEP) (LUCINDA, 2010).

A terceira, era do controle da qualidade total, ocorreu na década de 1950. Nessa era houve uma mudança e o foco deixa de ser no produto ou serviço para ser no sistema. A qualidade passou a ser responsabilidade de toda organização e foi marcada pela padronização, abordagem de longo prazo e garantia para o consumidor que o produto seguia determinados padrões e satisfação dos clientes (LUCINDA, 2010).

A quarta era da qualidade é a gestão da qualidade total, que iniciou na década de 1980, onde com a crescente globalização da economia e competição pelos mercados consumidores, as empresas passaram a conduzir suas ações considerando os mercados, a satisfação dos clientes, o conhecimento e habilidades dos colaboradores. Outro destaque da quarta era é a visão estratégica, em que a qualidade passa a ser requisito necessário para a sobrevivência das organizações no longo prazo, considerando a alta competitividade dos mercados. A era da gestão da qualidade total é embasada por diversos conceitos e teorias das quais se destacam: a teoria do custo da qualidade, teoria da engenharia da confiabilidade e teoria do zero defeito (LUCINDA, 2010).

### 3.4.3. Sistema de gestão da qualidade

A Gestão da Qualidade Total é uma estratégia de administração orientada a criar consciência da qualidade em todos os processos organizacionais, assim como também pode ser considerada uma filosofia que julga a qualidade como o ponto central das atividades de uma organização e deve ser disseminada em todas as atividades da organização e praticada por todos os envolvidos. O “Total” significa que a implantação de um processo envolve todos os níveis organizacionais, colaboradores (independentemente da posição hierárquica), bem como os elementos envolvidos no processo, ou seja, distribuidores, fornecedores, demais parceiros de negócios, ambiente onde a empresa atua, entre outros. Desse modo, a comunicação organizacional, em todos os níveis, torna-se uma peça-chave da dinâmica da organização e todos possuem uma gama mais ampla de atribuições, cada um sendo diretamente responsável pela consecução dos objetivos da organização (LUCINDA, 2010).

Considerando um sistema um conjunto de partes que interagem e se interdependem formando um todo único com objetivos e propósitos em comum, efetuando sinergicamente determinada função, o sistema de gestão da qualidade compõe-se de diversos estágios, como o planejamento, a organização, o controle, a liderança, entre outros. Deve ser um sistema eficaz que integra o desenvolvimento da qualidade, a manutenção da qualidade e os esforços de melhoria da qualidade entre os diferentes setores da empresa, com o objetivo de criar produtos/serviços com o máximo de economia e a plena satisfação dos consumidores (OLIVEIRA, 2003).

### 3.4.4. ISO 9000

Baseada na definição de qualidade como "conformidade com especificação", a ISO 9000 é uma série de normas internacionais que estabelecem requisitos e recomendações para a concepção e avaliação de sistemas de gestão. Com o objetivo de garantir que os fornecedores desenvolvam, criem e entreguem produtos e serviços que atendam a padrões predeterminados, suas normas especificam como as operações de gestão devem ser conduzidas (BUTTLE, 1997).

De acordo com Mariani (2006), inspiradas em normas militares criadas para a produção de material bélico, a primeira tentativa de se estabelecer um modelo viável de sistema de garantia da qualidade, surgiu como um dos esforços para vencer a má reputação de baixa produtividade e qualidade, que causou um forte revés no setor industrial britânico nas décadas de 1960 e 1970. Com a globalização de mercado e grande aumento nas exportações, surgiu a

necessidade de atender as normas de qualidade de cada país. Assim, coincidindo com o auge da economia japonesa, no ano de 1985 a Comunidade Econômica Europeia, buscando a padronização, reconheceu os vários regulamentos técnicos e normas nacionais dos estados membros e decorrente dessa grande necessidade de padronização, no ano de 1987 foi fundado o Comitê Técnico ISO/TC 176, em Genebra, na Suíça, que lançou a primeira versão das Normas da série ISO 9000 sobre sistemas de qualidade.

Originalmente idealizadas para a indústria, a série ISO 9001 tem como enfoque a garantia da qualidade e forma um conjunto consistente e uniforme de procedimentos, elementos e requisitos para a garantia da qualidade, ou seja, constitui basicamente uma metodologia proponente de um modelo de implementação de sistemas da qualidade, aplicável a qualquer tipo de empresa, em qualquer parte do mundo. Essas normas propõem que os processos de produção industrial ou de prestação de serviços sigam critérios rigorosamente estabelecidos por escrito e passíveis de auditoria por terceiros a qualquer momento. É fortemente baseada na documentação e recomenda o uso de quatro níveis de documentos: o manual da qualidade, os procedimentos, as instruções de trabalho e os registros da qualidade e um dos aspectos mais importantes para a obtenção da certificação e a manutenção do selo ISSO são os constantes processos de auditoria internas, realizadas com o intuito de identificar possíveis não conformidades, buscar correções, e até mesmo a prevenção de futuros problemas. (MACHADO, 2008).

#### 3.4.5. Auditoria

De acordo com Araújo (2001), a palavra auditoria é originária do termo latim *audire* “ouvir” e inicialmente foi traduzida pelos ingleses como *auditing* para designar exclusivamente o conjunto de procedimentos técnicos para a revisão dos registros contábeis. Atualmente com um sentido bem mais amplo, auditoria é simplesmente a comparação imparcial entre o fato concreto e o desejado, com o intuito de expressar uma opinião ou de emitir comentários materializados em relatórios de auditoria.

Segundo Attie (2000), por meio da auditoria é possível se formar uma visão mais crítica do funcionamento de uma organização, determinado setor ou atividade, que permite a capacidade de responder a uma série de questões financeiras e operacionais da organização. Para o autor, a auditoria pode ser uma prática que permite o acompanhamento e identificação de possíveis distorções que possa haver no processo empresarial, seja na área financeira, de recursos humanos, marketing ou operacional. A opinião técnica proveniente da auditoria

permite verificar por meio de um minucioso e sistemático exame, se os objetivos e alterações patrimoniais têm ocorrido de forma eficiente, eficaz e adequada ao planejado e aos objetivos da organização, desta forma é uma importante ferramenta para o planejamento e adequada estratégia empresarial.

Ainda segundo o autor, a auditoria da qualidade é uma importante ferramenta para a gestão da qualidade e tem como principais objetivos avaliar a conformidade dos procedimentos da qualidade com as normas estabelecidas por clientes ou pela própria organização, a aderência dos métodos empregados com os procedimentos estabelecidos, o processo de tomada de decisões, a conformidade das características do produto ou serviço com as especificações, verificar e melhorar a eficácia do sistema de qualidade, detectar potenciais problemas na qualidade dos produtos ou serviço e permitir a administração uma visão mais profunda da organização. Segundo Ramos (1991), para um uso adequado dessa ferramenta, alguns pontos importantes devem ser levados em consideração, são eles:

- A auditoria pode ser realizada por qualquer profissional, desde que seja tecnicamente apto e capacitado para a atividade e não tenha nenhum conflito de interesses com o setor ou atividade que passará pelo processo de auditoria, para que assim seja garantida a imparcialidade.
- Uma vez que o objetivo principal da auditoria é verificar a eficácia do sistema da qualidade implantada, conseqüentemente seu caráter deve ser muito mais de prevenção do que de correção de problemas.
- Por servir como mecanismo de realimentação, as auditorias são um importante sistema de informações para a administração da empresa, pois possibilitam o aperfeiçoamento da qualidade de seus produtos e serviços.

As auditorias também podem ser divididas quanto à execução, podendo ser externa, quando executadas por outras organizações, tais como clientes e empresas especializadas, ou internas, quando executadas pela própria organização, e costumam ser subdivididas em auditoria de sistemas, que examina a eficácia do sistema da qualidade; auditoria de processos, que avalia a proximidade entre métodos e procedimentos estabelecidos e a prática real; e auditoria de itens (Produtos e/ ou serviços), que determina a conformidade de produtos ou serviços com as especificações técnicas. Quanto à ocasião da realização, as auditorias ainda podem ser divididas em pré-contrato, quando é realizado antes da celebração de um contrato comercial; pós-contrato, quando é realizada imediatamente após a celebração do contrato comercial; auditoria de projeto-desenvolvimento/pré-produção, quando executada nas fases de

desenvolvimento do produto/serviço e/ou pré-produção e auditoria de produção/construção, quando é executada na fase de produção/construção do produto (ATTIE, 2000).

### 3.5. CONTROLE DA QUALIDADE EM INVENTÁRIO FLORESTAL

#### 3.5.1. Controle da qualidade no setor florestal

De acordo com Jacovine et al. (2005), embora o controle de qualidade nas indústrias brasileiras, principalmente nas exportadoras, foi incorporado rapidamente, em razão de exigências do mercado desde o final da década de 1980, as indústrias brasileiras iniciaram um grande esforço na busca da certificação da qualidade pela série ISO – 9000. No setor florestal, essa incorporação aconteceu de forma mais lenta, chegando primeiramente na indústria e posteriormente passando para as atividades de campo, sendo possível encontrar uma grande quantidade de publicações nas mais diversas áreas do setor.

#### 3.5.2. Metodologias para auditoria e controle da qualidade de inventários florestais

##### 3.5.2.1. Inventário Florestal Nacional Suíço (IFNS)

Embora existam diversos estudos sobre erros de medições, que na maioria das vezes são subsidiados por dados provenientes de auditorias de inventário florestal, livros e artigos científicos que contenham informações sobre a metodologia utilizada na avaliação da qualidade desses dados são raros, essas informações são muitas vezes encontradas em relatórios e informativos de grandes empresas do setor florestal ou de inventários florestais nacionais (IFN). Segundo Brassel e Lischke (2001), considerando que os dados sobre desenvolvimento e estado das florestas foram os principais produtos do Inventário Florestal Nacional Suíço (IFNS), a preocupação com a qualidade dos dados era de fundamental importância. Assim, o processo de garantia de qualidade de dados pode ser dividido em três etapas: prevenção de registros de dados imprecisos, controle de qualidade de rotina durante a coleta de dados e verificação antes da análise de dados. Segundo esses autores, todos os dados passam pela prevenção de dados imprecisos, com o objetivo de que os dados atendam os critérios de qualidade de precisão, conformidade com o valor real, integridade, comparabilidade, plausibilidade, homogeneidade, representatividade e reprodutibilidade.

Para que a qualidade dos dados fosse garantida, o processo de controle de qualidade dos dados teve diversas atividades, como por exemplo, a verificação e documentação da metodologia e das normas do inventário, o planejamento da coleta dos dados, a seleção e calibração dos equipamentos de trabalho e instrumentos de medição, computadores adequados para a atividade, recrutamento de pessoal qualificado e a auditoria.

Aproximadamente 11% de todas as parcelas mensuradas foram sorteadas aleatoriamente para passarem pelo processo de auditoria que foi realizado por uma equipe específica de controle. A avaliação da auditoria foi realizada por meio de gráficos de relação entre os valores encontrados para mesma parcela nos momentos da auditoria e do inventário e por meio da ferramenta estatística teste  $t$  de Student, para averiguar se existia diferença estatística, diferença entre as médias para avaliar a tendenciosidade e o desvio padrão das diferenças para avaliar a aleatoriedade dos erros. Tendo como intuito a melhora contínua das equipes de campo e a prevenção como combate aos erros de medições, a auditoria realizada nesse inventário não teve como pauta a reprovação e remedição de parcelas, e os resultados foram utilizados como base para os treinamentos das equipes de campo.

### 3.5.2.2. Programa de Garantia de Qualidade do inventário florestal nacional dos EUA

Segundo os Estados Unidos da América (EUA) - Departamento de Agricultura - (DAEUA) – Serviço Florestal (SF) (2016), o Programa Nacional de Inventário e Análise Florestal (PNIAF) está comprometido em fornecer informações completas, imparciais, acuradas, com precisão e representatividade; para isso, desenvolveu o Programa de Garantia de Qualidade (PGQ), que possui uma estrutura que promove a consistência dos dados durante todas as etapas do processo de inventário florestal nacional dos EUA.

De acordo com Pollard (2005), todos os elementos do PNIAF incluem técnicas operacionais de garantia da qualidade. O planejamento é realizado através da preparação do sistema formal de gerenciamento e implementação de planos de campo. Esses planos devem estar em conformidade com os padrões nacionais americanos para os sistemas de controle de qualidade, nas partes A (Sistemas de Gerenciamento) e B (Coleta e Avaliação de Dados Ambientais) e são revisados pelos gerentes regionais e os planos finais são aprovados pelos gerentes nacionais.

A documentação de métodos é uma atividade que demanda uma grande quantidade de esforço, considerando que todas as etapas do PNIAF produzem uma grande quantidade de documentação de métodos, a equipe de aquisição de dados tem como principal responsabilidade

documentar metodologias e implementações do controle de qualidade durante as atividades de coleta de dados. Estes documentos são atualizados regularmente e passam constantemente por revisões (POLLARD, 2005).

Nos treinamentos das equipes de campo, as equipes são treinadas, testadas e certificadas de acordo com suas capacidades de gerar dados de boa qualidade, que atendam os objetivos de qualidade de medição e as tolerâncias estabelecidas pelo programa. Nas atividades de treinamento, normalmente os membros de equipes de campo mais experientes são agrupados com membros iniciantes para que estes adquiram uma experiência adicional de vivência nas atividades. Os treinadores regionais de equipes de campo reúnem-se anualmente durante uma sessão nacional de pré-treinamento, para rever e atualizar os programas de treinamento, além de nivelar os treinadores, a fim de assegurar a comparabilidade nacional das operações regionais de treinamento (POLLARD, 2005).

A verificação da qualidade tem o objetivo de controlar a qualidade durante as operações de campo. Os dados são verificados e remensurados das seguintes formas:

- Verificação de Quente (de acompanhamento): inspeção normalmente realizada como parte do processo de treinamento, o inspetor deve estar presente na parcela e fornece um feedback imediato sobre o desempenho da equipe de campo;
- Verificação fria (de validação): inspeção realizada como parte do treinamento ou como parte do programa de controle de qualidade em andamento. Nesse tipo de auditoria, o inspetor tem os dados das medições realizadas pela equipe de campo e essa não está presente no momento. A inspeção pode incluir toda a parcela ou um subconjunto da parcela e tem como objetivo fornecer aos supervisores de campo regionais informações de controle de qualidade para auxiliar no gerenciamento do inventário;
- Verificação às Cegas (Total): nesse tipo de inspeção é realizada uma remedição completa das parcelas por uma equipe qualificada, sem o acesso aos dados das medições realizadas pelas equipes de campo. Os dados da inspeção e do inventário são mantidos separadamente e nenhum dado é corrigido. Essas inspeções têm o único propósito de gerar estimativas de erros de medições para todo o programa.

Assim como ocorreu no inventário IFNS, a metodologia de auditoria do PNIAF abrange aproximadamente 11% do total de parcelas mensuradas, todos os dados provenientes das checagens às cegas são avaliados por uma equipe especializada através de métodos tabulares e gráficos, como cartas de controle, que avaliam diferenças regionais e temporais além da conformidade com os objetivos da qualidade de medições. Para os outros tipos de checagem, as medições de dados contínuos, como valores de DAP, Altura, Azimute e Distâncias são

avaliadas com base em limites percentuais pré-estabelecidos como objetivos de qualidade de medição, assim como, também é testada a significância estatística das diferenças (viés) entre as medições provenientes das checagens e do inventário florestal.

Os dados categóricos como diâmetro de copa, transparência foliar, danos em árvores e povoamentos, dentre outros determinados por estimativa ocular, são avaliados por meio de testes de concordância entre os avaliadores e as equipes de campo. Em alguns casos como plantas bioindicadoras e contagens de plântulas, não é possível para o auditor e a equipe de campo avaliar os atributos das mesmas plantas. Nesses casos, a qualidade dos dados é avaliada com base na probabilidade de que a distribuição dos valores obtidos pela auditoria e a equipe de campo, provenham da mesma população e que algumas diferenças sejam devidas a variação aleatória.

### 3.5.2.3. Metodologia para a auditoria de inventário florestal no setor privado brasileiro

Diferente dos inventários florestais realizados pelo poder público, que normalmente possuem cunho estratégico, os realizados por empresas do setor florestal, na sua grande maioria possuem cunho tático (SANQUETTA et al. 2009). Por possuir estreita ligação com a maximização dos resultados, sucesso econômico e perpetuação da atividade no setor, o planejamento da produção florestal dessas empresas é baseado em informações provenientes de inventários florestais e devem ser o mais preciso possível. Devido às características do setor florestal brasileiro de longo horizonte de planejamento, alta quantidade de capital investido e imobilizado e grandes extensões de terras, as diversas atividades dessas organizações, como o inventário florestal, que muitas vezes é terceirizado, também envolvem grandes quantias de dinheiro e, na maioria das grandes empresas são terceirizados.

Considerando os efeitos dos resultados do inventário florestal nas atividades econômicas finais e o seu custo, é de extrema importância que esses atendam às necessidades dos contratantes, sigam os padrões de qualidade e, principalmente, cumpram os compromissos firmados em contratos. Dessa forma, diversas empresas que atuam no setor florestal brasileiro passaram a auditar as atividades dos inventários florestais, com metodologias semelhantes à citada pelo The Timber Group Brasil (2015), que avalia a qualidade do inventário por meio de critérios como a aferição de aparelhos, que é a verificação das condições dos equipamentos e instrumentos utilizados nas medições. A fita métrica, usada para coleta dos valores de CAP e a trena usada para medir a distância e o raio da parcela, devem estar inteiras, sem emendas, com numerações visíveis dentre outros aspectos, quando comparadas com equipamentos novos, a

diferença entre as fitas não pode ultrapassar  $\pm 1,0$  mm e entre as trenas  $\pm 0,30$  m. Os hipsômetros/ clinômetros também são testados, para aferição, são usadas três árvores em diferentes classes de alturas, sendo estimadas suas alturas com o aparelho. Feito isso as árvores são abatidas e a altura estimada com o aparelho é comparada com a altura real. A diferença entre a altura estimada pelo hipsômetro e a altura real da árvore não poderá ultrapassar  $\pm 0,50$  metros. A verificação das fitas é diária, enquanto a dos demais equipamentos é realizada semanalmente (THE TIMBER GROUP BRASIL, 2015).

A alocação das parcelas também é avaliada, onde as parcelas são aprovadas caso a distância com relação ao ponto central da parcela no mapa esteja menor que 30 metros. Se a distância da parcela alocada pela equipe for maior ou igual a 30 metros com relação às parcelas no mapa ela é reprovada. Logicamente que em casos de exceções podem ser aceitas diferenças maiores que o limite, desde que comprovadas através de fotos, documentos, dentre outros, a impossibilidade de alocação da parcela devido a fatores como, por exemplo, a ocorrência de abelhas, e outros que impeçam a alocação da parcela no local definido (THE TIMBER GROUP BRASIL, 2015).

O inventário foi realizado em lotes de 20 unidades amostrais, todos identificados e referenciados com relação à equipe, talhões e parcelas. Para a realização da avaliação, foram sorteadas de forma aleatória e remedidas as variáveis biométricas de uma parcela por lote, o equivalente a 5% do total de parcelas instaladas. O primeiro critério avaliado é o número de árvores por parcela, que obrigatoriamente deve ser igual entre as parcelas do inventário e da auditoria, se a parcela auditada tiver um número de fustes diferente da parcela do inventário, duas novas parcelas são avaliadas e se ocorrer novamente diferença todas as 20 parcelas devem ser remedidas (THE TIMBER GROUP BRASIL, 2015).

As medições dos valores de CAP são avaliadas quanto à análise da média, onde são reprovadas as parcelas com diferença relativa percentual maior que 2% ou menor -2% entre as medições, caso a parcela seja reprovada a mesma deverá ser remedida e será feito o mesmo teste em mais 2 parcelas do mesmo lote e se forem constatadas irregularidades, os valores de CAP de todo o lote devem ser remedidos. Quanto à análise das frequências, que é feita de acordo com as seguintes classes de erros nos valores de CAP: Classe 1 ( $<1,5$  cm), Classe 2 (1,5 a 3,0 cm) e classe 3 ( $>3,0$  cm). São reprovadas as parcelas com frequências maiores que 3% com erros acima de 3 cm (classe 3) ou maior que 15% com erros entre 1,5 e 3,0 cm (classe 2). Quanto à análise de extremos, as diferenças maiores que 4 cm são reprovadas. Em todos os casos de reprovação a mesma parcela deverá ter os valores de CAP remedidos e feito os mesmos

testes em mais 2 parcelas do mesmo lote, se forem constatadas irregularidades, os valores de CAP de todo o lote devem ser remediados (THE TIMBER GROUP BRASIL, 2015).

As medições dos valores de altura total também são avaliadas quanto a média, onde são reprovadas as parcelas com diferença relativa percentual maior que 2% ou menor -2% entre as medições. Quanto à análise das frequências, que é feita de acordo com as seguintes classes de erros nos valores de altura total: Classe 1 (<1,0 m), Classe 2 (1,0 a 2,0 m) e classe 3 (>2,0 m). São reprovadas frequências maiores que 8% com erros acima de 2 m (classe 3) ou maior 15% entre 1,0 e 2,0 cm (classe 2). Quanto à análise de extremos, diferenças maiores que 4 m serão reprovadas (THE TIMBER GROUP BRASIL, 2015).

### 3.5.3. Estudos sobre a qualidade em inventário florestal

Embora existam poucos trabalhos nacionais sobre erros de medições, é possível encontrar uma quantidade razoável de trabalhos publicados, principalmente em língua inglesa. Segundo Myers (1961 citado por McRoberts et al. 1994), ao avaliar a medição dos valores de DAP de 50 árvores de *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws, por 49 estudantes de ciências florestais, observou que aproximadamente 93% das medições realizadas não apresentaram diferenças superiores a 0,1 polegadas e as medições de apenas 3 alunos ultrapassaram esse limite. Também utilizando estudantes de ciências florestais, Omule (1980), estudou a magnitude das variações nas medições dos valores de DAP, altura total e área basal de 31 equipes de campo em uma área de pesquisa florestal da Universidade de British Columbia, com predominância das espécies *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, *Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg. e *Thuja plicata* Donn. Esse autor constatou que não houve tendências nas medições dos valores de DAP e o coeficiente de variação entre as equipes de campo para as medições dessa variável foi de 8,16%, os valores de altura total foram significativamente subestimados e apresentaram um coeficiente de variação de 21,86% e a percentagem de erro na área basal foi de 4,09%.

Ao estudarem a magnitude e os efeitos da variação das medições por equipes de campo de inventários florestais realizados na Estação Experimental Florestal do Centro Norte, na Península Superior, estado de Michigan, McRoberts et al. (1994), avaliaram as medições dos valores de DAP, diâmetro de copa e índice de sítio de 61 árvores, provenientes de duas parcelas e medidas por duas equipes de campo diferentes. Observaram que os coeficientes de variação foram menores que 5% para os valores de DAP, aproximadamente 73% para o diâmetro da copa e 15% para o índice de sítio. Assim, depois de simularem o efeito dos erros de medições

em 20 anos, para a estimativa da área basal e crescimento cumulativo da área basal das duas parcelas, os autores concluíram que os coeficientes de variação ficaram entre 2% e 3% para área basal e 7% e 9% para o crescimento cumulativo da área basal e que o índice de sítio foi a variável com maior variação.

Com objetivo de averiguar a qualidade da coleta de dados dos inventários florestais e pesquisas de um projeto de monitoramento ecológico de longa duração na Área de Recursos Naturais de Coram, no estado de Montana, Elzinga, Shearer e Elzinga (2005), observaram a variação das medições dos valores de DAP de 879 árvores vivas, mortas em pé, e tombadas, por meio da remedição de 8 parcelas permanentes de 0,1 ha. No geral, a maior incidência de erros foi encontrada nos valores de DAP abaixo de 7 cm, aproximadamente 2% das árvores apresentaram diferenças acima de 10% entre as medições, 5% apresentaram diferenças entre 5% e 10% e 12% apresentaram diferenças entre 3% e 5%. Segundo esses autores esses resultados são considerados satisfatórios, pois a ocorrência de erros é considerada baixa.

Ao estudarem os efeitos das variações de medições nas estimativas dos componentes do crescimento florestal: incremento, ingresso, corte e mortalidade, Westfall e Patterson (2007), utilizaram dados de garantia de qualidade, provenientes de remedições de parcelas de inventários florestais realizados no Maine. Os desvios aleatórios da variabilidade das medições foram aplicados em 19381 árvores amostradas e remedidas e o erro adicional proveniente das variações e tendenciosidades das medições foi estimado através de simulação para os componentes. Esses autores concluíram que quanto ao erro de amostragem, o erro da variação das medições foi relativamente pequeno e a proporção de erros de medições foi menor nos valores de DAP, do que nos de altura das árvores. Quando as tendenciosidades das medições tiveram efeitos contraditórios no cálculo do volume individual, houve pouco erro adicional. Entretanto, quando as tendenciosidades foram sistemáticas, houve um aumento substancial do erro.

Esses autores ainda relataram que para se obter estimativas precisas, existe a necessidade de cautela na obtenção dos dados de inventário para assegurar que as medições sejam tomadas sem tendenciosidades e com dispersões mínimas em caso de verificações, e ressaltam a necessidade de metodologias concisas para a auditoria de medições de campo, que possam servir de base para o planejamento de novos inventários e relacionar o efeito de medições realizadas em inventários anteriores nas atividades atuais, a fim de evitar possíveis tendenciosidades decorrentes de trocas de métodos de medição, equipes de campo e métodos de treinamento.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O inventário utilizado como base para o presente trabalho foi executado no ano de 2015, em 24 projetos com plantios das espécies *Eucalyptus spp*, *Eucalyptus cloeziana* F. Muell, *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e *Eucalyptus urograndis*. Estabelecidos em áreas de terreno plano, nas mesorregiões do Jequitinhonha e Norte do estado de Minas Gerais, juntos, os projetos somam aproximadamente 6200 ha, distribuídos em 205 talhões com idades de plantio variando de 2 anos e 3 meses a 12 anos e 7 meses com 10 diferentes dimensões de espaçamento inicial. O objetivo dos povoamentos é o fornecimento de matéria prima para diversas finalidades (multiproduto), afim de maximizar a receita do empreendimento.

De acordo com Arruda et al. (2013) e Teodoro et al. (2011) a vegetação predominante da região é o Cerrado, o clima, segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw, clima tropical de savana e a altitude média é de aproximadamente 700 m. Segundo Monteiro et al. (2005), a região possui estação seca prolongada de aproximadamente 5 meses, entre os meses de abril e agosto e a temperatura média anual fica em torno de 25 ° C. O resumo descritivo dos projetos pode ser observado na Tabela 01.

TABELA 1 - RESUMO DESCRITIVO DOS PROJETOS AUDITADOS

(Continua)

Projeto	Talhões	Parcelas	Área do povoamento (ha)	Área amostral (m <sup>2</sup> )	Idade Média (Meses)	Espaçamentos (m)
1	5	3	148,6	1500	56	3 x 4 e 3,5 x 2,6
2	5	3	107,5	1500	52	4 x 3 e 3,5 x 2,6
3	3	3	58,7	1500	53	3,5 x 2,6
4	7	5	236,0	2500	66	4 x 3 e 3,5 x 2,6
5	8	3	161,7	1500	66	3,5 x 2,6
6	9	4	331,4	2000	43	6 x 2 e 6 x 3
7	7	4	225,1	2000	32	3 x 3 e 4 x 3
8	68	43	1650,1	21500	52	4 x 3, 3 x 4 e 6 x 2
9	1	1	43,1	500	40	3 x 4
10	7	7	281,6	3500	65	3,6 x 2,5
11	4	4	126,9	2000	67	3,6 x 2,5
12	1	1	14,3	500	52	3,6 x 2,5
13	9	9	338,2	4500	73	3,6 x 2,5
14	9	8	454,6	4000	72	3,6 x 2,5
15	3	3	114,2	1500	56	3,6 x 2,5
16	2	2	70,6	1000	62	3,6 x 2,5
17	12	11	285,8	5500	84	3,5 x 2,6
18	1	1	46,2	500	64	3,6 x 2,5
19	3	2	67,4	1000	88	3,75 x 2,4 e 6 x 1,5
20	6	4	109,5	2000	58	3,6 x 2,5

TABELA 1 - RESUMO DESCRITIVO DOS PROJETOS AUDITADOS

(Conclusão)

Projeto	Talhões	Parcelas	Área do povoamento (ha)	Área amostral (m <sup>2</sup> )	Idade Média (Meses)	Espaçamentos (m)
21	4	3	114,7	1500	78	3 x 3
22	16	11	586,0	5500	83	3 x 3 e 3 x 2,5
23	3	3	140,6	1500	77	3 x 3 e 3 x 2,5
24	12	6	483,2	3000	72	3 x 3 e 3 x 2,5
<b>Total</b>	<b>205</b>	<b>144</b>	<b>6196,0</b>	<b>72000</b>	<b>62</b>	-

FONTE: O autor (2017).

#### 4.2. AMOSTRAGEM E COLETA DE DADOS

No inventário florestal contínuo o processo de amostragem aplicado foi o sistemático com fração amostral de 0,5%, com 1 parcela circular de 500 m<sup>2</sup> para cada 10 hectares de plantio. Os dados coletados no inventário florestal e no processo de auditoria foram os valores de CAP de todas as árvores da parcela, os valores de altura total das 7 árvores da primeira linha da parcela, das 3 árvores com os menores valores de CAP, das 5 árvores com os maiores valores de CAP e altura das árvores mortas, quebradas e de ponta seca. O inventário foi realizado em lotes de 20 unidades amostrais, todos identificados e referenciados com relação à equipe, talhões e parcelas. Para a realização da auditoria foram sorteadas aleatoriamente uma unidade amostral por lote (ou ao menos uma parcela por projeto, em casos de áreas menores) e remedidas as variáveis biométricas, o equivalente a 5% do total de parcelas instaladas.

#### 4.3. ETAPAS DO PROCESSO DE AUDITORIA

É comum nos processos de auditoria de inventário florestal a execução de várias etapas, como a aferição dos aparelhos de medição, verificação da alocação da parcela no campo, contagem do número de fustes e avaliação das medições dos valores de CAP e altura total. Embora tenham sido realizadas todas etapas, no presente trabalho foi explorada apenas a etapa da avaliação das medições dendrométricas.

A avaliação das medições foi realizada por projetos. Para a execução da mesma, foram sorteadas de forma aleatória uma parcela por lote, o equivalente a 5% das parcelas instaladas, totalizando 144 parcelas, onde foram remedidas as variáveis biométricas valores de CAP e altura total de acordo com a metodologia estabelecida para o inventário florestal. O número total de valores de CAP e altura total coletados foi de respectivamente 14.743 e 5.155.

#### 4.3.1. Aferição dos aparelhos de medição

Com o objetivo de avaliar a qualidade do inventário e monitorar a execução dos serviços de coleta de dados dendrométricos e para assegurar o cumprimento dos procedimentos recomendados, a primeira etapa do processo de auditoria realizada foi à aferição dos aparelhos, onde foram verificadas as condições dos equipamentos e instrumentos utilizados nas medições. Os critérios de avaliação desta etapa foram os seguintes:

- A fita métrica de aço usada para coleta dos valores de CAP deveria estar inteira, sem emendas, com a numeração visível e subdividida em milímetros. Essas deveriam ser verificadas diariamente, tendo como referência uma fita métrica nova idêntica.
- A trena de fibra de vidro de 30 m usada para medir a distância e o raio da parcela também deveria estar inteira, sem emendas, com a numeração visível e ser subdividida em milímetros. Essas deveriam ser verificadas semanalmente, tendo como referência uma trena nova da mesma marca.
- Para as aferições dos valores de altura total, deveriam ser usadas 3 árvores em diferentes classes de alturas, sendo estimados seus valores de altura total com o Clinômetro eletrônico Haglöf EC II. Após isso, essas deveriam ser abatidas e de posse do valor de altura total real, comparar este com o valor de altura total estimado pelo aparelho. A diferença entre o valor da altura estimada pelo hipsômetro e o valor de altura real da árvore não poderia ultrapassar  $\pm 0,50$  metros. Os hipsômetros deveriam ser verificados semanalmente e esse procedimento deveria ser feito no início e no meio do período de coleta de dados.
- A baliza utilizada para coleta dos valores de CAP deveria ter 1,30 metros de altura. A mesma deveria ser verificada semanalmente, tomando-se como referência uma trena ou fita métrica nova.

Todos os instrumentos e equipamentos fora da especificação deveriam ser substituídos antes da coleta dos dados. Foram considerados como limites de tolerância para a substituição dos instrumentos os valores de  $\pm 1,0$  mm para as fitas,  $\pm 0,30$  m para as trenas e  $\pm 0,50$  m para o hipsômetro. A baliza foi o único equipamento sem limite de tolerância para substituição.

#### 4.3.2. Alocação das parcelas

A segunda etapa da auditoria foi a verificação da alocação das parcelas, em que as parcelas deveriam ser aprovadas caso sua distância com relação ao ponto central da parcela no mapa estivesse a uma distância menor que 30 metros. Se a distância da parcela alocada pela equipe fosse maior ou igual a 30 metros com relação às parcelas no mapa, ela seria reprovada. Exceções poderiam ser aceitas desde que comprovadas através de fotos, documentos, como por exemplo, o caso de ocorrência de abelhas, e outros que impediriam a alocação da parcela no local definido.

#### 4.3.3. Número de fustes

A terceira etapa da auditoria foi à contagem do número de fustes, em que se não houvesse diferença entre o inventário e a auditoria em relação ao número de fustes por parcela, o lote seria aprovado. Porém se a parcela auditada tivesse um número de fustes diferente da parcela medida no inventário, seria reprovada.

#### 4.3.4. Avaliação dos cenários

##### 4.3.4.1. Cenário 1 – Comparação da auditoria do inventário florestal com o inventário florestal convencional

###### 4.3.4.1.1. Avaliação dos valores de CAP no Cenário 1

A quarta etapa do processo de auditoria foi o enfoque desse trabalho. No cenário de avaliação 1 as medições dos valores de CAP foram avaliadas de 3 maneiras, quanto a média, a frequência e aos limites extremos, nessa ordem de prioridade e rigor.

Para a avaliação, quanto à análise da média dos valores de CAP, foi considerado como critério de reprovação do projeto uma diferença relativa percentual entre a medição e a auditoria  $\leq 2\%$ . A análise da frequência foi feita de acordo com as seguintes classes de diferenças nas medições de CAP: Classe 1 ( $<1,5$  cm), Classe 2 (1,5 a 3,0 cm) e classe 3 ( $>3,0$  cm) e foi considerado como critério de reprovação frequências de medições maiores que 3% com erros acima de 3 cm (classe 3) ou maiores que 15% com erros entre 1,5 e 3,0 cm (classe 2). Para a análise dos extremos foi considerado como critério de reprovação qualquer diferença entre as

medições maior que 4 cm. O detalhamento dos critérios utilizados para a avaliação das medições de CAP pode ser observado na tabela 02.

TABELA 2 - CRITÉRIOS DE AUDITORIA PARA ANÁLISE DAS MEDIÇÕES DE VALORES DE CAP.

Avaliação	Crítérios	Situação
Análise da média	Diferença relativa dos valores de CAP, inventário VS auditoria $\leq  2\% $	Aprovado
	Diferença relativa dos valores de CAP, inventário VS auditoria $>  2\% $	Reprovado
Análise da frequência	Menos de 15% dos Fustes com Diferença entre 1,5 e 3,0 cm ou menos de 3% dos Fustes com diferença maior que 3,0 cm.	Aprovado
	Mais de 15% dos Fustes com Diferença entre 1,5 e 3,0 cm ou mais que 3% dos Fustes com diferença maior que 3,0 cm.	Reprovado
Análise dos extremos	Não há diferença maior a 4 cm nos valores de CAP	Aprovado
	Valor de CAP Máximo $> 4$ cm ou $< -4$ cm	Reprovado

FONTE: Adaptada de THE TIMBER GROUP BRASIL (2015).

#### 4.3.4.1.2. Avaliação dos valores de altura total no Cenário 1

As medições dos valores de altura total foram avaliadas de 3 maneiras: quanto à média, à frequência e aos limites extremos, nessa ordem de prioridade e rigor.

Para a avaliação da média dos valores de altura total, foi considerado como critério de reprovação do projeto, uma diferença relativa percentual entre o inventário e a auditoria  $\leq 2\%$ . A análise da frequência foi feita de acordo com as seguintes classes de diferenças nas medições dos valores de altura total: Classe 1 ( $<1,0$  m), Classe 2 (1,0 a 2,0 m) e classe 3 ( $>2,0$  m). Foi considerado como critério de reprovação frequências de medições maiores que 8%, com erros acima de 2 m (classe 3) ou maiores que 15% com erros entre 1,0 e 2,0 cm (classe 2). Para a análise dos extremos, foi considerado como critério de reprovação qualquer diferença entre as medições maior que 4 m. O detalhamento dos critérios utilizados para a avaliação das medições dos valores de altura total pode ser observado na tabela 03.

TABELA 3 - CRITÉRIOS DE AUDITORIA PARA ANÁLISE DAS MEDIÇÕES DE VALORES DE ALTURA TOTAL

Avaliação	Critério	Situação
Análise da média	Diferença relativa dos valores de altura total, inventário VS auditoria $\leq$  2%	Aprovado
	Diferença relativa dos valores de altura total, inventário VS auditoria $>$  2%	Reprovado
Análise da frequência	Menos de 15% dos Fustes com Diferença entre 1,0 e 2,0 m ou menos de 8% dos Fustes com diferença maior que 2,0 m.	Aprovado
	Mais de 15% dos Fustes com Diferença entre 1,0 e 2,0 m ou mais que 8% dos Fustes com diferença maior que 2,0 m.	Reprovado
Análise dos extremos	Não há diferença maior a 4 m nos valores de altura total.	Aprovado
	Valor de altura total Máxima $>$ 4 m ou $<$ -4 m.	Reprovado

FONTE: Adaptada de THE TIMBER GROUP BRASIL (2015).

Para mitigação dos erros, em caso de reprovação por alguma das análises, em ambas as variáveis biométricas, o lote do projeto reprovado deveria ter as parcelas afetadas remeidas e refeitas às análises, assim como, também deveriam ser remeidas mais duas parcelas do mesmo lote para averiguação e, se essas apresentassem irregularidades, todas as parcelas do "lote" (20 ua) deveriam ser remeidas. Na análise dos extremos, o bom senso foi observado em casos evidentes de erros de digitação e dificuldades do anotador em escutar o medidor. Neste caso, seria cobrado um treinamento com os envolvidos, porém, em caso de reincidência destes erros as parcelas seriam reprovadas.

#### 4.3.4.2. Cenário 2 – Proposta de auditoria do inventário florestal tendo como base indicadores estatísticos

Os dados provenientes das auditorias foram considerados como parâmetros em todas as comparações realizadas entre os processos. Considerando que segundo Machado e Figueiredo Filho (2006), os valores médios de CAP e altura total, quando obtidos isoladamente, são informações frágeis para a representação do desempenho das medições, o critério de análise por frequência não leva em consideração o desempenho individual de cada medição para a avaliação de toda a parcela, e nem as características multiplicativas e aditivas dos erros de medições citadas por Kangas e Kangas (1999).

Assim, com o intuito de que a avaliação da auditoria de inventário florestal tenha critérios exatos para a indicação da qualidade dos dados coletados, testou-se a aplicação dos

seguintes indicadores modificados. Foram eles: raiz do erro quadrático médio (REQM%), análise gráfica dos resíduos, tendência ou viés (Viés%), teste  $t$  de Student de duas amostras em par para médias ao nível de 5% de significância e desvio médio (DM). As ferramentas são respectivamente expressas nas formulações 1, 2, 3, 4 e 5. As modificações propostas estão detalhadas a seguir:

$$\text{REQM (\%)} = \frac{100}{\bar{Y}_a} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_a - Y_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$\text{Resíduo (\%)} = \frac{Y_a - Y_i}{Y_a} \cdot 100 \quad (2)$$

$$\text{Viés\%} = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{Y_a - Y_i}{Y_a} \right) \quad (3)$$

$$t_{n-1} = \frac{\bar{d} - \Delta}{S_d / \sqrt{n}} \quad (4)$$

$$\text{DM} = \frac{\sum |X_a - X_i|}{n} \quad (5)$$

Em que:

$\bar{Y}_a$  = Média da variável proveniente da auditoria.

$Y_a$  = Variável proveniente da auditoria.

$Y_i$  = Variável proveniente do inventário florestal.

$X_a$  = Variável proveniente da auditoria em módulo.

$X_i$  = Variável proveniente do inventário florestal em módulo.

$\bar{d}$  = Diferença entre as médias da auditoria e do inventário florestal.

$\Delta$  = Valor testado da média das diferenças entre as variáveis da auditoria e do inventário florestal.

$S_d$  = Desvio padrão da diferença entre as variáveis da auditoria e do inventário florestal.

$n$  = número total de observações

#### 4.4. ESTIMATIVAS DE VALORES DE ALTURA TOTAL E VOLUME DE MADEIRA

A fim de demonstrar a influência dos erros no volume de madeira, os valores de altura total das árvores que não foram coletadas e os volumes de madeira dos projetos foram respectivamente estimados por meio do ajuste de 24 equações hipsométricas e 184 equações de volume. Para a estimativa dos valores de altura total o modelo utilizado foi o de Trorey (equação 7), os ajustes desse modelo apresentaram coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ %) entre 53,89% e 98,08% e erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) entre 0,249 m e 3,883 m.

$$h = \beta_0 + \beta_1 * d + \beta_2 * d^2 \quad (7)$$

Para a estimativa do volume individual das árvores foi utilizado o modelo de Schumacher e Hall (equação 8). Os ajustes desse modelo apresentaram coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ %) entre 75,43% e 99,77% e erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) entre 0,00042 m<sup>3</sup> e 0,025 m<sup>3</sup>.

$$v = \beta_0 * d^{\beta_1} * Ht^{\beta_2} \quad (8)$$

Em que:

$v$  = volume total da árvore (m<sup>3</sup>)

$h$  = altura total da árvore (m),

$d$  = diâmetro medido a 1,30 m de altura (cm) e

$\beta_i$  = parâmetros a serem estimados.

Para a comparação entre os cenários e análise da influência dos erros de medições, a estimativa do volume também foi avaliada com relação à diferença relativa, seguindo as etapas da metodologia convencional (Cenário 1) e pelas as etapas da proposta metodológica (Cenário 2).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. CENÁRIO 1 - AVALIAÇÃO DOS VALORES DE CAP

Na tabela 04 é apresentada uma síntese dos resultados da análise realizada com base nos critérios de avaliação das medições dos valores de CAP.

TABELA 4 - SÍNTESE DAS ANÁLISES REALIZADAS PARA AS MEDIÇÕES DOS VALORES DE CAP

Análises Projetos	Média (cm)			Classes de erros	Frequência (%)
	Auditoria	Inventário	Diferença (%)	Classe 1	Classe 1
1	39,37	39,28	0,21	154	77,78
2	38,85	38,85	0,01	111	56,92
3	37,43	37,34	0,23	104	80,00
4	47,04	47,01	0,06	167	59,64
5	41,90	41,87	0,07	256	67,55
6	38,42	38,35	0,20	331	81,53
7	31,37	31,23	0,45	240	79,47
8	36,30	36,29	0,02	599	7,59
9	38,62	38,62	0,00	0	0,00
10	48,03	48,11	-0,17	289	78,75
11	46,01	46,21	-0,45	196	88,69
12	47,54	47,83	-0,61	49	96,08
13	50,28	50,35	-0,15	347	75,11
14	46,35	46,35	-0,01	285	60,00
15	41,41	41,53	-0,28	54	32,34
16	50,08	50,36	-0,55	98	95,15
17	48,92	49,01	-0,18	454	75,04
18	49,16	49,41	-0,52	51	94,44
19	42,34	42,14	0,47	146	86,39
20	41,81	41,91	-0,24	231	75,49
21	43,81	43,86	-0,11	146	73,37
22	44,69	44,74	-0,10	586	66,74
23	38,75	38,74	0,02	109	60,89
24	41,07	41,07	0,01	468	69,03
<b>Total</b>	<b>39,69</b>	<b>39,69</b>	<b>-0,02</b>	<b>5471</b>	<b>37,11</b>

Em que: Classe 1 (<1,5 cm), Classe 2 (1,5 a 3,0 cm) e classe 3 (>3,0 cm)

FONTE: O autor (2017).

Observa-se que houve pouca diferença relativa entre a média das medições dos valores de CAP da auditoria e do inventário, variando entre -0,61% no projeto de número 12 e 0,47% no projeto de número 19. Também é possível observar que o projeto de número 9 por não possuir variação, apresentou o melhor resultado para a análise da média das medições dos valores de CAP, e que nenhum projeto ultrapassou os limites de diferença relativa pré-estabelecidos nos critérios da auditoria.

Com relação às análises da frequência e dos extremos, foi possível observar que todas as variações encontradas se enquadram na classe 1, dessa forma, já que não foram encontradas variações acima de 1,5 cm as frequências de erros das outras classes de erros não são apresentadas na tabela, e segundo os critérios pré-estabelecidos, para a avaliação das medições dos valores de CAP, pela auditoria, todas as parcelas foram aprovadas.

## 5.2. CENÁRIO 1 - AVALIAÇÃO DOS VALORES DE ALTURA TOTAL

Na tabela 05 está uma síntese dos resultados da análise realizada com base nos critérios de avaliação das medições dos valores de altura total.

TABELA 5 - SÍNTESE DAS ANÁLISES REALIZADAS PARA AS MEDIÇÕES DOS VALORES DE ALTURA TOTAL

Análises Projetos	Média (m)			Classes de erros		Frequência (%)	
	Auditoria	Inventário	Diferença (%)	Classe 1	Classe 2	Classe 1	Classe 2
1	15,37	15,24	0,83	60	0	78,95	0,00
2	15,02	14,99	0,18	52	0	68,42	0,00
3	15,76	15,91	-0,92	42	0	91,30	0,00
4	18,99	18,93	0,28	74	0	68,52	0,00
5	18,31	18,30	0,05	107	0	81,06	0,00
6	15,97	15,90	0,44	151	0	90,42	0,00
7	12,28	12,23	0,39	94	0	94,00	0,00
8	14,72	14,72	-0,05	264	9	9,09	0,31
9	14,75	14,72	0,23	8	0	53,33	0,00
10	22,53	22,43	0,44	120	5	88,89	3,70
11	21,26	21,50	-1,15	75	10	81,52	10,87
12	20,97	21,16	-0,92	10	4	62,50	25,00
13	25,69	25,51	0,70	118	12	84,29	8,57
14	22,46	22,66	-0,87	99	9	66,89	6,08
15	21,11	21,24	-0,62	14	1	30,43	2,17
16	24,05	24,38	-1,36	26	4	86,67	13,33
17	25,22	25,14	0,30	157	20	83,96	10,70
18	23,32	23,35	-0,14	12	0	80,00	0,00
19	18,37	18,41	-0,22	50	2	83,33	3,33
20	19,62	19,77	-0,75	86	6	87,76	6,12
21	21,48	21,48	-0,02	48	0	80,00	0,00
22	23,54	23,54	-0,01	214	0	83,92	0,00
23	18,88	18,95	-0,38	42	0	93,33	0,00
24	20,71	20,72	-0,06	171	0	84,24	0,00
<b>Total</b>	<b>17,22</b>	<b>17,22</b>	<b>-0,04</b>	<b>2094</b>	<b>82</b>	<b>40,62</b>	<b>1,59</b>

Em que: Classe 1 (<1,0 m), Classe 2 (1,0 a 2,0 m) e classe 3 (>2,0 m)

FONTE: O autor (2017).

É possível observar que as medições dos valores de altura total das árvores apresentaram maiores diferenças relativas do que as apresentadas pelas medições dos valores

de CAP, variando entre -1,36% no projeto 16 e 0,83% no projeto 1. Também se observa que o melhor resultado para a análise da média das medições dos valores de altura total foi encontrado no projeto de número 22 com variação de -0,01 m e, que nenhuma parcela ultrapassou os limites de diferença relativa pré-estabelecidos nos critérios da auditoria para análise das medições dos valores de altura total.

Com relação à análise da frequência dos valores de altura total, o projeto de número 12 foi reprovado por possuir 25% das medições dos valores de altura total medidos com variações ente 1 m e 2 m. Os projetos de números 11, 13, 14, 16, 17 e 20 também apresentaram alta percentagem de medições dos valores de altura total com essas variações, porém não ultrapassaram o limite pré-estabelecido como critérios de avaliação de 15%. Quanto a análise dos valores extremos, não houveram variações acima da classe 2, como pode ser observado na tabela 05.

### 5.3. CENÁRIO 1 - ANÁLISE DOS VOLUMES ESTIMADOS

Na tabela 06, é possível observar os volumes estimados para os projetos, analisados por meio da diferença relativa da média e do volume total absoluto.

TABELA 6 - RESULTADO DA ESTIMATIVA DO VOLUME POR PROJETO

(Continua)

Projetos	Média (m <sup>3</sup> )			Volume total (m <sup>3</sup> )		
	Auditoria	Inventário	Diferença (%)	Auditoria	Inventário	Resíduo
1	0,0955	0,0947	0,84	18,9124	18,7536	0,1588
2	0,0888	0,0888	0,09	17,3213	17,3065	0,0148
3	0,0917	0,0916	0,11	11,9193	11,9067	0,0127
4	0,1605	0,1600	0,30	44,9334	44,8027	0,1307
5	0,1297	0,1296	0,10	49,1621	49,1117	0,0504
6	0,0941	0,0935	0,71	38,2207	37,9498	0,2709
7	0,0498	0,0493	1,05	15,0405	14,8832	0,1573
8	0,0765	0,0765	0,03	603,9077	603,7467	0,1610
9	0,0862	0,0861	0,08	3,9649	3,9617	0,0032
10	0,2170	0,2174	-0,18	79,6515	79,7937	-0,1422
11	0,1855	0,1884	-1,54	41,0033	41,6329	-0,6295
12	0,1941	0,1971	-1,51	9,9012	10,0507	-0,1495
13	0,2602	0,2606	-0,17	120,1909	120,3901	-0,1992
14	0,2156	0,2163	-0,31	102,4302	102,7440	-0,3138
15	0,1472	0,1483	-0,73	24,5859	24,7649	-0,1790
16	0,2438	0,2477	-1,60	25,1058	25,5086	-0,4028
17	0,2590	0,2597	-0,26	156,7127	157,1125	-0,3998
18	0,2256	0,2279	-1,02	12,1838	12,3077	-0,1239
19	0,1593	0,1578	0,99	26,9289	26,6637	0,2652
20	0,1404	0,1417	-0,89	42,9735	43,3541	-0,3806
21	0,1917	0,1920	-0,17	38,1417	38,2046	-0,0629

TABELA 6 - RESULTADO DA ESTIMATIVA DO VOLUME POR PROJETO

(Conclusão)

Projetos	Média (m <sup>3</sup> )			Volume total (m <sup>3</sup> )		
	Auditoria	Inventário	Diferença (%)	Auditoria	Inventário	Resíduo
22	0,2134	0,2139	-0,22	187,3736	187,7893	-0,4157
22	0,2134	0,2139	-0,22	187,3736	187,7893	-0,4157
23	0,1289	0,1291	-0,22	23,0648	23,1150	-0,0502
24	0,1670	0,1669	0,04	113,2224	113,1830	0,0394
<b>Total</b>	<b>0,12256</b>	<b>0,1227</b>	<b>-0,12</b>	<b>1806,8521</b>	<b>1809,0371</b>	<b>-2,1850</b>

FONTE: O autor (2017).

Com relação ao volume médio individual, foi possível observar uma variação de -1,60% no projeto de número 16 a 1,05% no projeto de número 7. O melhor resultado foi encontrado no projeto de número 08 com variação de 0,03%. Para o volume estimado por projeto, houve uma variação entre -0,6295 m<sup>3</sup> encontrada no projeto de número 11, e 0,2709 m<sup>3</sup> no projeto 06; o melhor resultado foi encontrado no projeto de número 09, onde o volume variou apenas 0,0032 m<sup>3</sup>.

#### 5.4. CENÁRIO 2 - AVALIAÇÃO DAS MEDIÇÕES DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DE ACORDO COM A METODOLOGIA PROPOSTA

##### 5.4.1. Análise dos valores de CAP através do teste *t* de Student

O resumo das estatísticas descritivas e os resultados do teste *t* de Student para as medições dos valores de CAP estão descritos na tabela 07.

TABELA 7 - RESUMO DAS ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS E RESULTADOS DO TESTE *t* PARA OS VALORES DE CAP

(Continua)

Projetos	Valores de CAP (cm)							
	Auditoria			Inventário		Test <i>t</i>		
	<i>n</i>	$\bar{x}$	<i>S</i> <sup>2</sup>	$\bar{x}$	<i>S</i> <sup>2</sup>	<i>gl</i>	<i>t calc.</i>	<i>P</i>
1	198	39,3667	33,2983	39,2848	33,2736	197	6,1187	5,0E-09 *
2	195	38,8503	33,1752	38,8482	33,2368	194	0,2447	8,1E-01 ns
3	130	37,4285	44,8124	37,3423	44,7707	129	6,7710	4,1E-10 *
4	280	47,0375	44,6284	47,0093	44,7293	279	3,9895	8,5E-05 *
5	379	41,9013	36,8911	41,8704	37,3406	378	3,3278	9,6E-04 *
6	406	38,4239	31,1110	38,3473	30,5336	405	5,6035	3,9E-08 *
7	302	31,3675	24,1001	31,2278	24,1441	301	13,2153	9,3E-32 *
8	7893	36,2992	23,0007	36,2910	22,9925	7892	8,5215	1,9E-17 *
9	46	38,6152	5,1244	38,6152	5,1244	45	0	0 ns
10	367	48,0264	65,2951	48,1084	65,2701	366	-7,8131	6,0E-14 *
11	221	46,0072	42,3089	46,2145	42,2499	220	-18,6114	4,6E-47 *
12	51	47,5373	89,3300	47,8255	90,3695	50	-13,1083	8,5E-18*
13	462	50,2773	43,9460	50,3528	44,4506	461	-5,9480	5,4E-09 *

TABELA 7 - RESUMO DAS ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS E RESULTADOS DO TESTE *t* PARA OS VALORES DE CAP

(Conclusão)

Projetos	Valores de CAP (cm)							
	Auditoria			Inventário			Test <i>t</i>	
	<i>n</i>	$\bar{x}$	<i>S</i> <sup>2</sup>	$\bar{x}$	<i>S</i> <sup>2</sup>	<i>gl</i>	<i>t calc.</i>	<i>P</i>
14	475	46,3499	126,1062	46,3528	126,2416	474	-0,3641	7,2E-01 ns
15	167	41,4108	53,1386	41,5269	52,7125	166	-7,2864	1,2E-11 *
16	103	50,0835	57,2855	50,3583	57,4403	102	-18,2765	6,0E-34 *
17	605	48,9193	92,8796	49,0061	92,8259	604	-12,4846	5,5E-32 *
18	54	49,1593	39,0681	49,4148	39,2556	53	-9,9359	1,1E-13 *
19	169	42,3396	131,5380	42,1426	129,8776	168	11,2767	2,6E-22 *
20	306	41,8127	43,7527	41,9114	44,2520	305	-8,1639	8,6E-15 *
21	199	43,8111	133,2523	43,8578	132,2770	198	-3,6798	3,0E-04 *
22	878	44,6919	124,5950	44,7360	124,5204	877	-8,1352	1,4E-15 *
23	179	38,7503	110,2804	38,7413	110,1794	178	0,8802	3,8E-01 ns
24	678	41,0735	116,2356	41,0706	116,1194	677	0,4631	6,4E-01 ns
<b>Total</b>	<b>14743</b>	<b>39,6883</b>	<b>70,8577</b>	<b>39,6949</b>	<b>71,2121</b>	<b>14742</b>	<b>-5,1058</b>	<b>3,3E-07 *</b>

Em que:  $\bar{x}$  = Média aritmética, *S*<sup>2</sup> = Variância, *n* = Número de indivíduos, *GL* = Graus de liberdade, *t calc.* = Valor de *t* calculado, *P* = probabilidade de significância do teste *t*, ns = não significativo, \* = Probabilidade significativa a 5%. FONTE: O autor (2017).

Os resultados do teste *t* de Student mostram que para a avaliação das medições dos valores de CAP apenas 05 projetos não apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, (Projetos de números 02, 09, 14, 23 e 24). Para a avaliação total, o resultado mostra que houve diferença significativa para o respectivo nível de probabilidade.

#### 5.4.2. Análise dos valores de altura total através do teste *t* de Student

O resumo das estatísticas descritivas e os resultados do teste *t* de Student para as medições dos valores de altura total estão descritos na tabela 08.

TABELA 8 - RESUMO DAS ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS E RESULTADOS DO TESTE *t* PARA OS VALORES DE ALTURAS TOTAL

(Continua)

Projetos	Valores de Altura total (m)							
	Auditoria			Inventário			Test <i>t</i>	
	<i>n</i>	$\bar{x}$	<i>S</i> <sup>2</sup>	$\bar{x}$	<i>S</i> <sup>2</sup>	<i>GL</i>	<i>t calc.</i>	<i>P</i>
1	76	15,3711	4,3416	15,2434	4,3753	75	5,4978	5,1E-07 *
2	76	15,0171	2,2670	14,9895	2,3058	75	2,5449	1,3E-02 *
3	46	15,7630	6,5873	15,9087	6,8533	45	-3,4572	1,2E-03 *
4	108	18,9861	6,2304	18,9324	5,7345	107	2,0686	4,1E-02 *
5	132	18,3121	12,0168	18,3030	12,1011	131	0,6158	5,4E-01 ns
6	167	15,9659	4,8754	15,8952	4,6271	166	2,4711	1,4E-02 ns
7	100	12,2750	5,8740	12,2270	6,0973	99	1,5423	1,3E-01 ns

TABELA 8 - RESUMO DAS ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS E RESULTADOS DO TESTE  $t$  PARA OS VALORES DE ALTURAS TOTAL

(Conclusão)

Projetos	Valores de Altura total (m)							
	Auditoria			Inventário		Test $t$		
	$n$	$\bar{x}$	$S^2$	$\bar{x}$	$S^2$	$GL$	$t_{calc.}$	$P$
8	3072	14,7852	4,5001	14,7876	4,5155	3071	-0,8631	3,9E-01 ns
9	15	14,7533	0,2255	14,7200	0,2131	14	1,2336	2,4E-01 ns
10	135	22,5341	22,0652	22,4348	21,3341	134	2,4044	1,8E-02 *
11	92	21,2587	12,7044	21,5033	13,0621	91	-4,3695	3,3E-05 *
12	16	20,9688	23,9543	21,1625	22,0012	15	-0,9450	3,6E-01 ns
13	140	25,6850	15,1731	25,5050	15,4887	139	3,6901	3,2E-04 *
14	148	22,4622	36,6236	22,6568	36,9553	147	-5,4403	2,2E-07 *
15	46	21,1109	9,5952	21,2413	9,3589	45	-3,1642	2,8E-03 *
16	30	24,0533	12,8612	24,3800	13,4858	29	-2,5995	1,5E-02 *
17	187	25,2198	24,8540	25,1444	24,9417	186	1,7430	8,3E-02 ns
18	15	23,3200	6,3203	23,3533	6,1055	14	-0,3059	7,6E-01 ns
19	60	18,3700	28,8642	18,4100	29,3341	59	-0,7811	4,4E-01 ns
20	98	19,6194	10,7410	19,7673	11,2940	97	-3,1342	2,3E-03 *
21	266	20,9323	34,9081	20,9609	35,1557	265	-1,8429	6,6E-02 ns
22	316	23,6275	48,3953	23,6500	48,5324	315	-1,7127	8,8E-02 ns
23	139	18,0410	14,3275	18,0669	14,9101	138	-1,0574	2,9E-01 ns
24	203	20,7113	49,9510	20,7236	49,9508	202	-0,7060	4,8E-01 ns
<b>Total</b>	<b>5155</b>	<b>17,2169</b>	<b>26,3428</b>	<b>17,2230</b>	<b>26,4076</b>	<b>5154</b>	<b>1,5284</b>	<b>0,1265 ns</b>

Em que:  $\bar{x}$  = Média aritmética,  $S^2$  = Variância,  $n$  = Número de indivíduos,  $GL$  = Graus de liberdade,  $t_{calc.}$  = Valor de  $t$  calculado,  $P$  = probabilidade de significância do teste  $t$ , ns = Não significativo, \* = Probabilidade significativa a 5%. FONTE: O autor (2017).

Os resultados do teste  $t$  de Student mostram que para a avaliação das medições dos valores de altura total, 13 projetos não apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade (Projetos de números 05, 06, 07, 08, 09, 12, 17, 18, 19, 21, 22, 23 e 24). A avaliação total das medições dos valores de altura total também não apresentou diferença significativa para o nível de probabilidade considerado.

#### 5.4.3. Análise estatística comparativa das medições dos valores de CAP e Altura total

Os resultados das análises estatísticas comparativas entre as medições dos valores de CAP e altura total estão descritos na tabela 09.

TABELA 9 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS  
ENTRE OS VALORES DE CAP E ALTURA TOTAL

Projetos	Valores de CAP (cm)			Valores de Altura total (m)		
	REQM (%)	Viés (%)	DM	REQM (%)	Viés (%)	DM
1	0,5201	0,2078	0,1556	1,5493	0,8303	0,1908
2	0,3006	0,0053	0,0779	0,6526	0,1840	0,0750
3	0,4495	0,2302	0,1354	2,0170	-0,9240	0,2674
4	0,2582	0,0600	0,0846	1,4424	0,2829	0,1833
5	0,4367	0,0737	0,1311	0,9241	0,0496	0,1348
6	0,7432	0,1994	0,2140	2,3495	0,4426	0,2982
7	0,7352	0,4455	0,1689	2,5529	0,3910	0,2560
8	0,2372	0,0227	0,0186	0,9092	-0,0451	0,0329
9	0,0000	0,0000	0,0000	0,7216	0,2259	0,0733
10	0,4517	-0,1708	0,1605	2,1660	0,4405	0,3956
11	0,5760	-0,4505	0,2181	2,7625	-1,1504	0,4685
12	0,6889	-0,6063	0,2882	3,8981	-0,9240	0,6313
13	0,5628	-0,1502	0,1989	2,3462	0,7008	0,4800
14	0,3803	-0,0064	0,1175	2,1162	-0,8663	0,3500
15	0,5699	-0,2805	0,1210	1,4483	-0,6179	0,1435
16	0,6268	-0,5486	0,2748	3,1241	-1,3581	0,6667
17	0,3917	-0,1774	0,1440	2,3583	0,2990	0,4743
18	0,6445	-0,5199	0,2778	1,7541	-0,1429	0,3267
19	0,7090	0,4654	0,2408	2,1524	-0,2177	0,3100
20	0,5574	-0,2360	0,1667	2,4869	-0,7541	0,3969
21	0,4216	-0,1067	0,1402	1,0254	-0,0233	0,1750
22	0,3723	-0,0986	0,1174	0,9622	-0,0067	0,1780
23	0,3504	0,0231	0,0927	1,7899	-0,3766	0,3067
24	0,3834	0,0068	0,1146	1,1986	-0,0595	0,1995
<b>Total</b>	<b>0,3933</b>	<b>-0,0165</b>	<b>0,0786</b>	<b>1,6622</b>	<b>-0,0354</b>	<b>0,1466</b>

Em que: = REQM% = Raiz do erro quadrático médio, Viés% = tendência, DM = desvio médio.

FONTE: O autor (2017).

A análise estatística comparativa mostra que os resultados de REQM% para os valores de CAP apresentaram bons resultados, todos abaixo de 1%, variando entre 0,000% para o projeto de número 09 e 0,7432% para o projeto de número 06. Utilizando essa mesma ferramenta para a avaliação dos valores de altura total, os resultados apresentados variaram entre 0,6526% para o projeto de número 02 e 3,8981% para o projeto de número 12. Para os valores de CAP, os resultados do Viés% variaram entre -0,6063% para o projeto de número 12 e 0,4654% para o projeto de número 19, enquanto para os valores de altura total a variação ficou entre -1,3581% e 0,8303% respectivamente para os projetos de números 16 e 01. Para os valores de CAP os resultados de DM variaram entre 0,0000 para o projeto de número 09 e 0,2882 para o projeto de número 12, enquanto para os valores de altura total, entre 0,0329 e 0,6667, respectivamente para os projetos de números 08 e 16.

5.4.4. Análise dos volumes estimados através do teste *t* de Student

O resumo da estatística descritiva e o resultado do teste *t* de Student para as estimativas dos volumes totais com casca estão descritos na tabela 10.

TABELA 10 - RESUMO DAS ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS E RESULTADOS DO TESTE *t* DOS VOLUMES TOTAIS COM CASCA

Projetos	Volume total com casca (m <sup>3</sup> )							
	Auditoria			Inventário			Test <i>t</i>	
	<i>n</i>	$\bar{x}$	<i>S</i> <sup>2</sup>	$\bar{x}$	<i>S</i> <sup>2</sup>	<i>gl</i>	<i>t calc.</i>	<i>P</i>
1	198	0,0955	0,0009	0,0947	0,0009	197	7,7826	3,9E-13 *
2	195	0,0888	0,0007	0,0888	0,0007	194	1,6639	9,8E-02 ns
3	130	0,0917	0,0009	0,0916	0,0009	129	0,7795	4,4E-01 ns
4	280	0,1605	0,0027	0,1600	0,0027	279	3,9964	8,2E-05 *
5	379	0,1297	0,0022	0,1296	0,0022	378	1,5735	1,2E-01 ns
6	406	0,0941	0,0009	0,0935	0,0009	405	6,5134	2,2E-10 *
7	302	0,0498	0,0005	0,0493	0,0005	301	8,8974	5,4E-17 *
8	7893	0,0765	0,0006	0,0765	0,0006	7892	3,0034	2,7E-03 *
9	46	0,0862	0,0001	0,0861	0,0001	45	1,1973	2,4E-01 ns
10	367	0,2170	0,0056	0,2174	0,0056	366	-1,9653	5,0E-02 ns
11	221	0,1855	0,0041	0,1884	0,0042	220	-11,6192	1,2E-24 *
12	51	0,1941	0,0047	0,1971	0,0048	50	-4,2632	8,9E-05 *
13	462	0,2602	0,0058	0,2606	0,0060	461	-1,9472	5,2E-02 ns
14	475	0,2156	0,0120	0,2163	0,0120	474	-3,7419	2,1E-04 *
15	167	0,1472	0,0032	0,1483	0,0032	166	-6,6567	3,9E-10 *
16	103	0,2437	0,0063	0,2477	0,0064	102	-6,5543	2,3E-09 *
17	605	0,2590	0,0127	0,2597	0,0127	604	-3,3323	9,1E-04 *
18	54	0,2256	0,0030	0,2279	0,0030	53	-5,3035	2,3E-06 *
19	169	0,1593	0,0085	0,1578	0,0084	168	7,1612	2,4E-11 *
20	306	0,1404	0,0031	0,1417	0,0032	305	-7,5854	4,0E-13 *
21	199	0,1917	0,0162	0,1920	0,0161	198	-1,8955	5,9E-02 ns
22	878	0,2134	0,0199	0,2139	0,0199	877	-6,3793	2,9E-10 *
23	179	0,1289	0,0116	0,1291	0,0117	178	-2,0851	3,8E-02 *
24	678	0,1670	0,0218	0,1669	0,0217	677	0,6171	5,4E-01 ns
<b>Total</b>	<b>14743</b>	<b>0,1226</b>	<b>0,0087</b>	<b>0,1227</b>	<b>0,0087</b>	<b>14742</b>	<b>-8,0348</b>	<b>1,0E-15 *</b>

Em que:  $\bar{x}$  = Média aritmética, *S*<sup>2</sup>= Variância, *n* = Número de indivíduos, *GL* = Graus de liberdade, *t calc.* = Valor de *t* calculado, *P* = probabilidade de significância do teste *t*, ns = Não significativo, \* = Probabilidade significativa a 5%. FONTE: O autor (2017).

Para a avaliação das estimativas de volumes totais com casca, os resultados do teste *t* de Student mostram que 08 projetos não apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, (Projetos de números 02, 03, 05, 09, 10, 13, 21 e 24). Para a avaliação total, o resultado mostra que houve diferença significativa entre as estimativas para o nível de probabilidade considerada.

#### 5.4.5. Análise estatística comparativa dos volumes estimados

A estimativa dos volumes totais com casca e o resultado da análise estatística comparativa estão descritos na tabela 11.

TABELA 11 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME TOTAL COM CASCA

Projetos	Volume total com casca (m <sup>3</sup> )				
	Auditoria	Inventário	REQM (%)	Viés (%)	DM
1	18,9124	18,7536	1,7317	0,8398	0,0012
2	17,3213	17,3065	0,7222	0,0857	0,0004
3	11,9193	11,9067	1,5506	0,1062	0,0010
4	44,9334	44,8027	1,2498	0,2908	0,0012
5	49,1621	49,1117	1,2710	0,1025	0,0012
6	38,2207	37,9498	2,3015	0,7087	0,0015
7	15,0405	14,8832	2,2914	1,0456	0,0008
8	603,9077	603,7467	0,7891	0,0267	0,0001
9	3,9649	3,9617	0,4524	0,0795	0,0002
10	79,6515	79,7937	1,7472	-0,1785	0,0026
11	41,0033	41,6329	2,4897	-1,5354	0,0035
12	9,9012	10,0507	2,9240	-1,5097	0,0040
13	120,1909	120,3901	1,8348	-0,1657	0,0033
14	102,4302	102,7440	1,8087	-0,3064	0,0021
15	24,5859	24,7649	1,5865	-0,7282	0,0011
16	25,1058	25,5086	2,9472	-1,6044	0,0049
17	156,7127	157,1125	1,8989	-0,2551	0,0030
18	12,1838	12,3077	1,7270	-1,0169	0,0030
19	26,9289	26,6637	2,0361	0,9847	0,0023
20	42,9735	43,3541	2,2232	-0,8857	0,0021
21	38,1417	38,2046	1,2356	-0,1649	0,0017
22	187,3736	187,7893	1,0536	-0,2219	0,0015
23	23,0648	23,1150	1,4104	-0,2178	0,0011
24	113,2224	113,1830	1,4669	0,0348	0,0015
<b>Total</b>	<b>1806,8521</b>	<b>1809,0371</b>	<b>1,8314</b>	<b>-0,1209</b>	<b>0,0010</b>

Em que: REQM% = Raiz do erro quadrático médio, Viés% = tendência, DM = desvio médio.

FONTE: O autor (2017).

O volume de madeira estimado para as parcelas auditadas dos projetos variou entre 3,9649 m<sup>3</sup> e 3,9617 m<sup>3</sup> respectivamente para os processos de auditoria e inventário do projeto de número 06; entre 603,9077 m<sup>3</sup> e 603,7467 m<sup>3</sup> para os mesmos processos do projeto de número 08. A análise estatística comparativa mostra que os resultados de REQM% para a estimativa dos volumes totais com casca apresentaram resultados satisfatórios, variando entre 0,4524% para o projeto de número 09, e 2,9472% para o projeto de número 16. Os resultados do Viés% variaram entre -1,6044% para o projeto de número 16 e 1,0456% para o projeto de

número 07. Os resultados de DM variaram entre 0,0001 para o projeto de número 08 e 0,0049 para o projeto de número 16.

#### 5.4.6. Análise das medições das variáveis dendrométricas por meio da distribuição gráfica dos resíduos

As distribuições gráficas dos resíduos, provenientes da avaliação dos valores de CAP, altura total e volume total com casca podem ser observadas, nas figuras de números 01, 02, e 03, respectivamente.

Para os valores de CAP, nota-se que todos os projetos apresentaram dispersões inferiores a  $\pm 5\%$  e a melhor distribuição foi encontrada no projeto de números 09. Foi possível observar maiores tendências a superestimavas nos projetos de número 10, 11, 12, 15, 16 e 18 e a subestimativa no projeto de número 19. Também se observou que de uma forma geral, as dispersões dos resíduos foram maiores na classe de valores de CAP de 35 cm a 45 cm.

As distribuições gráficas dos resíduos da variável altura total apresentaram dispersões superiores às encontradas para os valores de CAP, variando na ordem de até  $\pm 10\%$ , para essa variável, sendo a melhor distribuição também para o projeto de números 09. Observou-se que não existiram tendências nos projetos. Foi observado também que, nos projetos de números 21, 22, 23 e 24 as dispersões dos resíduos tendem a diminuir conforme os valores de altura total das árvores aumentam.

Para as estimativas do volume total com casca, as distribuições gráficas dos resíduos apresentaram dispersões variando entre  $\pm 10\%$ , conforme as distribuições dos valores de CAP e altura total. O projeto de número 09 foi o que apresentou a melhor dispersão dos resíduos. Observou-se tendências a superestimavas nos projetos de números 11, 12, 16 e 18, assim como a subestimativas nos projetos de números 06 e 19. Semelhante ao comportamento observado nas distribuições dos valores de altura total, observou-se que nos projetos de números 21, 22, 23 e 24 as dispersões dos resíduos tendem a diminuir conforme o volume individual das árvores aumenta.

FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DOS VALORES DE CAP

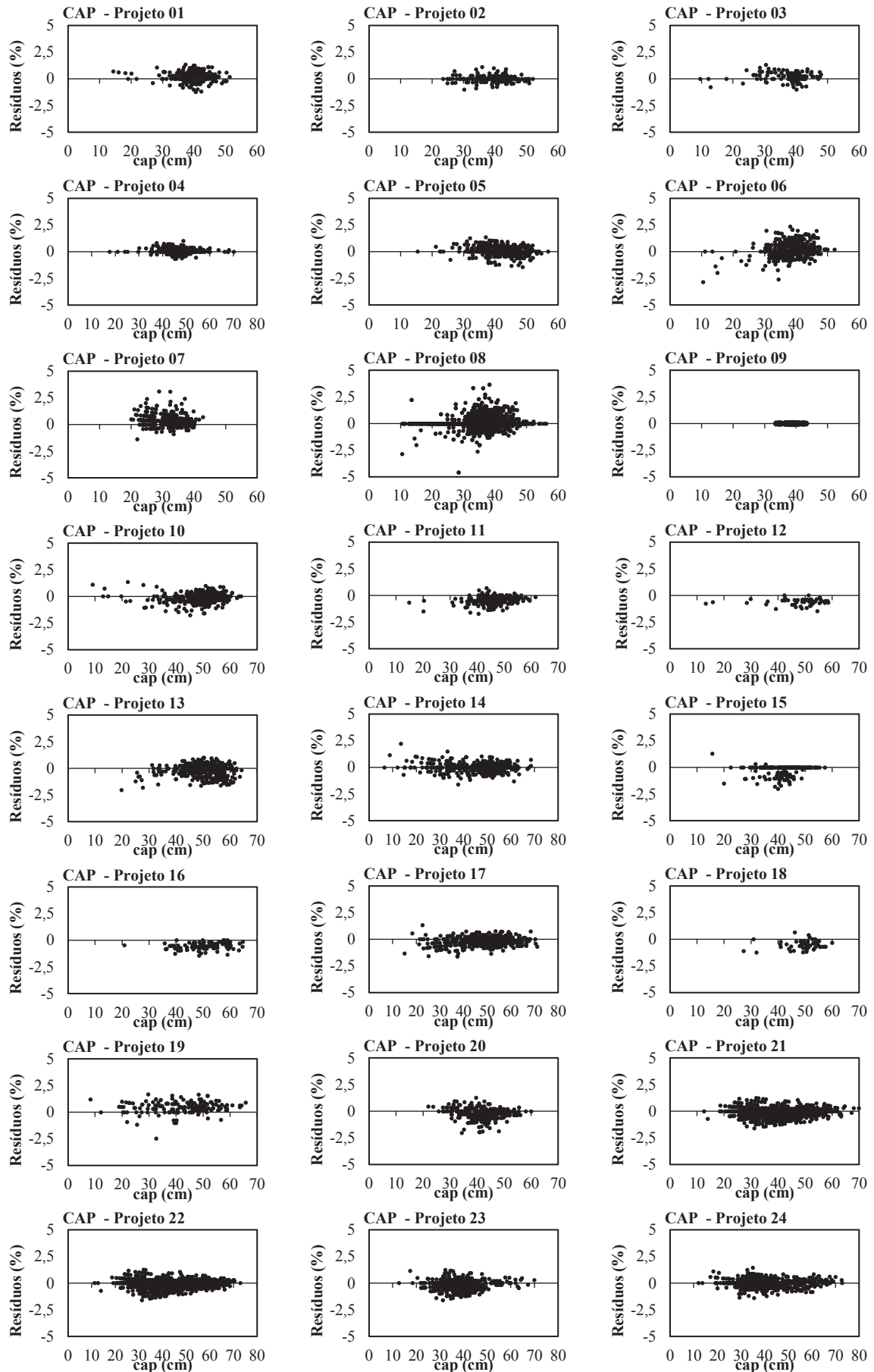


FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS ALTURAS TOTAIS

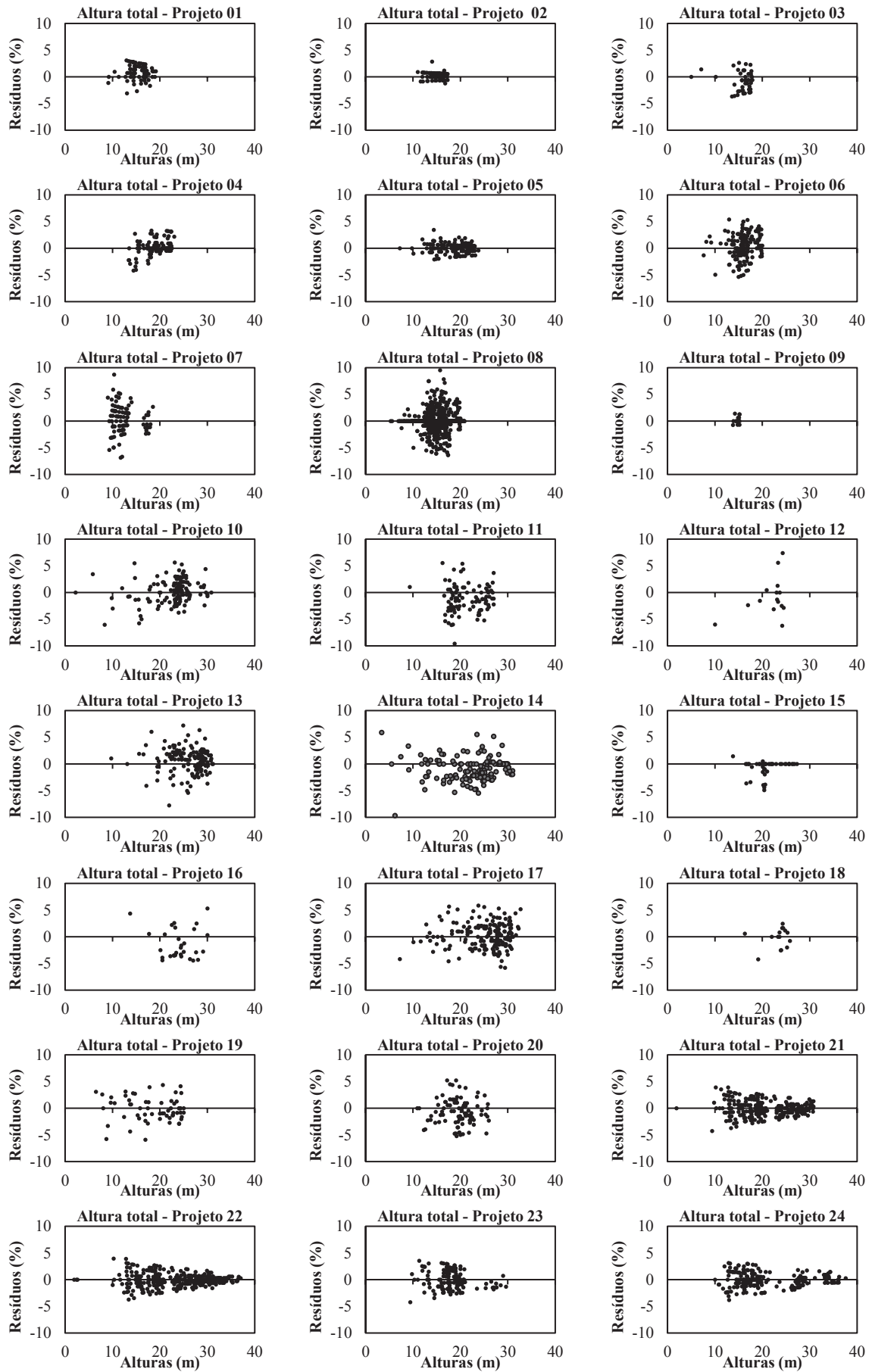
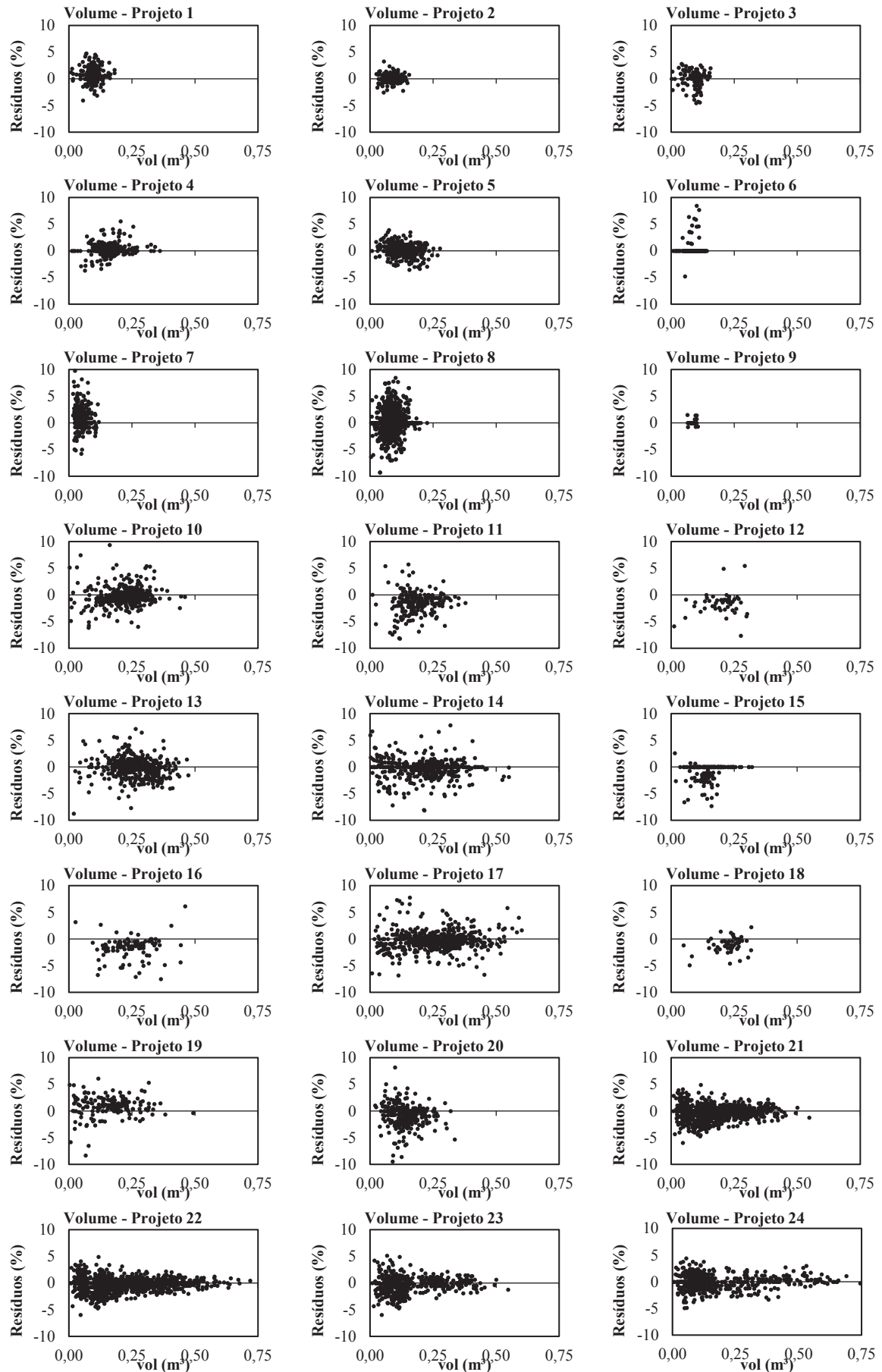


FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DOS VOLUMES



## 5.5. VARIAÇÕES E DESEMPENHO DAS ESQUIPES DE MEDIÇÕES

Ao observar a variação na medição dos diâmetros de 879 árvores em dois momentos, Elzinga, Shearer e Elzinga (2005), remediram essa variável em 8 parcelas permanentes de 0,1 ha de um projeto de monitoramento ecológico realizado na Área de Recursos Naturais de Coram, no estado de Montana, EUA. No momento das remedições 730 árvores estavam vivas, as quais apresentaram diferença média entre -0,003 cm e 0,034 cm. Esse valor representa 1,6% de 18,59 cm, diâmetro médio das parcelas avaliadas. Para as 97 árvores mortas em pé, a diferença média ficou entre -0,072 cm e 0,091 cm e para as 51 árvores mortas e caídas entre -0,143 e 0,185. Esses autores encontraram erros de aproximadamente de 2,54 cm em 15 árvores, todos eles acima do valor de referência. Em geral aproximadamente 2% das árvores apresentaram diferenças acima de 10% entre as medições, 5% apresentaram diferenças entre 5% e 10% e 12% apresentaram diferenças entre 3% e 5%. Esses autores ainda relatam que a maior incidência de erros foi encontrada nos diâmetros abaixo de 7 cm e ressaltam a baixa ocorrência de erros, que segundo os mesmos é decorrente da qualificação da equipe de campo e motivação, devido ao interesse pessoal da equipe nos estudos.

Em comparação aos resultados obtidos no presente trabalho, observa-se que neste, as medições apresentaram menores variações, apresentando melhores resultados nas avaliações das diferenças relativas do diâmetro médio, valores extremos entre as medições e frequências de erros de maiores magnitudes, dado que apenas uma árvore apresentou diferença relativa entre 5% e 10% entre as medições. Quanto à incidência de erros, no presente trabalho não foi observada uma maior incidência nos menores valores de CAP. A justificativa da baixa ocorrência de erros pode ser justificada pelas características dos povoamentos florestais, que neste trabalho, por serem plantados facilitam as atividades de medições, assim como também pode estar atrelada a maior prática dessas atividades por equipes de campo treinadas e que praticam essas atividades diariamente.

Semelhante ao encontrado neste trabalho, Berger et. al. (2012), ao quantificar os erros de medições das variáveis, valores de DAP e altura total através da comparação com dados provenientes de árvores abatidas, cinta dendrométrica e controle das medições do inventário florestal nacional austríaco, as medições dos valores de DAP apresentaram menores variações quando comparadas com as medições dos valores de altura total.

Para estudar o efeito das variações nas medições nas estimativas de volume, Westfall e Patterson (2007) usaram dados de remedições independentes de parcelas de florestas naturais localizadas nos estados do Maine, New Hampshire, Pennsylvania e Ohio. Os respectivos

autores encontraram uma variação de -0,02 cm para os valores de DAP médio e 0,29 m para os valores de altura total média, para 1838 árvores avaliadas em todos os estados citados. Considerando a transformação dos valores de CAP em DAP, este valor foi inferior ao encontrado para o valor de DAP médio total da auditoria do presente estudo, porém, quando comparados separadamente o valor encontrado pelos autores é inferior ao apresentado por 14 dos 24 projetos avaliados no presente estudo. Para o valor de altura média, o total encontrado para auditoria também foi inferior ao encontrado pelos autores, quando comparado a cada projeto, apenas o de número 16 apresentou variação superior.

## 5.6. RELAÇÕES ENTRE CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS E ERROS DE MEDIÇÃO

Suty, Nyström e Ståhl (2013) utilizaram a expansão de séries de Taylor e dados empíricos do inventário nacional sueco para avaliar o desempenho da estimativa do incremento do volume do fuste de árvores individuais para diferentes classes de diâmetros de *Pinus sylvestris* L, e *Picea abies* (L.) Karst., com relação à tendências provenientes de erros de medições entre os dois tipos de parcelas. Os resultados mostraram que ambos os métodos foram insensíveis às influências de erros de medições aleatórios e que as maiores diferenças no incremento foram encontradas nas árvores de maiores diâmetros, porém, esse padrão pode estar relacionado à imprecisão dos ajustes utilizados, já que foram poucas as árvores cubadas para a confecção do modelo. Com relação ao volume individual estimado, no presente estudo, não foi possível identificar que as maiores variações estavam relacionadas aos maiores diâmetros.

Gertner e Dzialowy (1984), ao avaliarem o efeito dos erros de medições do inventário florestal no sistema de projeção do crescimento de árvores individuais através de simulações, concluíram que o índice de sítio foi o componente do sistema de projeções mais afetado pelos erros de medição. Os respectivos autores, assim como também Haara (2003), ao comparar métodos de simulação para a modelagem de erros em dados de inventário florestal e McRoberts et al. (1994) ao estudar a variação entre as medições de duas equipes de campo em um inventário florestal realizado na Península superior, estado do Michigan, EUA, reforçam a importância da acurácia nas medições dos valores de CAP pelo fato dessa variável também estar ligada a área basal dos povoamentos florestais e distribuição diamétrica. Dessa forma, os bons resultados das avaliações das medições dos valores de CAP e os impactos citados anteriormente, levam a considerar que quando baseados apenas no critério de erros de medições dos valores de CAP, as estimativas baseadas nessas variáveis devem proporcionar resultados

acurados, porém, no presente estudo, é possível observar que quanto ao volume, as medições dos valores de altura total também tiveram forte influência no comportamento das estimativas.

Assim como Westfall e Patterson (2007), ao estudarem o efeito do erro de variações das medições de um inventário florestal nas estimativas de volumes de crescimento, recrutamento, cortes e mortalidade em florestas naturais nos estados do Maine, New Hampshire, Pennsylvania, e Ohio, assim como no presente estudo, os maiores erros foram encontrados nas medições dos valores de altura total, indicando a maior dificuldade em obter essa variável. Devendo ser levada em consideração a característica de medições direta dos valores de CAP, enquanto as medições das alturas, a característica indireta/estimativas, sejam através do hipsômetro ou das equações hipsométricas ajustadas, assim, é natural que as medições dos valores de CAP sejam mais acuradas que as das alturas. (COLBERT; LARSEN; LOOTENS, 2002).

Kangas e Kangas (1999) afirmam que o erro de medição dos valores de altura total é frequentemente maior nas árvores maiores, o que de acordo com as distribuições gráficas dos resíduos deste trabalho, aconteceu de forma inversa, onde houve uma tendência na diminuição da dispersão dos resíduos nas medições dos valores de altura total de alguns projetos. Essa tendência pode estar relacionada à dificuldade na visualização do ponteiro das árvores em pé, ocasionada pela obstrução visual por galhos e folhagens das árvores citada por Castaño-Santamaría et al. (2013). Sendo assim, levando a considerar que a afirmação dos respectivos autores pode estar relacionada à acurácia do instrumento de medição e não da medição em si.

## 5.7. INFLUÊNCIA DOS ERROS DE MEDIÇÕES NOS VOLUMES ESTIMADOS

Com relação à estimativa dos volumes, Gertner (1990), ao estudar a sensibilidade dos erros de medição na estimativa de volume em um povoamento florestal, por meio de simulação, concluiu que quantidades moderadas de erros de medição nas variáveis independentes da função de volume individual podem causar uma redução relativamente alta na precisão da estimativa dos volumes. O que não foi observado no presente trabalho, e provavelmente está relacionado com a qualidade das medições realizadas.

Gál e Bella (1995) estudaram o efeito das fontes de erros em um inventário florestal realizado na província de Saskatchewan no Canadá, também por meio de simulação, observaram que a tendenciosidade em superestimar ou subestimar em 1% as medições dos valores de DAP e altura total separadamente, causaram respectivamente tendenciosidade de até  $\pm 3\%$  e  $\pm 1,5\%$  na estimativa dos volumes, quando avaliadas juntas, uma tendenciosidade de

2% nas medições de ambas as variáveis provocou 8% de tendenciosidade no volume total. Em comparação ao presente trabalho, visto que o projeto de número 09 não apresentou erros nas medições dos valores de CAP, entende-se que o erro entre o valor de altura total médio deste projeto que foi de 0,23% provocou uma variação 0,08% na estimativa do volume individual médio, demonstrando uma tendência de influência entre as variáveis, diferente da multiplicativa apresentada na simulação.

Ao observar a estimativa do volume individual médio do projeto de número 22, que possui a menor variação entre as medições dos valores de altura total, verificou-se que esse apresenta uma variação de -0,22%, provavelmente provocada pela variação de -0,10% no valor de CAP médio, que mesmo em proporções diferentes, apresenta a mesma tendência multiplicativa de influência entre as variáveis. Ao observar o projeto de número 05 que apresenta as diferenças relativas mais próximas, 0,07% e 0,05%, respectivamente para valores de CAP e altura total, nota-se que também apresentou diferentes proporções de influência entre as variáveis, com diferença na estimativa de volume individual médio de 0,10%. As diferenças entre a forma e proporção que a simulação dos erros de medições e os valores observados no presente trabalho, que afetam a estimativa do volume, podem ser consequência de diversos fatores, entre eles as características das espécies e povoamento.

## 5.8. USO DE INDICADORES ESTATÍSTICOS PARA AVALIAÇÃO DAS MEDIÇÕES

### 5.8.1. Teste *t* de Student

O teste *t* de Student para médias é um teste paramétrico utilizado para determinar a existência de diferença estatística entre grupos de dados que foram testados duas vezes, uma antes e outra depois de um processo (HEDBERG; AYERS, 2015 e YANG; MONSERUD; HUANG, 2004). O teste *t* mostrou resultados que não seguem a mesma tendência das demais ferramentas utilizadas, considerando haver uma maior quantidade de projetos com diferença significativa entre as medições dos valores de CAP do que nas medições dos valores de altura total. Isso, provavelmente se deve ao fato de seu desempenho ter forte dependência do tamanho da amostra, como relatado por Tarasińska; Livingston e Cassidy, (2005), que no caso do presente estudo é muito maior para os valores de CAP. Essa discrepância para com as demais ferramentas pode ser resultante do maior número de valores de CAP por projeto, em comparação com os valores de altura total, uma diferença de aproximadamente 65%. Sendo assim, a aplicação do respectivo teste em nível de parcelas pode equiparar o efeito entre as

variáveis. Elzinga, Shearer e Elzinga (2005) utilizaram o mesmo teste para a comparação de medições de valores de CAP de 879 árvores e também encontrou valores de  $p$  baixos, indicando também diferença estatísticas entre as duas medições.

### 5.8.2. Raiz do erro quadrático médio

Com o objetivo de avaliar a acurácia de ajustes de equações (KANGAS, 1999), nesse trabalho, a REQM% avalia a diferença quadrática média entre as medições realizadas na auditoria e no inventário. Considerando que quanto menor o seu valor, maior foi a acurácia das medições do inventário florestal, segundo Siipilehto, Sarkkola e Mehtatalo (2007), quando utilizada para a avaliação de estimativas, valores de REQM% inferiores a 5% são considerados resultados de uma excelente acurácia. Dessa forma, considerando-se que deve haver um maior rigor nas medições das variáveis dendrométricas, os resultados obtidos por essa ferramenta ainda indicam uma excelente acurácia nas medições dos valores de CAP. Com relação às medições dos valores de altura total, os resultados mostram uma queda na acurácia, indicando uma maior dificuldade na mensuração dessa variável.

### 5.8.3. Viés%

Também utilizado para a avaliação de estimativas (SIIPILEHTO e SIITONEN, 2004), o Viés% expressa o desvio médio dos valores estimados em relação aos observados, indicando a magnitude do erro sistemático, tendência de um modelo em superestimar ou subestimar os valores estimados e pode ser utilizada em auxílio da análise gráfica dos resíduos (ASHRAF et al. 2015). Devido à pouca variação entre os valores de CAP, os resultados de Viés% são considerados baixos. Os resultados provenientes dessa ferramenta para os valores de altura total foram maiores que os encontrados para os valores de CAP, porém, observa-se que relativamente, as tendenciosidades são graficamente mais expressivas entre as medições dos valores de CAP. Foi possível observar que os projetos com maiores e menores valores de Viés%, que indicam respectivamente a subestimação e a superestimação, foram os que apresentaram essas tendências visivelmente mais perceptíveis nas análises gráficas dos resíduos. Também se observou que a tendenciosidade entre os projetos foi balanceada, sendo encontradas tendências a superestimativa para os valores de CAP em 14 projetos, para altura total em 14 projetos e para o volume em 13 projetos. Dessa forma, essas tendenciosidades

tendem a compensar umas às outras, causando pouca interferência no planejamento da produção florestal.

#### 5.8.4. Desvio médio

Enquanto o Viés% tem o objetivo de avaliar a tendência dos erros ocorridos, o DM avalia o afastamento de cada resíduo em relação à média, isto é, a amplitude desses erros em relação à média, ou seja, tem o objetivo de avaliar característica aleatória dos erros (RUSSEL; WEISKITTEL; KERSHAW JUNIOR, 2011). Os maiores valores de DM foram encontrados para os valores de altura total, indicando uma maior distância entre os resíduos encontrados nessa variável em relação com os encontrados nos valores de CAP, também foi observada uma relação com a análise gráfica dos resíduos, onde os projetos apresentaram maiores dispersões entre os resíduos nas nuvens de pontos.

#### 5.8.5. Distribuição gráfica dos resíduos

A distribuição gráfica dos resíduos é um exame visual e por isso é considerado uma opção informal e subjetiva para analisar a distribuição de resíduos, exigindo uma observação mais minuciosa e maior experiência para a identificação de possíveis tendências (AHRENS, 1983; DRAPER; SMITH, 1980). Por meio dos gráficos de distribuição dos resíduos foi possível identificar algumas tendências nas medições que não seriam possíveis com o uso dos outros indicadores, como por exemplo, a tendência dos erros de medições dos valores de altura total diminuir na medida em que as árvores se tornam mais altas em alguns projetos. Os gráficos também auxiliaram o uso do Viés%, já que devido aos pequenos valores apresentados, seria difícil a interpretação das pequenas tendências em superestimativa ou subestimativa, observadas em algumas parcelas.

#### 5.8.6. Avaliação do uso de indicadores estatísticos

De uma forma geral, a comparação da estimativa dos volumes, por meio das ferramentas REQM% e Viés% mostraram resultados intermediários aos resultados apresentados para os valores de CAP e altura total. Isso se deve ao fato de ambas as variáveis mensuradas, serem utilizadas como independentes na estimativa dos volumes individuais. Ao observar o resultado do teste *t* para as estimativas do volume, nota-se que esses são mais

próximos dos obtidos na avaliação dos valores de CAP, devido ao número de parcelas com diferença estatística. Porém, como citado anteriormente, pode ser decorrente do tamanho da amostra.

Graficamente, observa-se que os resíduos das estimativas dos volumes acompanharam as superestimativas e subestimativas dos valores de CAP observados nos projetos de ocorrência dessas tendências, assim como também acompanhou a redução da variação dos resíduos com o aumento dos valores de altura total observado em alguns projetos.

Embora os maiores valores de REQM% e incidência de erros tenham sido encontrados nas medições dos valores de altura total, foram as medições dos valores de CAP que apresentaram a maior incidência de tendenciosidades. Em consequência da análise da situação dos projetos, a magnitude dos erros e considerando as fontes de erros de medições de valores de CAP citadas por Elzinga, Shearer e Elzinga (2005), devido a não ocorrência de valores extremos e a característica sistemática, conclui-se que esses erros sejam respectivamente decorrentes da leitura errônea dos valores ou da divergência na posição da fita no plano perpendicular ao eixo da árvore. Sendo assim, os mesmos podem ser consequência do estiramento das fitas métricas e da mensuração abaixo ou acima de 1,3 m.

Semelhante às auditorias de inventário florestal já praticada, para a avaliação através da metodologia apresentada nesse trabalho recomenda-se que se estabeleça um limite do valor de REQM%, Viés% e DM para os valores de CAP e altura total. Considerando o desempenho das equipes de campo e analisando as metodologias de controle de produção aconselha-se que esse valor seja baseado na média dos projetos ou parcelas para fins de treinamento de equipe. Já para fins de reprovação de projetos ou parcelas, o valor limite deve ser baseado no limite de erro estipulado entre as partes envolvidas na execução do inventário florestal. Para um maior controle das medições e maximização do potencial das ferramentas citadas anteriormente, também é recomendado que a avaliação da auditoria seja realizada a nível de parcela. Essa recomendação é ainda mais frisada para o uso do teste  $t$  de Student, considerando a necessidade de se igualar a base comparativa entre as variáveis de valores de CAP e altura total, que na amostragem do valor de altura total é descartado, devido ao aumento do custo do inventário, decorrente de fatores operacionais.

## 5.9. COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO DE MEDIÇÕES

Quando comparado ao método de avaliação proposto, embora a avaliação convencional das medições na auditoria de inventários florestais possibilite a reprovação das

parcelas com maiores diferenças entre as medições e também uma observação superficial da tendenciosidade nas medições, observa-se que parcela reprovada pela análise de frequências não foi a que apresentou a maior diferença relativa entre os volumes médios individuais estimados e nem mesmo a que apresentou os piores resultados dos indicadores estatísticos, mostrando ineficiência em avaliar as medições em relação ao método de avaliação proposto.

Também se nota que referente à finalidade de treinamento das equipes de campo e uso para planejamento de inventário e produção, os valores dos resultados apresentados são subjetivos, sendo difícil a obtenção de valores paramétricos.

Devido à característica de independência dos critérios de avaliação, a avaliação convencional das medições não permite a observação de potenciais correlações entre esses erros e diversas características referentes aos indivíduos, povoamento e metodologia do inventário florestal, relações que Westfall e Patterson (2007) recomendam para avaliação das medições e que pode ser observada nos indicadores utilizados pela proposta de avaliação.

Dessa forma, a avaliação proposta tem como característica avaliar as medições de forma pareada, levando em consideração a medição de cada indivíduo, mostrando assim, que o uso de indicadores estatísticos, principalmente a REQM% e o Gráfico de distribuição dos resíduos, é a forma mais adequada para a avaliação das medições em auditoria de inventários florestais, permitindo uma maior compreensão da dinâmica da ocorrência dos erros de medição.

Dessa forma, o uso de indicadores estatísticos na atividade de auditoria de inventário, pode ajudar a garantir os princípios da gestão da qualidade e da auditoria de não apenas indicar não conformidades, mas também, que seus resultados possam ser utilizados no processo de melhoria contínua da atividade em questão, através de treinamentos precisos e adequados para as equipes de campo (RAMOS, 1991).

## 5.10. USO DOS RESULTADOS NO PLANEJAMENTO

### 5.10.1 Planejamento de inventário florestal

O uso dos indicadores estatísticos possibilita uma base estatística comparativa, assim favorecendo a confecção de uma possível compilação de erros, como a citada por Gertner e Khol (1992), a qual pode proporcionar as avaliações e verificações das diferentes potenciais fontes de erros e a quantificação da contribuição proporcional de cada fonte para o erro total do inventário. Estas avaliações e verificações podem ser utilizadas para revisão de métodos,

avaliação de parcelas, equipes de campo, sistema de informação geográfica, tendenciosidades, eficiência e consistência dos dados.

Por estarem na mesma base comparativa utilizada para avaliação de modelos de equações hipsométricas e de volume, o uso desses resultados no planejamento de inventários florestais é mais objetivo e facilitado, o resultado da REQM% por exemplo, pode ser utilizado para compor a determinação da precisão do inventário florestal, conforme citado por Sanqueta et al. (2009). Quando utilizados esses indicadores provenientes de inventários já realizados, podem garantir um planejamento mais preciso, podendo ser relacionados a área, espécie florestal, equipes de medições, dimensões das variáveis dendrométricas, idade do plantio, entre outros.

Quanto ao treinamento das equipes de campo, o método permite avaliar o desempenho das mesmas, podendo ser atribuídos a elas os valores dos indicadores estatísticos obtidos na avaliação das medições, bem como pode direcionar o treinamento com base nesses resultados. Nesse caso por exemplo, a prioridade de treinamento deve ser direcionada para as medições dos valores de altura total, em especial as árvores de menores alturas.

#### 5.10.2. Planejamento da produção florestal

Devido à grande importância das informações qualitativas e quantitativas dos inventários florestais para o planejamento da produção florestal (PUKKALA, 1998), as informações obtidas com maior precisão provavelmente proporcionarão uma menor possibilidade de afetar negativamente o planejamento da produção florestal, como por exemplo, perdas econômicas causadas por períodos de colheita não otimizado (MÄKINEN, KANGAS; MEHTÄTALO, 2010), imprecisão e falta de acurácia de estimativas de modelos estatísticos (GERTNER; DZIALOWY, 1984) e falta de adaptação à situação econômica por superestimação ou subestimação da estimativa do crescimento de um determinado povoamento florestal, já que os verdadeiros valores permanecerão desconhecidos até o momento da colheita desse povoamento (KANGAS; KANGAS, 1999).

## 6. CONCLUSÃO

Quanto ao cenário 1 (avaliação convencional), conclui-se que nenhum projeto foi reprovado pelos critérios de avaliação das medições dos valores de CAP, enquanto na avaliação das medições dos valores de altura total, houve a reprovação de um projeto pelo critério de análise da frequência. Também não foram observados projetos com erros classificados como extremos para as variáveis avaliadas.

Para o cenário 2 (método de avaliação proposto), os resultados dos indicadores estatísticos obtidos mostram que as medições dos valores de CAP foram precisas, todos os projetos apresentaram REQM% abaixo de 1%. Para as medições dos valores de altura total, os resultados não apresentaram a mesma precisão, apresentando valores de REQM% de até aproximadamente 4%. Por meio do Viés%, pode-se observar que, embora com baixa magnitude, as medições dos valores de CAP apresentaram maiores tendenciosidades a sub e superestimação em relação aos valores de altura total.

Comparando os resultados do Viés% e DM, também pode se concluir que as medições dos valores de CAP e altura total estão mais propensas à ocorrência de erros aleatórios do que sistemáticos. Além de permitir a visualização das tendenciosidades nas medições das variáveis, os gráficos de distribuição dos resíduos também permitiram observar que nas medições dos valores de altura total, os erros de maiores magnitudes tendem a ocorrer nas árvores de menores alturas.

Os resultados do teste *t* de Student não apresentaram o comportamento esperado. Ao considerar maior quantidade de projetos com diferença estatística entre as medições dos valores de CAP variável, não seguiu a tendência dos demais indicadores estatísticos, o que pode estar relacionado com a diferença do número de amostras das variáveis.

Quando comparados os métodos de avaliação, foi possível observar que o uso dos indicadores estatísticos, principalmente a REQM% e o Gráfico de Distribuição dos Resíduos proporcionam maior capacidade de interpretação da influência dos erros de medições nas variáveis dendrométricas de interesse. Além disso, esses resultados podem ser facilmente comparados e anexados aos processos estatísticos do inventário florestal, bem como, podem ser usados no treinamento das equipes de campo, contribuindo com a melhoria contínua das atividades do inventário florestal e consequentemente do planejamento da produção.

## 7. RECOMENDAÇÕES

Os indicadores REQM% e Gráfico de distribuição dos resíduos devem ser prioritários nas avaliações das medições em auditorias de inventário florestal.

Recomenda-se que, a aplicação prática da metodologia proposta seja primeiramente realizada a nível de parcela, já que neste trabalho a avaliação foi feita a nível de projetos para uma melhor observação do comportamento dos erros e apresentação dos resultados.

A avaliação por parcela é ainda mais recomendada para o uso do teste  $t$  de Student, já que a nível de projeto, este teste pode estar sujeito a uma maior variabilidade, devido a diversas fontes de influência que podem tornar o teste mais ou menos rigoroso.

## REFERÊNCIAS

AHRENS, S. Importância da distribuição de resíduos de regressão na seleção de equações de volume. **Silvicultura, São Paulo**, v. 8, n. 28, p. 609-614, 1983.

ARAÚJO, I. P. S. **Introdução à auditoria operacional**. FGV Editora, 2001.

ARRUDA, D. M.; FERREIRA JUNIOR, W. G.; DUQUE-BRASIL, R.; SCHAEFER, C. E. Phytogeographical patterns of dry forests sensu stricto in northern Minas Gerais State, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, n. 2, p. 623-634, 2013.

ASHRAF, M. I.; MENG, F. R.; BOURQUE, C. P. A.; MACLEAN, D. A. A novel modelling approach for predicting forest growth and yield under climate change. **PloS one**, v. 10, n. 7, p. e0132066, 2015.

ATTIE, W. **Auditoria: Conceitos e Aplicações**. Editora Atlas SA, 2000.

BERGER, A.; GSCHWANTNER, T.; GABLER, K.; SCHADAUER, K. Analysis of tree measurement errors in the Austrian National Forest Inventory. **Aust. J. For. Sci**, v. 129, n. 3, p. 149-177, 2012.

BERGER, A.; GSCHWANTNER, T.; MCROBERTS, R. E.; SCHADAUER, K. Effects of measurement errors on individual tree stem volume estimates for the Austrian National Forest Inventory. **Forest Science**, v. 60, n. 1, p. 14-24, 2014.

BRASSEL, P.; LISCHKE, H. **Swiss national forest inventory: methods and models of the second assessment**. WSL, 2001.

BUTTLE, F. ISO 9000: marketing motivations and benefits. **International journal of quality & reliability management**, v. 14, n. 9, p. 936-947, 1997.

CANAVAN, S. J.; HANN, D. W. The two-stage method for measurement error characterization. **Forest Science**, v. 50, n. 6, p. 743-756, 2004.

CARVALHO, M.; PALADINI, E. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Elsevier Brasil, 2013.

CASTAÑO-SANTAMARÍA, J.; CRECENTE-CAMPO, F.; FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, J. L.; BARRIO-ANTA, M.; OBESO, J. R. Tree height prediction approaches for uneven-aged beech forests in northwestern Spain. **Forest Ecology and Management**, v. 307, p. 63-73, 2013.

CHIAVENATO, I. **Administração nos novos tempos**. Elsevier Brasil, 2005.

COLBERT, K. C.; LARSEN, D. R.; LOOTENS, J. R. Height-diameter equations for thirteen midwestern bottomland hardwood species. **Northern Journal of Applied Forestry**, v. 19, n. 4, p. 171-176, 2002.

COCHRAN, W. G. **Sampling Techniques: 3d Ed**. Wiley, 1977.

CROSBY, P. B. **Qualidade é investimento: a arte de garantir a qualidade**. José Olympio, 1994.

CUNIA, T. Some theory on reliability of volume estimates in a forest inventory sample. **Forest Science**, v. 11, n. 1, p. 115-128, 1965.

D'AMOURS, S.; RÖNNQVIST, M.; WEINTRAUB, A. Using operational research for supply chain planning in the forest products industry. **Infor. Information Systems And Operational Research**, v. 46, n. 4, p. 265, 2008.

DEMING, W. E. **Out of the Crisis**. MIT press, 2000.

DIAZ-BALTEIRO, L.; ROMERO, C. Making forestry decisions with multiple criteria: A review and an assessment. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 8, p. 3222-3241, 2008.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 709 p. 1980.

ELZINGA, C.; SHEARER, R. C.; ELZINGA, G. Observer variation in tree diameter measurements. **Western Journal of Applied Forestry**, v. 20, n. 2, p. 134-137, 2005.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. United States Department of Agriculture. Forest Service. **Forest inventory and analysis, fiscal year 2016 business report**, Washington D.C., 2016.

FEIGENBAUM, A. V. Total quality control. **New York: McGraw-Hill, 1991, 3rd ed./rev. 40th anniversary ed.**, 1991.

FIDELIS, J. R. F.; CÂNDIDO, C. M. A administração da informação integrada às estratégias empresariais. **Perspect. ciênc. inf., Belo Horizonte**, v. 11, n. 3, p. 424-432, 2006.

FRAYRET, J. M.; D'AMOURS, S.; ROUSSEAU, A.; HARVEY, S.; GAUDREAU, J. Agent-based supply-chain planning in the forest products industry. **International Journal of Flexible Manufacturing Systems**, v. 19, n. 4, p. 358-391, 2008.

GABLER, K.; SCHADAUER, K. Some approaches and designs of sample-based national forest inventories. **Austrian J For Sci**, v. 124, n. 2, p. 105-133, 2007.

GÁL, J.; BELLA, I. E. Error assessment for a provincial timber inventory. **The Forestry Chronicle**, v. 71, n. 5, p. 627-632, 1995.

GARVIN, D. A. **Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva**. Qualitymark Editora Ltda, 1992.

GERTNER, G. Z.; DZIALOWY, P. J. Effects of measurement errors on an individual tree-based growth projection system. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 14, n. 3, p. 311-316, 1984.

GERTNER, G. Z. The sensitivity of measurement error in stand volume estimation. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 20, n. 6, p. 800-804, 1990.

GERTNER, G. Z. Prediction bias and response surface curvature. **Forest science**, v. 37, n. 3, p. 755-765, 1991.

GERTNER, G. Z.; KÖHL, M. An assessment of some nonsampling errors in a national survey using an error budget. **Forest Science**, v. 38, n. 3, p. 525-538, 1992.

HAARA, A. Comparing simulation methods for modelling the errors of stand inventory data. **Silva Fennica**, v. 37, n. 4, p. 477-491, 2003.

HEDBERG, E. C.; AYERS, S. The power of a paired t-test with a covariate. **Social science research**, v. 50, p. 277-291, 2015.

HINDLE, T. Tudo sobre administração. **São Paulo: Editora Nobel**, 2002.

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Anuário Estatístico IBÁ 2016**. Brasília, 2016.

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

JURAN, J. M. **Juran planejando para a qualidade**. Pioneira, 1990.

KANGAS, A. S. On the bias and variance in tree volume predictions due to model and measurement errors. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 11, n. 1-4, p. 281-290, 1996.

KANGAS, A. S. Effect of errors-in-variables on coefficients of a growth model and on prediction of growth. **Forest Ecology and Management**, v. 102, n. 2, p. 203-212, 1998.

KANGAS, A. S. Methods for assessing uncertainty of growth and yield predictions. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 29, n. 9, p. 1357-1364, 1999.

KANGAS, A. S.; KANGAS, J. Optimization bias in forest management planning solutions due to errors in forest variables. **Silva Fennica**, v. 33, n. 4, p. 303-315, 1999.

KANGAS, J.; STORE, R.; LESKINEN, P.; MEHTAËTALO, L. Improving the quality of landscape ecological forest planning by utilising advanced decision-support tools. **Forest ecology and management**, v. 132, n. 2, p. 157-171, 2000.

LIVINGSTON, E. H.; CASSIDY, L. Statistical power and estimation of the number of required subjects for a study based on the t-test: a surgeon's primer. **Journal of Surgical Research**, v. 126, n. 2, p. 149-159, 2005.

LUCINDA, M. A. **Qualidade-Fundamentos e Práticas**. Brasport, 2010.

LUSTOSA, L. J.; MESQUITA, M. A.; QUELHAS, O.; OLIVEIRA, R. J. **Planejamento e controle da produção**. Elsevier Brasil, 2008.

- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. Dendrometria. 2ª edição. **Guarapuava: Unicentro**, 2006.
- MACHADO, S. S. Gestão da qualidade. **Inhumas: IFG**, p. 40-81, 2008.
- MONTANA, P. J.; CHARNOV, B. H. **Administração. 3ª**. São Paulo: Saraiva, 2010.
- MONTEIRO, É. M.; SILVA, J. C. F.; COSTA, R. T.; COSTA D. C.; BARATA, R. A.; PAULA, E. V.; COELHO, G. L. L. M.; ROCHA, M. F.; DIAS, C. L. F.; DIAS, E. S. Leishmaniose visceral: estudo de flebotomíneos e infecção canina em Montes Claros. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**. v. 38, n. 2, p. 147-152, 2005.
- MÄKINEN, A.; KANGAS, A.; MEHTÄTALO, L. Correlations, distributions, and trends in forest inventory errors and their effects on forest planning. **Canadian journal of forest research**, v. 40, n. 7, p. 1386-1396, 2010.
- MANESS, T. C.; NORTON, S. E. Multiple period combined optimization approach to forest production planning. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 17, n. 5, p. 460-471, 2002.
- MARIANI, E. J. As normas ISO 9000. **Revista científica eletrônica de administração**, v. 06, n. 10, 2006.
- MAXIMIANO, A. C. A. **Fundamentos de Administração: manual compacto para cursos de formação tecnológica e seqüenciais**. Atlas, 2004.
- MCGEE, J. V.; PRUSAK, L. **Gerenciamento estratégico da informação**. Elsevier Brasil, 1994.
- MCROBERTS, R. E.; HAHN, J. T.; HEFTY, G. J.; CLEVE, J. R. V. Variation in forest inventory field measurements. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 24, n. 9, p. 1766-1770, 1994.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. Grupo Gen-LTC, 2000.
- MYERS, C. A. **Variation in measuring diameter at breast height of mature ponderosa pine**. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, 1961.
- OLIVEIRA, O. J. **Gestão da Qualidade-Tópicos Avançados**. Cengage Learning Editores, 2003.
- OLIVEIRA, D. P. R. **Introdução à administração: teoria e prática**. Atlas, 2009.
- OMULE, S. A. Y. Personal bias in forest measurements. **The Forestry Chronicle**, v. 56, n. 5, p. 222-224, 1980.
- ORLICKAS, E. **Modelos de gestão: das teorias da administração à gestão estratégica**. Editora Ibplex, 2010.

PEREIRA, É. C. O.; ERDMANN, R. H. Do planejamento e controle da produção à produção integrada por computador: A evolução do gerenciamento da produção. **Revista Teoria e Evidência Econômica**, v. 5, n. 10, 1998.

POLLARD, J. **Forest Inventory and Analysis: Quality Assurance**. FIA Fact Sheet Series, 2005.

PUKKALA, T. Multiple risks in multi-objective forest planning: integration and importance. **Forest Ecology and Management**, v. 111, n. 2, p. 265-284, 1998.

PUKKALA, T. **Multi-objective forest planning**. Springer Science & Business Media, 2013.

RAMOS, A. W. Auditorias da qualidade. **Production**, v. 1, n. 2, p. 87-95, 1991.

RUSSELL, M. B.; WEISKITTEL, A. R.; KERSHAW JUNIOR, J. A. Assessing model performance in forecasting long-term individual tree diameter versus basal area increment for the primary Acadian tree species. **Canadian journal of forest research**, v. 41, n. 12, p. 2267-2275, 2011.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; CORTÊ, A. P. D.; FERNANDES, L. D. A.; SIQUEIRA, J. D. P. Inventários florestais: planejamento e execução. **Curitiba: Multi-Graphic**, v. 2, 2009.

SIIPILEHTO, J.; SIITONEN, J. Degree of previous cutting in explaining the differences in diameter distributions between mature managed and natural Norway spruce forests. **Silva Fennica**, v. 38, n. 4, p. 425-435, 2004.

SIIPILEHTO, J.; SARKKOLA, S.; MEHTATALO, L.. Comparing regression estimation techniques when predicting diameter distributions of Scots pine on drained peatlands. **Silva Fennica**, v. 41, n. 2, p. 333, 2007.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da produção. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 747 p.

SUTY, N.; NYSTRÖM, K.; STÅHL, G. Assessment of bias due to random measurement errors in stem volume growth estimation by the Swedish National Forest Inventory. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 28, n. 2, p. 174-183, 2013.

STEFANSKI, L. A. Measurement error models. **Journal of the American Statistical Association**, v. 95, n. 452, p. 1353-1358, 2000.

TARASÍŃSKA, J. Confidence intervals for the power of Student's t-test. **Statistics & probability letters**, v. 73, n. 2, p. 125-130, 2005.

TEODORO, R. B.; OLIVEIRA, F. L. D.; SILVA, D. M. N. D.; FÁVERO, C.; QUARESMA, M. A. L. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no Cerrado do Alto Vale do Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 35, p. 635-643, 2011.

THE TIMBER GROUP BRASIL. **Parâmetros e critérios de auditoria IFC 2015; Região Norte de Minas**, Montes Claros., 2015.

TOMPPO, E.; GSCHWANTNER, T.; LAWRENCE, M.; MCROBERTS, R. E. National forest inventories. **Pathways for Common Reporting. European Science Foundation**, p. 541-553, 2010.

WESTFALL, J. A.; PATTERSON, P. L. Measurement variability error for estimates of volume change. **Canadian journal of forest research**, v. 37, n. 11, p. 2201-2210, 2007.

YANG, Y.; MONSERUD, R. A.; HUANG, S. An evaluation of diagnostic tests and their roles in validating forest biometric models. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 34, n. 3, p. 619-629, 2004.

ZSCHOKKE, S.; LÜDIN, E. Measurement accuracy: how much is necessary?. **Bulletin of the Ecological Society of America**, v. 82, n. 4, p. 237-243, 2001.