

ALOIS ZATOR FILHO

**PROPOSIÇÃO DE UM SISTEMA DE INVENTÁRIO
FLORESTAL CONTÍNUO MEDIANTE COMPARAÇÃO COM
SISTEMA UTILIZADO EM PLANTIOS DE *Pinus taeda* NO
PLANALTO NORTE CATARINENSE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração Manejo Florestal, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

Co-orientador: Prof. Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa

Curitiba

2010

AGRADECIMENTOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa eu agradeço primeiramente a Deus que me deu sabedoria, para meu orientador Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima e co-orientador Prof. Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa que me direcionaram e auxiliaram. Um agradecimento especial para minha esposa Cintia por ter me apoiado, aos meus amigos e familiares. Como não deixaria de agradecer aos professores e colegas que participaram durante este período de minha vida, assim como a empresa estudada que me proporcionou toda a estrutura necessária para o desenvolvimento desta pesquisa, a todos o meu muito obrigado.

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo a comparação da precisão, em relação à variável volume, e dos custos, em relação ao tempo consumido e operacionalidade de aplicação, entre o sistema de Inventário Florestal Contínuo (IFC) atualmente utilizado por uma empresa florestal catarinense e um sistema de IFC proposto para aplicação no atual modelo de implantação e manejo das florestas de *Pinus taeda* dessa empresa. Na proposição do novo sistema de IFC foi definido o tamanho ideal da unidade amostral a partir da estimativa do número de árvores necessários para compor a unidade amostral, obtida em função da variância do diâmetro a altura do peito (DAP), em função da variância da área basal e em função da variância do volume. Paralelamente a este estudo, também foi analisado o número de árvore necessário a ser cubado para o ajuste do modelo de equação volumétrica de Schumacher, também com base na variância do DAP, na variância da área basal e variância do volume, para cada classe de idade e de diâmetro. O melhor ajuste do modelo de equação de volume foi com base na variância do volume, seguida da variância da área basal. A menor quantidade de árvores a cubar foi quando se utilizou a variância da variável DAP, no entanto, esta apresentou o menor ajuste. Na comparação dos sistemas, o IFC propostos utilizando unidades amostrais de mesma área, tanto na forma quadrada quanto na forma circular, ambas foram mais eficientes que o IFC atualmente utilizado pela empresa. Esta eficiência está relacionada com o menor custo de instalação e medição das unidades amostrais permanentes sem prejudicar a precisão desejada. As unidades amostrais quadradas e circulares apresentaram semelhança nos resultados encontrados, sendo que as unidades amostrais circulares consumiram menor tempo na sua implantação, enquanto que as unidades amostrais quadradas apresentaram melhor facilidade de medição das variáveis de interesse devido ao seu caminhamento em linha na unidade amostral. PALAVRAS CHAVE: Inventário Florestal Contínuo, unidade amostral, análise de precisão.

ABSTRACT

This study aimed to compare the accuracy in relation to the variable volume, and cost relative to the time consumed and operation of application between the system of Continuous Forest Inventory (IFC) currently used by a forestry company from State of Santa Catarina and a proposed IFC system that was developed for implementation in the current model of planting and forest management of Loblolly pine of a forestry company. For proposing the new system, IFC has been set the optimal size of sampling units from the estimated number of trees needed to compose the sampling unit, obtained as a function of the variance in diameter at breast height (DBH), depending on the variance of basal area and depending on the variance of the volume. Parallel to this study, besides the number of tree needed to be cubed for adjusting the volume equation model of Schumacher were analyzed, also based on the variance of DBH, basal area and volume for each age and DBH class. The best fit of the volume equation model was based on the variance of volume followed of basal area variance. The fewer number of cubed trees was found using the variance of DAP, however, it presented the lowest setting. In comparing the systems, the proposed IFC using sample plot of the same area in both square and circular shape, both were more efficient than the currently IFC used by the company. This efficiency is related to the lower cost of installation and trees measurement in permanent sample plots without sacrificing precision. The square and circular sampling units were similar in the volume estimation, but the circular sampling units consumed less time to field implementation, while the square sampling units had better facility of measuring the interest variables due for walking on line in the sample unit.

KEYWORDS: Continuous Forest Inventory, sample unit, Precision analysis.

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DO VOLUME – PLANTIO DE 5 ANOS.....	54
GRÁFICO 2: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DA ÁREA BASAL – PLANTIO DE 5 ANOS.....	54
GRÁFICO 3: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DO DIÂMETRO – PLANTIO DE 5 ANOS.....	55
GRÁFICO 4: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DO VOLUME – PLANTIO DE 9 ANOS.....	56
GRÁFICO 5: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DA ÁREA BASAL – PLANTIO DE 9 ANOS.....	57
GRÁFICO 6: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DO DIÂMETRO – PLANTIO DE 9 ANOS.....	57
GRÁFICO 7: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DO VOLUME – PLANTIO DE 13 ANOS.....	59
GRÁFICO 8: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DA ÁREA BASAL – PLANTIO DE 13 ANOS.....	59
GRÁFICO 9: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DO DIÂMETRO – PLANTIO DE 13 ANOS.....	60

GRÁFICO 10: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DO VOLUME – PLANTIO DE 17 ANOS.....	61
GRÁFICO 11: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DA ÁREA BASAL – PLANTIO DE 17 ANOS.....	62
GRÁFICO 12: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DO DIÂMETRO – PLANTIO DE 17 ANOS.....	62

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: COEFICIENTES POR IDADE FORNECIDOS PELA EMPRESA PARA APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO HIPSOMÉTRICA.	63
QUADRO 2: VOLUME DAS UNIDADES AMOSTRAIS – PLANTIO DE 5 ANOS.	65
QUADRO 3: VOLUME DAS UNIDADES AMOSTRAIS – PLANTIO DE 9 ANOS.	67
QUADRO 4: VOLUME DAS UNIDADES AMOSTRAIS – PLANTIO DE 13 ANOS.	68
QUADRO 5: VOLUME DAS UNIDADES AMOSTRAIS – PLANTIO DE 17 ANOS.	71
QUADRO 6: CENÁRIO DO NÚMERO DE UNIDADES AMOSTRAIS PLANEJADAS	77

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: INTERVALO DE CLASSE DE DIÂMETRO	34
TABELA 2: NÚMERO DE ÁRVORES POR PARCELA - PLANTIO DE 5 ANOS	44
TABELA 3: NÚMERO DE ÁRVORES POR PARCELA – PLANTIO DE 9 ANOS..	45
TABELA 4: NUMERO DE ÁRVORES POR PARCELA – PLANTIO DE 13 ANOS.	46
TABELA 5: NÚMERO DE ÁRVORES POR PARCELA – PLANTIO DE 17 ANOS.	47
TABELA 6: ANÁLISE DO NÚMERO DE ÁRVORES NECSSÁRIO PARA COMPOR A UNIDADE AMOSTRAL.	47
TABELA 7: ÁRVORES A SEREM CUBADAS – PLANTIO DE 5 ANOS	50
TABELA 8: ÁRVORES A SEREM CUBADAS – PLANTIO DE 9 ANOS	51
TABELA 9: ÁRVORES A SEREM CUBADAS – PLANTIO DE 13 ANOS	51
TABELA 10: ÁRVORES A SEREM CUBADAS – PLANTIO DE 17 ANOS	52
TABELA 11: ANÁLISES ESTATÍSTICAS – PLANTIO DE 5 ANOS	53
TABELA 12: ANÁLISES ESTATÍSTICAS – PLANTIO DE 9 ANOS	56
TABELA 13: ANÁLISES ESTATÍSTICAS – PLANTIO DE 13 ANOS	58
TABELA 14: ANÁLISES ESTATÍSTICAS – PLANTIO DE 17 ANOS	61
TABELA 15: ANOVA – PLANTIO DE 5 ANOS.....	66
TABELA 16: ANOVA – PLANTIO DE 9 ANOS.....	68
TABELA 17: ANOVA – PLANTIO DE 13 ANOS.....	70
TABELA 18: ANOVA – PLANTIO DE 17 ANOS.....	72
TABELA 19: CUSTO DE INSTALAÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS.....	74
TABELA 20: TEMPO MÉDIO DE MEDIÇÃO DAS VÁRIÁVEIS DAP E ALTURA..	74
TABELA 21: EFICIÊNCIA RELATIVA	75
TABELA 22: CUSTO DE MEDIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS.....	76
TABELA 23: CUSTO DE MEDIÇÃO DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS CONSIDERANDO A MÉDIA DE TEMPO CONSUMIDO EM TODAS CLASSES DE IDADE	76
TABELA 24: CUSTO TOTAL DAS ATIVIDADES DE CAMPO DOS IFC	77

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	0
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1 AMOSTRAGENS EM POVOAMENTOS FLORESTAIS.....	12
3.2 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM	13
3.2.1 Método de área fixa.....	14
3.3 PROCESSOS DE AMOSTRAGEM.....	16
3.3.1 Amostragem aleatória simples	17
3.4 SISTEMAS DE AMOSTRAGEM	18
3.4.1 Inventário florestal contínuo	19
3.4.2 Custo de inventário	20
4 MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1 LOCAL DO ESTUDO	22
4.1.1 Manejo anterior	23
4.1.2 Manejo atual.....	24
4.2 SISTEMA DE IFC PRATICADO ATUALMENTE	25
4.2.1 Método de amostragem praticado atualmente	25
4.2.2 Processo de amostragem praticado atualmente	26
4.2.3 Procedimento de medição praticado atualmente	26
4.3 SISTEMAS DE IFC PROPOSTOS.....	28
4.3.1 Método de amostragem proposto.....	29
4.3.1.1 Tamanho proposto da unidade amostral	29
4.3.1.2 Forma proposta para unidade amostral.....	31
4.4 COMPARAÇÃO ENTRE O SISTEMA DE IFC ATUALMENTE UTILIZADO PELA EMPRESA E O IFC PROPOSTO	33
4.4.1 Cálculo do número de árvores a cubar para o ajuste do modelo de equação volumétrica.....	33

4.4.1.1 Distribuição diamétrica	34
4.4.2 Seleção e ajuste do modelo de equação de volume	35
4.4.3 Análise de custo do IFC	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1 TAMANHOS DAS UNIDADES AMOSTRAIS PROPOSTOS PARA O SISTEMA DE IFC	43
5.2 FORMAS DE UNIDADES AMOSTRAIS PROPOSTAS PARA O SISTEMA DE IFC	48
5.3 ÁRVORES CUBADAS POR CLASSE DE IDADE E CLASSE DE DIÂMETRO	50
5.4 AJUSTE DA EQUAÇÃO DE VOLUME.....	53
5.4.1 Ajuste da equação de volume para o plantio de 5 anos	53
5.4.2 Ajuste da equação de volume para plantio de 9 anos.....	55
5.4.3 Ajuste da equação de volume para plantio de 13 anos.....	58
5.4.4 Ajuste da equação de volume para plantio de 17 anos.....	60
5.5 COMPARAÇÕES ENTRE OS SISTEMAS DE IFC ATUALMENTE UTILIZADO PELA EMPRESA E OS PROPOSTOS NESTA PESQUISA	63
5.5.1 Volume médio estimado pelos sistemas de IFC para plantio de 5 anos	64
5.5.2 Volume médio estimado pelos sistemas de IFC para plantio de 9 anos	66
5.5.3 Volume médio estimado pelos sistemas de IFC para plantio de 13 anos	68
5.5.4 Volume médio estimado pelos sistemas de IFC para plantio de 17 anos	70
5.6 COMPARAÇÃO ENTRE OS CUSTOS DOS TRÊS SISTEMAS DE IFC	73
5.6.1 Comparação do custo de instalação entre os sistemas de IFC.....	73
5.6.2 Comparação do custo de medição entre os sistemas de IFC	74
5.6.3 Comparação dos custos totais entre os sistemas de IFC.....	77
6 CONCLUSÃO	80
7 REFERÊNCIAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

Uma das formas das empresas obterem de suas florestas as informações de crescimento, estoque, sobrevivência, entre outras informações, é através do inventário florestal contínuo (IFC), na qual a mesma população florestal é mensurada em sucessivas ocasiões, através de amostras, em intervalos regulares de tempo.

As empresas florestais comumente adotam sistema de amostragem próprio para a condução de seu IFC, porém, muitas vezes, ocorrem mudanças no projeto de manejo, linha de produtos florestais, necessidade de novas informações, período de rotação, entre outros, que ocorrem devido à oportunidade de negócio, inovação tecnológica, aprimoramento de técnicas de manejo, tudo para melhorar a competitividade no setor florestal.

Juntamente com as mudanças e a busca pela melhoria na obtenção das informações das florestas, faz-se necessário a otimização do sistema de IFC da empresa. Essa otimização consiste na amostragem da floresta de forma representativa, para que se obtenham as informações das variáveis desejadas com precisão e com baixo custo operacional.

Na proposição deste novo sistema de IFC foi necessário, primeiramente conhecer a metodologia de amostragem adotada atualmente pela empresa e suas necessidades, para então partir para uma análise das características florestais e necessidades de informações desejadas. Esses sistemas de IFC foram testados e comparados, para que possibilitasse a escolha do melhor sistema de IFC para situação proposta.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Comparar dois sistemas de Inventário Florestal Contínuo (IFC), sendo um o sistema atualmente utilizado pela empresa e outro proposto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Propor um sistema de IFC para as condições atuais de plantio e manejo e comparar com o sistema de IFC atualmente utilizado pela empresa, em termos de eficiência, com base na precisão da estimativa de volume e custos com base no consumo de tempo;
- b) Analisar, por comparação, a operacionalidade de implantação dos sistemas de IFC;
- c) Analisar a quantidade de árvores necessária a cubar para o ajuste de equação de volume de Schumacher a ser utilizado nos sistemas de IFC.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 AMOSTRAGENS EM POVOAMENTOS FLORESTAIS

Para a obtenção de informações quantitativas e qualitativas em povoamentos florestais, são aplicadas metodologias de amostragens, onde são mensuradas as variáveis pré-definidas de parte da população e estimado seus parâmetros para o todo do povoamento florestal, sempre levando em consideração a precisão, o custo e a viabilidade operacional.

Os recursos florestais, tanto de povoamentos plantados como naturais, possuem as funções de produção e proteção, requerendo sempre do responsável pelo povoamento decisões precisas e fidedignas para melhor conservar ou manejar estes recursos, o que é possível com a realização de um inventário florestal (SANQUETA, 2006).

A amostragem da população pode ser realizada por vários métodos, os quais devem ser aplicados de acordo com as características da população, a fim de se obter maior precisão com menor custo (PÉLLICO e BRENA, 1997).

O uso da teoria de amostragem clássica, associada a um formato de parcelas que capte bem as variações no espaçamento, propicia estimativas sem viés da variável de interesse, desde que não exista correlação espacial da característica de interesse. Havendo continuidade espacial da característica avaliada, a utilização do método da estatística espacial permite estimativas sem tendência e um menor custo (DINIZ, 2007).

Como as populações florestais são geralmente extensas, de difícil acesso e com frequência necessitam ser inventariada em curto espaço de tempo, a realização dos inventários florestais está intimamente vinculada à teoria da amostragem. É por isso que a maioria dos inventários florestais executados no mundo inteiro é realizada com base em procedimentos estatísticos de amostragem (PÉLLICO e BRENA, 1997).

Segundo LOETSCH e HALLER (1973), citado por PÉLLICO e BRENA (1997), o objetivo da amostragem é fazer inferências corretas sobre a população,

as quais são evidenciadas se a parte selecionada, que é a população amostral, constitui-se de uma representação verdadeira da população objeto.

A teoria da amostragem evoluiu nas últimas décadas, permitindo que a medição de uma parte da população apenas, possibilitasse inferir sobre o todo, com a precisão desejada, a um custo mínimo, em curto espaço de tempo e com possibilidade de confiança fixada (PÉLLICO e BRENA, 1997).

Amostragem é a seleção de uma parte (amostra) de um todo (população), coletando na parte selecionada dados e informações de relativo interesse, com o objetivo de tirar conclusões (inferência) sobre o todo. Pois, principalmente por razões econômicas não podemos realizar um censo. Censo é o termo usado quando observamos, medimos ou contamos todos os indivíduos da população (MORAIS, 2003).

A característica que se destaca em povoamentos é a sua homogeneidade, sendo que, através de uma observação mais aprofundada é possível notar variações significativas ao longo do plantio. Sendo assim, uma análise criteriosa, visando conhecer o comportamento espacial de características dendrométricas é de grande importância na escolha de um sistema de amostragem visando maior confiabilidade nas estimativas das variáveis desejadas.

3.2 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM

O método de amostragem se refere particularmente à unidade amostral, não levando em consideração toda a amostra. O conjunto destas unidades amostrais forma a amostra, que com base nela são estimadas as variáveis de interesse e inferida esses valores para toda população. Entretanto, o método de amostragem é determinado para abordagem da unidade amostral, e sua escolha é fundamental para garantir a confiabilidade e viabilidade da amostragem.

Os métodos de amostragem mais conhecidos são: Área Fixa, Bitterlich, Strand e Prodan. Existem outros, mas não são comumente utilizados. Pode-se considerar que o método de Área Fixa é um dos métodos de amostragem mais usual principalmente por empresas reflorestadoras. Ele se baseia em unidades

amostrais com áreas e formas pré-definidas e comumente são utilizados como parcelas permanentes, sofrendo mais de uma abordagem ao longo do tempo.

Outro método comumente utilizado é o método de Bitterlich, no qual o critério probabilístico de seleção das árvores na unidade amostral é baseado na área basal. O método de Strand baseia seu critério probabilístico de seleção dos indivíduos da unidade amostral de forma proporcional a altura e/ou DAP. Prodan por sua vez baseia seu critério probabilístico de seleção dos indivíduos da unidade amostral proporcional a distância entre os indivíduos em relação a um determinado ponto.

NAKAJIMA (1997), concluiu que, IFC com parcelas de área fixa é mais preciso que a de área variável, principalmente quanto a estimativa da variável for número de árvores.

3.2.1 Método de área fixa

A fixação de uma área, para se obter as informações quantitativas e qualitativas dos indivíduos da floresta, continua sendo o método preferido, mesmo com o desenvolvimento recente de outros métodos alternativos. A não exigência de conhecimentos especializados para a implantação no campo e o perfeito controle das informações obtidas parecem ser os maiores argumentos para a sua preferência (PÉLLICO e BRENA, 1997).

ZEIDE (1980), citado por GOMES e CHAVES (1988), propôs uma metodologia de determinação do tamanho ótimo de parcela, através da minimização do tempo necessário para locação e medição das árvores para um determinado nível de precisão.

Segundo Pearce, citado por PÉLLICO e BRENA (1997), pode-se afirmar que não há informações a cerca de melhor tamanho para unidades amostrais, mas as pequenas proporcionam economia de tempo, enquanto as maiores proporcionam redução de mão-de-obra. Diz também que as unidades amostrais estreitas e compridas, de maneira geral, são melhores que as quadradas, porém,

muitas vezes as quadradas sobrepõem àquelas e a decisão sobre uma ou outra forma, depende do propósito do estudo.

Em termos gerais, pode-se afirmar que unidades amostrais compridas e estreitas são mais convenientes, desde o ponto de vista da desuniformidade do solo. Com a forma comprida é mais factível que as “vetas” ou “manchas” de fertilidades sejam alcançadas por igual nas diferentes unidades amostrais, diminuindo, assim, as diferenças entre as unidades (ROBLES, 1978).

A forma retangular de parcelas é a mais indicada, principalmente quando ocorre sub-bosque, pois facilita o controle de seus limites e das árvores a serem medidas, além de ser mais fácil de demarcar. Todavia, forma circular e forma quadrada de parcelas eventualmente são também empregadas. Além da finalidade, também a condição da população exerce influência na área da parcela e, assim populações heterogêneas exigem parcelas maiores do que as homogêneas (CAMPOS e LEITE, 2002).

A forma da unidade amostral é decidida muito mais pela praticidade e operacionalidade de sua localização e demarcação em campo, do que qualquer outra argumentação. Já para o tamanho das unidades amostrais existe uma relação do coeficiente de variação com a área das unidades amostrais, sendo que pode-se chegar em um ponto ideal desta relação (DRUSZCZ, 2008).

Segundo DRUSZCZ (2008), as unidades circulares ainda são menos utilizadas no Brasil que as retangulares e quadradas, porém, seu uso vem sendo cada vez mais freqüentes em inventários florestais na atualidade.

Segundo PRODAN (1965), citado por PÉLLICO NETO e BRENA (1997), as parcelas circulares ganham eficiência porque entre todas as formas possíveis, considerando-se a mesma área, são as que possuem menor perímetro e, conseqüentemente, minimizam o problema de árvores marginais.

Segundo MORAIS (2003), a maioria dos trabalhos publicados tem demonstrado a dependência entre a variância da média de parcelas e o tamanho das mesmas. Essa dependência se reflete no decréscimo da variância em função do aumento do tamanho da parcela. Igualmente, observou-se que o mesmo ocorria para os coeficientes de variação. Utilizando estas propriedades, FEDERER

(1955), propôs o método da curvatura máxima para a determinação do tamanho ideal de parcelas. Consiste este método plotar em gráfico os coeficientes de variação em função dos respectivos tamanhos das parcelas, e posteriormente, a construção de um gráfico, ligando os pontos das coordenadas. Assim sendo, o tamanho ótimo da parcela será encontrado no ponto de máxima curvatura. Melhores resultados são alcançados quando a unidade amostral é de área fixa.

VASQUEZ (1988) comenta que a área da unidade amostral está diretamente relacionada com o número de indivíduos nela contidos e que muitos trabalhos publicados com referência sobre o assunto revelam a dependência entre as variâncias dos volumes estimados pelas unidades amostrais e o tamanho delas. Várias observações demonstraram o decréscimo da variância em função do aumento da área da unidade amostral, ocorrendo o mesmo com relação ao coeficiente de variação.

HUSCH et. al. (1982), citam que em povoamentos homogêneos a precisão de amostragem tende a ser maior com o emprego de unidades pequenas, devido o maior número de unidades amostrais independentes, mas, por outro lado em povoamentos heterogêneos, unidades pequenas produzem coeficientes de variação altos, sendo então preferidas unidades amostrais maiores.

Para fins de inventário, em florestas homogêneas, tem-se adotado amostragem de parcelas de 400 a 600 metros quadrados (VEIGA, 1984).

Segundo SPURR (1955), o tamanho da unidade de amostra deve ser tal que, ordinariamente, inclua pelo menos 20 ou 30 árvores mensuráveis, cuja área seja tão restrita que não requeira tempo em demasia para a sua mensuração.

GOMES e COUTO (1985), concluíram que, é possível se reduzir significativamente a área de experimentos florestais através da escolha do tamanho ótimo da parcela, sem afetar a precisão dos experimentos.

3.3 PROCESSOS DE AMOSTRAGEM

O processo de amostragem é a disposição do conjunto das unidades amostrais na população. A diferença entre os processos de amostragem está na

forma de acondicionamento das unidades amostrais no povoamento florestal, que pode ser aleatória, sistemática ou mista.

É muito importante que as empresas florestais conheçam o estoque de madeira presente e futuro em cada unidade de manejo. Para isso, é necessário ter uma rede de parcelas de inventário florestal em todas as áreas, a fim de planejar a oferta de madeira da empresa ao longo do tempo e elaborar o microplanejamento das áreas que serão cortadas no presente (DINIZ, 2007).

A amostragem de uma população pode ser realizada segundo alguns processos, os quais devem ser aplicados de acordo com as características da população para obter maior precisão com menor custo, sendo possível, em tese, aplicar qualquer processo de amostragem a uma população florestal na busca das informações de interesse. Entretanto, a utilização de um processo inadequado às características estudadas, certamente, levará a um grande incremento de custo do inventário (DRUSZCZ, 2008).

Segundo PÉLLICO e BRENA (1997), a intensidade de amostragem pode ser determinada através de dois procedimentos principais: em função da variabilidade da população, do erro de amostragem admitido e da probabilidade de confiança fixado ou em função do tempo ou recursos disponíveis para a execução do inventário.

Dentre os processos de amostragem o mais usual é a amostragem aleatória simples, por não apresentar nenhuma indução na locação de suas unidades amostrais, sendo utilizado de sorteio para implantação das unidades amostrais proporcionando a mesma probabilidade de escolha para todos os indivíduos da população.

3.3.1 Amostragem aleatória simples

A amostragem aleatória simples, segundo MORAIS (2003), é a mais utilizada no setor florestal de florestas plantadas, para estimar o volume de madeira das florestas. Mesmo em se tratando de inventário contínuo as amostras são determinadas inicialmente por este processo.

PÉLLICO e BRENA (1997) citam que a amostragem aleatória é o processo fundamental da seleção a partir do qual derivam todos os demais procedimentos de amostragem, visando a aumentar a precisão das estimativas e reduzir os custos do levantamento. A amostragem aleatória simples requer que todas as combinações possíveis de (N) unidades amostrais da população tenham igual chance de participar da amostra. A seleção de cada unidade amostral deve ser livre de qualquer escolha e totalmente independente da seleção das demais unidades amostrais.

3.4 SISTEMAS DE AMOSTRAGEM

Não existe um sistema de amostragem que pode ser aplicado em qualquer situação. Segundo NAKAJIMA (1997), para cada condição florestal existe um sistema mais adequado de amostragem. O método e o processo a ser usado são decisivos para atingir a melhor eficiência da amostragem, tendo que se levar em conta uma série de considerações, cada uma tendo sua influência sobre os resultados da amostragem praticada.

O sistema de amostragem consiste dos métodos e processos de amostragem aplicados em um povoamento florestal, juntamente com os procedimentos de medições utilizados. Para decisão do sistema de amostragem mais adequado a ser aplicado em um determinado povoamento florestal deve-se levar em consideração o objetivo do levantamento, as características da estrutura e os recursos disponíveis (NAKAJIMA, 1997).

Geralmente, quando há intenção de implantar um novo sistema de amostragem ou otimizar um já existente, são testados e comparados os métodos de amostragem de melhor aceitação para condições encontradas, e selecionar o método que proporcione maior eficiência e eficácia na obtenção das informações de interesse da floresta, como pode ser observado na pesquisa desenvolvida por NAKAJIMA (1997), onde o mesmo testa quatro métodos de amostragem: Amostragem em Ponto, Amostragem em Linha, Parcela Circular e Parcela Circular Concêntrica. Neste caso, foi possível levantar inúmeras conclusões entre elas que

o método utilizando a Amostragem em Ponto apresentou menor erro com relação às variáveis: área basal e volume, que é um fator importante a ser levado em conta na seleção do método em relação aos outros métodos de amostragem testados. A comparação destes métodos de amostragem é um exemplo de escolha de melhor método de amostragem para atender ao objetivo da amostragem.

3.4.1 Inventário florestal contínuo

O inventário florestal contínuo (IFC) é um sistema de amostragem em múltiplas ocasiões, que segundo PÉLLICO e BRENA (1997), é o monitoramento de uma população florestal, ou seja, é o acompanhamento de sua evolução através do tempo, exige a realização de sucessivas abordagens em intervalos de tempo, apropriadamente definidos. Essas abordagens permitem avaliar o caráter dinâmico da população, bem como uma série de variáveis indispensáveis para a definição do manejo a ser aplicado à floresta em um horizonte de tempo pré-determinado.

Inventário florestal é toda atividade objetivando a quantificação e qualificação das florestas (árvores, fauna, insetos, etc), com vistas a produção de madeira e outros produtos e/ou a conservação ambiental, utilizando-se de técnicas estatísticas de amostragem (MORAIS, 2003).

FAO (1973) caracteriza a importância de se ter a estruturação dos IFC sem estar comprometida exclusivamente como uma peça fundamental do manejo florestal, o que tem levado sua implantação apenas em florestas plantadas e raramente nas florestas naturais.

A grande proporção das implantações de IFC em florestas plantadas se deve pela aplicação destes sistemas de amostragens pelas empresas reflorestadoras. Esta preferência é dada pelas vantagens na obtenção das informações desejadas para com as características das florestas.

As informações quantitativas e qualitativas de estoque de madeira necessárias ao planejamento são obtidas por meio do inventário. Essas

informações, normalmente referentes ao volume da floresta, ou mesmo para qualquer outra variável dendrométrica, podem ser obtidas por procedimentos de amostragem ou enumeração total das árvores (SCOLFORO e MELLO, 2006).

É comumente visto no setor de planejamento em empresas florestais a utilização das informações geradas no IFC como base para o planejamento florestal. FERREIRA (1985) cita que, de uma forma geral, o inventário florestal deve fornecer as informações básicas da situação presente e lastrear as decisões do planejamento das atividades futuras.

O conhecimento da estrutura de continuidade espacial das características dendrométricas é de fundamental importância, proporcionando resultados estáveis e seguros que poderão ser utilizados para o inventário, manejo e planejamento florestal (MELLO, 2004).

3.4.2 Custo de inventário

Segundo PÉLLICO e BRENA (1997), o custo de medição pode ser controlado através dos tempos necessários para a instalação da unidade, medição dos diâmetros e medição das alturas, juntamente com o tempo perdido devido a chuvas e imprevistos.

Outro fator, comum a qualquer método de amostragem e que influi diretamente na quantidade de trabalho, no custo e precisão do inventário florestal, refere-se ao tamanho e a forma das unidades de amostra. Assim, torna-se importante investigar, para o tipo florestal específico, os métodos e os processos de amostragem que permitem reduzir o custo do inventário, o qual é diretamente influenciado pelo tempo de medição e o caminhar (PÉLLICO e BRENA, 1997).

O custo do inventário é a somatória do custo fixo, com o custo variável. Os custos fixos são referentes aos custos de administrativos e de gestão. Os custos variáveis são os custos do levantamento, que é o custo médio do deslocamento entre as unidades, mais o custo de medição das unidades.

Segundo PÉLLICO e BRENA (1997), a separação dos custos de amostragem é importante, uma vez que através dos mesmos é possível realizar uma avaliação da eficiência das equipes de campo. A razão (R) de custos ($R = \text{Custo médio do deslocamento entre as unidades} / \text{Custo de medição das unidades}$) permite avaliar esta eficiência. Assim, quanto maior for (R), maior é o custo de deslocamento em relação aos custos de medição e, portanto, menor a eficiência da amostragem.

VASQUEZ (1988) menciona que, para o cálculo da eficiência relativa entre os métodos de amostragem, deve-se considerar a precisão, assim como o custo ou o tempo.

O IFC é uma atividade que requer de recursos anuais. Estes recursos são maiores em amostragens mais precisas, com maior número de variáveis levantadas, e maior complexidade nos procedimentos de medição. A situação encontrada no levantamento em campo também é um fator que aumenta os custos desta atividade.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram planejados e propostos dois novos sistemas de amostragem para serem analisados e comparados com o sistema de amostragem atualmente utilizado no IFC da empresa. Para o desenvolvimento deste estudo foi primeiramente realizada a revisão de literatura sobre o tema e, posteriormente foram utilizadas as informações geradas no IFC da empresa, do ano anterior, instalação e medição das unidades amostrais selecionadas, com a tomada de tempo, processamento dos dados com geração da distribuição diamétrica, quantificação do número de árvores por classe diamétrica a ser cubada, cubagem das árvores, ajuste de equação de volume, análise estatística e análise de custo da atividade. Todas estas informações foram obtidas diretamente ou geradas para possibilitar a comparação dos sistemas de IFC, observando que os trabalhos foram conduzidos com os mesmos princípios metodológicos.

Para a escolha do melhor sistema de IFC para as condições encontradas, foi levado em consideração o sistema que estimasse as informações desejadas com precisão aceitável, operacionalmente aplicável e com baixo custo (NAKAJIMA, 1997). Todos estes fatores foram considerados neste estudo.

4.1 LOCAL DO ESTUDO

Esta pesquisa foi conduzida em povoamentos de *Pinus taeda* de uma empresa florestal que se localiza na região do Planalto Norte Catarinense, sendo esta pesquisa direcionada no conjunto das unidades amostrais permanentes das quais compõem o atual sistema de IFC da empresa.

Os povoamentos de *Pinus taeda* utilizados nesta pesquisa, apresentam características variadas, com relação às técnicas de plantio e manejo. Por abranger várias unidades de manejo de uma série de povoamentos florestais, foram observadas diferentes condições de sítio (topografia, solo e clima).

4.1.1 Manejo anterior

Esta pesquisa vai ao encontro dos interesses das empresas do setor florestal, mais especificamente para as produtoras de florestas de *Pinus taeda*, onde a geração de produtos provenientes de ativos florestais destina-se para o abastecimento de indústrias de laminação e serraria.

A mudança de técnicas de plantios e de manejo de povoamentos florestais ocorre sempre que a empresa empreendedora necessita de melhorias na implantação e condução de seus ativos, para garantia de sustentabilidade, competitividade e lucratividade. A partir da decisão e mudança destas técnicas, outras atividades como o IFC, também deve adaptar da melhor forma à nova situação, para atendimento aos interesses da companhia. Desta forma faz-se necessário estudar se o sistema de IFC atualmente utilizado pela empresa, na situação anterior de plantio e manejo é eficiente ou não para a situação atual de plantio e manejo. Portanto, é fundamental o conhecimento da situação anterior para comparação com uma nova proposta, onde é buscado o melhor sistema de IFC para a nova situação introduzida.

Para atender a demanda de toras grossas destinadas à fabricação de faqueados, laminados e muitas vezes serrarias, é necessário conduzir os povoamentos para produção de árvores com DAP's maiores. Isso é possível com o uso de técnicas de plantio e manejo direcionadas para o objetivo da produção.

Uma das variáveis que se deve levar em consideração para otimização de um sistema de IFC, é a densidade de plantio. O espaçamento anteriormente utilizado pela empresa estudada era de 2,5 x 2,5 metros, resultando em uma densidade de plantio de 1600 (mil e seiscentas) plantas por hectare.

Segundo NAKAJIMA (1999), o ciclo de produção (rotação) é também uma variável muito importante, junto com a densidade de árvores no final da rotação. Para o manejo de povoamentos florestais objetivando a obtenção de árvores de maior diâmetro, normalmente utiliza-se de um ciclo produtivo mais longo e com densidade menor de árvores. No caso da empresa estudada, foi utilizada uma rotação de aproximadamente trinta anos, variando normalmente entre vinte e oito

a trinta e dois anos de idade, com uma densidade final em torno de 250 (duzentos e cinquenta) árvores por hectare.

Para uma redução considerável do número de árvores por unidade de área, desde sua implantação até o final do ciclo produtivo, foram necessárias algumas intervenções de desbastes, com intensidade variando de acordo com as particularidades de cada projeto, definidos pela gerência da área.

4.1.2 Manejo atual

Na situação atual dos povoamentos florestais da empresa onde foi desenvolvida a presente pesquisa, a mudança para as novas técnicas de plantio e manejo foram realizadas para melhor cumprimento de seus objetivos como maior lucratividade do ativo florestal, garantindo também a sustentabilidade dos reflorestamentos e conseqüentemente da empresa.

Atualmente a empresa implanta florestas mais densas, iniciando com uma ocupação de 2000 (duas mil) plantas por hectare, com um espaçamento de 2,5 x 2,0 metros de distância entre linhas e entre plantas, respectivamente.

Foi reduzido também o ciclo produtivo e aumentado a densidade final de plantas por unidade de área. Em termos de ciclo produtivo, após uma análise financeira para se ter um maior retorno econômico do empreendimento florestal o cenário encontrado, foi o de dezessete anos de idade para o fim do ciclo produtivo, sendo esta idade, padronizada para os povoamentos com idades inferiores a esta, remanescendo em torno de 600 (seiscentas) plantas por hectare no final da rotação.

Com relação às intervenções de manejo, será realizado somente um desbaste aos dez anos de idade, em todos os povoamentos.

Estas técnicas de implantação e manejo aplicadas nos povoamentos de *Pinus taeda* foram desenvolvidas pelo setor de planejamento da empresa, servindo de base para o desenvolvimento deste projeto de pesquisa.

4.2 SISTEMA DE IFC PRATICADO ATUALMENTE

O sistema de IFC atual vem sendo aplicado desde 1993, quando se iniciaram as medições em unidades amostrais permanentes. Desde aquele tempo são estudadas as melhores técnicas de conduções das florestas da empresa, mas sempre utilizando o mesmo sistema de IFC, que até o momento se mostrou muito eficiente.

Para tanto, com a tomada de decisão a respeito da implantação e manejo a ser adotado daqui por diante, houve a necessidade de otimizar o sistema de IFC. Para o desenvolvimento implantação de um novo sistema de IFC é de grande importância conhecer o sistema atual e suas características, para que se possa comparar com o sistema proposto, e verificar se há ou não vantagem relativa de precisão e custo.

4.2.1 Método de amostragem praticado atualmente

O método de amostragem praticado atualmente é o método de área fixa comumente encontrada nas empresas do ramo florestal. No entanto as dimensões e formas das unidades amostrais variam de empresa para empresa, devido suas condições e particularidades.

No que diz respeito às unidades amostrais permanentes, são encontradas nas formas retangulares ou quadradas, com dimensões de 12 linhas (\cong 30 metros de largura) de plantio por 30 metros de comprimento, totalizando aproximadamente 900 m² de área cada unidade amostral.

A justificativa de 12 linhas em uma das dimensões da unidade amostral é para que as mesmas também sejam utilizadas como unidades de pré-corte, podendo aferir os pesos de desbastes realizados, seja em manejo de 4^a ou 6^a linha do sistemático (manejos usualmente utilizados pela empresa), já que 12 é um múltiplo de 4 e 6, favorecendo o cálculo do volume a ser retirado e o volume remanescente.

4.2.2 Processo de amostragem praticado atualmente

No IFC atualmente adotado pela empresa é aplicado o processo de amostragem aleatório simples. A intensidade amostral aceitável no IFC atual é de no mínimo uma unidade amostral para cada quinze hectares, sempre procurando distribuir para todo projeto levantado.

A partir das unidades amostrais potenciais de cada projeto, é sorteada cada unidade amostral, sem interferência de uma para outra, fazendo com que todas as unidades amostrais potenciais tenham a chance de serem sorteadas, evitando assim uma amostragem tendenciosa.

4.2.3 Procedimento de medição praticado atualmente

Com as unidades amostrais definidas, partiu-se para localização e implantação das mesmas. Foram utilizadas marcações específicas com o uso de tinta a base de água de cor branca, para facilidade de localização das unidades amostrais permanentes nas sucessivas medições.

A primeira árvore da linha de medição na bordadura (beira estrada/aceiro) foi pintada com tinta branca, com o número da unidade amostral e número do talhão marcado nessa árvore a uma altura de aproximadamente 1,5 metros do solo. Posteriormente a instalação da unidade amostral foi levada em consideração os seguintes critérios:

- Eixo lateral de 30 metros (comprimento) - é marcado no centro das entrelinhas de plantio, centralizando também o ponto inicial de medição entre quatro árvores.
- Eixo da largura é de 12 linhas - é marcado perpendicularmente ao eixo dos 30 metros, em ângulo de 90 graus e sempre à direita, formando um esquadro.

A marcação de delimitação da unidade amostral é realizada na primeira árvore, pelo mesmo processo de identificação utilizado na árvore de indicação do acesso à unidade amostral. As árvores de canto da unidade amostral recebem a

pintura de um círculo (tinta branca), e as laterais somente uma tarja na parte externa das árvores, indicando o perímetro da unidade amostral.

O caminhamento seguido para a medição das árvores é realizado no sentido das linhas de plantio, iniciando-se pela primeira árvore da linha de orientação da unidade amostral até a última árvore desta, voltando-se pela próxima linha da direita, no sentido contrário a anterior medida, em zigue-zague, até o término da unidade amostral. Neste caminhamento se faz a medição da variável DAP de todas as árvores da unidade amostral permanente. Na seqüência são medidas as alturas das árvores que se encontram nas duas primeiras linhas do caminhamento.

Os instrumentos utilizados na implantação e medição das unidades amostrais são:

- Quadro da amostra: o perímetro do quadro da unidade amostral é obtido com a utilização da trena de 50 metros, e auxílio de três balizas.
- DAP: na medição do diâmetro na altura do peito (DAP) é utilizada a “suta metálica”.
- Altura: para medição indireta da altura das árvores é utilizado o hipsômetro Haga, observando sempre a escala adequada das distâncias de acordo com a variação da altura das florestas a serem mensuradas.
- Distância de tomada das alturas (árvore/observador): na tomada de distância, do medidor até a árvore a ser medida, utilizou-se da trena de 50 metros e/ ou a mira preta de lona, com duas plaquetas brancas de plástico tipo PVC, que acompanha o hipsômetro Haga, como complemento para a determinação de distâncias, funcionando juntamente com dióptro como se fosse um telêmetro.
- Coleta de dados: o coletor de dados utilizado é um palm-top.
- EPI's: capacete, botas de couro, capa de chuva.
- Materiais de consumo: tinta branca, pincel, facão e foice.

4.3 SISTEMAS DE IFC PROPOSTOS

Na proposição de um sistema de IFC que se adapte a um determinado cenário florestal, se faz necessário o conhecimento das características do povoamento florestal para garantir a aplicabilidade operacional da atividade, gerando as informações desejadas com uma confiabilidade aceitável a partir dos recursos disponíveis. Por esta razão, foram sorteadas aleatoriamente as unidades amostrais para representarem toda amplitude de variação existente em relação à topografia, número de árvores por hectare, volume, sítios, etc, nos povoamentos florestais da empresa.

O sorteio das unidades amostrais foi realizado por classe de idade, compondo o máximo de variáveis possíveis dos projetos, para que o sistema de amostragem proposto não venha apresentar inconfiabilidade e não viabilidade em determinados povoamentos florestais, mantendo melhor controle das informações e análises.

O estudo abrangeu aproximadamente 10% das unidades amostrais permanentes da empresa, da qual resultou na utilização de 80 (oitenta) unidades amostrais, sorteadas ao acaso, do total de 857 (oitocentos e cinquenta e sete) unidades amostrais permanentes existentes, que é considerado uma grande amostragem.

O número de unidades amostrais sorteadas foi de 20 unidades para cada classe de idade, totalizando 80 (oitenta) unidades amostrais permanentes que cobriram as diferentes idades dos povoamentos. A rotação dos povoamentos planejados pela empresa para os novos povoamentos é de 17 (dezessete) anos, e o início da mensuração das unidades amostrais permanentes aos 5 (cinco) anos de idade. A pesquisa foi conduzida em quatro diferentes povoamentos, com intervalo de idade entre um e outro de 4 (quatro) anos, conforme apresentado a seguir:

Classe 1: Compreendeu o povoamento com 5 anos de idade;

Classe 2: Compreendeu o povoamento com 9 anos de idade;

Classe 3: Compreendeu o povoamento com 13 anos de idade;

Classe 4: Compreendeu o povoamento com 17 anos de idade;

Em cada classe de idade foram amostradas 20 (vinte) unidades amostrais permanentes (dentro das já instaladas pela empresa), procurando abranger toda variação existente dentro de cada classe de idade. As informações dessas unidades amostrais permanentes, selecionadas por classe de idade, foram obtidas dos históricos das mesmas, levantados no ano anterior (exceto dos povoamentos que atualmente se encontram com cinco anos de idade, por ainda não existirem levantamentos anteriores realizados, devido a pouca idade). Estas informações foram necessárias para conhecer as características dos projetos florestais na qual esta pesquisa foi desenvolvida.

Como o processo de amostragem proposto não diferiu do atualmente praticado (inteiramente casualizado), procurou-se desenvolver um método de amostragem objetivando otimizar o IFC, focando no tamanho e forma das unidades amostrais.

4.3.1 Método de amostragem proposto

4.3.1.1 Tamanho proposto da unidade amostral

De acordo com NAKAJIMA (1997), o tamanho da unidade amostral foi definido pelo número de árvores necessárias para compor uma unidade amostral, que garanta uma precisão aceitável. Com base nos dados do levantamento realizado no ano anterior, foi determinado o tamanho ideal das unidades amostrais permanentes, em função de três variáveis: em função da variância do diâmetro, em função da variância da área basal, e em função da variância do volume.

O dimensionamento do tamanho da unidade amostral foi baseado no povoamento ao final de sua rotação, que será de 600 (seiscentas) árvores por

hectare, conforme o planejamento proposto pela empresa. Essa densidade gera uma ocupação média de 16,67 m² por árvore.

Para o cálculo do número de árvores (n) necessário para compor a unidade amostral em função da variância do diâmetro, foi utilizada a fórmula:

$$n = \frac{t^2 \cdot Sx_d^2}{E^2} \quad (1)$$

Onde:

t^2 = Valor tabelado (Student);

Sx_d^2 = Variância do diâmetro;

E^2 = Limite de erro (10% da média).

Para o cálculo do número de árvores necessário para compor a unidade amostral em função da variância da área basal, foi utilizada a fórmula anterior, com a substituição da variável diâmetro pela variável área basal.

$$n = \frac{t^2 \cdot Sx_G^2}{E^2} \quad (2)$$

Onde:

Sx_G^2 = Variância da área basal.

Para o cálculo do número de árvores necessário para compor a unidade amostral em função da variância do volume, seguiu-se da mesma forma.

$$n = \frac{t^2 \cdot Sx_v^2}{E^2} \quad (3)$$

Onde:

Sx_v^2 = Variância do volume.

Com base nas variáveis DAP, G e V, utilizadas como referência, foram calculados o número de árvores necessário para compor a unidade amostral permanente. Os cálculos do número de árvores que compunham cada unidade amostral foram realizados por classes de idades.

Com base na variável que precisou do maior número de árvores para compor a unidade amostral, dentre as variáveis estudadas (DAP, G e V), foi calculada a área necessária por unidade amostral, no qual dependeu também da área de ocupação média das árvores no fim da rotação. A área necessária para unidade amostral foi calculada pela seguinte fórmula:

$$A_{ua} = n_a \cdot A_a \quad (4)$$

Onde:

A_{ua} = Área da unidade amostral;

n_a = Número de árvores da unidade amostral;

A_a = Área de ocupação por árvore.

4.3.1.2 Forma proposta para unidade amostral

A partir do conhecimento do tamanho necessário para compor a unidade amostral, foram determinadas as formas que as unidades amostrais iriam receber.

As formas das unidades amostrais testadas nos sistemas de IFC propostos foram os de área fixa de forma circular e quadrada, além da unidade amostral de forma retangular, utilizada no sistema de IFC atualmente praticado na empresa.

A delimitação do raio (r) da unidade amostral de forma circular foi calculada pela seguinte fórmula:

$$r = \frac{\sqrt{\frac{4.A}{\pi}}}{2} \quad (5)$$

Onde:

A = Área da unidade amostral.

Para as dimensões da unidade amostral quadrada foi calculada pela seguinte fórmula:

$$L_{ua} = \sqrt{A_{ua}} \quad (6)$$

Onde:

L_{ua} = Lado da unidade amostral;

A_{ua} = Área da unidade amostral.

As unidades amostrais de forma quadrada são comumente aplicadas em sistemas de IFC, no entanto as unidades amostrais de forma circular, conforme recomendado por NAKAJIMA (1997), vem sendo utilizadas com freqüência nos sistemas de IFC em plantios florestais.

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE O SISTEMA DE IFC ATUALMENTE UTILIZADO PELA EMPRESA E O IFC PROPOSTO

Para fins de comparação entre os sistemas de IFC, os mesmos foram submetidos nas mesmas condições experimentais, para o controle das fontes de variação, isto é, para os sistemas de IFC comparados foram utilizados os mesmos pontos amostrais (NAKAJIMA, 1997).

Inicialmente, foram levantadas informações referentes ao sistema de IFC atualmente utilizado pela empresa em relação as suas características, objetivos e procedimentos. Conseqüentemente, foram propostos através de modelos matemáticos sistemas de amostragens que garantissem precisão aceitável com aplicação operacional dentro dos recursos disponíveis.

Nesta pesquisa, foi adotado o mesmo processo de amostragem do sistema de IFC atualmente utilizado pela empresa, que é o inteiramente casualizado. Este processo atende bem aos objetivos do levantamento, com relação à intensidade amostral e sua distribuição nos projetos as quais vem gerando as informações históricas dos projetos. Por esta razão, a mudança no processo de amostragem poderia afetar o modelo de planejamento utilizado pela empresa.

Para a comparação da precisão entre os sistemas de IFC (sistema atualmente utilizado versus o sistema proposto) foi utilizada como referência a estimativa da variável volume, devido esta ser, comumente, a variável de maior interesse na produção florestal, a qual permite avaliar o estoque e o crescimento do povoamento florestal ao longo do tempo e, conseqüentemente subsidiar o manejo e o planejamento florestal. Além do volume, outras variáveis como DAP, altura, área basal, índice de sobrevivência, também podem ser paralelamente obtidos.

4.4.1 Cálculo do número de árvores a cubar para o ajuste do modelo de equação volumétrica

Para a estimativa de volume em povoamentos florestais, além das técnicas de amostragens utilizadas em inventários florestais, faz-se necessário do auxílio de uma equação volumétrica ajustada. Para o ajuste de modelos de equação volumétrica deve-se saber quantas e quais árvores serão necessárias a cubar. Para a obtenção dessas informações inicialmente faz-se a distribuição diamétrica.

4.4.1.1 Distribuição diamétrica

Utilizando-se dos dados da variável DAP, obtidas das unidades amostrais instaladas, foi gerada a distribuição diamétrica, para cada classe de idade do povoamento utilizada nesta pesquisa. A distribuição diamétrica foi realizada com base em dois desvios padrão acima da média e dois desvios padrão abaixo. O valor obtido pela adição ou subtração do desvio padrão à média, foi considerado o centro da classe diamétrica, conforme apresentado na tabela a seguir:

TABELA 1: INTERVALO DE CLASSE DE DIÂMETRO

Centro de classe	Limite inferior da classe	Limite superior da classe
$\bar{X} + 2Sx$	$\bar{X} + (Sx/2) + Sx$	$\bar{X} + (Sx/2) + 2Sx$
$\bar{X} + Sx$	$\bar{X} + (Sx/2)$	$\bar{X} + (Sx/2) + Sx$
\bar{X}	$\bar{X} - (Sx/2)$	$\bar{X} + (Sx/2)$
$\bar{X} - Sx$	$\bar{X} - (Sx/2) - Sx$	$\bar{X} - (Sx/2)$
$\bar{X} - 2Sx$	$\bar{X} - (Sx/2) - 2Sx$	$\bar{X} - (Sx/2) - Sx$

Onde:

\bar{X} = Média do diâmetro;

Sx = Desvio padrão do diâmetro;

A distribuição diamétrica foi realizada para subsidiar a amostragem do número de árvores necessário a cubar, visando o ajuste do modelo de equação

volumétrica. O número de árvores (n) a cubar em cada classe diamétrica é dependente da variância do volume e do limite de erro aceitável.

$$n = \frac{t^2 \cdot Sx_v^2}{E^2} \quad (7)$$

Onde:

t^2 = Valor tabelado (Student);

Sx_v^2 = Variância do volume;

E^2 = Limite de erro (10% da média de volume).

Foi também, calculado o número de árvores necessário a cubar com base na variância da área basal e na variância do diâmetro, para cada classe de diâmetro, considerando o mesmo limite de erro para ambas variáveis.

As cubagens das árvores seguiram a mesma metodologia adotada na empresa, o método de Hohenadl, onde as medições dos diâmetros ao longo do fuste são proporcionais a altura total da árvore. Utilizou-se de quinze medições por árvore, iniciando-se pela base com a medição do diâmetro a 0,5%, 1%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 95% da altura total. Além da cubagem, foram anotadas as medidas das variáveis DAP e altura total das respectivas árvores cubadas.

4.4.2 Seleção e ajuste do modelo de equação de volume

Sabe-se que o modelo de equação de volume de Schumacher, normalmente se ajusta bem aos povoamentos florestais de *Pinus taeda* nas condições brasileiras. Como o objetivo principal desta parte da pesquisa é quantificar e selecionar as árvores necessárias a serem cubadas para o ajuste de uma equação volumétrica que irá auxiliar na estimativa do volume das unidades

amostrais do IFC, decidiu-se por utilizar no ajuste o modelo de Schumacher, apresentado a seguir.

$$V = \beta_0 \cdot dap^{\beta_1} \cdot H^{\beta_2} \cdot \pm \varepsilon \quad (8)$$

Onde:

V = Volume total (m³);

dap = Diâmetro a altura do peito (cm);

H = Altura total (m);

β_0 , β_1 e β_2 = Parâmetros dos modelos a serem estimados.

ε = Erro

Após o ajuste da equação de volume de Schumacher, com estimativas de número de árvores a cubar baseadas nas variáveis DAP, G e V, e para cada classe de idade pesquisada, foram realizadas as seguintes análises estatísticas para verificação da precisão da equação.

a) Coeficiente de determinação (R^2):

$$R^2 = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \times \frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}} \quad (9)$$

Onde:

n = Número de dados (tamanho da amostra);

p = Número de variáveis independentes;

SQ_{res} = Soma dos quadrados de resíduos;

SQ_{tot} = Soma dos quadrados total.

O R^2 expressa o quanto da variável dependente é explicada pelas variáveis independentes utilizadas no modelo.

a) Coeficiente de determinação ajustado (R_j^2):

$$R_j^2 = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p-1} \right) \times \frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}} \quad (10)$$

b) Erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$):

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum(v_i - \hat{v}_i)^2}{n-p-1}} \times 100 \quad (11)$$

Onde:

v_i = Volume observado ou cubado (m^3);

\hat{v}_i = Volume estimado pelo modelo (m^3);

n = Número de dados (tamanho da amostra);

p = Número de variáveis independentes;

Esta análise estatística é aplicada para auxiliar no julgamento do ajuste da equação, possibilitando conhecer o erro proporcionado pela amostragem.

c) Análise gráfica dos resíduos (Res)

A análise gráfica de resíduos é aplicada para detectar a existência de tendenciosidade e da precisão na estimativa da variável dependente a partir da visualização gráfica dos pontos gerados pela diferença, em relação à linha de regressão, entre o valor observado e o valor estimado pelo modelo ajustado.

$$Res = \frac{V_{obs} - V_{est}}{V_{obs}} \times 100 \quad (12)$$

Onde:

V_{obs} = Volume observado;

V_{est} = Volume estimado.

Para validação dos resultados obtidos com a aplicação da equação de volume nas unidades amostrais, foram realizadas as seguintes análises estatísticas: média, coeficiente de variação, erro padrão e erro de amostragem, calculados a partir das seguintes fórmulas:

a) Média Aritmética:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n Xi}{n} \quad (13)$$

b) Coeficiente de Variação:

$$cv = \frac{S_{x_u}}{\bar{x}} \times 100 \quad (14)$$

d) Erro Padrão:

$$S_{\bar{x}} = \pm \frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad (15)$$

e) Erro de Amostragem:

$$E = \pm \frac{t \times S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \times 100 \quad (16)$$

Para testar se há significância na diferença entre os resultados de volume dos sistemas de IFC, foram realizadas as análises de variância (ANOVA) e comparados o valor de “F” de Snedecor calculado com o tabelado.

$$F = \frac{SQ_{trat} / GL_{trat}}{SQ_{res} / GL_{res}} = \frac{QM_{trat}}{QM_{res}} \quad (17)$$

Onde:

SQ_{trat} = Soma dos quadrados dos tratamentos;

SQ_{res} = Soma dos quadrados dos resíduos;

GL_{trat} = Grau de liberdade dos tratamentos;

GL_{res} = Grau de liberdade dos resíduos;

ou

QM_{trat} = Quadrados médios dos tratamentos;

QM_{res} = Quadrados médios dos resíduos.

O cálculo da ANOVA foi para um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). O DIC é aplicado quando as condições experimentais são homogêneas, isto é, quando já estiver garantido o princípio básico do controle local (VIEIRA, 1999).

4.4.3 Análise de custo do IFC

Qualquer atividade que disponha de pessoal e equipamentos gera determinados custos de operação. O IFC também não foge a essa regra. Sendo um dos objetivos desta pesquisa a comparação entre os sistemas de IFC atualmente utilizado pela empresa e o IFC proposto visando à otimização com intuito de reduzir custos, foram calculados os custos operacionais de cada sistema de IFC estudado.

A estrutura do IFC atualmente utilizada demanda para cada equipe de coleta de dados 4 (quatro) funcionários. Cada equipe tem disponível um veículo e equipamentos de campo (mapa, prancheta, caneta, lápis, suta, trena, baliza, cronômetro, tinta, pincel e EPI's), para efetuar a coleta de dados.

Para o cálculo de custos gerados nos levantamentos dos dados, foi utilizada a variável tempo, devido a alta correlação com a variável custo. Para isso foi cronometrado o tempo consumido nas medições das variáveis levantadas em campo.

As informações de custos foram disponibilizadas pela empresa onde foi desenvolvida a pesquisa, não sendo discriminados seus valores, porém sendo inclusos todos os custos mensais referentes ao pessoal, equipamentos, veículo, materiais de consumo. Estes custos somados foram divididos pelo número de horas mensais disponibilizada pela equipe de inventário, onde foi obtido o custo da hora da equipe.

$$\frac{\text{Custo mensal (R\$)}}{\text{Horas mensais}} = \text{Custo} / \text{Hora da equipe} \quad (18)$$

O custo da hora da equipe é R\$ 121,81 (fonte: 2008).

Para comparar os custos operacionais do IFC, as atividades de campo foram divididas em três partes: a) levantamento do tempo gasto no deslocamento interno de ida e volta ao projeto; b) levantamento do tempo gasto na instalação das parcelas permanentes; c) levantamento do tempo gasto na medição das variáveis DAP e altura.

Para os cálculos de custo de deslocamento, instalação e medição das unidades amostrais, foram utilizadas as seguintes fórmulas:

a) Fórmula de custos de deslocamento.

$$\text{Custo de deslocamento} = \text{Tempo de deslocamento} \times \text{Custo hora} \quad (19)$$

Neste caso, foram cronometrados os tempos: ida ao projeto, deslocamento interno de uma unidade para outra unidade amostral, e o tempo de retorno do projeto.

b) Fórmula de custos de instalação de unidades amostrais permanentes.

$$\text{Custo de instalação} = \text{Tempo de instalação} \times \text{Custo da hora} \quad (20)$$

Foi cronometrado o tempo de instalação somente para as unidades amostrais alocadas nos plantios com cinco anos de idade, nas quais ainda não haviam sido instaladas. O de tempo de implantação corresponde ao tempo de delimitação das unidades amostrais e a marcação das árvores com tinta.

c) Fórmula de custos de medição das unidades amostrais permanentes.

$$\text{Custo de medição} = \text{Tempo de medição} \times \text{Custo da hora} \quad (21)$$

O tempo gasto deve-se a medição das variáveis DAP e altura das árvores das unidades amostrais.

O tempo de deslocamento, tanto interno quanto externo, foi o mesmo para ambos os sistemas IFC comparados, devido à utilização dos mesmos pontos de amostragem, isto é, as unidades amostrais estavam dispostas na mesma localização. Esta variável, porém, foi utilizada para a obtenção do custo operacional da atividade.

A tomada de tempo de instalação e medição das unidades amostrais foi realizada primeiramente aplicando o sistema de IFC atual (unidades amostrais retangulares de 900 m²) e posteriormente, os sistemas com unidades circulares, seguida do sistema com unidades amostrais quadradas.

FREESE (1962), citado por PÉLLICO e BRENA (1997), considera os tempos médios de mensuração em cada um dos métodos e os coeficientes de variação obtidos. Para a determinação da real eficiência na medição das unidades

amostrais nos diferentes sistemas de IFC, foram calculadas as eficiências relativas dos sistemas de IFC em cada classe de idade.

$$ER = \frac{1}{Ti \times CV^2} \quad (22)$$

Onde:

ER = Eficiência relativa;

Ti = Tempo médio de medição das unidades amostrais;

CV = Coeficiente de variação.

A eficiência relativa é uma forma de avaliar a relação do tempo médio de medição das unidades amostrais com o coeficiente de variação encontrado nas mesmas, que também pode ser considerado como a relação do custo de medição com a precisão obtida em cada sistema de IFC.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amostragem por classe de idade pelo processo aleatório, procurando abranger todas as variações dos povoamentos florestais em um intervalo de cinco a dezessete anos de idade, garantiu uma boa abrangência das unidades amostrais nas áreas de plantios florestais da empresa.

5.1 TAMANHOS DAS UNIDADES AMOSTRAIS PROPOSTOS PARA O SISTEMA DE IFC

Um dos fatores mais importantes para propor um sistema de amostragem para situação encontrada foi a determinação do tamanho da unidade amostral. A utilização de dados do ano anterior fornecidos pela empresa, como a relação de diâmetros à altura do peito, área basal e volume de cada unidade amostral selecionada facilitou os trabalhos, evitando uma tomada de dados em campo para desenvolvimento destes cálculos. Para a determinação do tamanho ótimo da unidade amostral, foram utilizadas como referência três variáveis na estimativa do número de árvores a compor cada unidade amostral: a variância do diâmetro, a variância da área basal e a variância do volume, sendo selecionada aquela variável de referência que gerou maior número de árvores (área) para a garantia da confiabilidade dos resultados.

TABELA 2: NÚMERO DE ÁRVORES POR U.A – PLANTIO DE 5 ANOS

Classe 1	Nº de árvores necessário para compor a unidade amostral		
Unidade Amostral	Diâmetro (DAP)	Área Basal (G)	Volume (V)
1	8	15	20
2	11	22	29
3	8	15	21
4	8	16	20
5	14	26	35
6	7	13	17
7	13	24	32
8	9	16	21
9	9	15	20
10	7	12	17
11	11	19	26
12	10	17	23
13	18	30	40
14	6	11	15
15	7	14	19
16	17	25	35
17	18	17	38
18	9	27	22
19	10	17	24
20	17	30	40
Média	10,8	19,1	25,6

TABELA 3: NÚMERO DE ÁRVORES POR U.A. – PLANTIO DE 9 ANOS

Classe 2			
Nº de árvores necessário para compor a unidade amostral			
Unidade Amostral	Diâmetro (DAP)	Área Basal (G)	Volume (V)
21	10	22	28
22	12	24	30
23	6	13	17
24	10	21	27
25	7	15	19
26	5	11	14
27	8	15	20
28	4	9	12
29	5	11	14
30	8	15	20
31	6	12	15
32	9	18	23
33	13	26	34
34	10	21	27
35	14	28	36
36	8	18	23
37	6	13	17
38	8	16	21
39	8	17	22
40	10	21	27
Média	8,4	17,3	22,3

TABELA 4: NÚMERO DE ÁRVORES POR U.A. – PLANTIO DE 13 ANOS

Classe 3			
Nº de árvores necessário para compor a unidade amostral			
Unidade Amostral	Diâmetro (DAP)	Área Basal (G)	Volume (V)
41	9	22	27
42	11	22	29
43	14	30	39
44	10	18	24
45	7	14	19
46	7	15	20
47	7	15	20
48	8	17	22
49	12	26	33
50	11	21	28
51	15	26	35
52	6	13	16
53	11	22	28
54	7	16	20
55	7	14	18
56	8	16	21
57	7	16	20
58	6	15	19
59	6	13	16
60	6	14	18
Média	8,9	18,3	23,6

TABELA 5: NÚMERO DE ÁRVORES POR U.A. – PLANTIO DE 17 ANOS

Classe 4	Nº de árvores necessário para compor a unidade amostral		
Unidade Amostral	Diâmetro (DAP)	Área Basal (G)	Volume (V)
61	7	16	20
62	6	16	20
63	5	14	17
64	6	14	17
65	6	16	19
66	6	15	18
67	5	14	17
68	7	17	21
69	6	14	18
70	8	19	24
71	10	24	30
72	7	17	21
73	7	19	24
74	5	14	17
75	6	15	18
76	6	14	18
77	6	16	19
78	5	12	15
79	8	21	25
80	8	20	25
Média	6,5	16,3	20,2

O número de árvores necessário por unidade amostral foi aquele baseado na média aritmética do número de árvores calculado para todas as classes de idade, com base na variável volume.

TABELA 6: ANÁLISE DO NÚMERO DE ÁRVORES NECESSÁRIO PARA COMPOR A UNIDADE AMOSTRAL.

Estatística	Pelo Diâmetro	Pela Área Basal	Pelo Volume
Média de árvores/u.a.	8,65	17,76	22,96
Coefficiente de Variação	36,3%	27,4%	28,9%
Erro Padrão	0,35	0,54	0,74
Erro de Amostragem	6,8%	5,1%	5,4%

O erro de amostragem foi calculado a partir dos valores gerados do número de árvores necessários para compor a unidade amostral, do conjunto de unidades amostrais permanentes estudadas, observados nas tabelas 2, 3, 4 e 5. Os dados

básicos utilizados nos cálculos destes valores foram obtidos do histórico do IFC da empresa, do ano anterior.

Com base nas variáveis de referência, o maior número de árvores necessário para compor uma unidade amostral foi a variável volume (22,96 árvores), que será utilizado como base para determinação da área da unidade amostral.

Considerando que o número médio de árvores calculado com base na variância de volume foi de 22,96 árvores por unidade amostral e que, a área média de ocupação esperada no corte final (rotação) por árvore é de 16,67 m², aplicando a fórmula 4, tem-se:

$$A_{ua} = 22,96 \times 16,67 = 382,6 \text{ m}^2, \text{ arredondado para } \mathbf{400 \text{ m}^2}.$$

O arredondamento da área da unidade amostral para 400 m² (quatrocentos metros quadrados) é para facilitar a instalação das unidades amostrais em campo.

Desta forma, a área da unidade amostral proposta apresentou uma significativa diminuição de tamanho em relação ao atualmente utilizada. Esta redução de tamanho para menos da metade da área das unidades amostrais atualmente utilizadas pela empresa, ocorreu principalmente pelo número reduzido de árvores que anteriormente era mantido no fim da rotação (em torno de 250 árvores por hectare) e maior variação volumétrica entre árvores em relação dos povoamentos atuais.

5.2 FORMAS DE UNIDADES AMOSTRAIS PROPOSTAS PARA O SISTEMA DE IFC

Tendo já calculado o tamanho ideal da unidade amostral, foi necessário definir a forma ideal da mesma, para que atenda as novas condições dos plantios florestais. Conhecendo as localizações das unidades amostrais permanentes, atualmente utilizadas pela empresa, bem como a sua forma retangular de tamanho aproximado de 900 (novecentos) metros quadrados (aproximado porque

é considerado 12 linhas x 30 metros, com espaçamento entre linha de 2,5 metros), foram então instaladas as novas unidades amostrais (propostas nesta pesquisa) no mesmo ponto amostral das unidades amostrais já existentes (instaladas e utilizadas atualmente pela empresa), sendo uma de forma circular e outra de forma quadrada, com a mesma área anteriormente calculada de 400 (quatrocentos) metros quadrados. A utilização dos mesmos pontos amostrais foi para o controle de umas das fontes de variação desta pesquisa.

Segundo NAKAJIMA (1997), as unidades amostrais de área fixa e de forma circular são as mais recomendadas para plantios florestais devido ao seu menor perímetro, reduzindo a probabilidade de ocorrência de árvores duvidosas de bordaduras e eliminando a tendenciosidade na alocação das unidades amostrais. Boa parte das grandes empresas, bem como as de menor porte que estão em sintonia com os métodos mais atuais de inventário floresta, estão optando para o uso desta forma de unidade amostral. As empresas de consultoria e prestação de serviços, neste campo, também, vêm adotando as unidades amostrais circulares como prática mais comum de executar inventário em plantações florestais. Aplicando a fórmula 5, tem-se:

$$r = \frac{\sqrt{\frac{4.400m^2}{\pi}}}{2} = 11,28m$$

O raio da unidade amostral circular é de 11,28 metros, totalizando uma área de 400 m².

As unidades amostrais quadradas foram implantadas com o seu início a aproximadamente 5 metros adentro nos dois sentidos do retângulo da unidade amostral já existente, isto é, para a instalação dessas unidades amostrais foram utilizados os mesmos pontos amostrais das já existentes, com a finalidade de controlar umas das fontes de variação desta pesquisa.

Como o quadrado é conceituado por possuir os quatro lados iguais, então, calcula-se somente a dimensão de um dos lados do quadrado para se saber a dimensão de todos.

Aplicando a fórmula 6, tem-se:

$$L_{ua} = \sqrt{400m^2} = 20m$$

As dimensões da unidade amostral quadrada é de 20 metros x 20 metros.

5.3 ÁRVORES CUBADAS POR CLASSE DE IDADE E CLASSE DE DIÂMETRO

A distribuição diamétrica realizada em função do desvio padrão foi aplicada para auxiliar na escolha das árvores a serem cubadas para o ajuste da equação de volume, de forma que a amostra garantisse a abrangência de todas as variações de volume existentes no povoamento florestal e, conseqüentemente, estimasse com precisão o volume das unidades amostrais levantadas.

O número de árvores a serem cubadas para o ajuste da equação de volume foi calculado para cada classe diamétrica, dentro de cada classe de idade. Aplicando-se a fórmula 7, para cada classe de diâmetro, distribuídas conforme tabela 1, tem-se:

TABELA 7: ÁRVORES A SEREM CUBADAS – PLANTIO DE 5 ANOS

Classe de DAP (cm)	Pelo Volume	Pela Área Basal	Pelo Diâmetro
[8,0 - 11,5)	1	1	1
[11,5 - 15,0)	4	4	2
[15,0 - 18,5)	18	18	5
[18,5 - 22,0)	14	12	2
[22,0 - 25,5]	5	4	1
Total	42	39	11

Para os plantios de cinco anos de idade, com base na variação do volume, foram necessárias as cubagens de 42 árvores. Em relação às variâncias da área

basal e diâmetro foram necessárias 39 e 11 árvores, respectivamente. O diâmetro médio encontrado nesta idade foi de 16,7 cm.

TABELA 8: ÁRVORES A SEREM CUBADAS – PLANTIO DE 9 ANOS

Classe de DAP (cm)	Pelo Volume	Pela Área Basal	Pelo Diâmetro
[11,0 - 15,0)	1	1	1
[15,0 - 19,0)	3	3	1
[19,0 - 23,0)	12	13	4
[23,0 - 27,0)	14	12	3
[27,0 - 31,0]	4	3	0
Total	34	32	9

Para os plantios de nove anos de idade, com base na variação do volume, foram necessárias as cubagens de 34 árvores. Em relação às variâncias da área basal e diâmetro foram necessárias 32 e 9 árvores, respectivamente. O diâmetro médio encontrado nesta idade foi de 20,9 cm.

TABELA 9: ÁRVORES A SEREM CUBADAS – PLANTIO DE 13 ANOS

Classe de DAP (cm)	Pelo Volume	Pela Área Basal	Pelo Diâmetro
[11,5 - 16,0)	1	1	1
[16,0 - 20,5)	5	6	2
[20,5 - 25,5)	13	13	4
[25,5 - 30,0)	13	12	2
[30,0 - 34,5]	5	4	1
Total	37	36	10

Para os plantios de treze anos de idade, com base na variação do volume, foram necessárias as cubagens de 37 árvores. Em relação às variâncias da área basal e do diâmetro foram necessárias 36 e 10 árvores, respectivamente. O diâmetro médio encontrado nesta idade foi de 22,5 cm.

TABELA 10: ÁRVORES A SEREM CUBADAS – PLANTIO DE 17 ANOS

Classe de DAP (cm)	Pelo Volume	Pela Área Basal	Pelo Diâmetro
[17,0 - 21,5)	1	1	1
[21,5 - 26,0)	5	5	1
[26,0 - 30,5)	7	9	2
[30,5 - 35,0)	9	9	2
[35,0 - 39,5]	4	3	1
Total	26	27	7

Para os plantios de dezessete anos de idade, com base na variação do volume, foram necessários cubagens de 26 árvores. Em relação às variâncias da área basal e diâmetro foram necessárias 27 e 7 árvores, respectivamente. O diâmetro médio encontrado nesta idade foi de 28,4 cm.

Estimadas as quantidades de árvores a ser cubada a equipe retornou a campo, com auxílio de um operador de motosserra, para realizar a derrubada e a cubagem pelo método de Hohenadl. Os dados de cubagem foram utilizados para o ajuste da equação de volume de Schumacher, sendo essa equação ajustada de acordo com a quantidade de árvores estimadas com base nas três variáveis estudadas (DAP, G, V).

O número de árvores necessário a cubar está diretamente relacionado com a homogeneidade do povoamento, isto é, quanto mais homogêneo o povoamento menor a quantidade de árvores a cubar e por outro lado, quanto mais heterogêneo for o povoamento, em relação à variável de interesse (volume), maior será o número de árvores a cubar.

Segundo SCOLFORO (1993), cinquenta a cem árvores podem ser suficientes para a construção de uma tabela local, desde que as dimensões das árvores amostradas cubram toda a variação em diâmetro e altura, do local onde será aplicada à tabela. É costume, por exemplo, cubar um número de árvores suficientes que cubram todas as variações de sítios, classes de idade, de diâmetros e de alturas, para que a equação seja válida.

5.4 AJUSTE DA EQUAÇÃO DE VOLUME

5.4.1 Ajuste da equação de volume para o plantio de 5 anos

De posse das árvores cubadas por classe de diâmetro, amostradas no plantio de cinco anos, foram ajustadas e comparadas estatisticamente as equações de volume, a partir do número de árvores estimados com base na variância do volume, variância da área basal e variância do diâmetro.

TABELA 11: ANÁLISES ESTATÍSTICAS – PLANTIO DE 5 ANOS

Baseado na variância:	Amostra (Nº árvores)	Coeficientes	R ²	R ² ajustado	Syx	Syx (%)
Volume	42	b0= -9,6254 b1= 1,9868 b2= 0,7476	98,4%	98,4%	±0,0093	7,6%
Área basal	39	b0= -9,5484 b1= 1,9572 b2= 0,7487	98,4%	98,4%	±0,0089	7,5%
Diâmetro	11	b0= -9,5700 b1= 1,9658 b2= 0,7595	99,0%	98,9%	±0,0107	10,5%

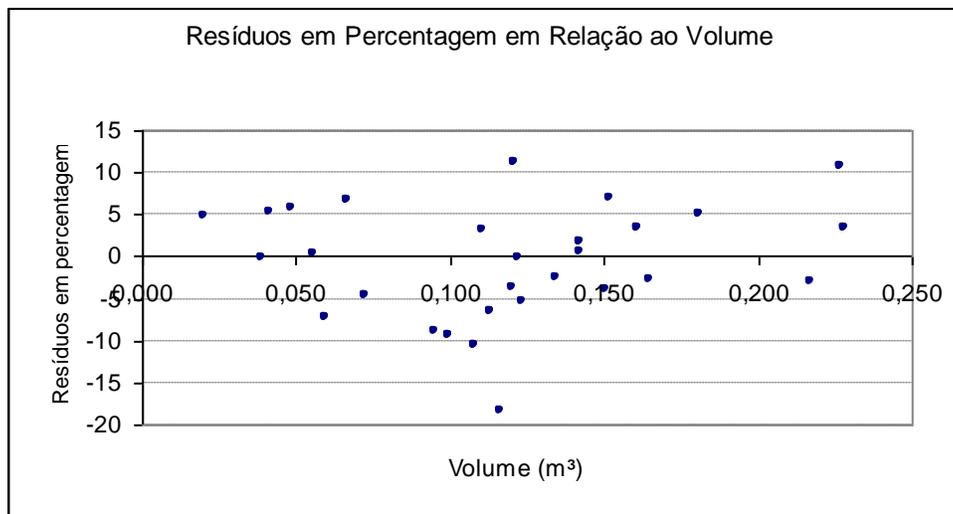


GRÁFICO 1: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DO VOLUME – PLANTIO DE 5 ANOS

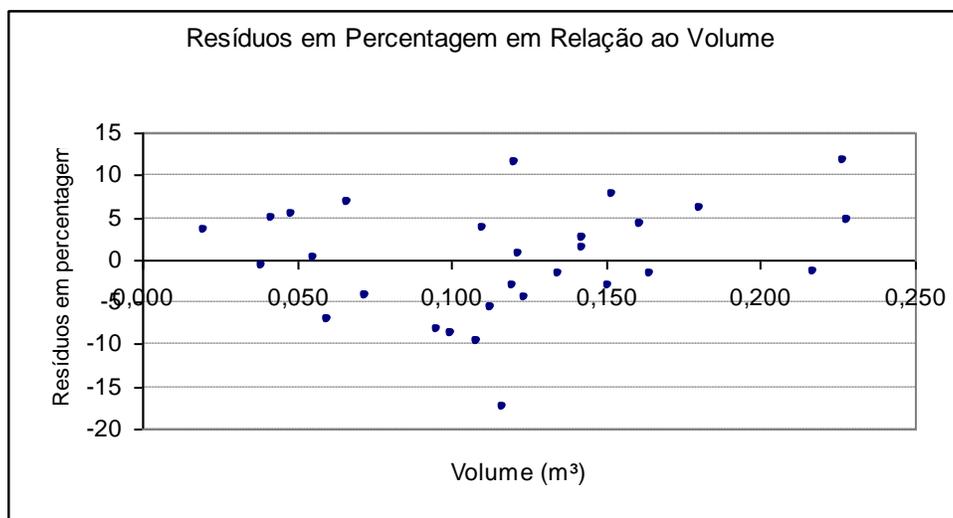


GRÁFICO 2: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DA ÁREA BASAL – PLANTIO DE 5 ANOS

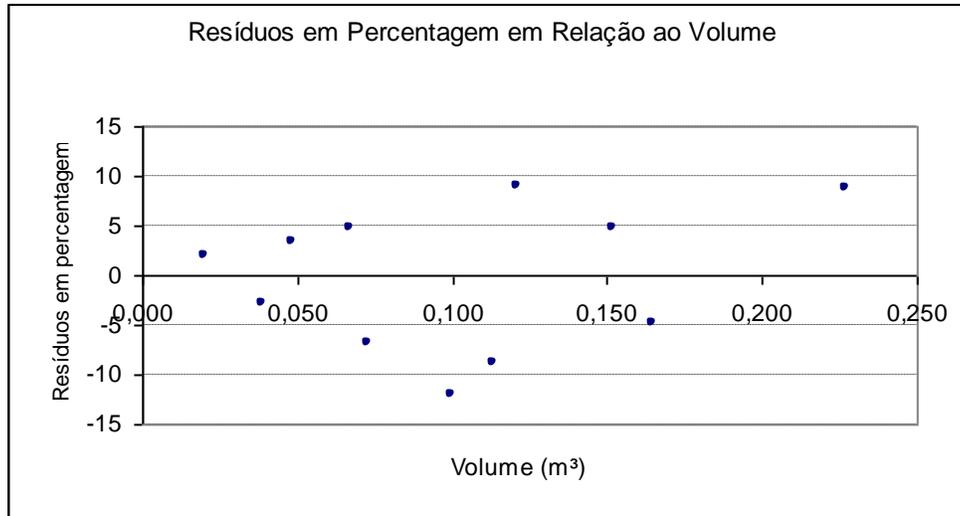


GRÁFICO 3: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DO DIÂMETRO – PLANTIO DE 5 ANOS

Nas análises estatísticas do ajuste do modelo volumétrico para o plantio de cinco anos de idade, pode ser observado que o número de árvores necessárias a cubar com base na variância do volume foi maior, mas por outro lado, a equação de volume ajustada apresentou um alto coeficiente de determinação e um baixo erro padrão da estimativa, equiparando-se com os resultados apresentados pela variável área basal. Já o número de árvores necessário a cubar com base na variância do DAP foi menor, mas por outro lado apresentou um erro padrão da estimativa maior que os demais, mas com o coeficiente de determinação similar.

5.4.2 Ajuste da equação de volume para plantio de 9 anos

De posse das árvores cubadas por classe de diâmetro, amostradas no plantio de nove anos, foram ajustadas e comparadas estatisticamente as equações de volume, a partir do número de árvores estimado com base na variância do volume, variância da área basal e variância do diâmetro.

TABELA 12: ANÁLISES ESTATÍSTICAS – PLANTIO DE 9 ANOS

Baseado na variância:	Amostra (Nº árvores)	Coeficientes	R ²	R ² ajustado	Syx	Syx (%)
Volume	34	b0= -10,5612 b1= 1,8878 b2= 1,2468	97,9%	97,8%	±0,0209	8,7%
Área basal	32	b0= -10,5765 b1= 1,8898 b2= 1,2523	97,6%	97,5%	±0,0219	9,5%
Diâmetro	9	b0= -11,3058 b1= 1,6138 b2= 1,8997	97,4%	97,1%	±0,0246	13,7%

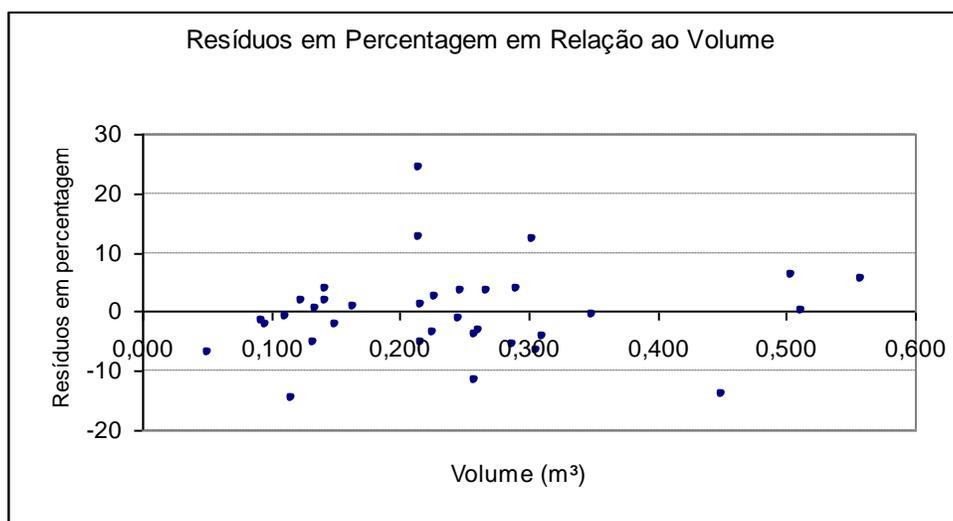


GRÁFICO 4: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DO VOLUME – PLANTIO DE 9 ANOS

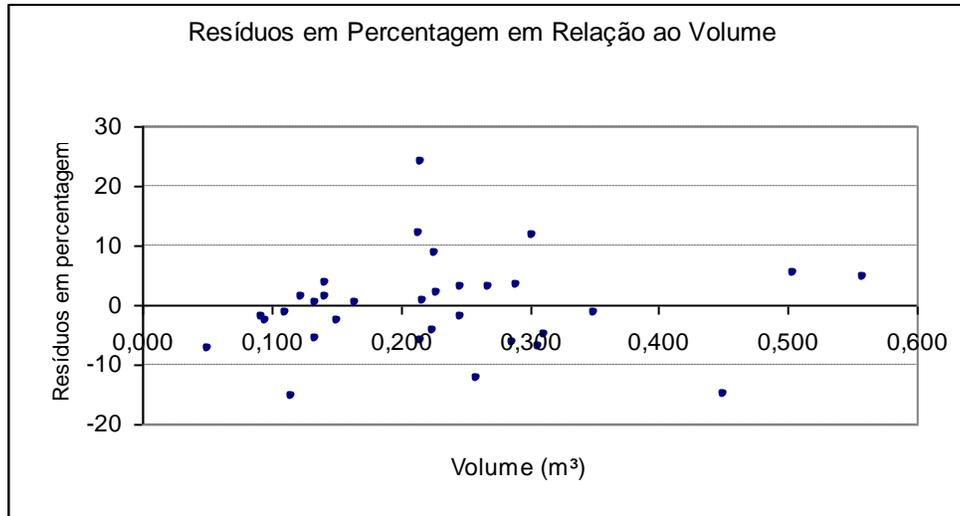


GRÁFICO 5: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DA ÁREA BASAL – PLANTIO DE 9 ANOS

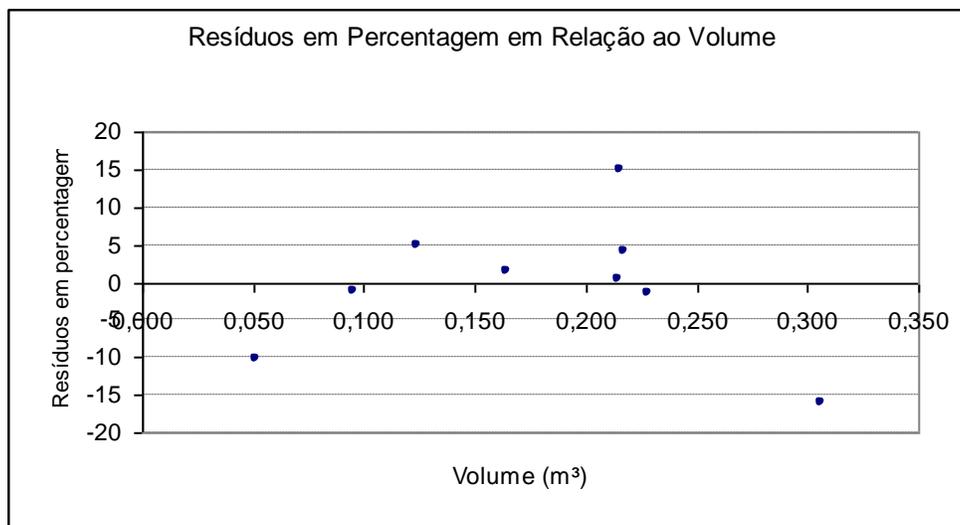


GRÁFICO 6: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DO DIÂMETRO – PLANTIO DE 9 ANOS

Nas análises estatísticas do ajuste do modelo volumétrico para o plantio de nove anos de idade, pode ser observado que o número de árvores necessárias a cubar com base na variância do volume foi levemente maior, mas por outro lado, a equação de volume ajustada apresentou um alto coeficiente de determinação e um baixo erro padrão da estimativa, assemelhando-se com os resultados

apresentados pela variável área basal. Já o número de árvores necessário a cubar com base na variância do DAP foi bem menor, mas por outro lado apresentou um erro padrão da estimativa alto, mas com o coeficiente de determinação similar aos demais.

5.4.3 Ajuste da equação de volume para plantio de 13 anos

De posse das árvores cubadas por classe de diâmetro, amostradas no plantio de treze anos, foram ajustadas e comparadas estatisticamente as equações de volume, a partir do número de árvores estimados com base na variância do volume, variância da área basal e variância do diâmetro.

TABELA 13: ANÁLISES ESTATÍSTICAS – PLANTIO DE 13 ANOS

Baseado na variância:	Amostra (Nº árvores)	Coeficientes	R ²	R ² ajustado	Syx	Syx (%)
Volume	37	b0= -9,9012 b1= 1,6482 b2= 1,2854	97,0%	97,0%	±0,0201	6,6%
Área basal	36	b0= -10,0578 b1= 1,6792 b2= 1,3063	96,9%	96,9%	±0,0203	6,9%
Diâmetro	10	b0= -10,5301 b1= 1,7401 b2= 1,4191	98,0%	97,8%	±0,0181	7,1%

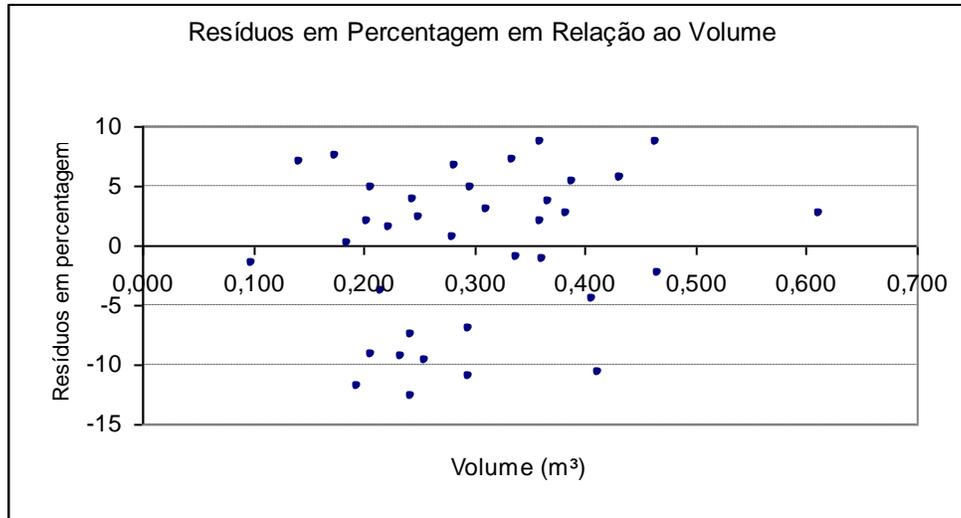


GRÁFICO 7: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DO VOLUME – PLANTIO DE 13 ANOS

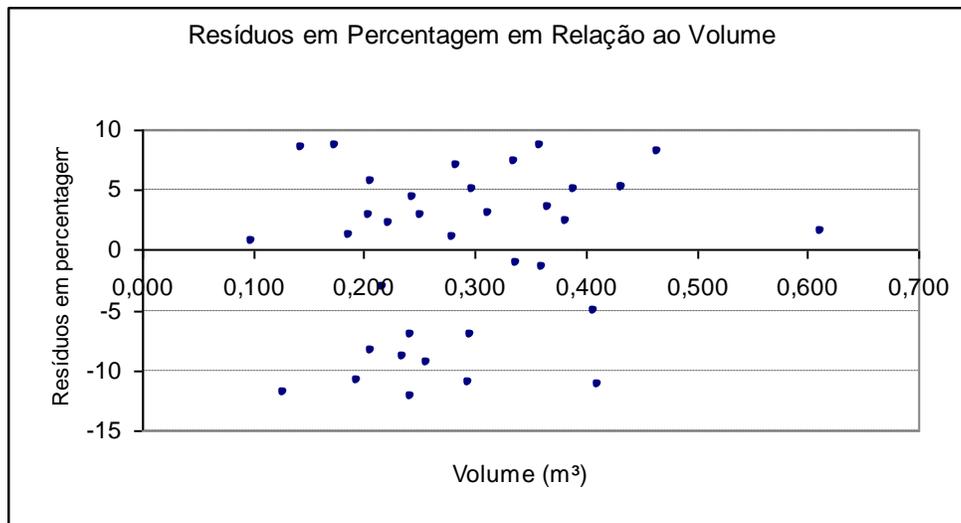


GRÁFICO 8: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DA ÁREA BASAL – PLANTIO DE 13 ANOS

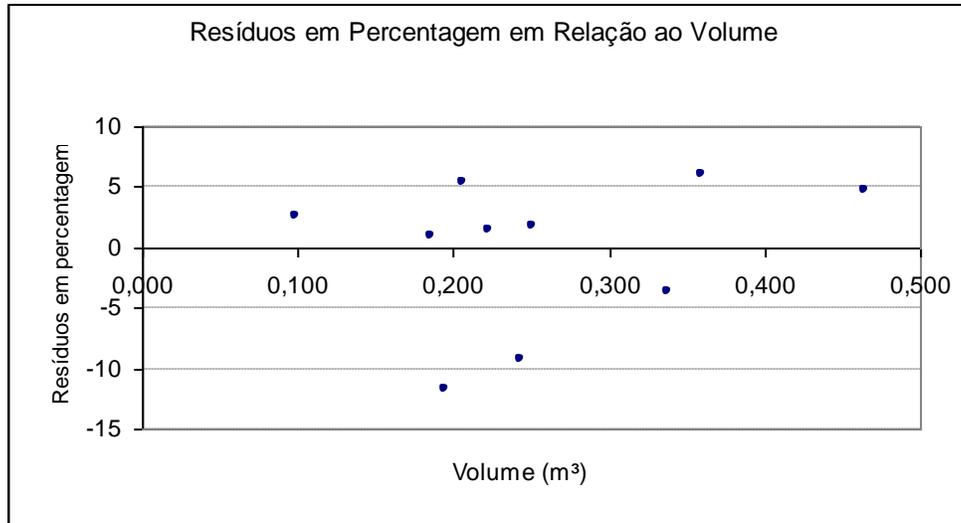


GRÁFICO 9: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DO DIÂMETRO – PLANTIO DE 13 ANOS

Nas análises estatísticas do ajuste do modelo volumétrico para o plantio de treze anos de idade, pode ser observado que o número de árvores necessário aubar com base nas variâncias do volume e da área basal foi similar, bem como a equação de volume ajustada. Já o número de árvores necessário aubar com base na variância do DAP foi bem menor, apresentando os resultados das análises estatísticas similares aos demais.

5.4.4 Ajuste da equação de volume para plantio de 17 anos

De posse das árvores cubadas por classe de diâmetro, amostradas no plantio de dezessete anos, foram ajustadas e comparadas estatisticamente as equações de volume, a partir do número de árvores estimados com base na variância do volume, variância da área basal e variância do diâmetro.

TABELA 14: ANÁLISES ESTATÍSTICAS – PLANTIO DE 17 ANOS

Baseado na variância:	Amostra (Nº árvores)	Coeficientes	R ²	R ² ajustado	Syx	Syx (%)
Volume	26	b0= -9,9808 b1= 1,8605 b2= 1,0815	96,9%	96,8%	±0,0656	8,5%
Área basal	27	b0= -10,0605 b1= 1,8393 b2= 1,1303	96,3%	96,1%	±0,0672	9,2%
Diâmetro	7	b0= -10,5672 b1= 2,0281 b2= 1,0845	96,3%	95,5%	±0,0825	12,1%

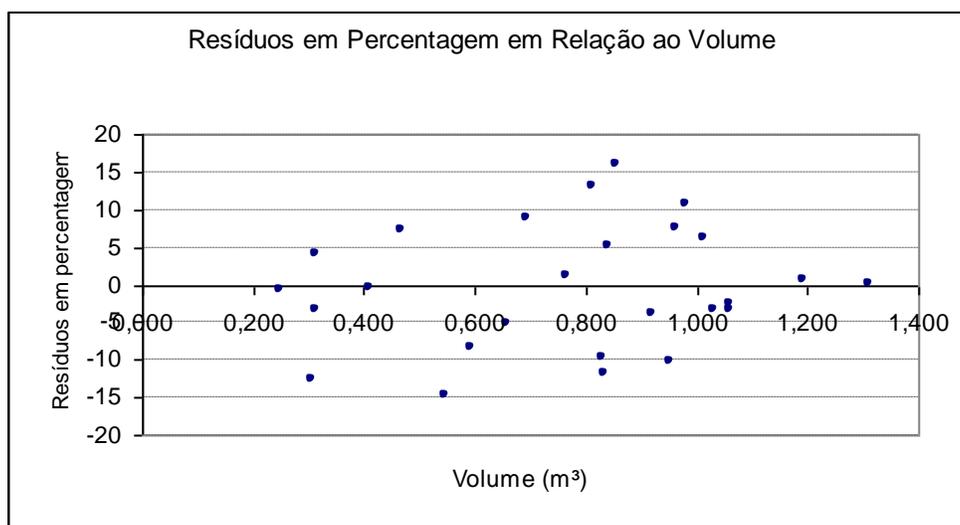


GRÁFICO 10: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DO VOLUME – PLANTIO DE 17 ANOS

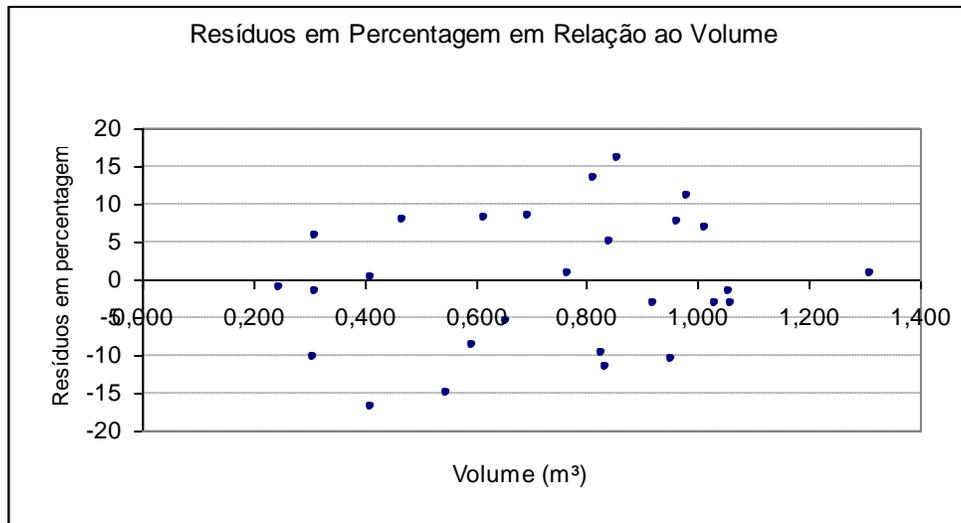


GRÁFICO 11: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DA ÁREA BASAL – PLANTIO DE 17 ANOS

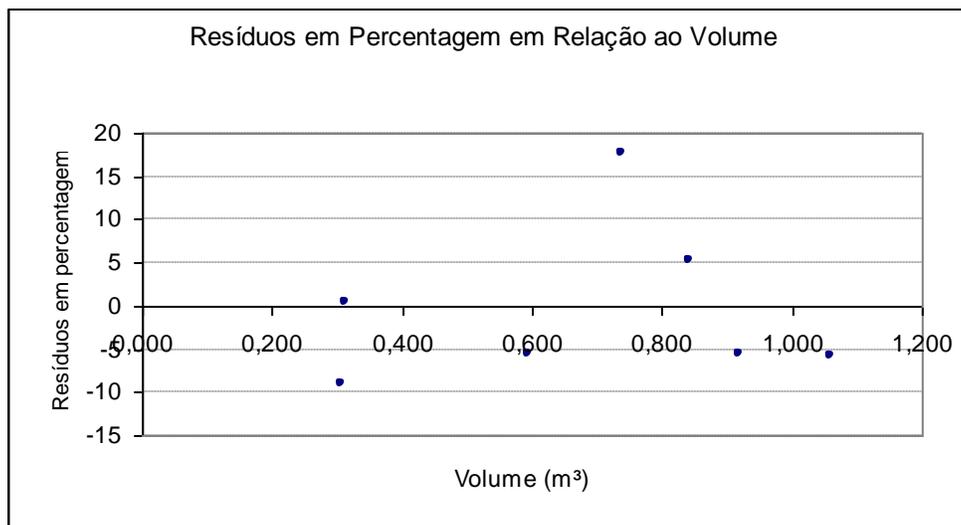


GRÁFICO 12: DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO VOLUME GERADO PELA SELEÇÃO DAS ÁRVORES COM BASE NA VARIÂNCIA DO DIÂMETRO – PLANTIO DE 17 ANOS

Nas análises estatísticas do ajuste do modelo volumétrico para o plantio de dezessete anos de idade, pode ser observado que o número de árvores necessário a cubar com base nas variâncias do volume e da área basal foi similar, bem como a equação de volume ajustada. Já o número de árvores necessário a

cubar com base na variância do DAP foi bem menor, apresentando o coeficiente de determinação similar aos demais, mas com erro padrão da estimativa maior.

No geral, o número de árvores estimados e cubados com base nas variâncias do volume e área basal foi suficiente para o ajuste da equação do volume, podendo ser constatado nas análises estatísticas utilizadas.

Já, o número de árvores estimado e cubado com base na variância do diâmetro, apesar de apresentar um bom coeficiente de determinação entre as variáveis dependentes e independentes, o erro padrão da estimativa foi maior, devido ao número reduzido de árvores utilizadas no ajuste, podendo ser vistas também no gráfico de resíduos.

5.5 COMPARAÇÕES ENTRE OS SISTEMAS DE IFC ATUALMENTE UTILIZADO PELA EMPRESA E OS PROPOSTOS NESTA PESQUISA

Para a estimativa do volume foi necessário conhecer a variável altura, desta forma, foi aplicado o modelo de equação hipsométrica ajustado pela empresa para cada idade. Este ajuste foi realizado no mesmo ano que houve o levantamento dos dados desta pesquisa, proporcionando melhor confiabilidade das informações. A equação hipsométrica ajustada foi a de *Curtis* (1967).

$$h = b_0 + b_1(1/dap) \quad (23)$$

E seus coeficientes para cada idade estudada foram:

QUADRO 1: COEFICIENTES DA EQUAÇÃO HIPSONÉTICA POR IDADE

Coeficientes	5 anos	9 anos	13 anos	17 anos
b ₀	10,4752	16,2568	20,6143	25,7235
b ₁	-42,7671	-65,7876	-82,2461	-131,1137

Vale lembrar que, foi realizada a medição das alturas das árvores em todas unidades amostrais levantadas nesta pesquisa, mas com a finalidade de obter o

tempo gasto na medição desta variável, não sendo utilizada suas medidas na aplicação dos cálculos.

Utilizando-se da equação de volume ajustada, baseada nas árvores cubadas a partir da seleção pela variância do volume (devido seu melhor ajuste), foi estimado o volume das árvores de cada parcela amostrada, nas suas respectivas classes de idades, e para cada sistema de IFC, que estão apresentados nos quadros 2, 3, 4 e 5.

5.5.1 Volume médio estimado pelos sistemas de IFC para plantio de 5 anos

Com a aplicação da mesma equação de volume ajustada, para os sistemas de IFC com unidades amostrais retangulares, circulares e quadradas, submetendo as mesmas condições de cálculo, foram estimados os volumes por unidade amostral e após foram comparados a precisão dos sistemas de IFC na estimativa dessa variável para os plantios com cinco anos de idade.

QUADRO 2: VOLUME DAS UNIDADES AMOSTRAIS – PLANTIO DE 5 ANOS

Unidades Amostras	Volume das u.a. extrapolado para hectare (m ³ /ha)		
	Retangulares (u.a. de 900m ²)	Circulares (u.a. de 400m ²)	Quadradas (u.a. de 400m ²)
1	140,8	136,9	139,9
2	131,9	120,3	126,7
3	119,0	113,9	113,0
4	133,2	143,8	138,3
5	134,1	146,5	141,3
6	74,5	74,0	71,8
7	98,7	93,7	100,5
8	97,4	97,2	94,5
9	94,9	81,0	85,3
10	92,5	92,1	90,2
11	156,1	170,4	161,5
12	133,6	138,3	133,7
13	72,3	57,9	60,8
14	74,5	58,3	62,5
15	82,3	79,4	87,2
16	87,3	86,0	94,9
17	133,2	96,1	107,7
18	152,6	146,4	145,1
19	119,5	116,6	112,1
20	78,9	89,1	86,7
Média	110,34	106,89	107,68
Coeficiente de Variação	25,28%	29,86%	27,01%
Erro Padrão	6,24	7,14	6,50
Erro de Amostragem	9,78%	11,55%	10,45%

Apesar do erro de amostragem ser maior que 10% para os sistemas de IFC utilizando-se de unidades amostrais circulares e quadradas, as médias de volume encontradas nos três métodos ficaram próximas. Para constatar se esta diferença é estatisticamente significativa ou não, foi realizada a análise de variância (ANOVA) com base no Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). Cada método de amostragem (forma e tamanho da unidade amostral) utilizado em cada sistema de IFC foi considerado como um tratamento (total de três tratamentos) com vinte repetições cada.

Para plantio com cinco anos, aplicando a fórmula 17, tem-se:

TABELA 15: ANOVA – PLANTIO DE 5 ANOS

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F
TRATAMENTO	2	130,72	65,36	0,0742
RESÍDUO	57	50.204,83	880,79	
TOTAL	59	50.335,55		

F calculado = 0,0742

F tabelado (sn=0,05;n1=2;n2=57) = 3,16

O F calculado é menor que o F tabelado, desta forma a diferença entre os tratamentos não é estatisticamente significativa.

5.5.2 Volume médio estimado pelos sistemas de IFC para plantio de 9 anos

Com a aplicação da mesma equação de volume ajustada para os sistemas de IFC, submetendo as mesmas condições de cálculo, foram estimados os volumes por unidade amostral e após foram comparados a precisão dos sistemas de IFC na estimativa dessa variável para os plantios com nove anos de idade.

QUADRO 3: VOLUME DAS UNIDADES AMOSTRAIS – PLANTIO DE 9 ANOS

Unidades Amostrais	Volume das u.a. extrapolado para hectare (m ³ /ha)		
	Retangulares (u.a. de 900m ²)	Circulares (u.a. de 400m ²)	Quadradas (u.a. de 400m ²)
21	181,6	179,9	185,3
22	159,6	168,6	166,6
23	225,0	226,4	225,4
24	230,2	231,9	224,4
25	271,2	273,1	263,6
26	291,4	289,7	297,5
27	318,6	299,7	287,2
28	291,5	276,5	286,5
29	263,0	267,4	267,4
30	317,5	319,8	310,3
31	244,7	275,1	274,0
32	323,5	326,3	330,3
33	265,2	275,7	271,9
34	296,1	308,4	324,0
35	249,2	271,6	272,5
36	275,1	256,3	256,2
37	273,5	295,6	303,9
38	218,8	217,2	221,7
39	275,3	259,1	264,2
40	220,9	222,9	231,2
Média	259,59	262,07	263,20
Coeficiente de Variação	16,95%	16,37%	16,43%
Erro Padrão	9,84	9,59	9,70
Erro de Amostragem	6,56%	6,33%	6,38%

Na idade de 9 anos todos os sistemas de IFC apresentam boa confiabilidade, com média de volume estimado pela unidade amostral circulares 0,9% superior que a média do sistema atualmente utilizado pela empresa, e em relação às unidades quadradas resultou em 1,4% maior que a média do sistema utilizado pela empresa. Ambos os sistemas propostos apresentaram valores muito próximos.

Para constatar se esta diferença é estatisticamente significativa ou não, foi realizada a análise de variância (ANOVA) com base no Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). Cada método de amostragem (forma e tamanho da unidade amostral) utilizado em cada sistema de IFC foi considerado como um tratamento (total de três tratamentos) com vinte repetições cada.

Para plantio com nove anos tem-se:

TABELA 16: ANOVA – PLANTIO DE 9 ANOS

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F
TRATAMENTO	2	135,69	67,85	0,0360
RESÍDUO	57	107.529,03	1.886,47	
TOTAL	59	107.664,72		

F calculado = 0,0360

F tabelado (sn=0,05;n1=2;n2=57) = 3,16

O F calculado é menor que o F tabelado, desta forma a diferença entre os tratamentos não é estatisticamente significativa.

5.5.3 Volume médio estimado pelos sistemas de IFC para plantio de 13 anos

Com a aplicação da mesma equação de volume ajustada para os sistemas de IFC, submetendo as mesmas condições de cálculo, foram estimados os volumes por unidade amostral e após foram comparados a precisão dos sistemas de IFC na estimativa dessa variável para os plantios com treze anos de idade.

QUADRO 4: VOLUME DAS UNIDADES AMOSTRAIS – PLANTIO DE 13 ANOS

Unidades Amostras	Volume das u.a. extrapolado para hectare (m ³ /ha)		
	Retangulares (u.a. de 900m ²)	Circulares (u.a. de 400m ²)	Quadradas (u.a. de 400m ²)
41	304,7	280,9	275,3
42	268,7	253,9	249,5
43	306,6	315,9	292,9
44	284,0	263,2	270,2
45	398,9	362,4	367,7
46	428,0	435,5	449,3
47	428,3	372,9	407,3
48	453,0	373,9	353,7
49	355,8	375,4	371,0
50	390,0	361,4	360,1
51	296,7	306,9	300,4
52	358,9	346,7	335,6
53	319,5	320,8	325,7
54	344,8	315,7	322,2
55	360,7	329,2	344,4
56	335,5	299,0	296,6
57	319,8	328,1	332,0
58	224,8	232,4	218,5
59	254,5	284,8	281,5
60	258,9	250,1	237,5
Média	334,61	320,46	319,56
Coeficiente de Variação	18,80%	16,01%	17,97%
Erro Padrão	14,07	11,47	12,84
Erro de Amostragem	7,27%	6,19%	6,95%

Os resultados do povoamento de idade 13 anos apresentaram valores próximos nos dois sistemas de IFC propostos (forma circular e quadrada) e, uma maior diferença entre as médias das unidades amostrais circulares e quadradas com relação à unidade amostral retangular (sistema utilizada pela empresa), diferença esta de 4,4% menor para as circulares e 4,7 menor para as quadradas.

Para constatar se esta diferença é estatisticamente significativa ou não, foi realizada a análise de variância (ANOVA) com base no Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). Cada método de amostragem (forma e tamanho da unidade amostral) utilizado em cada sistema de IFC foi considerado como um tratamento (total de três tratamentos) com vinte repetições cada.

Para plantio com treze anos tem-se:

TABELA 17: ANOVA – PLANTIO DE 13 ANOS

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F
TRATAMENTO	2	2.850,74	1.425,37	0,4323
RESÍDUO	57	187.941,79	3.297,22	
TOTAL	59	190.792,54		

F calculado = 0,4323

F tabelado (sn=0,05;n1=2;n2=57) = 3,16

O F calculado é menor que o F tabelado, desta forma a diferença entre os tratamentos não é estatisticamente significativa.

5.5.4 Volume médio estimado pelos sistemas de IFC para plantio de 17 anos

Com a aplicação da mesma equação de volume ajustada para os sistemas de IFC, submetendo as mesmas condições de cálculo, foram estimados os volumes por unidade amostral e após foram comparados a precisão dos sistemas de IFC na estimativa dessa variável para os plantios com dezessete anos de idade.

QUADRO 5: VOLUME DAS UNIDADES AMOSTRAIS – PLANTIO DE 17 ANOS

Unidades Amostras	Volume das u.a. extrapolado para hectare (m ³ /ha)		
	Retangulares (u.a. de 900m ²)	Circulares (u.a. de 400m ²)	Quadradas (u.a. de 400m ²)
61	348,0	351,6	366,1
62	444,9	429,2	428,4
63	374,0	381,0	361,6
64	408,1	415,8	418,4
65	399,1	362,7	378,4
66	426,0	428,6	422,2
67	415,0	381,4	386,0
68	329,2	369,7	351,6
69	428,6	433,2	438,2
70	406,3	361,1	360,8
71	288,7	318,0	300,6
72	355,9	329,0	357,0
73	374,9	342,9	343,3
74	370,1	383,5	392,1
75	342,9	338,6	336,9
76	409,9	448,7	430,2
77	316,0	325,5	333,6
78	353,4	378,4	376,4
79	393,2	392,8	433,2
80	393,7	450,3	427,1
Média	378,89	381,09	382,1
Coeficiente de Variação	10,81%	10,90%	10,50%
Erro Padrão	9,16	9,29	8,97
Erro de Amostragem	4,18%	4,22%	4,06%

Dentre as diferentes classes de idades estudadas, a classe de idade de 17 anos foi a que apresentou os melhores resultados de precisão e proximidade das médias de volume entre os três sistemas de IFC comparados (um sistema de IFC atualmente praticado e dois sistemas de IFC propostos), sendo a média de volume estimada pelas unidades amostrais circulares e quadradas respectivamente de 0,6% e 0,8% maiores que a média das unidades retangulares.

Para constatar se esta diferença é estatisticamente significativa ou não, foi realizada a análise de variância (ANOVA) com base no Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). Cada método de amostragem (forma e tamanho da unidade amostral) utilizado em cada sistema de IFC foi considerado como um tratamento (total de três tratamentos) com vinte repetições cada.

Para plantio com dezessete anos tem-se:

TABELA 18: ANOVA – PLANTIO DE 17 ANOS

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F
Tratamento	2	107,40	53,70	0,0322
Resíduo	57	95.206,62	1.670,29	
Total	59	95.314.03		

F calculado = 0,0322

F tabelado (sn=0,05;n1=2;n2=57) = 3,16

O F calculado é menor que o F tabelado, desta forma a diferença entre os tratamentos não é estatisticamente significativa.

O volume calculado para as diferentes classes de idades apresentou resultados peculiares como no caso dos sistemas de IFC aplicados para os plantios em todas as quatro classes de idade pesquisadas. Os sistemas propostos com unidades amostrais circular e quadrada, apresentaram erro de amostragem similar, com boa aproximação das médias volumétricas do sistema de IFC atualmente utilizada pela empresa. Esta constatação foi validada através da análise de variância (ANOVA) para um delineamento inteiramente casualizado, resultando no “F” calculado não significativo, isto é, os volumes estimados pelos três sistemas de IFC (tratamentos) apresentaram resultados próximos entre si, cuja diferença o teste “F” considerou estatisticamente não significativo para uma probabilidade de 95%.

Pode ser observado que quanto maior a idade, menor foi o coeficiente de variação do volume dos sistemas de amostragens pesquisados, indicando que com os desbastes o povoamento remanescente tende a se tornar mais homogêneo em termos de volume.

Foi também observado que na idade de rotação (corte raso) planejada, aos dezessete anos, além de apresentar o menor coeficiente de variação para com o volume, apresentou a menor diferença entre os sistemas de IFC pesquisados.

Através dos resultados obtidos, em relação à volumetria, os sistemas de IFC propostos podem ser considerados confiáveis.

5.6 COMPARAÇÕES ENTRE OS CUSTOS DOS TRÊS SISTEMAS DE IFC

Para as instalações das unidades amostrais quadradas foram utilizadas como referência as linhas de plantio para dar seu direcionamento, devido as unidades amostrais permanentes atualmente existente seguir este critério. Isso facilita a localização das árvores e proporciona um menor tempo gasto para realização das medições de DAP's e altura da árvores.

As medições de tempo do deslocamento, de instalação das unidades amostrais e medição da variável DAP foram fundamentais para posterior cálculo de custo das atividades. Os tempos levantados foram específicos para a comparação entre os sistemas de IFC estudados, não sendo considerados os tempos improdutivo (ex. parada para almoço, lanche, etc). Foi aplicado o cálculo de eficiência relativa para comparação dos sistemas de IFC estudados, possibilitando definir o sistema de IFC mais eficiente com relação ao tempo de instalação e medição (diretamente relacionada ao custo) e o coeficiente de variação (relacionada à precisão).

5.6.1 Comparação do custo de instalação entre os sistemas de IFC

Na medição do tempo de instalação das unidades amostrais alocadas no povoamento florestal com cinco anos de idade, para cada sistema de IFC desta pesquisa foram levantados os custos, conforme apresentadas nas tabelas a seguir.

TABELA 19: CUSTO DE INSTALAÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS

Unidades Amostras	Tempo de Instalação Médio	Custo de Instalação Médio
Retangulares (900m ²)	23,6 minutos	R\$ 47,91
Circulares (400m ²)	6,8 minutos	R\$ 13,81
Quadradas (400m ²)	9,2 minutos	R\$ 18,68

Devido à estreita relação entre tempo e custo, pode-se observar que a diferença de custo entre os sistemas é a mesma que a diferença de tempo de instalação entre os sistemas, mostrando a alta correlação existente entre essas duas variáveis.

A instalação das unidades amostrais circulares apresentou o menor custo em relação às outras duas formas de unidade amostral, devido às quadradas e retangulares necessitar de esquadreamento para sua delimitação, consumindo maior tempo de implantação.

5.6.2 Comparação do custo de medição entre os sistemas de IFC

A cronometragem do tempo consumido nas medições das variáveis DAP e altura das unidades amostrais foram realizadas para os povoamentos de todas as classes idades.

TABELA 20: TEMPO MÉDIO DE MEDIÇÃO DAS VÁRIÁVEIS DAP E ALTURA

Forma da Unidade Amostral	Tempo de Medição Consumido por Classe de Idade			
	5 anos	9 anos	13 anos	17 anos
Retangular (900m ²)	13,1 minutos	12,1 minutos	9,3 minutos	7,1 minutos
Circular (400m ²)	4,6 minutos	4,8 minutos	3,1 minutos	2,7 minutos
Quadrada (400m ²)	4,4 minutos	4,6 minutos	2,9 minutos	2,5 minutos

Os tempos de medições das variáveis DAP e altura das unidades amostrais instaladas em povoamentos mais velhos têm a tendência de ser mais rapidamente

medidas devido à intervenção de desbaste ocorrida, diminuindo desta forma o número de árvores na unidade amostral e, conseqüentemente, o tempo de medição.

Em todas as classes de idades as unidades quadradas se mostraram mais eficientes com relação ao tempo de medição das variáveis (DAP e altura). Este ganho de tempo se deve a facilidade de caminhar na linha para as medições. No entanto, para se confirmar qual sistema de IFC teve o melhor desempenho em relação ao tempo de medição e precisão, foi calculada a eficiência relativa dos sistemas de IFC comparados, aplicando-se a fórmula 22:

TABELA 21: EFICIÊNCIA RELATIVA

Idade	Unidades Amostrais	Tempo Médio de Medição (min.)	Coefficiente de Variação (%)	Eficiência Relativa
5 anos	Retangulares	13,1	25,3	0,30
	Circulares	4,6	29,9	0,73
	Quadradas	4,4	27,0	0,84
9 anos	Retangulares	12,1	16,9	0,49
	Circulares	4,8	16,4	1,28
	Quadradas	4,6	16,5	1,32
13 anos	Retangulares	9,3	18,8	0,57
	Circulares	3,1	16,0	2,00
	Quadradas	2,9	18,0	1,90
17 anos	Retangulares	7,1	10,8	1,31
	Circulares	2,7	10,9	3,37
	Quadradas	2,5	10,5	3,83

Quanto maior o valor da eficiência relativa mais eficiente é o método. Nesta pesquisa, para três classes de idade o sistema de IFC utilizando unidades amostrais quadradas, a eficiência relativa foi superior. No povoamento com 13

anos de idade, o sistema de IFC utilizando unidades amostrais circulares foi a mais eficiente.

Os custos monetários de medição também foram calculados em função do tempo consumido para medição das variáveis dendrométricas, para cada classe de idade.

TABELA 22: CUSTO DE MEDIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS

Unidades Amostrais	Custo de Medição de DAP e altura			
	5 anos	9 anos	13 anos	17 anos
Retangulares(900m ²)	R\$ 26,66	R\$ 24,61	R\$ 18,86	R\$ 14,33
Circulares (400m ²)	R\$ 9,32	R\$ 9,66	R\$ 6,35	R\$ 5,52
Quadradas (400m ²)	R\$ 8,93	R\$ 9,30	R\$ 5,95	R\$ 5,06

O IFC com unidades amostrais quadradas apresentou um menor custo de medição das variáveis dendrométricas, em todas as classes de idade, devido o caminhamento direcionado na linha de plantio facilitar a operação de medição.

Para uma melhor análise da comparação dos sistemas de IFC, em relação à medição dos DAP das árvores, foi somado o tempo de medição médio, consumido em todas as classes de idades.

TABELA 23: CUSTO DE MEDIÇÃO DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS CONSIDERANDO A MÉDIA DE TEMPO CONSUMIDO EM TODAS CLASSES DE IDADES

Unidades Amostrais	Tempo de Medição	Custo de Medição
Retangulares (900m ²)	10,4 minutos	R\$ 21,11
Circulares (400m ²)	3,8 minutos	R\$ 7,72
Quadradas(400m ²)	3,6 minutos	R\$ 7,31

O sistema de IFC utilizando unidades amostrais quadradas apresentou um menor custo com relação ao tempo de medição, apesar do sistema de IFC utilizando unidades amostrais circulares apresentar número de árvore mensurado semelhante.

5.6.3 Comparação dos custos totais entre os sistemas de IFC

Os custos de instalação e medição foram baseados no cenário do IFC atualmente utilizado pela empresa. O objetivo da empresa é de implantar mil unidades amostrais permanentes, abrangendo todos os projetos e, que serão medidas anualmente. Em média, oitenta novas unidades amostrais permanentes serão instaladas, por ano, em plantios que atingirem cinco anos de idade. Aproximadamente oitenta unidades amostrais permanentes existentes em plantios mais velhos serão extintas devido o corte raso, permanecendo em média mil unidades amostrais permanentes por ano a serem medidas. Esta quantidade de novas unidades amostrais está relacionada com o plano anual de novas áreas de plantio, objetivando a sustentabilidade florestal da empresa. Seguindo este cenário tem-se:

QUADRO 6: CENÁRIO DO NÚMERO DE UNIDADES AMOSTRAIS PLANEJADAS

Número de Unidades Amostrais Instaladas Anualmente	80
Número de Unidades Amostrais Medidas Anualmente	1000

Para a comparação entre os sistemas de IFC com relação a viabilidade econômica, há que se considerar um cenário real. Conhecendo-se os custos de deslocamento, instalação e medição das variáveis dendrométricas da unidade amostral, pode-se calcular o custo total das operações de campo do IFC.

TABELA 24: CUSTO TOTAL DAS ATIVIDADES DE CAMPO DOS IFC

Unidades Amostrais	Custo por Atividade			
	Deslocamento	Instalação	Medição	Total
Retangulares	R\$ 35.244,33	R\$ 3.832,92	R\$ 21.113,31	R\$ 60.190,56
Circulares	R\$ 35.244,33	R\$ 1.104,47	R\$ 7.716,00	R\$ 44.064,80
Quadradas	R\$ 35.244,33	R\$ 1.494,13	R\$ 7.308,96	R\$ 44.047,43

No cenário proposto foi constatado que os IFC utilizando unidades amostrais permanentes quadradas e circulares foram as que apresentaram os menores custos de operação, sendo os custos da unidade amostral quadrada ligeiramente menor, mas esta diferença é praticamente irrelevante. Este menor custo, se analisado de uma forma geral, deve-se a diminuição dos tempos de instalação e medição das variáveis dendrométricas das unidades amostrais, tanto circulares quanto quadradas dos sistemas de IFC propostos, em relação às unidades amostrais do sistema de IFC atualmente utilizado pela empresa.

Devido à redução dos tempos de implantação e medição das variáveis nas unidades amostrais dos sistemas de IFC propostos em relação ao sistema de IFC da empresa, o custo foi proporcionalmente reduzido. O menor custo de instalação das unidades amostrais circulares foi superado pelo menor custo de medição das variáveis dendrométricas das unidades amostrais quadradas.

Apesar do sistema de IFC utilizando unidades amostrais circulares e quadradas terem apresentado resultados de precisão e custo semelhantes, entre os dois sistemas de IFC propostos é recomendado para empresa o IFC de unidades amostrais permanentes quadradas, devido o menor custo da operação e melhor eficiência relativa na maioria das situações. O sistema de IFC com unidade quadrada apresenta facilidade de percepção em campo na localização das árvores que compõem a unidade amostral, pelo fato de seguir a mesma seqüência de árvores a ser mensuradas na linha de plantio, facilitando a sua operacionalidade para as características florestais encontradas.

A aplicação da unidade amostral circular teria ótima utilização para amostragem temporária, por apresentar um custo de instalação 25% (vinte e cinco por cento) menor em relação às unidades amostrais quadradas. Assim, se analisarmos o tempo médio gasto na instalação das unidades amostrais, somado ao tempo médio de medição das variáveis dendrométricas, teríamos um tempo médio de 10,6 minutos para a unidade amostral circular de quatrocentos metros quadrados e de 12,8 minutos para as unidades amostrais quadradas do mesmo tamanho. Relativamente, a somatória dos custos de instalação e medição da unidade amostral circular foi de aproximadamente 20% (vinte por cento) menor do

que da unidade amostral quadrada. Essa superioridade vale para unidades amostrais temporárias.

Na definição do melhor sistema de IFC para as condições dos povoamentos florestais de Pinus da empresa, foram levados em consideração os seguintes quesitos: sistema de IFC que apresente uma alta precisão, baixo custo e, boa operacionalidade de instalação e medição das variáveis dendrométricas em campo.

6 CONCLUSÃO

Para a elaboração de um sistema IFC deve-se levar em consideração todas as variáveis e objetivos encontrados em cada caso. No caso de onde já se tenha um sistema de IFC que esteja sendo aplicado, deve se realizar uma avaliação minuciosa das suas características, para o aperfeiçoamento da mesma, garantindo confiabilidade e diminuindo custo. Nesta pesquisa, a partir do cenário encontrado, foram propostos dois novos sistemas de IFC, obtendo em ambos os sistemas bons resultados se comparados ao sistema de IFC atualmente utilizado pela empresa, principalmente pela redução de custo.

A escolha do melhor sistema de IFC foi baseada em análises comparativas entre os sistemas de IFC da empresa e os propostos nesta pesquisa. Entre os dois sistemas de IFC proposto, o mais eficiente foi o IFC que utiliza unidades amostrais quadradas de quatrocentos metros quadrados, o qual teve melhor desempenho dentro do cenário pesquisado, possibilitando uma boa precisão na estimativa das variáveis desejadas, menor custo relativo e de fácil operacionalidade.

O sistema de IFC utilizando unidades amostrais circulares apresentou também um bom desempenho equiparando-se ao sistema de IFC com unidade quadrada, porém, apresentou um custo levemente superior, bem como, menor operacionalidade na medição das variáveis dendrométricas.

Esta pesquisa objetivou principalmente a comparação entre os sistemas de IFC usado pela empresa e os propostos, com a indicação do sistema que apresentou os melhores resultados, como a redução dos custos sem a perda da confiabilidade das informações requeridas, levando em consideração a nova condição dos povoamentos florestais de Pinus da empresa pesquisada.

7 REFERÊNCIAS

CAMPOS J. C. C.; LEITE H. G. **Mensuração florestal**. Perguntas e Respostas. 1. Universidade Federal de Viçosa, 2002.

DINIZ F. S. **Métodos de Amostragem e Geostatística Aplicados ao Inventário Florestal**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Lavras. 2007.

DRUSZCZ, J. P. **Comparação Entre os Métodos de Amostragem de Bitterlich e de Área Fixa com Três Variações Estruturais de Unidades Circulares em Plantações de *Pinus taeda***. UFPR. Curitiba, 2008.

FAO. **Manual Of Forest Inventory With Special Reference to Mixed Tropical Forests**. Roma, F.A.O., 1973.

FEDERER, W. T. **Experimental desing**. MacMillan, Company. New York, 1955.

FERREIRA C.A. **Inventario em Florestas de Eucalipto e projeções de crescimento**. Boletim Informativo do IPEF.1985.

GOMES, F. P.; CHAVES, R. **A amostragem Ótima em Inventário Florestal**. IPEF, Piracicaba; Jundiaí. n. 38, 1988.

GOMES, F. P.; COUTO, H.T.Z. **O tamanho ótimo de parcela experimental para ensaios com eucaliptos**. IPEF, Piracicaba, 1985.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest Mensuration**. Ed. 3, Ronald. New York, 1982.

MELLO, J. M. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal**. Tese de Doutorado ESALQ-USP, Piracicaba, 2004.

MORAIS, A. D. F.; BRAVO, C. V.; ROQUE, R. A. M.; DE ANDRADE, W. F. **Utilização de Métodos Estatísticos em Inventário Florestal**. ESALQ-USP. Piracicaba. 2003.

NAKAJIMA, N. Y. **Comparison of Four Ground-Survey Methods When Used as Permanent Samples in the Continuous Forest Inventory for Forest Management**. The United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University. Kagoshima, Japão, thesis. 1997.

PÉLLICO S. N.; BRENA D. A. **Inventário Florestal**. Universidade Federal do Paraná – Universidade Federal de Santa Maria. Curitiba. 1997.

ROBLES, C. **Estadística**. Facultad de Ciências Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. 1978.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; CÔRTE, A. P. D.; FERNANDES, L. de A. V. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução**. PELD/CNPq. Curitiba, 2006.

SCOLFORO J.R.S. **Modelagem e crescimento e produção de Florestas Plantadas e Nativas**. Biometria Florestal. Lavras UFLA/FAEPE, 1997.

SCOLFORO, J. R. S. **Mensuração Florestal**; Módulo 3: Relação Quantitativas em Volume, Peso e a Relação Hipsométrica. Lavras, ESAL/FAEPE, 1993.

SCOLFORO J. R. S.; MELLO J. M. **Inventário Florestal**. UFLA/FAEPE, Lavras, 2006.

SPURR, S. H. **Forest Inventory**. Ronald. New York, 1955.

VASQUEZ, A. G. **Metodo de Amostragem em Linhas**: Desenvolvimento e Aplicação em uma Floresta Implantada com *Pinus taeda*. Dissertação de Mestrado. Setor de Ciências Agrárias, UFPR, Curitiba, 1988.

VEIGA, R. A. A. **Dendrometria e inventário florestal**. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. Botucatu. 1984.

VIEIRA, S. **Estatística Experimental**. 2^a. ed. São Paulo: Atlas, 1999.