

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO PAULO DRUSZCZ

**MÉTODOS DE AMOSTRAGEM COM TRÊS VARIAÇÕES ESTRUTURAIS EM
INVENTÁRIOS FLORESTAIS EM PLANTAÇÕES DE PINUS**

CURITIBA

2014

JOÃO PAULO DRUSZCZ

**MÉTODOS DE AMOSTRAGEM COM TRÊS VARIAÇÕES ESTRUTURAIS EM
INVENTÁRIOS FLORESTAIS EM PLANTAÇÕES DE PINUS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal na linha de pesquisa de Manejo Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião do Amaral
Machado

Co-orientador: Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

Co-orientador: Prof. Dr. Nelson Carlos Rosot

CURITIBA

2014

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Druszcz, João Paulo

Métodos de amostragem com três variações estruturais em inventários florestais em plantações de pinus / João Paulo Druszcz. – 2014
140 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado

Coorientadores: Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima
Prof. Dr. Nelson Carlos Rosot

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 24/02/2014.

Área de concentração: Manejo Florestal

1. Pinus taeda. 2. Amostragem (Estatística). 3. Levantamentos florestais – Métodos estatísticos. 4. Teses. I. Machado, Sebastião do Amaral. II. Nakajima, Nelson Yoshihiro. III. Rosot, Nelson Carlos. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

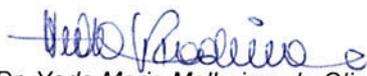
CDU – 634.0.524.6



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da
Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

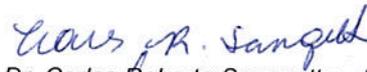
PARECER
Defesa nº. 1013

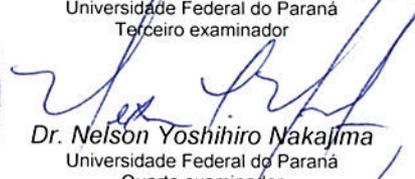
A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) doutorando(a) *João Paulo Druszc* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**MÉTODOS DE AMOSTRAGEM COM TRÊS VARIAÇÕES ESTRUTURAIS EM INVENTÁRIOS FLORESTAIS EM PLANTAÇÕES DE PINUS**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em **MANEJO FLORESTAL**.


Dr. Yeda Maria Malheiros de Oliveira
Embrapa-Florestas
Primeiro examinador


Dr. Veridiana Padoin Weber
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Segundo examinador

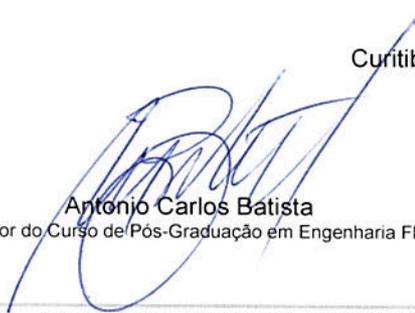



Dr. Carlos Roberto Sanquetta
Universidade Federal do Paraná
Terceiro examinador


Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima
Universidade Federal do Paraná
Quarto examinador


Dr. Sebastião do Amaral Machado
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 24 de fevereiro de 2014.


Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar seus sinceros agradecimentos ao Orientador, professor Doutor Sebastião do Amaral Machado, pela sua orientação, compreensão e amizade.

Aos Co-orientadores, professor Doutor Nelson Yoshihiro Nakajima e Nelson Carlos Rosot pelas orientações, sugestões, estímulos e confiança depositadas.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, pelo auxílio na realização deste Curso.

Ao Programa REUNI de assistência ao ensino em nível de Doutorado, pela oportunidade de recebimento de bolsa de doutorado durante o período de estudo e desenvolvimento do projeto de doutorado.

Em especial, aos Engenheiros Florestais Álvaro Luiz Scheffer e Álvaro Scheffer Júnior pela concessão de realizar a pesquisa na Fazenda da Empresa Água Florestal, com sede em Ponta Grossa – Paraná.

Aos Engenheiros Florestais Kléber dos Santos, Francisco Higuchi e Alberto Biscaia por se disporem a ajudar na coleta dos dados de campo, pela amizade e troca de conhecimentos e informações valiosas.

Ao pessoal da MOR Gestão Ambiental e Florestal pela elaboração dos mapas temáticos, na pessoa do Engenheiro Ambiental Rafael Rosa.

Aos demais professores, funcionários e amigos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste estudo.

Aos meus maiores incentivadores que estavam presentes em todos os momentos e que tanto me ajudaram para a conclusão deste estudo: meus pais e irmão.

BIOGRAFIA

JOÃO PAULO DRUSZCZ, filho de Arlindo Milton Druszcz e Noêmia Rzeczycki Druszcz, nasceu no município de Araucária, Paraná, aos 21 de outubro de 1981.

Concluiu o primeiro grau no Colégio São Vicente de Paulo no ano de 1995, em Araucária - Paraná. No segundo grau, formou-se Técnico em Mecânica no ano de 2000, pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (CEFET), em Curitiba - Paraná.

Em 2001, ingressou na Universidade Federal do Paraná, graduando-se em Engenharia Florestal no ano de 2005. Atuou como bolsista no Laboratório de Inventário Florestal de setembro de 2003 a dezembro de 2005, onde realizou vários trabalhos, tanto de cunho científico, como de cunho profissional. Já no ano de 2006, iniciou o programa de Mestrado no curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, na área de concentração denominada Manejo Florestal, seguindo a linha de pesquisa Inventário Florestal, Sistemas e Métodos de Amostragem, concluindo os requisitos necessários para o grau de Mestre em 2008. No início de 2008, foi contratado pela empresa Juris Ambientis Consultores S/S Ltda., onde trabalhou até meados do mesmo ano, sendo responsável pelos trabalhos de campo e escritório em projetos de EIA/RIMA de hidrelétricas, rodovias e projetos de viabilidade de assentamento rural extrativista, entre outros. No ano de 2009, foi aprovado no concurso para professor colaborador na UNICENTRO - PR (Universidade do Centro-Oeste), para lecionar as matérias de Dendrometria e Inventário Florestal. No mesmo ano, foi contratado pela empresa Silviconsult Engenharia Ltda., na qual trabalhou até meados de 2010, atuando em projetos de avaliação econômica, *due diligence* e planejamento da produção.

Em 2010, iniciou o programa de Doutorado no curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, na área de concentração denominada Manejo Florestal, seguindo a linha de pesquisa Manejo de Florestas e de Povoamentos Florestais, o qual é concluído com a defesa desta Tese.

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi comparar dois métodos de amostragem para estimativas em povoamentos de *Pinus taeda* L., localizados em Carambeí - PR, sendo eles o de área variável, o qual foi representado pelo método Ponto de Bitterlich (PB) e o de área fixa, representado pela Parcela Circular (PC) e as variações estruturais em Conglomerado em Cruz (CC) e Conglomerado em Linha (CL) com subunidades circulares, no que tange à precisão e eficiência para a estimativa das variáveis DAP médio (cm), número de árvores (N/ha), área basal (m^2/ha) e volume total (m^3/ha), nos anos de 2007 e 2011. Foram selecionadas três condições de plantações, representadas para diferentes condições de relevo. No inventário florestal de 2007, na análise simultânea das três condições para a estimativa das variáveis DAP médio (cm) e número de árvores (N/ha), o método de área fixa com Parcela Circular (PC) foi o mais preciso e eficiente. Para a estimativa da variável área basal (m^2/ha) e volume total (m^3/ha), o método de área variável por Ponto de Bitterlich (PB) foi mais preciso e eficiente. As duas estruturas do método de área fixa, utilizando-se o Conglomerado em Cruz (CC) e o Conglomerado em Linha (CL), apresentaram resultados precisos e eficientes. Entretanto, o Conglomerado em Linha (CL) foi superior ao outro. Para o inventário florestal de 2011, na análise simultânea das três condições para a estimativa das variáveis DAP médio (cm), número de árvores (N/ha), área basal (m^2/ha) e volume total (m^3/ha), o método de área variável por Ponto de Bitterlich (PB) foi o mais preciso e o método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL), o mais eficiente para todas as variáveis analisadas.

Palavras-chave: Amostragem. Sistema de amostragem. Precisão amostral. Eficiência relativa.

ABSTRACT

This study aimed to compare two sampling methods, with structural variation to the method of fixed area. The Bitterlich's point sampling and the sampling method of fixed area with circular plot, with cross sampling cluster and with line sampling cluster, on the accuracy and efficiency about the estimate of the variables mean DBH, number of trees, basal area and total volume, per hectare. Three conditions for *Pinus taeda* L. plantations were selected, located in Boa Vista farm, Carambeí-Paraná. The forest inventory in 2007, in simultaneous analysis of the three conditions for the estimate of variables mean DBH and number of trees per hectare, the sampling method of fixed area with circular plot was the most accurate and efficient. The Bitterlich point method was more accurate and efficient for the estimation of variables basal area and total volume. The two structures of sampling method of the fixed area with cross cluster and with line cluster demonstrated good results being the line cluster better than the cross cluster one. In forest inventory in 2011, in the simultaneous analysis of the three conditions for the estimation of variables mean DBH, number of trees, basal area and total volume, per hectare, the Bitterlich point method was the most accurate and to the relative efficiency the sampling method with fixed area with line cluster was the most efficient for all variables.

Keywords: Sampling. Sampling system. Sampling precision. Relative efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - REGIÃO DE ORIGEM DO <i>Pinus taeda</i> L.....	22
FIGURA 2 - REGIÃO COM CONDIÇÕES TÉRMICAS E HÍDRICAS SATISFATÓRIAS PARA O <i>Pinus taeda</i> L. NO BRASIL.....	23
FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO - MUNICÍPIO DE CARAMBEÍ, PR	38
FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO - CONDIÇÕES 1, 2 E 3.....	39
FIGURA 5 - PONTO DE BITTERLICH (PB).....	46
FIGURA 6 - PARCELA CIRCULAR (PC)	47
FIGURA 7 - CONGLOMERADO EM CRUZ (CC)	50
FIGURA 8 - CONGLOMERADO EM LINHA (CL)	52
FIGURA 9 - INCLUSÃO DE ÁRVORES NAS UNIDADES AMOSTRAIS	53
FIGURA 10 - DIFERENTES ALTURAS ENCONTRADAS EM UMA ÁRVORE	55
FIGURA 11 - ETAPAS NO PROCESSO DE CUBAGEM.....	59
FIGURA 12 - MARCAÇÃO DAS ALTURAS RELATIVAS DE HOHENALD PARA CUBAGEM	60
FIGURA 13 - MÉTODO DE CUBAGEM DE SMALIAN	61
FIGURA 14 - DESBASTE MISTO REALIZADO NAS CONDIÇÕES 1, 2 E 3	97
FIGURA 15 - SUGESTÃO DE ESTRUTURAÇÃO DO CONGLOMERADO EM LINHA	134

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA - CONDIÇÃO 1.....	71
GRÁFICO 2 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA - CONDIÇÃO 2.....	72
GRÁFICO 3 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA - CONDIÇÃO 3.....	72
GRÁFICO 4 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DAS ALTURAS ESTIMADAS PELO MODELO DE CURTIS - CONDIÇÃO 1	75
GRÁFICO 5 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DOS VOLUMES COM CASCA, ESTIMADOS PELO MODELO DE SCHUMACHER- HALL - CONDIÇÃO 1	75
GRÁFICO 6 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DAS ALTURAS ESTIMADAS PELO MODELO OGAWA - CONDIÇÃO 2.....	76
GRÁFICO 7 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS PELO MODELO SCHUMACHER-HALL, COM CASCA - CONDIÇÃO 2	77
GRÁFICO 8 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DAS ALTURAS ESTIMADAS-MODELO OGAWA - CONDIÇÃO 3.....	78
GRÁFICO 9 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS, COM CASCA, PELO MODELO DE SCHUMACHER- HALL- CONDIÇÃO 3	78
GRÁFICO 10 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DAS ALTURAS ESTIMADAS PELO MODELO OGAWA - CONDIÇÃO 1	99
GRÁFICO 11 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DAS ALTURAS ESTIMADAS PELO MODELO DE CURTIS - CONDIÇÃO 2.....	100
GRÁFICO 12 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DAS ALTURAS ESTIMADAS - MODELO HENRICKSEN - CONDIÇÃO 3.....	101
GRÁFICO 13 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA - CONDIÇÃO 1	104
GRÁFICO 14 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA - CONDIÇÃO 2	104
GRÁFICO 15 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA - CONDIÇÃO 3.....	105

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - MODELOS TESTADOS PARA ALTURA TOTAL.....	55
TABELA 2 - INTERVALOS E CENTROS DE CLASSE EM FUNÇÃO DA CLASSE SOCIOLÓGICA	58
TABELA 3 - MODELOS TESTADOS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES INDIVIDUAIS.....	62
TABELA 4 - FREQUÊNCIA DE ÁRVORES POR CLASSE SOCIOLÓGICA E HECTARE	70
TABELA 5 - NÚMERO DE ÁRVORES CUBADAS POR CLASSE SOCIOLÓGICA E PARA CADA CONDIÇÃO	73
TABELA 6 - COEFICIENTES DOS AJUSTES E ESTATÍSTICAS DE PRECISÃO PARA OS MODELOS VOLUMÉTRICO E HIPSOMÉTRICO SELECIONADOS PARA A CONDIÇÃO 1	74
TABELA 7 - COEFICIENTES DOS AJUSTES E ESTATÍSTICAS DE PRECISÃO PARA OS MODELOS VOLUMÉTRICO E HIPSOMÉTRICO SELECIONADOS PARA A CONDIÇÃO 2.....	76
TABELA 8 - COEFICIENTES DOS AJUSTES E ESTATÍSTICAS DE PRECISÃO PARA OS MODELOS HIPSOMÉTRICO E VOLUMÉTRICO SELECIONADOS PARA A CONDIÇÃO 3.....	77
TABELA 9 - NÚMERO DE ÁRVORES AMOSTRADAS POR UNIDADE AMOSTRAL, MÉTODOS E SUAS VARIAÇÕES ESTRUTURAIS PARA CADA CONDIÇÃO	79
TABELA 10 - ESTIMATIVA DA VARIÁVEL DAP médio (cm), NÚMERO DE ÁRVORES (N/ha), ÁREA BASAL (m ² /ha) E VOLUME TOTAL (m ³ /ha) EM CADA CONDIÇÃO	80
TABELA 11 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE DAP MÉDIO (CM) PARA CADA CONDIÇÃO	81
TABELA 12 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE NÚMERO DE ÁRVORES (N/ha) PARA CADA CONDIÇÃO	83
TABELA 13 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE ÁREA BASAL (m ² /ha) PARA CADA UMA DAS CONDIÇÕES.....	84

TABELA 14 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE VOLUME TOTAL (m ³ /ha) PARA CADA UMA DAS CONDIÇÕES	86
TABELA 15 - TESTE T DE STUDENT PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS PARA CADA UMA DAS CONDIÇÕES.....	87
TABELA 16 - CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS COM BASE NO ERRO DE AMOSTRAGEM.....	89
TABELA 17 - EFICIÊNCIA RELATIVA COMPARADA PARA CADA CONDIÇÃO	91
TABELA 18 - TESTE DE TUKEY PARA AS ESTIMATIVAS DAS VARIÁVEIS.....	95
TABELA 19 - COEFICIENTES DO AJUSTE E ESTATÍSTICAS DE PRECISÃO PARA O MODELO HIPSOMÉTRICO SELECIONADO PARA A CONDIÇÃO 1	99
TABELA 20 - COEFICIENTES DO AJUSTE E ESTATÍSTICAS DE PRECISÃO PARA O MODELO HIPSOMÉTRICO SELECIONADO PARA A CONDIÇÃO 2	100
TABELA 21 - COEFICIENTES DO AJUSTE E ESTATÍSTICAS DE PRECISÃO PARA O MODELO HIPSOMÉTRICO SELECIONADO PARA A CONDIÇÃO 3.....	101
TABELA 22 - VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE VOLUME TOTAL ATRAVÉS DO TESTE DO QUI-QUADRADO PARA CADA CONDIÇÃO	102
TABELA 23 - FREQUÊNCIA DE ÁRVORES POR CLASSE SOCIOLÓGICA.....	102
TABELA 24 - NÚMERO DE ÁRVORES AMOSTRADAS POR UNIDADE AMOSTRAL, MÉTODOS E SUAS VARIAÇÕES ESTRUTURAIS PARA CADA CONDIÇÃO	106
TABELA 25 - ESTIMATIVA DA VARIÁVEL DAP médio (cm), NÚMERO DE ÁRVORES (N/ha), ÁREA BASAL (m ² /ha) E VOLUME TOTAL (m ³ /ha) EM CADA CONDIÇÃO.....	107
TABELA 26 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE DAP médio (cm) PARA CADA CONDIÇÃO	109
TABELA 27 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE NÚMERO DE ÁRVORES (N/ha) PARA CADA CONDIÇÃO	110
TABELA 28 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE ÁREA BASAL (m ² /ha) PARA CADA UMA DAS CONDIÇÕES.....	112

TABELA 29 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE VOLUME TOTAL (m ³ /ha) PARA CADA UMA DAS CONDIÇÕES	113
TABELA 30 - TESTE T DE STUDENT PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS PARA CADA CONDIÇÃO	115
TABELA 31 - CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS COM BASE NO ERRO DE AMOSTRAGEM.....	116
TABELA 32 - EFICIÊNCIA RELATIVA COMPARADA PARA CADA CONDIÇÃO ..	118
TABELA 33 - TESTE DE TUKEY PARA AS ESTIMATIVAS DAS VARIÁVEIS.....	122
TABELA 34 - ERRO DE AMOSTRAGEM PARA OS INVENTÁRIOS DE 2007 E 2011	124
TABELA 35 - EFICIÊNCIA RELATIVA DOS INVENTÁRIOS DE 2007 E 2011	126
TABELA 36 - TESTE DE TUKEY PARA AS ESTIMATIVAS DAS VARIÁVEIS.....	128

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	20
3 REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1 <i>PINUS TAEDA</i> L.	21
3.2 <i>PINUS TAEDA</i> L. NO BRASIL	22
3.3 INVENTÁRIO FLORESTAL	23
3.4 PROCESSO DE AMOSTRAGEM	24
3.4.1 Amostragem aleatória irrestrita	24
3.5 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM	26
3.5.1 Método de área fixa	26
3.5.1.1 Amostragem com unidades circulares	27
3.5.1.2 Amostragem em conglomerados	28
3.5.2 Amostragem com área variável	29
3.5.2.1 Fator de área basal (FAB)	30
3.6 TAMANHO E FORMA DE UNIDADES AMOSTRAIS	30
3.7 NÚMERO DE ÁRVORES EM UNIDADES AMOSTRAIS	33
3.8 PRECISÃO E EFICIÊNCIA DE UNIDADES AMOSTRAIS	34
4 MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	37
4.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	38
4.3 CRITÉRIO DE SELEÇÃO DAS ÁREAS	40
4.3.1 Descrição da Condição 1	40
4.3.2 Descrição da Condição 2	40
4.3.3 Descrição da Condição 3	41
4.4 COLETA DE DADOS	42
4.4.1 Método de medição	42
4.4.2 Instrumentos e materiais utilizados na medição	42
4.4.3 Equipe de campo	43
4.4.4 Processo de amostragem	44

4.5 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM	44
4.5.1 Método de amostragem por Ponto de Bitterlich (PB)	44
4.5.2 Método de amostragem de área fixa com parcela circular (PC).....	47
4.5.3 Método de área fixa com Conglomerado em Cruz (CC).....	49
4.5.4 Método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL)	52
4.6 INCLUSÃO DE ÁRVORES NA UNIDADE AMOSTRAL	52
4.7 NÚMERO DE UNIDADES AMOSTRAIS	53
4.8 ESTIMATIVA DA ALTURA TOTAL	54
4.8.1 Modelos hipsométricos testados	55
4.8.2 Seleção do melhor modelo hipsométrico.....	56
4.9 ESTIMATIVA DO VOLUME	58
4.9.1 Agrupamento em classes de diâmetro	58
4.9.2 Procedimento para coleta de dados de cubagem	59
4.9.3 Método de cubagem.....	60
4.9.4 Modelos volumétricos testados	62
4.9.4.1 Seleção do melhor modelo volumétrico.....	62
4.9.4.2 Número de árvores cubadas	63
4.9.4.3 Validação de equações de volume.....	63
4.9.4.4 Testes de aderência de Qui-quadrado (χ^2)	64
4.10 FÓRMULAS ESTATÍSTICAS UTILIZADAS NA ANÁLISE DAS VARIÁVEIS ESTIMADAS.....	64
4.10.1 Método de amostragem Ponto de Bitterlich (PB)	64
4.10.2 Método de amostragem com Parcela Circular (PC)	65
4.10.3 Método de amostragem com Conglomerado em Cruz (CC)	66
4.10.4 Método de amostragem com Conglomerado em Linha (CL).....	67
4.11 ESTIMATIVA DE TEMPO MÉDIO DE AMOSTRAGEM	68
4.11.1 Método da eficiência relativa	68
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
5.1 INVENTÁRIO FLORESTAL DE 2007.....	70
5.1.1 Classificação diamétrica de cada condição	70
5.1.1.1 Número de árvores cubadas	72
5.1.1.2 Equação hipsométrica e volumétrica.....	73

5.1.2 Estimativa das variáveis obtidas em cada condição	79
5.1.3 Estimativa das variáveis pelos métodos PB e de área fixa com PC, CC e CL .	80
5.1.3.1 Análise estatística da estimativa da variável DAP médio (cm)	81
5.1.3.2 Análise estatística da estimativa de número de árvores (N/ha).....	83
5.1.3.3 Análise estatística da estimativa de área basal (m ² /ha)	84
5.1.3.4 Análise estatística da estimativa de volume (m ³ /ha)	85
5.1.3.5 Teste t de Student para as estimativas das variáveis	87
5.1.3.6 Classificação dos métodos e estruturas com base no erro de amostragem .	89
5.1.3.7 Análise da eficiência relativa	91
5.1.4 Comparação simultânea das três condições através do delineamento casualizado em blocos	93
5.1.4.1 Teste de Tukey para o erro de amostragem e eficiência relativa na estimativa das variáveis, considerando-se as três condições simultaneamente	93
5.2 INVENTÁRIO FLORESTAL DE 2011.....	97
5.2.1 Descrição das condições 1, 2 e 3.....	97
5.2.2 Estimativa da altura total	98
5.2.2.1 Equação hipsométrica.....	98
5.2.3 Validação de equações de volume.....	101
5.2.3.1 Classificação diamétrica de cada condição.....	102
5.2.4 Estimativa das variáveis obtidas em cada condição	105
5.2.5 Estimativa das variáveis pelos métodos PB e de área fixa com PC, CC e CL	107
5.2.5.1 Análise estatística da estimativa da variável DAP médio (cm)	108
5.2.5.2 Análise estatística da estimativa de número de árvores (N/ha).....	110
5.2.5.3 Análise estatística da estimativa de área basal (m ² /ha)	111
5.2.5.4 Análise estatística da estimativa de volume total (m ³ /ha).....	113
5.2.5.5 Teste t de Student para as estimativas das variáveis	114
5.2.5.6 Classificação dos métodos e estruturas com base no erro de amostragem	116
5.2.5.7 Análise da eficiência relativa	117
5.2.6 Comparação simultânea das três condições através do delineamento casualizado em blocos	120
5.2.6.1 Anova e Teste de Tukey para o erro de amostragem e eficiência relativa na estimativa das variáveis, considerando-se as três condições simultaneamente	120

5.3 ANÁLISES DOS INVENTÁRIOS FLORESTAIS DOS ANOS DE 2007 E 2011...	123
5.3.1 Análise do erro de amostragem dos anos de 2007 e 2011	124
5.3.2 Análise da eficiência relativa dos anos de 2007 e 2011	125
5.3.3 Análise do erro de amostragem e eficiência relativa simultaneamente para os anos de 2007 e 2011	127
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	132
6.1 INVENTÁRIO FLORESTAL DE 2007.....	132
6.2 INVENTÁRIO FLORESTAL DE 2011.....	133
REFERÊNCIAS.....	135

1 INTRODUÇÃO

Nas décadas de 1950 e 1960, alguns estudiosos, como Maack (1968), já alertavam para o esgotamento total das reservas do Pinho-do-Paraná, na região Sul do Brasil. Os tempos áureos e as grandes reservas desta magnífica conífera brasileira foram se exaurindo no decorrer do século XX, ficando na lembrança, de algumas pessoas, a qualidade e a exuberância das matas desta região, como descrito por um aldeão recém-vindo da Polônia, o qual dizia em carta enviada a sua terra natal: “*Digo-vos que não vistes e ninguém viu na Europa tamanhas árvores como nós temos em nossa colônia. É pena cortá-las, pois são árvores tão lindas. Quem tivesse uma dessas árvores (na Polônia), vangloriar-se-ia e nós as cortamos e queimamos*” (WACHOWICZ, 1981).

Por outro lado, graças à tendência de escassez no fornecimento da matéria-prima florestal nas regiões Sul e Sudeste, a maioria das indústrias florestais iniciou na década de 1960 a implantação de florestas, a fim de garantir o fluxo contínuo de madeira. Adicionalmente, objetivando fomentar e suprir a demanda de matéria-prima florestal, o governo federal estabeleceu em 1966 a política de incentivos fiscais ao reflorestamento. Esses reflorestamentos foram implantados principalmente com espécies exóticas dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, visando à produção de madeira para usos tais como: lenha, carvão, produção de celulose, madeira serrada e madeira laminada (NAKAJIMA, 1998).

Estando o Brasil em posição de destaque no setor florestal internacional, demonstra o quão rápido o mesmo se desenvolveu nos últimos 50 anos, tendo no cenário nacional empresas privadas de base florestal altamente competitivas, sem mencionar órgãos públicos ligados ao setor florestal que demandam informações fidedignas de atributos de interesse da floresta, as quais são importantes para planos de manejo e planejamento florestal (MELLO, 2004).

É de conhecimento geral que, a partir do inventário florestal, obtemos as informações dos atributos da floresta, tanto informações quantitativas quanto qualitativas e, conforme Nakajima (1998), essas são informações básicas para subsidiar o manejo e o planejamento da produção florestal. Ainda segundo o mesmo autor, os dados de inventário florestal podem ser obtidos por meio de medições a

campo ou através de fotografias aéreas, imagens de satélites, radar, entre outros. Entretanto, apesar de tecnologias alternativas, o inventário florestal através de unidades amostrais locais em campo é o mais praticado.

Pesquisando-se em literatura concernente à área florestal, vários métodos de amostragem são citados para a obtenção de dados. A unidade amostral de determinado método de amostragem pode ser utilizada como unidade amostral temporária ou permanente, porém, ressalta-se que as unidades amostrais de certos métodos de amostragem têm dificuldade em ser utilizadas como unidades amostrais permanentes, isso porque não conseguem manter boa correlação entre medições sucessivas.

Através de uma analogia, podemos dizer que as unidades amostrais temporárias são como fotografias. Elas nos dão informações pontuais, as quais dizem respeito apenas àquele momento específico em um espaço de tempo, e o espaço de tempo aqui mencionado diz respeito ao ciclo da floresta, ou seja, da implantação ao corte raso.

Já as unidades amostrais permanentes são como um filme, um filme que conta as várias etapas de desenvolvimento de um povoamento e, segundo Kronka *et al.* (2005), permitem realizar avaliações periódicas das informações de interesse sobre a mesma e elaborar modelos de previsão de crescimento e também de produção.

O inventário qualitativo deve conter informações sobre os sistemas e tipos de desbastes, épocas e condições das podas executadas, relação dos talhões a serem explorados e outros parâmetros que atestam a relação entre as ferramentas silviculturais existentes e adotadas visando à disponibilização dos produtos de melhor qualidade. Desta forma, estão em condições de serem analisados os parâmetros que refletem a potencialidade das árvores em termos de qualidade e que são produzidas de acordo com objetivos pré-estabelecidos e, para fins de planejamento florestal, o inventário florestal contínuo é o recomendado por permitir avaliações periódicas das informações de interesse sobre os povoamentos e elaborar modelos de previsão de crescimento (KRONKA; BERTOLANI; PONCE, 2005).

No setor florestal, cada empresa tem seu sistema de amostragem próprio, o qual, muitas vezes, é criado com base na experiência dos manejadores florestais e,

também, em função das informações que se desejam obter da floresta, as quais estão sempre, ou ao menos deveriam estar, baseadas na destinação final da floresta (produto).

A otimização de um esquema de inventário florestal depende da eficiência do método de amostragem escolhido. Segundo Nakajima (1998), a eficiência dos diferentes métodos de amostragem (tipo, forma e tamanho das unidades amostrais) varia de acordo com o tipo florestal (florestas plantadas ou naturais), com as condições da floresta e topografia da região de estudo. Ainda conforme Nakajima (1997), a adequação do método de amostragem para as condições da topografia e da floresta possibilitará um aumento na precisão, para um mesmo esforço de amostragem, nas estimativas das variáveis de interesse e, conseqüentemente, uma redução do tempo de execução, o que refletirá na redução de custos. Na mesma linha de pensamento, Cesaro *et al.* (1994) mencionam que a comparação entre dois ou mais métodos de amostragem visando determinar qual deles proporciona o menor custo para uma mesma precisão, permite conhecer, para um determinado tipo florestal, o mais econômico, pois o tempo de instalação, de medição e de caminhamento, entre eles, são distintos.

Dessa forma, frente aos pontos abordados e citados, fica clara a importância do presente estudo, que visa a comparar a precisão e a eficiência relativa entre o método de amostragem de área variável, Ponto de Bitterlich (PB) e o método de amostragem de área fixa com Parcela Circular (PC), Conglomerado em Cruz (CC) e Conglomerado em Linha (CL), em inventário florestal realizado no ano de 2007 e 2011, utilizando-se das mesmas unidades amostrais, para as estimativas das variáveis florestais DAP médio (cm), número de árvores (N/ha), área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha), em plantações de *Pinus taeda* L., visando sempre à redução do tempo de amostragem, o que conseqüentemente reduzirá os custos.

2 OBJETIVOS

A presente pesquisa teve como objetivos:

- Comparar a precisão e a eficiência relativa do método de amostragem por Ponto de Bitterlich (PB) com o método de área fixa com Parcela Circular (PC), Conglomerado em Cruz (CC) e com Conglomerado em Linha (CL), quanto à estimativa das variáveis DAP médio (cm), número de árvores (N/ha), área basal (m²/ha) e volume total com casca (m³/ha), em plantações de *Pinus taeda* L., no inventário florestal do ano de 2007 e de 2011.
- Comparar os resultados de precisão e de eficiência relativa de ambos os inventários florestais.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 *Pinus taeda* L.

A espécie *Pinus taeda* L., também conhecida com “loblolly pine”, é uma espécie subtropical, conífera do grupo Australes, pertencente à subseção Pinaster e subgênero Diploxy e ocorre naturalmente na região sudeste dos Estados Unidos da América, onde sua faixa de dispersão vai desde o nível do mar até 2.500 m de altitude, ocasionalmente até 4.500 m, com ampla variação no tipo de solo.

Segundo Richardson e Rundel (1998), a adaptação do gênero pinus ocorreu em diversas condições, desde habitat da floresta boreal, que apresenta severos invernos, com duração de sete a nove meses, em solos com baixos teores de nutrientes, em mosaicos de solos pantanosos e/ou arenosos em situações de alta aridez, bem como ocorrem espécies em solos bastante rasos sobre relevos montanhosos.

Baker e Langdon (1990) relatam que o *Pinus taeda* L. ocorre em região de clima úmido com temperaturas variando de quentes a amenas, verões quentes e invernos intermediários e precipitação anual variando de 1.020 a 1.520 mm. A temperatura média anual varia de 13° a 24° C, com a temperatura média do mês de julho de 27° C e a temperatura média do mês de janeiro de 4° a 16° C, podendo chegar a - 23° C no norte e oeste de sua área de ocorrência. Ocasionalmente, ocorrem muitos dias de chuva com mais de 13 mm ao dia e temperaturas altas no inverno. O principal fator que limita a ocorrência da espécie ao norte são as baixas temperaturas no inverno, causado pelo peso da neve, gelo e ainda pelo frio durante o período de florescimento da espécie e, na região oeste, a falta de chuva no período de crescimento é uma das causas de sua limitação, nos estados de Oklahoma e Texas (FIGURA 1).

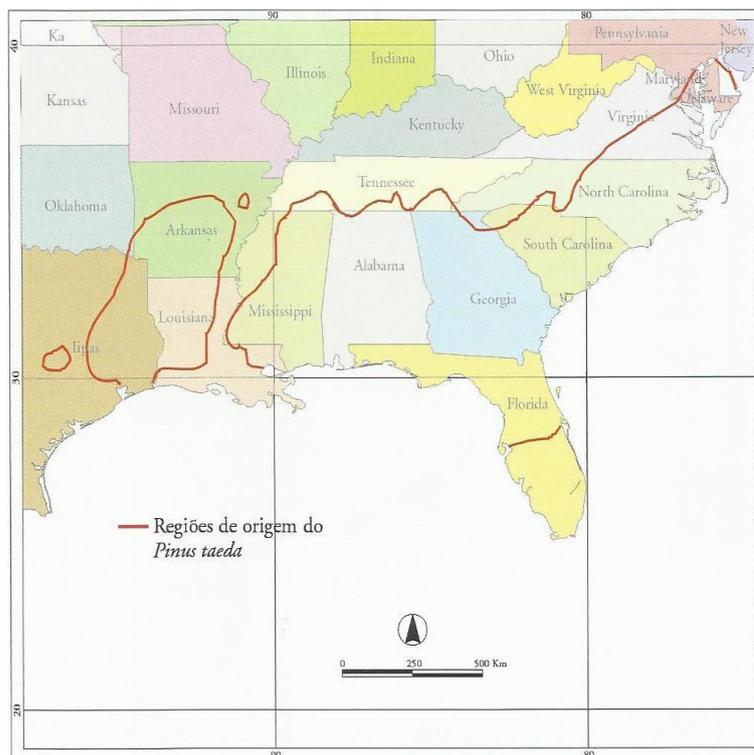


FIGURA 1 - REGIÃO DE ORIGEM DO *Pinus taeda* L.
 FONTE: KRONKA *et al.* (2005), adaptado de Mirov (1967)

3.2 *Pinus taeda* L. NO BRASIL

A falta de conhecimento sobre o comportamento das espécies nativas e a tecnologia desenvolvida para a produção de celulose e papel provocaram a importação de espécies exóticas, sendo que as primeiras introduções de que se tem notícia foram de *Pinus canariensis*, proveniente das ilhas Canárias, no Rio Grande do Sul, em torno de 1880. Por volta de 1936, foram iniciados os primeiros ensaios de introdução de pinus para fins silviculturais, com espécies europeias. No entanto, não houve sucesso, em decorrência de sua má adaptação ao clima brasileiro (SHIMIZU, 2004).

Somente em 1948, através do Serviço Florestal do Estado de São Paulo, foram introduzidas, para ensaios, as espécies americanas conhecidas na sua região de origem como “pinheiros amarelos”, que incluem *Pinus palustris*, *Pinus echinata*, *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, sendo que, no Paraná, se sobressaíram as duas últimas espécies, das quais a segunda é a mais utilizada nos plantios florestais (KRONKA;

BERTOLANI; PONCE, 2005). A partir do trabalho pioneiro desenvolvido pelo Dr. Lamberto Golfari intitulado “*Coníferas aptas para repoblaciones florestales en el Estado de São Paulo*”, no ano de 1967, deu-se início, através do extinto IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal), a estruturações de informações sobre espécies de eucaliptos e de coníferas a serem utilizadas no Brasil, com a publicação do trabalho “*Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil*” (KRONKA; BERTOLANI; PONCE, 2005). Na Figura 2, é apresentada a região com condições térmicas e hídricas satisfatórias para o *Pinus taeda* L.



FIGURA 2 - REGIÃO COM CONDIÇÕES TÉRMICAS E HÍDRICAS SATISFATÓRIAS PARA O *Pinus taeda* L. NO BRASIL
 FONTE: KRONKA *et al.* (2005), adaptado de Golfari *et al.* (1978)

3.3 INVENTÁRIO FLORESTAL

O inventário florestal destina-se à quantificação e à qualificação da madeira existente em uma determinada área de floresta (KRONKA; BERTOLANI; PONCE, 2005).

Conforme Soares *et al.* (2006), o inventário florestal é um item obrigatório de qualquer plano de manejo, pois, a partir das suas estimativas, pode-se estabelecer o nível de intervenção na floresta e as medidas para a manutenção da sua produção (produção sustentável).

Para Péllico Netto e Brena (1997), inventário florestal é uma atividade que visa a obter informações qualitativas e quantitativas dos recursos florestais existentes em uma área pré-especificada. Este conceito é bastante genérico, pois qualquer tipo de levantamento florestal poderia ser considerado um inventário. De fato, inventário florestal pode ser qualquer tipo de levantamento florestal, porém, a “marca registrada” de um inventário é a sua representatividade amostral e sua validade estatística.

3.4 PROCESSO DE AMOSTRAGEM

3.4.1 Amostragem aleatória irrestrita

A amostragem de uma população pode ser realizada segundo vários métodos, os quais devem ser aplicados de acordo com as características da população para se obter maior precisão com menor custo, sendo possível, em tese, aplicar qualquer método de amostragem a uma população florestal na busca de informações de interesse. Entretanto, a não utilização de um método adequado às características estudadas, certamente, levará a um grande incremento no custo do inventário.

A enumeração total ou censo, embora isenta de erros amostrais, só é praticável em áreas pequenas e de grande importância econômica devido ao alto custo que representa esta operação. Por outro lado, os procedimentos de amostragem permitem conhecer as estimativas desta população com alta precisão e baixo custo (CESARO *et al.*, 1994).

A amostragem é de grande importância porque a medição de todos os indivíduos de uma população é proibitivamente cara (FREESE, 1962).

Péllico Netto e Brena (1997) citam que a amostragem aleatória é o processo fundamental de seleção a partir do qual se derivam todos os demais procedimentos de amostragem, visando a aumentar a precisão das estimativas e a reduzir os custos de levantamento.

Spiegel (1977) relata que uma das melhores maneiras pela qual se pode obter uma amostra representativa de uma população é através da aplicação do processo denominado “amostragem aleatória irrestrita ou amostragem completamente ao acaso”, onde cada unidade de amostra tem igual probabilidade de ser incluída na amostragem.

Os fundamentos da amostragem aleatória irrestrita baseiam-se no fato de que a eleição de qualquer unidade amostral deve ser totalmente independente da escolha das outras unidades, sendo que o processo de eleição de unidades amostrais deve dar-se através de sorteio e a seleção das unidades amostrais pode ser realizada com ou sem reposição, ou seja: com reposição, a unidade escolhida terá oportunidade de ser reescolhida e, sem reposição, a unidade amostral só terá a probabilidade de ser escolhida uma vez.

A amostragem simples ao acaso é recomendada para pequenas áreas florestais não superiores a 10.000 ha, com características homogêneas com respeito às variáveis de interesse e com fácil estrutura de acessibilidade (QUEIROZ, 1977).

A amostragem aleatória é melhor em relação às outras estruturas, quando os cálculos das estimativas de variância são importantes ou pouco é conhecido sobre as características básicas da população que está sendo amostrada (AVERY e BURKHART, 1983).

Husch (1963) concluiu que a amostragem ao acaso é uma aplicação prática das probabilidades, onde as parcelas são escolhidas aleatória e independentemente, o que permite eliminar os erros sistemáticos, calcular o erro padrão de estimativas e antecipar com segurança o número de unidades amostrais a serem medidas.

Gomes (1973), analisando o processo de amostragem aleatória irrestrita, refere-se a ele como sendo o mais recomendado e preferível para povoamentos homogêneos, de áreas pequenas e com relativa acessibilidade.

3.5 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM

Péllico Netto e Brena (1997) citam que método de amostragem significa a abordagem da população referente a uma única unidade de amostra, ou seja, a parcela ou outro tipo de unidade amostral a ser empregada no inventário. Esta abordagem pode ser feita por meio de métodos de área fixa ou de área variável.

Considerando-se que o inventário florestal é hoje uma atividade que visa a obter informações qualitativas e quantitativas dos recursos florestais existentes em uma área pré-especificada (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997), torna-se imprescindível o uso de métodos de amostragem, embora não haja uma classificação completa e diversificada de uso e aplicação em uma dada população.

É comum se dizer que em qualquer aplicação de amostragem, precisão e custo são duas variáveis intimamente interligadas e que a especificação de uma implica automaticamente na determinação da outra.

3.5.1 Método de área fixa

Péllico Netto e Brena (1997) dizem que neste método de amostragem a seleção dos indivíduos é feita proporcional à área da unidade de amostra e, conseqüentemente, à frequência dos indivíduos que nela ocorrem.

Sterba (1986) relata que a unidade de área fixa é a mais antiga e que nela a seleção dos indivíduos também ocorre com probabilidade proporcional à área, pois todos os indivíduos que se situarem no interior de uma unidade de amostra serão medidos.

Os métodos de amostragem podem incluir unidades amostrais de área fixa, variável ou mesmo toda a população, como no caso o 3P (*Probability Proportional to Prediction*) de Grosebaugh (1964) (CESARO *et al.*, 1994).

A desvantagem de unidades amostrais com área fixa está em que povoamentos jovens ou de espaçamento reduzido terão medido um maior número de árvores para representar um volume pequeno do que em um povoamento velho e que apresente maior volume. Assim, florestas jovens ou de sítios ruins, que

apresentam baixo volume, serão medidas com muito mais precisão do que povoamentos com grande volume ou de melhor sítio (CESARO *et al.*, 1994).

Tradicionalmente, o método de amostragem mais utilizado para inventariar florestas equiâneas e inequiâneas é o método de área fixa (FARIAS *et al.*, 2002).

3.5.1.1 Amostragem com unidades circulares

Segundo Prodan (1997), as unidades circulares, com o passar dos anos, no Brasil, tornaram-se mais utilizadas, porém, ainda há uma preferência pelas retangulares e quadradas. Entretanto, entre todas as formas possíveis de igual área, são as que possuem menor perímetro e, conseqüentemente, minimizam o problema de árvores marginais, tornando-as mais eficientes.

Para Sanquetta *et al.* (2006), as parcelas circulares são mais usuais em inventários de plantações florestais que requerem unidades menores comparativamente com as demandadas em florestas naturais e, ainda conforme os mesmos autores, a definição do raio é o aspecto mais importante. Uma parcela circular somente será eficiente se o raio for controlável pelo profissional que está coordenando o inventário no campo. Para eles, raios grandes, acima de 15 m, não são operacionalmente viáveis e inviabilizam a eficiência do inventário e, em média, a área deve perfazer em torno de 400 a 600 m².

Husch (1971) afirma que as parcelas circulares têm vantagem por serem definidas por uma única dimensão, o raio, com a dificuldade em sua demarcação, devido aos seus limites em curva. Para o caso das unidades amostrais retangulares, todos os limites são linhas retas, o que vem eliminar a inconveniência da demarcação dos limites, citada para as unidades de amostras circulares.

Spurr (1971) afirma que, em vários estudos realizados na Europa, constata-se a preferência pelas unidades amostrais circulares, naturalmente porque estas são pequenas e podem ser facilmente controladas, durante sua instalação e medição em campo.

É um tipo de unidade amostral que será cada vez mais adotado em muitas empresas e consultorias na execução de inventários florestais.

3.5.1.2 Amostragem em conglomerados

As unidades de amostra em conglomerados são casos especiais de unidades amostrais de área fixa circulares, quadradas ou retangulares, onde se reúne um grupo de subunidades para compor uma unidade principal denominada conglomerado ou *cluster* em inglês (SANQUETTA *et al.*, 2006).

Para Queiroz (1998), a amostragem em conglomerados ou grupos é uma variação de qualquer processo de amostragem, onde, em vez de se utilizarem unidades de amostra individuais, usa-se um grupo ou conglomerado de pequenas subunidades. Quando os conglomerados são selecionados aleatoriamente na floresta, pode-se definir que a amostragem consiste em reunir em grupos as subunidades de amostra, que em uma amostra inteiramente aleatória se dispersariam na floresta. Dessa forma, as subunidades restringem-se a uma área específica denominada subpopulação. Esse procedimento torna o trabalho de campo mais flexível, permitindo a determinação da estimativa do erro de amostragem para o inventário florestal. A amostragem por conglomerados, no que se refere à aplicação em levantamentos florestais, apresenta as seguintes vantagens:

- Oferece melhor controle no trabalho de campo, pois as unidades de registro, as subunidades do conglomerado, são menores;
- Percepção de maior quantidade de variabilidade da variável resposta em questão, pois o conglomerado é formado por uma série de subunidades, as quais explicam a variabilidade dentro do conglomerado;
- Em florestas tropicais, onde a acessibilidade é difícil, é vantajosa a aplicação da amostragem por conglomerados, principalmente quando apresenta uma forma estrutural para ser completamente enumerada no expediente de um dia de trabalho. Inventários realizados em áreas de difícil acesso, onde o custo de localização da unidade de amostra é alto, o uso de amostragem em dois estágios possibilita a redução do custo do levantamento, pois em cada unidade primária amostrada são medidas várias subunidades secundárias.

Queiroz (1998) comenta ainda que a comparação da variação entre os conglomerados e a variação entre subunidades dentro dos conglomerados é que revelará a eficiência, em termos de precisão estatística, da aplicação da amostragem

por conglomerados. A amostra por conglomerados será mais precisa quanto maior for o componente de variância dentro dos conglomerados e menor for o componente entre os conglomerados. Depreende-se que o processo por conglomerados é recomendável para florestas que revelam, em termos de variável resposta, alta variação dentro de pequenas extensões e relativa uniformidade entre essas pequenas extensões.

3.5.2 Amostragem com área variável

Segundo Machado e Figueiredo Filho (2003), desde que Bitterlich introduziu o ponto de amostragem de área variável, muitos pesquisadores o têm comparado com o método de área fixa. Na maioria das vezes, no entanto, essa comparação ficou restrita às estimativas de atributos presentes (correntes). Poucos trabalhos enfocaram o método de Bitterlich em um inventário sucessivo, ou seja, como o método se comporta para avaliar alterações ou crescimento do povoamento (ingresso, crescimento bruto e líquido, mortalidade, cortes, etc.). Muitos trabalhos indicam que, em geral, as parcelas de área fixa foram melhor sucedidas para estimar o número de árvores correntes, enquanto que pontos amostrais foram mais eficientes para estimar a área basal e o volume corrente. Os mesmos autores ainda mencionam que a vantagem do método de raio variável é diminuída para estimar o crescimento em área basal e volume. Parcelas fixas são comumente mais adequadas para estimar alterações em números de árvores e do ingresso (área basal e volume corrente).

Segundo Moscovich, Brena e Longhi (1999), os estudos de relascopia tiveram início com Bitterlich em 1931, sendo que sua primeira publicação ocorreu em 1947.

Apesar do amplo uso do método de área fixa, métodos alternativos existem e podem se constituir na opção ideal em alguns tipos de inventários, especialmente, quando se deseja rapidez e eficiência, como é o caso do método de amostragem de Bitterlich (SANQUETTA *et al.*, 2006).

Conforme Silva (1977), Sterba (1986), Finger (1992), Prodan *et al.* (1997), entre outros autores, neste método, a seleção das árvores que compõem a unidade de amostra é realizada pela comparação do diâmetro da árvore com um ângulo de visada constante.

Farias *et al.* (2002) mencionam em seu estudo que, devido à simplicidade do procedimento para a obtenção dos dados, a aplicação do método de Bitterlich pode ser de extrema utilidade, principalmente em situações em que se necessita de um diagnóstico rápido do estoque de madeira entre outras características da floresta.

A aplicação do método de Bitterlich em inventários contínuos é limitada devido à concepção conceitual do mesmo, isto é, o critério de inclusão de árvores com probabilidade ao tamanho. Embora não seja de todo impossível empregar este método para tal finalidade, é pouco provável que haja alguma vantagem comparativa em relação ao método de área fixa (SANQUETTA *et al.*, 2006).

3.5.2.1 Fator de área basal (FAB)

O fator de área basal (FAB) é definido como a área basal em m^2/ha , contada para cada árvore incluída em um ponto amostral. Se o FAB for igual a 1, cada árvore incluída equivale a $1 m^2/ha$, se o FAB for 2, cada árvore vale $2 m^2/ha$ e assim por diante. A escolha da banda fica a critério do profissional, mas, em geral, para a maioria dos inventários em plantações florestais, que é o caso das maiores aplicações do método, o FAB 1 ou 2 são utilizados (SANQUETTA *et al.*, 2006).

3.6 TAMANHO E FORMA DE UNIDADES AMOSTRAIS

A forma das unidades amostrais têm sido decidida muito mais pela praticidade e operacionalidade de sua localização e demarcação em campo, do que por qualquer outra argumentação. Já para o tamanho das unidades amostrais existe uma relação entre o coeficiente de variação com a área das unidades amostrais, sendo que pode-se chegar a um ponto ideal desta relação.

Pearce (1935) afirma não haver informações acerca do melhor tamanho para unidades amostrais, mas observa que as pequenas proporcionam economia de tempo, enquanto as maiores proporcionam redução de mão-de-obra. As unidades amostrais estreitas e compridas, de maneira geral, são melhores que as quadradas, porém, muitas vezes, as quadradas se sobrepõem àquelas, e a decisão sobre uma ou outra forma depende do propósito do estudo.

Husch (1971) cita que, qualquer que seja a forma e tamanho da unidade amostral, será possível calcular o volume de madeira da floresta sem erros sistemáticos, porém, dadas certas características florestais, o tamanho e a forma ótima das unidades amostrais variam.

Vasques (1988) cita que, para a determinação da forma e tamanho ideal das unidades amostrais, tem-se uma série de premissas a serem consideradas. O mesmo autor comenta ainda que a área da unidade de amostra está diretamente relacionada com o número de indivíduos nela contido e que um bom número de trabalhos publicados com referência ao assunto revela a dependência entre a variância 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.

De acordo com Ramer e Akça (1982), o aumento da área da unidade de amostra leva à redução da variância entre as unidades e a um menor número de unidades para um erro de amostragem fixado, quando comparado a unidades menores. Por outro lado, unidades amostrais muito grandes perdem em representatividade devido ao baixo número das mesmas e ainda mostram rápido aumento do custo de medição e instalação.

Nesta mesma direção, Husch, Miller e Beers (1982) citam que em povoamentos homogêneos a precisão da amostragem tende a ser maior com o emprego de unidades pequenas devido ao maior número de unidades amostrais independente, mas, por outro lado, em povoamentos heterogêneos, unidades pequenas produzem coeficientes de variação altos, sendo então preferidas unidades amostrais maiores. O melhor, segundo os autores, será determinar a intensidade, fixando primeiramente os limites de precisão que satisfaçam os objetivos do

inventário florestal e, em seguida, calcular o número de unidades amostrais para alcançá-la.

Freese (1962) afirma que o tamanho e a forma das unidades amostrais podem afetar o custo do inventário, sua precisão ou ambos ao mesmo tempo, demonstrando tal fato com um experimento no qual foram comparadas amostras de 2,5 cm por 15 cm e 2,5 cm por 30 cm para inventariar mudas em um viveiro.

Ogaya (1977), em seu trabalho sobre a influência do tamanho das unidades amostrais nos erros de amostragem em inventários florestais, concluiu que, do ponto de vista estatístico, as unidades amostrais de dimensões pequenas oferecem maiores vantagens.

Castillo (1964) indica que teoricamente uma amostra de forma retangular com seu eixo mais comprido e com ângulos retos nos seus vértices deverá ser mais eficiente, pois sua forma comprida tende a cruzar as condições de variabilidade da floresta. Testando a eficiência de amostras de forma circular de 500 m², 1.000 m² e 1.500 m² e uma de forma retangular de 1.600 m², concluiu que, a uma mesma intensidade de amostragem, as amostras de menor tamanho são mais eficientes e mais precisas para a estimativa do volume total por hectare.

Silva (1977), no desenvolvimento de trabalhos sobre simulação de formas e tamanhos de unidades amostrais, concluiu que as unidades de amostra estreitas e compridas proporcionam melhores resultados, com relação à tendência de otimização das estimativas.

Veruette e Pimentel (1964), comparando unidades amostrais circulares com dimensões variáveis, concluíram que as unidades circulares de 1.000 m² atenderam satisfatoriamente ao limite de erro e ao nível de probabilidade definidos para o inventário realizado. Consideraram que o tamanho de tais unidades amostrais proporcionou facilidades para o controle, na instalação e medição, o que veio a reduzir ao mínimo os erros sistemáticos e acidentais na coleta de dados. Além disso, ressaltaram que a experiência da equipe executora dos trabalhos contribuiu consideravelmente na redução dos erros de medição.

Nakajima *et al.* (1996) relatam que na Europa, Japão e Estados Unidos, os métodos de amostragem mais utilizados são: método de área fixa com parcela Circular (método padrão), método de área fixa com parcela Circular Concêntrica

(método suíço), método de amostragem em Ponto (método de Bitterlich) e método de amostragem em Linha (método de Strand).

3.7 NÚMERO DE ÁRVORES EM UNIDADES AMOSTRAIS

Segundo Spurr (1955), o tamanho da unidade de amostra deve ser tal que, ordinariamente, inclua pelo menos 20 a 30 árvores mensuráveis, cuja área seja tão restrita que não requeira tempo em demasia para sua mensuração. Deste modo, para árvores de grandes dimensões são necessárias amostras igualmente de grandes dimensões. Em povoamentos florestais, unidades amostrais pequenas são desejáveis e satisfatórias para as estimativas.

Machado e Figueiredo Filho (2003) relatam que o próprio Bitterlich em seu manual do Relascópio indica que a banda adequada é aquela que conta de 20 a 30 árvores por giro.

Silva (1977) afirma que alguns autores recomendam, como regra geral, escolher a banda adequada com base na suposta área basal da floresta.

Machado e Figueiredo Filho (2003) afirmam que a escolha do K adequado é muito importante para se obterem boas estimativas pelo método de Bitterlich. Por isso, é recomendável que, antes de iniciar um levantamento florestal, as condições da floresta sejam analisadas e alguns pontos amostrais sejam realizados experimentalmente no sentido de escolher os fatores (Ks) mais adequados para cada estrato (tipo florestal homogêneo), seja com base na provável área basal que a floresta tem ou, se esta informação não for disponível, basear-se na quantidade média de árvores com que a banda adequada deveria contar, ou com base em ambos os critérios.

Para Campos e Leite (2006), em inventários florestais, o número de pontos amostrais depende da precisão requerida e do tamanho da área a ser inventariada. O fator instrumental escolhido deve contemplar um número mínimo adequado de árvores “classificadas” por estação de leitura, a fim de diminuir a variância da característica e também evitar superposição de árvores durante as leituras de campo. Isso está relacionado com características da população, como a grandeza

do diâmetro médio e o espaçamento entre árvores. Sugere-se um número médio entre 8 e 15 árvores por estação.

Segundo Nakajima (1995), em seu estudo na floresta experimental Shiragadake, em Kagoshima, Japão, o fator de área basal 2 foi escolhido porque o fator de área basal 4 incluiria poucas árvores em cada ponto amostral, aumentando, conseqüentemente, o erro de amostragem.

Sanquetta *et al.* (2006) recomendam que a escolha da banda fique a critério do profissional, mas, em geral, para a maioria dos inventários em plantações florestais, que é o caso das maiores aplicações do método, o K 1 ou o K 2 são utilizados. Recomenda-se que pelo menos 15 a 20 árvores sejam contadas em cada giro para evitar estimativas errôneas.

3.8 PRECISÃO E EFICIÊNCIA DE UNIDADES AMOSTRAIS

Oderwald (1981), comparando a precisão dos estimadores de área basal nos métodos de área fixa e variável, concluiu que a precisão varia dependendo do tipo de agregação do plantio, sendo mais preciso o método de área variável para plantios nos quais a distribuição das árvores ocorre aleatoriamente.

Sparks *et al.* (2002) compararam estimativas de número de árvores em três plantios no sudeste de Oklahoma (EUA), usando parcelas circulares de tamanho fixo, de tamanho variável e parcelas quadradas. Concluíram que todas as parcelas foram eficientes quanto ao tempo de medição, mas as de área fixa forneceram estimativas mais precisas do número de árvores, independente das suas dimensões. As parcelas circulares de tamanho variável e as quadradas tenderam a subestimar o número de árvores real da plantação. Os autores recomendaram usar parcelas de área fixa para árvores pequenas (2,5 cm a 11,4 cm de dap) e parcelas variáveis para árvores maiores que 11,4 cm de DAP para as condições do estudo.

Maurício *et al.* (2005), em seus estudos em plantios de *Pinus caribaea* no oriente da Venezuela, concluíram que em inventário com parcelas de área fixa, este método é levemente mais preciso que o de área variável, principalmente quanto à estimativa da variável número de árvores. Os mesmos autores afirmam que a menor

precisão do método de área variável é compensada pela maior velocidade de execução e economia nos custos de inventário.

Nakajima *et al.* (1995) compararam os métodos de amostragem de área fixa, nas variações de parcela Circular e Circular Concêntrica, de Bitterlich e de Strand como um sistema de inventário florestal contínuo para manejo de floresta, em floresta de *Cryptomeria japônica* D. Don, com 43 anos de idade, misturada com *Pinus* spp. e diversas folhosas em Kagoshima, Japão, na estimativa do número de árvores, área basal e volume por hectare. Assim, obtiveram os seguintes resultados: para número de árvores por hectare, o método mais preciso foi o de área fixa com parcela Circular, seguido pelo de área fixa com parcela Circular Concêntrica e, para a área basal e volume por hectare, o método mais preciso foi o de Bitterlich, seguido pelo de área fixa com parcela Circular Concêntrica, Strand e de área fixa com parcela Circular.

Nakajima *et al.* (1996), comparando a precisão em duas florestas distintas, afirmam que, quando a estimativa da área basal e do volume em um local onde a distribuição de árvores foi quase aleatória, o método de Bitterlich foi o mais preciso, seguido pelo de área fixa com parcela Circular Concêntrica. Em um local onde a distribuição seguiu uma forma quadrada reticulada, o método de área fixa com parcela Circular Concêntrica foi mais preciso. Levando-se em consideração, no entanto, o número de árvores, o método de área fixa com parcela Circular foi o mais preciso nos dois locais.

Nakajima *et al.* (1996), comparando a precisão de quatro métodos de amostragem usados para estimativa de valores em duas ocasiões na estimativa do número de árvores, área basal e volume em floresta de *Cryptomeria japonica* D. Don, em Kagoshima, Japão, obtiveram resultados que variaram para cada variável estimada. Para o número de árvores por hectare, o método de área fixa com parcela Circular foi mais preciso em ambas as ocasiões, seguido pelo método de área fixa com parcela Circular Concêntrica. Para a área basal e volume por hectare, o método de área fixa com parcela Circular Concêntrica foi o mais preciso, seguido do método de Bitterlich e do de área fixa com parcela Circular. Eles também afirmam que, quanto à acurácia, o método de área fixa com parcela Circular Concêntrica foi em geral um pouco superior aos outros, apesar de não haver diferenças significativas entre eles. Entretanto, a seleção do método mais apropriado deve considerar o

custo, o qual está diretamente relacionado com o tempo gasto no estabelecimento da parcela e coleta de dados.

Avery e Burkhart (1950) afirmam que a melhor estrutura de amostragem de um dado problema de estimativa é aquela que estabelece a precisão desejada pelo menor custo. Para eles, isto é feito com o produto entre o quadrado do erro padrão e o tempo (custo = tempo).

Péllico Netto e Brena (1997) relatam que, se o objetivo for comparar vários tamanhos simultaneamente, pode-se calcular o inverso dos produtos dos quadrados dos coeficientes de variação pelos respectivos custos, e compará-los entre si.

Cesaro *et al.* (1994), em seu estudo, concluíram que o método de Seis Árvores mostrou a menor eficiência (60%) e o da relascopia (80%), quando comparados com o de área fixa.

Moscovich, Brena e Longhi (1999), em estudo comparativo entre os métodos de Área Fixa, Strand, Prodan, Quadrantes e Bitterlich para as estimativas do número de árvores, área basal e volume com casca por hectare, concluíram que o método mais eficiente foi o de Strand para todas as variáveis estimadas.

Nakajima (1997) afirma que para se poder comparar diferentes métodos de amostragem como o de área fixa de diferentes formas com os de área variável, como os métodos de Bitterlich e Strand, deve-se “transformar” os métodos para uma mesma base de comparação, como a padronização do número de árvores por unidade amostral.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os solos da região que compreendem a Fazenda Boa Vista são principalmente de textura média no domínio das rochas da Formação Furnas, porção basal dos Campos Gerais, sendo formada por arenitos de textura muito variável, localmente conglomeráticos e com intercalações de clásticos síltico-argilosos. O cimento é escasso, conferindo ao arenito um caráter friável. Por conseguinte, os solos são mais argilosos, no domínio da Formação Ponta Grossa, porção superior do Grupo Campos Gerais, a qual é constituída de folhelhos cinza, fossilíferos, finalmente laminados, micáceos, localmente betuminosos, com intercalações muito pouco expressivas de camadas de siltitos e arenitos. A área caracteriza-se pela ocorrência predominante de uma sucessão de baixas colinas, de formas suavizadas, com largas planícies aluviais de relevo plano ou praticamente plano. As colinas tendem a ter o topo um tanto amplo, com declividade não superior a 3%, enquanto as vertentes, em centenas de metros, são normalmente convexas, com declividade raramente ultrapassando 10%, o que permite o tráfego de qualquer tipo de máquina, com alto rendimento. O clima é classificado como Cfb de Köppen, ou seja, de um clima subtropical úmido, mesotérmico, com verões frescos, geadas severas, demasiado frequentes e sem estação seca. A precipitação anual média é acima de 1.400mm e as chuvas são bem distribuídas durante o ano. A temperatura média anual nos meses mais frios é inferior a 18°C, enquanto que a média anual dos meses mais quentes é superior a 22°C. A vegetação é representada pela floresta subtropical perenifólia, pelos campos subtropicais úmidos e, em menor escala, pelos campos cerrados (BOGNOLA, 2002).

4.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram implementadas unidades amostrais em três diferentes talhões, com plantações de *Pinus taeda* L. localizados na Fazenda Boa Vista, de propriedade da Empresa Águia Florestal, sediada no município de Ponta Grossa - PR. Esta fazenda situa-se no município de Carambeí, mesorregião Centro Oriental do Paraná, na microrregião de Ponta Grossa. Dista cerca de 130 km de Curitiba, sendo 100 km pela BR 376 até o município de Ponta Grossa e mais 30 pela PR 151. As coordenadas centrais em UTM (Universal Transversa de Mercator) são: 581.079 Leste e 7.240.896 Sul (FIGURA 3).

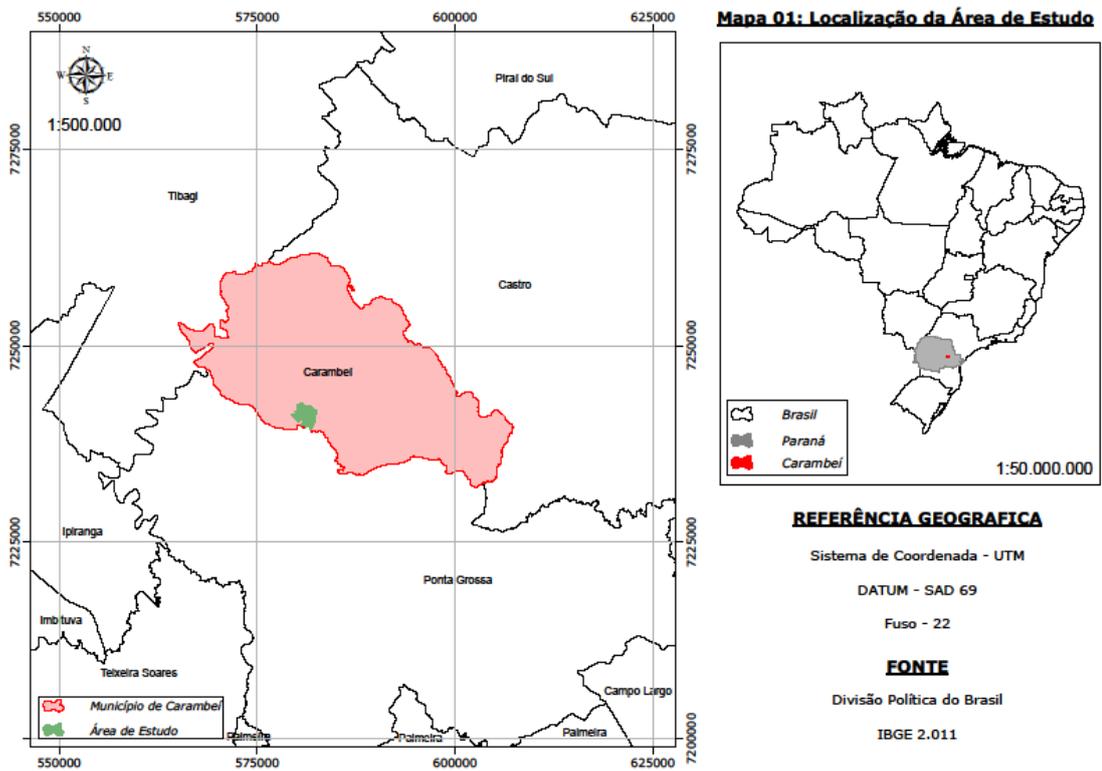


FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO - MUNICÍPIO DE CARAMBEÍ, PR
 FONTE: O autor (2014)

Os talhões utilizados neste estudo são de *Pinus taeda* L., sem desbastes, com espaçamentos de 2,00 m por 2,50 m, conforme Figura 4.

As unidades amostrais foram alocadas em três diferentes talhões que totalizam 126,48 ha (FIGURA 4), sendo eles:

- talhão PG-009, com área de efetivo plantio de 52,10 ha e idade de 10 anos;
- talhão PG-024, com área de efetivo plantio de 41,52 ha e idade de 7 anos, e;
- talhão PG-002A e 002B com áreas de efetivo plantio de 10,00 ha e 22,86 ha, que totalizam 32,86 ha e idade de 9 anos.

Para uma melhor facilidade de entendimento, os três talhões serão analisadas separadamente quanto a seus resultados e discussões, sendo esses três talhões, PG-009, 024 e 002A/B, nomeados como Condição 1, 2 e 3, respectivamente.

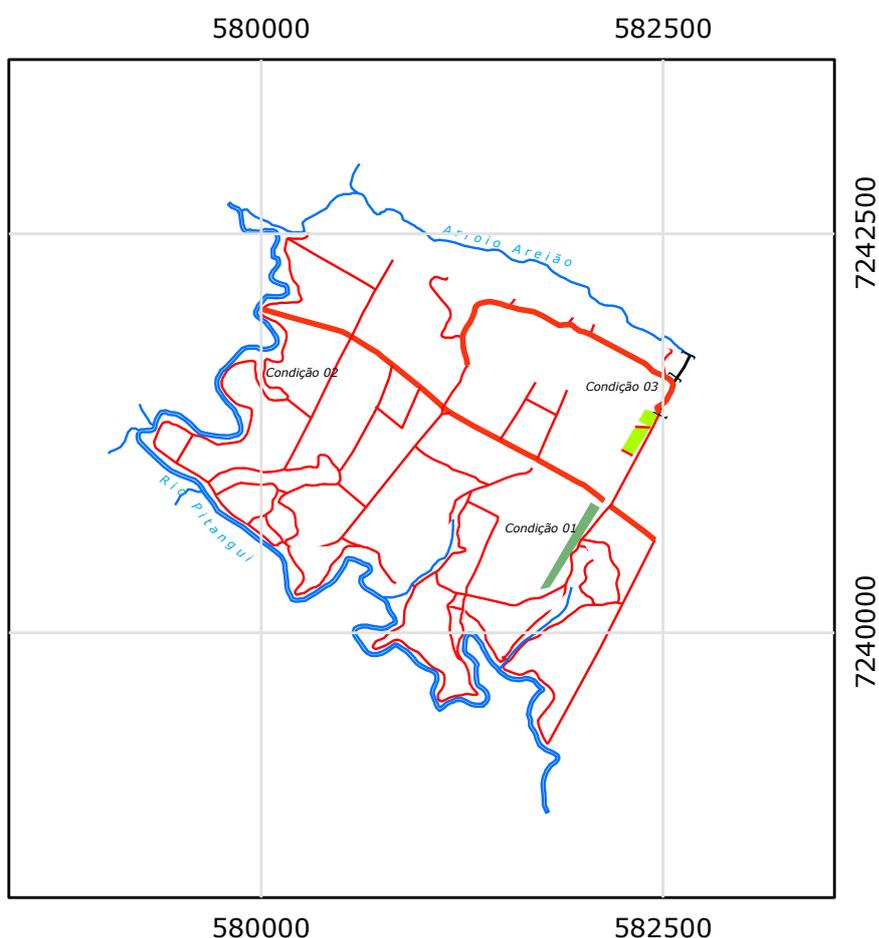


FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO - CONDIÇÕES 1, 2 E 3
FONTE: Empresa Águia Florestal (2006)

4.3 CRITÉRIO DE SELEÇÃO DAS ÁREAS

Dentro da área cedida para a realização do estudo levou-se em consideração apenas o relevo. Na medida do possível, tentou-se escolher talhões que possuíssem diferenças significativas em relação à variável relevo, para saber qual método se adequa melhor em cada uma das diferentes condições. Segue uma breve descrição dos talhões escolhidos.

4.3.1 Descrição da Condição 1

A condição 1 compreende uma área experimental de 52,10 ha de *Pinus taeda* L., sem desbaste, com duas podas realizadas e espaçamento de 2,0 m x 2,5 m, que totaliza, teoricamente, 2.000 árvores por hectare, com 10 anos de idade. Esta situação encontra-se em uma área suave ondulada em sua grande parte e em alguns pontos ocorrem inclinações médias de 7 % ou aproximadamente 4°.

Nesta condição, para o método de amostragem por Ponto de Bitterlich (PB) foi utilizado o fator de área basal (FAB) igual a 2. Para o método de amostragem de área fixa com Parcela Circular (PC), foi utilizado um raio de 6,75 m, que gera uma área de 143,14 m² ou 0,0143 ha, sendo as mesmas dimensões para as subunidades do método de amostragem de área fixa com Conglomerado em Cruz (CC) e para o método de amostragem de área fixa com Conglomerado em Linha (CL). A distância (d) entre os centros das subunidades foi calculada da seguinte forma: uma distância fixa de 10 m entre as bordas das subunidades, mais os raios (r), que para esta condição geram uma distância de 23,50 m.

4.3.2 Descrição da Condição 2

A Condição 2 compreende uma área experimental de 41,52 ha de *Pinus taeda* L., sem desbaste, com uma poda realizada e espaçamento de 2,0 m x 2,5 m, que totaliza, teoricamente, 2.000 árvores por hectare, com 7 anos de idade. Esta

condição encontra-se em uma área ondulada em sua totalidade, com inclinações médias de 10 % ou aproximadamente 5,5°.

Nesta condição, para o método de amostragem por Ponto de Bitterlich (PB), foi utilizado o fator de área basal (FAB) igual a 2. Para o método de amostragem de área fixa com Parcela Circular (PC), foi utilizado um raio de 5,65 m, que gera uma área de 100,29 m² ou 0,01 ha, sendo as mesmas dimensões para as subunidades do método de amostragem de área fixa com Conglomerado em Cruz (CC) e para o método de amostragem de área fixa com Conglomerado em Linha (CL). A distância (d) entre os centros das subunidades foi calculada da seguinte forma: uma distância fixa de 10 m entre as bordas das subunidades, mais os raios (r), que para esta condição geram uma distância de 21,30 m.

4.3.3 Descrição da Condição 3

A Condição3 compreende uma área experimental de 32,86 ha formada por dois talhões (002A e 002B) com as mesmas características e por isso foram tratados como um único. A plantação é de *Pinus taeda* L., sem desbaste, com uma única poda e espaçamento de 2,0 m x 2,5 m, que totaliza, teoricamente, 2.000 árvores por hectare, com 9 anos de idade. Esta condição encontra-se em uma área ondulada em sua totalidade, com inclinação média aproximada de 11,5 % ou aproximadamente 6,5°. Esta área apresentou o espaçamento com a maior irregularidade.

Nesta condição, para o método de amostragem por Ponto de Bitterlich (PB), foi utilizado o fator de área basal (FAB) igual a 2. Para o método de amostragem de área fixa com Parcela Circular (PC), foi utilizado um raio de 5,60 m, que geram uma área de 98,52 m² ou 0,0099 ha, sendo as mesmas dimensões para o método de amostragem de área fixa com Conglomerado em Cruz (CC) e para o método de amostragem de área fixa com Conglomerado em Linha (CL). A distância (d) entre os centros das subunidades foi calculada da seguinte forma: uma distância fixa de 10 m entre as bordas das subunidades, mais os raios (r), que para esta condição geram uma distância de 21,20 m.

Com relação às áreas das Parcelas Circulares e das subunidades dos Conglomerados em Cruz e em Linha, para as três condições, as mesmas foram definidas em função do número médio de árvores obtido no Ponto de Bitterlich, em estudo prévio em cada uma das condições, ou seja, o Ponto de Bitterlich foi tomado como padrão e o tamanho do raio da Parcela Circular e das subunidades de ambos os conglomerados ajustados para que contivessem, em média, a mesma quantidade de árvores.

4.4 COLETA DE DADOS

4.4.1 Método de medição

Após as unidades amostrais serem alocadas em campo, delas foram coletadas as seguintes informações: circunferência à altura do peito (CAP), a qual foi convertida em diâmetro à altura do peito (DAP) e 120 alturas. Estas informações forneceram os subsídios básicos para a estimativa de DAP médio (cm), número de árvores (N/ha), área basal (m^2/ha) e volume total (m^3/ha).

4.4.2 Instrumentos e materiais utilizados na medição

As medições dos CAPs das árvores inclusas nas unidades amostrais foram feitas pelo método direto, com uso dos seguintes instrumentos e materiais:

- Para o método de amostragem por Ponto de Bitterlich (PB): estaca para indicação do ponto amostral, relascópio de Bitterlich para a seleção das árvores das unidades amostrais, fita métrica graduada em centímetros para medição dos CAPs, giz para marcação do CAP, ficha de campo, prancheta e material para anotação.

- Para o método de amostragem de área fixa com Parcela Circular (PC): estaca para indicação do ponto amostral, corda com o comprimento do raio da unidade amostral, fita métrica, giz, prancheta e material para anotação.
- Para o método de amostragem de área fixa com Conglomerado em Cruz (CC): estacas para indicação do ponto amostral e dos centros das subunidades, corda com comprimento do raio da subunidade amostral, trena de 50 metros para demarcação dos centros das subunidades amostrais, fita métrica, giz, prancheta e material para anotação.
- Para o método de amostragem de área fixa com Conglomerado em Linha (CL): estacas para indicação do ponto amostral e dos centros das subunidades amostrais, corda com comprimento do raio da subunidade amostral, trena de 50 metros para demarcação do centro da subunidade amostral, fita métrica, giz, prancheta e material para anotação.
- Para todos os métodos foram mensurados o tempo de implantação da unidade amostral e a mensuração das CAPs das árvores com o auxílio de um cronômetro digital.

4.4.3 Equipe de campo

A equipe de campo foi composta de 3 pessoas e mantida para os métodos utilizados. As atribuições de cada integrante em cada método foram:

- Para o método por Ponto de Bitterlich (PB): um operador de relascópio, um mensurador de CAP e um anotador.
- Para o método de amostragem de área fixa com Parcela Circular (PC), Conglomerado em Cruz (CC) e Conglomerado em Linha (CL): um puxador de corda para checagem do raio da unidade amostral ou subunidade amostral, um mensurador de CAP e um anotador.

4.4.4 Processo de amostragem

O processo de amostragem definido foi o denominado Amostragem Irrestrita ou Amostragem Completamente ao Acaso, pois, além de as unidades amostrais terem igual chance ou igual probabilidade de serem incluídas na amostragem, este é o processo fundamental de seleção do qual derivam os demais e é uma das melhores formas de se obter uma amostra representativa da floresta ou população em questão.

4.5 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM

Nesse item, foram definidos o tamanho e o tipo ou forma das unidades amostrais, de acordo com os objetivos almejados e condições da área em estudo para o método de amostragem que melhor se ajuste ao esquema proposto.

4.5.1 Método de amostragem por Ponto de Bitterlich (PB)

O método de amostragem por Ponto de Bitterlich é um método típico da Engenharia Florestal e foi desenvolvido especificamente para a amostragem de árvores. Foi inicialmente proposto pelo florestal austríaco Walter Bitterlich na década de 40 e, posteriormente, aperfeiçoado e generalizado por uma série de florestais norte-americanos, europeus e japoneses, destacando-se os trabalhos de Kreen, Grosenbaugh e Hirata na década de 50. O nome “Amostragem por Pontos de Bitterlich” ou “Amostragem Pontual Horizontal” não são os únicos nomes utilizados para designar este método. Existe na literatura florestal uma grande variedade de nomes que são utilizados para designá-lo, como por exemplo:

- Amostragem por enumeração angular ou prova de numeração angular;
- Amostragem por parcelas de raio variável;
- Amostragem por parcelas de área variável;
- Amostragem com probabilidade proporcional ao tamanho;

- Amostragem por contagem angular.

O método se baseia no chamado “Postulado de Bitterlich” enunciado por Walter Bitterlich em 1947, onde se estabelece que:

“O número de árvores (n) de um povoamento, cujos DAPs vistos de um ponto fixo aparecem maiores a um dado valor (α) é proporcional à sua área basal por hectare (G)”.

Dessa forma, é possível estimar a área basal da floresta (G) diretamente através de um processo de contagem que enumere as árvores (n) em função de um ângulo de visada (α).

Na prática, este método consiste no uso de um instrumento, como o relascópio, para a seleção das árvores cujo diâmetro à altura do peito (DAP) seja maior que o ângulo de visada, fazendo-se uma rotação de 360 graus. As árvores são selecionadas com probabilidade proporcional à área basal (FIGURA 5).

Neste estudo, foi utilizado o fator de área basal 2 (FAB 2), porque, com o uso do FAB 3 ou 4, poucas árvores seriam selecionadas por ponto amostral e, conseqüentemente, diminuiria sua precisão. Já com o FAB 1 seriam selecionadas muitas árvores, dificultando o trabalho de campo. A escolha desse fator de área basal é ratificada em Machado e Figueiredo Filho (2003). Os autores mencionam que o próprio Bitterlich relata que a banda adequada é aquela que conta de 20 a 30 árvores por giro. Segundo Silva (1977), alguns autores recomendam, como regra geral, escolher a banda mais adequada com base na suposta área basal (área basal entre 20 e 40 m²/ha: Banda 2).

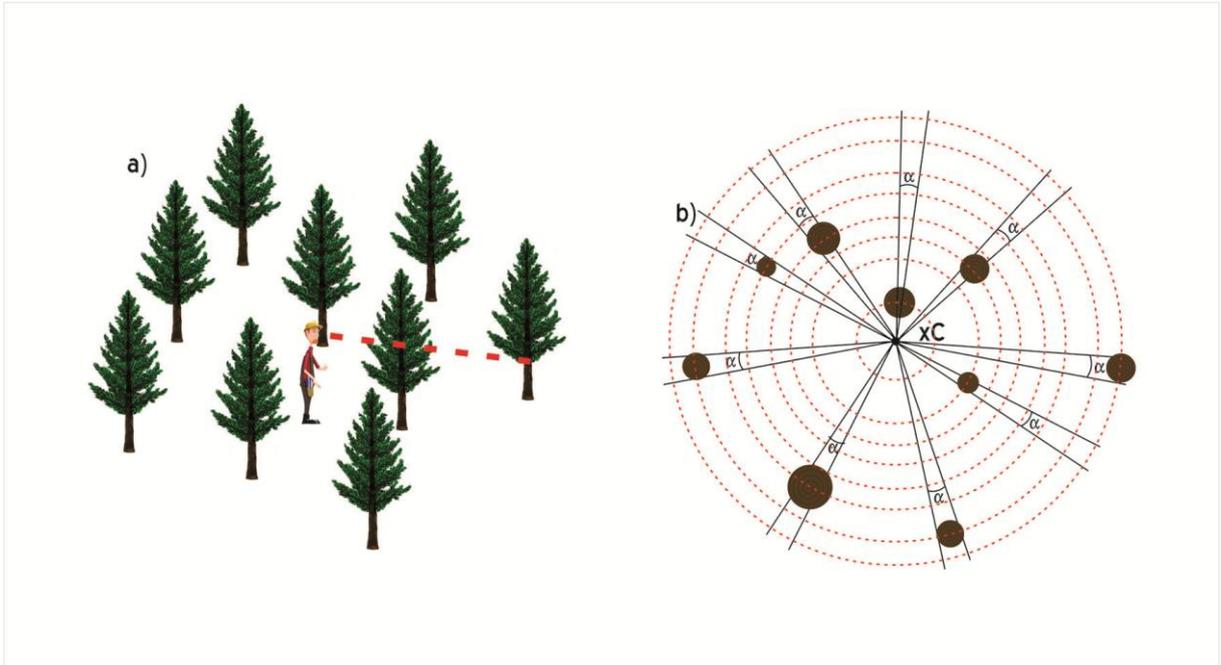


FIGURA 5 - PONTO DE BITTERLICH (PB)
 FONTE: O autor (2014)

Em que: C = centro da unidade amostral;

α = ângulo de visada.

As fórmulas usadas para as estimativas das variáveis foram (NISHIZAWA, 1972 apud NAKAJIMA, 1997)

$$dm = \frac{\sum_{i=1}^m \left(\frac{di}{gi} \right)}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{gi} \right)} \quad (1)$$

$$N = k * \sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{gi} \right) \quad (2)$$

$$G = k * n \quad (3)$$

$$V = k * \sum_{i=1}^m \left(\frac{vi}{gi} \right) \quad (4)$$

Em que: dm = diâmetro médio (cm);

N = número de árvores (N/ha);

G = área basal (m^2/ha);

V = volume total (m^3/ha);

k = fator de área basal;

n = número de árvores selecionadas por ponto de amostragem;

d_i = diâmetro da árvore "i" selecionada (cm);

g_i = área basal da árvore "i" selecionada (m^2);

v_i = volume da árvore "i" selecionada (m^3).

4.5.2 Método de amostragem de área fixa com parcela circular (PC)

Em vários estudos realizados na Europa, constata-se a preferência pelas unidades amostrais circulares (FIGURA 6). No Brasil, as unidades amostrais circulares estão sendo cada vez mais utilizadas em inventários florestais.

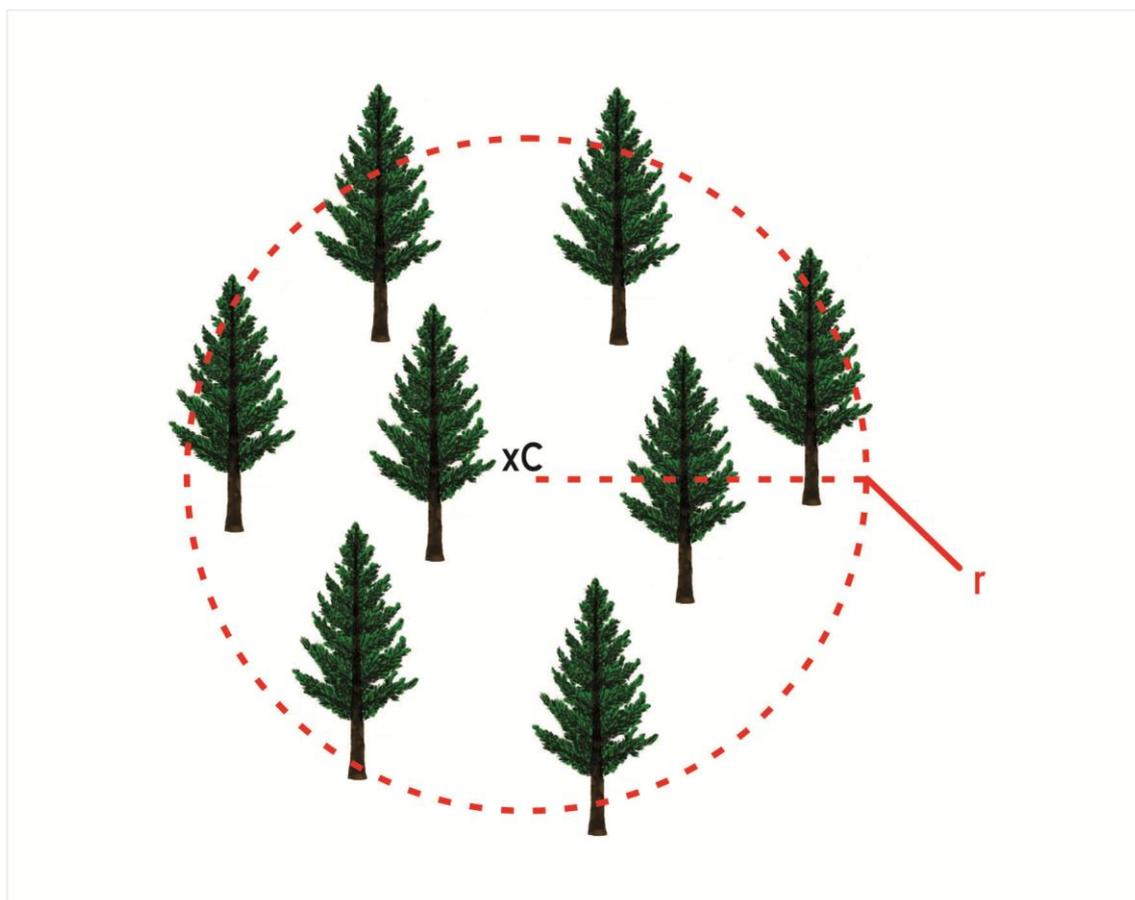


FIGURA 6 - PARCELA CIRCULAR (PC)
FONTE: O autor (2014)

Em que: C = centro da unidade amostral;

r = raio da unidade amostral.

As unidades amostrais 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, conforme explicitado por Prodan (1997). Nesta estrutura do método de área fixa, todas as árvores, cujos centros da área transversal estiverem dentro da unidade amostral, são selecionadas.

As fórmulas usadas para as estimativas das variáveis foram (NISHIZAWA, 1972):

$$dm = \frac{\sum_{i=1}^m di}{n} \quad (5)$$

$$N = \frac{n}{a} \quad (6)$$

$$G = \frac{\sum_{i=1}^m gi}{a} \quad (7)$$

$$V = \frac{\sum_{i=1}^m vi}{a} \quad (8)$$

Em que: a = área da parcela circular (ha).

Os outros termos são os mesmos descritos para o método Ponto de Bitterlich.

4.5.3 Método de área fixa com Conglomerado em Cruz (CC)

De acordo com a tomada das subunidades, pode-se classificar a amostragem por conglomerados em:

- estágio único: quando são levantadas todas as subunidades ou unidades secundárias;
- dois estágios: quando ocorrer subamostragem para seleção das subunidades a serem enumeradas.

Quando os conglomerados são selecionados aleatoriamente na floresta, pode-se definir que a amostragem consiste em reunir em grupos as subunidades de amostra, que em uma amostra inteiramente aleatória se dispersariam na floresta. Dessa forma, as subunidades restringem-se a uma área específica denominada subpopulação. Esse procedimento torna o trabalho de campo mais flexível, sem deixar de permitir a determinação da estimativa do erro de amostragem para o inventário florestal (QUEIROZ, 1998).

A amostragem por conglomerados apresenta uma importante vantagem que é a sensível redução dos custos, haja vista que custa mais efetuar a medição de unidades amostrais distribuídas esparsamente na floresta, que medir o equivalente quando as unidades estão reunidas. Na Figura 7, observa-se o método de amostragem de área fixa, utilizando-se a estrutura com Conglomerado em Cruz.

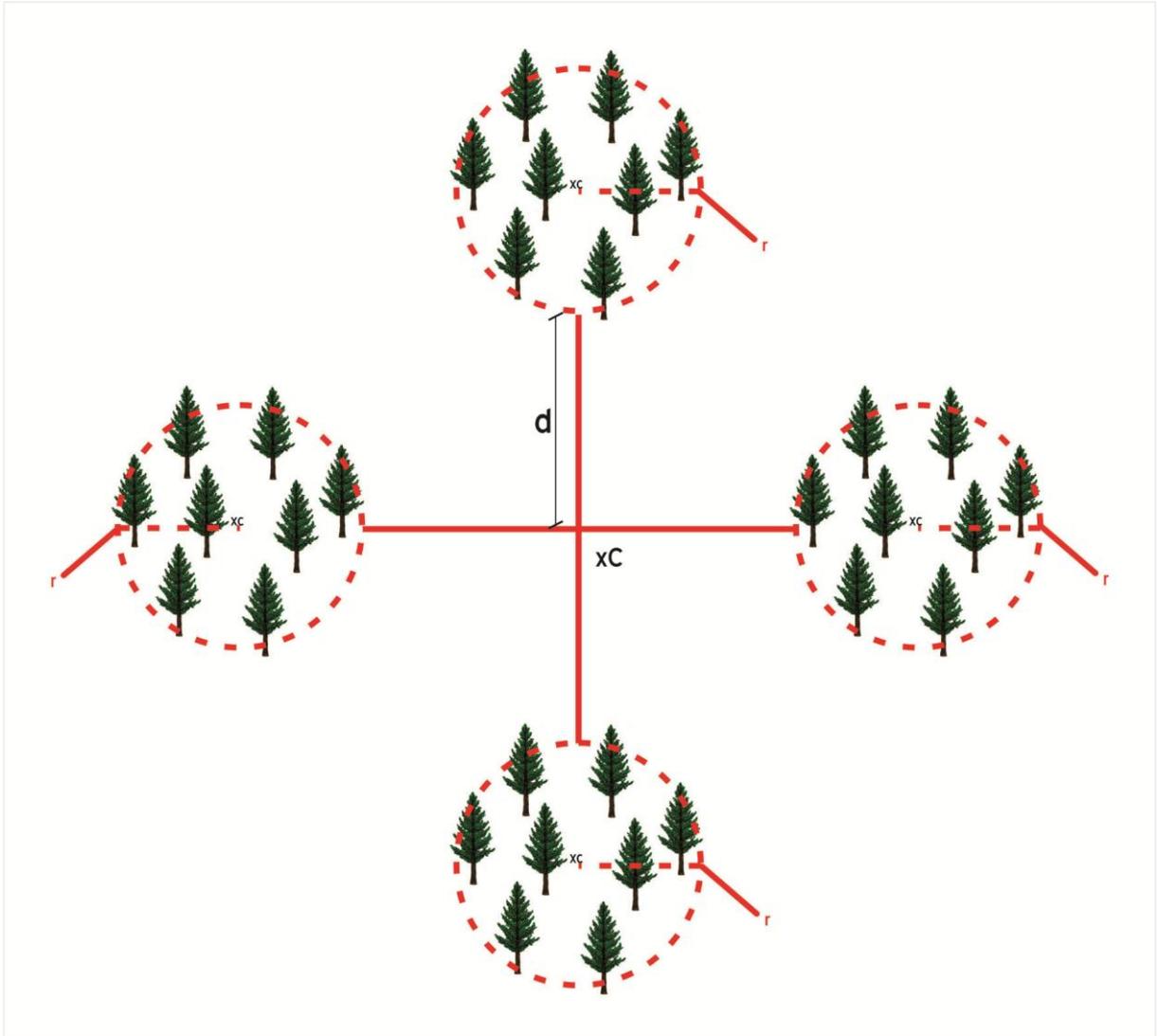


FIGURA 7 - CONGLOMERADO EM CRUZ (CC)
 FONTE: O autor (2014)

Em que: C = centro da unidade amostral;

r = raio da subunidade amostral;

c = centro da subunidade amostral;

d = distância entre o centro da unidade amostral e o centro das subunidades amostrais (distância fixa de 10 m).

As fórmulas usadas para as estimativas das variáveis foram sugeridas por Queiroz (1998), modificadas por Druszcz (2008).

$$\bar{d}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{ijk}} d_{ijk}}{n_{ijk}} \quad (9)$$

$$dm = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \bar{d}_{ij}}{n.m} \quad (10)$$

$$NA = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m n_{ij}}{n.m} \right) * \frac{1}{s} \quad (11)$$

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\sum_{k=1}^{n_{ijk}} g_{ijk} \right)}{n.m} * \frac{1}{s} \quad (12)$$

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\sum_{k=1}^{n_{ijk}} v_{ijk} \right)}{n.m} * \frac{1}{s} \quad (13)$$

Em que: n = número de unidades primárias ou conglomerados amostrados;

m = número de subunidades que compõem cada conglomerado;

dm = diâmetro médio do conglomerado (cm);

NA = número de árvores (N/ha);

G = área basal (m²/ha);

V = volume total (m³/ha);

\bar{d}_{ij} = dm das árvores selecionadas na subunidade “j” do conglomerado “i”

n_{ijk} = número de árvores “k” selecionadas na subunidade “j” no conglomerado “i”;

g_{ijk} = área transversal da árvore “k” selecionada na subunidade “j” no conglomerado “i”;

v_{ijk} = volume da árvore “k” selecionada na subunidade “j” no conglomerado “i”, e;

S = área da subunidade circular (ha).

4.5.4 Método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL)

As fórmulas usadas para as estimativas das variáveis são as mesmas utilizadas para o Conglomerado em Cruz (CC), descritas no item 4.5.3. Na Figura 8, observa-se o método de amostragem de área fixa, utilizando-se a estrutura com Conglomerado em Linha.

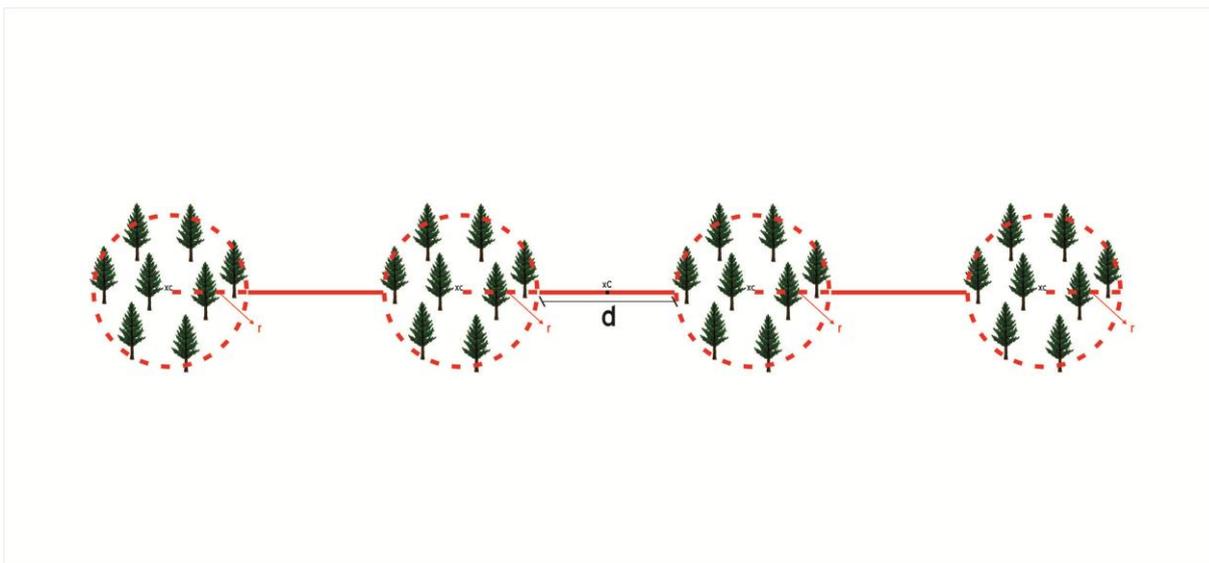


FIGURA 8 - CONGLOMERADO EM LINHA (CL)

FONTE: O autor (2014)

Em que: C = centro da unidade amostral;

r = raio da subunidade amostral;

c = centro da subunidade amostral;

d = distância entre as bordas das subunidades amostrais (distância fixa de 10 m).

4.6 INCLUSÃO DE ÁRVORES NA UNIDADE AMOSTRAL

Para a inclusão de árvores nas unidades amostrais, tanto para o método de área variável quanto para o método de área fixa e suas variações estruturais, padronizou-se da seguinte forma, conforme a Figura 9.

1. Contar - todas as árvores inteiramente dentro do raio da unidade amostral (método de área fixa) ou com diâmetros maiores que a banda de seleção (método de Bitterlich);
2. Omitir - todas as árvores que não estiverem dentro do raio da unidade amostral (método de área fixa) ou com diâmetros menores que a banda de seleção (Método de Bitterlich).
3. Contar / Omitir - quanto houver uma ou mais árvores duvidosas, ou seja, se as mesmas estão localizadas na bordadura da unidade amostral, na prática não se conta a primeira duvidosa e conta-se a segunda duvidosa.

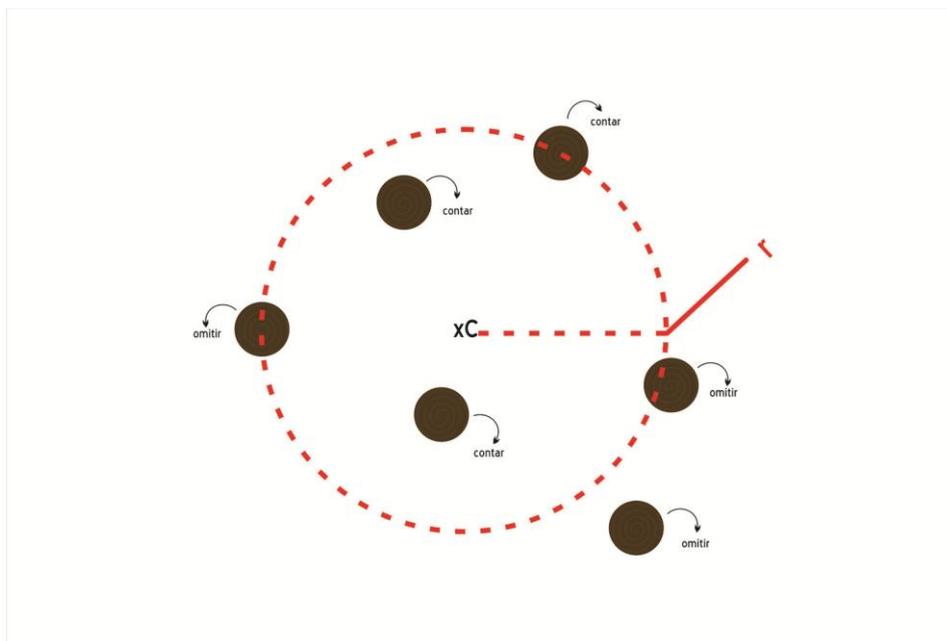


FIGURA 9 - INCLUSÃO DE ÁRVORES NAS UNIDADES AMOSTRAIS
 FONTE: O autor (2014), adaptado de Sanquetta *et al.* (2009)

Em que: C = centro da unidade amostral;

r = raio da unidade amostral.

4.7 NÚMERO DE UNIDADES AMOSTRAIS

Para fins deste estudo, foi definida para as três condições a mesma intensidade amostral, sendo 40 unidades amostrais para o método de amostragem Ponto de Bitterlich (PB) e método de amostragem de área fixa com Parcela Circular

(PC) e 10 unidades amostrais para o método de amostragem de área fixa com Conglomerado em Cruz (CC) e Conglomerado em Linha (CL).

Como o método de amostragem de Bitterlich (PB) é um método de área variável, isto é, não possui uma área definida, enquanto que o método de amostragem de área fixa com Parcela Circular (PC) possui um raio e área fixa e as unidades amostrais Conglomerado em Cruz (CC) e em Linha (CL) são formados por subunidades circulares (raio e área fixa), uma maneira de transformar os métodos para uma mesma base de comparação, segundo Nakajima (1997), foi ajustar o “tamanho” das parcelas ou unidades amostrais de maneira tal que contenha, em média, uma mesma quantidade de árvores. Por conseguinte, o método de área variável PB foi utilizado como base (padrão) e os demais ajustados conforme o número médio de árvores deste método de área variável, conforme utilizado por Nakajima (1997).

Para o método Ponto de Bitterlich (PB) e o método de área fixa com Parcela Circular (PC), Conglomerado em Cruz (CC) e Conglomerado em Linha (CL), os mesmos pontos de amostragem foram mantidos, sendo a área amostrada a mesma.

4.8 ESTIMATIVA DA ALTURA TOTAL

A altura total (FIGURA 10) refere-se à distância do solo até o topo da árvore, ao longo de seu eixo principal (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2003).

Bartoszeck *et al.* (2002) citam que a altura obtida de modo direto através de instrumentos apropriados fornece resultados acurados, porém, não econômicos, devido ao tempo gasto. Sendo assim, utilizou-se o hipsômetro de Blume-Leiss para medir 120 alturas em cada condição (sempre as três primeiras árvores contidas na Parcela Circular). Com isso, obteve-se um conjunto de dados de alturas das árvores mensuradas, com seus respectivos diâmetros e pelo método de regressão linear (simples e múltipla) testaram-se alguns modelos hipsométricos e as alturas das demais árvores das unidades amostrais foram estimadas em função dos diâmetros já mensurados.

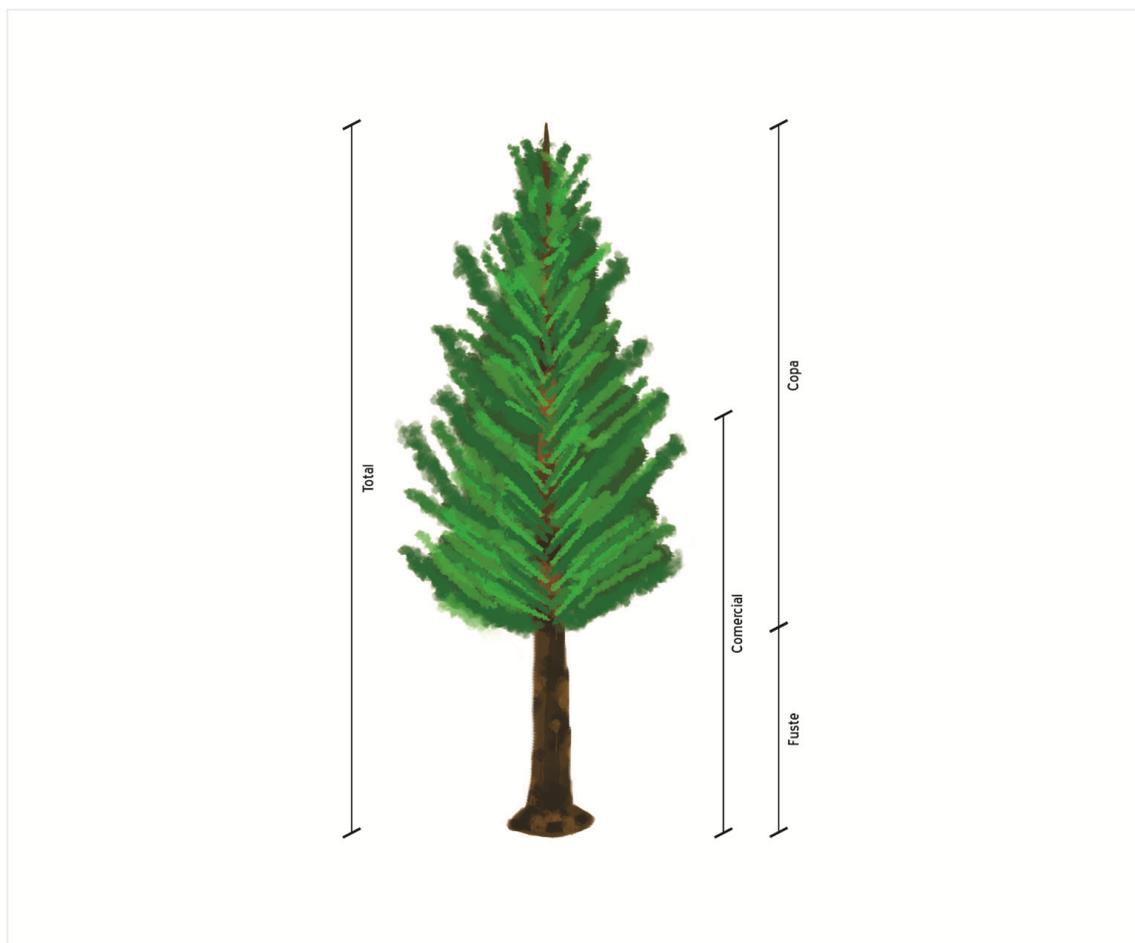


FIGURA 10 - DIFERENTES ALTURAS ENCONTRADAS EM UMA ÁRVORE
 FONTE: O autor (2014)

4.8.1 Modelos hipsométricos testados

Foram testados 5 modelos matemáticos selecionados a partir da literatura utilizando-se o método dos mínimos quadrados da análise de regressão linear (TABELA 1).

TABELA 1 - MODELOS TESTADOS PARA ALTURA TOTAL

Número	Modelo Matemático	Autor
1	$h = b_0 + b_1 \ln(d)$	Henricksen (1950)
2	$h = b_0 + b_1 (d) + b_2 (d^2)$	Trorey (1932)
3	$\ln h = b_0 + b_1 (1/d) + b_2 (1/d^2)$	Curtis (1967)
4	$\ln h = b_0 + b_1 \ln (d)$	Stoffels (1953)
5	$(1/h) = b_0 + b_1 (1/d)$	Ogawa (...)

FONTE: O autor (2008)

Em que: h = variável dependente, altura total (m);
 DAP = variável independente, diâmetro à altura do peito (cm);
 \ln = logaritmo neperiano; e
 b_i = parâmetros dos modelos a serem estimados.

A estimativa dos parâmetros para o ajuste dos modelos foi realizada com o auxílio do *Microsoft Office Excel 2007*.

4.8.2 Seleção do melhor modelo hipsométrico

As alturas totais das árvores foram estimadas a partir do melhor modelo ajustado, sendo que o critério de seleção desse foi baseado nas seguintes estatísticas: coeficiente de determinação ajustado (R^2), erro padrão de estimativa em porcentagem e análise gráfica de resíduos.

O coeficiente de determinação (R^2) expressa a quantidade de variação da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes. Quanto mais próximo for o valor do R^2 em relação à unidade, melhor terá sido o ajuste. Porém, é necessário reajustar esses coeficientes, para que seja possível comparar as equações, já que os graus de liberdade na regressão diferem entre os modelos testados.

$$R^2_{aj} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p-1} \right) \cdot \frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}} \quad (14)$$

Em que: R^2_{aj} = Coeficiente de determinação ajustado;
 n = Número de dados (tamanho da amostra);
 p = Número de variáveis independentes do modelo em questão;
 SQ_{res} = Soma de quadrado de resíduos;
 SQ_{tot} = Soma de quadrados total.

O erro padrão da estimativa (S_{yx}) é outra estatística muito usada para o julgamento da performance de ajuste de equações de regressão, sendo desejável que se obtenha o menor valor. É importante registrar que, para os modelos onde a variável dependente sofreu transformação, torna-se necessário retransformar o erro padrão residual, a fim de possibilitar a comparação estatística das equações. Esta retransformação consiste no seguinte procedimento:

$$\text{Novo } S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum (h_i - \hat{h}_i)^2}{n - p - 1}} \quad (15)$$

Em que: S_{yx} = erro padrão residual em metros;

h_i = altura observada (m);

\hat{h}_i = altura estimada pela equação (m);

n = número de dados (tamanho da amostra);

p = número de variáveis independentes do modelo em questão.

Mesmo que todos os estimadores de ajuste sejam bons indicadores para a escolha do melhor modelo, a análise gráfica de resíduos é decisiva, pois permite detectar se há ou não tendenciosidade na estimativa da variável dependente ao longo de toda linha de regressão, se os resíduos são independentes e se há homogeneidade de variância. Como a avaliação gráfica é visual, pode envolver alguma subjetividade, por isso é usada em conjunto com as estatísticas citadas anteriormente (BARROS *et al.*, 2002).

4.9 ESTIMATIVA DO VOLUME

4.9.1 Agrupamento em classes de diâmetro

Segundo Machado e Figueiredo Filho (2003), no caso de plantações ou outros povoamentos florestais, cuja distribuição de diâmetros se aproxime da distribuição normal, o método mais apropriado para a obtenção do intervalo de classe é com base no DAP médio (cm) e desvio padrão (s), advindos dos dados coletados (parcela ou povoamento florestal).

Nesse estudo, optou-se, conforme Hosokawa *et al.* (2008), por trabalhar os dados segundo suas classes sociológicas. Assim, foram atribuídas 5 classes sociológicas e o esquema de cálculo dos limites inferior, superior e seus respectivos centros de classes de diâmetro foram calculados com base no método estatístico e apresentados na Tabela 2, tendo a amplitude de cada classe 2 unidades de desvio-padrão.

TABELA 2 - INTERVALOS E CENTROS DE CLASSE EM FUNÇÃO DA CLASSE SOCIOLÓGICA

Classe	Classe sociológica	Limites de classe		Centro de Classe
		Inferior	Superior	
1	Oprimidas	DAP médio- (2,5 * s)	DAP médio - (1,5 * s)	DAP médio - (2,0 * s)
2	Dominadas	DAP médio- (1,5 * s)	DAP médio - (0,5 * s)	DAP médio - (1,0 * s)
3	Médias	DAP médio - (0,5 * s)	DAP médio +(0,5 * s)	DAP médio
4	Codominantes	DAP médio + (0,5 * s)	DAP médio +(1,5 * s)	DAP médio +(1,0 * s)
5	Dominantes	DAP médio + (1,5 * s)	DAP médio +(2,5 * s)	DAP médio+(2,0 * s)

FONTE: Hosokawa *et al.* (2008)

Em que: DAP médio = diâmetro médio (cm);
s = desvio padrão.

Esta classificação sociológica em classes de diâmetro serviu de base para os procedimentos subsequentes.

4.9.2 Procedimento para coleta de dados de cubagem

Após definição das classes sociológicas, foi escolhido um determinado número de árvores para abate dentro de cada uma das classes, sendo as mesmas derrubadas e, com o auxílio de uma trena de 50 metros, mensuradas suas alturas totais em metros e medidas todas as circunferências em centímetros em suas respectivas alturas relativas (FIGURA 11). As alturas relativas são: 0,0%; 2,5%; 5%; 10%; 15%; 20%; 25%; 30%; 40%; 50%; 60%; 70%; 80%; 90% e 95% da altura total de cada árvore, além da respectiva circunferência à altura do peito (FIGURA 12).



FIGURA 11 - ETAPAS NO PROCESSO DE CUBAGEM
 FONTE: O autor (2014)

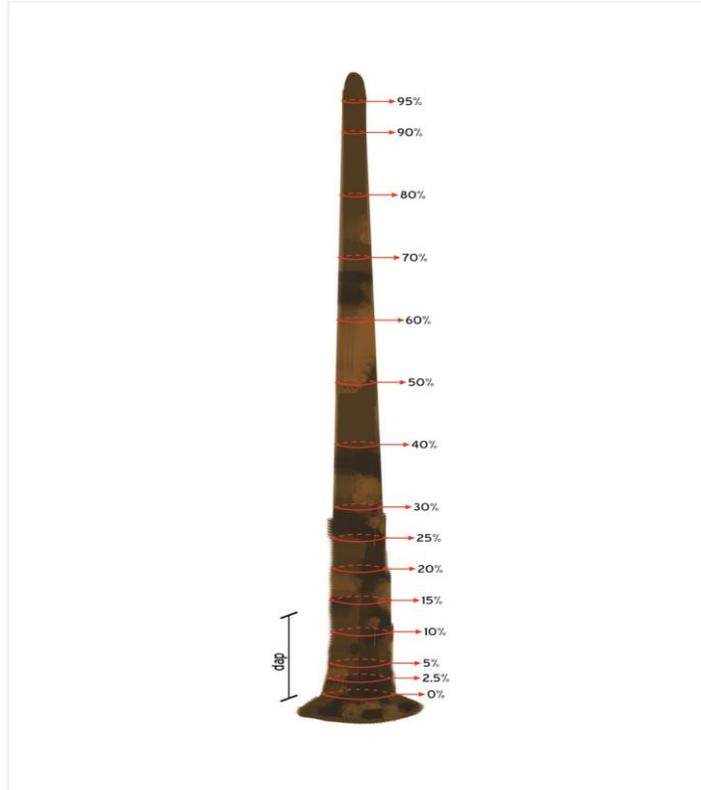


FIGURA 12 - MARCAÇÃO DAS ALTURAS RELATIVAS DE HOHENADL PARA CUBAGEM
 FONTE: O autor (2014)

4.9.3 Método de cubagem

Com os dados da cubagem em mãos, o volume individual de cada árvore foi obtido conforme o método proposto por Smalian (FIGURA 13) e demonstrado por Machado e Figueiredo Filho (2003).

$$v = \left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) \cdot l \quad (16)$$

Em que: v = volume da tora (m^3);

g_1 = área transversal na base da tora (m^2);

g_2 = área transversal no topo da tora (m^2);

l = comprimento da tora (m).

Como foi considerado o volume total do tronco ou fuste, o volume da última porção ou volume da ponta foi calculado como sendo um cone, pela seguinte fórmula:

$$v_p = \left(\frac{g_n * l_p}{3} \right) \quad (17)$$

Em que: v_p = volume da ponta (m^3);

g_n = área transversal da base da ponta (m^2);

l_p = comprimento da ponta (m).

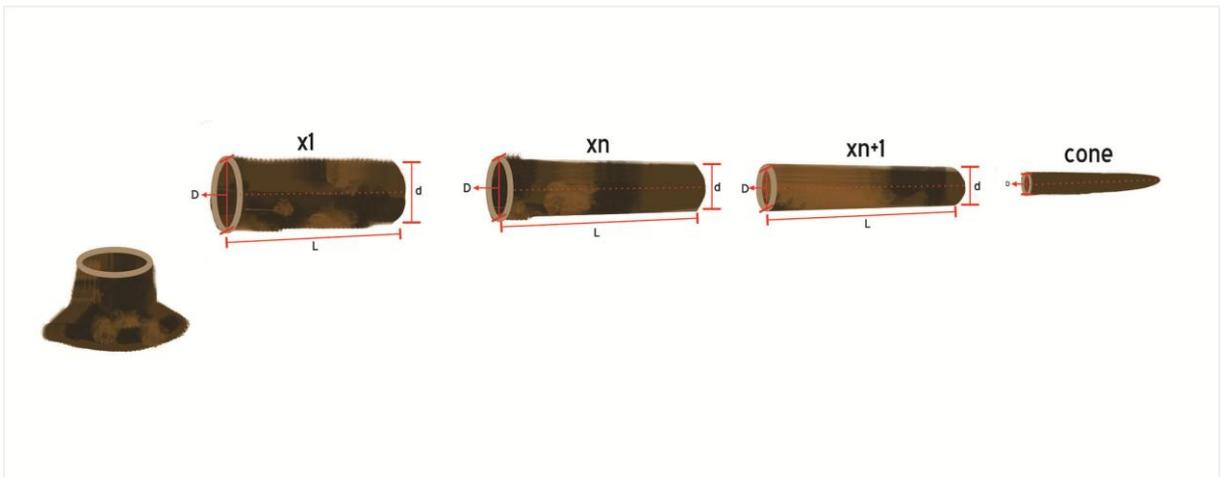


FIGURA 13 - MÉTODO DE CUBAGEM DE SMALIAN
FONTE: O autor (2014)

Em que: D = Diâmetro na ponta grossa (cm);

d = Diâmetro na ponta fina (cm);

L = comprimento da seção (m);

X_1 = primeira seção (m);

X_{n+1} = seções subsequentes (m); e

Cone = volume da ponta (calculado sempre como volume do cone).

4.9.4 Modelos volumétricos testados

Machado e Figueiredo Filho (2003) citam que o volume das árvores é, na maioria das vezes, a principal finalidade dos levantamentos florestais, notadamente quando se trata de povoamentos destinados para fins comerciais.

O procedimento mais comum utilizado na estimativa de volumes por árvore é o emprego de equações em que o volume constitui a variável dependente, estando as variáveis independentes comumente representadas pelo diâmetro à altura do peito (DAP com casca) e à altura total ou comercial. Relatam ainda que uma terceira variável independente, que eventualmente pode ser usada em equações volumétricas, é um termo que expressa a forma do fuste, normalmente o quociente de forma (MACHADO, BARBOSA da CONCEIÇÃO e FIGUEIREDO, 2002).

Foram escolhidos e testados quatro modelos para volumes individuais tradicionalmente utilizados, apresentados na tabela 3.

TABELA 3 - MODELOS TESTADOS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES INDIVIDUAIS

Número	Modelo Matemático	Autor
1	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$	Hohenadl-Kren
2	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 * h$	Spurr
3	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d$	Husch
4	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h$	Schumacher-Hall

FONTE: O autor (2008)

Em que: v = variável dependente, volume total (m³);

d = variável independente, diâmetro à altura do peito (cm);

h = variável independente, altura total da árvore (m)

\ln = logaritmo neperiano;

β_i = parâmetros dos modelos a serem estimados.

4.9.4.1 Seleção do melhor modelo volumétrico

A seleção do melhor modelo volumétrico seguiu a mesma sequência já descrita no item 4.8.2.

4.9.4.2 Número de árvores cubadas

A definição do número de árvores cubadas ou tamanho da amostra foi realizada utilizando-se a estatística, através dos seguintes passos:

1. Coleta de uma amostra piloto com 5 árvores por classe sociológica;
2. Cálculo da variância do volume para o total através da fórmula do item 4.10.5.2.

Com isso obtêm-se o número ótimo de árvores necessárias para o ajuste dos modelos volumétricos.

4.9.4.3 Validação de equações de volume

Conforme Machado *et al.* (2008), validar uma equação seria uma forma de comprovar seu uso para o resto da população, cujas árvores não foram utilizadas para o ajuste de uma determinada equação.

Nesse sentido, foram verificadas as equações de volume total desenvolvidas para o inventário florestal do ano de 2007, para se saber se as mesmas poderiam ser usadas no inventário florestal de 2011.

Para a validação das equações, os seguintes passos foram feitos:

1. Toma-se uma amostra independente de árvores cubadas no inventário florestal do ano de 2011.
2. Estimam-se os volumes destas árvores através da equação de volume escolhida;
3. Comparam-se os volumes estimados destas árvores com seus respectivos volumes reais, através do erro padrão da estimativa, do gráfico de resíduos e do teste Qui-Quadrado.

4.9.4.4 Testes de aderência de Qui-quadrado (χ^2)

Segundo Martins (2006), o mais popular teste não-paramétrico é o teste Qui-Quadrado, ou teste de adequação do ajustamento.

No caso em questão, o referido teste é utilizado quando se deseja realizar um teste estatístico para verificar se há *adequação de ajustamento* entre os volumes observados e os volumes esperados. Isto é, se as discrepâncias ($V_{o_i} - V_{e_i}$), $i = 1, 2, \dots, K$ são devidas ao acaso, ou se de fato existe diferença significativa entre os volumes.

Para a determinação do valor do Qui-Quadrado, é utilizada a seguinte expressão:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k (V_{o_i} - V_{e_i})^2 / V_{e_i} \quad (18)$$

Em que: V_{o_i} = volume observado na classe i ;

V_{e_i} = volume esperado ou ajustado na classe i ;

k = número de classes.

4.10 FÓRMULAS ESTATÍSTICAS UTILIZADAS NA ANÁLISE DAS VARIÁVEIS ESTIMADAS

4.10.1 Método de amostragem Ponto de Bitterlich (PB)

Para o método de amostragem de Bitterlich (PB), as análises estatísticas foram realizadas por meio das seguintes fórmulas, conforme Péllico Netto e Brena (1997).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i)}{n} \quad (19)$$

$$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2}{n-1} \quad (20)$$

$$s_x = \sqrt{s_x^2} \quad (21)$$

$$s_x^- = \pm \frac{s_x}{\sqrt{n}} \quad (22)$$

$$cv = \frac{s_x}{x} \cdot 100 \quad (23)$$

$$E_r = \pm \frac{t * s_x^-}{x} \cdot 100 \quad (24)$$

$$ic = \bar{x} \pm t \cdot s_x^- \quad (25)$$

Em que: \bar{x} = média da variável x;

xi = valor de cada variável x;

n = número de unidades amostrais;

s^2 = variância;

s = desvio padrão;

s_x^- = erro padrão;

E_r = erro de amostragem em porcentagem; e

ic = intervalo de confiança

4.10.2 Método de amostragem com Parcela Circular (PC)

Para o método de amostragem de área fixa com Parcela Circular (PC), as análises estatísticas foram realizadas por meio das fórmulas utilizadas para o método Ponto de Bitterlich (PB), descrita no item 4.10.1.

4.10.3 Método de amostragem com Conglomerado em Cruz (CC)

Para o método de amostragem de área fixa com Conglomerado em Cruz (CC), as análises estatísticas foram realizadas por meio das seguintes fórmulas, sugeridas por Péllico Netto e Brena (1997).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M X_{ij}}{n \cdot M} \quad (26)$$

$$\bar{x}_i = \sum_{j=1}^M \frac{X_{ij}}{M} \quad (27)$$

$$s_x^2 = \frac{1}{nM - 1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M (X_{ij} - \bar{x})^2 \quad (28)$$

ou, através da análise de variância

$$s_x^2 = s_e^2 + s_d^2 \quad (29)$$

$$s_d^2 = MQdentro = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M (X_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n(M - 1)} \quad (30)$$

$$s_e^2 = \frac{MQentre - MQdentro}{M}, \text{ onde } MQentre = \frac{\sum_{i=1}^n M(\bar{x}_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (31)$$

$$r = \frac{s_e^2}{s_e^2 + s_d^2} \quad (32)$$

$$s_x^2 = \frac{s_x^2}{nM} [1 + r(M - 1)] \quad (33)$$

$$s = \sqrt{s_e^2 + s_d^2} \quad (34)$$

$$cv = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (35)$$

$$s_x^- = \sqrt{s_x^2} \quad (36)$$

$$er = \pm \frac{t * s_x^-}{x} \cdot 100 \quad (37)$$

$$ic = \pm t \cdot s_x^- \quad (38)$$

Em que: \bar{x} = média da população por subunidade;
 x_i = média das subunidades por conglomerado
 n = número de conglomerados amostrados;
 s_x^2 = variância da população por subunidade;
 s_e^2 = variância entre conglomerados;
 s_d^2 = variância dentro dos conglomerados;
 $QMentre$ = quadrado médio entre os conglomerados;
 $QMdentro$ = quadrado médio dentro dos conglomerados;
 r = coeficiente de correlação intraconglomerados;
 s_x^2 = variância da média;
 s = desvio padrão;
 s_x^- = erro padrão;
 cv = coeficiente de variação;
 e_r = erro de amostragem em porcentagem;
 ic = intervalo de confiança.

4.10.4 Método de amostragem com Conglomerado em Linha (CL)

Para o método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL), as análises estatísticas foram realizadas por meio das mesmas fórmulas utilizadas para o método de área fixa com Conglomerado em Cruz (CC), descrita no item 4.10.3.

4.11 ESTIMATIVA DE TEMPO MÉDIO DE AMOSTRAGEM

O tempo médio estimado de amostragem foi obtido através da soma dos tempos de execução da amostra, ou seja, apenas foi cronometrado o tempo para instalação e mensuração de cada unidade amostral. Não foi considerado o tempo de deslocamento, já que os pontos das unidades amostrais foram os mesmos para ambos os métodos e suas variações estruturais. Ressalta-se que para o PB e a PC foram instaladas 40 unidades amostrais e para o CC e o CL foram instaladas 10 unidades amostrais para cada estrutura, sendo que em termos de número de árvores no total de amostra todos os métodos e suas estruturas se equivalem.

4.11.1 Método da eficiência relativa

Para o cálculo de eficiência relativa foram consideradas todas as variáveis estimadas em cada método de amostragem.

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

Freese (1962) considera os tempos médios de mensuração em cada um dos métodos e os coeficientes de variação obtidos, calculando a eficiência relativa pela seguinte fórmula:

$$ER = \frac{1}{T_i \cdot CV^2} \quad (39)$$

Em que: ER = eficiência relativa;

T_i = tempo de medição da unidade amostral “ i ”;

CV = coeficiente de variação em relação à variável analisada.

Sendo assim, pode-se, com a eficiência relativa, comparar os métodos e suas variações estruturais e mostrar qual teve melhor desempenho, atendendo ao limite de erro estipulado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 INVENTÁRIO FLORESTAL DE 2007

5.1.1 Classificação diamétrica de cada condição

Através do DAP médio (cm) e do desvio padrão (s), obtidos a partir dos dados coletados pelo método de área fixa com Parcela Circular (PC), foram calculadas as classes de diâmetros, os limites de classe inferior e superior e seus respectivos centros de classes (TABELA 4). A Tabela 4 apresenta, também, o número de árvores estimadas por classe sociológica por hectare.

TABELA 4 - FREQUÊNCIA DE ÁRVORES POR CLASSE SOCIOLÓGICA E HECTARE

Condição1 = 10 anos				
Média dos diâmetros = 16,6 cm		Desvio-padrão = 3,7 cm		
Classe	Classe sociológica	Limites de classe		N/ha
		Inferior	Superior	
1	Oprimidas	7,4	11,1	61
2	Dominadas	11,1	14,7	188
3	Médias	14,7	18,4	381
4	Codominantes	18,4	22,0	247
5	Dominantes	22,0	25,7	50
Total				927
Condição 2 = 7 anos				
Média dos diâmetros = 16,0cm		Desvio-padrão = 2,9 cm		
Classe	Classe sociológica	Limites de classe		N/ha
		Inferior	Inferior	
1	Oprimidas	8,8	11,7	34
2	Dominadas	11,7	14,5	214
3	Médias	14,5	17,4	317
4	Codominantes	17,4	20,3	159
5	Dominantes	20,3	23,1	48
Total				772
				continua

Condição 3 = 9 anos				
Média dos diâmetros = 15,3 cm			Desvio-padrão = 3,1 cm	
Classe	Classe sociológica	Limites de classe		N/ha
		Inferior	Inferior	
1	Oprimidas	7,5	10,6	60
2	Dominadas	10,6	13,7	139
3	Médias	13,7	16,8	288
4	Codominantes	16,8	20,0	207
5	Dominantes	20,0	23,1	42
Total				736

FONTE: O autor (2014)

Os histogramas de frequência apresentados nos Gráficos 1, 2 e 3 comprovam que a distribuição diamétrica das três condições analisadas são características de povoamentos resultantes de plantios, pois são distribuições unimodais, ou seja, apresentam um único ponto de maior frequência. É possível notar também que a distribuição diamétrica é muito próxima da curva normal, porém, com o passar do tempo a distribuição diamétrica vai se afastando da curva normal, se tornando assimétrica, como é o caso das condições em questão. Por se tratar de plantações com 10, 7 e 9 anos de idade e sem desbastes, o motivo que levou a causar a distorção da curva normal deixando-a assimetricamente negativa, foi a mortalidade causada no início do plantio, pragas e a competição entre as árvores.

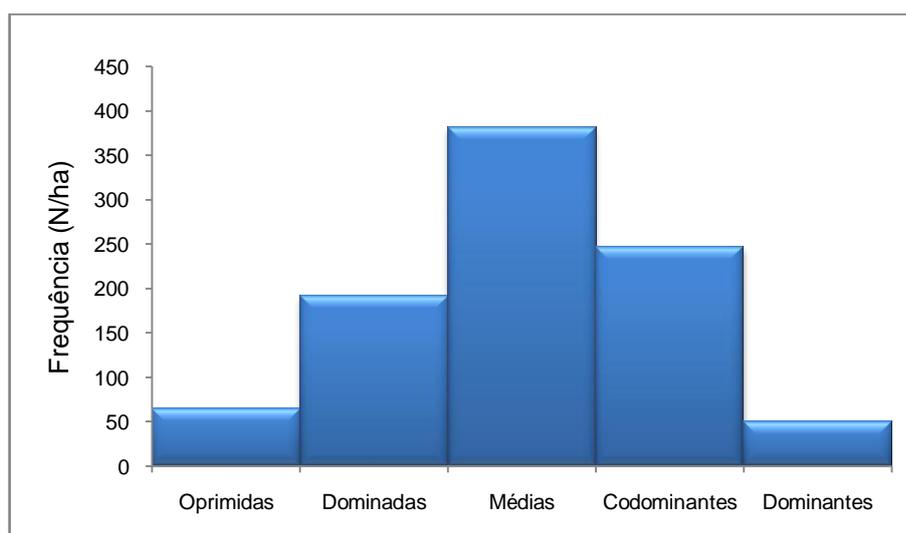


GRÁFICO 1 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA - CONDIÇÃO 1
FONTE: O autor (2008)

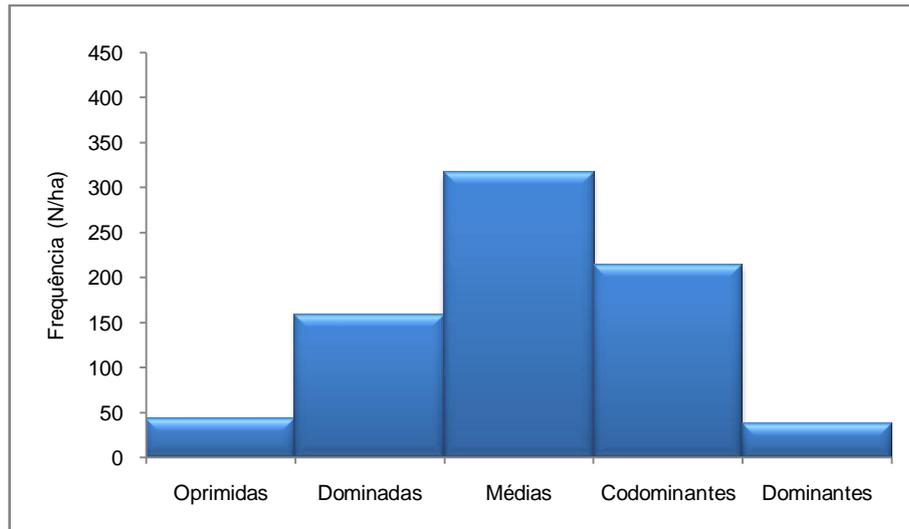


GRÁFICO 2 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA - CONDIÇÃO 2
 FONTE: O autor (2008)

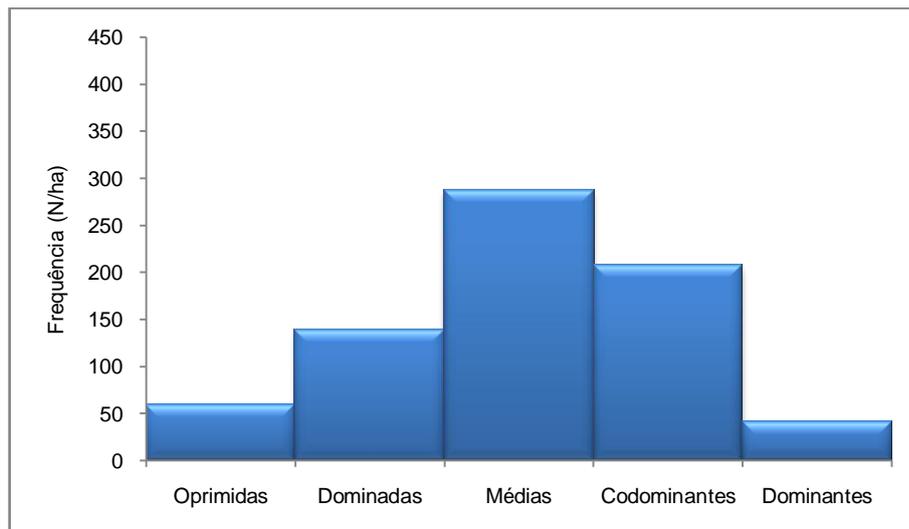


GRÁFICO 3 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA - CONDIÇÃO 3
 FONTE: O autor (2008)

Conforme mencionado no parágrafo anterior, a distribuição é assimétrica, ou seja, existe assimétrica negativa, pois a mediana é maior que a média.

5.1.1.1 Número de árvores cubadas

A Tabela 5 apresenta o número de árvores cubadas em cada classe

sociológica e para cada condição.

TABELA 5 - NÚMERO DE ÁRVORES CUBADAS POR CLASSE SOCIOLOGICA E PARA CADA CONDIÇÃO

Condição 1 = 10 anos				
Classe	Classe sociológica	Limites de classe		Árvores cubadas
		Inferior	Superior	
1	Oprimidas	7,4	11,1	8
2	Dominadas	11,1	14,7	4
3	Médias	14,7	18,4	4
4	Codominantes	18,4	22,0	4
5	Dominantes	22,0	25,7	8
Total				28
Condição 2 = 7 anos				
Classe	Classe sociológica	Limites de classe		Árvores cubadas
		Inferior	Inferior	
1	Oprimidas	10,6	13,0	21
2	Dominadas	13,0	15,5	5
3	Médias	15,5	18,0	7
4	Codominantes	18,0	20,5	3
5	Dominantes	20,5	22,9	9
Total				45
Condição 3 = 9 anos				
Classe	Classe sociológica	Limites de classe		Árvores cubadas
		Inferior	Inferior	
1	Oprimidas	7,5	10,6	15
2	Dominadas	10,6	13,7	5
3	Médias	13,7	16,8	5
4	Codominantes	16,8	20,0	5
5	Dominantes	20,0	23,1	10
Total				40

FONTE: O autor (2014)

5.1.1.2 Equação hipsométrica e volumétrica

As alturas e volumes totais das árvores foram estimados por meio dos seguintes modelos ajustados para cada uma das condições, as quais foram geradas com dados deste levantamento.

Condição 1

O melhor modelo hipsométrico foi o de Curtis e o melhor modelo volumétrico foi o Schumacher-Hall. Os coeficientes dos ajustes e estatísticas de precisão para os modelos selecionados são apresentados logo abaixo e na Tabela 6.

Equação hipsométrica para altura total (Modelo de Curtis)

$$\ln \hat{h}_i = 3,48436 + 21,30533 \cdot (1/DAP_i) + 107,04890 \cdot (1/DAP_i^2)$$

Equação de volume total, com casca, árvore individual (Modelo de Schumacher-Hall)

$$\ln \hat{v}_i = -10,60677 + 1,95794 \cdot \ln DAP_i + 1,19020 \cdot \ln H_i$$

TABELA 6 - COEFICIENTES DOS AJUSTES E ESTATÍSTICAS DE PRECISÃO PARA OS MODELOS VOLUMÉTRICO E HIPSOMÉTRICO SELECIONADOS PARA A CONDIÇÃO 1

Modelo hipsométrico de Curtis					
Coeficientes			R ² ajustado	Syx (m) corrigido	Syx % corrigido
b ₀	b ₁	b ₂			
3,48436	21,30533	107,04890	0,66645	0,86617	6,30170
Modelo volumétrico de Schumacher-Hall					
Coeficientes			R ² ajustado	Syx (m ³) corrigido	Syx % corrigido
b ₀	b ₁	b ₂			
-10,60677	1,95794	1,19020	0,99724	0,00908	4,79560

FONTE: O autor (2008)

Os Gráficos 4 e 5 apresentam a análise gráfica de resíduos para os modelos ajustados de altura e volume para a condição 1.

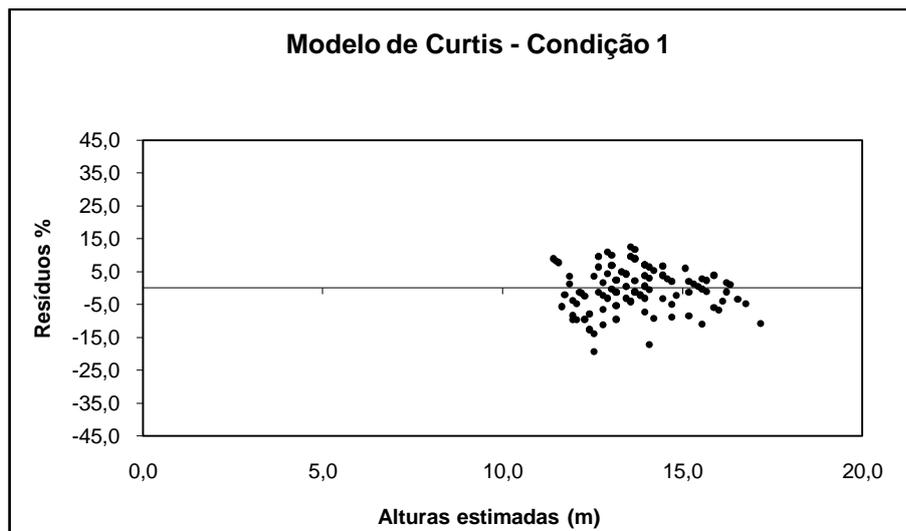


GRÁFICO 4 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DAS ALTURAS ESTIMADAS PELO MODELO DE CURTIS - CONDIÇÃO 1
 FONTE: O autor (2008)

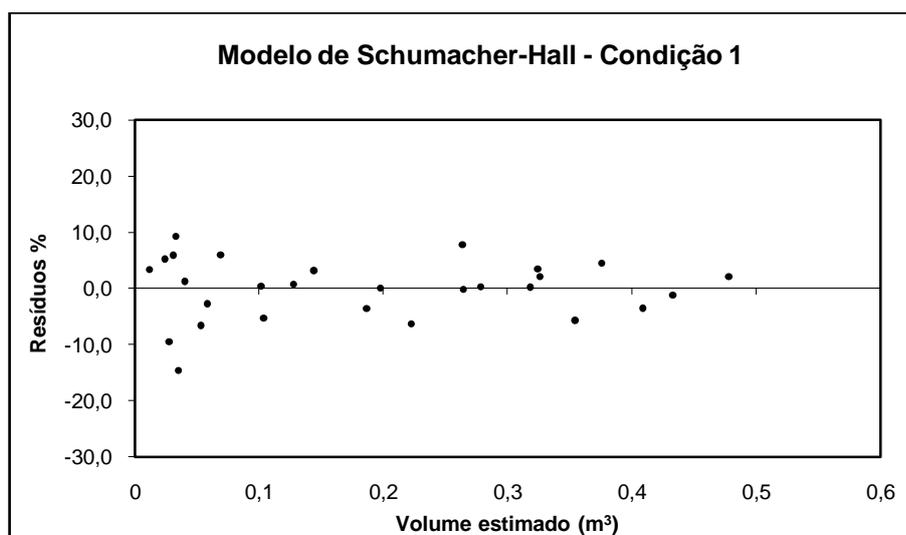


GRÁFICO 5 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DOS VOLUMES COM CASCA, ESTIMADOS PELO MODELO DE SCHUMACHER-HALL - CONDIÇÃO 1
 FONTE: O autor (2008)

Condição 2

O melhor modelo hipsométrico foi o de Ogawa e o melhor modelo volumétrico foi o de Schumacher-Hall. Os coeficientes dos ajustes e estatísticas de precisão para os modelos selecionados são apresentados na Tabela 7.

Equação hipsométrica para altura total (Modelo de Ogawa)

$$1/\hat{h}_i = 0,05205 + 0,80003 \cdot 1/DAPI$$

Equação de volume total, com casca, árvore individual (Modelo de Schumacher-Hall)

$$\ln \hat{v}_i = -9,67886 + 1,96111 \cdot \ln DAPI + 0,82583 \cdot \ln h_i$$

TABELA 7 - COEFICIENTES DOS AJUSTES E ESTATÍSTICAS DE PRECISÃO PARA OS MODELOS VOLUMÉTRICO E HIPSOMÉTRICO SELECIONADOS PARA A CONDIÇÃO 2

Modelo hipsométrico de Ogawa					
Coeficientes			R ² ajustado	Syx (m) corrigido	Syx % corrigido
b ₀	b ₁	b ₂			
0,05205	0,80003	-	0,59074	0,84926	8,67579
Modelo volumétrico de Schumacher-Hall					
Coeficientes			R ² ajustado	Syx (m ³) corrigido	Syx % corrigido
b ₀	b ₁	b ₂			
-9,67886	1,96111	0,82583	0,99640	0,00709	7,20497

FONTE: o autor (2008)

Os Gráficos 6 e 7 apresentam a análise gráfica de resíduos para os modelos ajustados de altura e volume para a condição 2.

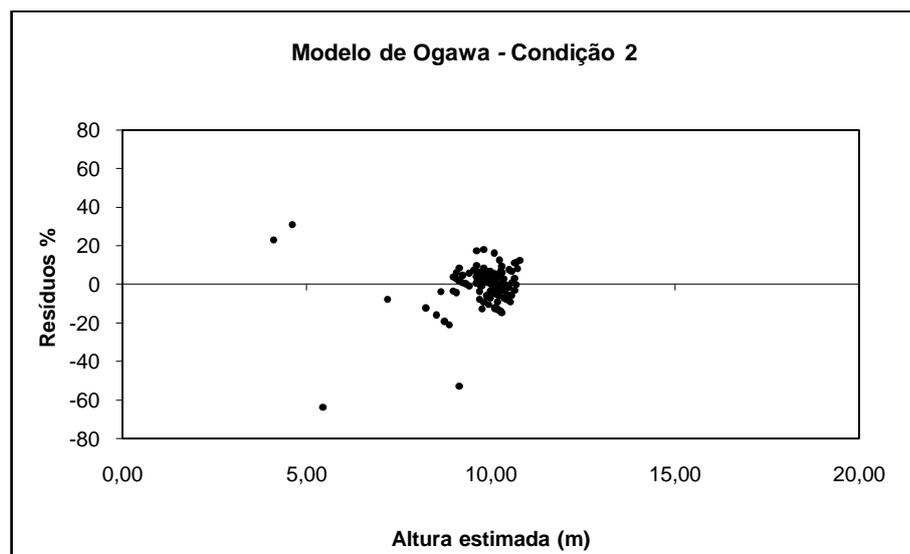


GRÁFICO 6 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DAS ALTURAS ESTIMADAS PELO MODELO OGAWA - CONDIÇÃO 2

FONTE: O autor (2008)

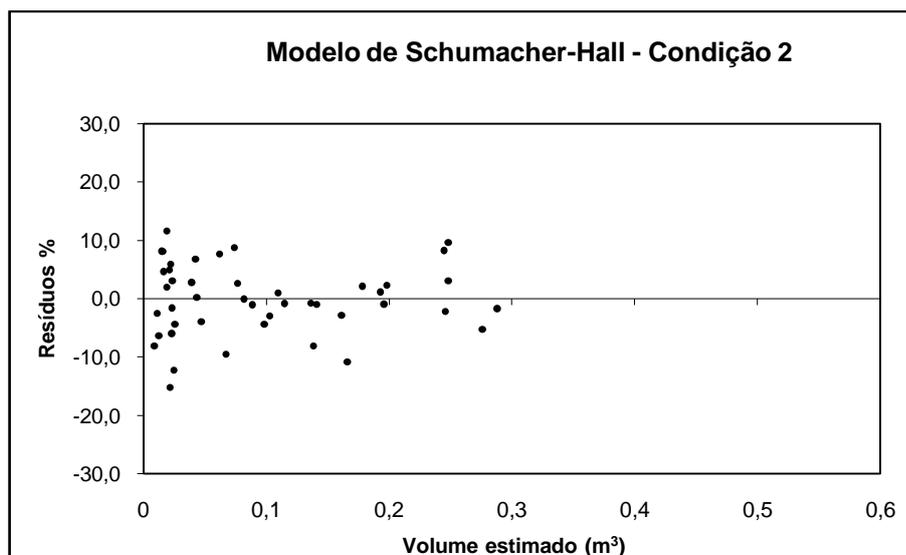


GRÁFICO 7 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS PELO MODELO SCHUMACHER-HALL, COM CASCA - CONDIÇÃO 2

FONTE: O autor (2008)

Condição 3

O melhor modelo hipsométrico foi o de Trorey e o melhor modelo volumétrico foi o Schumacher-Hall. Os coeficientes dos ajustes e estatísticas de precisão para os modelos selecionados são apresentados na Tabela 8.

Equação hipsométrica para altura total (Modelo de Trorey)

$$\hat{h}_i = 9,81650 - 0,06225 \cdot DAP_i + 0,00778 \cdot DAP_i^2$$

Equação de volume total, com casca, árvore individual (Modelo de Schumacher-Hall)

$$\ln \hat{v}_i = -9,58424 + 1,90806 \cdot \ln DAP_i + 0,86390 \cdot \ln h_i$$

TABELA 8 - COEFICIENTES DOS AJUSTES E ESTATÍSTICAS DE PRECISÃO PARA OS MODELOS HIPSMÉTRICO E VOLUMÉTRICO SELECIONADOS PARA A CONDIÇÃO 3

Modelo hipsométrico de Trorey					
Coeficientes			R ² ajustado	Syx (m) corrigido	Syx % corrigido
b ₀	b ₁	b ₂			
9,81650	-0,06225	0,00778	0,55987	0,48716	4,51208

continua

Modelo volumétrico de Schumacher-Hall					
Coeficientes			R^2 ajustado	Syx (m^3) corrigido	Syx % corrigido
b_0	b_1	b_2			
-9,584241	1,90806	0,86390	0,99742	0,00690	6,60722

FONTE: O autor (2008)

Os Gráficos 8 e 9 apresentam a análise gráfica de resíduos para os modelos ajustados de altura e volume para a condição 3.

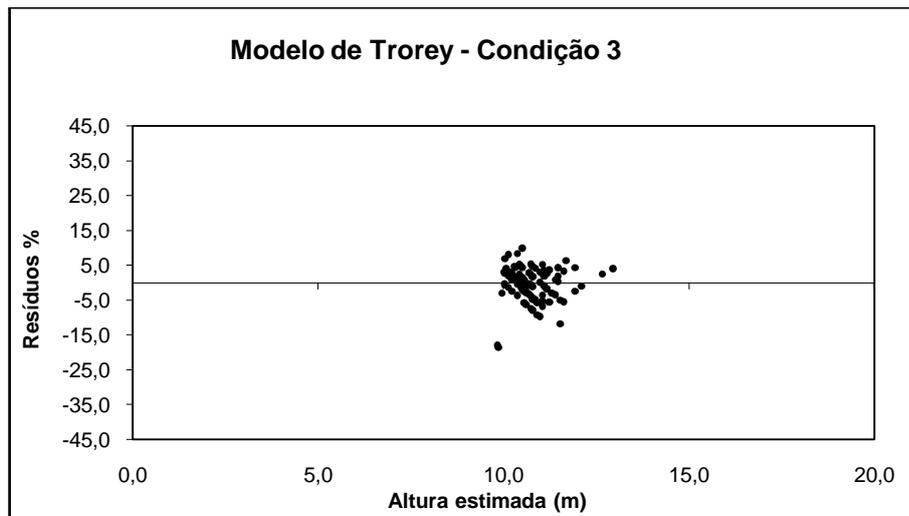


GRÁFICO 8 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DAS ALTURAS ESTIMADAS-MODELO OGAWA - CONDIÇÃO 3

FONTE: O autor (2008)

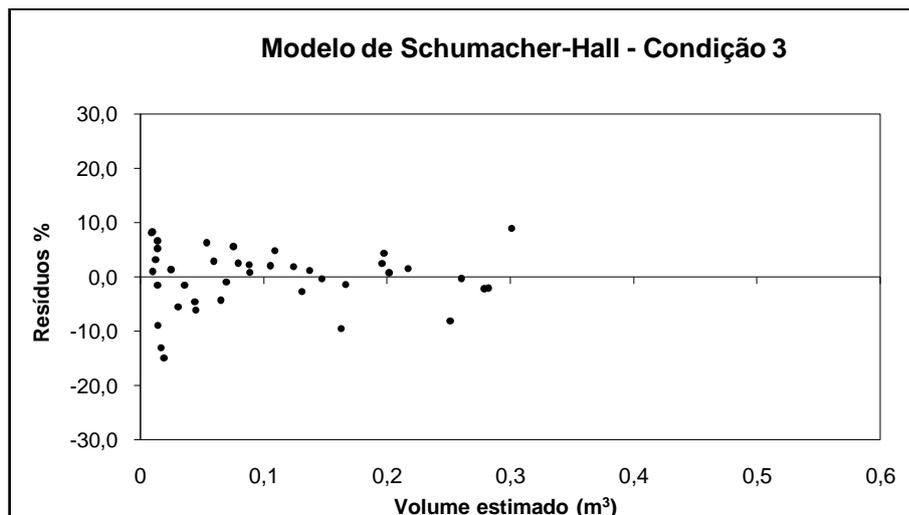


GRÁFICO 9 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS, COM CASCA, PELO MODELO DE SCHUMACHER-HALL- CONDIÇÃO 3

FONTE: O autor (2008)

5.1.2 Estimativa das variáveis obtidas em cada condição

A área experimental do estudo, somando-se as três condições, é de 126,48 ha, onde foram mensuradas 9.443 árvores em 300 unidades amostrais. Para os métodos PB e de área fixa com PC, instalaram-se 40 unidades amostrais e para o método de área fixa com CC e com CL foram 10 unidades amostrais, sendo que, em termos de área amostrada, os valores se aproximam.

O número de árvores amostradas em cada unidade amostral e em cada método e suas variações estruturais é apresentado na Tabela 9.

De acordo com Nakajima (1997), o tamanho das unidades amostrais deve ser ajustado de forma que cada método contenha na amostra, em média, um mesmo número de árvores (TABELA 9).

Em média, para cada condição, foram amostradas 22, 19 e 18 árvores por unidade amostral, sendo que no método de amostragem por Pontos de Bitterlich (PB) esse número foi um pouco menor em todas as condições devido à dificuldade de ajuste do FAB. A variação do número de árvores de uma unidade amostral para outra também foi influenciada pela mortalidade e falhas no povoamento.

TABELA 9 - NÚMERO DE ÁRVORES AMOSTRADAS POR UNIDADE AMOSTRAL, MÉTODOS E SUAS VARIAÇÕES ESTRUTURAIS PARA CADA CONDIÇÃO

Unidade amostral	Condição 1 = 10 anos				Condição 2 = 7 anos				Condição 3 = 9 anos			
	PB	PC	CC	CL	PB	PC	CC	CL	PB	PC	CC	CL
1	20	23	93	91	17	18	75	74	19	20	70	74
2	17	22	95	94	19	20	77	79	17	18	77	74
3	18	22	85	96	19	19	71	77	16	19	72	72
4	21	22	92	88	19	20	81	82	19	18	78	73
5	21	22	94	100	20	20	73	75	16	18	66	71
6	20	24	86	98	19	21	78	75	16	18	70	71
7	22	22	92	102	18	20	79	75	20	17	69	72
8	23	24	90	88	20	18	73	74	18	18	75	75
9	22	24	102	88	18	19	67	70	15	18	81	77
10	21	23	87	93	16	19	74	79	17	18	73	80
11	19	23			18	19			15	16		
12	20	25			20	19			18	19		
13	19	21			17	16			18	18		
14	21	20			18	21			16	20		
15	19	22			19	21			18	18		
16	21	24			15	20			18	20		
17	18	22			16	17			15	17		
18	18	24			20	23			16	18		
19	21	23			18	19			14	16		
20	20	24			18	20			17	18		

continua

Unidade amostral	Condição 1 = 10 anos				Condição 2 = 7 anos				Condição 3 = 9 anos			
	PB	PC	CC	CL	PB	PC	CC	CL	PB	PC	CC	CL
21	21	25			21	19			15	19		
22	20	25			19	18			15	19		
23	18	23			15	19			14	17		
24	18	23			17	23			16	18		
25	21	26			16	19			14	19		
26	22	24			18	18			16	19		
27	19	24			17	18			17	18		
28	18	25			15	16			17	19		
29	16	22			18	16			14	18		
30	18	24			17	19			18	19		
31	20	21			20	22			14	18		
32	21	23			17	20			16	19		
33	25	25			20	21			20	18		
34	24	25			17	21			14	20		
35	22	22			18	19			19	20		
36	25	23			18	18			17	20		
37	18	25			16	19			14	18		
38	18	22			16	19			16	17		
39	18	23			17	22			16	19		
40	20	21			17	17			20	20		
Soma	803	927	916	938	713	772	748	760	660	736	731	739
Média	20	23	23	23	18	19	19	19	17	18	18	18

FONTE: O autor (2008)

Ressalta-se, que para o método de área fixa com CC e CL a média foi obtida somando-se todas as árvores medidas nas 10 unidades amostrais de cada estrutura e dividindo-se tal soma pelo número de subunidades de cada estrutura.

5.1.3 Estimativa das variáveis pelos métodos PB e de área fixa com PC, CC e CL

A Tabela 10 apresenta a estimativa da variável DAP médio (cm), número de árvores (N/ha), área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha) para ambos os métodos de amostragem e suas variações estruturais em cada condição

TABELA 10 - ESTIMATIVA DA VARIÁVEL DAP médio (cm), NÚMERO DE ÁRVORES (N/ha), ÁREA BASAL (m²/ha) E VOLUME TOTAL (m³/ha) EM CADA CONDIÇÃO

Variáveis	Condição 1 = 10 anos			
	PB	PC	CC	CL
DAP médio (cm)	17,1	16,6	16,5	16,5
Número médio de árvores (N/ha)	1.723	1.619	1.600	1.638
Área basal média (m ² /ha)	40,15	36,94	36,24	36,89
Volume médio (m ³ /ha)	261,33	237,24	231,87	235,04

continua

Variáveis	Condição 2 = 7 anos			
	PB	PC	CC	CL
DAP médio (cm)	15,9	16,0	16,0	16,1
Número médio de árvores (N/ha)	1.768	1.924	1.865	1.895
Área basal média (m ² /ha)	35,65	40,15	38,90	39,72
Volume médio (m ³ /ha)	169,94	191,96	185,78	189,84

Variáveis	Condição 3 = 9 anos			
	PB	PC	CC	CL
DAP médio (cm)	15,2	15,3	15,1	15,3
Número médio de árvores (N/ha)	1.764	1.868	1.855	1.875
Área basal média (m ² /ha)	33,00	35,90	34,76	35,72
Volume médio (m ³ /ha)	176,44	192,56	185,88	191,17

FONTE: O autor (2008)

Além da precisão dos métodos e suas estruturas, a estimativa da variável volume depende também da precisão da equação de altura e volume utilizada. Mas o fato de terem sido utilizadas as mesmas equações de altura e volume para ambos os métodos e suas variações estruturais não influenciará os resultados desta pesquisa.

5.1.3.1 Análise estatística da estimativa da variável DAP médio (cm)

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável DAP médio (cm) para ambos os métodos de amostragem e suas variações estruturais. A Tabela 11 apresenta a análise estatística da estimativa do DAP médio (cm) para cada condição.

TABELA 11 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE DAP MÉDIO (CM) PARA CADA CONDIÇÃO

Estatísticas	Condição 1 = 10 anos			
	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
DAP médio (cm)	17,1	16,6	16,5	16,5
Desvio padrão (cm)	±1,29	±0,89	±1,02	±0,96
Erro padrão (cm)	±0,20	±0,14	±0,26	±0,22
Coefficiente de variação (%)	7,58	5,34	6,17	5,84
Erro de amostragem relativo (%)	±2,42	±1,71	±3,20	±2,75
Intervalo de confiança (cm)	±0,41	±0,28	±0,53	±0,45
Intensidade amostral experimental	40	40	10	10

continua

Condição 2 = 7 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
DAP médio (cm)	15,9	16,0	16,0	16,0
Desvio padrão (cm)	±1,34	±0,96	±0,93	±0,88
Erro padrão (cm)	±0,21	±0,15	±0,24	±0,21
Coeficiente de variação (%)	8,40	5,98	5,83	5,47
Erro de amostragem relativo (%)	±2,69	±1,91	±3,08	±2,61
Intervalo de confiança (cm)	±0,43	±0,31	±0,49	±0,42
Intensidade amostral experimental	40	40	10	10

Condição 3 = 9 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
DAP médio (cm)	15,2	15,3	15,1	15,3
Desvio padrão (cm)	±0,91	±0,87	±0,89	±0,84
Erro padrão (cm)	±0,14	±0,14	±0,22	±0,15
Coeficiente de variação (%)	5,96	5,65	5,91	5,51
Erro de amostragem relativo (%)	±1,90	±1,81	±2,89	±2,00
Intervalo de confiança (cm)	±0,29	±0,28	±0,44	±0,31
Intensidade amostral experimental	40	40	10	10

FONTE: O autor (2008)

Condição 1

- Na Condição 1, na estimativa do DAP médio (cm), o menor erro de amostragem foi para o método de área fixa com Parcela Circular (PC), seguido do método por Pontos de Bitterlich (PB), Conglomerado em Linha (CL) e, por último, o Conglomerado em Cruz (CC).

Condição 2

- Na Condição 2, na estimativa do DAP médio (cm), o menor erro de amostragem foi para o método de área fixa com Parcela Circular (PC), seguido do Conglomerado em Linha (CL), método por Pontos de Bitterlich e, por último, o Conglomerado em Cruz (CC).

Condição 3

- Na Condição 3, na estimativa do DAP médio (cm), o menor erro de amostragem foi para o método de área fixa com Parcela Circular (PC), seguido do método por Pontos de Bitterlich, Conglomerado em Linha e, por último, o Conglomerado em Cruz (CC).

5.1.3.2 Análise estatística da estimativa de número de árvores (N/ha)

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável número de árvores (N/ha). A Tabela 12 apresenta a análise estatística da estimativa desta variável para cada condição.

TABELA 12 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE NÚMERO DE ÁRVORES (N/ha) PARA CADA CONDIÇÃO

Condição 1 = 10 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
Número médio árvores (N/ha)	1.723	1.619	1.600	1.638
Desvio padrão (N/ha)	±306,55	±97,38	±133,12	±130,00
Erro padrão (N/ha)	±48,47	±15,40	±27,70	±28,38
Coeficiente de variação (%)	17,79	6,01	8,32	7,94
Erro de amostragem relativo (%)	±5,69	±1,92	±3,50	±3,50
Intervalo de confiança (N/ha)	±98,04	±31,14	±56,03	±57,40
Intensidade amostral experimental	40	40	10	10
Condição 2 = 7 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
Número médio árvores (N/ha)	1.768	1.924	1.865	1.895
Desvio padrão	±310,71	±170,78	±182,96	±204,48
Erro padrão	±49,13	±27,00	±32,57	±26,54
Coeficiente de variação	17,57	8,87	9,81	10,79
Erro de amostragem relativo	±5,62	±2,84	±3,53	±2,83
Intervalo de confiança	± 99,37	± 54,62	± 65,87	± 53,68
Intensidade amostral experimental	40	40	10	10
Condição 3 = 9 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
Número médio árvores (N/ha)	1.764	1.868	1.855	1.875
Desvio padrão	±280,84	±107,32	±203,85	±174,34
Erro padrão	±44,41	±16,97	±37,15	±22,84
Coeficiente de variação	15,92	5,75	10,99	9,30
Erro de amostragem relativo	±5,09	±1,84	±4,05	±2,46
Intervalo de confiança	±89,82	±34,32	±75,14	±46,19
Intensidade amostral experimental	40	40	10	10

FONTE: O autor (2008)

Condição 1

- Na Condição 1, na estimativa do número de árvores (N/ha), o menor erro de amostragem foi para o método de área fixa com Parcela Circular (PC), seguido do Conglomerado em Linha (CL) e Conglomerado em Cruz (CC), com o mesmo resultado e, por último, o método por Ponto de Bitterlich (PB).

Condição 2

- Na Condição 2, na estimativa do número de árvores (N/ha), o menor erro de amostragem foi para o método de Conglomerado em Linha (CL), seguido do método de área fixa com Parcela Circular (PC), com Conglomerado em Cruz (CC) e, por último, do método de amostragem por Ponto de Bitterlich (PB).

Condição 3

- Na Condição 3, na estimativa do número de árvores (N/ha), o menor erro de amostragem foi para o método de área fixa com Parcela Circular (PC), seguido do Conglomerado em Linha (CL), Conglomerado em Cruz (CC) e, por último, o método por Ponto de Bitterlich (PB).

5.1.3.3 Análise estatística da estimativa de área basal (m²/ha)

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável área basal (m²/ha). A Tabela 13 apresenta a análise estatística da estimativa desta variável para cada condição.

TABELA 13 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE ÁREA BASAL (m²/ha) PARA CADA UMA DAS CONDIÇÕES

Condição 1 = 10 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
Área basal média (m ² /ha)	40,15	36,94	36,24	36,89
Desvio padrão(m ² /ha)	±4,16	±3,54	±5,24	±4,84
Erro padrão(m ² /ha)	±0,66	±0,56	±1,36	±1,20
Coeficiente de variação(%)	10,36	9,60	14,47	13,11
Erro de amostragem relativo(%)	±3,31	±3,07	±7,57	±6,57
Intervalo de confiança(m ² /ha)	±1,33	±1,13	±2,74	±2,43
Intensidade amostral	40	40	10	10
Condição 2 = 7 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
Área basal média (m ² /ha)	35,65	40,15	38,90	39,72
Desvio padrão(m ² /ha)	±3,10	±5,02	±4,22	±3,49
Erro padrão(m ² /ha)	±0,49	±0,79	±0,76	±0,50
Coeficiente de variação(%)	8,70	12,51	10,84	8,78
Erro de amostragem relativo(%)	±2,78	±4,00	±3,94	±2,56
Intervalo de confiança(m ² /ha)	±0,99	±1,61	±1,53	±1,02
Intensidade amostral	40	40	10	10

Condição 3 = 9 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
Área basal média (m ² /ha)	33,00	35,90	34,76	35,72
Desvio padrão(m ² /ha)	±3,62	±4,05	±4,03	±4,23
Erro padrão(m ² /ha)	±0,57	±0,64	±0,74	±0,71
Coefficiente de variação(%)	10,98	11,27	11,59	11,84
Erro de amostragem relativo(%)	±3,51	±3,61	±4,28	±4,01
Intervalo de confiança (m ² /ha)	±1,16	±1,29	±1,49	±1,43
Intensidade amostral	40	40	10	10

FONTE: O autor (2008)

Condição 1

- Na estimativa da área basal (m²/ha), o menor erro de amostragem foi para o método de área fixa com Parcela Circular (PC), seguido do método de amostragem por Ponto de Bitterlich (PB), Conglomerado em Linha (CL) e Conglomerado em Cruz (CC).

Condição 2

- Na Condição 2, na estimativa da área basal (m²/ha), o menor erro de amostragem foi para o método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL), seguido do método por Ponto de Bitterlich (PB), Conglomerado em Cruz (CC) e, por último, a Parcela Circular (PC).

Condição 3

- Na Condição 3, na estimativa da área basal (m²/ha), o menor erro de amostragem foi para o método Ponto de Bitterlich (PB), seguido do método de área fixa com Parcela Circular (PC), Conglomerado em Linha (CL) e, por último, o Conglomerado em Cruz (CC).

5.1.3.4 Análise estatística da estimativa de volume (m³/ha)

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável volume total (m³/ha). A Tabela 14 apresenta a análise estatística da estimativa desta variável para cada condição.

TABELA 14 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE VOLUME TOTAL (m³/ha) PARA CADA UMA DAS CONDIÇÕES

Condição 1 = 10 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
Volume médio (m ³ /ha)	261,33	237,24	231,87	235,04
Desvio padrão (m ³ /ha)	±31,41	±26,93	±38,43	±35,74
Erro padrão (m ³ /ha)	±4,97	±4,26	±10,04	±8,99
Coeficiente de variação (%)	12,02	11,35	16,58	15,21
Erro de amostragem relativo (%)	±3,84	±3,63	±8,76	±7,74
Intervalo de confiança (m ³ /ha)	±10,05	±8,61	±20,32	±18,19
Intensidade amostral	40	40	10	10
Condição 2 = 7 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
Volume médio (m ³ /ha)	169,94	191,96	185,78	189,84
Desvio padrão (m ³ /ha)	±15,48	±26,67	±22,37	±18,20
Erro padrão (m ³ /ha)	±2,45	±4,22	±4,35	±3,06
Coeficiente de variação (%)	9,11	13,89	12,04	9,59
Erro de amostragem relativo (%)	±2,91	±4,44	±4,73	±3,27
Intervalo de confiança (m ³ /ha)	±4,95	±8,53	±8,79	±6,20
Intensidade amostral	40	40	10	10
Condição 3 = 9 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
Volume médio (m ³ /ha)	176,44	192,56	185,88	191,17
Desvio padrão (m ³ /ha)	±19,26	±23,05	±22,23	±23,61
Erro padrão (m ³ /ha)	±3,05	±3,64	±4,20	±4,04
Coeficiente de variação (%)	10,92	11,97	11,96	12,35
Erro de amostragem relativo (%)	±3,49	±3,83	±4,57	±4,28
Intervalo de confiança (m ³ /ha)	±6,16	±7,37	±8,50	±8,17
Intensidade amostral experimental	40	40	10	10

FONTE: O autor (2008)

Condição 1

- Na Condição 1, na estimativa do volume total (m³/ha), o menor erro de amostragem foi para o método de área fixa com Parcela Circular (PC), seguido do método por Ponto de Bitterlich (PB), Conglomerado em Linha (CL) e, por último, o Conglomerado em Cruz (CC).

Condição 2

- Na Condição 2, na estimativa do volume total (m³/ha), o menor erro de amostragem foi para o método de amostragem por Ponto de Bitterlich (PB), seguido pelo método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL), Parcela Circular (PC) e, por último, do Conglomerado em Cruz (CC).

Condição 3

- Na Condição 3, na estimativa do volume total (m³/ha), o menor erro de amostragem foi para o método Ponto de Bitterlich (PB), seguido do método de área fixa com Parcela Circular (PC), Conglomerado em Linha (CL) e Conglomerado em Cruz (CC).

5.1.3.5 Teste t de Student para as estimativas das variáveis

Segundo Banzatto e Kronka (1992), esse teste serve para confrontar médias ou grupos de médias e se utiliza de contrastes de médias. A Tabela 15 apresenta os resultados do Teste *t* de Student, das variáveis analisadas e para ambos os métodos e suas estruturas.

TABELA 15 - TESTE *T* DE STUDENT PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS PARA CADA UMA DAS CONDIÇÕES

Condição 1 = 10 anos						
Variáveis	Métodos					
	PB vs. PC	PB vs. CC	PB vs. CL	PC vs. CC	PC vs. CL	CC vs. CL
DAP médio (cm)	2.02*	1,58 ^{ns}	1,64 ^{ns}	0.28 ^{ns}	0.30 ^{ns}	0.05 ^{ns}
N/ha	2.04*	1.91 ^{ns}	1.34 ^{ns}	0.42 ^{ns}	0.43 ^{ns}	0.64 ^{ns}
G/ha	3.71**	2.19*	1.96 ^{ns}	0.40 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.29 ^{ns}
V/ha	3.68**	2.24*	2.13*	0.42 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.19 ^{ns}
Condição 2 = 7 anos						
Variáveis	Métodos					
	PB vs. PC	PB vs. CC	PB vs. CL	PC vs. CC	PC vs. CL	CC vs. CL
DAP médio (cm)	0.38 ^{ns}	0.28 ^{ns}	0.57 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.32 ^{ns}	0.25 ^{ns}
N/ha	2.78**	1.28 ^{ns}	1.57 ^{ns}	0.92 ^{ns}	0.42 ^{ns}	0.34 ^{ns}
G/ha	4.82**	2.28*	3.37**	0.81 ^{ns}	0.32 ^{ns}	0.47 ^{ns}
V/ha	4.52**	2.12*	3.18**	0.75 ^{ns}	0.30 ^{ns}	0.45 ^{ns}
Condição 3 = 9 anos						
Variáveis	Métodos					
	PB vs. PC	PB vs. CC	PB vs. CL	PC vs. CC	PC vs. CL	CC vs. CL
DAP médio (cm)	0.50 ^{ns}	0.32 ^{ns}	0.33 ^{ns}	0.64 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.52 ^{ns}
N/ha	2.19*	1.16 ^{ns}	1.57 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.24 ^{ns}
G/ha	3.38**	1.26 ^{ns}	1.87 ^{ns}	0.80 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.52 ^{ns}
V/ha	3.39**	1.23 ^{ns}	1.83 ^{ns}	0.84 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.52 ^{ns}

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$);

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0.01 \leq p < 0.05$);

ns - não significativo ($p \geq 0.05$).

vs.- versus.

FONTE: O autor (2008)

Condição 1

- Para a variável estimada DAP médio (cm) e número de árvores (N/ha), o Teste *t* de Student revelou que existe diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade apenas entre PB vs. PC.
- Para a variável estimada área basal (m^2/ha) e volume total (m^3/ha), o Teste *t* de Student revelou que existe diferença significativa entre o PB vs. PC ao nível de 1% de probabilidade e diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre os métodos PB vs. CC para a variável estimada área basal (m^2/ha) e entre os métodos PB vs. CC e PB vs. CL para a variável estimada volume (m^3/ha).

Condição 2

- Para a variável estimada DAP médio (cm), o Teste *t* de Student revelou que não existem diferenças significativas entre os métodos PB e os de área fixa com PC, CC e CL.
- Para a variável estimada número de árvores (N/ha), o Teste *t* de Student revelou que existe diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade apenas entre PB vs. PC.
- Para as variáveis estimadas área basal (m^2/ha) e volume (m^3/ha), o Teste *t* de Student revelou que existe diferença significativa entre o método PB vs. PC e PB vs. CL ao nível de 1% de probabilidade e entre PB vs. CC ao nível de 5% de probabilidade.

Condição 3

- Para a variável estimada DAP médio (cm), o Teste *t* de Student revelou que não existem diferenças significativas entre o método PB e os de área fixa com PC, com CC e com CL.
- Para a variável estimada número de árvores (N/ha), o Teste *t* de Student revelou que existe diferença ao nível de 5% de probabilidade apenas entre o método PB vs. PC.
- Para as variáveis estimadas área basal (m^2/ha) e volume total (m^3/ha), o Teste *t* de Student revelou que existe diferença significativa apenas entre o método PB vs. PC ao nível de 1% de probabilidade.

5.1.3.6 Classificação dos métodos e estruturas com base no erro de amostragem

A classificação dos métodos de amostragem PB e de área fixa com PC, CC e CL, quanto à precisão nas estimativas das variáveis, é apresentada na Tabela 16.

TABELA 16 - CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS COM BASE NO ERRO DE AMOSTRAGEM

Condição 1 = 10 anos				
Variáveis	Classificação / Método			
	1º Lugar	2º Lugar	3º Lugar	4º Lugar
DAP médio (cm)	PC	PB	CL	CC
Número médio de árvores (N/ha)	PC	CC / CL	PB	-
Área basal média (m ² /ha)	PC	PB	CL	CC
Volume médio (m ³ /ha)	PC	PB	CL	CC
Condição 2 = 7 anos				
Variáveis	Classificação / Método			
	1º Lugar	2º Lugar	3º Lugar	4º Lugar
DAP médio (cm)	PC	CL	PB	CC
Número médio de árvores (N/ha)	CL	PC	CC	PB
Área basal média (m ² /ha)	CL	PB	CC	PC
Volume médio (m ³ /ha)	PB	CL	PC	CC
Condição 3 = 9 anos				
Variáveis	Classificação / Método			
	1º Lugar	2º Lugar	3º Lugar	4º Lugar
DAP médio (cm)	PC	PB	CL	CC
Número médio de árvores (N/ha)	PC	CL	CC	PB
Área basal média (m ² /ha)	PB	PC	CL	CC
Volume médio (m ³ /ha)	PB	PC	CL	CC

FONTE: O autor (2008)

Com base no erro de amostragem do método PB e do método de área fixa com PC, CC e CL testados, a classificação ficou na seguinte ordem:

Condição 1

- Para a estimativa do DAP médio (cm), a maior precisão foi para o método de área fixa com Parcela Circular (PC), seguido pelo método por Ponto de Bitterlich (PB), Conglomerado em Linha (CL) e Conglomerado em Cruz (CC).
- Para a estimativa do número de árvores (N/ha), a maior precisão foi para o método de área fixa com Parcela Circular (PC), seguido pelo Conglomerado em Cruz (CC) e Conglomerado em Linha (CL) (empataram em 2º Lugar) e, por último, para o método de amostragem por Ponto de Bitterlich (PB).

- Para a estimativa da área basal (m^2/ha) e volume total (m^3/ha), a maior precisão foi para o método de amostragem de área fixa com Parcela Circular (PC), seguido do método por Ponto de Bitterlich (PB), Conglomerado em Linha (CL) e Conglomerado Cruz (CC).

Condição 2

- Para a estimativa do DAP médio (cm), a maior precisão foi para o método de área fixa com Parcela Circular (PC), seguido do método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL), método por Ponto de Bitterlich (PB) e, em último, o Conglomerado em Cruz (CC).
- Para a estimativa do número de árvores (N/ha), a maior precisão foi para o método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL), seguido pela Parcela Circular (PC), Conglomerado em Cruz (CC) e, por último, método de amostragem por Ponto de Bitterlich (PB).
- Para a estimativa da área basal (m^2/ha), a maior precisão foi para o método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL), seguido do método por Ponto de Bitterlich (PB), Conglomerado em Cruz (CC) e, por último, a Parcela Circular (PC).
- Para a estimativa do volume total (m^3/ha), a maior precisão foi para o método por Ponto de Bitterlich (PB), seguido do método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL), Parcela Circular (PC) e Conglomerado em Cruz (CC).

Condição 3

- Para a estimativa do DAP médio (cm), a maior precisão foi para o método de área fixa com Parcela Circular (PC), seguido do método por Ponto de Bitterlich (PB), Conglomerado em Linha (CL) e, por último, o Conglomerado em Cruz (CC).
- Para a estimativa do número de árvores (N/ha), a maior precisão foi para o método de área fixa com Parcela Circular (PC), seguido do Conglomerado em Linha (CL), Conglomerado em Cruz (CC) e, por último, do método por Ponto de Bitterlich (PB).
- Para a estimativa da área basal (m^2/ha) e do volume total (m^3/ha), a maior precisão foi para o método por Ponto de Bitterlich (PB), seguido do método de

área fixa com Parcela Circular (PC), Conglomerado em Linha (CL) e Conglomerado em Cruz (CC).

5.1.3.7 Análise da eficiência relativa

A análise da eficiência relativa teve como objetivo comparar os métodos de amostragem PB e de área fixa com PC, CC e CL simultaneamente, através do inverso dos produtos dos quadrados dos coeficientes de variação pelos respectivos tempos de medição. A Tabela 17 apresenta a eficiência relativa para as estimativas das variáveis.

TABELA 17 - EFICIÊNCIA RELATIVA COMPARADA PARA CADA CONDIÇÃO

Condição 1 = 10 anos									
Método	Tempo (minutos)	DAP médio (cm)		Nº de árvores (N/ha)		Área basal (m ² /ha)		Volume (m ³ /ha)	
		cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER
PB	93,88	7,58	1,86	17,79	0,34	10,36	0,99	12,02	0,74
PC	103,36	5,34	3,39	6,01	2,67	9,60	1,05	11,35	0,75
CC	141,33	6,17	1,86	8,32	1,02	14,47	0,34	16,58	0,26
CL	141,52	5,84	2,07	7,94	1,12	13,11	0,41	15,21	0,31
Condição 2 = 7 anos									
Método	Tempo (minutos)	DAP médio (cm)		Nº de árvores (N/ha)		Área basal (m ² /ha)		Volume (m ³ /ha)	
		cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER
PB	74,36	8,40	1,91	17,57	0,44	8,70	1,78	9,11	1,62
PC	67,12	5,98	4,17	8,87	1,89	12,51	0,95	13,89	0,77
CC	103,11	5,83	2,85	9,81	1,01	10,84	0,83	12,04	0,67
CL	106,05	5,47	3,15	10,79	0,81	8,78	1,22	9,59	1,03
Condição 3 = 9 anos									
Método	Tempo (minutos)	DAP médio (cm)		Nº de árvores (N/ha)		Área basal (m ² /ha)		Volume (m ³ /ha)	
		cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER
PB	71,58	5,96	3,94	15,92	0,55	10,98	1,16	10,92	1,17
PC	69,40	5,65	4,51	5,75	4,36	11,27	1,13	11,97	1,01
CC	111,60	5,91	2,57	10,99	0,74	11,59	0,67	11,96	0,63
CL	115,60	5,51	2,85	9,30	1,00	11,84	0,62	12,35	0,57

FONTE: O autor (2008)

Com base no coeficiente de variação e tempo total dos métodos PB e de área fixa com PC, CC e CL, a eficiência relativa foi a seguinte:

Condição 1

- Na estimativa do DAP médio (cm), o método de área fixa com Parcela Circular (PC) foi o mais eficiente, seguido do Conglomerado em Linha (CL) e, na terceira colocação, o método de área fixa com Conglomerado em Cruz e o método por Ponto de Bitterlich (PB).
- Na estimativa do número de árvores (N/ha), o método de área fixa com Parcela Circular (PC) foi o mais eficiente. Na sequência, estão os métodos de área fixa com Conglomerado em Linha (CL) e Conglomerado em Cruz (CC) e, por último, o método por Ponto de Bitterlich (PB).
- Na estimativa da área basal (m^2/ha) e volume total (m^3/ha), o método de área fixa com Parcela Circular (PC) foi o mais eficiente, seguido do método de amostragem por Ponto de Bitterlich (PB), método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL) e, por último, o método de área fixa com Conglomerado em Cruz (CC).

Condição 2

- Na estimativa do DAP médio, o método de área fixa com Parcela Circular (PC) foi o mais eficiente, seguido do método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL), com Conglomerado em Cruz (CC) e, por último, do método por Ponto de Bitterlich (PB).
- Na estimativa do número de árvores (N/ha), o método de área fixa com Parcela Circular (PC) foi o mais eficiente. Na sequência, vem o método de área fixa com Conglomerado em Cruz (CC), Conglomerado em Linha (CL) e o método de amostragem por Ponto de Bitterlich (PB).
- Na estimativa da área basal (m^2/ha) e volume total (m^3/ha), o método por Ponto de Bitterlich (PB) foi o mais eficiente e, na sequência, está o método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL), Parcela Circular (PC) e Conglomerado em Cruz (CC).

Condição 3

- Na estimativa do DAP médio (cm), o método de área fixa com Parcela Circular (PC) foi o mais eficiente, seguido do método por Ponto de Bitterlich (PB) e dos de área fixa com Conglomerado em Linha (CL) e Conglomerado em Cruz (CC).

- Na estimativa do número de árvores (N/ha), o método de área fixa com Parcela Circular (PC) foi o mais eficiente. Na sequência, estão as estruturas do método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL) e Conglomerado em Cruz (CC) e, por último, o método por Ponto de Bitterlich (PB).
- Na estimativa da área basal (m^2/ha) e volume total (m^3/ha), a eficiência segue como método por Ponto de Bitterlich (PB), método de área fixa com Parcela Circular (PC), Conglomerado em Cruz (CC) e com Conglomerado em Linha (CL).

5.1.4 Comparação simultânea das três condições através do delineamento casualizado em blocos

Para esta análise, o delineamento experimental utilizado foi o casualizado em blocos com repetições, uma vez que a topografia foi um diferencial, onde cada condição foi considerada como um bloco. Em todas as condições, foram verificadas a homocedasticidade ou homogeneidade de variância, seguida de uma análise de variância (ANOVA) e, por fim, caso necessário, o teste de contraste de médias de Tukey. Todas as análises foram efetuadas ao nível de 5% de probabilidade. Para essas análises, utilizou-se o software ASSISTAT, versão 7.5 Beta (ASSISTAT, 2008).

5.1.4.1 Teste de Tukey para o erro de amostragem e eficiência relativa na estimativa das variáveis, considerando-se as três condições simultaneamente

As variâncias dos erros de amostragem e eficiência relativa foram homogêneas ao nível de 5% de probabilidade através do Teste de Bartlett para todas as variáveis.

Na análise de variância (ANOVA), tanto para o erro de amostragem quanto para a eficiência relativa, o teste F para blocos foi não significativo, ou seja, os blocos não influem na estimativa das variáveis analisadas, isto é, possuem efeitos semelhantes.

DAP médio (cm)

A análise de variância mostrou que existem diferenças significativas entre pelo menos uma das médias dos tratamentos, tanto para o erro de amostragem, quanto para a eficiência relativa e, sendo assim, para se saber quais médias diferem entre si, procedeu-se ao Teste de Tukey (TABELA 18).

Para o erro de amostragem, em relação à estimativa do DAP médio (cm), o Teste de Tukey demonstrou que entre o CC e o CL não há diferença estatística, sendo o CC diferente do PB e PC. Já entre o CL e PB e entre o PB e PC não há diferença estatística, mas existe diferença entre PC e CL. Esta análise confirma a PC como mais precisa e mais indicada para a estimativa do DAP médio (cm), conforme verificado quando as condições foram analisadas em separado.

Para a eficiência relativa, conforme o Teste de Tukey, os únicos que diferem entre si são a PC e o CC. A PC é mais eficiente para a estimativa do DAP médio (cm), sendo essa eficiência relativa 36% maior, em média, sobre os demais. Este resultado vem confirmar o que foi verificado quando as condições foram analisadas em separado e a PC foi mais eficiente.

Número de árvores (N/ha)

A análise de variância mostrou que existem diferenças significativas para as médias dos tratamentos, tanto para o erro de amostragem, quanto para a eficiência relativa e, assim, para se saber quais médias diferem entre si, foi realizado o Teste de Tukey (TABELA 18).

Para o erro de amostragem, verifica-se que o PB difere estatisticamente dos demais, sendo que o CC e o CL não diferem entre si, o mesmo ocorrendo com CL e PC. Este resultado confirma a PC como a mais precisa na estimativa de número de árvores (N/ha), já que, como verificado quando as condições foram analisadas em separado, apesar de a PC e o CL apresentarem basicamente, a mesma precisão, quando analisadas em separado.

Para a eficiência relativa, verifica-se que a PC difere estatisticamente dos demais, fato que a qualifica como a mais eficiente para a estimativa de número de árvores (N/ha), sendo essa eficiência relativa 25% maior, em média, sobre os outros. A PC foi também mais eficiente para a estimativa de número de árvores nas três condições, quando analisadas em separado.

TABELA 18 - TESTE DE TUKEY PARA AS ESTIMATIVAS DAS VARIÁVEIS

DAP médio (cm)			
Método/Estrutura	Erro de amostragem	Método/Estrutura	Eficiência Relativa
PB	2,34 b c	PB	2,57 a b
PC	1,81 c	PC	4,02 a
CC	3,06 a	CC	2,43 b
CL	2,45 a b	CL	2,69 a b
DMS = 0,62		DMS = 1,56	
MG = 2,41	CV% = 9,03	MG = 2,93	CV% = 18,80
Número de árvores (N/ha)			
Método/Estrutura	Erro de amostragem	Método/Estrutura	Eficiência relativa
PB	5,47 a	PB	0,44 b
PC	2,20 c	PC	1,04 a b
CC	3,69 b	CC	0,92 b
CL	2,93 b c	CL	0,98 b
DMS = 0,93		DMS = 1,83	
MG = 3,57	CV% = 13,05	MG = 1,33	CV% = 48,74
Área basal (m²/ha)			
Método/Estrutura	Erro de amostragem	Método/Estrutura	Eficiência relativa
PB	3,20 a	PB	1,31 a
PC	3,56 a	PC	1,04 a b
CC	5,26 a	CC	0,61 b
CL	4,38 a	CL	0,75 a b
-	-	DMS = 0,67	
-	-	MG = 0,93	CV% = 25,56
Volume total (m³/ha)			
Método/Estrutura	Erro de amostragem	Método/Estrutura	Eficiência relativa
PB	3,41 a	PB	1,18 a
PC	3,97 a	PC	0,84 a b
CC	6,02 a	CC	0,52 b
CL	5,10 a	CL	0,64 a b
-	-	DMS = 0,60	
-	-	MG = 0,79	CV% = 26,54

MG= Média geral.

CV%= Coeficiente de variação em %.

DMS= Diferença mínima significativa.

FONTE: O autor (2008)

Área basal (m²/ha)

A análise de variância para o erro de amostragem mostrou que não há diferenças estatísticas entre as médias dos tratamentos, não se necessitando realizar o Teste de Tukey. O PB é o mais preciso na estimativa desta variável, conforme o erro de amostragem apresentado na Tabela 18, confirmando-se a tendência de ser o mais preciso como foi evidenciado quando as três condições foram analisadas em separado.

A análise de variância da eficiência relativa para a estimativa de área basal (m^2/ha) mostrou que existem diferenças estatísticas entre pelo menos uma das médias dos tratamentos e, para verificar quais médias diferem entre si, foi realizado o Teste de Tukey (TABELA 18). O teste revelou que apenas o PB e o CC diferem estatisticamente entre si, confirmando a tendência apresentada pelo PB, quando analisadas as três condições separadamente, de ser o método mais eficiente para a estimativa de área basal, sendo essa eficiência relativa 39% maior, em média, sobre os demais.

Para Nakajima (1997), pelo fato de no método por Ponto de Bitterlich (PB) a probabilidade de amostragem das árvores ser proporcional à área basal, na estimativa desta variável, este método tende a ser superior ao de área fixa.

Volume total (m^3/ha)

A análise de variância para o erro de amostragem mostrou que não há diferenças estatísticas entre as médias dos tratamentos, não se necessitando realizar o Teste de Tukey. O PB é o método mais preciso na estimativa desta variável, conforme o erro de amostragem apresentado na Tabela 18, confirmando-se a tendência de ser o método mais preciso, conforme evidenciado quando as três condições foram analisadas em separado.

A análise de variância da eficiência relativa na estimativa de volume (m^3/ha) mostrou que há diferenças estatísticas entre as médias dos tratamentos e, para se saber quais médias diferem entre si, foi realizado o Teste de Tukey (TABELA 18). O referido teste revelou que apenas o PB e o CC diferem estatisticamente entre si e confirmou a tendência que o PB apresentou, quando analisadas as três condições separadamente, de ser o método mais eficiente para a estimativa desta variável, sendo que, em média, a eficiência relativa foi 43% maior em relação aos demais.

Para Nakajima (1997), o método PB foi o que apresentou o menor erro de amostragem na estimativa da variável volume, fato confirmado nesta pesquisa.

5.2 INVENTÁRIO FLORESTAL DE 2011

5.2.1 Descrição das condições 1, 2 e 3

As condições 1, 2 e 3, no momento do segundo inventário florestal, com idades de 14, 11 e 13 anos, tinham sofrido um desbaste misto (FIGURA 14), ou seja, foi aplicado um desbaste seletivo e sistemático. O desbaste seletivo visou à retirada de árvores finas, tortas, bifurcadas ou mortas e que normalmente correspondem às árvores classificadas como oprimidas e dominadas, conforme observado na tabela 4 no 5.1.1. Já o desbaste sistemático visou à retirada de todas as árvores pertencentes a uma determinada linha do plantio, tanto finas, com defeitos ou árvores de qualidade, com o objetivo de escoar a madeira de dentro do talhão. Podemos dizer que o desbaste foi basicamente seletivo, porque foi retirada uma linha de plantio a cada quarenta linhas, o que corresponde a um peso de 2,5 %. É necessário dizer que as condições também sofreram uma segunda poda.

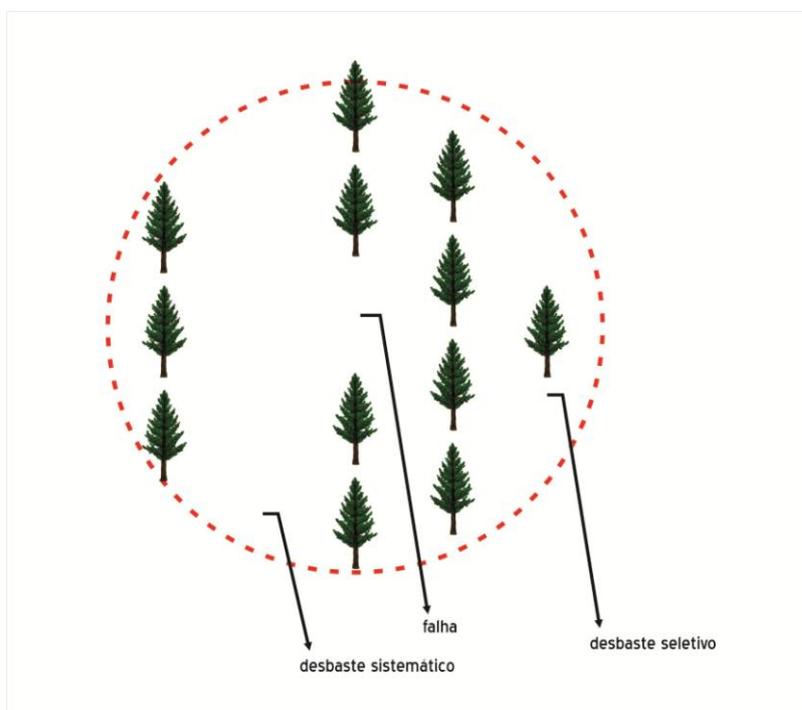


FIGURA 14 - DESBASTE MISTO REALIZADO NAS CONDIÇÕES 1, 2 E 3
FONTE: O autor (2014)

5.2.2 Estimativa da altura total

Foram ajustadas novas equações hipsométricas para o inventário florestal de 2011, porque as do inventário florestal do ano de 2007 não foram validadas pelo teste de aderência de Qui-quadrado. Desta forma, utilizou-se o hipsômetro de Blume-Leiss para medir 120 alturas aleatórias nas parcelas circulares em cada condição. Com isso, obteve-se um conjunto de dados de alturas das árvores mensuradas, com seus respectivos diâmetros e através do método de regressão linear (simples e múltipla) testaram-se alguns modelos hipsométricos (os mesmos testados na primeira ocasião) e as alturas das demais árvores das unidades amostrais foram estimadas em função dos diâmetros já mensurados, utilizando-se a equação com o melhor ajuste.

5.2.2.1 Equação hipsométrica

As alturas das árvores foram estimadas por meio dos seguintes modelos ajustados para cada uma das condições, as quais foram geradas com dados deste levantamento.

Condição 1

O melhor modelo hipsométrico foi o modelo de Ogawa. Os coeficientes dos ajustes e estatísticas de precisão para o modelo selecionado são apresentados na Tabela 19.

Equação hipsométrica para altura total (Modelo de Ogawa)

$$1/\hat{h}_i = 0,04070 + 0,36774 \cdot 1/DAP_i$$

TABELA 19 - COEFICIENTES DO AJUSTE E ESTATÍSTICAS DE PRECISÃO PARA O MODELO HIPNOMÉTRICO SELECIONADO PARA A CONDIÇÃO 1

Modelo hipsométrico de Ogawa					
Coeficientes			R ² ajustado	Syx (m) corrigido	Syx % corrigido
b ₀	b ₁	b ₂			
0,04070	0,36774	-	0,16595	1,38410	7,40

FONTE: O autor (2014)

O Gráfico 10 apresenta a análise gráfica de resíduos para o modelo ajustado de altura para a condição 1.

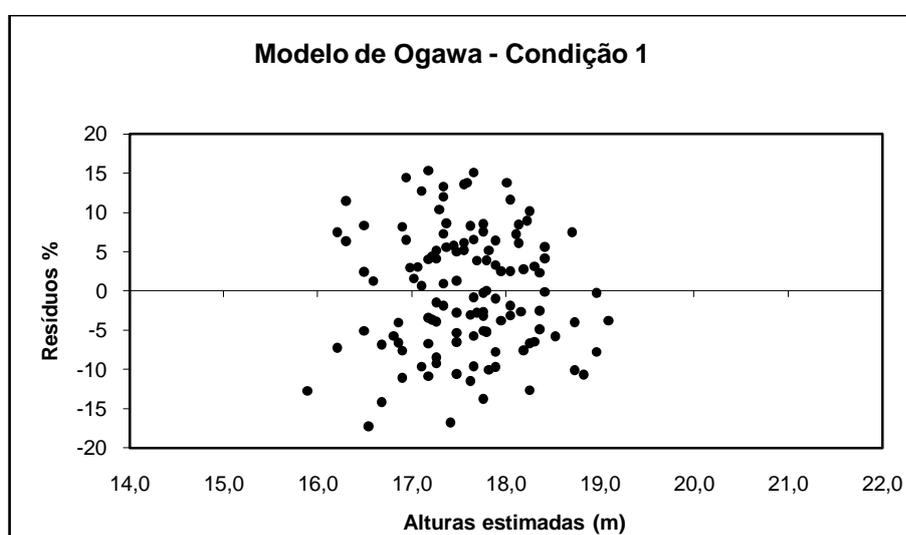


GRÁFICO 10 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DAS ALTURAS ESTIMADAS PELO MODELO OGAWA - CONDIÇÃO 1

FONTE: O autor (2014)

Condição 2

O melhor modelo hipsométrico foi o modelo de Curtis. Os coeficientes do ajuste e estatísticas de precisão para o modelo selecionado são apresentados na Tabela 20.

Equação hipsométrica para altura total (Modelo de Curtis)

$$\hat{Ln} h = 2,88073 + 2,85581.(1/DAP) - 82,10422.(1/DAP^2)$$

TABELA 20 - COEFICIENTES DO AJUSTE E ESTATÍSTICAS DE PRECISÃO PARA O MODELO HIPSOMÉTRICO SELECIONADO PARA A CONDIÇÃO 2

Modelo hipsométrico de Curtis					
Coeficientes			R ² ajustado	Syx (m) corrigido	Syx % corrigido
b ₀	b ₁	b ₂			
2,88073	2,85581	-82,10422	0,28691	0,72119	4,23794

FONTE: O autor (2014)

O Gráfico11 apresenta a análise gráfica de resíduos para o modelo ajustado de altura para a condição 2.

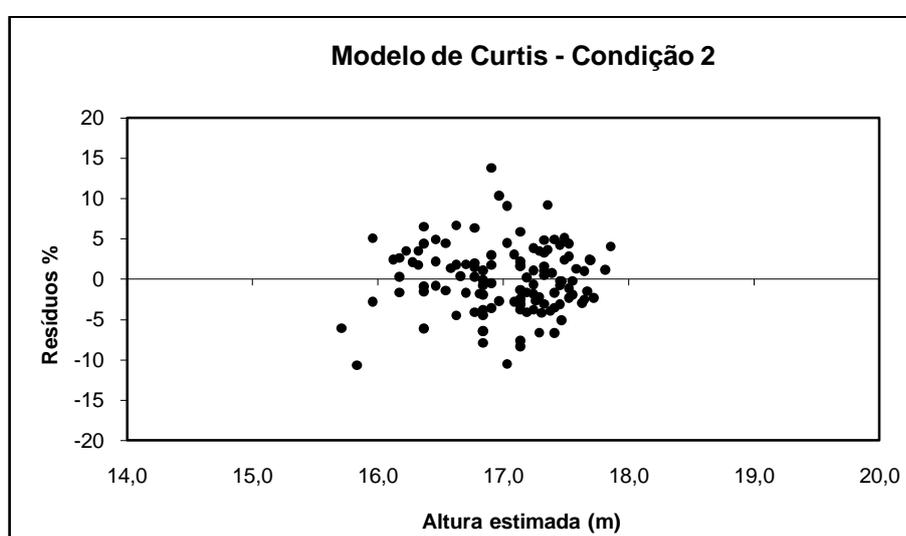


GRÁFICO 11 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DAS ALTURAS ESTIMADAS PELO MODELO DE CURTIS - CONDIÇÃO 2

FONTE: O autor (2014)

Condição 3

O melhor modelo hipsométrico foi o modelo de Henricksen. Os coeficientes do ajuste e estatísticas de precisão para o modelo selecionado são apresentados na Tabela 21.

Equação hipsométrica para altura total (Modelo de Henricksen)

$$\hat{h}_i = 0,98758 + 4,56484 \cdot \ln(DAP_i)$$

TABELA 21 - COEFICIENTES DO AJUSTE E ESTATÍSTICAS DE PRECISÃO PARA O MODELO HIPNOMÉTRICO SELECIONADO PARA A CONDIÇÃO 3

Modelo hipsométrico de Henricksen					
Coeficientes			R ² ajustado	Syx (m) corrigido	Syx % corrigido
b ₀	b ₁	b ₂			
0,98758	4,56484	-	0,22973	0,50944	3,43441

FONTE: O autor (2014)

O Gráfico 12 apresenta a análise gráfica de resíduos para o modelo ajustado de altura total para a condição 3.

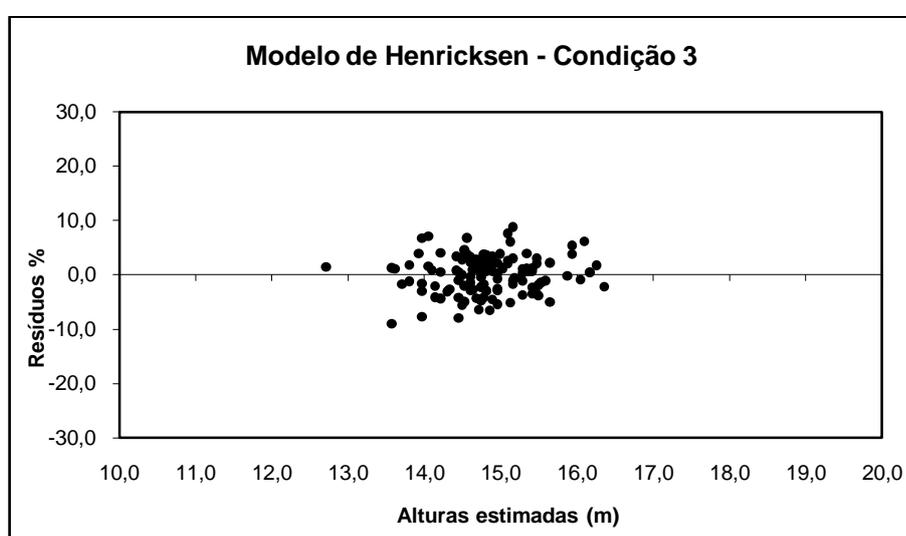


GRÁFICO 12 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DAS ALTURAS ESTIMADAS - MODELO HENRICKSEN - CONDIÇÃO 3

FONTE: O autor (2014)

5.2.3 Validação de equações de volume

Foram verificadas as equações de volume total desenvolvidas para o inventário florestal do ano de 2007, para se saber se as mesmas poderiam ser usadas no inventário florestal do ano de 2011. Desta forma, as estatísticas para a validação das equações de volume total através do teste do qui-quadrado são apresentados na Tabela 22.

TABELA 22 - VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE VOLUME TOTAL ATRAVÉS DO TESTE DO QUI-QUADRADO PARA CADA CONDIÇÃO

Condição 1 = 14 anos		
Modelo de Schumacher-Hall - $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h$		
Erro padrão da estimativa (absoluto e percentagem)	Qui-quadrado tabelado	Qui-quadrado calculado
$syx = 0,05$	$\chi^2 = 15,51$	$\chi^2 = 0,0273$
$syx \% = 1,30$		
Condição 2 = 11 anos		
Modelo de Schumacher-Hall - $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h$		
Erro padrão da estimativa (absoluto e percentagem)	Qui-quadrado tabelado	Qui-quadrado calculado
$syx = 0,03$	$\chi^2 = 15,51$	$\chi^2 = 0,0213$
$syx \% = 1,05$		
Condição 3 = 13 anos		
Modelo de Schumacher-Hall - $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h$		
Erro padrão da estimativa (absoluto e percentagem)	Qui-quadrado tabelado	Qui-quadrado calculado
$syx = 0,06$	$\chi^2 = 11,07$	$\chi^2 = 0,0285$
$syx \% = 3,07$		

Condição 1 - qui-quadrado tabelado para 95% = 15,51;

Condição 2 - qui-quadrado tabelado para 95% = 15,51;

Condição 3 - qui-quadrado tabelado para 95% = 11,07.

FONTE: O autor (2014)

5.2.3.1 Classificação diamétrica de cada condição

Através do diâmetro médio (\bar{d}) e do desvio padrão (s), obtidos a partir dos dados coletados pelo método de área fixa com Parcela Circular (PC), no ano de 2011, foram calculadas as classes de diâmetros, os limites de classes inferior e superior e seus respectivos centros de classes por classe sociológica (TABELA 22).

TABELA 23 - FREQUÊNCIA DE ÁRVORES POR CLASSE SOCIOLÓGICA

Condição1 = 14 anos				
Média dos diâmetros = 22,6 cm			Desvio-padrão = 3,1 cm	
Classe	Classe sociológica	Limites de classe		N/ha
		Inferior	Superior	
1	Oprimidas	14,8	17,9	52
2	Dominadas	17,9	21,0	250
3	Médias	21,0	24,=	372
4	Codominantes	24,2	27,3	182
5	Dominantes	27,3	30,4	63
Total				919

continua

Condição2 = 11 anos				
Média dos diâmetros = 21,7cm			Desvio-padrão = 2,5 cm	
Classe	Classe sociológica	Limites de classe		N/ha
		Inferior	Inferior	
1	Oprimidas	15,4	18,0	70
2	Dominadas	18,0	20,5	259
3	Médias	20,5	23,0	349
4	Codominantes	23,0	25,5	227
5	Dominantes	25,5	28,0	62
Total				967
Condição3 = 13 anos				
Média dos diâmetros = 20,7 cm			Desvio-padrão = 3,0 cm	
Classe	Classe sociológica	Limites de classe		N/ha
		Inferior	Inferior	
1	Oprimidas	13,3	16,3	69
2	Dominadas	16,3	19,2	213
3	Médias	19,2	22,2	327
4	Codominantes	22,2	25,2	226
5	Dominantes	25,2	28,0	58
Total				893

FONTE: O autor (2014)

Os histogramas de frequência apresentados nos Gráficos 13, 14 e 15 comprovam, como visto nos histogramas para o inventário do ano de 2007, que a distribuição diamétrica das condições são unimodais, ou seja, apresentam um único ponto de maior frequência. Porém, como as plantações se encontram com 14, 11 e 13 anos de idade e foi aplicado um desbaste misto, isso levou a distorção da curva normal, deixando-a assimetricamente positiva. A aplicação deste desbaste retirou árvores presentes no lado esquerdo da distribuição (maior quantidade), ou seja, são as árvores classificadas como oprimidas. Por se tratar de um desbaste misto, é lógico que as árvores presentes nas outras classes também foram retiradas, porém, em menor quantidade.

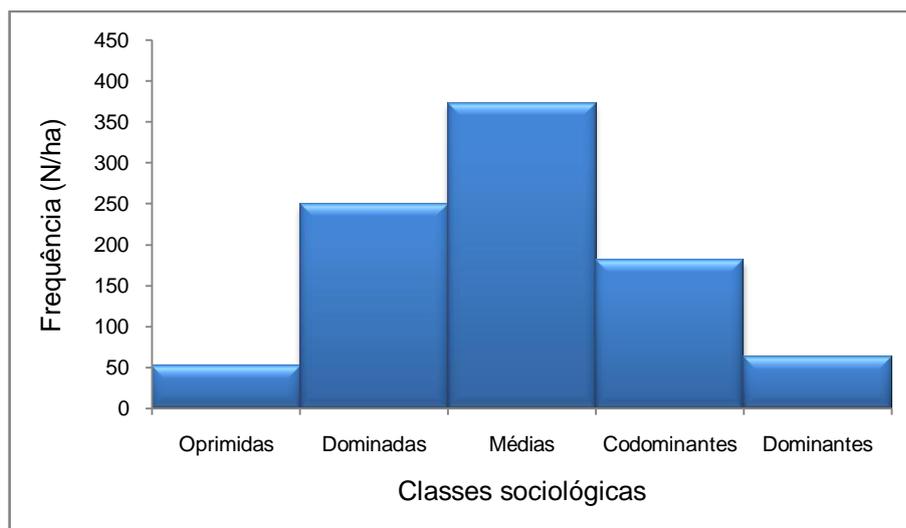


GRÁFICO 13 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA - CONDIÇÃO 1
FONTE: O autor (2014)

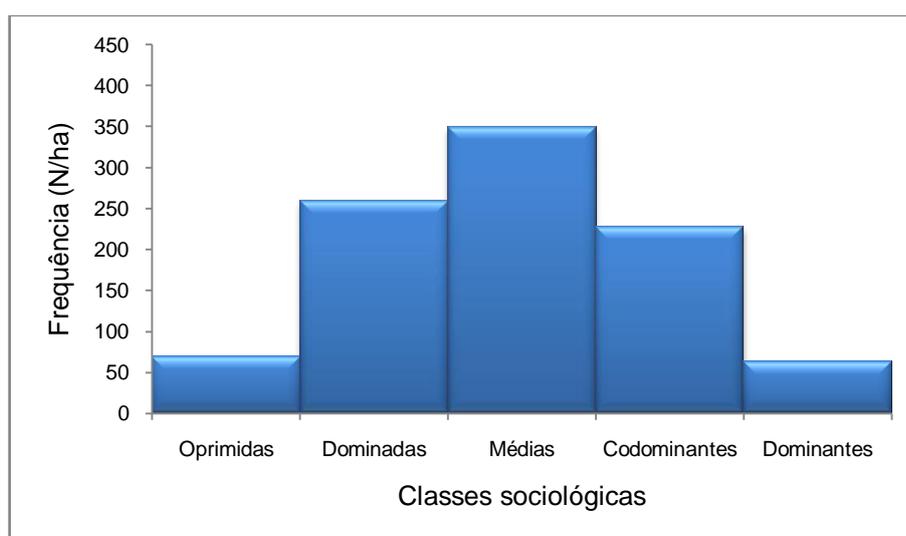


GRÁFICO 14 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA - CONDIÇÃO 2
FONTE: O autor (2014)

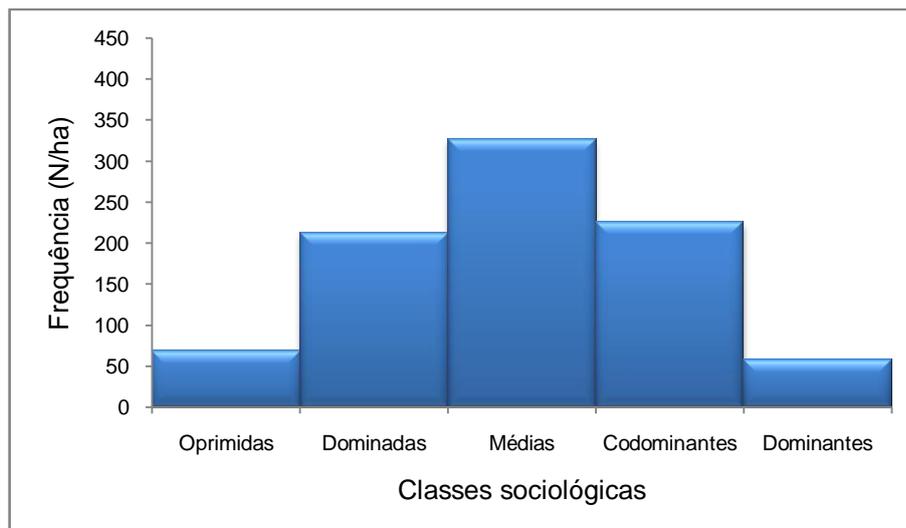


GRÁFICO 15 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA - CONDIÇÃO 3
 FONTE: O autor (2014)

Conforme mencionado no parágrafo anterior, a distribuição é assimétrica, ou seja, existe assimétrica positiva, pois a mediana é menor que a média.

5.2.4 Estimativa das variáveis obtidas em cada condição

Foram mensuradas 5.654 árvores, em 300 unidades amostrais. Para os métodos PB e de área fixa com PC, instalaram-se 40 unidades amostrais e para o método de área fixa com CC e com CL foram 10 unidades amostrais, sendo que, em termos de área amostrada, os valores se aproximam.

O número de árvores amostradas em cada unidade amostral e em cada método e suas variações estruturais é apresentado na Tabela 24.

No caso da presente pesquisa, em média, para cada condição, foram amostradas 15, 11 e 10 árvores por unidade amostral, sendo que no método de amostragem por Pontos de Bitterlich (PB) esse número foi maior em todas as condições devido ao incremento das árvores que não foram selecionadas na primeira ocasião, porém foram selecionadas na segunda ocasião. A variação do número de árvores de uma unidade amostral para outra também foi influenciada pela mortalidade e falhas no povoamento.

Conforme Campos e Leite (2006), em inventários florestais, o número de pontos amostrais depende da precisão requerida e do tamanho da área a ser inventariada. O fator instrumental escolhido deve contemplar um número mínimo adequado de árvores “classificadas” por ponto amostral, a fim de diminuir a variância da característica e, também, evitar superposição de árvores durante as leituras de campo. Isso está relacionado com características da população, como a grandeza do diâmetro médio e o espaçamento entre árvores. Sugere-se um número médio de 8 a 15 por ponto amostral.

Sendo assim, o número médio de árvores por ponto de amostragem nessa segunda ocasião está de acordo como o exposto no parágrafo anterior, conforme Tabela 24.

TABELA 24 - NÚMERO DE ÁRVORES AMOSTRADAS POR UNIDADE AMOSTRAL, MÉTODOS E SUAS VARIAÇÕES ESTRUTURAIS PARA CADA CONDIÇÃO

Unidade amostral	Condição 1 = 14 anos				Condição 2 = 11 anos				Condição 3 = 13 anos			
	PB	PC	CC	CL	PB	PC	CC	CL	PB	PC	CC	CL
1	15	12	51	53	14	13	38	38	13	8	36	38
2	18	15	58	53	15	8	41	35	14	9	43	34
3	17	12	56	49	15	8	37	37	15	11	30	38
4	14	12	59	56	14	9	37	38	17	10	33	40
5	17	15	52	59	15	10	32	40	12	6	34	41
6	16	14	58	54	15	9	35	35	13	9	33	34
7	19	12	47	55	18	11	40	41	17	8	41	45
8	11	7	56	55	14	7	40	38	13	7	35	37
9	13	11	56	57	15	10	29	33	15	10	39	31
10	17	15	58	54	14	8	40	38	15	11	40	37
11	13	10			14	11			13	8		
12	15	12			15	11			14	9		
13	16	11			17	11			14	9		
14	16	15			14	12			13	9		
15	16	12			17	9			15	7		
16	17	14			13	9			14	6		
17	17	13			17	10			16	11		
18	20	13			17	10			10	5		
19	17	14			15	9			12	7		
20	21	15			18	13			15	10		
21	20	15			17	11			18	10		
22	17	14			12	10			14	8		
23	19	14			15	11			14	9		
24	17	13			11	9			15	9		
25	18	13			11	8			13	7		
26	18	14			13	9			14	10		
27	18	14			15	10			12	7		

continua

Unidade amostral	Condição 1 = 14 anos				Condição 2 = 11 anos				Condição 3 = 13 anos			
	PB	PC	CC	CL	PB	PC	CC	CL	PB	PC	CC	CL
28	16	13			16	9			15	8		
29	14	15			13	11			14	9		
30	16	12			10	7			11	7		
31	18	14			15	9			13	8		
32	16	13			12	8			17	11		
33	15	12			12	10			15	12		
34	17	14			16	8			14	10		
35	18	11			12	9			15	10		
36	18	14			19	10			13	12		
37	16	15			14	9			14	10		
38	17	15			16	11			10	6		
39	14	14			15	9			14	9		
40	18	13			17	12			17	10		
Soma	665	526	551	545	587	388	369	373	562	352	364	375
Média	17	13	14	14	15	10	9	9	14	9	9	9

FONTE: O autor (2014)

Para o método de área fixa com CC e CL, a média foi obtida somando-se todas as árvores medidas nas 10 unidades amostrais de cada estrutura e dividindo-se tal soma pelo número de subunidades de cada estrutura.

5.2.5 Estimativa das variáveis pelos métodos PB e de área fixa com PC, CC e CL

A Tabela 25 apresenta a estimativa da variável DAP médio (cm), número de árvores (N/ha), área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha) para ambos os métodos de amostragem e suas variações estruturais em cada condição.

TABELA 25 - ESTIMATIVA DA VARIÁVEL DAP médio (cm), NÚMERO DE ÁRVORES (N/ha), ÁREA BASAL (m²/ha) E VOLUME TOTAL (m³/ha) EM CADA CONDIÇÃO

Variáveis	Condição 1 = 14 anos			
	PB	PC	CC	CL
DAP médio (cm)	22,6	22,6	22,2	22,2
Número médio de árvores (N/ha)	819	919	962	952
Área basal média (m ² /ha)	33,25	37,57	37,80	37,57
Volume médio (m ³ /ha)	279,78	316,46	316,47	314,81

continua

Variáveis	Condição 2 = 11 anos			
	PB	PC	CC	CL
DAP médio (cm)	21,6	21,8	21,6	21,3
Número médio de árvores (N/ha)	796	967	920	930
Área basal média (m ² /ha)	29,35	36,38	34,11	33,50
Volume médio (m ³ /ha)	215,96	268,02	251,10	246,10
Variáveis	Condição 3 = 13 anos			
	PB	PC	CC	CL
DAP médio (cm)	20,9	20,8	20,6	20,9
Número médio de árvores (N/ha)	814	893	924	952
Área basal média (m ² /ha)	28,10	30,71	31,20	33,31
Volume médio (m ³ /ha)	192,34	210,10	213,16	228,38

FONTE: O autor (2014)

Além da precisão dos métodos e suas estruturas, a estimativa da variável volume depende também da precisão da equação de altura e volume utilizados, mas, o fato de terem sido utilizadas as mesmas equações de altura e volume para ambos os métodos e suas variações estruturais não influenciará os resultados desta pesquisa.

5.2.5.1 Análise estatística da estimativa da variável DAP médio (cm)

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável DAP médio (cm) para ambos os métodos de amostragem e suas variações estruturais. A Tabela 26 apresenta a análise estatística da estimativa do DAP médio (cm) para cada condição.

Condição 1

- Na Condição 1, na estimativa do DAP médio (cm), o menor erro de amostragem foi para o método por Ponto de Bitterlich (PB), seguido pela Parcela Circular (PC), Conglomerado em Linha (CL) e, por último, o Conglomerado em Cruz (CC).

Condição 2

- Na Condição 2, na estimativa do DAP médio (cm), o menor erro de amostragem foi para o método por Ponto de Bitterlich (PB), seguido pela Parcela Circular (PC), Conglomerado em Linha (CL) e, por último, o Conglomerado em Cruz (CC).

TABELA 26 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE DAP médio (cm) PARA CADA CONDIÇÃO

Condição 1 = 14 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
DAP médio (cm)	22,6	22,6	22,2	22,2
Desvio padrão (cm)	± 1,05	± 1,10	± 0,68	± 0,59
Erro padrão (cm)	± 0,17	± 0,17	± 0,22	± 0,19
Coeficiente de variação (%)	4,67	4,88	3,08	2,65
Erro de amostragem relativo (%)	± 1,49	± 1,56	± 2,21	± 1,89
Intervalo de confiança (cm)	± 0,34	± 0,35	± 0,49	± 0,42
Intensidade amostral experimental	40	40	10	10
Condição 2 = 11 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
DAP médio (cm)	21,6	21,8	21,6	21,3
Desvio padrão (cm)	±1,06	±1,20	±0,94	±0,70
Erro padrão (cm)	±0,17	±0,19	±0,30	±0,22
Coeficiente de variação (%)	4,90	5,51	4,35	3,29
Erro de amostragem relativo (%)	± 1,57	±1,76	±3,11	±2,35
Intervalo de confiança (cm)	±0,34	±0,38	±0,67	±0,50
Intensidade amostral experimental	40	40	10	10
Condição 3 = 13 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
DAP médio (cm)	20,9	20,8	20,6	20,9
Desvio padrão (cm)	±1,06	±1,34	±0,93	±0,98
Erro padrão (cm)	±0,17	±0,21	±0,29	±0,31
Coeficiente de variação (%)	5,10	6,42	4,50	4,68
Erro de amostragem relativo (%)	± 1,63	±2,05	±3,22	±3,35
Intervalo de confiança (cm)	±0,34	±0,43	±0,66	±0,70
Intensidade amostral experimental	40	40	10	10

FONTE: O autor (2014)

Condição 3

- Na Condição 3, na estimativa do DAP médio (cm), o menor erro de amostragem foi para o método por Ponto de Bitterlich (PB), seguido pela Parcela Circular (PC), Conglomerado em Cruz (CC) e, por último, o Conglomerado em Linha (CL).

5.2.5.2 Análise estatística da estimativa de número de árvores (N/ha)

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável número de árvores (N/ha). A Tabela 27 apresenta a análise estatística da estimativa desta variável para cada condição.

TABELA 27 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE NÚMERO DE ÁRVORES (N/ha) PARA CADA CONDIÇÃO

Condição 1 = 14 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
Número médio árvores (N/ha)	819	919	962	952
Desvio padrão (N/ha)	±109,58	±117,91	± 67,62	±46,76
Erro padrão (N/ha)	±17,33	±18,64	± 21,38	±14,79
Coefficiente de variação (%)	13,37	12,84	7,03	4,91
Erro de amostragem relativo (%)	±4,28	±4,10	±5,03	±3,51
Intervalo de confiança (N/ha)	±35,05	±37,71	±48,37	±33,45
Intensidade amostral experimental	40	40	10	10
Condição 2 = 11 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
Número médio árvores (N/ha)	796	967	920	930
Desvio padrão	±123,45	±146,69	±97,22	±59,98
Erro padrão	±19,52	±23,19	±30,74	±18,97
Coefficiente de variação	15,51	15,17	10,57	6,45
Erro de amostragem relativo	±4,96	±4,85	±7,56	±4,61
Intervalo de confiança	±39,48	±46,91	±69,55	±42,91
Intensidade amostral experimental	40	40	10	10
Condição 3 = 13 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
Número médio árvores (N/ha)	814	893	924	952
Desvio padrão	±144,39	±173,84	±105,78	±100,97
Erro padrão	±22,83	±27,49	±33,45	±31,93
Coefficiente de variação	17,74	19,46	11,45	10,61
Erro de amostragem relativo	±5,67	±6,22	±8,19	±7,59
Intervalo de confiança	±46,18	±55,60	±75,67	±72,23
Intensidade amostral experimental	40	40	10	10

FONTE: O autor (2014)

Condição 1

- Na Condição 1, na estimativa do número de árvores (N/ha), o menor erro de amostragem foi para o método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL), seguido da Parcela Circular (PC), método por Ponto de Bitterlich (PB) e Conglomerado em Cruz (CC).

Condição 2

- Na Condição 2, na estimativa do número de árvores (N/ha), o menor erro de amostragem foi para o método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL), seguido da Parcela Circular (PC), método por Ponto de Bitterlich (PB) e Conglomerado em Cruz (CC).

Condição 3

- Na Condição 3, na estimativa do número de árvores (N/ha), o menor erro de amostragem foi para o método por Ponto de Bitterlich (PB), seguido pela Parcela Circular (PC), Conglomerado em Linha (CL) e, por último, o Conglomerado em Cruz (CC).

5.2.5.3 Análise estatística da estimativa de área basal (m^2/ha)

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável área basal (m^2/ha). A Tabela 28 apresenta a análise estatística da estimativa desta variável para cada condição.

Condição 1

- Na Condição 1, na estimativa da área basal (m^2/ha), o menor erro de amostragem foi para o método por Ponto de Bitterlich (PB), seguido pela Parcela Circular (PC), Conglomerado em Linha (CL) e, por último, o Conglomerado em Cruz (CC).

Condição 2

- Na Condição 2, na estimativa da área basal (m^2/ha), o menor erro de amostragem foi para o método por Ponto de Bitterlich (PB), seguido pela Parcela Circular (PC), Conglomerado em Linha (CL) e, por último, o Conglomerado em Cruz (CC).

TABELA 28 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE ÁREA BASAL (m²/ha) PARA CADA UMA DAS CONDIÇÕES

Condição 1 = 14 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
Área basal média (m ² /ha)	33,25	37,57	37,80	37,57
Desvio padrão (m ² /ha)	±4,04	±5,91	±3,35	±2,66
Erro padrão (m ² /ha)	±0,64	±0,93	±1,06	±0,84
Coeficiente de variação (%)	12,16	15,73	8,87	7,08
Erro de amostragem relativo (%)	±3,89	±5,03	±6,34	±5,07
Intervalo de confiança (m ² /ha)	±1,29	±1,89	±2,40	±1,90
Intensidade amostral	40	40	10	10
Condição 2 = 11 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
Área basal média (m ² /ha)	29,35	36,38	34,11	33,50
Desvio padrão (m ² /ha)	±4,16	±5,91	±4,38	±2,55
Erro padrão (m ² /ha)	±0,66	±0,93	±1,39	±0,81
Coeficiente de variação (%)	14,18	16,24	12,85	7,61
Erro de amostragem relativo (%)	±4,53	±5,19	±9,19	±5,45
Intervalo de confiança (m ² /ha)	±1,33	±1,89	±3,14	±1,82
Intensidade amostral	40	40	10	10
Condição 3 = 13 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
Área basal média (m ² /ha)	28,10	30,71	31,20	33,31
Desvio padrão (m ² /ha)	±3,59	±5,79	±4,39	±4,90
Erro padrão (m ² /ha)	±0,57	±0,92	±1,39	±1,55
Coeficiente de variação (%)	12,79	18,86	14,09	14,72
Erro de amostragem relativo (%)	±4,09	±6,03	±10,08	±10,53
Intervalo de confiança (m ² /ha)	±1,15	±1,85	±3,14	±3,51
Intensidade amostral	40	40	10	10

FONTE: O autor (2014)

Condição 3

- Na Condição 3, na estimativa da área basal (m²/ha), o menor erro de amostragem foi para o método por Ponto de Bitterlich (PB), seguido pela Parcela Circular (PC), Conglomerado em Cruz (CC) e, por último, o Conglomerado em Linha (CL).

5.2.5.4 Análise estatística da estimativa de volume total (m³/ha)

Com base nos dados coletados e estimados, fez-se a análise estatística da variável volume total (m³/ha). A Tabela 29 apresenta a análise estatística da estimativa desta variável para cada condição.

TABELA 29 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ESTIMATIVA DE VOLUME TOTAL (m³/ha) PARA CADA UMA DAS CONDIÇÕES

Condição 1 = 14 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
Volume médio (m ³ /ha)	279,78	316,46	316,47	314,81
Desvio padrão (m ³ /ha)	±35,01	±52,57	±29,56	±23,95
Erro padrão (m ³ /ha)	±5,54	±8,31	±9,35	±7,57
Coeficiente de variação (%)	12,51	16,61	9,34	7,61
Erro de amostragem relativo (%)	±4,00	±5,31	±6,68	±5,44
Intervalo de confiança (m ³ /ha)	±11,20	±16,81	±21,15	±17,14
Intensidade amostral	40	40	10	10
Condição 2 = 11 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
Volume médio (m ³ /ha)	215,96	268,02	251,10	246,10
Desvio padrão (m ³ /ha)	±30,95	±44,46	±33,13	±19,44
Erro padrão (m ³ /ha)	±4,89	±7,03	±10,48	±6,15
Coeficiente de variação (%)	14,33	16,59	13,19	7,90
Erro de amostragem relativo (%)	±4,58	±5,31	±9,44	±5,65
Intervalo de confiança (m ³ /ha)	±9,90	±14,22	±23,70	±13,90
Intensidade amostral	40	40	10	10
Condição 3 = 13 anos				
Estatísticas	Métodos			
	PB	PC	CC	CL
Volume médio (m ³ /ha)	192,34	210,10	213,16	228,38
Desvio padrão (m ³ /ha)	24,37	40,31	30,80	34,85
Erro padrão (m ³ /ha)	3,85	6,37	9,74	11,02
Coeficiente de variação (%)	12,67	19,19	14,45	15,26
Erro de amostragem relativo (%)	4,05	6,14	10,34	10,91
Intervalo de confiança (m ³ /ha)	7,79	12,89	22,04	24,93
Intensidade amostral experimental	40	40	10	10

FONTE: O autor (2014)

Condição 1

- Na Condição 1, na estimativa do volume total (m³/ha), o menor erro de amostragem foi para o método por Ponto de Bitterlich (PB), seguido pela Parcela Circular (PC), Conglomerado em Linha (CL) e, por último, o Conglomerado em Cruz (CC).

Condição 2

- Na Condição 2, na estimativa do volume total (m^3/ha), o menor erro de amostragem foi para o método por Ponto de Bitterlich (PB), seguido pela Parcela Circular (PC), Conglomerado em Linha (CL) e, por último, o Conglomerado em Cruz (CC).

Condição 3

- Na Condição 3, na estimativa do volume total (m^3/ha), o menor erro de amostragem foi para o método por Ponto de Bitterlich (PB), seguido do método de área fixa com Parcela Circular (PC), Conglomerado em Cruz (CC) e Conglomerado em Linha (CL).

5.2.5.5 Teste t de Student para as estimativas das variáveis

Segundo Banzatto e Kronka (1992), este teste serve para confrontar médias ou grupos de médias e se utiliza de contrastes de médias. A Tabela 30 apresenta os resultados do Teste t de Student, das variáveis analisadas e para ambos os métodos e suas estruturas.

Condição 1

- Para a variável estimada DAP médio (cm), o Teste t de Student revelou que não existem diferenças significativas entre os métodos PB e o de área fixa com PC, CC e CL.
- Para as variáveis estimadas número de árvores (N/ha), área basal (m^2/ha) e volume total (m^3/ha), o Teste t de Student revelou que existe diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade entre PB vs. PC, PB vs. CC e PB vs. CL.

Condição 2

- Para a variável estimada DAP médio (cm), o Teste t de Student revelou que não existem diferenças significativas entre os métodos PB e o de área fixa com PC, CC e CL.

- Para as variáveis estimadas número de árvores (N/ha), área basal (m²/ha) e volume total (m³/ha), o Teste *t* de Student revelou que existe diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade entre PB vs. PC, PB vs. CC e PB vs. CL.

TABELA 30 - TESTE T DE STUDENT PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS PARA CADA CONDIÇÃO

Condição 1 = 14 anos						
Variáveis	Métodos					
	PB vs. PC	PB vs. CC	PB vs. CL	PC vs. CC	PC vs. CL	CC vs. CL
DAP médio (cm)	0,08 ^{ns}	1,47 ^{ns}	1,48 ^{ns}	1,47 ^{ns}	1,52 ^{ns}	0,07 ^{ns}
N/ha	3,93**	5,20**	5,84**	1,52 ^{ns}	1,39 ^{ns}	0,38 ^{ns}
G/ha	3,82**	3,68**	4,09**	0,16 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,17 ^{ns}
V/ha	3,67**	3,38**	3,73**	0,00 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Condição 2 = 11 anos						
Variáveis	Métodos					
	PB vs. PC	PB vs. CC	PB vs. CL	PC vs. CC	PC vs. CL	CC vs. CL
DAP médio (cm)	0,79 ^{ns}	0,00 ^{ns}	1,08 ^{ns}	0,57 ^{ns}	1,72 ^{ns}	0,81 ^{ns}
N/ha	5,64**	3,40**	4,92**	1,22 ^{ns}	1,23 ^{ns}	0,28 ^{ns}
G/ha	6,15**	3,10**	3,99**	1,54 ^{ns}	2,33*	0,38 ^{ns}
V/ha	6,08**	3,04**	3,84**	1,34 ^{ns}	2,35**	0,41 ^{ns}
Condição 3 = 13 anos						
Variáveis	Métodos					
	PB vs. PC	PB vs. CC	PB vs. CL	PC vs. CC	PC vs. CL	CC vs. CL
DAP médio (cm)	0,37 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,70 ^{ns}
N/ha	2,21*	2,72**	3,52**	0,72 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,61 ^{ns}
G/ha	2,42*	2,06*	3,16**	0,29 ^{ns}	1,44 ^{ns}	1,01 ^{ns}
V/ha	2,38*	1,99 ^{ns}	3,08**	0,26 ^{ns}	1,44 ^{ns}	1,03 ^{ns}

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$);

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

ns - não significativo ($p \geq 0,05$).

vs.- versus.

FONTE: O autor (2014)

Condição 3

- Para a variável estimada DAP médio (cm), o Teste *t* de Student revelou que não existem diferenças significativas entre os métodos PB e o de área fixa com PC, CC e CL.
- Para a variável estimada número de árvores (N/ha), o Teste *t* de Student revelou que existe diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre PB vs. PC e diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade entre PB vs. CC e PB vs. CL.
- Para a variável área basal (m²/ha), o Teste *t* de Student revelou que existe diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre PB vs. PC, PB vs. CC e diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade entre PB vs. CC.

- Para a variável volume total (m^3/ha), o Teste t de Student revelou que existe diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade entre PB vs. PC, PB vs. CL.

5.2.5.6 Classificação dos métodos e estruturas com base no erro de amostragem

A classificação dos métodos de amostragem PB e de área fixa com PC, CC e CL, quanto à precisão nas estimativas das variáveis, é apresentada na Tabela 31.

TABELA 31 - CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS COM BASE NO ERRO DE AMOSTRAGEM

Condição 1 = 14 anos				
Variáveis	Classificação / Método			
	1º Lugar	2º Lugar	3º Lugar	4º Lugar
DAP médio (cm)	PB	PC	CL	CC
Número médio de árvores (N/ha)	CL	PC	PB	CC
Área basal média (m^2/ha)	PB	PC	CL	CC
Volume médio (m^3/ha)	PB	PC	CL	CC
Condição 2 = 11 anos				
Variáveis	Classificação / Método			
	1º Lugar	2º Lugar	3º Lugar	4º Lugar
DAP médio (cm)	PB	PC	CL	CC
Número médio de árvores (N/ha)	CL	PC	PB	CC
Área basal média (m^2/ha)	PB	PC	CL	CC
Volume médio (m^3/ha)	PB	PC	CL	CC
Condição 3 = 13 anos				
Variáveis	Classificação / Método			
	1º Lugar	2º Lugar	3º Lugar	4º Lugar
DAP médio (cm)	PB	PC	CC	CL
Número médio de árvores (N/ha)	PB	PC	CL	CC
Área basal média (m^2/ha)	PB	PC	CC	CL
Volume médio (m^3/ha)	PB	PC	CC	CL

FONTE: O autor (2014)

Com base no erro de amostragem do método PB e do método de área fixa com PC, CC e CL testados, a classificação ficou na seguinte ordem:

Condição 1

- Para a estimativa do DAP médio (cm), área basal (m^2/ha) e volume total (m^3/ha), a maior precisão foi para o método de amostragem por Ponto de Bitterlich (PB),

seguido pela Parcela Circular (PC), Conglomerado em Linha (CL) e Conglomerado Cruz (CC).

- Para a estimativa do número de árvores (N/ha), a maior precisão foi para o método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL), seguido pela Parcela Circular (PC), Ponto de Bitterlich (PB) e, por último, o Conglomerado em Cruz (CC).

Condição 2

- Para a estimativa do DAP médio (cm), área basal (m^2/ha) e volume total (m^3/ha), a maior precisão foi para o método de amostragem por Ponto de Bitterlich (PB), seguido pela Parcela Circular (PC), Conglomerado em Linha (CL) e Conglomerado Cruz (CC).
- Para a estimativa do número de árvores (N/ha), a maior precisão foi para o método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL), seguido pela Parcela Circular (PC), Ponto de Bitterlich (PB) e, por último, o Conglomerado em Cruz (CC).

Condição 3

- Para a estimativa do DAP médio (cm), área basal (m^2/ha) e volume total (m^3/ha), a maior precisão foi para o método por Ponto de Bitterlich (PB), seguida pela Parcela Circular (PC), Conglomerado em Cruz (CC) e, por último, o Conglomerado em Linha (CL).
- Para a estimativa do número de árvores (N/ha), a maior precisão foi para o método por Ponto de Bitterlich (PB), seguida pela Parcela Circular (PC), Conglomerado em Linha (CL) e, por último, o Conglomerado em Cruz (CC).

5.2.5.7 Análise da eficiência relativa

A análise da eficiência relativa teve como objetivo comparar os métodos de amostragem PB e de área fixa com PC, CC e CL simultaneamente, através do

inverso dos produtos dos quadrados dos coeficientes de variação pelos respectivos tempos. A Tabela 32 apresenta a eficiência relativa para as estimativas das variáveis, sendo que o método que apresentar o maior valor entre os inversos será o mais eficiente.

TABELA 32 - EFICIÊNCIA RELATIVA COMPARADA PARA CADA CONDIÇÃO

Condição 1 = 14 anos									
Método	Tempo (minutos)	DAP médio (cm)		Nº de árvores (N/ha)		Área basal (m ² /ha)		Volume (m ³ /ha)	
		cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER
PB	94,22	4,67	4,87	13,37	0,59	12,16	0,72	12,51	0,68
PC	78,29	4,88	5,35	12,84	0,78	15,73	0,52	16,61	0,46
CC	96,28	3,08	10,92	7,03	2,10	8,87	1,32	9,34	1,19
CL	94,50	2,65	15,08	4,91	4,39	7,08	2,11	7,61	1,83
Condição 2 = 11 anos									
Método	Tempo (minutos)	DAP médio (cm)		Nº de árvores (N/ha)		Área basal (m ² /ha)		Volume (m ³ /ha)	
		cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER
PB	76,07	4,90	5,47	15,51	0,55	14,18	0,65	14,33	0,64
PC	50,01	5,51	6,58	15,17	0,87	16,24	0,76	16,59	0,73
CC	90,30	4,35	5,85	10,57	0,99	12,85	0,67	13,19	0,64
CL	90,59	3,29	10,20	6,45	2,65	7,61	1,90	7,90	1,77
Condição 3 =13 anos									
Método	Tempo (minutos)	DAP médio (cm)		Nº de árvores (N/ha)		Área basal (m ² /ha)		Volume (m ³ /ha)	
		cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER	cv%	ER
PB	73,53	5,10	5,24	17,74	0,43	12,79	0,83	12,67	0,85
PC	46,35	6,42	5,24	19,46	0,57	18,86	0,61	19,19	0,59
CC	81,28	4,50	6,07	11,45	0,94	14,09	0,62	14,45	0,59
CL	81,45	4,68	5,60	10,61	1,09	14,72	0,57	15,26	0,53

FONTE: O autor (2014)

Com base no coeficiente de variação e tempo total dos métodos PB e de área fixa com PC, CC e CL, a eficiência relativa foi a seguinte:

Condição 1

- Na estimativa do DAP médio (cm) e número de árvores (N/ha), o método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL) foi o mais eficiente, seguido do Conglomerado em Cruz (CC), Parcela Circular e, por último, o método por Ponto de Bitterlich (PB).
- Na estimativa da área basal (m²/ha) e volume (m³/ha), o método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL) foi o mais eficiente, seguido do Conglomerado em

Cruz (CC), método por Ponto de Bitterlich (PB), e, por último, a Parcela Circular (PC).

Condição 2

- Na estimativa do DAP médio (cm) e área basal (m^2/ha), o método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL) foi o mais eficiente, seguido da Parcela Circular, Conglomerado em Cruz (CC) e, por último, o método por Ponto de Bitterlich (PB).
- Na estimativa do número de árvores (N/ha), o método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL) foi o mais eficiente, seguido do Conglomerado em Cruz (CC), Parcela Circular, e, por último, o método por Ponto de Bitterlich (PB).
- Na estimativa do volume total (m^3/ha), o método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL) foi o mais eficiente, seguido da Parcela Circular e Conglomerado em Cruz (CC) e por Ponto de Bitterlich (PB), com a mesma eficiência relativa.

Condição 3

- Na estimativa do DAP médio (cm), o método de área fixa com Conglomerado em Cruz foi o mais eficiente, seguido do Conglomerado em Linha, Parcela Circular (PC) e Ponto do Bitterlich (PB), com a mesma eficiência relativa.
- Na estimativa do número de árvores (N/ha), o método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL) foi o mais eficiente. Na sequência, vêm o Conglomerado em Cruz (CC), Parcela Circular (PC) e, por último, o por Ponto de Bitterlich (PB).
- Na estimativa da área basal (m^2/ha), a eficiência segue com o método por Ponto de Bitterlich (PB), método de área fixa com Conglomerado em Cruz (CC), Parcela Circular (CC) e Conglomerado em Linha (CL).
- Na estimativa do volume total (m^3/ha), a eficiência segue com o método por Ponto de Bitterlich (PB), método de área fixa com Parcela Circular (PC) e Conglomerado em Cruz (CC), na mesma posição e, por último, o Conglomerado em Linha (CL).

5.2.6 Comparação simultânea das três condições através do delineamento casualizado em blocos

Para esta análise, o delineamento experimental utilizado foi o casualizado em blocos com repetições. Em todas as condições, foram verificadas a homocedasticidade ou homogeneidade de variância, seguida de uma análise de variância (ANOVA) e, por fim, caso necessário, o teste de contraste de médias de Tukey. Todas as análises foram efetuadas ao nível de 5% de probabilidade. Para estas análises, utilizou-se o software ASSISTAT, versão 7.8 Beta (ASSISTAT, 2013).

5.2.6.1 Anova e Teste de Tukey para o erro de amostragem e eficiência relativa na estimativa das variáveis, considerando-se as três condições simultaneamente

As variâncias dos erros de amostragem e eficiência relativa foram homogêneas ao nível de 5% de probabilidade através do Teste de Bartlett para todas as variáveis.

Na análise de variância (ANOVA), tanto para o erro de amostragem quanto para a eficiência relativa, o teste F para blocos (condições) foi significativo ao nível de 5% de probabilidade apenas para as variáveis DAP médio (cm) e número de árvores (N/ha), quando a análise foi realizada para o erro de amostragem. Sendo assim, os blocos (condições) influem nas estimativas de ambas as variáveis, justificando o controle local feito através dos mesmos. Os blocos que possuem efeitos diferentes são o de número 1 (condição 1) e o de número 3 (condição 3).

DAP médio (cm)

A análise de variância mostrou que existem diferenças significativas entre pelo menos uma das médias dos tratamentos, apenas para o erro de amostragem. Sendo assim, para se saber quais médias diferem entre si, procedeu-se ao Teste de Tukey (TABELA 33).

Para o erro de amostragem, em relação à estimativa do DAP médio (cm), o Teste de Tukey demonstrou que entre o CC e o CL não há diferença estatística, mas

o CC e o CL diferem do PB e o CL não difere da PC. Já entre o PB e a PC não há diferença estatística. Esta análise confirma o PB como mais preciso e mais indicado para a estimativa do DAP médio (cm), conforme verificado quando as condições foram analisadas em separado, porém, não difere estatisticamente da PC.

Para a eficiência relativa, conforme o Teste de Tukey, não há diferença entre PB, PC, CC e CL. O CL é mais eficiente para a estimativa do DAP médio (cm), sendo essa eficiência relativa 40% maior, em média, sobre os demais. Este resultado vem confirmar o que foi verificado quando as condições foram analisadas em separado e o CL foi mais eficiente.

Número de árvores (N/ha)

A análise de variância mostrou que existem diferenças significativas para as médias dos tratamentos, apenas para a eficiência relativa e, assim, para se saber quais médias diferem entre si, procedeu-se ao Teste de Tukey (TABELA 33).

Para o erro de amostragem, verifica-se que o PB, PC, CC e CL não diferem estatisticamente. Este resultado confirma o PB como o mais preciso na estimativa de número de árvores (N/ha), entretanto, quando verificadas as condições separadamente, o CL e a PC se mostraram superiores nas condições 1 e 2 e, na condição 3, o PB foi superior. Mesmo assim, o erro de amostragem do PB se mostrou menor e não há diferença para os demais.

Para a eficiência relativa, verifica-se que o PB e CL diferem estatisticamente entre si, fato que qualifica o CL como o mais eficiente para a estimativa de número de árvores (N/ha), sendo essa eficiência relativa 68% maior, em média, sobre os outros. Apesar de o PB ser mais preciso, isto não o pôs como o mais eficiente para a estimativa desta variável.

TABELA 33 - TESTE DE TUKEY PARA AS ESTIMATIVAS DAS VARIÁVEIS

DAP médio (cm)			
Método/Estrutura	Erro de amostragem	Método/Estrutura	Eficiência Relativa
PB	1,56 c	PB	5,19 a
PC	1,79 b c	PC	5,72 a
CC	2,85 a	CC	7,61 a
CL	2,53 a b	CL	10,29 a
DMS = 0,94		DMS = 7,10	
MG = 2,18	CV% = 15,18	MG = 7,20	CV% = 34,82
Número de árvores (N/ha)			
Método/Estrutura	Erro de amostragem	Método/Estrutura	Eficiência relativa
PB	4,97 a	PB	0,52 b
PC	5,06 a	PC	0,74 a b
CC	6,93 a	CC	1,34 a b
CL	5,24 a	CL	2,71 a
DMS = 2,10		DMS = 2,14	
MG = 5,55	CV% = 13,39	MG = 1,33	CV% = 56,83
Área basal (m²/ha)			
Método/Estrutura	Erro de amostragem	Método/Estrutura	Eficiência relativa
PB	4,17 b	PB	0,73 a
PC	5,42 a b	PC	0,63 a
CC	8,54 a	CC	0,87 a
CL	7,01 a b	CL	1,53 a
DMS = 4,21		DMS = 1,27	
MG = 6,29	CV% = 23,66	MG = 0,94	CV% = 47,91
Volume total (m³/ha)			
Método/Estrutura	Erro de amostragem	Método/Estrutura	Eficiência relativa
PB	4,21 b	PB	0,72 a
PC	5,58 a b	PC	0,59 a
CC	8,82 a	CC	0,81 a
CL	7,34 a b	CL	1,37 a
DMS = 4,37		DMS = 1,16	
MG = 6,49	CV% = 23,76	MG = 0,87	CV% = 46,96

MG= Média geral.

CV%= Coeficiente de variação em %.

DMS= Diferença mínima significativa.

FONTE: O autor (2014)

Área basal (m²/ha)

A análise de variância mostrou que existem diferenças significativas para as médias dos tratamentos apenas para o erro de amostragem e, assim, para se saber quais médias diferem entre si, procedeu-se ao Teste de Tukey (TABELA 33).

Para o erro de amostragem, verifica-se que apenas o PB e o CC diferem estatisticamente. Este resultado confirma o PB como o mais preciso na estimativa de

área basal (m^2/ha), confirmando-se a tendência de ser o mais preciso como foi verificado quando as três condições foram analisadas em separado.

Para a eficiência relativa, verifica-se que não há diferenças estatísticas entre as médias dos tratamentos, não se necessitando realizar o Teste de Tukey. O CL é o método mais eficiente na estimativa desta variável, sendo 51% mais eficiente, em média, em relação aos demais.

Para Nakajima (1997), pelo fato de no método por Ponto de Bitterlich (PB) a probabilidade de amostragem das árvores ser proporcional à área basal, na estimativa desta variável, este método tende a ser superior ao de área fixa.

Volume total (m^3/ha)

A análise de variância mostrou que existem diferenças significativas para as médias dos tratamentos apenas para o erro de amostragem e, assim, para saber quais médias diferem entre si, procedeu-se ao Teste de Tukey (TABELA 33).

Para o erro de amostragem, verifica-se que apenas o PB e o CC diferem estatisticamente. Este resultado confirma o PB como o mais preciso na estimativa de área basal (m^2/ha), confirmando-se a tendência de ser o mais preciso, como foi verificado quando as três condições foram analisadas em separado.

Para a eficiência relativa, verifica-se que não há diferenças estatísticas entre as médias dos tratamentos, não se necessitando realizar o Teste de Tukey. O CL é o método mais eficiente na estimativa desta variável, sendo 49% mais eficiente, em média, em relação aos demais.

Para Nakajima (1997), o método PB foi o que apresentou o menor erro de amostragem na estimativa da variável volume, fato confirmado nesta pesquisa.

5.3 ANÁLISES DOS INVENTÁRIOS FLORESTAIS DOS ANOS DE 2007 E 2011

Realizou-se nesse item uma análise do comportamento do erro de amostragem, pois, entre a primeira ocasião (medição) e a segunda ocasião (medição), ocorreu uma intervenção, ou seja, um desbaste misto.

5.3.1 Análise do erro de amostragem dos anos de 2007 e 2011

A análise foi efetuada em função do comportamento do erro de amostragem de ambos os métodos e suas variações estruturais na estimativa de cada variável em cada condição sob análise.

Conforme apresentado na Tabela 34, a análise do DAP médio (cm) mostra que o erro de amostragem da PC foi menor nas três condições, para o ano de 2007. Já para o ano de 2011, o PB propiciou um menor erro de amostragem para as três condições.

Já em relação à variável número de árvores (N/ha), o erro de amostragem da PC foi menor nas condições 1 e 3 e, na condição 2, o menor de erro de amostragem foi do CL, para o ano de 2007. Para o ano de 2011, os resultados mudaram. O CL propiciou o menor erro de amostragem na condição 1 e 2 e, na condição 3, o PB.

TABELA 34 - ERRO DE AMOSTRAGEM PARA OS INVENTÁRIOS DE 2007 E 2011

Erro de amostragem (%)								
Condição 1								
Método	DAP médio (cm)		Número de árvores (N/ha)		Área basal (m ² /ha)		Volume total (m ³ /ha)	
	2007	2011	2007	2011	2007	2011	2007	2011
PB	±2,42	± 1,49	±5,69	±4,28	±3,31	± 3,89	±3,84	± 4,00
PC	± 1,71	± 1,56	± 1,92	±4,10	± 3,07	±5,03	± 3,63	±5,31
CC	±3,20	± 2,21	±3,50	±5,03	±7,57	±6,34	±8,76	±6,68
CL	±2,75	± 1,89	±3,50	± 3,51	±6,57	±5,07	±7,74	±5,44
Condição 2								
Método	DAP médio (cm)		Número de árvores (N/ha)		Área basal (m ² /ha)		Volume total (m ³ /ha)	
	2007	2011	2007	2011	2007	2011	2007	2011
PB	±2,69	± 1,57	±5,62	±4,96	±2,78	± 4,53	± 2,91	± 4,58
PC	± 1,91	±1,76	±2,84	±4,85	±4,00	±5,19	±4,44	±5,31
CC	±3,08	±3,11	±3,53	±7,56	±3,94	±9,19	±4,73	±9,44
CL	±2,61	±2,35	± 2,83	± 4,61	± 2,56	±5,45	±3,27	±5,65
Condição 3								
Método	DAP médio (cm)		Número de árvores (N/ha)		Área basal (m ² /ha)		Volume total (m ³ /ha)	
	2007	2011	2007	2011	2007	2011	2007	2011
PB	±1,90	± 1,63	±5,09	± 5,67	± 3,51	± 4,09	± 3,49	± 4,05
PC	± 1,81	±2,05	± 1,84	±6,22	±3,61	±6,03	±3,83	±6,14
CC	±2,89	±3,22	±4,05	±8,19	±4,28	±10,08	±4,57	±10,34
CL	±2,00	±3,35	±2,46	±7,59	±4,01	±10,53	±4,28	±10,91

FONTE: O autor (2014)

Para a área basal (m^2/ha), no inventário de 2007, o erro de amostragem foi diferente para cada condição, sendo: condição 1, menor erro de amostragem para a PC; condição 2, CL e condição 3, PB. No inventário de 2011, não prevaleceram os mesmos resultados de 2007, sendo o PB o que propiciou o menor erro de amostragem para todas as condições.

Sobre o volume total (m^3/ha), em ambos os inventários, o PB prevaleceu com o menor erro de amostragem, exceto na condição 1 do ano de 2007, no qual a PC propiciou menor erro de amostragem.

5.3.2 Análise da eficiência relativa dos anos de 2007 e 2011

A análise foi efetuada em função do comportamento da eficiência relativa de ambos os métodos e suas variações estruturais na estimativa de cada variável em cada condição analisada.

Conforme a Tabela 35 apresenta, para o DAP médio (cm), no inventário de 2007, a PC foi mais eficiente nas três condições e, no inventário de 2011, o CL propiciou maior eficiência nas condições 1 e 2 e, na condição 3, o CC foi mais eficiente.

Para o número de árvores (N/ha), no inventário de 2007, a PC foi mais eficiente em todas as condições e, no inventário de 2011, o CL foi mais eficiente em todas as condições.

Para a área basal (m^2/ha), nos inventários de 2007 e 2011, houve uma alternância de resultados. Em 2007, na condição 1, a PC foi mais eficiente e, nas condições 2 e 3, o PB propiciou maior eficiência. Em 2011, nas condições 1 e 2, o CL foi o mais eficiente e, na condição 3, o mais eficiente foi o PB.

TABELA 35 - EFICIÊNCIA RELATIVA DOS INVENTÁRIOS DE 2007 E 2011

Eficiência Relativa																			
Condição 1																			
Método	Tempo (min)		DAP médio (cm)				Número de árvores (N/ha)				Área basal (m ² /ha)				Volume total (m ³ /ha)				
	2007	2011	2007		2011		2007		2011		2007		2011		2007		2011		
	2007	2011	CV %	ER	CV %	ER	CV %	ER	CV %	ER	CV %	ER	CV %	ER	CV %	ER	CV %	ER	
PB	93,88	94,22	7,58	1,86	4,67	4,87	17,79	0,34	13,37	0,59	10,36	0,99	12,16	0,72	12,02	0,74	12,51	0,68	
PC	103,36	78,29	5,34	3,39	4,88	5,35	6,01	2,67	12,84	0,78	9,60	1,05	15,73	0,52	11,35	0,75	16,61	0,46	
CC	141,33	96,28	6,17	1,86	3,08	10,92	8,32	1,02	7,03	2,10	14,47	0,34	8,87	1,32	16,58	0,26	9,34	1,19	
CL	141,52	94,50	5,84	2,07	2,65	15,08	7,94	1,12	4,91	4,39	13,11	0,41	7,08	2,11	15,21	0,31	7,61	1,83	
Condição 2																			
Método	Tempo (min)		DAP médio (cm)				Número de árvores (N/ha)				Área basal (m ² /ha)				Volume total (m ³ /ha)				
	2007	2011	2007		2011		2007		2011		2007		2011		2007		2011		
	2007	2011	CV %	ER	CV %	ER	CV %	ER	CV %	ER	CV %	ER	CV %	ER	CV %	ER	CV %	ER	
PB	74,36	76,07	8,40	1,91	4,90	5,47	17,57	0,44	15,51	0,55	8,70	1,78	14,18	0,65	9,11	1,62	14,33	0,64	
PC	67,12	50,01	5,98	4,17	5,51	6,58	8,87	1,89	15,17	0,87	12,51	0,95	16,24	0,76	13,89	0,77	16,59	0,73	
CC	103,11	90,30	5,83	2,85	4,35	5,85	9,81	1,01	10,57	0,99	10,84	0,83	12,85	0,67	12,04	0,67	13,19	0,64	
CL	106,05	90,59	5,47	3,15	3,29	10,20	10,79	0,81	6,45	2,65	8,78	1,22	7,61	1,90	9,59	1,03	7,90	1,77	
Condição 3																			
Método	Tempo (min)		DAP médio (cm)				Número de árvores (N/ha)				Área basal (m ² /ha)				Volume total (m ³ /ha)				
	2007	2011	2007		2011		2007		2011		2007		2011		2007		2011		
	2007	2011	CV %	ER	CV %	ER	CV %	ER	CV %	ER	CV %	ER	CV %	ER	CV %	ER	CV %	ER	
PB	71,58	73,53	5,96	3,94	5,10	5,24	15,92	0,55	17,74	0,43	10,98	1,16	12,79	0,83	10,92	1,17	12,67	0,85	
PC	69,40	46,35	5,65	4,51	6,42	5,24	5,75	4,36	19,46	0,57	11,27	1,13	18,86	0,61	11,97	1,01	19,19	0,59	
CC	111,60	81,28	5,91	2,57	4,50	6,07	10,99	0,74	11,45	0,94	11,59	0,67	14,09	0,62	11,96	0,63	14,45	0,59	
CL	115,60	81,45	5,51	2,85	4,68	5,60	9,30	1,00	10,61	1,09	11,84	0,62	14,72	0,57	12,35	0,57	15,26	0,53	

FONTE: O autor (2014)

Já para o volume total (m^3/ha), nos inventários de 2007 e de 2011, houve alternância de resultados. Em 2007, na condição 1, a PC foi a mais eficiente e, nas condições 2 e 3, o PB propiciou maior eficiência. Em 2011, nas condições 1 e 2, o CL foi mais eficiente e, na condição 3, o mais eficiente foi o PB.

Vale ressaltar que a eficiência relativa para as variáveis DAP médio (cm) e número de árvores (N/ha) manteve-se na mesma ordem em ambos os anos e variáveis, com exceção da variável DAP médio (cm) no ano de 2011 na condição 3, onde os conglomerados se alternaram. Para a variável área basal (m^2/ha) e volume total (m^3/ha), manteve-se a mesma ordem em ambos os anos e variáveis. Em relação ao tempo, o PB foi o único que aumentou. Isto pode ser justificado pelo maior número de árvores em relação à PC, ao CC e ao CL.

5.3.3 Análise do erro de amostragem e eficiência relativa simultaneamente para os anos de 2007 e 2011

Neste item são discutidos os resultados compilados das análises simultâneas em ambos os inventários florestais (TABELA 36), cujos resultados foram anteriormente apresentados. Desta forma, neste item foram analisadas apenas as médias dos erros de amostragem e eficiências relativas utilizados nos delineamentos em blocos casualizados (Anova e Teste de Tukey).

Os resultados foram diferentes para as variáveis DAP médio (cm) e número de árvores (N/ha). Para o ano de 2007, na estimativa destas variáveis, a PC foi mais precisa e eficiente e, para o ano de 2011, o PB foi mais preciso e o CL mais eficiente. Não há diferença estatisticamente significativa entre os dois métodos mais precisos e eficientes.

Para a variável área basal (m^2/ha) e volume total (m^3/ha), os resultados foram diferentes. No inventário de 2007, a PC foi mais precisa e o PB mais eficiente e no de 2011, o PB foi mais preciso e o CL mais eficiente. Não há diferença estatisticamente significativa entre os dois métodos mais precisos e eficientes.

Os resultados confirmam o que outros pesquisadores já mencionaram. Quando as árvores da plantação têm uma distribuição geométrica, ou seja, as

árvores estão plantadas com espaçamento definido, o método de área fixa tende a ter melhor resultado que o de área variável e, quando as árvores da plantação se apresentam aleatoriamente distribuídas, que é o caso após desbaste, o método de área variável se sobressai. Entretanto, este fato não é regra.

TABELA 36 - TESTE DE TUKEY PARA AS ESTIMATIVAS DAS VARIÁVEIS

DAP médio (cm)				
Método/Estrutura	2007		2011	
	Erro de amostragem	Eficiência relativa	Erro de amostragem	Eficiência relativa
PB	2,34 b c	2,57 a b	1,56 c	5,19 a
PC	1,81 c	4,02 a	1,79 b c	5,72 a
CC	3,06 a	2,43 b	2,85 a	7,61 a
CL	2,45 a b	2,69 a b	2,53 a b	10,29 a

Número de árvores (N/ha)				
Método/Estrutura	2007		2011	
	Erro de amostragem	Eficiência relativa	Erro de amostragem	Eficiência relativa
PB	5,47 a	0,44 b	4,97 a	0,52 b
PC	2,20 c	1,04 a	5,06 a	0,74 a b
CC	3,69 b	0,92 b	6,93 a	1,34 a b
CL	2,93 b c	0,98 b	5,24 a	2,71 a

Área basal (m ² /ha)				
Método/Estrutura	2007		2011	
	Erro de amostragem	Eficiência relativa	Erro de amostragem	Eficiência relativa
PB	3,20 a	1,31 a	4,17 b	0,73 a
PC	3,56 a	1,04 a b	5,42 a b	0,63 a
CC	5,26 a	0,61 b	8,54 a	0,87 a
CL	4,38 a	0,75 a b	7,01 a b	1,53 a

Volume total (m ³ /ha)				
Método/Estrutura	2007		2011	
	Erro de amostragem	Eficiência relativa	Erro de amostragem	Eficiência relativa
PB	3,41 a	1,18 a	4,21 b	0,72 a
PC	3,97 a	0,84 a b	5,58 a b	0,59 a
CC	6,02 a	0,52 b	8,82 a	0,81 a
CL	5,10 a	0,64 a b	7,34 a b	1,37 a

FONTE: O autor (2014)

No que se refere ao erro de amostragem para o DAP médio (cm), Nakajima *et al.* (1995) obtiveram em reflorestamento de Cedro japonês (*Cryptomeria japonica* D. Don), resultados similares ao do presente estudo. Yoshida (1991), em reflorestamento de Cedro japonês (*Cryptomeria japonica* D. Don), obteve a seguinte

classificação: em primeiro, o método de Strand e, em segundo, o método de área fixa com Parcela Circular (PC), seguido do método de área fixa com Parcela Circular Concêntrica e método por Ponto de Bitterlich. Nakajima *et al.* (2011), em estudo comparativo entre o método de amostragem em linha ou método de Strand e o método de amostragem com Parcela Circular Concêntrica em plantações de *Pinus elliottii* Engelm., no município de Nova Campina, sul do estado de São Paulo, concluíram que o método com Parcela Circular Concêntrica foi levemente superior ao método de amostragem em linha, porém, sem diferença estatisticamente significativa entre ambos na estimativa desta variável.

Já para o número de árvores (N/ha), Nakajima *et al.* (1995, 1996) obtiveram nas condições das Florestas Experimentais de Shiragadake e Takakuma, Japão, os seguintes resultados: o método de área fixa com parcela Circular em primeiro, seguido do método de área fixa com Parcela Circular Concêntrica e de Strand. Couto *et al.* (1990) comparam o método de Bitterlich, utilizando fatores de área basal iguais a 2, 3 e 4, com o método de área fixa para estimar o número de árvores (N/ha) em uma área plana e em outra acidentada em plantações de *Eucalyptus saligna* Sm. Os referidos autores concluíram que o método de Bitterlich estimou com precisão o número médio de árvores, por hectare, em ambas as áreas e com os três fatores de área basal estudados, porém, verificaram uma maior variância entre as estimativas obtidas pelo método de Bitterlich em relação ao de área fixa. Nakajima *et al.* (2011), em estudo comparativo entre o método de amostragem em linha ou método de Strand e o método de amostragem com Parcela Circular Concêntrica, em plantações de *Pinus elliottii* Engelm., no município de Nova Campina, Sul do estado de São Paulo, concluíram que o método de amostragem em linha foi levemente superior ao método com Parcela Circular Concêntrica, porém, sem diferença estatisticamente significativa entre ambos na estimativa desta variável.

Em relação à área basal (m^2/ha), Loetsch *et al.* (1973) observaram que, no método PB, devido à probabilidade de a amostragem ser proporcional à área transversal das árvores, a área basal por hectare é mais bem estimada que em métodos de área fixa. Nakajima *et al.* (1995, 1996) obtiveram para as condições das Florestas Experimentais de Shiragadake (Floresta Mista), Japão, o método de Bitterlich, seguido do método de área fixa com parcela Circular Concêntrica, de Strand, e do método de área fixa com Parcela Circular. Para as condições dos

reflorestamentos da Floresta Experimental de Takakuma, os resultados foram: método de área fixa com Parcela Circular Concêntrica, método de área fixa com Parcela Circular ou Bitterlich e de Strand. Nakajima *et al.* (2011), em estudo comparativo entre o método de amostragem em linha ou método de Strand e o método de amostragem com Parcela Circular Concêntrica em plantações de *Pinus elliottii* Engelm., no município de Nova Campina, Sul do estado de São Paulo, concluíram que o método de amostragem em linha mostrou-se superior ao método com Parcela Circular Concêntrica, com diferença estatisticamente significativa entre ambos na estimativa desta variável.

Para o volume total (m^3/ha), Nakajima *et al.* (1995, 1996) obtiveram para as condições das Florestas Experimentais de Shiragadake (Floresta Mista), Japão, o método de amostragem por Ponto de Bitterlich, seguido do método de área fixa com Parcela Circular Concêntrica, de Strand e método de área fixa com Parcela Circular. Para as condições dos reflorestamentos da Floresta Experimental de Takakuma, os resultados foram: método de área fixa com Parcela Circular Concêntrica, método de área fixa com Parcela Circular ou Bitterlich e de Strand. Yoshida (1991), também em reflorestamentos de Cedro japonês, obteve na estimativa de volume por hectare, os seguintes resultados: método de Strand, método de área fixa com Parcela Circular, método de Bitterlich e método de área fixa com parcela Circular Concêntrica. Mahrer e Vollenweider (1983), em reflorestamentos da Suíça, obtiveram as seguintes classificações: método de área fixa com Parcela Circular Concêntrica, seguido do método de Strand, método de Bitterlich e método de área fixa com Parcela Circular. Nakajima *et al.* (2011), em estudo comparativo entre o método de amostragem em linha ou método de Strand e o método de amostragem com Parcela Circular Concêntrica em plantações de *Pinus elliottii* Engelm., no município de Nova Campina, Sul do estado de São Paulo, concluíram que o método de amostragem em linha mostrou-se superior ao método com Parcela Circular Concêntrica, com diferença estatisticamente significativa entre ambos na estimativa desta variável.

No que diz respeito à eficiência relativa, Moscovich, Brena e Longhi (1999), em estudo realizado numa floresta de *Araucaria angustifolia* (município de São Francisco de Paula - RS), para a variável número de árvores (N/ha), obtiveram a seguinte ordem de eficiências relativas: método de Strand, método de Prodan, Área Fixa e, por último, método de Bitterlich e, para as variáveis área basal (m^2/ha) e

volume (m^3/ha), os mesmos autores, para a mesma floresta, encontraram a seguinte ordem de eficiências relativas: método de Strand, método de Bitterlich, método de Prodan e o de Área Fixa, em último. Os pesquisadores Cesaro *et al.* (1994), na estimativa de volume (m^3/ha) em povoamento de *Pinus* sp., constataram maior eficiência para o método de Área Fixa, seguido do método de Bitterlich e do de Seis Árvores.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 INVENTÁRIO FLORESTAL DE 2007

Analisando-se os resultados simultaneamente para as três condições estudadas no inventário florestal de 2007, conclui-se que:

- Para a estimativa de DAP médio (cm), o método de área fixa com Parcela Circular (PC) foi o mais preciso e eficiente. O segundo método mais preciso foi o de Bitterlich (PB) e o segundo mais eficiente foi o de área fixa com Conglomerado em Linha (CL), ressaltando que não houve diferenças significativas entre os métodos, tanto para o erro de amostragem, quanto para a eficiência relativa.
- Para a estimativa de número de árvores (N/ha), o método de área fixa com Parcela Circular (PC) foi o mais preciso e eficiente, seguido pelo método de área fixa com Conglomerado em Linha (CL), sendo que houve diferença significativa entre o método de área fixa com Parcela Circular (PC) e o de área fixa com Conglomerado em Linha (CL) apenas em relação à eficiência relativa.
- Para a estimativa de área basal (m^2/ha), o método por Ponto de Bitterlich (PB) foi o mais preciso e eficiente, seguido pelo método de área fixa com Parcela Circular (PC), ressaltando que não houve diferença estatisticamente significativa entre ambos, tanto para o erro de amostragem, quanto para a eficiência relativa.
- Para a estimativa de volume total (m^3/ha), o método por Ponto de Bitterlich (PB) foi o mais preciso e eficiente, seguido pelo método de área fixa com Parcela Circular (PC), ressaltando que não houve diferença estatisticamente significativa entre ambos, tanto para o erro de amostragem quanto para a eficiência relativa.

6.2 INVENTÁRIO FLORESTAL DE 2011

Analisando-se os resultados simultaneamente para as três condições estudadas no inventário florestal de 2011, conclui-se que:

- Para a estimativa de DAP médio (cm), o método por Pontos de Bitterlich (PB) foi o mais preciso, porém, o mais eficiente foi o Conglomerado em Linha (CL). O segundo método mais preciso foi o de área fixa com Parcela Circular (PC) e o segundo mais eficiente foi o de área fixa com Conglomerado em Cruz (CC), sendo que houve diferenças significativas entre os métodos apenas para o erro de amostragem.
- Para a estimativa de número de árvores (N/ha), o método por Pontos de Bitterlich (PB) foi o mais preciso, porém, o Conglomerado em Linha foi o mais eficiente. O segundo método mais preciso foi o de área fixa com Parcela Circular (PC) e, para a eficiência relativa, foi o Conglomerado em Cruz (CC).
- Para a estimativa de área basal (m^2/ha), o método por Pontos de Bitterlich (PB) foi o mais preciso e o Conglomerado em Linha (CL), o mais eficiente. O segundo método mais preciso foi o de área fixa com Parcela Circular (PC), e o segundo mais eficiente foi o Conglomerado em Cruz (CC).
- Para a estimativa de volume total (m^3/ha), o método por Pontos de Bitterlich (PB) foi o mais preciso e o Conglomerado em Linha (CL), o mais eficiente, não havendo diferença estatística em eles para ambas as análises. O segundo método mais preciso foi o de área fixa com Parcela Circular (PC), e o Conglomerado em Cruz (CC), o segundo mais eficiente.

Em linhas gerais, quando da realização de inventário florestal para plantações com ou sem desbastes, sugere-se utilizar o método de amostragem de área fixa com Parcela Circular ou Conglomerado em Linha, pois considerando o volume total como a variável mais importante, essas duas variações estruturais do

método de área fixa proporcionaram erros de amostragem menores e maiores eficiências relativas.

Com base nos resultados e na experiência adquirida, pode-se concluir que o Conglomerado em Linha (CL) pode ser mais eficiente se sua estruturação em campo for conforme o esquema apresentado na Figura 15, onde o centro da primeira subunidade é considerado o centro do ponto amostral.

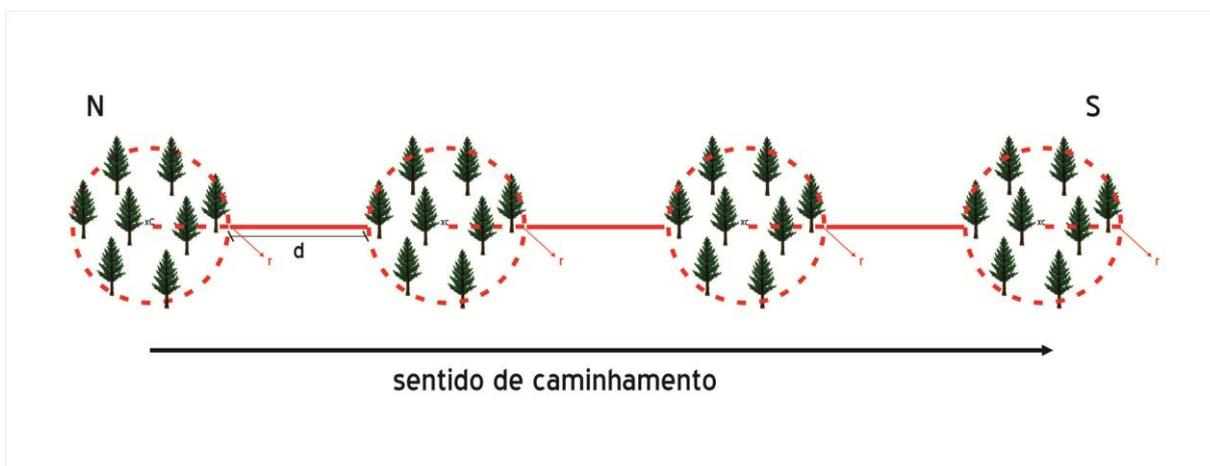


FIGURA 15 - SUGESTÃO DE ESTRUTURAÇÃO DO CONGLOMERADO EM LINHA
FONTE: O autor (2014)

Em que: c = centro da primeira subunidade é igual o centro do ponto amostral.

c = centro da subunidade amostral;

r = raio da subunidade amostral;

d = distância entre as bordas das subunidades amostrais.

REFERÊNCIAS

EVERY, T. E.; BURKHART, H. **Forest measurements**. New York, McGraw-Hill Book Company, 1983. 331p.

BAKER, J. B.; LANGDON, O. G. *Pinus taeda* L. – Loblolly pine. In: **BURNS, R. M.; HONKALA, B. H. (Eds.)**. *Silvics of North America*. Washington: USDA Forest Service. v. 1. p.497 – 512, 1990.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 247 p.

BARROS, D. A. **Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes idades e regimes de manejo**. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

BARTOSZECK, A. C. P. S. **Evolução da relação hipsométrica e da distribuição diamétrica em função dos fatores idade, sítio e densidade inicial em bracingais da região metropolitana de Curitiba**. 214 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

BOGNOLA, I. POTTER, R. O.; CARVALHO, A. P.; FASOLO, P. J.; BHERING, S. B.; MARTARANO, L. G. Caracterização dos solos do município de Carambeí - PR. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, p. 75, 2002.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo. Livraria Nobel S.A, 1991, 154 p.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2ª ed. Viçosa: UFV, 2006, 470 p.

CASTILLO, S. J. **Ensayo para determinar la eficiencia comparativa de sitios de muestreo en bosques de clima templado e frio**. México, 1964.

CESARO, A.; ENGEL, O. A.; FINGER, C. O. G.; SCHNEIDER, P. R. Comparação dos métodos de amostragem de área fixa, relascopia e de seis árvores, quanto a

eficiência, no inventário florestal de um povoamento de *Pinus* sp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 97-108, 1994.

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M.; LACERDA, J. S. A amostragem por pontos na estimativa da altura de árvores dominantes e número de árvores por hectare em povoamentos de *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, n. 43 - 44, p. 50-53, 1990.

DRUSZCZ, J. P. **Comparação do método de Bitterlich com três variações estruturais do método de área fixa com unidades circulares em plantio de *Pinus taeda* L.** 120 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

FARIAS, C. A.; SOARES, C. P. B.; SOUZA, A. L.; L. H. G. Comparação de métodos de amostragem para análise estrutural de florestas inequiâneas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 541-548, 2002.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM CEPEF/FATEC, 1993, 263 p.

FREESE, F. **Elementary forest sampling**. Washington U.S. Forest Service, 1962, 91 p.

GOMES, F. P. C. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba, 1973, 430 p.

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S. **Introdução ao manejo economia de florestas**. Curitiba: Editora UFPR, 2008. 164 p.

HUSCH, B. **Forest mensuration and statistics**. New York, Ronald Press, 1963, 474 p.

HUSCH, B. **Planning a forest inventory**. Roma, FAO, 1971, 120 p.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. New York, John Wiley e Sons, 1982, 402 p.

KRONKA, F. J.N; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura do *Pinus* no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. 2ª ed. Munich: BLV Vellagsgesellschaft, 1973, 469 p.

MAACK, R.; **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: José Olympio, 1968.

MACHADO, S. A.; BARBOSA DA CONCEIÇÃO, M.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Revista Ciência Exatas e Naturais**, v. 4, n. 2, p. 186- 197, jul./dez., 2002.

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

MACHADO, S. A.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R.; TÉO, S. J.; STOLLE, L.; URBANO, E. Modelagem volumétrica para bracatinga (*Mimosa scabrella*) em povoamentos da região de Curitiba. **Revista Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 56, p. 17 - 29, jan./jun., 2008.

MAHRER, F.; VOLLENWEIDER, C. **National forest inventory**. Swiss Federal Institute of Forestry Research, 1983, 26 p.

MARTINS, G. A. **Estatística geral e aplicada**. 3ª ed. São Paulo: Atlas 2006, 421 p.

MAURICIO, J.; VINCENT, L.; MORET, A. Y.; QUEVEDO, A. Comparación entre modalidades de muestreo em plantaciones de Pino Caribe en el oriente de Venezuela. **Revista Forestal Venezolana**, 49(1), p. 17- 25, 2005.

MELLO, J. M. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal**. 122 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MOSCOVICH, F. A.; BRENA, B. A.; LONGHI, S. J. Comparação de diferentes métodos de amostragem, de área fixa e variável, em uma floresta de *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 173- 191, 1999.

NAKAJIMA, N. Y.; YOSHIDA, S.; IMANAGA, M. Comparison among four ground-survey methods as a continuous forest inventory system for forest management. **J. Jpn. For. Soc.** v. 77, n. 6, p. 573- 580, 1995.

NAKAJIMA, N. Y.; YOSHIDA, S.; IMANAGA, M. Comparison of the accuracies of four ground-survey methods used for estimating forest stand values on two occasions. **J. For. Plann.**v. 2, n. 2, p. 137 - 144, 1996.

NAKAJIMA, N. Y.; YOSHIDA, S.; IMANAGA, M. Comparison of change estimation between four ground-survey methods for use in a continuous forest inventory system. **J. For. Plann.** v. 2, n. 2, p. 145 - 150, 1996.

NAKAJIMA, N. Y. **Comparison of four ground-survey methods when used as permanent samples in the continuous forest inventory for forest management.** Kagoshima University. The United Graduate School of Agricultural Sciences, 1997, 91 p.

NAKAJIMA, N. Y.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R.; POSONSKI, M. **Elaboração de um sistema de amostragem para estimativa de valores correntes e mudança/crescimento em reflorestamento de Pinus.** Curitiba: CNPq/UFPR, 1998. 33 p.

NAKAJIMA, N. Y.; PÉLLICO NETTO, S.; DRUSZCZ, J. P.; YOSHITANI JUNIOR, M. Comparação da precisão entre os métodos de amostragem linha e parcela circular concêntrica em povoamentos de *Pinus elliotti*. Revista Acadêmica: **Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 9, n.2, p. 131- 139, 2011.

NISHIZAWA, M. **Forest mensuration.** Tokyo: Nourinshuppan, 1972.

OGAYA, N. **Sobre a influência del tamanho de las parcelas em los errores de muestreo em inventário florestales tropicales.** Universidad de Los Andes. Facultad de Ciências Forestales. Centro de Estudios Forestales de Pós-graduação, 1977, 153 p.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. **Inventário florestal.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1997, 316 p.

PEARCE, S. C. **Field experiments with fruit trees and other perennial plants.** Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops, T. C. 23, 1935, p. 131.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura forestal.** San José, Costa Rica: IICA, 1997, 586 p.

QUEIROZ, W. T. Efeitos da variação estrutural em unidades amostrais na aplicação do processo de amostragem em conglomerados nas florestas do planalto do Tapajós. **Revista Floresta**, v. 8, n. 1, 1977.

QUEIROZ, W. T. **Técnicas de amostragem em inventário florestal nos trópicos**. Belém, 1998, 147 p.

RAMER, H.; AKÇA, A. **Leitfaden für dendrometrie und bestandesinventur**. Frankfurt, A. M.: Sauerland, 1982, 251 p.

RICHARDSON, D. M.; RUNDEL, P. W. **Ecology and biogeography of pinus: an introduction**. In: RICHARDSON, D. M., ed., *Ecology and biogeography of Pinus*, New York: Cambridge University Press. Cambridge, p. 1 - 48, 1998.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; DALLA CÔRTE, A.; FERNANDES, L. A. V. **Inventários florestais: planejamento e execução**. 1ª ed. Curitiba, 2006, 271 p.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; DALLA CÔRTE, A.; FERNANDES, L. A. V. **Inventários florestais: planejamento e execução**. 2ª ed. Curitiba, 2009, 316 p.

SHIMIZU, J. Y. Pinus na silvicultura brasileira. **REVISTA DA MADEIRA**, Curitiba, n. 83, p. 22-28, ago. 2004.

SILVA, L. B. X. **Tamanhos e formas de unidades de amostra em amostragem aleatória e sistemática para florestas plantadas de *Eucalyptus Alba* Rewien**. 141 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1977.

SILVA, J. A. **Biometria e estatística florestal**. UFSM. Santa Maria, 1977, 235 p.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: Ed. UFV, 2006, 276 p.

SPARKS, J.; MASTERS, R.; PAYTON, M. Comparative evaluation of accuracy and efficiency of six forest sampling methods. **Proc. Okla. Acad. Sci**, v. 82, p. 49 - 56, 2002.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977.

SPURR, S. H. **Forest inventory**. New York, Ronald Press Co., 1955, 479 p.

SPURR, S. H. **Forest inventory**. New York, Ronald Press Co., 1971, 476 p.

STERBA, H. **Holzmesslehre**. Wien: Inst. f. Forstl. Ertragslehre der Univ. f. Bodenkultur, 1986, 169 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. **ASSISTAT**, versão 7.5 (beta). Campina Grande - PB, 2008, <http://www.assistat.com>.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. **ASSISTAT**, versão 7.8 (beta). Campina Grande - PB, 2013, <http://www.assistat.com>.

VASQUES, A. G. **Método de amostragem em linhas**: desenvolvimento e aplicação em uma floresta implantada com *Pinus taeda* L. 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1988.

VERUETTE, F. J.; PIMENTEL, B. L. **Muestreo comparativo entre sítios circulares y sítios de dimensiones variables**. México, 1964, p. 167-173.

WACHOWICZ, R. C. **O camponês polonês no Brasil**. Curitiba, 1981, 152 p.

YOSHIDA, S. Studies on the continuous forest inventory system: comparison of survey methods on the ground. **The Bulletin of the Faculty of Agriculture**, Kagoshima University, Japan, 1991.