

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**AMOSTRAGEM ALEATÓRIA DE RAMOS COMO
MÉTODO PARA ESTIMAR OS ESTOQUES EM VOLUME,
BIOMASSA E CARBONO EM FLORESTA ESTACIONAL
NO ESTADO DE GOIÁS**

RENATO NASSAU LÔBO

ORIENTADORA: PROF. DRA. ALBA VALÉRIA REZENDE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PUBLICAÇÃO: PPGEFL.DM – 182/2012

BRASÍLIA/DF: ABRIL/2012

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
FACULDADE DE TECNOLOGIA

**AMOSTRAGEM ALEATÓRIA DE RAMOS COMO MÉTODO PARA
ESTIMAR OS ESTOQUES EM VOLUME, BIOMASSA E CARBONO
EM FLORESTA ESTACIONAL NO ESTADO DE GOIÁS**

RENATO NASSAU LÔBO

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA COMO PRÉ REQUISITO PARA OBTENÇÃO
DO TÍTULO DE MESTRE EM CIÊNCIAS FLORESTAIS DA UNIVERSIDADE
DE BRASÍLIA, SUBMETIDA À APROVAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA
COMPOSTA PELOS SEGUINTE MEMBROS:**

APROVADO POR:

Prof. Dr^a Alba Valéria Rezende (Departamento de Engenharia Florestal / UNB);
(Orientador)

Prof. Dr. Gilciano Saraiva Nogueira (Departamento de Engenharia Florestal / UFVJM);
(Examinador Externo)

Dr. Joberto Veloso de Freitas (Diretor de Pesquisa e Informações / Serviço Florestal
Brasileiro – SFB);
(Examinador Externo)

Prof. Dr. Ailton Teixeira do Vale (Departamento de Engenharia Florestal / UNB);
(Examinador Suplente)

Brasília, abril de 2012

"Tu encontrarás mais nas florestas do que nos livros;
as árvores e as pedras ensinar-te-ão coisas que
nenhum mestre poderá dizer-te."

São Bernardo de Claraval, séc. XII.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por toda a proteção em minha jornada.

Aos meus pais Eduardo e Cândida, por todo o apoio, compreensão e incentivo.

À minha estimada orientadora Professora Dr^a Alba Valéria Rezende, pelos ensinamentos, pela amizade, pela paciência e pela confiança em mim depositada.

Ao caríssimo professor Dr. Gilciano Saraiva Nogueira, pela inestimável ajuda nas análises e processamento dos dados.

Aos meus amigos Gabriel Vargas Mendonça e Raul Silvestre, por terem escalado sagazmente as árvores testadas neste estudo. Sem esse apoio a coleta de dados para este trabalho não seria possível.

Aos meus amigos Clarine, Pedro, Victor, Gabriel, Raul e Seu Sebastião, pelo trabalho em equipe e ajuda durante a coleta de dados em campo.

Ao meu amigo Thiago Ungaretti, pela elaboração do mapa deste estudo.

Aos meus amigos e colegas de pós-graduação: Leandro Sales, Larissa Arruda, Marcela Amorim, Lamartine Soares, Eder Miguel, Henrique Mews, Taciana dos Santos e, principalmente, à Lívia Carrera, pela parceria nestes anos de mestrado.

Aos professores do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília José Roberto Rodrigues Pinto e Ailton Teixeira do Vale pelos valiosos ensinamentos ao longo de minha vida acadêmica.

Aos meus amigos HERF e Jiraya, pelos anos de amizade, parceria e trabalho em equipe.

À minha querida namorada Catarina, pelo amor, paciência e compreensão.

A CAPES/REUNI pela bolsa de mestrado concedida e ao CNPQ pelo apoio financeiro empregado na coleta de dados deste trabalho.

A toda minha família e amigos por serem tão importantes em minha vida.

Dedico este trabalho.

RESUMO

AMOSTRAGEM ALEATÓRIA DE RAMOS COMO MÉTODO PARA ESTIMAR OS ESTOQUES EM VOLUME, BIOMASSA E CARBONO EM FLORESTA ESTACIONAL NO ESTADO DE GOIÁS

Autor: Renato Nassau Lôbo

Orientadora: Alba Valéria Rezende

Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais

Brasília, abril de 2012

Este estudo teve como objetivo principal testar a Amostragem Aleatória de Ramos (AAR), como um método não destrutivo para quantificar volume, biomassa seca e estoque de carbono acima do solo de árvores em uma floresta estacional decidual, localizada no Município de Campos Belos, Goiás. Um total de 100 árvores com diâmetro a altura do peito (DAP) igual ou superior a 5 cm, pertencentes a diferentes espécies e classes de diâmetro, foram selecionadas aleatoriamente. A AAR foi aplicada em cada árvore visando a obtenção do volume total considerando apenas o tronco e galhos com diâmetro igual ou superior a 3 cm. A partir do volume de cada árvore foram obtidos os respectivos valores de biomassa seca e estoque de carbono. Para obtenção da biomassa seca foram considerados os valores de densidade básica de cada espécie. O estoque de carbono de cada árvore foi considerado como sendo igual a 50% do valor da biomassa seca. Para validar a precisão do método de AAR, todas as árvores foram posteriormente abatidas ao nível do solo. O tronco e os galhos com diâmetro igual ou superior a 3 cm foram cubados rigorosamente em seções de diferentes tamanhos visando a obtenção do volume real de cada árvore. Galhos e seções do galho com diâmetro inferior a 5 cm foram descartados. O volume de cada seção foi determinado pela fórmula de Smalian. As seções do tronco e dos galhos foram pesadas separadamente em campo e o peso verde total de cada árvore foi determinado. Para a determinação do peso seco, foram retiradas ao longo do fuste, de cada árvore três discos de madeira, com aproximadamente 2,50 cm de espessura, nas posições base, meio e topo. O mesmo procedimento foi seguido para dois galhos grossos escolhidos aleatoriamente. Estas amostras foram pesadas em balança de precisão e, em seguida, colocadas em estufa a uma temperatura de 103 ± 2 °C até peso constante. Após secagem, cada amostra foi pesada novamente para obter o seu peso seco. A partir dos valores de peso úmido e peso seco das amostras, foi possível estimar a biomassa seca total da árvore e, posteriormente, o estoque de carbono. O teste t para dados pareados, bem como o teste de identidade de modelos, foram utilizados para validar a AAR como um método preciso

para estimar o volume, a biomassa seca e o estoque de carbono de árvores individuais em uma floresta estacional decidual, tomando para comparação os valores reais das respectivas variáveis determinados a partir da cubagem rigorosa. Os resultados dos testes de validação mostraram não haver diferença estatística significativa entre os valores de volume, biomassa seca e estoque de carbono, obtidos pela aplicação da AAR e pela cubagem rigorosa. Após validação do método da AAR, os valores de volume, biomassa seca e carbono estimados pela AAR, foram utilizados para ajustar modelos de regressão, lineares e não lineares, visando estimar o valor de cada variável (volume, biomassa seca e estoque de carbono) em função de variáveis independentes como DAP, altura total e combinações destas variáveis. O modelo de Shumacher & Hall apresentou os melhores ajustes e foi selecionado para estimar volume, biomassa seca e estoque de carbono das árvores com $DAP \geq 5$ cm da floresta estacional decidual estudada. Os valores totais das respectivas variáveis considerando toda a comunidade foram $59,72 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, $45.75 \text{ t}.\text{ha}^{-1}$ e $22.87 \text{ t}.\text{ha}^{-1}$.

Palavras-chave: mensuração florestal, produção florestal, equações alométricas, cubagem rigorosa não destrutiva, Cerrado.

ABSTRACT

RANDOMIZED BRANCH SAMPLING AS A METHOD TO ESTIMATE THE STOCKS IN VOLUME, BIOMASS AND CARBON OF SEASONAL FOREST IN THE STATE OF GOIÁS

Author: Renato Nassau Lôbo

Advisor: Alba Valéria Rezende

Program of Posgrate in Forest Sciences

Brasília, April 2012

This study aims to test the Randomized Branch Sampling (RBS) as a nondestructive method to quantify the volume, biomass and carbon stocks in aboveground level, of trees located at a seasonal deciduous forest located in the city of Campos Belos, Goiás. A hundred trees, with diameter at breast height (DBH), equal to or greater than 5 cm, belonging to different species and diameter classes, were randomly selected. The AAR was applied to each tree in order to obtain the total volume considering only the trunk and the branches with a diameter ≥ 3 cm. The corresponding values of dry biomass and carbon stocks of each tree were obtained from the estimated volume. The density of each species was considered to obtain the dry biomass values. The carbon stock of each tree was considered to be equal to 50% of dry biomass. To validate the RBS method, all the trees were subsequently felled down at ground level. The trunk and branches with a diameter equal or higher than 3 cm were rigorously sectioned into different sizes sections in order to obtain the actual volume of each tree. Branches thinner than 3 cm were discarded. The volume of each section was determined by formula Smalian. The trunk and branches sections were weighed separately during the field work and then the total green weight of each tree were determined. To determine the dry weight of each tree, three wood disks with approximately 2.50 cm thick were removed along the stem, in the positions base, middle and top. The same procedure was followed for two thick branches randomly chosen. These samples were weighed using a precision balance and then placed in an oven at a temperature of 103 ± 2 ° C to constant weight. After drying, each sample was weighed again to obtain the dry weight. From the values of wet and dry weight of the samples, it was possible to estimate the total tree biomass and then the carbon stocks. The t test for paired data and the model's identities analysis were used to validate the AAR as a precise method for estimating volume, biomass and carbon stock of individual trees in a seasonal deciduous forest, taking for comparison the actual values of the respective variables determined from the scaling. The validation results showed no significant statistical

difference between the values volume, biomass and carbon stocks obtained by applying the AAR and the values of these variables obtained from the scaling. After validation of the method of AAR, the estimated values for volume, dry biomass and carbon were used to fit linear and nonlinear regression models, to estimate the values of each variable (volume, biomass and carbon stocks) in function of independent variables DAP, height and combinations of these variables. Shumacher & Hall's model presented the best fit and was selected for estimating volume, biomass and carbon stocks of trees with $DBH \geq 5$ cm of the deciduous forest studied. The estimative of the respective variables considering the whole community was $59,72 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, $45.75 \text{ t}.\text{ha}^{-1}$ and $22.87 \text{ t}.\text{ha}^{-1}$.

Keywords: forest measurement, forest production, allometric equations, nondestructive scaling, Cerrado.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivo geral.....	3
1.2. Objetivos específicos	3
1.3. Hipótese.....	3
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Amostragem aleatória de ramos.....	4
2.2. Bioma Cerrado	7
2.2.1. Florestas estacionais	9
2.3. Quantificação do volume e dos estoques de biomassa e carbono da vegetação arbórea.....	13
2.3.1. Volume	13
2.3.2. Biomassa e carbono	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1. Descrição da área de estudo	20
3.1.1. Inventário florestal.....	22
3.2. Coleta de Dados.....	23
3.2.1. Estimativa dos estoques em volume, biomassa e carbono a partir de dados provenientes da amostragem aleatória de ramos.....	23
3.2.1.1. Seleção de árvores e espécies para aplicação da AAR	23
3.2.1.2. Aplicação da Amostragem Aleatória de Ramos	25
3.2.1.3. Seleção do caminho	26
3.2.1.4. Estimativa do volume dos componentes fuste e galhos grossos a partir da AAR	28
3.2.1.5. Suficiência amostral da AAR	30
3.2.1.6. Estimativa da biomassa do fuste e galhos grossos por árvore a partir da AAR	32
3.2.1.7. Estimativa do estoque de carbono a partir da AAR.....	32
3.2.2. Obtenção dos valores reais dos estoques em volume, biomassa e carbono ..	33
3.2.2.1. Determinação do estoque em volume	33
3.2.2.2. Determinação do estoque em biomassa por árvore.....	34
3.2.2.3. Determinação da densidade	35
3.2.2.4. Determinação do estoque de carbono por árvore.....	35
3.3. Análise de Dados	36
3.3.1. Avaliação da validade da AAR	36
3.3.2. Ajuste de modelos estimadores dos parâmetros volume, biomassa seca e carbono	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39

4.1. Seleção de árvores para aplicação teste da AAR	39
4.2. Estimativa do volume de árvores individuais a partir da AAR	42
4.2.1. Validação da AAR para estimar o volume de árvores individuais.....	48
4.3. Estimativa do estoque em biomassa seca e carbono de árvores individuais a partir da AAR	59
4.3.1. Validação da AAR para estimar os estoques em biomassa seca e carbono ..	65
4.4. Ajuste de modelos volumétricos	66
4.4.1. Ajuste de modelos volumétricos para estimar o volume total de árvores individuais	66
4.4.2. Ajuste de modelos volumétricos para estimar o volume do fuste	72
4.4.2. Ajuste de modelos volumétricos para estimar o volume da copa.....	77
4.5. Ajuste de modelos alométricos para estimar estoque de biomassa seca e carbono	82
4.6. Quantificação da produção em volume, biomassa seca e carbono para a floresta estacional.....	88
4.6.1. Quantificação do Volume.....	88
4.6.2. Quantificação da biomassa seca e estoque de carbono.....	96
5. CONCLUSÕES.....	100
6. RECOMENDAÇÕES.....	101
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Modelos lineares e não lineares testados para estimar os estoques em volume, biomassa seca e carbono de árvores de uma floresta estacional decidual localizada no Município de Campos Belos – GO.....	37
Tabela 4.1. Frequência absoluta e relativa por classe de diâmetro das árvores vivas e mortas em pé, com DAP \geq 5 cm, amostradas em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO	40
Tabela 4.2. Frequência absoluta por classe de diâmetro das árvores vivas com DAP \geq 5 cm selecionadas em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO, visando a aplicação da AAR.....	41
Tabela 4.3. Lista de espécies selecionadas em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO, e respectivos números de árvores amostrados para aplicação da AAR.....	41
Tabela 4.4. Estimativa do volume médio e estatística descritiva resultante da aplicação da AAR em árvores amostradas em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO.....	43
Tabela 4.5. Resultado do teste t utilizado na validação da AAR aplicada para estimar o volume (m ³) de árvores individuais em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO.	48
Tabela 4.6. Resíduos percentuais obtidos pela diferença entre volumes estimados pela AAR e os volumes reais obtidos a partir da cubagem rigorosa de árvores em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO.....	50
Tabela 4.7. Resíduos percentuais obtidos pela diferença entre os valores de biomassa seca (BS) e carbono (C) estimados pela AAR e os valores reais obtidos a partir da cubagem rigorosa e pesagem de árvores em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO.....	61
Tabela 4.8. Resultado do teste t utilizado na validação da AAR aplicada para estimar o estoque de biomassa seca (kg) de árvores individuais em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO.	65
Tabela 4.9 Resultado do teste t utilizado na validação da AAR aplicada para estimar o estoque de carbono (kg) de árvores individuais em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO.	65
Tabela 4.10. Estimativas dos parâmetros dos modelos de regressão e medidas de precisão de equações de volume total ajustadas para árvores com DAP \geq 5 cm de uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, Goiás, a partir dos dados obtidos pelo método da AAR.....	67
Tabela 4.11. Resultados do teste de identidade de modelos, obtidos para a variável volume total	71

Tabela 4.12. Análise de Variância para o teste de identidade de modelos para a variável volume total	72
Tabela 4.13. Estimativas dos parâmetros dos modelos de regressão e medidas de precisão de equações de volume do fuste ajustadas para árvores com $DAP \geq 5$ cm, a partir dos dados de volume obtidos pelo método da AAR , de uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, Goiás.....	73
Tabela 4.14. Resultados do teste de identidade de modelos, obtidos para a variável volume do fuste.	76
Tabela 4.15. Análise de Variância para o teste de identidade de modelos para a variável volume do fuste	76
Tabela 4.16. Estimativas dos parâmetros dos modelos de regressão e medidas de precisão de equações de volume da copa ajustadas para árvores com $DAP \geq 5$ cm, a partir dos dados de volume obtidos pelo método da AAR, de uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, Goiás.....	78
Tabela 4.17. Resultados do teste de identidade de modelos, obtidos para a variável volume do da copa.....	81
Tabela 4.18. Análise de Variância para o teste de identidade de modelos, para a variável volume da copa.....	81
Tabela 4.19. Estimativas dos parâmetros dos modelos de regressão e medidas de precisão de equações de estoque em biomassa seca ajustadas para árvores com $DAP \geq 5$ cm em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Campos Belos, Goiás.....	82
Tabela 4.20. Estatísticas dos parâmetros e medidas de precisão de equações de estoque em carono, ajustadas para árvores com $DAP \geq 5$ cm em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Campos Belos, Goiás.	82
Tabela 4.21. Resultados do teste de identidade de modelos, obtidos para a variável Biomassa Seca	86
Tabela 4.22. Análise de Variância para o teste de identidade de modelos para a variável Biomassa Seca.	86
Tabela 4.23. Resultados do teste de identidade de modelos, obtidos para a variável Carbono.	87
Tabela 4.24. Análise de Variância para o teste de identidade de modelos para a variável Carbono	88
Tabela 4.25. Estimadores dos parâmetros da população amostrada considerando os estoques em volume ($m^3.ha^{-1}$) total e do fuste para uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos – GO.	89
Tabela 4.26. Características dendrométricas e estimativas da produção volumétrica ($m^3.ha^{-1}$) total (VT) e do fuste (VF) por classe diamétrica para uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos – GO.	92

Tabela 4.27. Características dendrométricas das espécies (ρ - densidade básica, *DAP*, *HT*, *N* - Densidade, *G* - Área basal) e produção em volume total (*VT*), fuste (*VF*) e copa (*VC*), biomassa seca (*BS*) e carbono (*C*) por espécie, considerando árvores vivas e mortas em pé para uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos – GO. 94

Tabela 4.28. Estimadores dos parâmetros da população amostrada considerando os estoques em biomassa seca ($t.ha^{-1}$) e em carbono ($t.ha^{-1}$) para uma floresta estacional decidual no localizada na Fazenda Canaã, Campos Belos, GO. 96

Tabela 4.29. Características dendrométricas e estimativas da produção em biomassa seca ($t.ha^{-1}$) e carbono ($t.ha^{-1}$) por classe diamétrica para uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos – GO. 99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Definição de ramos, nós, segmentos de ramos e caminhos	5
Figura 3.1. Mapa de localização da área do estudo, na Fazenda Canaã, Campos Belos, Goiás, dos transectos inventariados e das árvores amostradas.....	21
Figura 3.2. Dado de 10 faces utilizado na aplicação da AAR.....	27
Figura 4.1. (A) Árvore da espécie <i>Calisthene fasciculata</i> com copa com alta densidade de galhos; (B) Árvore da espécie <i>Calisthene fasciculata</i> cujo resíduo percentual foi abaixo de 20%; (C) Árvore da espécie <i>Rhaminidium elaeocarpum</i> portador de copa irregular; (D) Árvore da espécie <i>Astronium fraxinifolium</i> cujo alto erro foi associado à presença de galhos inexpressivos ocorrentes ao longo do fuste.....	55
Figura 4.2. (A) Distribuição gráfica dos resíduos observados sobreposta à distribuição ordenada de forma crescente dos valores de DAP; (B) Distribuição dos resíduos em ordem crescente considerando os valores residuais percentuais absolutos. (C) Distribuição dos resíduos em função dos valores de DAP	57
Figura 4.3. Distribuição dos valores de DAP sobreposta à distribuição dos resíduos em ordem decrescente	58
Figura 4.4. Distribuição gráfica dos resíduos percentuais do volume total de árvores individuais, gerada para os diferentes modelos ajustados: Stoate (A), Naslund (B), Naslund modificado (C), Meyer (D), Schumacher & Hall (E), e Honner (F), para uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos – GO, a partir dos dados de volume obtidos pelo método da AAR.....	69
Figura 4.5. Distribuição gráfica dos resíduos relativos do volume do fuste de árvores individuais, a partir dos dados de volume obtidos pelo método da AAR, gerada para os diferentes modelos ajustados: Stoate (A), Naslund (B) Naslund modificado (C), Meyer (D), Schumacher & Hall (E) e Takata (F) para uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos – GO.	75
Figura 4.6. Distribuição gráfica dos resíduos relativos do volume da copa de árvores individuais, a partir dos dados de volume obtidos pelo método da AAR, gerada para os diferentes modelos ajustados de Stoate (A), Naslund (B), Naslund modificado (C), Meyer (D), Schumacher & Hall (E) e Takata (F), utilizados para estimar o volume da copa de árvores de uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO.	79
Figura 4.7. Distribuição gráfica dos resíduos relativos das variáveis biomassa seca e carbono de árvores individuais em função do DAP, gerada para os diferentes modelos ajustados de Stoate (A), Naslund (B), Naslund modificado (C), Meyer (D), Schumacher & Hall (E) e Takata (F) utilizados para estimar o volume da copa de árvores de uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO.....	84
Figura 4.8. Distribuição do estoque de volume total, do fuste e da copa ($m^3.ha^{-1}$), por classe de diâmetro em uma floresta estacional decidual na Fazenda Canaã, Campos Belos, GO. 92	
Figura 4.14. Distribuição da produção em biomassa seca e carbono ($t.ha^{-1}$) por classe de diâmetro em uma floresta estacional decidual na Fazenda Canaã, Campos Belos, GO.....	99

1. INTRODUÇÃO

As florestas estacionais ocupam aproximadamente 15% da área do Cerrado (FELFILI, 2003), e estão entre os tipos de vegetação mais degradados e fragmentados desse bioma (PEREIRA *et al.*, 2011).

Estas florestas apresentam uma variedade de recursos que vêm sendo utilizados ou que podem ser utilizados para gerar renda e bem estar para a sociedade. Nelas concentram as mais importantes espécies madeireiras do Cerrado como o ipê (*Handroanthus impetiginosus* e *H. serratifolius*), o cedro (*Cedrela fissilis*) e o jatobá (*Hymenaea courbaril* e *H. martiana*), além de várias espécies de rápido crescimento com potencial para serem plantadas com vistas à produção de madeira e fabricação de carvão, como é o caso dos monjoleiros (*Acacia polyphylla* e *A. tenuifolia*) e dos angicos (*Anadenanthera colubrina*, *A. peregrina* e *Piptadenia gonoacantha*) (PEREIRA *et al.*, 2011).

Os desafios atuais para a conservação das florestas estacionais e manutenção destes importantes recursos florestais são: reduzir as intervenções destrutivas do homem nas áreas remanescentes; recompor a vegetação das partes desmatadas para restabelecer a conectividade entre os fragmentos e as disjunções; e, desenvolver métodos de exploração sustentável destas florestas (PEREIRA *et al.*, 2011).

Para Leite & Andrade (2002), a quantificação do volume sólido em povoamentos florestais é imprescindível para a implantação de planos de manejo sustentável, uma vez que o volume constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial madeireiro disponível, tendo em vista que o volume individual fornece subsídios para a avaliação do estoque de madeira e análise do potencial produtivo das florestas (THOMAS *et al.*, 2006).

Além do volume, estudos sobre quantificação do estoque de biomassa e carbono em formações florestais são de fundamental importância como subsídio à tomada de decisões no manejo dos recursos florestais, à completa utilização da árvore, ao conhecimento das condições fitossanitárias de um ecossistema e, ao fornecimento de elementos para cálculos das emissões de gases do efeito estufa. (SILVEIRA *et al.*, 2006). Ainda, segundo esses

autores, as estimativas de biomassa e estoque de carbono são necessárias para um melhor entendimento sobre mudanças ambientais globais.

A partir do conhecimento das quantidades em volume, biomassa e carbono estocados em áreas de florestas estacionais, é possível inferir sobre o valor econômico destas florestas enquanto detentoras de recursos florestais madeireiros e não madeireiros, e também sobre o valor ecológico do serviço ambiental prestado por este ecossistema no sequestro e manutenção do carbono enquanto biomassa. Portanto, é imprescindível o desenvolvimento e aperfeiçoamento de técnicas e métodos que possibilitem a quantificação destas variáveis, principalmente àquelas que priorizem a amostragem e a coleta não destrutiva de dados.

A Amostragem Aleatória de Ramos (AAR) é um procedimento de amostragem em múltiplos estágios que utiliza as ramificações naturais em árvores, a fim de selecionar amostras que possibilitem a estimativa de características mensuráveis de indivíduos arbóreos, podendo ser aplicada de forma não destrutiva. Desenvolvida por Jessen (1955), como um método simples e preciso para a estimativa de frutos em espécies arbóreas, tem se mostrado promissora para estimar volume, biomassa e carbono de árvores (BORGES, 2009).

A AAR tem sido testada e utilizada em pesquisas desenvolvidas em diferentes ecossistemas e formações florestais pelo mundo, cujos objetivos envolveram a quantificação não destrutiva de volume, biomassa, e carbono estocados em árvores individuais ou em comunidades florestais, naturais ou plantadas (MONTÈS *et al.*, 1999; DE GIER, 2003; MABOWE, 2006; LÔBO, 2009). No bioma Cerrado, Lôbo (2009) obteve êxito na aplicação da AAR em indivíduos arbóreos e arbustivos pertencentes a diferentes espécies, em uma área de cerrado sentido restrito no Distrito Federal, para obtenção de estimativas das variáveis supracitadas. Não há registros da utilização da AAR para obtenção destas variáveis em áreas de florestas estacionais.

Em vista do potencial madeireiro e de múltiplos produtos florestais, aliado à necessidade da regularização da exploração predatória e da conservação das florestas estacionais, faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas e métodos com enfoque na quantificação dos atributos contidos nestas formações. A AAR, pela possibilidade da aplicação não destrutiva, pode ser de grande utilidade prática na quantificação dos estoques de volume,

biomassa e carbono em florestas estacionais, bem como de outras fitofisionomias do bioma Cerrado. Estas informações servirão de subsídio à aplicação do manejo sustentável e de baixo impacto, ao desenvolvimento de projetos de REDD, à quantificação destas variáveis em formações florestais em Unidades de Conservação (UC) e Áreas de Preservação Permanente (APP), dentre outras.

1.1. OBJETIVO GERAL

Testar o método de Amostragem Aleatória de Ramos (AAR) como uma técnica não destrutiva para quantificar os estoques em volume, biomassa e carbono da vegetação arbórea em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, região nordeste do Estado de Goiás.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar os valores de volume por árvore, gerados a partir da AAR com valores reais provenientes da cubagem rigorosa de árvores abatidas;
- Comparar os valores estimados para estoques de biomassa e carbono por árvore, com os valores reais obtidos a partir da derrubada e pesagem dos componentes galhos e fuste;
- Testar modelos de regressão para obtenção de estimativas de volume, biomassa seca e carbono das árvores da floresta estacional decidual, a partir dos dados provenientes da AAR;
- Estimar os estoques em volume, biomassa e carbono para a floresta estacional decidual.

1.3. HIPÓTESE

Amostragem Aleatória de Ramos (AAR) é um método de cubagem de árvore em pé que proporciona estimativas acuradas de estoques em volume, biomassa e carbono das árvores de uma floresta estacional decidual, independente da espécie.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. AMOSTRAGEM ALEATÓRIA DE RAMOS

A Amostragem Aleatória de Ramos (AAR), do inglês *Randomized Branch Sampling* (RBS), foi inicialmente introduzida por Jessen em 1955 (BORGES, 2009). Apresentou-se naquele momento, como um método relativamente simples e preciso para a estimativa de frutos em espécies arbóreas, utilizando a ramificação natural dos indivíduos amostrados como base para a aleatorização.

Segundo Gregoire & Valentine (2007), o objetivo comum da AAR é a estimativa do valor total de algum atributo contido ou sustentado por uma árvore ou galho, por exemplo: o valor do volume agregado, o peso seco e o conteúdo químico dos componentes da madeira (VALENTINE *et al.*, 1984; GOOD *et al.*, 2001); o volume, biomassa seca e estoque de carbono (LÔBO, 2009); a contagem, a área superficial, o peso seco e o conteúdo químico da folhagem (VALENTINE *et al.*, 1984; GAFFREY & SABOROWSKI, 1999; RAULIER *et al.*, 1999); a contagem dos insetos em árvores (EVANS, 2005; EVANS *et al.*, 2007) e a contagem de frutos e sementes (JESSEN, 1955; GARCÍA-NÚÑEZ *et al.*, 1996; BORGES, 1999).

A AAR utiliza a ramificação natural dentro da copa para configurar a amostra e seu uso requer a definição de ramos, nós, segmentos de ramos e caminhos (CANCINO, 2005). Os ramos são o sistema inteiro que se desenvolve de um único broto ou gemas (laterais ou terminais); os segmentos são uma parte de um ramo entre dois nós consecutivos; o nó é o ponto onde um ramo se divide em dois ou mais ramos; e o caminho é uma série de segmentos consecutivos entre um segmento terminal e o segmento basal (CANCINO, 2005; CANCINO & SABOROWSKI, 2007).

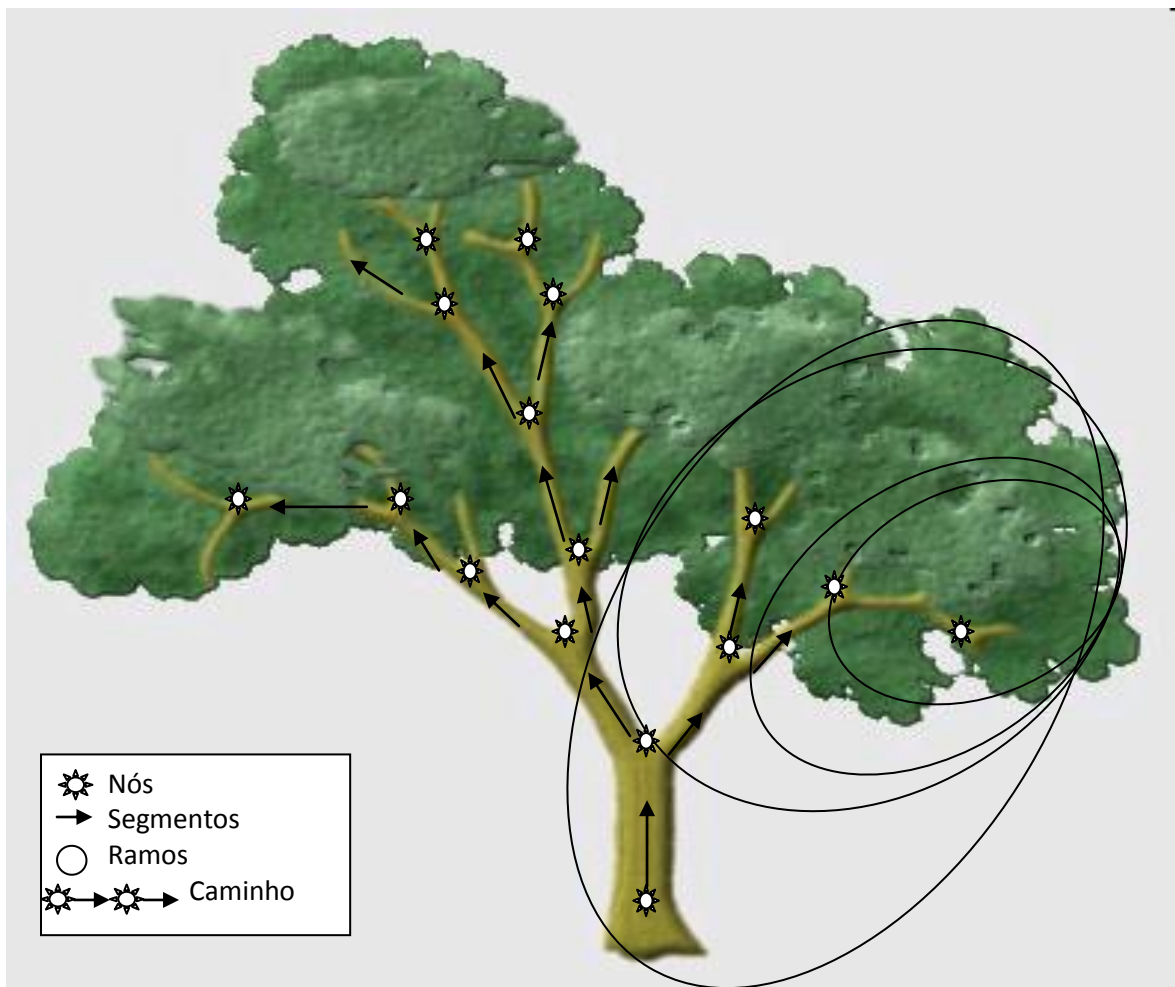


Figura 2-1. Definição de ramos, nós, segmentos de ramos e caminhos

Segundo Gregoire & Valentine (2007), o número de caminhos possíveis em uma árvore é igual ao número de brotos terminais quando o caminho se estende do fuste principal até o broto terminal. O caminho da amostragem aleatória de ramos pode terminar em qualquer ramificação para permitir a amostragem de ramos inteiros e mais de um caminho pode ser selecionado em uma árvore, inclusive coincidindo com caminhos anteriores parcial ou totalmente (EVANS & GREGOIRE, 2007).

Segundo Cancino (2005), esta metodologia pode ser aplicada para qualquer tamanho de amostra, em árvores inteiras ou parte delas, considerando ou não os segmentos do fuste principal como unidades elegíveis, porém, pelo menos dois caminhos devem ser sorteados para estimar a variância do estimador.

A probabilidade de escolha de um ramo terminal, no final do caminho, é condicionada às probabilidades dos ramos anteriores (BORGES, 2009). Segundo Jessen (1955), a partir das

probabilidades, estima-se o parâmetro de interesse e a sua variância, a fim de comparar sua eficiência com a contagem total dos frutos, conforme demonstrado nas equações a seguir:

$$Y = \frac{X}{P_i} \quad (2.1)$$

em que:

Y = estimativa do atributo de interesse por árvore;

X = número de frutos no ramo amostrado;

P_i = probabilidade incondicional de seleção do *i*-ésimo ramo amostrado.

$$V(\hat{Y}) = \sum_{i=1}^N [P_i(Y_i - X)^2] \quad (2.2)$$

em que:

V(\hat{Y}) = variância da estimativa do número de frutos da árvore;

N = número de ramos amostrados;

Y_i = estimativa do *i*-ésimo ramo amostrado;

P_i = probabilidade incondicional de escolher o *i*-ésimo ramo;

X = número real de frutos contados na árvore.

Jessen (1955) concluiu que a técnica de probabilidades de escolha dos ramos proporcionais à circunferência do ramo ao quadrado forneceu a melhor estimativa do número total de frutos. A seleção dos segmentos de ramos, na técnica testada por Jessen (1955), foi realizada com probabilidade proporcional ao tamanho da variável auxiliar, que no caso foi a circunferência do ramo. Segundo Gove *et al.* (2002), a probabilidade de escolha do ramo proporcional ao seu diâmetro na base (próximo ao nó) justifica-se pelo fato de que maiores ramos suportam mais ramos subseqüentes e, portanto, uma maior sub-população de ramos e de frutos.

A eleição da variável auxiliar deve ser guiada pelo objetivo do estudo, sendo exemplos de variável auxiliar a área seccional na base do ramo e o produto entre o diâmetro e o comprimento do segmento (CANCINO, 2005). Segundo Cancino *et al.* (2007), a definição da variável auxiliar também afeta a distribuição das amostras dentro da copa, pois o cálculo da probabilidade de seleção do ramo é feito com base nessa variável. A estimativa feita pela amostragem aleatória de ramos para uma característica de uma árvore depende,

segundo esses mesmos autores, das probabilidades condicionais e incondicionais de seleção dos segmentos ao longo do caminho. Desse modo, a variabilidade no comprimento ou tamanho do caminho (número de segmentos), que é uma característica da copa, tem influência relevante sobre a variância da estimativa.

A AAR tem se mostrado um método promissor para estimar volume, biomassa e estoque de carbono, pois pode ser uma alternativa ao ajuste de equações e à cubagem rigorosa de árvores (BORGES, 2009). Good *et al.* (2001) ressaltaram que, em geral, as estimativas de biomassa (e conteúdo de carbono) são feitas por meio de ajustes de equações de regressão particulares às diferentes regiões geográficas e que a amostragem aleatória de ramos configura-se em uma opção para estimar biomassa.

Borges (2009), com base em diversos trabalhos existentes que utilizaram a metodologia de AAR (CANCINO, 2005; GOOD *et al.*, 2001; GREGOIRE *et al.*, 1995; GREGOIRE & VALENTINE, 1996; EVANS & GREGOIRE, 2006; JESSEN, 1955; TRIBONI & BARBOSA, 2004; VALENTINE *et al.*, 1984), indicou a amostragem aleatória de ramos como sendo um método de amostragem eficiente na estimativa de atributos de árvores individuais e para prognoses de uma determinada área (WILLIAMS, 1989). Citou ainda, o trabalho de García-Núñez *et al.* (1996), onde foi avaliada a produção de frutos e de sementes de *Byrsonima crassifolia* na Savana Venezuelana pelo método de Jessen (1955), como sendo um dos poucos exemplos de sua aplicação em espécies de savana. Entretanto o uso da amostragem aleatória de ramos, como método não destrutivo para estimar biomassa e estoque de carbono, ainda é incipiente em espécies e fitofisionomias comuns ao bioma Cerrado no Brasil.

2.2. BIOMA CERRADO

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, estando aquém apenas da Floresta Amazônica. Ocupa aproximadamente 23% do território brasileiro e está localizado na região do Planalto Central do Brasil, abrangendo os estados de Goiás, Tocantins, Distrito Federal e parte da Bahia, Maranhão, Ceará, Piauí, Rondônia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo (RIBEIRO & WALTER, 1998). Segundo Machado *et al.* (2004), existem enclaves de vegetação de Cerrado em outros domínios de vegetação, como as áreas de Cerrado no estado de Roraima, Amapá, Amazonas (Campos de Humaitá),

Rondônia (Serra dos Pacaás Novos), Pará (Serra do Cachimbo), Bahia (Chapada de Diamantina) e para o sul do estado de São Paulo e Paraná. Essa imensa extensão territorial abrange mais de 20 graus de latitude e dez graus de longitude (FELFILI & SILVA-JÚNIOR, 2005).

Segundo Ribeiro & Walter (2008), a vegetação do Cerrado apresenta fitofisionomias que englobam formações florestais, savânicas e campestres. As formações florestais englobam o cerradão, a mata seca, a mata de galeria e a mata ciliar. As formações savânicas englobam o cerrado sentido restrito, o parque cerrado, os palmeirais e a vereda e as formações campestres incluem o campo limpo, o campo sujo, e o campo rupestre (RIBEIRO & WALTER, 2008). De acordo com Dias (1992), a distribuição percentual aproximada dos principais tipos de vegetação do Cerrado é a seguinte: campos (12%), cerrado sentido restrito (53%) e cerradão (8%). A área restante (27%) é coberta pelos tipos menos representativos, tais como, campo úmido, campo rupestre, vereda, mata ciliar, matas secas, mata de galeria, entre outros.

Os fatores determinantes da distribuição das fitofisionomias são condicionados pela latitude, pela frequência de queimadas, pela profundidade do lençol freático e por inúmeros fatores antrópicos (RIBEIRO & WALTER, 2008). Segundo Haridasan (2000), ocorrem variações na composição florística, fitossociologia e produtividade desses ecossistemas naturais devido às variações na fertilidade e nas características físicas dos solos.

De maneira geral, os solos das diferentes fitofisionomias do Cerrado são álicos, sendo que os teores de Al tendem a crescer do cerradão ao campo limpo (REATTO *et al.*, 1998). Há espécies que ocorrem apenas em solos ácidos, outras que são restritas aos solos calcários e outras indiferentes quanto à fertilidade do solo (RATTER *et al.*, 1977, 1978).

As florestas estacionais, também denominadas de matas secas (RIBEIRO & WALTER, 1998; SCARIOT & SEVILHA, 2005; RIBEIRO & WALTER, 2008, HAIDAR *et al.*, 2008, VENTUROLI, 2008), geralmente ocorrem sobre solos ricos em nutrientes e suas principais espécies apresentam diferentes níveis de caducifólia, em função das variações ambientais (clima, solo e relevo) (FELFILI, 2003). As florestas estacionais brasileiras são classificadas como semidecíduas, quando o percentual de indivíduos arbóreos que perdem

as folhas na estação seca situa-se entre 20% e 50% do total, e como decíduas, quando o percentual é superior a este intervalo (Veloso *et al.*, 1991).

2.2.1. Florestas estacionais

Em estudo realizado por Miles *et al.* (2006), foi estimado que remanescentes das florestas estacionais tropicais ocupam mundialmente uma área de 1.048.700 Km², com mais da metade (54,2%) localizada na América do Sul. Haidar (2008) destaca que nesta classificação os autores incluem como floresta estacional ocorrentes na América do Sul, toda a área da Caatinga brasileira e o Chaco boliviano, onde o ambiente estacional e tropical é descaracterizado pela ocorrência de longos períodos de seca ou geadas típicas. Miles *et al.* (2006) não identificam a presença dos remanescentes e fragmentos naturais de floresta estacional pelo Brasil Central em mapas ou imagens, devido à escala utilizada (HAIDAR 2008; VENTUROLI, 2008). Ainda, pelo fato das áreas de floresta estacional serem muito fragmentadas.

No Brasil, as florestas estacionais apresentam uma distribuição bastante ampla, ocorrendo tanto pelas formações savânicas de Cerrado e Caatinga (Centro-Oeste e Nordeste), quanto pelas formações florestais sempre verdes da floresta Amazônica (região Norte), e da Atlântica, (região Sul do país), estando, portanto, associadas a diferentes tipos fitofisionômicos e regimes de estacionalidade em volume de precipitação e temperatura, topografia e características físicas e químicas dos solos (SCARIOT & SEVILHA, 2005).

Segundo Miles *et al.* (2006), a extensão de ocupação é subestimada em função de sua distribuição naturalmente fragmentada. Cobre cerca de 6% do território brasileiro (EMBRAPA, 2010), atuando no bioma Cerrado como um corredor estacional que liga as florestas estacionais do nordeste brasileiro, às florestas estacionais do leste de Minas Gerais e de São Paulo, às manchas encontradas no pantanal, às florestas Pré-Amazônicas e ao Chaco boliviano, apresentando-se como um *continuum* florestal ou como fragmentos naturais separados por outras vegetações como cerrados, campos e até mesmo outras florestas (FELFILI, 2003).

Geralmente a floresta estacional diferencia-se das florestas ombrófilas devido ao menor porte das árvores, a menor complexidade florística e estrutural, a menor área basal, além de

menor produção primária líquida (MURPH & LUGO, 1986). Em relação ao cerrado sentido restrito, a diferença pode ser facilmente observada pelo maior porte das árvores nas florestas, com troncos mais retilíneos e de maior diâmetro, com cortiças delgadas e folhas pouco ou nada esclerificadas (EITEN, 1972).

Veloso *et al.* (1991) dividem as florestas estacionais em dois tipos de acordo com o percentual de perda da folhagem, sendo denominada semidecidual o tipo de vegetação cuja porcentagem de árvores caducifólias no conjunto florestal situa-se entre 20 a 50% e, decidual quando mais de 50% dos indivíduos arbóreos perdem as folhas no período seco do ano. Estes autores também subdividiram estas diferentes formações segundo as faixas altimétricas e geográficas de ocorrência, sendo classificadas como aluvial, de terras baixas, submontana e montana. Segundo Oliveira-Filho *et al.* (2006), é difícil distinguir as florestas estacionais entre deciduais e semideciduais, principalmente no Brasil Central onde ocorrem de forma contínua, determinadas apenas por pequenas variações na umidade e na fertilidade dos solos.

Segundo Venturoli (2008), o nível de deciduidade das florestas estacionais provavelmente depende da umidade do solo, de suas propriedades químicas e da influência crescente do frio do inverno, que aumenta com a altitude e latitude. A floresta semidecidual ocorre em solos com maior disponibilidade hídrica durante a estação seca e a floresta decidual ocorre em solos mais rasos e com menor capacidade de retenção de água nessa mesma estação. Segundo Ribeiro & Walter (1998), espécies que possuem grande capacidade de reter água no tronco se desenvolvem melhor nas matas decíduas, tornando-se dominantes nessas matas.

A ocorrência de floresta estacional semidecidual normalmente está associada a solos desenvolvidos em rochas básicas de alta fertilidade (terra roxa estruturada, brunizém ou cambissolos), enquanto as florestas decíduas estão associadas a solos de origem calcária, geralmente com afloramentos rochosos típicos (RIBEIRO & WALTER, 1998). Entretanto, Scariot & Sevilha (2005), ao confrontarem mapas da distribuição de florestas estacionais deciduais no Brasil com o mapa de solos, observaram que essa formação distribui-se por pelo menos 13 classes de solos, considerando o novo sistema de classificação de solos proposto pela Embrapa (1999), inclusive distróficos e não apenas os mais férteis.

Segundo Haidar (2008), pode-se afirmar que as florestas decíduais possuem menor riqueza e biodiversidade em relação às florestas semidecíduais e são compostas por espécies típicas de ambientes secos e adaptadas à fertilidade dos solos. Por sua vez, as florestas estacionais semidecíduais desenvolvem-se sobre solos com diferentes níveis de fertilidade e acidez proporcionando alta variação florística e estrutural entre o componente arbóreo de florestas sobre substratos diferentes (HARIDASAN & ARAÚJO, 2005), possuindo maior diversidade e riqueza (OLIVEIRA-FILHO & RATTER, 2002).

De acordo com Felfili (2007), as florestas estacionais decíduais formam uma cobertura arbórea de 50% a 70% durante a estação chuvosa, sendo que a maioria das espécies perde totalmente as folhas na estação seca, quando a cobertura do dossel é menor que 50%. Segundo esta autora, os troncos são retos com copas emergentes atingindo até 20 a 30 metros.

Estudos indicam que a riqueza florística das florestas estacionais decíduais varia de 36 a 74 espécies arbóreas, cuja densidade encontra-se no intervalo de 470 a 1723 ind.ha⁻¹ e área basal entre 8,45 m².ha⁻¹ e 28,34 m².ha⁻¹ (SILVA & SCARIOT, 2003; NASCIMENTO *et al.*, 2004; SILVA & SCARIOT, 2004; SCARIOT & SEVILHA, 2005; HAIDAR, 2008; MENDONÇA *et al.*, 2010; ROCHA, 2011). Estas florestas possuem grande afinidade florística com a Caatinga, principalmente quando essa ocorre em sua forma de floresta, sendo considerada como “Caatinga arbórea” (RATTER *et al.*, 1978).

Em artigo de revisão sobre as florestas estacionais no Cerrado, Pereira *et al.* (2011) abordam a importância econômica e social destas, por possuírem uma variedade de recursos que vêm sendo ou que poderão passar a ser utilizados para gerar renda e bem estar para a sociedade. Esses autores apontam que estas florestas concentram as mais importantes espécies madeireiras do Cerrado, bem como do Brasil, tal como os ipês, o cedro e o jatobá. Além disso, o componente arbóreo das florestas estacionais do Cerrado contém espécies indicadas para a arborização, espécies de rápido crescimento com potencial para produção de madeira e carvão, além de plantas que são ou poderão vir a serem utilizadas na medicina popular e na indústria farmacêutica e de cosméticos, como fonte de fibras, resinas, óleos, tanino, dentre outros (PEREIRA *et al.*, 2011).

Segundo Pennington *et al.* (2006), citado por Haidar (2008), as florestas estacionais vêm ganhando atenção de instituições nacionais e internacionais quanto a sua importância para manutenção da biodiversidade dos ecossistemas terrestres. Entretanto, essas florestas compreendem hoje um ecossistema altamente ameaçado de extinção, pois seus solos férteis, com altos teores de cálcio e magnésio, são os preferidos para as práticas de agricultura e pecuária, bem como para a mineração por fábricas de cimento e calcário (SCARIOT & SEVILHA, 2005). Atividades de mineração do calcário destroem florestas inteiras (FELFILI *et al.*, 2007). Outros fatores também põem em risco essas florestas estacionais, como as queimadas anuais, a invasão de animais como o gado, a entrada de espécies invasoras, o corte raso para a produção de carvão vegetal, a exploração seletiva de madeiras nobres como aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), cedro (*Cedrela fissilis* Vell.), ipês (*Handroanthus* spp.) e perobas (*Aspidosperma* spp.) e a extração de cascas, frutos, sementes e raízes (VENTUROLI, 2008).

Várias espécies das florestas estacionais ocorrentes no bioma Cerrado podem ser consideradas ameaçadas de extinção, pelo fato de terem sido superexploradas, para aproveitamento de madeira, como é o caso do pau-ferro (*Machaerium scleroxylon*), braúna (*Schinopsis brasiliensis*), peroba-rosa (*Aspidosperma pyriformium*), aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) e amburana ou cerejeira (*Amburana cearensis*) (PEREIRA *et al.*, 2011). Este autor destaca que a espécie *Amburana cearensis* já se encontra na Lista Vermelha da IUCN (2010) e que existe a expectativa de que outras espécies passem a integrar esta lista, em revisões posteriores.

Dentre os desafios atuais que permeiam a conservação das florestas estacionais situadas no Cerrado, Pereira *et al.* (2011) destacam: as reduções das intervenções destrutivas do homem nas áreas remanescentes; a recomposição da vegetação das partes desmatadas; o desenvolvimento de métodos de exploração sustentável destas florestas. Enfrentando este último desafio citado, Venturoli (2008) demonstrou que a aplicação de algumas técnicas fundamentadas no manejo silvicultural de baixo impacto, resultou em aumentos de até 20% nos incrementos diamétricos anuais, o que pode conduzir a ciclos de corte mais curtos das espécies de valor comercial sem interferir na regeneração natural e na viabilização da exploração sustentável destas florestas (VENTUROLI, 2008; PEREIRA *et al.*, 2011).

2.3. QUANTIFICAÇÃO DO VOLUME E DO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO DA VEGETAÇÃO ARBÓREA

2.3.1. Volume

O volume constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial disponível em um povoamento florestal, tendo em vista que o volume individual fornece subsídios para a avaliação do estoque de madeira e análise do potencial produtivo das florestas (THOMAS *et al.*, 2006), sendo imprescindível para a implantação de planos de manejo sustentável (LEITE & ANDRADE, 2002).

Segundo Scolforo & Thiersch (2004), os métodos para quantificação do volume datam do século XVIII, entretanto, atualmente, há uma série de pesquisadores e cientistas envolvidos no desenvolvimento de novas técnicas de medição e quantificação das variáveis diâmetro, altura, volume, peso, copa e os múltiplos produtos da madeira que as árvores e os povoamentos florestais podem propiciar. Estes mesmos autores afirmam que mensurar corretamente e quantificar o volume em árvores individuais ou em uma população florestal é importante para:

- Gerar equações de volume através da qual se pode estimar o volume de qualquer árvore da população.
- Gerar fator de forma médio através do qual se pode estimar o volume de qualquer outra árvore da população.
- Gerar funções de afilamento ou razões entre volumes que possibilitem quantificar sortimento de qualquer outra árvore da população.
- Conhecer o volume, a percentagem de casca, e obter os mais diversos volumes comerciais.
- Obter fatores que possibilitem converter volume sólido em volume de madeira empilhada e vice-versa, fatores para converter volume sólido ou volume de madeira empilhada em metro cúbico de carvão (mdc), dentre outros.
- Obter o peso seco das árvores através de seu produto com a densidade básica da madeira o que permitirá gerar equações para estimativa do peso de qualquer outra árvore da população usando apenas como dados de entrada nesta, o diâmetro a 1,30 m com casca e altura total.
- Servir de base para estabelecer modelos de prognose da produção.

- Estabelecer uma base consistente e precisa de dados, que possibilitará a elaboração de planos de manejo otimizados para florestas plantadas e nativas, assim como, a implementação e análise de propostas de planos de manejo sustentado.
- Obter modelos que expressem o estoque de carbono.

Segundo Machado & Figueiredo Filho (2003), o volume sólido de uma árvore pode ser determinado das seguintes formas: analiticamente; através de cubagem rigorosa; graficamente; em função de informações das variáveis diâmetro e altura tomadas no fuste da árvore; pelo deslocamento de água; e, a partir do peso da árvore.

A cubagem rigorosa é o método direto mais utilizado para a estimação do volume de árvores (BELCHIOR, 1999). De acordo com Scolforo & Thiersch (2004), os métodos de cubagem rigorosa podem ser divididos em absolutos, através da aplicação das fórmulas de Smalian, Huber ou Newton, e relativos, através da aplicação das fórmulas de Hohenald e da FAO. A cubagem rigorosa, usando essas fórmulas clássicas de volume, pode ser realizada tanto em árvores abatidas quanto em árvores em pé, mas sempre que possível, a determinação do volume deve ser feita sobre árvores derrubadas (MACHADO & FIGUEIREDO FILHO, 2003).

Segundo Soares *et al.* (2006), a expressão mais utilizada é a de Smalian, devido à facilidade dos cálculos e operacionalidade na obtenção dos dados. A cubagem rigorosa utilizando o método de Smalian consiste na medição dos diâmetros ou circunferências nas extremidades de cada seção do tronco, onde a obtenção do volume é dada pelo produto da média aritmética das áreas seccionais dos extremos da seção, pelo seu comprimento (MACHADO & FIGUEIREDO FILHO, 2003; SCOLFORO & THIERSCH, 2004). Para Scolforo & Thiersch (2004), o volume de cada seção é determinado a partir da seguinte fórmula:

$$V_i = \frac{g_i + g_{i+1}}{2} \times L \quad (2.3)$$

em que:

v = volume da seção considerada;

g_i = área seccional em uma extremidade da seção;

g_{i+1} = área seccional na outra extremidade da seção;

l = comprimento da seção.

Segundo Scolforo & Thiersch (2004), para fins de cálculo do volume da árvore através da fórmula de Smalian, pode se adotar seções de mesmo tamanho ou de tamanhos desiguais. A fórmula de Smalian apresenta suas piores estimativas quando combinada com comprimentos grandes das seções, porém, o mesmo não acontece para seções de menor comprimento (MACHADO & FIGUEIREDO FILHO, 2003).

Segundo Cabacinha (2003), quando se deseja obter estimativas mais precisas do estoque florestal, podem-se usar modelos estatísticos que estimam o volume para árvores individuais e gerar tabelas de volume ou modelos que estimam o volume por unidade de área. Estes métodos indiretos envolvem o desenvolvimento, ajuste e a aplicação de equações volumétricas. De acordo com Silva (1977), existem três tipos de equações volumétricas:

- a) Equações volumétricas de simples entrada ou local – utiliza o diâmetro a altura do peito (DAP) ou a circunferência a altura do peito (CAP) como variável independente;
- b) Equações volumétricas de dupla entrada ou regionais – utilizam o DAP ou o CAP e a altura da árvore como variáveis independentes e são as mais utilizadas;
- c) Equações volumétricas formais – além de utilizarem o DAP ou o CAP e a altura da árvore como variáveis independentes, incluem também a forma da árvore (fator de forma) como variável independente.

Segundo Thierschi (2007), para ajustar os modelos volumétricos algumas árvores são selecionadas e cubadas rigorosamente, procedimento que apesar da eficiência comprovada, todo o processo é demorado e consideravelmente dispendioso. Este autor afirma que o principal entrave na realização da cubagem rigorosa tradicional é a necessidade de abater arvores-amostra.

Segundo Scolforo & Thiersch (2004), em florestas nativas de grande porte, muitas vezes não se abate a árvore e a cubagem rigorosa pode ser feita subindo-se na árvore ou efetuando medições com o uso do penta prisma de *Wheeler* com um *Suunto* acoplado a este, ou ainda, através do relascópio de *Bitterlich*.

Dentre as metodologias existentes para a cubagem rigorosa de árvores em pé, Scolforo & Figueiredo Filho (1998) citam o método de Pressler, estimativa do volume por hectare através do ponto de cobertura, fórmula de Hossfeld, método dos dois diâmetros e o método geométrico normal e modificado.

Atualmente há pesquisas realizadas na área de mensuração florestal dedicadas ao desenvolvimento e aperfeiçoamento de metodologias e ao desenvolvimento de novas tecnologias que possibilitem a estimativa acurada do volume, sem a necessidade de derrubar as árvores amostras, medindo-as em pé. Neste sentido, Thiershi (2007) desenvolveu o Fotodendro, um equipamento que através de fotografias digitais, realiza com precisão a cubagem rigorosa de árvores sem o abate das mesmas. Ainda em relação a equipamentos ópticos, Nicoletti (2011) obteve ótimos resultados ao testar a qualidade das medidas de cubagem da árvore em pé através de dendrômetros ópticos. Este autor obteve erros estimados inferiores a 10% ao testar o equipamento *Criterion 400* em um plantio de *Eucalyptus grandis*.

A amostragem aleatória de ramos (AAR) tem sido testada e utilizada em pesquisas cujos objetivos envolvem a quantificação não destrutiva do volume, da biomassa, e do carbono, estocado em árvores individuais ou em comunidades florestais naturais ou plantado. Como exemplo, De Gier (2003) citado por Salmaca (2007), adaptou a AAR da forma proposta por Valentine (1984), para obter estimativas precisas do volume e biomassa em árvores na África. Os resultados encontrados evidenciaram que pelo fato da não necessidade de derrubar e pesar toda a árvore, tal procedimento é eficiente em termos de tempo e custos de execução.

Ao adaptar e testar a AAR como técnica para estimar volume, biomassa e carbono em uma área de cerrado sentido restrito próximo à Brasília-DF, Lôbo (2009) obteve precisão nas estimativas de biomassa e carbono, porém, não obteve resultados precisos na estimativa do volume. Este autor apontou a necessidade de melhores investigações acerca da utilização desta técnica para estimar o volume de madeira, uma vez que neste estudo, as estimativas não foram comparadas aos valores obtidos por cubagem rigorosa e sim àqueles obtidos a partir da utilização de equações alométricas desenvolvidas no Distrito Federal (REZENDE *et al.*, 2006; ENCINAS *et al.*, 2009).

2.3.2. Biomassa e carbono

Estudos sobre a biomassa dos ecossistemas tropicais são de grande interesse ecológico possibilitando estimativas de fluxos e balanços de nutrientes nestes sistemas (JORDAN & UHL, 1978). A quantificação da biomassa também é essencial para os cálculos de emissão de gases do efeito estufa pela queima e decomposição da matéria orgânica em sistemas naturais e antropizados, (BROWN & LUGO, 1992; FEARNSIDE, 1992; FEARNSIDE, 1994; BROWN, 1997). O armazenamento de carbono em ecossistemas florestais é um parâmetro básico para se estudar a troca desse elemento entre esses ambientes e a atmosfera, e um dado essencial na estimativa da absorção e emissão desse elemento por esses ambientes (WANG *et al.*, 2001).

Um dos aspectos mais relevantes nos estudos de fixação de carbono em florestas é a variável biomassa, a qual precisa ser determinada e estimada de forma fidedigna, caso contrário não haverá consistência na quantificação do carbono fixado nos ecossistemas florestais (SANQUETTA, 2002). De acordo com Aduan *et al.* (2003), para se estimar a quantidade de carbono estocada em um ecossistema é necessário que se conheça primeiramente a quantidade de biomassa em seus vários compartimentos, ou seja, a biomassa aérea, a biomassa subterrânea, a biomassa de serapilheira e a biomassa microbiana.

As metodologias usadas atualmente para obtenção de estimativas de biomassa em áreas florestais são baseadas principalmente em dados de inventário florestal, empregando-se fatores e equações de biomassa, que transformam dados de diâmetro, altura ou volume em tais estimativas (SOMOGYI *et al.*, 2006). Para Higuchi & Carvalho Júnior (1994), os estudos para quantificação de biomassa florestal dividem-se em métodos diretos (ou determinação) e métodos indiretos (ou estimativas).

Segundo Sanquetta (2002), os métodos diretos se enquadram em duas categorias: método da árvore individual e método da parcela. Em ambos os casos, as árvores individuais ou constantes em parcelas são derrubadas com posterior pesagem da biomassa.

De acordo com Higuchi & Carvalho Jr. (1994), a mensuração da biomassa em campo é obtida a partir da separação dos pesos verdes do tronco, galhos, folhas e serragens

produzidas pela divisão do tronco e galhos. Em seguida, devem-se retirar discos de aproximadamente 3 cm de espessura do tronco e dos galhos em alturas relativas ao comprimento total e um disco na altura do DAP. Todas as amostras do tronco, galhos grossos, galhos finos, folhas e discos devem ser colocadas em estufa até a estabilização das pesagens, para a obtenção do peso seco.

Os métodos indiretos fornecem estimativas por meio de relações quantitativas ou matemáticas, como razões ou regressões de dados provenientes de inventários florestais e dados de sensoriamento remoto (HIGUCHI & CARVALHO JÚNIOR, 1994). Estas estimativas podem ser realizadas a partir de dados de volumes de árvores, que ao serem multiplicados por fatores de biomassa (BF), convertem as estimativas de volume para estimativas de biomassa (SOMOGYI *et al.*, 2006).

O método indireto também pode ser aplicado a partir do ajuste de modelos alométricos utilizando técnicas de regressão estatística (HIGUCHI & CARVALHO JR., 1994; BROWN, 1997; SILVEIRA *et al.*, 2008). De acordo com Brown (1997), o uso de equações de regressão é mais vantajoso por permitir a obtenção de estimativas de biomassa sem a necessidade de se calcular a variável volume.

Os métodos indiretos, por serem de aplicação não destrutiva, permitem a obtenção de estimativas de biomassa e eventualmente do estoque de carbono de áreas florestais, sem a derrubada de árvores. O desenvolvimento de métodos não destrutivos para a obtenção de estimativas precisas destas variáveis favorece sua aplicação em locais em que não é permitido o corte de árvores, tais como Unidades de Conservação e Áreas de Preservação Permanente, bem como para espécies protegidas por lei e/ou ameaçadas de extinção.

Neste sentido, Montès *et al.* (1999) aplicou com sucesso um método computacional utilizando fotografias ortogonais e *softwares* específicos, para obtenção da biomassa acima do solo contida em indivíduos da espécie ameaçada de extinção *Juniperus thurifera* L., em estudo realizado no Marrocos. Estes autores afirmam que o método além de preciso, reduz o trabalho, o equipamento e o custo de execução.

Good *et al.* (2001) compararam as estimativas de biomassa geradas pelos métodos de *ratio sampling* e de amostragem aleatória de ramos (AAR), para indivíduos da espécie

Eucalyptus populnea, em estudo realizado na região de Queensland, Austrália. Este autor concluiu que a AAR é uma alternativa viável aos métodos atuais para a estimativa de biomassa, por ser preciso e por reduzir consideravelmente o tempo necessário às estimativas de biomassa.

Mabowe (2006), objetivando validar estimativas da biomassa aérea de uma floresta em Botswana, obtidas a partir do uso do sensoriamento remoto, utilizou a técnica de AAR. Apesar da não validação das estimativas providas por sensoriamento remoto, este autor apontou a técnica da AAR como confiável e expedita. Em estudo conduzido em uma floresta secundária na Amazônia Oriental, Ducey *et al.* (2009) utilizaram a amostragem aleatória de ramos na obtenção de valores de biomassa em árvores individuais objetivando o ajuste de equações alométricas. Estes autores observaram alta consistência nas estimativas obtidas pela aplicação da AAR, dado o baixo erro padrão observado.

Em relação ao bioma Cerrado, estudos apontam diferentes valores de biomassa estocados (CASTRO, 1996; ABDALA *et al.*, 1998; CASTRO & KAUFFMANN, 1998; VALE, 2000; OTTMAR *et al.*, 2001; ADUAN *et al.*, 2003; REZENDE & FELFILI, 2004; REZENDE *et al.*, 2006; PAIVA, 2006; BOINA, 2008; SCOLFORO *et al.*, 2008; ROCHA, 2011). Bustamante & Oliveira. (2008) destacaram que as estimativas de estoque de biomassa e carbono são diferentes e muito variáveis tanto em uma mesma fitofisionomia quanto entre as diferentes fitofisionomias do Cerrado. A variação entre as estimativas de biomassa e estoque de carbono no Cerrado deve-se à heterogeneidade na estrutura da vegetação, à sazonalidade climática e da vegetação, à frequência de queimadas bem como às diferentes metodologias aplicadas (BUSTAMANTE & OLIVEIRA. 2008).

Apesar dos diversos estudos conduzidos no bioma Cerrado, há pouca informação relacionada à obtenção de estimativas de biomassa e carbono em florestas estacionais, (BOINA, 2008; SCOLFORO *et al.*, 2008; ROCHA, 2011). Importante salientar que todos estes estudos utilizaram métodos diretos, portanto, destrutivos, para obtenção destas variáveis. Não foi encontrado registros de nenhum outro estudo que utilizou metodologias não destrutivas para obtenção destas informações em florestas estacionais, situadas nos limites do bioma Cerrado.

Desta forma, a amostragem aleatória de ramos pode ser uma alternativa viável à condução de estudos com enfoque na quantificação não destrutiva de volume, biomassa e carbono em áreas contendo florestas estacionais e demais fitofisionomias do bioma Cerrado, incluindo as áreas e espécies protegidas por legislação federal, estadual ou municipal.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A coleta dos dados utilizados no presente estudo foi realizada em uma área de floresta estacional decidual em desenvolvimento sobre afloramentos de calcário com diversos graus de conservação, localizada em uma propriedade rural denominada Fazenda Canaã, situada no Município de Campos Belos, na região norte-nordeste do Estado de Goiás, entre as coordenadas UTM 331857 Leste e 8562872 Sul.

A Fazenda Canaã é ocupada em sua maior extensão por pastagens e áreas de cultivos agrícolas. Considerando as áreas remanescentes de vegetação nativa, o cerrado sentido restrito é predominante. Além desta fitofisionomia, há ocorrência de fragmentos de floresta estacional decidual nas áreas de encosta sobre afloramento de rochas calcárias. Estas áreas apresentam declividade máxima de 24% e altitude média igual a 722 m. O solo predominante nesta região é o cambissolo (IBGE, 2005).

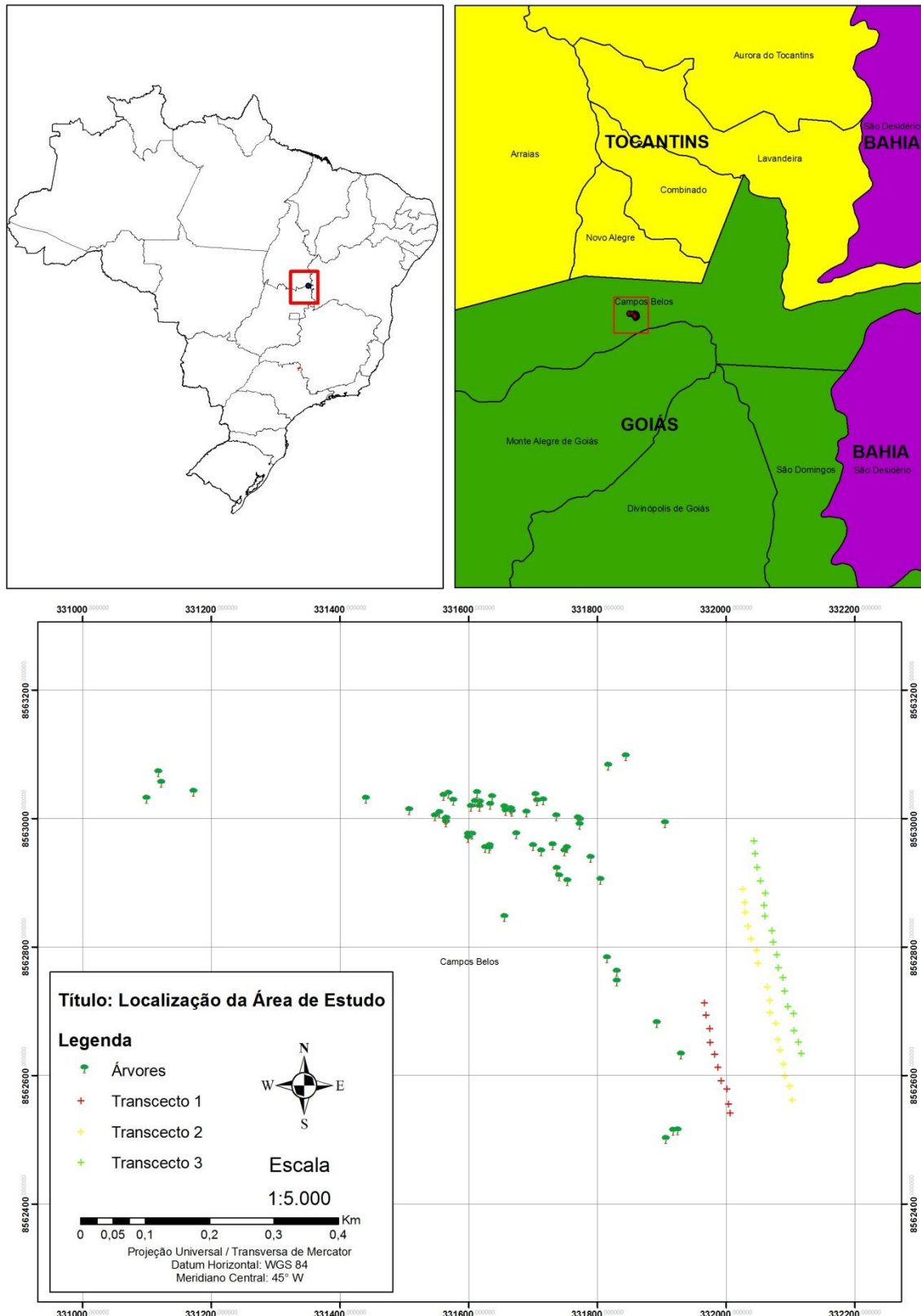


Figura 3.1. Mapa de localização da área do estudo, na Fazenda Canaã, Campos Belos, Goiás, dos transectos inventariados e das árvores amostradas.

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima da região é do tipo Aw - savana tropical (IBGE, 1995), com duas estações climáticas bem definidas, sendo uma estação chuvosa seguida de longo período seco. De acordo com monitoramento climático do Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás (SIMEHGO, 2012), a temperatura máxima (36°C) na região ocorre no mês de setembro e a mínima (16°C) ocorre no mês de julho. A região apresenta pluviosidade de 900 mm anuais, cujos períodos de maior intensidade de chuva ocorrem entre os meses de novembro a março, e de menor intensidade de julho a setembro (SIMEHGO, 2012).

Segundo Rocha (2011), a propriedade está inserida em área ainda pouco estudada no âmbito do bioma Cerrado, classificada pelo IBGE como área de contato savana/floresta estacional, portanto, uma área de tensão ecológica onde a composição florística de duas ou mais regiões fitoecológicas se contatam, justapondo-se ou interpenetrando-se. Para o caso estudado, as florestas que se justapõem são floresta estacional decidual e cerrado sentido restrito. A classificação da área foi realizada conforme definição de Leitão-Filho (1987), Ribeiro e Walter (1998) e Oliveira-Filho *et al.* (1998).

A área de floresta estacional decidual selecionada (Figura 3.1) tem autorização do órgão ambiental da região para ser desmatada para dar espaço à formação de pastagens e pomares. Esta área é contígua à uma outra área de floresta estacional protegida que vem sendo estudada desde 2009 e que ocupa cerca de 90 hectares (ROCHA, 2011).

3.1.1. Inventário florestal

Um inventário florestal da vegetação arbórea foi realizado na área de um fragmento mais protegido da floresta estacional estudada (ROCHA, 2011), considerando o sistema de amostragem em dois estágios (PÉLLICO NETO & BRENA, 1997). O primeiro estágio do inventário consistiu na divisão da área em transectos de 20 m de largura e comprimentos variáveis em função da extensão da floresta, dispostos perpendicularmente à encosta. Em seguida foram selecionados três transectos para compor a amostra de forma aleatória. O segundo estágio consistiu na subdivisão dos transectos selecionados em subunidades de 20 x 20 m e, posteriormente, na amostragem sistemática de subunidades intercaladas dentro de cada unidade primária.

Para a sistematização das subunidades do segundo estágio, adotou-se o seguinte procedimento: escolha aleatória da primeira subunidade dentro de uma unidade primária e, a partir desta subunidade, seleção alternada das demais subunidades. A disposição das subunidades nas demais faixas amostradas seguiu a mesma sistematização estabelecida na primeira faixa escolhida aleatoriamente. No total foram implantados na floresta três transectos e amostradas de três a cinco subunidades por transectos, totalizando 13 subunidades de 20 x 20 m.

As unidades e subunidades foram alocadas de forma permanente, georreferenciadas com o uso de GPS e delimitadas com estacas de ferro. Em cada subunidade amostrada foram identificados botanicamente todos os indivíduos lenhosos com DAP (diâmetro na altura do peito tomado a 1,30 metros do solo) igual ou superior a 5 cm, que receberam então uma etiqueta de alumínio contendo um número de identificação. As medidas de diâmetro e de altura de cada indivíduo lenhoso foram obtidas, respectivamente, com o auxílio de uma suta e de uma régua hipsométrica.

Os dados brutos coletados no inventário da floresta estacional (ROCHA, 2011) foram utilizados no presente estudo para obtenção da estimativa do estoque de volume, biomassa seca e carbono da área estudada, após ajustes dos modelos alométricos.

3.2. COLETA DE DADOS

3.2.1. Estimativa dos estoques em volume, biomassa e carbono a partir de dados provenientes da amostragem aleatória de ramos.

3.2.1.1. Seleção de árvores e espécies para aplicação da AAR

Para testar a amostragem aleatória de ramos como método indireto, não destrutivo, para a quantificação dos estoques em volume, biomassa e carbono de árvores em uma floresta estacional decidual, foi definida uma amostra inicial de 100 árvores com $DAP \geq 5$ cm, pertencentes a diferentes espécies e a diferentes classes de diâmetro.

A escolha das árvores foi baseada nas informações do inventário florestal realizado na área da floresta estacional (ROCHA, 2011). Todas as árvores inventariadas foram distribuídas em classes de diâmetro, com intervalo de classe igual a 5 cm.

O número de classes de diâmetro foi obtido a partir da fórmula de Sturges (MACHADO & FIGUEIREDO FILHO, 2003), que é dada por:

$$NC = 1 + 3,33 \cdot \log(n) \quad (3.1)$$

em que:

NC = número de classes;

n = número de árvores.

O intervalo de classe (IC) entre as classes de diâmetro foi obtido a partir da relação:

$$IC = \frac{A}{NC} \quad (3.2)$$

em que:

A = amplitude de classe.

A partir dos dados do inventário florestal distribuídos em classes de diâmetro foi determinado o número de árvores por classe a ser submetido a AAR. Definiu-se pela seleção aleatória 100 árvores, distribuídas proporcionalmente entre as diferentes classes de diâmetro, tomando como base a densidade das árvores em cada classe. Além disso, procurou-se amostrar em cada classe, pelo menos, um representante de cada espécie registrada na área, de forma a representar da melhor forma a florística observada no inventário.

A partir das informações sobre o número de árvores por espécie que seriam utilizadas para aplicar a AAR visando obter os estoques em volume, biomassa e carbono da floresta estudada, foi necessário verificar onde seria possível selecionar tais árvores, pois as mesmas deveriam ser posteriormente abatidas tanto para a realização da cubagem rigorosa (método destrutivo) de fuste e galhos para determinação do volume, quanto para a

realização da pesagem destes compartimentos visando a obtenção de valores reais de biomassa e carbono, o quais seriam utilizados para validarem a precisão da técnica AAR. É importante destacar que a área onde foi realizado o inventário foi escolhida para ser monitorada ao longo do tempo, portanto, qualquer intervenção decorrente do corte de árvores na área irá interferir no processo sucessional da vegetação.

Diante disto, a seleção das árvores foi realizada em uma parte do fragmento da floresta que não tinha sido considerada no computo da área destinada ao inventário florestal, por ser uma área em que o proprietário já tinha a autorização do órgão ambiental competente da região para a derrubada da vegetação nativa visando o seu uso para pastagem. Tal área apresentava-se bastante degradada, com muitos sinais de exploração.

Assim, procurou-se identificar nesta parte do fragmento, o número de árvores pertencentes a cada classe de diâmetro, necessário para a aplicação da AAR, considerando o requisito de ter pelo menos um representante de cada espécie registrada no inventário.

Os espécimes escolhidos tiveram suas coordenadas geográficas tomadas a partir de um aparelho de GPS, da marca Garmin, modelo 60 csx.

3.2.1.2. Aplicação da Amostragem Aleatória de Ramos

A AAR caracterizada por ser um método não destrutivo, foi utilizada para estimar o estoque total em volume (fuste e galhos) das árvores selecionadas, sem ocasionar a derrubada da árvore. A partir do estoque total em volume de cada árvore, foram estimados os estoques totais em biomassa e carbono para a floresta estacional estudada.

A coleta de dados foi realizada em julho, no início da estação seca. No período da coleta, muitas árvores encontravam-se parcialmente ou totalmente sem folhas, o que impossibilitou a aplicação da AAR para avaliar o componente folha. Portanto, neste estudo a aplicação da AAR considerou apenas os componentes fuste e galhos grossos. Foi fixado em 3 cm de diâmetro na base, próximo ao nó, o limite inferior para que um galho pudesse ser elegível. Desta forma, a aplicação da AAR não considerou os componentes galhos finos (diâmetro menor que 3 cm) e folhas.

A amostragem aleatória de ramos considera que os ramos consecutivos selecionados pelo sorteio em cada nó formam o caminho percorrido com a finalidade de atingir um diâmetro mínimo de interesse ou um ramo terminal que apresente ou possua o atributo de interesse.

Cada uma das 100 árvores selecionadas foi considerada como uma população e o volume, o atributo a ser inicialmente quantificado em cada uma delas. Na AAR, as unidades amostrais são os caminhos percorridos de forma aleatória a partir do primeiro nó (bifurcação) até um segmento ou ramo com diâmetro superior a 3 cm.

3.2.1.3. Seleção do caminho

Segundo Gregoire & Valentine (2007), o primeiro segmento do caminho se estende da base do fuste, definido como o primeiro nó, até o segundo nó. Geralmente, o primeiro nó do caminho dá origem a um só ramo (no caso, o fuste), cuja probabilidade de seleção é igual a um ($q_1=1$). No segundo nó atribuiu-se para cada ramo uma probabilidade de seleção, escolhendo um deles aleatoriamente. A escolha do segundo ramo, com probabilidade de seleção q_2 , fixa o segundo segmento do caminho. O segundo segmento é seguido até o terceiro nó onde um ramo é selecionado e, portanto, o terceiro segmento do caminho é escolhido com probabilidade q_3 . Esse procedimento é repetido até que um ramo menor ou um segmento terminal é escolhido no nó final com probabilidade q_n .

É importante destacar que a soma das probabilidades de seleção atribuídas aos ramos em cada nó deve ser igual a um.

Para determinação das probabilidades de seleção dos galhos, foi adotada a técnica da probabilidade proporcional ao diâmetro do ramo ao quadrado – PPD², como descrito por Jessen (1955), Gregoire & Valentine (2007) e Cancino & Saborowski (2007). Segundo estes autores, a utilização desta variável auxiliar, por ser altamente correlacionada com o atributo de interesse (volume, biomassa, carbono), possibilita a obtenção de estimativas com precisão adequada aos objetivos do estudo.

Para atribuir as probabilidades proporcionais ao diâmetro de cada ramo ao quadrado foi utilizada a seguinte fórmula adaptada de Gregoire & Valentine (2007). O diâmetro dos ramos foi tomado próximo ao nó, sendo medido com suta:

$$Q_{RI} = \frac{d^2 r_i}{\sum_{i=1}^n d^2 r_i} \quad (3.3)$$

em que:

q_{r_i} = probabilidade condicional de seleção atribuída ao i -ésimo ramo do r -ésimo nó;

$d_{r_i}^2$ = diâmetro ao quadrado (d^2) do i -ésimo ramo do r -ésimo nó;

$\sum_{i=1}^n d_{r_i}^2$ = somatório dos diâmetros ao quadrado dos i -ésimos ramos pertencentes ao r -ésimo nó.

O diâmetro dos ramos foi tomado próximo ao nó, sendo medidos com suta e exigindo inclusive a escalada da árvore para medição desses diâmetros. O ramo i ($i = 2, \dots, n$) é selecionado de acordo com a seguinte fórmula proposta por Gregoire & Valentine (2007):

$$\sum_{i=1}^{n-1} q_{r_i} < u \leq \sum_{i=1}^n q_{r_i} \quad (3.4)$$

Assim, o i -ésimo ramo é selecionado se $u \leq q_{r_i}$, onde $u \sim U[0,1]$. Ou seja, u é um número aleatório entre 0 e 1 que determina qual dos ramos em um determinado nó será escolhido. Para seleção dos ramos pela técnica de probabilidades proporcionais ao diâmetro quadrático do ramo foram considerados valores de u com três casas decimais, que foram sorteadas para compor um número entre 0 e 1. O sorteio das casas decimais foi realizado com auxílio de um dado (Figura 3.2), numerado de 0 a 9.



Figura 3.2. Dado de 10 faces utilizado na aplicação da AAR

Gregoire & Valentine (2007) ressaltam que a probabilidade de seleção atribuída a um ramo (q_i) é, na verdade, a probabilidade de seleção condicionada à seleção anterior. A probabilidade incondicional de seleção de um segmento de ramo (i) do caminho (m) é (adaptado de Gregoire & Valentine, 2007):

$$Q_{mi} = \prod_{i=1}^S q_{ri} \quad (3.5)$$

em que:

Q_{mi} = probabilidade incondicional de seleção do ramo i de um caminho m ;

q_{ri} = probabilidade condicional de seleção atribuída ao i -ésimo ramo do r -ésimo nó;

$\prod_{i=1}^S q_{ri}$ = produto das probabilidades condicionais de seleção dos ramos percorridos o longo do caminho;

S = número de segmentos de ramos do caminho m .

3.2.1.4. Estimativa do volume dos componentes fuste e galhos grossos a partir da AAR

Para a estimativa do volume do tronco e dos galhos com diâmetro igual ou superior a 3 cm, realizou-se a cubagem rigorosa (não destrutiva) de cada um dos segmentos que compõe os caminhos amostrados pela AAR.

Este procedimento foi realizado em secções de comprimentos variáveis ao longo de cada compartimento, observando a tortuosidade natural dos mesmos e considerando que quanto menor o comprimento de uma secção desses compartimentos, mais a secção se aproxima da forma cilíndrica, reduzindo o erro durante a tomada das medidas. Para a tomada do diâmetro utilizou-se uma suta e para a medida do comprimento dos segmentos utilizou-se uma fita métrica.

A fórmula de Smalian foi utilizada para o cálculo do volume de cada seção do tronco ou dos galhos $d \geq 3$ cm, para compor o volume do segmento. Essa fórmula considera os diâmetros ou as circunferências tomadas nas extremidades de cada seção. O volume de cada seção é obtido a partir da seguinte fórmula (MACHADO & FIGUEIREDO-FILHO, 2003; SCOLFORO & THIERSCH, 2004):

$$V_i = \frac{g_i + g_{i+1}}{2} \times L \quad (3.6)$$

em que:

$$g_i = \frac{\pi \times d_i^2}{4} \quad (3.7)$$

$$g_{i+1} = \frac{\pi \times d_{i+1}^2}{4} \quad (3.8)$$

V_i = volume da seção i do fuste ou do galho (m^3);

g_i = área transversal na base da seção i do fuste ou do galho (m^2);

g_{i+1} = área transversal no topo da seção i do fuste ou do galho (m^2);

L = comprimento da seção i do fuste ou do galho (m);

d_i = diâmetro na base da seção i ;

d_{i+1} = diâmetro no topo da seção i .

Após os cálculos dos volumes das seções dos segmentos do fuste e dos galhos com diâmetro igual ou superior a 3 cm, foi obtido o volume real individual de cada caminho percorrido na árvore (y_{ir}), considerando fustes e galhos grossos, dado por:

$$y_{ir} = \sum_{i=1}^m v_i \quad (3.9)$$

em que:

y_{ir} = volume do caminho m ;

v_i = volumes do segmento i encontrado no caminho m .

A estimativa por caminho foi obtida através da seguinte fórmula, adaptada de Gregoire & Valentine (2007):

$$\tau y Q_m = \sum_{r=1}^R \frac{y_{ir}}{Q_{ir}} \quad (3.10)$$

em que:

$\hat{y}Q_m$ = estimativa do volume dado pelo caminho m ;

Y_{ir} = volume do ramo i ;

Q_{ir} = probabilidade condicional de seleção do ramo i , do caminho m .

O número de caminhos a ser percorrido em cada árvore amostra foi pré-determinado como $m = 5$. Esta quantidade foi determinada arbitrariamente, de forma a obter número de estimativas viáveis ao cálculo da variância e do erro amostral. A partir da obtenção da estimativa do volume dos m caminhos ($m = 5$) pré-determinados, essas estimativas foram combinadas para estimar uma média por árvore ($\hat{y}Q$), dada por:

$$\hat{y}Q = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \hat{y}Q_m \quad (3.11)$$

em que:

$\hat{y}Q$ = estimativa do volume da árvore dada pela média aritmética dos volumes obtidos por m caminhos;

$\hat{y}Q_m$ = estimativa do volume dado pelo caminho m

m = número de caminhos amostrados

3.2.1.5. Suficiência amostral da AAR

Para análise estatística da suficiência amostral da AAR foi utilizado o resultado dos cálculos das estimativas da variância da média (v variância (s_y^2), do desvio-padrão (s_y), do erro padrão da média ($s_{\bar{y}}$), do coeficiente de variação (CV_y) e dos erros de amostragem absoluto (E_a) e relativo (E_r), segundo fórmulas adaptadas para este estudo:

$$v(\hat{y}Q) = \frac{\left[\sum_{i=1}^m (\hat{y}Q_m - \hat{y}Q)^2 \right]}{m(m-1)}, \quad \text{sendo } m > 1 \quad (3.12)$$

em que:

$\hat{y}Q$ = estimativa do volume da árvore dada pela média aritmética dos volumes obtidos por m caminhos;

m = número de caminhos amostrados

$$s^2y = v(\hat{t}yQ)xm \quad (3.13)$$

em que:

s_y^2 = estimativa da variância;

$v(\hat{t}yQ)$ = estimativa da variância da média;

m = número de caminhos (unidades amostrais).

$$s_y = \sqrt{s_y^2} \quad (3.14)$$

em que:

s_y = estimativa do desvio padrão;

s_y^2 = estimativa da variância.

$$s_{\bar{y}} = \pm \sqrt{v(\hat{t}yQ)} \quad (3.15)$$

em que:

$s_{\bar{y}}$ = erro padrão da média em função da estimativa da variância;

$v(\hat{t}yQ)$ = estimativa da variância da média.

$$cv_y = \frac{s_y}{\hat{t}yQ} \times 100 \quad (3.16)$$

em que:

cv_y = estimativa do coeficiente de variação;

s_y = estimativa do desvio padrão;

$\hat{t}yQ$ = estimativa do volume.

$$Ea = s_{\bar{y}} \cdot t \quad (3.17)$$

em que:

Ea = erro de amostragem absoluto;

$s_{\bar{y}}$ = erro padrão da média em função da estimativa da variância;

t = valor t , obtido na tabela de Student, para um nível de significância de 5%.

$$Er(\%) = \left(\frac{s_{\bar{y}} \cdot t}{\hat{t}yQ} \right) \times 100 \quad (3.18)$$

em que:

Er (%) = erro amostral relativo;

$s_{\bar{y}}$ = erro padrão da média em função da estimativa da variância;

t = valor t , obtido na tabela de Student, para um nível de significância de 5%;

$\hat{t}yQ$ = média do volume.

3.2.1.6. Estimativa da biomassa do fuste e galhos grossos por árvore a partir da AAR

A partir da estimativa do volume total por árvore (fuste e galhos com diâmetro igual ou superior a 3 cm) pela AAR, foi estimada a biomassa seca de cada árvore considerando os mesmos componentes. Para a estimativa dessa variável foram utilizados os valores de densidade básica de cada árvore que foram determinados por método destrutivo, e que será apresentado e discutido no item 3.2.2.3.

A biomassa seca foi obtida a partir da seguinte relação (ABNT, 1997):

$$Bs = \rho b \times Vv \quad (3.19)$$

em que:

ρb = densidade básica em kg/m³;

Bs = biomassa seca em kg;

Vv = volume verde em m³.

3.2.1.7. Estimativa do estoque de carbono a partir da AAR

O estoque de carbono estimado para cada árvore foi considerado como sendo igual a 50% do peso seco total da árvore, o que será discutido no item 3.2.2.4.

3.2.2. Obtenção dos valores reais dos estoques em volume, biomassa e carbono

Imediatamente após a aplicação da técnica de amostragem aleatória de ramos nas 100 árvores selecionadas, estas foram submetidas à cubagem rigorosa por meio de método destrutivo. Todas as árvores foram abatidas ao nível do solo com o uso de motosserra. Após o corte registrou-se a altura total, em seguida, fuste e galhos foram separados e a altura comercial do fuste foi registrada considerando um diâmetro mínimo comercial de 3 cm. Para galhos, o diâmetro mínimo comercial na base também foi considerado igual a 3 cm.

3.2.2.1. Determinação do estoque em volume

A cubagem rigorosa foi realizada em secções de comprimentos variáveis ao longo do fuste e dos galhos, visando a obtenção de secções mais retilíneas e uniformes possível, uma vez que as árvores da maioria das espécies apresentam tortuosidades ao longo do fuste e dos galhos. A fórmula de Smalian foi utilizada para o cálculo do volume de cada seção do fuste e dos galhos (SCOLFORO & THIERSCH, 2004; MACHADO & FIGUEIREDO-FILHO, 2003).

Para algumas árvores foi necessária a divisão do fuste e/ou dos galhos em mais de uma seção (n seções). Desta forma, o volume total real (V) de cada árvore foi obtido por meio da seguinte fórmula (SCOLFORO & THIERSCH, 2004):

$$V = v_c + \sum_{i=1}^n v_i \quad (3.20)$$

$$v_c = g_c \cdot l_c \quad (3.21)$$

em que:

V = volume total real da árvore (m³);

v_i = volume da seção i do fuste ou do galho (m³);

v_c = volume da cepa (m³);

g_c = área seccional tomada na base da cepa (m²);

l_c = altura da cepa (m).

3.2.2.2. Determinação do estoque em biomassa por árvore

Imediatamente após a cubagem rigorosa de cada árvore foi realizada a pesagem dos componentes fuste e galhos, separadamente, sendo utilizada uma balança marca WELNI com capacidade máxima de 300 kg, com precisão de 0,05 kg.

Em seguida foram retiradas de cada árvore três amostras de seções transversais (discos de madeira) com aproximadamente 2,50 cm de espessura, ao longo do fuste, especificamente nas posições base, meio e topo. O mesmo procedimento foi seguido para dois galhos grossos escolhidos aleatoriamente.

Após a retirada das amostras, estas foram acondicionadas separadamente em sacos plástico para evitar a perda de água. Em seguida, as mesmas foram pesadas em balança digital da marca Marconi, modelo AS 2000C, com precisão de 10^{-2} gramas e guardadas para posterior determinação do peso seco.

As duas amostras foram levadas para o Laboratório de Tecnologia de Madeiras da Universidade de Brasília e, colocadas em estufa de esterilização e secagem de circulação aberta de ar, a uma temperatura de 103 ± 2 °C, até obtenção da massa constante (variação de 1%) (SMITH, 1954; RUFINI, 2008). Após secagem, cada amostra foi pesada novamente para obter o seu peso seco.

Com os valores de peso úmido e peso seco das amostras, foi calculado o teor de umidade em base seca de cada árvore, considerando tanto o fuste quanto os galhos. De posse deste valor, foi possível estimar a biomassa seca total da árvore, a partir da biomassa verde registrada em campo (VALE, 2000; BARBOSA & FERREIRA, 2004).

$$TU = \frac{MU - MS}{MS} \times 100 \quad (3.22)$$

em que:

TU = Teor de umidade (em %);

MU = massa úmida da amostra (g ou kg);

MS = massa seca da amostra (g ou kg).

Após a obtenção do teor de umidade e da relação madeira/casca para cada parte componente da árvore (fuste e galhos grossos) foi possível estimar a biomassa seca, ou seja:

$$MS = \frac{MU}{\frac{TU}{100} + 1} \quad (3.23)$$

em que:

MS = biomassa seca total da árvore em Kg;

MU = biomassa úmida total da árvore em Kg;

TU = teor de umidade em porcentagem.

3.2.2.3. Determinação da densidade

A partir dos valores de massa seca e volume verde, foi calculada a densidade básica para galhos grossos e fuste. A determinação da densidade básica de cada árvore cubada foi obtida pelo cálculo da média aritmética das densidades observadas nos compartimentos fuste e galhos grossos. Para as espécies com mais de uma árvore cubada, a densidade básica por espécie foi obtida pelo cálculo da média aritmética das densidades observadas nestas árvores. A seguinte relação foi utilizada para cálculo da densidade básica (ABNT, 1997):

$$\rho_b = \frac{MS}{V_v} \quad (3.24)$$

em que:

ρ_b = densidade básica em kg/m³;

MS = biomassa seca em kg;

V_v = volume verde em m³

3.2.2.4. Determinação do estoque de carbono por árvore

O estoque de carbono de cada árvore e de cada componente analisado (fuste e galhos grossos) foi considerado como sendo 50% da sua biomassa seca total, tanto para fuste quanto para galhos (BROWNING, 1963; HIGUCHI & CARVALHO JR., 1994; SOARES *et al.*, 2006; FERNANDES *et al.*, 2007; BAIS, 2008; BOINA, 2008).

3.3. ANÁLISE DE DADOS

3.3.1. Avaliação da validade da AAR

As estimativas dos estoques em volume, biomassa seca e carbono dos componentes fuste e galhos grossos (diâmetro ≥ 3 cm) de cada uma das 100 árvores amostradas foram comparadas aos valores reais obtidos pelo método destrutivo, que envolveu o abate da árvore para a realização da cubagem rigorosa e pesagem dos componentes fuste e galhos grossos.

O teste t de Student para dados pareados (ZAR, 1999) foi utilizado para avaliar a existência de diferenças estatísticas significativas entre os valores reais e os estimados, considerando um nível de significância de 5%. O valor de t foi calculado utilizando o *software* BIOSTAT v 4.0.

3.3.2. Ajuste de modelos estimadores dos parâmetros volume, biomassa seca e carbono

A partir dos valores estimados dos estoques em volume, biomassa seca e carbono pela AAR para as árvores amostradas, foram testados vários modelos de regressão, lineares simples e múltiplos e não lineares, conforme sugerido por Scolforo e Thiersh (2004). A partir destes modelos, foi selecionado aquele de maior precisão para estimar cada uma das variáveis de interesse (estoques em volume, biomassa seca e carbono) em função das variáveis DAP, H, ou combinações destas. Todos os modelos foram testados para estimar os estoques em volume, biomassa seca e carbono considerando, separadamente, os compartimentos fuste, copa e fuste mais copa (total) (tabela 3.1).

Tabela 3.1. Modelos lineares e não lineares testados para estimar os estoques em volume, biomassa seca e carbono de árvores de uma floresta estacional decidual localizada no Município de Campos Belos – GO

Nº		Modelos lineares	
1	Kopezky-Gehrdat	$Y = B_0 + \beta_1 DAP^2 + \varepsilon$	(3.25)
2	Spurr	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H + \varepsilon$	(3.26)
3	Dissecu-Meyer	$Y = \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$	(3.27)
4	Hohenadl-Krenm	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$	(3.28)
5	Stoate	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 H + \varepsilon$	(3.29)
6	Naslund	$Y = \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 DAPH^2 + \beta_4 H + \varepsilon$	(3.30)
7	Naslund mod.	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 DAPH^2 + \beta_4 H + \varepsilon$	(3.31)
8	Meyer	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \beta_3 DAPH + \beta_4 DAP^2 H + \beta_5 H + \varepsilon$	(3.32)
Modelos não lineares			
9	Schumacher & Hall	$Y = \beta_0 DAP^{\beta_1} H t^{\beta_2} + \varepsilon$	(3.33)
10	Spurr (log.)	$Y = \beta_0 (DAP^2 H t)^{\beta_1} + \varepsilon$	(3.34)
11	Berkholt	$Y = B_0 DAP^{\beta_1} + \varepsilon$	(3.35)
12	Ogaya	$Y = DAP^2 (\beta_0 + \beta_1 H) + \varepsilon$	(3.36)
13	Honner	$Y = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{H}\right) + \varepsilon}$	(3.37)
14	Takata	$Y = \frac{DAP^2 H}{\beta_0 + \beta_1 DAP + \varepsilon}$	(3.38)

Y = volume (m³); biomassa seca (kg) ou estoque de carbono (kg); DAP = diâmetro do fuste tomado à altura do peito (1,3m); H = altura total ou comercial; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ = parâmetros dos modelos; ε = erro aleatório

O ajuste dos modelos lineares e não lineares foi realizado a partir do *software* STATISTICA 8.0. A seleção do melhor modelo foi baseada nas seguintes medidas de precisão (DRAPPER & SMITH, 1981):

- a) Coeficiente de determinação (R²);
- b) Erro padrão da estimativa (Syx%);
- c) Análise gráfica dos resíduos.

Para o ajuste dos modelos considerou apenas 80 árvores. As 20 árvores restantes foram utilizadas com o objetivo de validar a precisão da equação selecionada. O teste t para dados pareados (ZAR, 1999) foi utilizado na validação. O *software* BIOSTAT 4.0 foi utilizado para realizar o teste de validação dos modelos.

Não obstante, após a seleção da melhor equação ajustada, foi aplicado o teste de identidade de modelos. Este teste tem por objetivo a comparação entre equações ajustadas a partir do mesmo modelo, porém, aplicados em diferentes bases de dados, de forma a observar

diferenças estatísticas entre os coeficientes ajustados para cada uma destas. A partir do resultado do teste, caso não seja identificada diferença estatística significativa, é possível utilizar uma única equação, demonstrando que ambos os métodos de AAR e cubagem rigorosa tradicional são estatisticamente iguais.

Para a aplicação do teste de identidade de modelos, utilizou-se o teste de hipóteses utilizando variáveis Dummy. A aplicação do teste de identidade de modelos seguiu os seguintes passos:

- a- Definição do modelo completo
- b- Formulação da hipótese Ho e Ha
- c- Definição do modelo reduzido, com base em Ho
- d- Cálculo da estatística do teste (F(Ho))
- e- Comparação da estatística F(Ho) com F_α
- f- Conclusão e interpretação prática

a) Modelo completo (Ω): equações específicas para cada método

$$\Omega: LnV = \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2 + \beta_3 D_1 LnDAP + \beta_4 D_2 LnHt + \beta_5 D_1 LnDAP + \beta_6 D_2 LnHt + \varepsilon \quad (3.39)$$

em que

$D_1 = 1$ e $D_2 = 0$, para método=1

$D_1 = 0$ e $D_2 = 1$, para método=2

b) Formulação da hipótese Ho e Ha

$$Ho: \begin{bmatrix} \beta_{11} \\ \beta_{21} \\ \beta_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_{12} \\ \beta_{22} \\ \beta_{32} \end{bmatrix} \quad vs \quad Ha: \text{não Ho, então,}$$

c) Definição do modelo reduzido, com base em Ho

O modelo reduzido (W) - uma única equação para os dois métodos - será:

$$W: LnV = \beta_1 + \beta_2 LnDAP + \beta_3 LnHt + \varepsilon \quad (3.40)$$

d) Cálculo da estatística do teste (F(Ho))

ANOVA:

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Par(Ω)	6			
Par(W)	3			
R(Ho)	3			
Resíduo da Regressão	190			
Total	196			

Parâmetro do modelo completo (Ω); Parâmetro do modelo reduzido (W); Redução (R(H₀))

e) Comparação da estatística F(Ho) com F α e conclusão e interpretação prática

F não significativo: usar uma única equação (os métodos AAR e cubagem rigorosa tradicional são estatisticamente iguais)

F significativo: usar uma equação para cada método (os métodos AAR e cubagem rigorosa tradicional são estatisticamente diferentes).

Os modelos que apresentaram o melhor ajuste, e não foram constatadas diferenças significativas a partir da aplicação dos testes t e do teste da análise de identidade de modelos, foram utilizados para estimar a produção volumétrica e os estoques em biomassa seca e carbono para a floresta estacional decidual estudada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. SELEÇÃO DE ÁRVORES PARA APLICAÇÃO TESTE DA AAR

O inventário florestal realizado na floresta estacional cm (ROCHA, 2011) registrou um total de 1161 árvores vivas e mortas em pé, com DAP igual ou superior a 5 cm, pertencentes a 21 famílias, 43 gêneros e 53 espécies. A altura média das árvores amostradas foi de 6 m, sendo a mínima igual a 1,3 m e a máxima igual a 18 m. O diâmetro das árvores variou de 5 a 62 cm, com diâmetro médio igual a 9,05.

Os dados de diâmetro das árvores foram distribuídos em classes diamétricas, sendo determinado um intervalo de classe igual a 5 cm. Cerca de 77 % das árvores inventariadas ocorreram na primeira classe diamétrica (5 – 10 cm) e cerca de 14% estavam registradas na segunda classe (10 – 15 cm). As demais árvores ficaram distribuídas nas outras classes sendo 3% na classe 15 – 20 cm, 2% na classe 20 - 25 cm, 2 % na classe 25 – 30 cm, 1% na classe 30-35 e 1% na classe 35 - 40 cm (Tabela 4.1).

Tabela 4.1. Frequência absoluta e relativa por classe de diâmetro das árvores vivas e mortas em pé, com DAP \geq 5 cm, amostradas em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO

Classes de DAP (cm)	Centro de classe (cm)	Frequência	
		Absoluta	Relativa (%)
5 – 10	7,5	890	77%
10 – 15	12,5	176	14%
15 – 20	17,5	34	3%
20 – 25	22,5	19	2%
25 – 30	27,5	18	2%
30 – 35	32,5	9	1%
35 – 40	37,5	6	1%
Total		1161	100%

Observa-se na Tabela 4.1 que o comportamento da densidade de árvores em relação às classes de diâmetro seguiu o padrão da função exponencial negativa (MEYER *et al.*, 1961), normalmente observado na maioria das formações florestais tropicais.

A partir da distribuição das árvores amostradas em classes de diâmetro foram obtidas as frequências absolutas de cada classe de diâmetro para aplicação da AAR, considerando que o número de árvores estabelecido para testar o novo método de amostragem foi igual a 100

Deve ser destacado que, para cada classe de diâmetro buscou-se amostrar pelo menos um indivíduo de cada espécie. Este procedimento foi rigoroso principalmente nas duas primeiras classes de diâmetro onde estava concentrada a maior parte das árvores inventariadas. Desta forma, das 53 espécies registradas na área estudada, durante o inventário florestal (ROCHA, 2011), foram selecionadas 41 espécies para a aplicação da AAR, correspondendo a 77% do total. As espécies escolhidas pertencem a 37 gêneros e 21 famílias botânicas, o que equivale a 100% das famílias e 86% dos gêneros amostrados. A

lista com as espécies selecionadas e os respectivos números de árvores amostradas por espécie encontra-se na Tabela 4.3.

Tabela 4.2. Frequência absoluta por classe de diâmetro das árvores vivas com DAP ≥ 5 cm selecionadas em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO, visando a aplicação da AAR

Classes de DAP (cm)	Centro de classe (cm)	Frequência absoluta
05 - 10	7,5	73
10 - 15	12,5	18
15 - 20	17,5	3
20 - 25	22,5	2
25 - 30	27,5	2
30 - 35	32,5	1
35 - 40	37,5	1
Total		100

Tabela 4.3. Lista de espécies selecionadas em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO, e respectivos números de árvores amostrados para aplicação da AAR

Espécies	Número de árvores amostradas
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speng.	1
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	2
<i>Andira</i> sp.	1
<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	1
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	1
<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart. ex A. DC.	1
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	11
<i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud.	1
<i>Byrsonima pachyphylla</i> A. Juss.	1
<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	6
<i>Campomanesia velutina</i> (Cambess.) O. Berg	1
<i>Casearia rupestris</i> Eichler	3
<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg.	1
<i>Combretum duarteanum</i> Cambess	2
<i>Cordia glabrata</i> (Mart.) A. DC.	3
<i>Curatella americana</i> L.	2
<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	3
<i>Diospyros hispida</i> A. DC.	1
<i>Erythroxylum Daphnites</i> Mart.	1
<i>Eugenia dysenterica</i> DC.	1

Espécies	Número de árvores amostradas
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	1
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	1
<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	3
<i>Luehea divaricata</i> Mart.	1
<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	2
<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld	1
<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	6
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	6
<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.	2
<i>Platypodium elegans</i> Vogel	2
<i>Pseudobombax tomentosum</i> (Mart. & Zucc.) Robyns	2
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	2
<i>Randia</i> sp.	2
<i>Rhamnidium elaeoarpum</i> Reissek	4
<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel	2
<i>Simarouba versicolor</i> A. St.-Hil.	1
<i>Simarouba versicolor</i> A. St.-Hil.	1
<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. F. ex S. Moore	3
<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	4
<i>Terminalia argentea</i> Mart.	5
<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K. Schum.	5
<i>Zanthoxylum riedelianum</i> Engl.	1

4.2. Estimativa do volume de árvores individuais a partir da AAR

As estatísticas descritivas da variável volume total (fuste e galhos grossos), considerando um total de cinco caminhos amostrados são apresentadas na Tabela 4.4. Borges (2009) salienta que na AAR, a análise estatística é realizada para cada população amostrada, neste caso, cada indivíduo selecionado foi considerado uma população e cada unidade amostral consistiu em um caminho percorrido de forma aleatória, a partir do primeiro nó (bifurcação) até um segmento ou ramo com diâmetro ≥ 3 cm.

Tabela 4.4. Estimativa do volume médio e estatística descritiva resultante da aplicação da AAR em árvores amostradas em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO

Cod.	Espécies	Tempo gasto	Cl.Diam. (cm)	Yest	V(YQ)	S ² _Y	s _y	s _y	CV _y	Ea	Er %	IC		
C024	<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart. ex A. DC.	00:34:36	10 - 15	0.0348	0.0000	0.0000	0.0053	0.0024	15.25	0.0066	18.93	IC[X=	0.0348 ±	0.0066]=P
C032	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	00:06:30	05 - 10	0.0126	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0126 ±	0.0000]=P
C033	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	00:02:50	05 - 10	0.0098	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0098 ±	0.0000]=P
C034	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	00:04:59	05 - 10	0.0116	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0116 ±	0.0000]=P
C035	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	00:18:35	05 - 10	0.0139	0.0000	0.0000	0.0004	0.0002	2.12	0.0004	2.63	IC[X=	0.0139 ±	0.0004]=P
C036	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	00:45:00	05 - 10	0.0260	0.0000	0.0000	0.0034	0.0015	14.74	0.0042	18.31	IC[X=	0.0260 ±	0.0042]=P
C038	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	00:30:00	10 - 15	0.0727	0.0000	0.0000	0.0057	0.0026	7.97	0.0071	9.89	IC[X=	0.0727 ±	0.0071]=P
C050	<i>Byrsonima pachyphylla</i> A. Juss.	00:24:15	05 - 10	0.0197	0.0000	0.0000	0.0006	0.0003	2.92	0.0007	3.63	IC[X=	0.0197 ±	0.0007]=P
C060	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	00:19:09	05 - 10	0.0203	0.0000	0.0000	0.0002	0.0001	0.99	0.0002	1.23	IC[X=	0.0203 ±	0.0002]=P
C062	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	00:26:17	05 - 10	0.0282	0.0000	0.0000	0.0011	0.0005	4.05	0.0014	5.03	IC[X=	0.0282 ±	0.0014]=P
C063	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	00:18:00	10 - 15	0.0276	0.0000	0.0000	0.0017	0.0007	5.19	0.0021	6.45	IC[X=	0.0276 ±	0.0021]=P
C068	<i>Campomanesia velutina</i> (Cambess.) O. Berg	00:23:30	05 - 10	0.0215	0.0000	0.0000	0.0018	0.0008	8.69	0.0023	10.79	IC[X=	0.0215 ±	0.0023]=P
C076	<i>Casearia rupestris</i> Eichler	00:12:58	05 - 10	0.0393	0.0000	0.0001	0.0078	0.0035	27.80	0.0097	34.52	IC[X=	0.0393 ±	0.0097]=P
C097	<i>Cordia glabrata</i> (Mart.) A. DC.	00:02:00	05 - 10	0.0051	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0051 ±	0.0000]=P
C105	<i>Curatella americana</i> L.	00:02:11	05 - 10	0.0038	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0038 ±	0.0000]=P
C110	<i>Curatella americana</i> L.	00:20:29	05 - 10	0.0375	0.0000	0.0000	0.0006	0.0003	1.51	0.0007	1.87	IC[X=	0.0375 ±	0.0007]=P
C183	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	00:22:00	05 - 10	0.0206	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.33	0.0001	0.41	IC[X=	0.0206 ±	0.0001]=P
C200	<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	00:14:09	05 - 10	0.0145	0.0000	0.0000	0.0006	0.0003	4.16	0.0007	5.17	IC[X=	0.0145 ±	0.0007]=P
C204	<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	00:05:42	05 - 10	0.0064	0.0000	0.0000	0.0011	0.0005	17.52	0.0013	21.76	IC[X=	0.0064 ±	0.0013]=P
C206	<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	00:40:00	10 - 15	0.0586	0.0000	0.0000	0.0056	0.0025	11.97	0.0070	14.86	IC[X=	0.0586 ±	0.0070]=P
C213	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	00:01:02	05 - 10	0.0022	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0022 ±	0.0000]=P
C217	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	00:02:00	05 - 10	0.0061	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0061 ±	0.0000]=P
C221	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	00:13:45	05 - 10	0.0182	0.0000	0.0000	0.0025	0.0011	16.80	0.0031	20.86	IC[X=	0.0182 ±	0.0031]=P
C222	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	00:36:00	05 - 10	0.0191	0.0000	0.0000	0.0024	0.0011	13.94	0.0029	17.31	IC[X=	0.0191 ±	0.0029]=P
C223	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	00:15:55	10 - 15	0.0399	0.0000	0.0000	0.0006	0.0002	1.42	0.0007	1.76	IC[X=	0.0399 ±	0.0007]=P
C224	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	00:28:00	05 - 10	0.0342	0.0000	0.0000	0.0025	0.0011	7.61	0.0031	9.45	IC[X=	0.0342 ±	0.0031]=P
C238	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	00:02:57	05 - 10	0.0087	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0087 ±	0.0000]=P
C239	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	00:37:24	05 - 10	0.0309	0.0000	0.0000	0.0016	0.0007	5.40	0.0020	6.70	IC[X=	0.0309 ±	0.0020]=P
C241	<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.	00:08:46	05 - 10	0.0078	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0078 ±	0.0000]=P
C251	<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.	00:17:05	05 - 10	0.0180	0.0000	0.0000	0.0010	0.0005	5.25	0.0013	6.52	IC[X=	0.0180 ±	0.0013]=P
C253	<i>Pseudobombax tomentosum</i> (Mart. & Zucc.) Robyns	00:06:28	05 - 10	0.0163	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0163 ±	0.0000]=P
C255	<i>Pseudobombax tomentosum</i> (Mart. & Zucc.) Robyns	00:20:30	05 - 10	0.0127	0.0000	0.0000	0.0016	0.0007	14.10	0.0020	17.51	IC[X=	0.0127 ±	0.0020]=P

Continuação da Tabela 4.4

Cod.	Espécies	Tempo gasto	Cl.Diam. (cm)	Yest	V(YQ)	S ² _Y	s _y	s _y	CV _y	Ea	Er %	IC		
C258	<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	00:02:27	05 - 10	0.0072	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0072 ±	0.0000]=P
C275	<i>Randia</i> sp.	00:04:02	05 - 10	0.0078	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0078 ±	0.0000]=P
C279	<i>Rhamnidium elaeoarpum</i> Reissek	00:09:10	05 - 10	0.0212	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0212 ±	0.0000]=P
C281	<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel	00:18:06	05 - 10	0.0374	0.0000	0.0001	0.0071	0.0032	28.01	0.0088	34.78	IC[X=	0.0374 ±	0.0088]=P
C292	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. F. ex S. Moore	00:05:00	05 - 10	0.0153	0.0000	0.0000	0.0006	0.0003	5.05	0.0008	6.27	IC[X=	0.0153 ±	0.0008]=P
C299	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	00:01:45	05 - 10	0.0095	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0095 ±	0.0000]=P
C300	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	00:19:49	05 - 10	0.0368	0.0000	0.0000	0.0012	0.0005	3.27	0.0015	4.06	IC[X=	0.0368 ±	0.0015]=P
C301	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	01:00:00	10 - 15	0.0755	0.0000	0.0000	0.0037	0.0016	5.60	0.0046	6.95	IC[X=	0.0755 ±	0.0046]=P
C304	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K. Schum.	00:02:48	05 - 10	0.0047	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0047 ±	0.0000]=P
C306	<i>Zanthoxylum riedelianum</i> Engl.	00:18:40	05 - 10	0.0146	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.94	0.0002	1.17	IC[X=	0.0146 ±	0.0002]=P
M003	<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speng.	00:23:16	10 - 15	0.0939	0.0000	0.0000	0.0003	0.0001	0.36	0.0004	0.45	IC[X=	0.0939 ±	0.0004]=P
M005	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	00:02:33	05 - 10	0.0054	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0054 ±	0.0000]=P
M006	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	00:31:09	05 - 10	0.0178	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.73	0.0002	0.90	IC[X=	0.0178 ±	0.0002]=P
M009	<i>Andira</i> sp.	00:08:03	05 - 10	0.0226	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0226 ±	0.0000]=P
M010	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	00:09:14	05 - 10	0.0149	0.0000	0.0000	0.0015	0.0007	10.45	0.0018	12.97	IC[X=	0.0149 ±	0.0018]=P
M013	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	00:28:27	05 - 10	0.0395	0.0000	0.0000	0.0020	0.0009	5.47	0.0025	6.79	IC[X=	0.0395 ±	0.0025]=P
M016	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	00:02:06	05 - 10	0.0053	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0053 ±	0.0000]=P
M018	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	00:08:34	05 - 10	0.0254	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0254 ±	0.0000]=P
M019	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	00:15:00	05 - 10	0.0316	0.0000	0.0000	0.0015	0.0007	4.81	0.0018	5.97	IC[X=	0.0316 ±	0.0018]=P
M020	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	00:13:06	10 - 15	0.0338	0.0000	0.0000	0.0037	0.0016	12.98	0.0046	16.12	IC[X=	0.0338 ±	0.0046]=P
M021	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	01:00:00	25 - 30	0.3993	0.0001	0.0006	0.0251	0.0112	6.06	0.0312	7.52	IC[X=	0.3993 ±	0.0312]=P
M023	<i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud.	00:02:30	05 - 10	0.0142	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0142 ±	0.0000]=P
M027	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	00:03:40	05 - 10	0.0081	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0081 ±	0.0000]=P
M033	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	01:32:07	30 - 35	0.7396	0.0022	0.0110	0.1051	0.0470	14.21	0.1305	17.64	IC[X=	0.7396 ±	0.1305]=P
M034	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	01:25:00	35 - 40	0.7277	0.0007	0.0034	0.0585	0.0262	8.04	0.0726	9.98	IC[X=	0.7277 ±	0.0726]=P
M039	<i>Casearia rupestris</i> Eichler	00:18:00	05 - 10	0.0137	0.0000	0.0000	0.0009	0.0004	5.85	0.0011	7.26	IC[X=	0.0137 ±	0.0011]=P
M041	<i>Casearia rupestris</i> Eichler	00:21:06	05 - 10	0.0253	0.0000	0.0000	0.0015	0.0007	5.84	0.0018	7.25	IC[X=	0.0253 ±	0.0018]=P
M045	<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg.	00:24:04	05 - 10	0.0116	0.0000	0.0000	0.0027	0.0012	26.10	0.0034	32.41	IC[X=	0.0116 ±	0.0034]=P
M049	<i>Combretum duarteanum</i> Cambess	00:06:42	05 - 10	0.0198	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0198 ±	0.0000]=P
M050	<i>Combretum duarteanum</i> Cambess	00:33:11	10 - 15	0.0465	0.0000	0.0000	0.0012	0.0005	2.60	0.0015	3.22	IC[X=	0.0465 ±	0.0015]=P
M052	<i>Cordia glabrata</i> (Mart.) A. DC.	00:03:16	05 - 10	0.0051	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0051 ±	0.0000]=P
M054	<i>Cordia glabrata</i> (Mart.) A. DC.	00:21:40	05 - 10	0.0208	0.0000	0.0000	0.0017	0.0008	8.01	0.0021	9.95	IC[X=	0.0208 ±	0.0021]=P
M061	<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	00:31:19	10 - 15	0.0448	0.0000	0.0000	0.0040	0.0018	9.95	0.0049	12.36	IC[X=	0.0448 ±	0.0049]=P
M062	<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	00:50:00	10 - 15	0.0922	0.0000	0.0000	0.0055	0.0025	5.94	0.0068	7.38	IC[X=	0.0922 ±	0.0068]=P
M063	<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	01:00:00	20 - 25	0.2006	0.0001	0.0005	0.0219	0.0098	10.94	0.0272	13.58	IC[X=	0.2006 ±	0.0272]=P

Continuação da Tabela 4.4

Cod.	Espécie	Tempo gasto	Cl.Diam. (cm)	Yest	V(YQ)	S ² _Y	s _y	s _y	CV _y	Ea	Er %	IC		
M065	<i>Diospyros hispida</i> A. DC.	00:11:10	05 - 10	0.0103	0.0000	0.0000	0.0004	0.0002	4.63	0.0006	5.74	IC[X=	0.0103 ±	0.0006]=P
M067	<i>Erythroxylum daphnites</i> Mart.	00:11:10	05 - 10	0.0093	0.0000	0.0000	0.0002	0.0001	2.08	0.0002	2.58	IC[X=	0.0093 ±	0.0002]=P
M068	<i>Eugenia dysenterica</i> DC.	00:46:04	10 - 15	0.0460	0.0000	0.0000	0.0042	0.0019	9.20	0.0053	11.43	IC[X=	0.0460 ±	0.0053]=P
M077	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	00:40:20	15 - 20	0.1074	0.0000	0.0000	0.0051	0.0023	4.51	0.0063	5.60	IC[X=	0.1074 ±	0.0063]=P
M086	<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	00:25:37	05 - 10	0.0217	0.0000	0.0000	0.0013	0.0006	7.90	0.0017	9.81	IC[X=	0.0217 ±	0.0017]=P
M087	<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	00:13:13	05 - 10	0.0207	0.0000	0.0000	0.0018	0.0008	8.80	0.0023	10.93	IC[X=	0.0207 ±	0.0023]=P
M090	<i>Luehea divaricata</i> Mart.	00:56:56	15 - 20	0.1711	0.0005	0.0023	0.0474	0.0212	27.73	0.0589	34.43	IC[X=	0.1711 ±	0.0589]=P
M092	<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld	00:39:45	10 - 15	0.0822	0.0000	0.0000	0.0049	0.0022	5.95	0.0061	7.38	IC[X=	0.0822 ±	0.0061]=P
M105	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	00:15:55	05 - 10	0.0263	0.0000	0.0000	0.0015	0.0007	7.00	0.0019	8.69	IC[X=	0.0263 ±	0.0019]=P
M107	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	00:37:08	10 - 15	0.0942	0.0000	0.0000	0.0020	0.0009	2.51	0.0025	3.12	IC[X=	0.0942 ±	0.0025]=P
M108	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	00:55:44	15 - 20	0.1542	0.0000	0.0001	0.0076	0.0034	5.08	0.0094	6.31	IC[X=	0.1542 ±	0.0094]=P
M109	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	00:42:46	25 - 30	0.4233	0.0001	0.0005	0.0213	0.0095	5.97	0.0265	7.41	IC[X=	0.4233 ±	0.0265]=P
M113	<i>Platypodium elegans</i> Vogel	00:06:00	05 - 10	0.0095	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0095 ±	0.0000]=P
M114	<i>Platypodium elegans</i> Vogel	00:54:17	10 - 15	0.0905	0.0000	0.0001	0.0119	0.0053	13.12	0.0147	16.29	IC[X=	0.0905 ±	0.0147]=P
M117	<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	00:27:57	05 - 10	0.0135	0.0000	0.0000	0.0019	0.0008	15.42	0.0023	19.14	IC[X=	0.0135 ±	0.0023]=P
M119	<i>Randia</i> sp.	00:18:56	05 - 10	0.0141	0.0000	0.0000	0.0007	0.0003	6.26	0.0009	7.77	IC[X=	0.0141 ±	0.0009]=P
M123	<i>Rhammidium elaeoarpum</i> Reissek	00:16:56	05 - 10	0.0155	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0155 ±	0.0000]=P
M125	<i>Rhammidium elaeoarpum</i> Reissek	00:30:00	05 - 10	0.0327	0.0000	0.0000	0.0006	0.0003	2.20	0.0008	2.73	IC[X=	0.0327 ±	0.0008]=P
M126	<i>Rhammidium elaeoarpum</i> Reissek	00:35:40	10 - 15	0.0235	0.0000	0.0000	0.0004	0.0002	1.83	0.0005	2.27	IC[X=	0.0235 ±	0.0005]=P
M127	<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel	00:02:00	05 - 10	0.0064	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0064 ±	0.0000]=P
M130	<i>Simarouba versicolor</i> A. St.-Hil.	01:20:00	20 - 25	0.2499	0.0002	0.0010	0.0323	0.0144	12.92	0.0401	16.04	IC[X=	0.2499 ±	0.0401]=P
M136	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. F. ex S. Moore	00:00:46	05 - 10	0.0047	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0047 ±	0.0000]=P
M137	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. F. ex S. Moore	00:25:34	10 - 15	0.0298	0.0000	0.0000	0.0005	0.0002	1.55	0.0006	1.92	IC[X=	0.0298 ±	0.0006]=P
M145	<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	00:04:20	05 - 10	0.0067	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0067 ±	0.0000]=P
M146	<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	00:18:00	05 - 10	0.0192	0.0000	0.0000	0.0033	0.0015	21.42	0.0041	26.59	IC[X=	0.0192 ±	0.0041]=P
M147	<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	00:10:16	05 - 10	0.0210	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0210 ±	0.0000]=P
M148	<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	00:16:46	05 - 10	0.0348	0.0000	0.0000	0.0050	0.0022	19.15	0.0062	23.78	IC[X=	0.0348 ±	0.0062]=P
M152	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	00:30:00	05 - 10	0.0123	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.02	0.0000	0.02	IC[X=	0.0123 ±	0.0000]=P
M153	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	00:28:38	10 - 15	0.0457	0.0000	0.0000	0.0068	0.0030	14.83	0.0084	18.41	IC[X=	0.0457 ±	0.0084]=P
M156	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K. Schum.	00:03:45	05 - 10	0.0060	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0060 ±	0.0000]=P
M157	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K. Schum.	00:02:30	05 - 10	0.0102	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0102 ±	0.0000]=P
M158	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K. Schum.	00:04:30	05 - 10	0.0197	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	IC[X=	0.0197 ±	0.0000]=P
M159	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K. Schum.	00:11:10	05 - 10	0.0230	0.0000	0.0000	0.0015	0.0007	6.80	0.0018	8.44	IC[X=	0.0230 ±	0.0018]=P

CL = Número da classe de diâmetro; n^o = número da árvore; Yest (m³) = volume médio estimado para 5 caminhos; V(YQ) = estimativa da variância da média; S²_Y = estimativa da variância; S_y = estimativa do desvio padrão; s_y = erro padrão da média em função da estimativa da variância; CV = estimativa do coeficiente de variação; Ea = erro de amostragem absoluto; Er = erro amostral relativo; IC = intervalo de confiança; P = probabilidade = 95%.

Os volumes totais individuais de cada árvore, obtidos a partir da aplicação da AAR, considerando a técnica de probabilidade proporcional ao diâmetro dos ramos ao quadrado (PPD²), variaram de 0,0022 m³ a 0,7396 m³, gerando coeficientes de variação oscilando entre 0% e 28,01%. Os erros relativos associados ao processo de amostragem e estimados a um nível de probabilidade de 95%, variaram de 0% a 34,78% correspondentes a erros absolutos entre 0 e 0,1305 m³ (Tabela 4.4).

Ducey *et al.* (2009), em estudo realizado na estação experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia, Pará, utilizaram a Amostragem Aleatória de Ramos para a estimativa da biomassa aérea em uma floresta secundária com 15 anos de idade na Amazônia Oriental, e encontraram um erro amostral médio de 14%, considerando 5 caminhos provedores de estimativas do parâmetro de interesse efetuados para cada árvore.

Neste estudo, a AAR proporcionou baixa variabilidade quanto aos valores estimados de volume (fuste e galhos com diâmetro mínimo igual a 3 cm). Cerca de 79% das árvores submetidas a AAR apresentaram coeficiente de variação inferior a 10%, sendo que 5% apresentaram variabilidade mais alta (CV > 20%). O coeficiente de variação pode ser considerado baixo quando estiver no intervalo de 0 a 10%, médio para o intervalo de 10 a 20% e alto para o intervalo de 20 a 30%. Valores acima de 30% devem ser averiguados já que configuram erros acima do aceitável (PIMENTEL GOMES, 2000).

A existência de galhos inexpressivos ao longo do fuste porém elegíveis (diâmetro ≥ 3 cm), uma vez sorteados, proveram valores subestimados do volume total da árvore, quando o caminho finalizava nestes. Desta maneira, a alta variância calculada a partir de estimativas providas por caminhos que tiveram galhos inexpressivos sorteados, em conjunto às estimativas dadas por caminhos não incidentes em galhos inexpressivos, resultou em altos valores do coeficiente de variação em algumas árvores.

Lôbo (2009) aplicou o método da AAR para obter os atributos volume, biomassa e carbono em árvores de um cerrado sentido restrito localizado no Distrito Federal e encontrou erros amostrais variando entre 1,1% e 34,2%. Cerca de 70% das árvores apresentaram coeficientes de variação inferiores a 10% e, 6,7% das árvores apresentaram coeficientes de variação maiores que 20%. Os valores encontrados por Lôbo (2009) são muito próximos aos obtidos no presente estudo, entretanto, em ambos os estudos a escolha dos indivíduos

foi ponderado pelo percentual da densidade distribuída em cada classe diamétrica, de forma que a grande maioria das árvores foi alocada nas primeiras classes de diâmetro. Este fator implica em árvores menores e com copa reduzida, conseqüentemente com menores possibilidades de caminhos a serem amostrados. Considerando que a AAR é um método que atua principalmente na estimativa da galhada, a variabilidade envolvida na medição de cada caminho tende a ser subestimada.

Segundo Lôbo (2009), as características específicas de crescimento e disposição de copa e galhos estão associadas a erros elevados, devido à irregularidade desses segmentos das árvores nativas do cerrado sentido restrito. O mesmo autor observou maiores erros associados às espécies *Caryocar brasiliense*, *Dalbergia miscolobium* e *Vochysia thyrsoidea*, que apresentaram árvores com copas muito irregulares. O autor ainda relata a ocorrência de sub-estimativas derivadas da ocorrência de galhos com pequenos diâmetros ou danificados, sorteados a partir de fuste com elevado diâmetro, os quais contribuíram para maior variância e desvio padrão da média obtida para a estimativa do volume total.

Cabe ressaltar que algumas árvores selecionadas, pertencentes à primeira classe de diâmetro, não apresentavam volume de copa expressivo, dado o número de ramificações insuficientes que permitissem a amostragem de 5 (cinco) caminhos diferentes ao longo da copa. Dessa forma, estas árvores não apresentaram variações entre as medições dos caminhos, o que resultou em estimativas do coeficiente de variação, da variância e dos demais erros igual a zero. Este fato pode implicar em vieses na validação da metodologia, uma vez que a análise conjunta dos erros amostrais será influenciada por estas árvores. Das 100 árvores amostradas, 32 se enquadraram nesta situação. A ocorrência destas árvores apenas interferiu na análise da estatística descritiva individual e no cálculo do erro médio.

Desse modo, a aplicação da AAR em árvores de baixo porte, desprovida ou provida de poucas ramificações pode-se tornar mais onerosa que a cubagem rigorosa da árvore em pé. A realização da cubagem rigorosa nessas árvores usando as fórmulas clássicas de volume, isto é, Smalian, Huber ou Newton (SCOLFORO & THIERSCH, 2004), por exemplo, seria mais eficiente que a aplicação da AAR, uma vez que seria mais rápido. Desse modo, indica-se em estudos de volume, biomassa e carbono em que seja conveniente a aplicação da AAR, que as árvores de pequeno porte sejam mensuradas a partir da cubagem rigorosa.

4.2.1. Validação da AAR para estimar o volume de árvores individuais

A validação estatística do método de AAR foi realizada a partir da comparação dos volumes (total, do fuste e da copa) individuais das árvores obtidos pelo método de AAR com os volumes reais das mesmas árvores obtidos a partir da cubagem rigorosa por meio de método destrutivo.

O teste t para dados pareados constatou que não houve diferença estatística significativa entre os volumes estimados pela AAR e volumes reais das árvores, considerando um nível de significância de 5%. É importante ressaltar que apesar da AAR ter sido aplicada em 100 árvores, a cubagem foi realizada em 98 destas. Desta forma, a validação a partir do teste t, foi realizada considerando estas 98 árvores.

Tabela 4.5. Resultado do teste t utilizado na validação da AAR aplicada para estimar o volume (m^3) de árvores individuais em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO.

Estatísticas para o volume	Métodos de obtenção do volume	
	AAR	Cubagem rigorosa
Nº de indivíduos	98	98
Volume (m^3)	0,0546	0,0654
t calculado	1,5699 ns	
(p) unilateral =	0,0589	
(p) bilateral =	0,1178	

ns – não significativo

Observa-se na Tabela 4.5 que os volumes estimados pelo método de AAR não diferem significativamente dos valores obtidos pela cubagem rigorosa ($p > 0,05$). Contudo, apesar do resultado do teste t, é importante considerar as diferenças entre os dois métodos testados para obtenção dos valores de volume.

No caso da cubagem rigorosa da árvore abatida, todas as secções ao longo de fustes e galhos foram medidas para obtenção do volume total da árvore. Em contrapartida, a aplicação da AAR considera cada árvore como uma população de possíveis caminhos, os quais resultam em cinco estimativas de volume. A média das cinco estimativas representa o volume estimado da árvore. Portanto, para este caso, além do erro sistemático

proveniente das medições, deve ser considerado o erro amostral associado aos diferentes caminhos percorridos na árvore.

Visando observar pontualmente as diferenças entre as estimativas, o resíduo percentual foi analisado separadamente para cada árvore, a partir da comparação entre valor estimado pela AAR e volume real obtido pela cubagem (Tabela 4.6). Esta análise permitiu evidenciar quais árvores apresentaram os maiores resíduos percentuais, o que possibilitou uma análise por espécie, por classe diamétrica e por outros atributos específicos das árvores mensuradas.

Tabela 4.6. Resíduos percentuais obtidos pela diferença entre volumes estimados pela AAR e os volumes reais obtidos a partir da cubagem rigorosa de árvores em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO

Cód.	Espécie	Classe de diâmetro (cm)	AAR (m ³)	Cubagem rigorosa (m ³)	Resíduo (m ³)	Resíduo %
C024	<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart. ex A. DC.	10 - 15	0.0348	0.0354	0.0006	1.73
C032	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	05 - 10	0.0126	0.0126	0.0000	0.00
C033	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	05 - 10	0.0098	0.0098	0.0000	0.00
C034	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	05 - 10	0.0116	0.0116	0.0000	0.00
C035	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	05 - 10	0.0139	0.0135	-0.0004	-2.64
C036	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	05 - 10	0.0260	0.0190	-0.0069	-36.44
C038	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	10 - 15	0.0727	0.0708	-0.0019	-2.65
C050	<i>Byrsonima pachyphylla</i> A. Juss.	05 - 10	0.0197	0.0291	0.0094	32.17
C060	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	05 - 10	0.0203	0.0181	-0.0021	-11.71
C062	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	05 - 10	0.0282	0.0274	-0.0008	-2.82
C063	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	10 - 15	0.0276	0.0337	0.0061	18.18
C068	<i>Campomanesia velutina</i> (Cambess.) O. Berg	05 - 10	0.0215	0.0202	-0.0013	-6.56
C076	<i>Casearia rupestris</i> Eichler	05 - 10	0.0393	0.0302	-0.0091	-30.22
C097	<i>Cordia glabrata</i> (Mart.) A. DC.	05 - 10	0.0051	0.0056	0.0005	8.34
C105	<i>Curatella americana</i> L.	05 - 10	0.0038	0.0058	0.0020	34.44
C110	<i>Curatella americana</i> L.	05 - 10	0.0375	0.0319	-0.0056	-17.38
C183	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	05 - 10	0.0206	0.0210	0.0004	1.90
C200	<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	05 - 10	0.0145	0.0158	0.0012	7.84
C204	<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	05 - 10	0.0064	0.0066	0.0002	3.26
C206	<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	10 - 15	0.0586	0.0486	-0.0100	-20.58
C213	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	05 - 10	0.0022	0.0029	0.0007	24.37
C217	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	05 - 10	0.0061	0.0061	0.0000	0.00
C221	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	05 - 10	0.0182	0.0126	-0.0056	-44.05
C222	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	05 - 10	0.0191	0.0179	-0.0012	-6.95

Cód.	Espécie	Classe de diâmetro (cm)	AAR (m ³)	Cubagem rigorosa (m ³)	Resíduo (m ³)	Resíduo %
C223	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	10 - 15	0.0399	0.0401	0.0002	0.62
C224	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	05 - 10	0.0342	0.0372	0.0030	8.03
C238	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	05 - 10	0.0087	0.0105	0.0018	17.52
C239	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	05 - 10	0.0309	0.0299	-0.0010	-3.28
C241	<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.	05 - 10	0.0078	0.0074	-0.0004	-5.84
C251	<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.	05 - 10	0.0180	0.0181	0.0001	0.61
C253	<i>Pseudobombax tomentosum</i> (Mart. & Zucc.) Robyns	05 - 10	0.0163	0.0147	-0.0016	-10.87
C255	<i>Pseudobombax tomentosum</i> (Mart. & Zucc.) Robyns	05 - 10	0.0127	0.0115	-0.0012	-10.44
C258	<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	05 - 10	0.0072	0.0072	0.0000	0.00
C275	<i>Randia</i> sp.	05 - 10	0.0078	-	-	-
C279	<i>Rhamnidium elaeoarpum</i> Reissek	05 - 10	0.0212	0.0256	0.0044	17.15
C281	<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel	05 - 10	0.0374	0.0320	-0.0054	-16.92
C292	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. F. ex S. Moore	05 - 10	0.0153	0.0130	-0.0023	-18.09
C299	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	05 - 10	0.0095	0.0107	0.0012	11.19
C300	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	05 - 10	0.0368	0.0382	0.0014	3.64
C301	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	10 - 15	0.0755	0.0715	-0.0040	-5.56
C304	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schldl.) K. Schum.	05 - 10	0.0047	0.0047	0.0000	0.00
C306	<i>Zanthoxylum riedelianum</i> Engl.	05 - 10	0.0146	0.0142	-0.0004	-2.79
M003	<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speng.	10 - 15	0.0939	0.0861	-0.0077	-8.98
M005	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	05 - 10	0.0054	0.0054	0.0000	0.00
M006	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	05 - 10	0.0178	0.0179	0.0001	0.59
M009	<i>Andira</i> sp.	05 - 10	0.0226	0.0244	0.0018	7.48
M010	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	05 - 10	0.0149	0.0146	-0.0004	-2.51
M013	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	05 - 10	0.0395	0.0447	0.0051	11.51
M016	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	05 - 10	0.0053	0.0054	0.0001	1.95
M018	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	05 - 10	0.0254	0.0267	0.0013	4.81

Cód.	Espécie	Classe de diâmetro (cm)	AAR (m ³)	Cubagem rigorosa (m ³)	Resíduo (m ³)	Resíduo %
M019	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	05 - 10	0.0316	0.0318	0.0001	0.44
M020	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	10 - 15	0.0338	0.0270	-0.0068	-25.28
M021	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	25 - 30	0.3993	0.6561	0.2568	39.14
M023	<i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud.	05 - 10	0.0142	0.0142	0.0000	0.00
M027	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	05 - 10	0.0081	0.0085	0.0003	3.65
M033	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	30 - 35	0.7396	0.8775	0.1379	15.71
M034	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	35 - 40	0.7277	1.3252	0.5975	45.09
M039	<i>Casearia rupestris</i> Eichler	05 - 10	0.0137	0.0144	0.0007	4.84
M041	<i>Casearia rupestris</i> Eichler	05 - 10	0.0253	0.0266	0.0013	4.97
M045	<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg.	05 - 10	0.0116	0.0105	-0.0011	-10.03
M049	<i>Combretum duarteanum</i> Cambess	05 - 10	0.0198	0.0206	0.0009	4.25
M050	<i>Combretum duarteanum</i> Cambess	10 - 15	0.0465	0.0458	-0.0007	-1.54
M052	<i>Cordia glabrata</i> (Mart.) A. DC.	05 - 10	0.0051	0.0051	0.0000	0.00
M054	<i>Cordia glabrata</i> (Mart.) A. DC.	05 - 10	0.0208	0.0215	0.0008	3.48
M061	<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	10 - 15	0.0448	0.0396	-0.0053	-13.31
M062	<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	10 - 15	0.0922	0.1059	0.0137	12.89
M063	<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	20 - 25	0.2006	0.3123	0.1118	35.79
M065	<i>Diospyros hispida</i> A. DC.	05 - 10	0.0103	0.0104	0.0002	1.68
M067	<i>Erythroxylum Daphnites</i> Mart.	05 - 10	0.0093	0.0083	-0.0010	-11.98
M068	<i>Eugenia dysenterica</i> DC.	10 - 15	0.0460	0.0623	0.0163	26.19
M077	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	15 - 20	0.1074	0.1194	0.0120	10.04
M086	<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	05 - 10	0.0217	0.0135	-0.0083	-61.36
M087	<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	05 - 10	0.0207	0.0222	0.0015	6.85
M090	<i>Luehea divaricata</i> Mart.	15 - 20	0.1711	0.1288	-0.0423	-32.88
M092	<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld	10 - 15	0.0822	-	-	-

Cód.	Espécie	Classe de diâmetro (cm)	AAR (m ³)	Cubagem rigorosa (m ³)	Resíduo (m ³)	Resíduo %
M105	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	05 - 10	0.0263	0.0233	-0.0030	-12.82
M107	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	10 - 15	0.0942	0.0886	-0.0056	-6.29
M108	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	15 - 20	0.1542	0.1671	0.0129	7.70
M109	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	25 - 30	0.4233	0.4213	-0.0019	-0.45
M113	<i>Platypodium elegans</i> Vogel	05 - 10	0.0095	0.0095	0.0000	0.00
M114	<i>Platypodium elegans</i> Vogel	10 - 15	0.0905	0.1184	0.0279	23.59
M117	<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	05 - 10	0.0135	0.0126	-0.0009	-7.16
M119	<i>Randia</i> sp.	05 - 10	0.0141	0.0133	-0.0008	-6.18
M123	<i>Rhamnidium elaeoarpum</i> Reissek	05 - 10	0.0155	0.0140	-0.0015	-10.58
M125	<i>Rhamnidium elaeoarpum</i> Reissek	05 - 10	0.0327	0.0229	-0.0098	-42.56
M126	<i>Rhamnidium elaeoarpum</i> Reissek	10 - 15	0.0235	0.0153	-0.0082	-54.04
M127	<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel	05 - 10	0.0064	0.0074	0.0010	14.00
M130	<i>Simarouba versicolor</i> A. St.-Hil.	20 - 25	0.2499	0.2528	0.0029	1.16
M136	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. F. ex S. Moore	05 - 10	0.0047	0.0047	0.0000	0.00
M137	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. F. ex S. Moore	10 - 15	0.0298	0.0289	-0.0009	-3.24
M145	<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	05 - 10	0.0067	0.0071	0.0004	5.94
M146	<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	05 - 10	0.0192	0.0145	-0.0047	-32.39
M147	<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	05 - 10	0.0210	0.0146	-0.0064	-44.11
M148	<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	05 - 10	0.0348	0.0272	-0.0075	-27.65
M152	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	05 - 10	0.0123	0.0147	0.0024	16.19
M153	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	10 - 15	0.0457	0.0539	0.0082	15.25
M156	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K. Schum.	05 - 10	0.0060	0.0060	0.0000	0.00
M157	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K. Schum.	05 - 10	0.0102	0.0102	0.0000	0.00
M158	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K. Schum.	05 - 10	0.0197	0.0209	0.0012	5.75
M159	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K. Schum.	05 - 10	0.0230	0.0196	-0.0034	-17.14

Os maiores resíduos (superiores a 40%) foram observados nas árvores M086, M126, M034, C221, M147 e M125 (Tabela 4.6). Destas, quatro pertencem a primeira classe diamétrica, uma pertence à segunda e uma pertence a terceira classe. O maior resíduo foi observado para a árvore M086 da espécie *Lafoensia pacari*. Contudo, esta árvore pertence à menor classe diamétrica (5 – 10 cm), contrariando a expectativa de que as maiores classes seriam detentoras dos maiores erros residuais. Além disso, as árvores desta espécie não formam copas expressivas, não possuindo, portanto, alta densidade de galhos que pudesse justificar o alto erro.

Uma análise dos maiores resíduos observados entre as seis árvores supracitadas permite afirmar que estes, em alguns casos, estão correlacionados à ocorrência de galhos de diâmetros inexpressivos, suprimidos pelo volume da copa. Nestes casos pode-se afirmar que a expansão do volume dos segmentos originada de galhos inexpressivos, dada pela divisão dos volumes mensurados nestes, pela probabilidade *qri* associadas a cada um, não estima com precisão o volume da copa, e conseqüentemente da árvore como um todo.

Cancino & Saborowski (2007) afirmaram que a AAR proporciona uma estimativa com menor variância quando aplicada em árvores com copas regulares, ao considerarem que os possíveis caminhos tenham igual tamanho. Segundo estes autores, árvores contendo copas irregulares possuem caminhos com diferentes tamanhos, podendo apresentar maior variância da estimativa, em função da grande diferença entre as probabilidades incondicionais da seleção dos ramos entre os caminhos.

A Figura 4.1 ilustra esta situação apresentando árvores mensuradas a partir da AAR, cuja ocorrência de galhos inexpressivos ao longo do fuste influenciou significativamente a estimativa do volume de caminhos incidentes nestes galhos, levando a subestimativas. Outras possíveis fontes de erros também são relacionadas às características da copa, tal como alta densidade de galhos e presença de galhos inexpressivos ocorrentes ao longo do fuste. Estes fatores foram responsáveis por grande parte dos erros associados às estimativas do volume pela AAR.

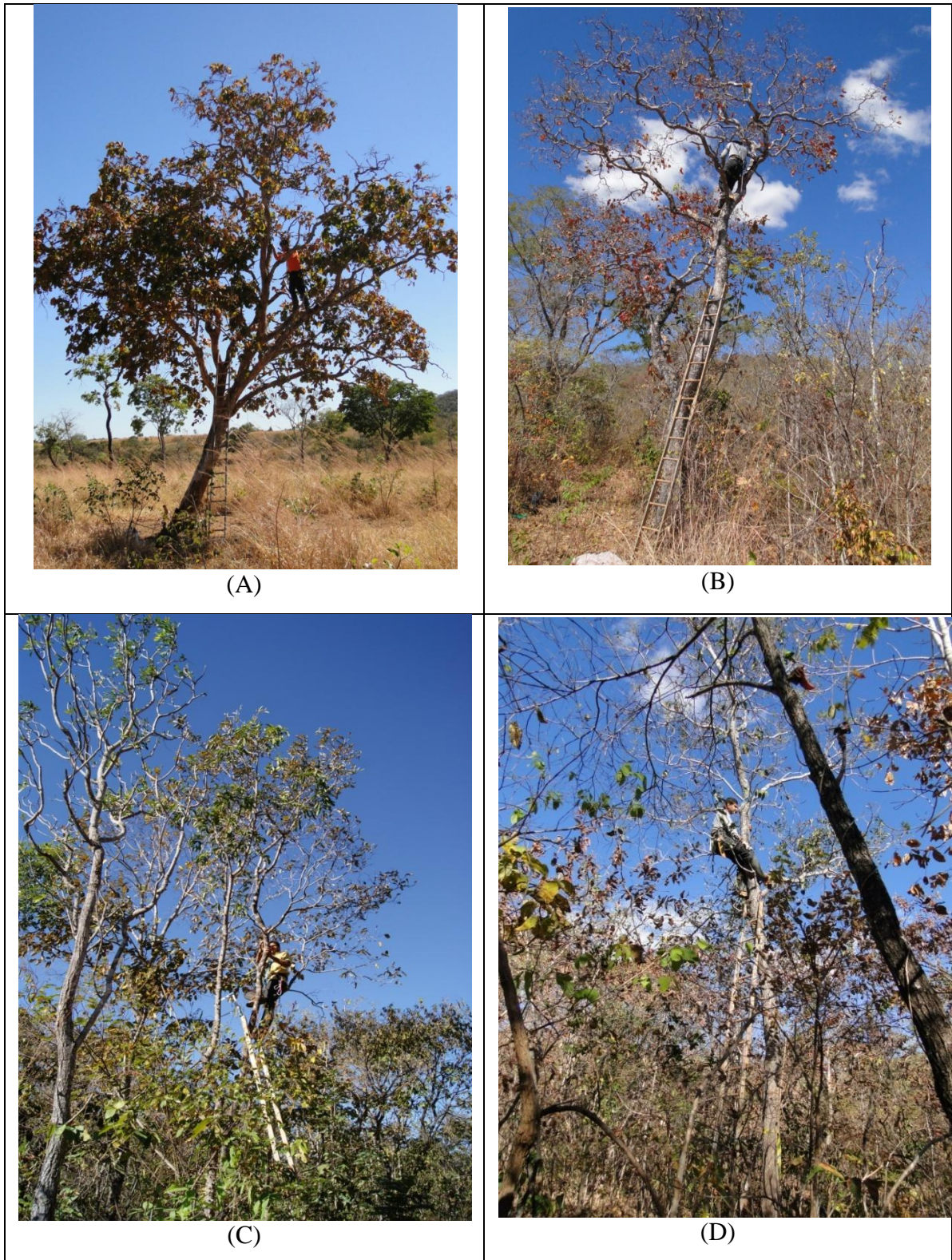


Figura 4.1. (A) Árvore da espécie *Calisthene fasciculata* com copa com alta densidade de galhos; (B) Árvore da espécie *Calisthene fasciculata* cujo resíduo percentual foi abaixo de 20%; (C) Árvore da espécie *Rhaminidium elaeocarpum* portador de copa irregular; (D) Árvore da espécie *Astronium fraxinifolium* cujo alto erro foi associado à presença de galhos inexpressivos ocorrentes ao longo do fuste.

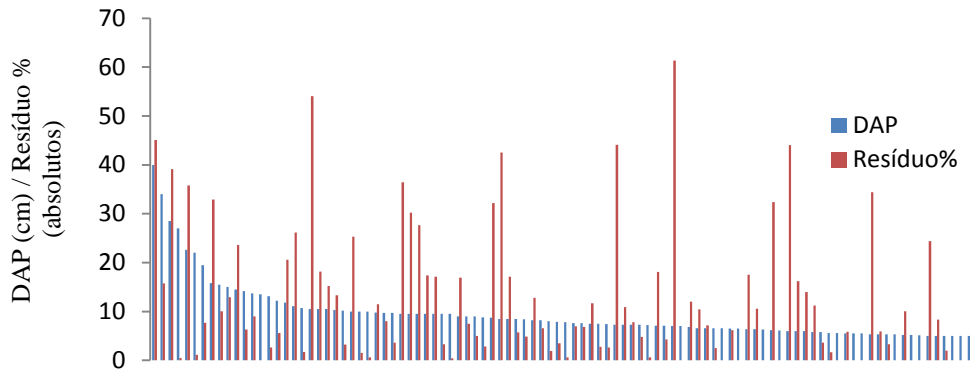
Lôbo (2009) associou altos erros percentuais a espécies formadoras de copas irregulares e/ou de alta densidade de galhos, devido à maior possibilidade de caminhos elegíveis. Entretanto, no presente estudo as espécies detentoras dos maiores resíduos não apresentam estas características, exceto a espécie *Callisthene fasciculata* (Figura 4.1 A), que apresentou copa bastante desenvolvida com alta densidade de galhada, e erro elevado. Entretanto, esta espécie foi a única selecionada na última classe de diâmetro, indicando necessidade de explorar mais a aplicação da AAR em árvores de maior diâmetro e/ou detentoras de copas contendo as características mencionadas.

Os resíduos percentuais provenientes da diferença entre os volumes estimados da AAR e os volumes obtidos pela cubagem rigorosa foram plotados graficamente visando detectar tendências da AAR em apresentar sub ou superestimativas do volume total das árvores testadas (Figura 4.2 e Figura 4.3), principalmente relacionadas à distribuição diamétrica.

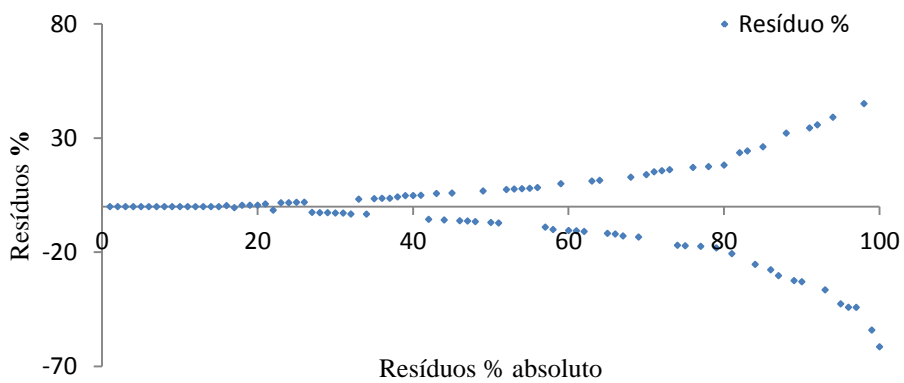
Observa-se na Figura 4.2 (A) que a distribuição dos resíduos não segue a mesma distribuição das frequências dos diâmetros, o que leva a concluir que para os dados estudados, os resíduos não estão associados ao porte das árvores, sendo distribuídos uniformemente ao longo da distribuição diamétrica.

A Figura 4.2(B) apresenta a distribuição dos resíduos ordenados de forma absoluta e crescente. Através desta distribuição, observa-se que os resíduos derivados da aplicação da AAR em termos gerais apresentam a mesma tendência em sub ou superestimar os volumes. Esta distribuição de resíduos permite afirmar que para os dados estudados, a aplicação do método de AAR apresenta tendência e distribuição similar de resíduos, resultantes de estimativas sub ou superestimadas.

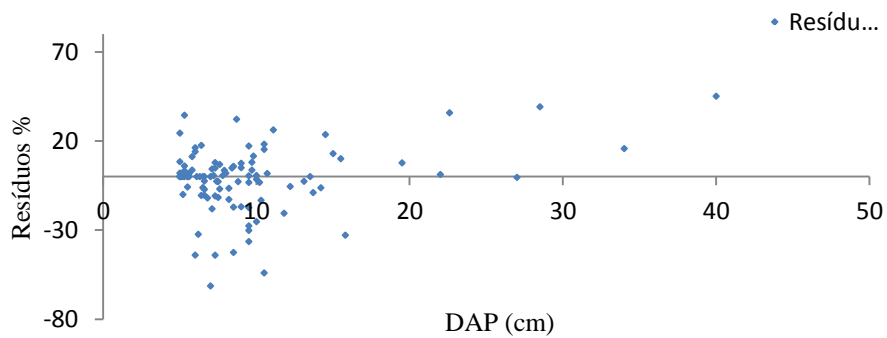
A Figura 4.3 apresenta a distribuição dos resíduos ordenados de forma decrescente sobrepondo-se de forma relacionada ao DAP correspondente, corroborando a afirmativa de que os resultados obtidos pela aplicação da AAR apresentam erros que se distribuem ao longo de todas as classes diamétricas, assim, não estão associados especificamente ao porte das árvores testadas.



(A)



(B)



(C)

Figura 4.2. (A) Distribuição gráfica dos resíduos observados sobreposta à distribuição ordenada de forma crescente dos valores de DAP; (B) Distribuição dos resíduos em ordem crescente considerando os valores residuais percentuais absolutos. (C) Distribuição dos resíduos em função dos valores de DAP

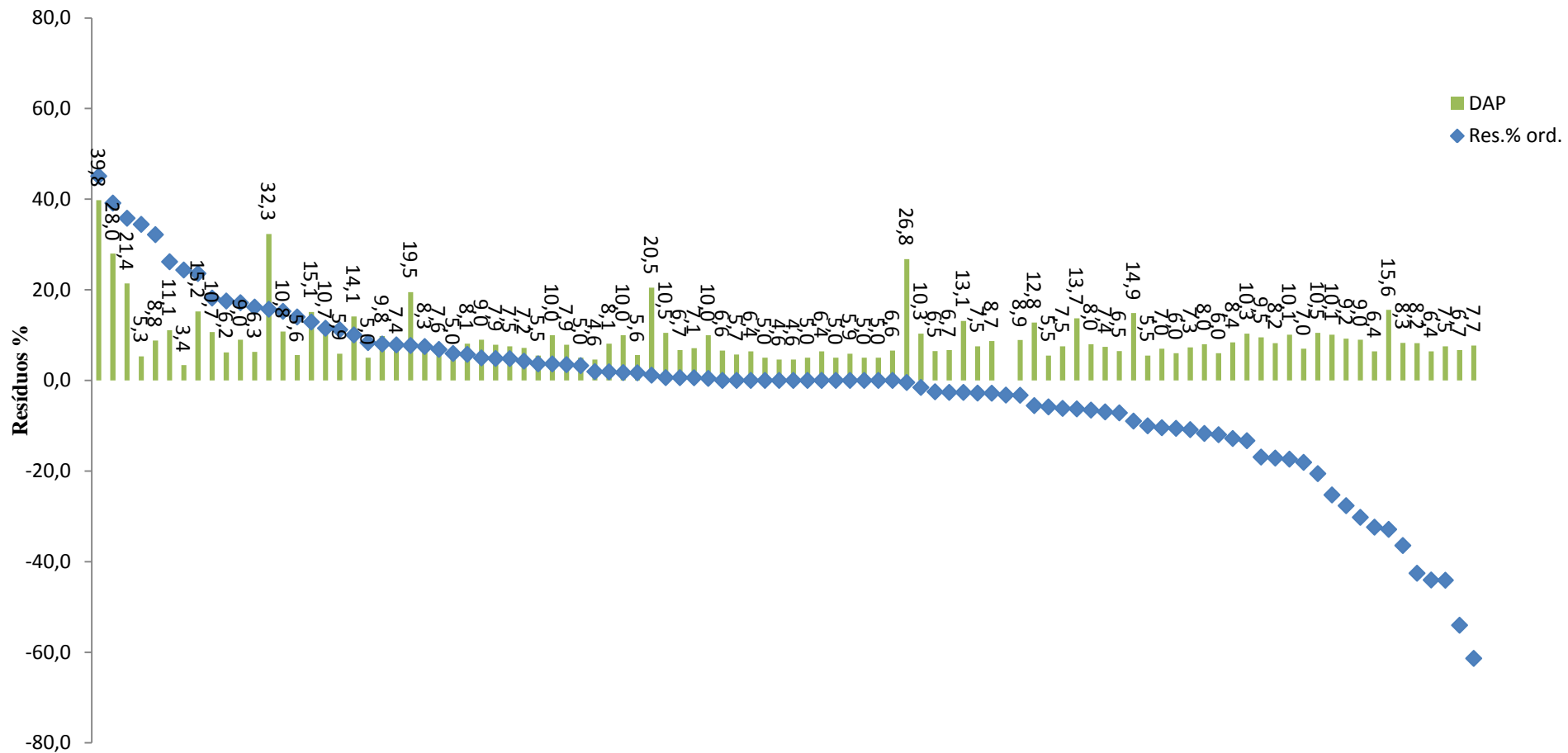


Figura 4.3. Distribuição dos valores de DAP sobreposta à distribuição dos resíduos em ordem decrescente

Analisando globalmente os resultados até então apresentados, pode-se afirmar que a AAR é um método cuja aplicação permite a obtenção de estimativas acuradas da variável volume para um agrupamento de árvores. A validação pelo teste t das estimativas resultantes da aplicação deste método, em comparação aos valores reais obtidos pela cubagem rigorosa das árvores testadas, reforça esta afirmativa.

A ocorrência de resíduos acima de 40% indica a necessidade de maiores estudos, principalmente aqueles que priorizem a aplicação da AAR em uma quantidade maior de árvores de grande porte. Ainda, é recomendado aumentar o fator de inclusão utilizado para que um galho seja ou não elegível ao sorteio, principalmente naqueles galhos inexpressivos que ocorrem ao longo do fuste. Porém, o fator de inclusão utilizado no presente estudo (>3 cm) deve ser mantido ao se considerar os ramos terminais no final de um caminho.

Desta forma, o mais indicado seria delimitar dois fatores de inclusão para que um segmento seja ou não elegível para o sorteio. O primeiro a ser utilizado ao longo do fuste, de forma a excluir os galhos inexpressivos e, o segundo, a ser utilizado considerando os ramos terminais, de forma que não se perca a estimativa de galhos finos com até 3 cm de diâmetro.

4.3. ESTIMATIVA DO ESTOQUE EM BIOMASSA SECA E CARBONO DE ÁRVORES INDIVIDUAIS A PARTIR DA AAR

Os valores totais dos estoques em biomassa seca e carbono individuais de cada árvore, obtidos a partir da aplicação da AAR, variaram de 1,14 kg a 586,18 kg, considerando a biomassa seca e, de 0,57 kg a 293 kg, considerando a quantidade de carbono.

É importante salientar que os erros relativos associados ao processo da aplicação da AAR para obtenção dos estoques de biomassa seca e carbono não diferem daqueles obtidos para a estimativa dos volumes individuais. Isto ocorre pelo fato das estimativas dos estoques de biomassa seca e carbono serem obtidos diretamente dos valores do volume, a partir dos valores da densidade básica por espécie.

A análise dos resíduos percentuais a partir da comparação entre os valores estimados pela AAR e os valores de biomassa seca e carbono obtidos pela cubagem, seguiu o mesmo

comportamento supracitado. Ainda assim, esta análise permitiu evidenciar quais árvores apresentaram os maiores resíduos percentuais relacionados ao estoque de biomassa seca e carbono, o que possibilitou uma análise da variabilidade destas variáveis por espécie, por classe diamétrica e por outros atributos específicos das árvores mensuradas.

Da mesma forma discutida para as estimativas do volume, a análise dos maiores resíduos permite afirmar que estes são relacionados em maioria à ocorrência de galhos de diâmetros inexpressivos e de árvores possuindo copas irregulares. Ainda, a distribuição dos resíduos não segue a mesma distribuição das frequências dos diâmetros, ou seja, os resíduos não estão associados ao porte das árvores e, apresentam igual tendência em sub ou superestimar os valores do estoque de biomassa seca e carbono.

A Tabela 4.7 apresenta os valores dos resíduos percentuais obtidos pela diferença entre os valores do estoque de biomassa seca e carbono estimados pela AAR e os respectivos valores reais obtidos a partir da cubagem rigorosa.

Tabela 4.7. Resíduos percentuais obtidos pela diferença entre os valores de biomassa seca (BS) e carbono (C) estimados pela AAR e os valores reais obtidos a partir da cubagem rigorosa e pesagem de árvores em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO

Nº da árvore:	Espécie:	Classe de diâmetro	Densidade g/cm ³	BS AAR (kg)	C AAR (Kg)	BS Cubagem Rigorosa (kg)	C Cubagem rigorosa (Kg)	BS Resíduos (kg)	BS Resíduos %	C Resíduos (kg)	C Resíduos %
C024	<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart. ex A. DC.	10 - 15	0,61	21,21	10,60	21,58	10,79	0,37	1,73	0,19	1,73
C032	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	05 - 10	0,56	7,08	3,54	7,08	3,54	0,00	0,00	0,00	0,00
C033	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	05 - 10	0,56	5,47	2,74	5,47	2,74	0,00	0,00	0,00	0,00
C034	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	05 - 10	0,56	6,50	3,25	6,50	3,25	0,00	0,00	0,00	0,00
C035	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	05 - 10	0,56	7,79	3,89	7,59	3,79	-0,20	-2,64	-0,10	-2,64
C036	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	05 - 10	0,56	14,54	7,27	10,66	5,33	-3,89	-36,44	-1,94	-36,44
C038	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	10 - 15	0,56	40,72	20,36	39,67	19,83	-1,05	-2,65	-0,53	-2,65
C050	<i>Byrsonima pachyphylla</i> A. Juss.	05 - 10	0,60	11,93	5,96	17,59	8,79	5,66	32,17	2,83	32,17
C060	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	05 - 10	0,79	16,06	8,03	14,38	7,19	-1,68	-11,71	-0,84	-11,71
C062	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	05 - 10	0,79	22,34	11,17	21,73	10,86	-0,61	-2,82	-0,31	-2,82
C063	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	10 - 15	0,79	21,87	10,93	26,72	13,36	4,86	18,18	2,43	18,18
C068	<i>Campomanesia velutina</i> (Cambess.) O. Berg	05 - 10	0,68	14,68	7,34	13,77	6,89	-0,90	-6,56	-0,45	-6,56
C076	<i>Casearia rupestris</i> Eichler	05 - 10	0,63	24,70	12,35	18,96	9,48	-5,73	-30,22	-2,87	-30,22
C097	<i>Cordia glabrata</i> (Mart.) A. DC.	05 - 10	0,62	3,15	1,58	3,44	1,72	0,29	8,34	0,14	8,34
C105	<i>Curatella americana</i> L.	05 - 10	0,74	2,82	1,41	4,29	2,15	1,48	34,44	0,74	34,44
C110	<i>Curatella americana</i> L.	05 - 10	0,74	27,88	13,94	23,75	11,87	-4,13	-17,38	-2,06	-17,38
C183	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	05 - 10	0,74	15,31	7,65	15,60	7,80	0,30	1,90	0,15	1,90
C200	<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	05 - 10	0,86	12,53	6,26	13,59	6,80	1,07	7,84	0,53	7,84
C204	<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	05 - 10	0,75	4,80	2,40	4,96	2,48	0,16	3,26	0,08	3,26
C206	<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	10 - 15	0,75	43,77	21,88	36,30	18,15	-7,47	-20,58	-3,73	-20,58
C213	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	05 - 10	0,52	1,14	0,57	1,51	0,76	0,37	24,37	0,18	24,37
C217	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	05 - 10	0,52	3,22	1,61	3,22	1,61	0,00	0,00	0,00	0,00
C221	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	05 - 10	0,52	9,55	4,78	6,63	3,32	-2,92	-44,05	-1,46	-44,05
C222	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	05 - 10	0,52	10,02	5,01	9,37	4,69	-0,65	-6,95	-0,33	-6,95
C223	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	10 - 15	0,52	20,91	10,46	21,04	10,52	0,13	0,62	0,07	0,62
C224	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	05 - 10	0,52	17,93	8,97	19,50	9,75	1,57	8,03	0,78	8,03
C238	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	05 - 10	0,72	6,25	3,13	7,58	3,79	1,33	17,52	0,66	17,52

Nº da árvore:	Espécie:	Classe de diâmetro	Densidade g/cm ³	BS AAR (kg)	C AAR (Kg)	BS Cubagem Rigorosa (kg)	C Cubagem rigorosa (Kg)	BS Resíduos (kg)	BS Resíduos %	C Resíduos (kg)	C Resíduos %
C239	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	05 - 10	0,72	22,29	11,14	21,58	10,79	-0,71	-3,28	-0,35	-3,28
C241	<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.	05 - 10	0,59	4,63	2,31	4,37	2,19	-0,26	-5,84	-0,13	-5,84
C251	<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.	05 - 10	0,59	10,69	5,35	10,76	5,38	0,07	0,61	0,03	0,61
C253	<i>Pseudobombax tomentosum</i> (Mart. & Zucc.) Robyns	05 - 10	0,41	6,60	3,30	5,96	2,98	-0,65	-10,87	-0,32	-10,87
C255	<i>Pseudobombax tomentosum</i> (Mart. & Zucc.) Robyns	05 - 10	0,41	5,15	2,57	4,66	2,33	-0,49	-10,44	-0,24	-10,44
C258	<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	05 - 10	0,79	5,71	2,85	5,71	2,85	0,00	0,00	0,00	0,00
C275	<i>Randia</i> sp.	05 - 10	0,71	16,38	8,19	16,38	8,19	0,00	0,00	0,00	0,00
C279	<i>Rhamnidium elaeoarpum</i> Reissek	05 - 10	0,77	16,38	8,19	19,77	9,88	3,39	17,15	1,69	17,15
C281	<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel	05 - 10	0,59	22,26	11,13	19,03	9,52	-3,22	-16,92	-1,61	-16,92
C292	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. F. ex S. Moore	05 - 10	0,50	7,61	3,80	6,44	3,22	-1,17	-18,09	-0,58	-18,09
C299	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	05 - 10	0,69	6,54	3,27	7,37	3,68	0,82	11,19	0,41	11,19
C300	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	05 - 10	0,69	25,37	12,69	26,33	13,16	0,96	3,64	0,48	3,64
C301	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	10 - 15	0,69	52,06	26,03	49,32	24,66	-2,74	-5,56	-1,37	-5,56
C304	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K. Schum.	05 - 10	0,59	2,78	1,39	2,78	1,39	0,00	0,00	0,00	0,00
C306	<i>Zanthoxylum riedelianum</i> Engl.	05 - 10	0,60	8,74	4,37	8,51	4,25	-0,24	-2,79	-0,12	-2,79
M003	<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speng.	10 - 15	0,77	72,50	36,25	66,53	33,26	-5,97	-8,98	-2,99	-8,98
M005	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	05 - 10	0,77	4,15	2,07	4,15	2,07	0,00	0,00	0,00	0,00
M006	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	05 - 10	0,77	13,75	6,87	13,83	6,92	0,08	0,59	0,04	0,59
M009	<i>Andira</i> sp.	05 - 10	0,67	15,02	7,51	16,23	8,12	1,21	7,48	0,61	7,48
M010	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	05 - 10	0,44	6,53	3,26	6,37	3,18	-0,16	-2,51	-0,08	-2,51
M013	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	05 - 10	0,66	26,20	13,10	29,60	14,80	3,41	11,51	1,70	11,51
M016	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	05 - 10	0,56	2,99	1,49	3,05	1,52	0,06	1,95	0,03	1,95
M018	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	05 - 10	0,56	14,25	7,12	14,97	7,48	0,72	4,81	0,36	4,81
M019	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	05 - 10	0,56	17,71	8,86	17,79	8,90	0,08	0,44	0,04	0,44
M020	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	10 - 15	0,56	18,91	9,46	15,10	7,55	-3,82	-25,28	-1,91	-25,28
M021	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	25 - 30	0,56	223,63	111,81	367,44	183,72	143,81	39,14	71,91	39,14
M023	<i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud.	05 - 10	0,88	12,53	6,26	12,53	6,26	0,00	0,00	0,00	0,00
M027	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	05 - 10	0,79	6,46	3,23	6,70	3,35	0,24	3,65	0,12	3,65
M033	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	30 - 35	0,79	586,18	293,09	695,44	347,72	109,26	15,71	54,63	15,71
M034	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	35 - 40	0,79	576,73	288,37	1050,26	525,13	473,53	45,09	236,77	45,09

Continuação da Tabela 4.7

Nº da árvore:	Espécie:	Classe de diâmetro	Densidade g/cm ³	BS AAR (kg)	C AAR (Kg)	BS Cubagem Rigorosa (kg)	C Cubagem rigorosa (Kg)	BS Resíduos (kg)	BS Resíduos %	C Resíduos (kg)	C Resíduos %
M039	<i>Casearia rupestris</i> Eichler	05 - 10	0,63	8,62	4,31	9,06	4,53	0,44	4,84	0,22	4,84
M041	<i>Casearia rupestris</i> Eichler	05 - 10	0,63	15,86	7,93	16,69	8,34	0,83	4,97	0,41	4,97
M045	<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg.	05 - 10	0,71	8,18	4,09	7,44	3,72	-0,75	-10,03	-0,37	-10,03
M049	<i>Combretum duarteanum</i> Cambess	05 - 10	0,79	15,67	7,84	16,37	8,19	0,70	4,25	0,35	4,25
M050	<i>Combretum duarteanum</i> Cambess	10 - 15	0,79	36,90	18,45	36,34	18,17	-0,56	-1,54	-0,28	-1,54
M052	<i>Cordia glabrata</i> (Mart.) A. DC.	05 - 10	0,62	3,15	1,58	3,15	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00
M054	<i>Cordia glabrata</i> (Mart.) A. DC.	05 - 10	0,62	12,85	6,42	13,31	6,65	0,46	3,48	0,23	3,48
M061	<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	10 - 15	0,51	22,93	11,47	20,24	10,12	-2,69	-13,31	-1,35	-13,31
M062	<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	10 - 15	0,51	47,19	23,60	54,18	27,09	6,98	12,89	3,49	12,89
M063	<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	20 - 25	0,51	102,60	51,30	159,79	79,90	57,19	35,79	28,59	35,79
M065	<i>Diospyros hispida</i> A. DC.	05 - 10	0,62	6,36	3,18	6,47	3,24	0,11	1,68	0,05	1,68
M067	<i>Erythroxylum daphnites</i> Mart.	05 - 10	0,80	7,42	3,71	6,63	3,31	-0,79	-11,98	-0,40	-11,98
M068	<i>Eugenia dysenterica</i> DC.	10 - 15	0,83	38,17	19,09	51,72	25,86	13,55	26,19	6,77	26,19
M077	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	15 - 20	0,60	64,59	32,29	71,80	35,90	7,21	10,04	3,60	10,04
M086	<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	05 - 10	0,86	18,70	9,35	11,59	5,79	-7,11	-61,36	-3,56	-61,36
M087	<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	05 - 10	0,86	17,78	8,89	19,09	9,55	1,31	6,85	0,65	6,85
M090	<i>Luehea divaricata</i> Mart.	15 - 20	0,56	95,83	47,91	72,11	36,06	-23,71	-32,88	-11,86	-32,88
M092	<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld	10 - 15	0,75	61,39	30,70	61,39	30,70	0,00	0,00	0,00	0,00
M105	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	05 - 10	0,72	18,96	9,48	16,80	8,40	-2,16	-12,82	-1,08	-12,82
M107	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	10 - 15	0,72	67,98	33,99	63,96	31,98	-4,02	-6,29	-2,01	-6,29
M108	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	15 - 20	0,72	111,35	55,68	120,64	60,32	9,29	7,70	4,65	7,70
M109	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	25 - 30	0,72	305,57	152,78	304,19	152,09	-1,38	-0,45	-0,69	-0,45
M113	<i>Platypodium elegans</i> Vogel	05 - 10	0,83	7,88	3,94	7,88	3,94	0,00	0,00	0,00	0,00
M114	<i>Platypodium elegans</i> Vogel	10 - 15	0,83	75,37	37,68	98,64	49,32	23,27	23,59	11,64	23,59
M117	<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	05 - 10	0,79	10,64	5,32	9,93	4,97	-0,71	-7,16	-0,36	-7,16
M119	<i>Randia</i> sp.	05 - 10	0,71	9,99	4,99	9,41	4,70	-0,58	-6,18	-0,29	-6,18
M123	<i>Rhamnidium elaeoarpum</i> Reissek	05 - 10	0,77	11,98	5,99	10,84	5,42	-1,15	-10,58	-0,57	-10,58
M125	<i>Rhamnidium elaeoarpum</i> Reissek	05 - 10	0,77	25,26	12,63	17,72	8,86	-7,54	-42,56	-3,77	-42,56
M126	<i>Rhamnidium elaeoarpum</i> Reissek	10 - 15	0,77	18,16	9,08	11,79	5,89	-6,37	-54,04	-3,18	-54,04
M127	<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel	05 - 10	0,59	3,80	1,90	4,42	2,21	0,62	14,00	0,31	14,00
M130	<i>Simarouba versicolor</i> A. St.-Hil.	20 - 25	0,58	145,23	72,61	146,92	73,46	1,70	1,16	0,85	1,16

Continuação da Tabela 4.7

Nº da árvore:	Espécie:	Classe de diâmetro	Densidade g/cm ³	BS AAR (kg)	C AAR (Kg)	BS Cubagem Rigorosa (kg)	C Cubagem rigorosa (Kg)	BS Resíduos (kg)	BS Resíduos %	C Resíduos (kg)	C Resíduos %
M136	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. F. ex S. Moore	05 - 10	0,50	2,32	1,16	2,32	1,16	0,00	0,00	0,00	0,00
M137	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. F. ex S. Moore	10 - 15	0,50	14,83	7,42	14,37	7,18	-0,47	-3,24	-0,23	-3,24
M145	<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	05 - 10	0,65	4,38	2,19	4,66	2,33	0,28	5,94	0,14	5,94
M146	<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	05 - 10	0,65	12,51	6,25	9,45	4,72	-3,06	-32,39	-1,53	-32,39
M147	<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	05 - 10	0,65	13,73	6,86	9,53	4,76	-4,20	-44,11	-2,10	-44,11
M148	<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	05 - 10	0,65	22,70	11,35	17,78	8,89	-4,92	-27,65	-2,46	-27,65
M152	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	05 - 10	0,69	8,48	4,24	10,12	5,06	1,64	16,19	0,82	16,19
M153	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	10 - 15	0,69	31,53	15,77	37,20	18,60	5,67	15,25	2,84	15,25
M156	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K. Schum.	05 - 10	0,59	3,55	1,78	3,55	1,78	0,00	0,00	0,00	0,00
M157	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K. Schum.	05 - 10	0,59	6,04	3,02	6,04	3,02	0,00	0,00	0,00	0,00
M158	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K. Schum.	05 - 10	0,59	11,69	5,84	12,40	6,20	0,71	5,75	0,36	5,75
M159	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K. Schum.	05 - 10	0,59	13,63	6,81	11,63	5,82	-1,99	-17,14	-1,00	-17,14

4.3.1. Validação da AAR para estimar os estoques em biomassa seca e carbono

Os resultados do teste t utilizado para validar a precisão da AAR para estimar os estoques em biomassa seca e carbono de árvores individuais em uma floresta estacional decidual são apresentados nas tabelas 4.8 e 4.9, respectivamente.

Observa-se nas citadas que não foram detectadas diferenças significativas ao nível de 5% de significância entre os valores estimados dos estoques em biomassa seca e carbono, respectivamente, obtidos a partir da AAR e os valores reais destas variáveis obtidos a partir da pesagem dos componentes fuste e galhos.

Tabela 4.8. Resultado do teste t utilizado na validação da AAR aplicada para estimar o estoque de biomassa seca (kg) de árvores individuais em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO.

Estatísticas para o estoque de biomassa seca	Métodos de obtenção do estoque de biomassa seca	
	AAR	Pesagem
Nº de indivíduos	98	98
Biomassa seca (kg)	37,4373	45,24
t calculado =	1,5023 ns	---
Graus de Liberdade	97	---
(p) unilateral =	0,0681	---
(p) bilateral =	0,1362	---

Tabela 4.9 Resultado do teste t utilizado na validação da AAR aplicada para estimar o estoque de carbono (kg) de árvores individuais em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO.

Estatísticas para o estoque de carbono	Métodos de obtenção do estoque de carbono	
	AAR	Pesagem
Nº de indivíduos	98	98
Estoque de carbono (kg)	18,72	22,62
t calculado=	1,5023 ns	---
Graus de Liberdade	97	---
(p) unilateral =	0,0681	---
(p) bilateral =	0,1362	---

4.4. AJUSTE DE MODELOS VOLUMÉTRICOS

4.4.1. Ajuste de modelos volumétricos para estimar o volume total de árvores individuais

Na Tabela 4.10 são apresentados os resultados dos ajustes dos modelos volumétricos para a variável volume total (fuste e galhos grossos) obtida a partir da AAR. Todos os modelos testados foram significativos ($p < 0,05$).

Observa-se na Tabela 4.10 que todos os modelos ajustados apresentaram valores de coeficiente de determinação superiores a 95%. Esses valores representam a eficiência dos modelos testados, determinando o percentual da variação total contido na variável dependente (volume) explicado pelas variáveis independentes. Os modelo 8 (Meyer) e 9 (Shumacher & Hall) apresentaram melhores medidas de precisão, seguidos pelos modelos 7 e 13. Cabe salientar que todos os parâmetros calculados para estes modelos foram significativos.

Os valores residuais para a variável volume total estão compreendidos entre o intervalo de 18,1 a 43,29%. Os modelos 1, 3, 4 e 11 além de apresentarem maiores erros, apresentaram estimativas negativas para o volume. Dessa forma se mostraram notoriamente imprecisos considerando a base de dados do presente estudo e foram excluídos da seleção.

A avaliação comparativa dos ajustes dos 6 modelos restantes com base na análise conjunta das medidas de precisão (R^2 , S_{yx} e distribuição gráfica dos resíduos) evidenciou melhores medidas de precisão para as equações 5, 6, 7, 8, 9 e 13. Todas estas equações apresentaram medidas de precisão bem similares.

Tabela 4.10. Estimativas dos parâmetros dos modelos de regressão e medidas de precisão de equações de volume total ajustadas para árvores com $DAP \geq 5$ cm de uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, Goiás, a partir dos dados obtidos pelo método da AAR

Autor	Modelo	Coeficientes						R ² %	Syx	Syx (%)
		b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅			
1 - Kopezky-Gehrdat	$Y = B_0 + \beta_1 DAP^2 + \varepsilon$	-0.01150	0.00052					96.8	0.0235	40.15
2 - Spur:	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H + \varepsilon$	0.002234	0.00005					98,8	0.0144	24.56
3 - Dissecu-Meyer	$Y = \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$	0	0.00038	0.00051				95.5	0.0253	43.29
4 - Hohenadl-Krenm	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$	-0.02159	0.00112	0.00052				97.0	0.0226	38.61
5 - Stoate:	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 H + \varepsilon$	0.00981	-0.00034	0.00008	0.00031			99.1	0.0121	20.76
6 - Naslund:	$Y = \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 DAPH^2 + \beta_4 H + \varepsilon$	0	-0.00013	0.00002	0.00005	-0.00011		97,9	0.0125	21.3
7 - Naslund modificado:	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 DAPH^2 + \beta_4 H + \varepsilon$	0.01508	-0.00023	0.00006	0.00004	0.00015		99,2	0.0114	19.42
8 - Meyer:	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \beta_3 DAPH + \beta_4 DAP^2 H + \beta_5 H + \varepsilon$	-0,0305	0,0113	-0,0008	-0,0007	0,0001	0,0004	99,3	0,011	18,1
9 - Shumacher & Hall:	$Y = \beta_0 DAP^{\beta_1} H t^{\beta_2} + \varepsilon$	0,000022	1.81758	1.57620				99,4	0.0117	19.92
10 - Spurr (log.):	$Y = \beta_0 (DAP^2 H t)^{\beta_1} + \varepsilon$	-9.67488	0.96994					99,0	0.0143	24.50
11 - Berkholt:	$Y = B_0 DAP^{\beta_1} + \varepsilon$	0.000332	2.12187					97,1	0.0249	42.57
12 - Ogaya:	$Y = DAP^2 (\beta_0 + \beta_1 H) + \varepsilon$	-0.00010	0.00006					99,1	0.0141	24.13
13 - Honner:	$Y = \frac{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{H}\right) + \varepsilon}{DAP^2}$	-1051.23	32637.17					99,2	0.0129	22.03
	$Y = \frac{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{H}\right) + \varepsilon}{DAP^2}$	18210.87	86.42657					99,1	0.0138	23.63

A Figura 4.4 apresenta o resultado da análise gráfica dos resíduos dos seis modelos que apresentaram as melhores medidas de precisão: Stoate, Naslund, Naslund modificado, Meyer, Schumacher & Hall e Honner. Verifica-se a partir desta figura, que todos os modelos mostram tendências tanto para a superestimação quanto para subestimação do volume total cujos valores mais discrepantes (*outliers*) estão posicionados nas árvores de maior porte.

Rezende *et al.* (2006) ajustaram vários modelos de regressão para estimar volume de madeira de árvores de um cerrado sentido restrito. Os autores verificaram presença de vários *outliers* nos vários ajustes que seriam provavelmente decorrentes de erros sistemáticos ou da grande diversidade de formas de fustes e copas dos indivíduos arbóreos, característica típica da vegetação do cerrado sentido restrito tanto entre espécies quanto entre árvores de uma mesma espécie.

Segundo Cunha *et al.* (2002), *outliers* podem ocorrer devido à diversidade biológica dos fatores de crescimento e competição ou devido a erros de medição, sendo que ambos os fatores são comuns em levantamentos florestais tornando difícil a discriminação dos erros de medição, uma vez que alguns tipos de *outliers* são inerentes à população.

De acordo com Drapper & Smith (1981), a rejeição sistemática de *outliers* não é um procedimento correto e a decisão de rejeição de *outliers* deve envolver uma análise desses valores extremos, que, dependendo das circunstâncias, podem ser portadores de informações vitais dos indivíduos de uma população.

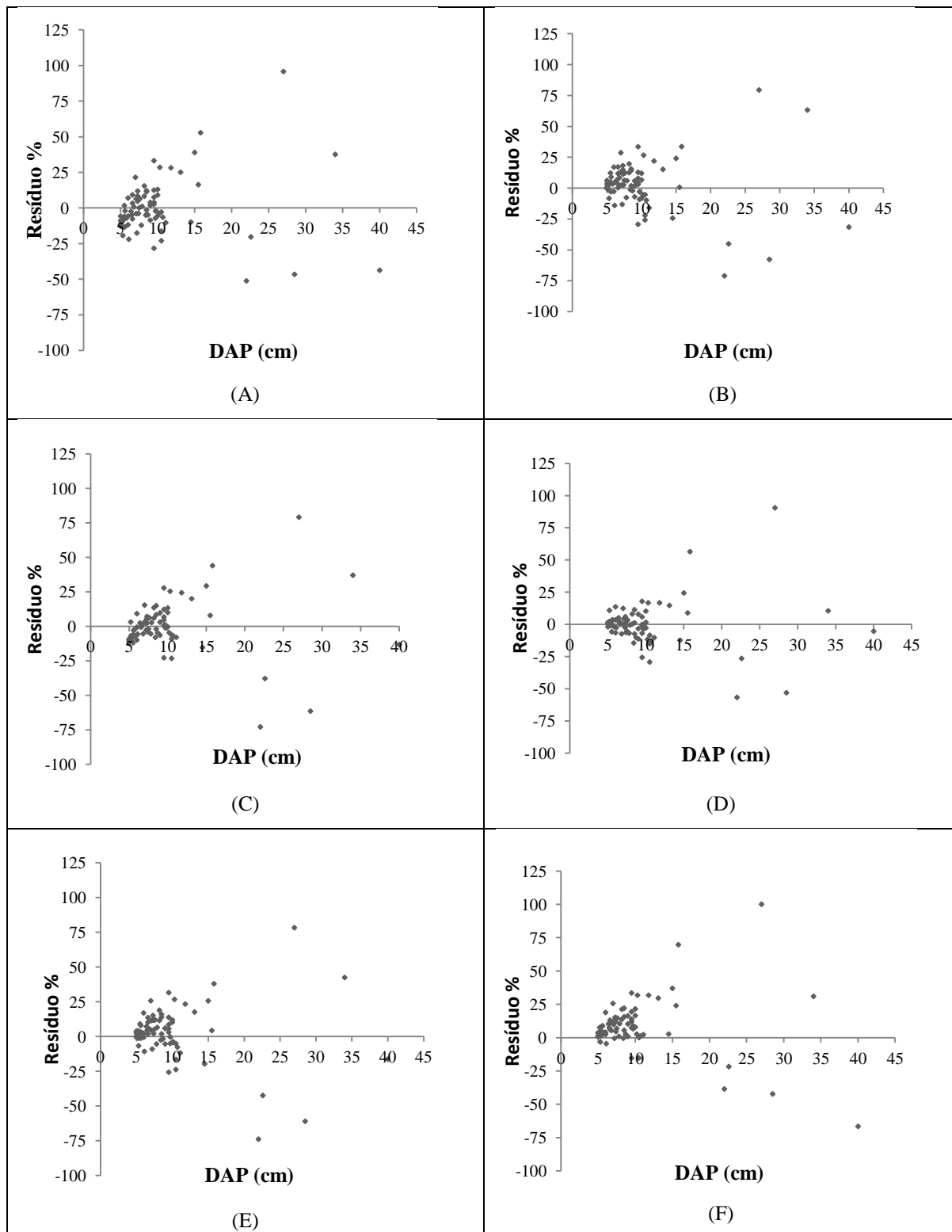


Figura 4.4. Distribuição gráfica dos resíduos percentuais do volume total de árvores individuais, gerada para os diferentes modelos ajustados: Stoate (A), Naslund (B), Naslund modificado (C), Meyer (D), Schumacher & Hall (E), e Honner (F), para uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos – GO, a partir dos dados de volume obtidos pelo método da AAR

Analisando as distribuições residuais apresentadas na Figura 4.4, observa-se grande semelhança na distribuição gráfica dos resíduos produzida pelos diferentes modelos ajustados, que foram inicialmente selecionados por serem mais precisos, com base nos valores do erro padrão Syx (%) apresentados.

No entanto, os modelos 8 (Meyer) e 9 (Shumacher & Hall) apresentaram as melhores distribuições de resíduos, assim como as melhores medidas de precisão. Apesar da grande semelhança nos resultados entre estes dois modelos, o modelo de Shumacher & Hall foi escolhido, uma vez que se trata do modelo mais simples, contendo duas variáveis independentes, característica desejável ao ajuste de modelos. Ainda, segundo Campos & Leite (2006), o modelo de Shumacher & Hall é o mais difundido para o ajuste de modelos volumétricos, uma vez que suas propriedades estatísticas são dotadas de um fator biológico que favorece a apresentação de estimativas não tendenciosas.

Não obstante, a análise da distribuição dos resíduos também confirma a superioridade do modelo 9 (Shumacher & Hall) em apresentar estimativas mais precisas, dada sua distribuição uniforme, além do bom ajuste para as árvores pertencentes às classes superiores de diâmetro (Tabela 4.13).

Os resultados da aplicação do teste t para dados pareados, objetivando a validação das estimativas produzidas pelo modelo 09 (Schumacher e Hall), não evidenciaram diferença estatística significativa entre os valores reais e os estimados. Desta forma, a equação ajustada a partir deste modelo apresentou o melhor desempenho entre as demais equações ajustadas, sendo equação selecionada para estimar o volume total em indivíduos nativos da floresta estacional decidual, por apresentar o melhor ajuste, assumindo a seguinte forma:

$$VT = 0,000023 \times DAP^{1,818} \times H^{1,576} \quad (4.1)$$

em que:

VT = volume total (m³);

DAP = diâmetro à altura do peito (cm);

H = altura total (m).

A aplicação do teste da análise de modelos evidenciou que, o ajuste das equações para os dados provenientes dos dois métodos possuem a mesma tendência, ou seja, os dados de

volume total obtidos pelo método AAR são iguais aos dados obtidos pela cubagem rigorosa. Este resultado indica que os métodos não diferem na obtenção de volume total. Isto foi comprovado pela Anova, onde a redução foi não significativa, ou seja, pode-se usar uma única equação de volume total para os dois métodos, também, pelos valores dos parâmetros estimados. Observe que os valores de β_0 , β_1 e β_2 são semelhantes. Os resultados deste teste são apresentados na

Tabela 4.11 e na Tabela 4.12

Tabela 4.11. Resultados do teste de identidade de modelos, obtidos para a variável volume total

MODELO REDUZIDO: UMA EQUAÇÃO PARA OS DOIS MÉTODOS						
N=196	Resumo dos Resultados da Regressão para Variáveis Dependentes: Ln(Vtotal) R= 0,98056; R ² = 0,96150; R ² Ajustado= 0,96111; F(2, 193) = 2410,2 p<0,0000; Erro padrão da estimativa: 0,22438					
	Beta	EPR do Beta	B	Erro Padrão de B	t (193)	p-valor
B0			-9,59922	0,09680	-99,16090	0,00000
LnDAP	0,86566	0,02086	2,26249	0,05451	41,50640	0,00000
LnHt	0,14907	0,02086	0,54036	0,07560	7,14780	0,00000
MODELO COMPLETO: UMA EQUAÇÃO PARA CADA MÉTODO						
N=98	MÉTODO 1 Resumo dos Resultados da Regressão para Variáveis Dependentes: Ln(Vtotal) R= 0,97673; R ² = 0,95400; R ² Ajustado= 0,95304; F(2, 95)= 985,2 p<0,0000; Erro padrão da estimativa: 0,24279					
	Beta	EPR do Beta	B	Erro Padrão de B	t (95)	p-valor
B0			-9,48449	0,14813	-64,02630	0,00000
LnDAP	0,85771	0,03249	2,20177	0,08341	26,39610	0,00000
LnHt	0,15415	0,03249	0,54881	0,11569	4,74400	0,00007
N=98	MÉTODO 2 Resumo dos Resultados da Regressão para Variáveis Dependentes: Ln(Vtotal) R= 0,98458; R ² = 0,96939; R ² Ajustado= 0,96875; F(2, 95)= 1504,4 p<0,0000; Erro padrão da estimativa: 0,20518					
	Beta	EPR do Beta	B	Erro Padrão de B	t (95)	p-valor
B0			-9,71394	0,12519	-77,59500	0,00000
LnDAP	0,87360	0,02651	2,32321	0,07049	32,95730	0,00000
LnHt	0,14422	0,02651	0,53192	0,09777	5,44080	0,00000

Tabela 4.12. Análise de Variância para o teste de identidade de modelos para a variável volume total

FV	GL	SQ	QM	F	
Par (Ω)	6	3011,53			
Par (w)	3	3011,42			
R (H0)	3	0,11752	0,03917	0,78	Não significativo
Resíduo	190	9,59900	0,05052		Conclusão: Utilizar uma única equação
Total	196	3021,132			

Em que:

Ω : Parâmetro do modelo completo

W: Parâmetro do modelo reduzido

R: Redução

4.4.2 Ajuste de modelos volumétricos para estimar o volume do fuste

Os modelos ajustados para a variável volume do fuste (Tabela 4.13) apresentaram altos valores para o coeficiente de determinação (91,4 a 98,7%), o que mostra que as variáveis independentes envolvidas nos modelos ajustados conseguem explicar bem o volume do fuste. Contudo, observa-se na Tabela 4.13 que os valores obtidos para o erro padrão da estimativa foram altos (23 a 57,4%), o que, conseqüentemente, está associado à menor precisão das estimativas, principalmente de alguns modelos. Segundo Scolforo (2005), o erro padrão da estimativa mede a dispersão média entre os valores observados e os estimados ao longo da linha de regressão, sendo que os menores valores indicam melhores ajustes.

Como podem ser observados nas Tabela 4.13, os valores de erro padrão da estimativa registrados para a variável volume do fuste foram semelhante aqueles observados para a variável volume total, embora alguns modelos tenham apresentado erros bem maiores.

Tabela 4.13. Estimativas dos parâmetros dos modelos de regressão e medidas de precisão de equações de volume do fuste ajustadas para árvores com $DAP \geq 5$ cm, a partir dos dados de volume obtidos pelo método da AAR, de uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, Goiás.

Autor	Modelo	Coeficientes						R ² (%)	Syx	Syx (%)
		b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅			
1 - Kopezky-Gehrdat	$Y = B_0 + \beta_1 DAP^2 + \varepsilon$	-0.0008	0.00028					91.4	0.021	57.4
2 - Spurr:	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H + \varepsilon$	0.0063	0.0000					92.0	0.016	44.3
3 - Dissecu-Meyer	$Y = \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$	0.0000	0.0003	0.0003				91.8	0.021	57.0
4 - Hohenadl-Krenm	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$	-0.0084	0.0008	0.0003				94.9	0.021	56.0
5 - Stoate:	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 H + \varepsilon$	0.0005	-0.0004	0.0001	0.0030			97.3	0.012	32.3
6 - Naslund:	$Y = \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 DAPH^2 + \beta_4 H + \varepsilon$	0.000000	-0.000133	0.000021	0.000024	-0.000023		97.1	0.010	28.0
7 - Naslund modificado:	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 DAPH^2 + \beta_4 H + \varepsilon$	0.0160	-0.0002	0.0000	0.0001	-0.0006		98.6	0.009	27.6
8 - Meyer:	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \beta_3 DAPH + \beta_4 DAP^2 H + \beta_5 H + \varepsilon$	0.0005	0.0055	-0.0007	0.0002	0.0001	-0.0039	98.6	0.008	23.0
9 - Shumacher & Hall:	$Y = \beta_0 DAP^{\beta_1} H t^{\beta_2} + \varepsilon$	0.0000	1.3600	2.3244				98.7	0.009	25.7
10 - Spurr (log.):	$Y = \beta_0 (DAP^2 H t)^{\beta_1} + \varepsilon$	-9.1899	-0.8540					96.6	0.015	40.8
11 - Berkholt:	$Y = B_0 DAP^{\beta_1} + \varepsilon$	0.0004	1.8951					93.5	0.021	57.0
12 - Ogaya:	$Y = DAP^2 (\beta_0 + \beta_1 H) + \varepsilon$	-0.0001	0.0000					95.6	0.017	46.9
13 - Honner:	$Y = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{H}\right) + \varepsilon}$	-3618	78095					96.2	0.016	43.6
14 - Takata:	$Y = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{H}\right) + \varepsilon}$	20037	557					97.3	0.013	36.6

Comparando os 14 modelos ajustados observa-se que, tal como para o volume total, os modelos 8 (Meyer) e 9 (Shumacher & Hall) apresentaram melhores medidas de precisão (R^2 e Syx), seguido pelos modelos 7 e 6. Os modelos 1, 3, 4 e 11 apresentaram os maiores erros (Tabela 4.13) e, desta forma, foram eliminados das análises subsequentes. Dentre os 10 modelos restantes, seis apresentaram melhores medidas de precisão. A distribuição dos resíduos dos seis modelos selecionados é apresentada na Figura 4.5. Observa-se grande similaridade entre a distribuição dos resíduos dos diferentes modelos e valores residuais mais discrepantes (*outliers*) para árvores de maiores diâmetros.

Considerando as três medidas de precisão analisadas (R^2 , Syx e distribuição dos resíduos), os modelos 08 (Meyer) e 9 (Shumacher & Hall) apresentaram resultados praticamente iguais, evidenciando que ambos os modelos ajustados apresentaram equações cujas estimativas apresentam boa precisão. Entretanto, por apresentar maior simplicidade estrutural (duas variáveis independentes contra cinco do modelo de Meyer) e pelo caráter biológico do modelo amplamente discutido na literatura, decidiu-se pela escolha do modelo Shumacher & Hall para estimar o volume do fuste das árvores com $DAP \geq 5$ cm da floresta estacional decidual. O modelo ajustado é dado por:

$$VF = 0,000010 \times DAP^{1,360} \times H^{2,324} \quad (4.2)$$

em que:

VF = volume do fuste (m^3);

DAP = diâmetro do fuste tomado à altura do peito (cm);

H = altura total (m).

A aplicação do teste da análise de modelos evidenciou que, o ajuste das equações para os dados provenientes dos dois métodos possuem a mesma tendência, ou seja, os dados de volume do fuste obtidos pelo método AAR são iguais aos dados obtidos pela cubagem rigorosa. Este resultado indica que os métodos não diferem na obtenção de volume do fuste. Isto foi comprovado pela Anova, onde a redução foi não significativa, ou seja, pode-se usar uma única equação de volume do fuste para os dois métodos, e também, pelos valores dos parâmetros estimados. Observe que os valores de β_0 , β_1 e β_2 são semelhantes. Os resultados são apresentados a partir da Tabela 4.14 e Tabela 4.15.

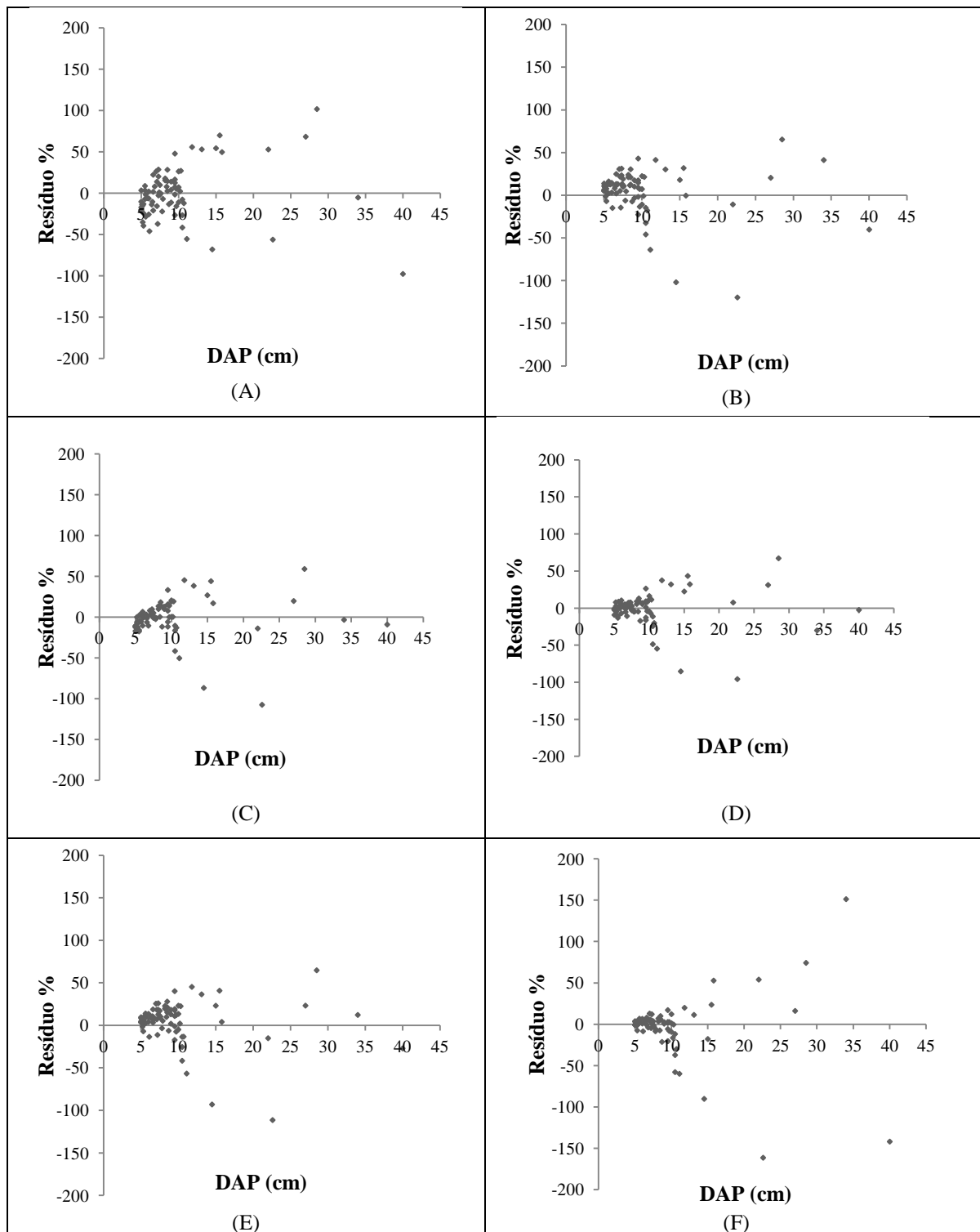


Figura 4.5. Distribuição gráfica dos resíduos relativos do volume do fuste de árvores individuais, a partir dos dados de volume obtidos pelo método da AAR, gerada para os diferentes modelos ajustados: Stoate (A), Naslund (B) Naslund modificado (C), Meyer (D), Schumacher & Hall (E) e Takata (F) para uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos – GO.

Tabela 4.14. Resultados do teste de identidade de modelos, obtidos para a variável volume do fuste.

MODELO REDUZIDO: UMA EQUAÇÃO PARA OS DOIS MÉTODOS						
N=196	Resumo dos Resultados da Regressão para Variáveis Dependentes: Ln(Vfuste) R= 0,96597; R ² = 0,933102; R ² Ajustado= 0,93241; F(2, 193) = 1346,0 p<0,0000; Erro padrão da estimativa: 0,25763					
	Beta	EPR do Beta	B	Erro Padrão de B	t (193)	p-valor
B0			-9,23196	0,11115	-83,0562	0,00000
LnDAP	0,77059	0,027494	1,75425	0,06259	28,0280	0,00000
LnHt	0,24588	0,027494	0,77631	0,08681	8,9432	0,00000
MODELO COMPLETO: UMA EQUAÇÃO PARA CADA MÉTODO						
N=98	MÉTODO 1					
	Resumo dos Resultados da Regressão para Variáveis Dependentes: Ln(Vfuste) R= 0,96731; R ² = 0,93569; R ² Ajustado= 0,93434; F(2, 95)= 691,2 p<0,0000; Erro padrão da estimativa: 0,25574					
	Beta	EPR do Beta	B	Erro Padrão de B	t (95)	p-valor
B0			-9,22865	0,15604	-59,1427	0,00000
LnDAP	0,78034	0,038421	1,78454	0,08786	20,3101	0,00000
LnHt	0,23603	0,038421	0,74862	0,12186	6,1433	0,00000
N=98	MÉTODO 2					
	Resumo dos Resultados da Regressão para Variáveis Dependentes: Ln(Vfuste) R= 0,96498; R ² = 0,93119; R ² Ajustado= 0,92974; F(2, 95)= 642,8 p<0,0000; Erro padrão da estimativa: 0,26206					
	Beta	EPR do Beta	B	Erro Padrão de B	t (95)	p-valor
B0			-9,72353	0,15989	-57,7589	0,00000
LnDAP	0,76099	0,03974	1,72395	0,09003	19,1477	0,00000
LnHt	0,25590	0,03974	0,80401	0,12487	6,4389	0,00000

Tabela 4.15. Análise de Variância para o teste de identidade de modelos para a variável volume do fuste

FV	GL	SQ	QM	F	
Par (Ω)	6	3384,47			
Par (w)	3	3384,40			
R (H0)	3	0,0729	0,024327	0,36	Não significativo
Resíduo	190	12,7374	0,067039		Conclusão: Utilizar uma única equação
Total	196	3397,21			

Em que:

Ω : Parâmetro do modelo completo

W: Parâmetro do modelo reduzido

R: Redução

4.4.2. Ajuste de modelos volumétricos para estimar o volume da copa

Para o volume da copa, os modelos ajustados apresentaram valores de coeficiente de determinação superiores a 90%, porém os valores referentes ao erro padrão da estimativa foram bem maiores que os registrados para as estimativas do volume total e do volume do fuste. Os valores do erro padrão da estimativa foram superiores a 50%, variando de 50,2 a 65,9% (Tabela 4.16). Estes erros estão possivelmente associados às irregularidades das copas das árvores amostradas.

Durante a aplicação da técnica de AAR verificou-se casos específicos em que houve a inclusão de galhos não representativos do restante da copa na amostragem, os quais mesmo sendo elegíveis por apresentarem diâmetro de inclusão superior a 3 cm, estavam situados ao longo do fuste antes do surgimento das ramificações maiores que dão origem à copa. Em alguns casos estes galhos foram sorteados e a inclusão destes no cálculo do volume estimado influenciou drasticamente na estimativa do volume da galhada, tendendo a subestimativa dos valores reais.

A análise gráfica dos resíduos apresentada na Figura 4.6, considerando apenas os seis modelos que se apresentaram mais precisos (Stoate, Naslund, Naslund modificado, Meyer, Schumacher-Hall e Takata) com base nos valores de R^2 e S_{yx} (Tabela 4.16), mostra tendências para a superestimação do volume da copa das árvores pertencentes as menores classes de diâmetro e a subestimação das árvores pertencentes as maiores classes.

Tabela 4.16. Estimativas dos parâmetros dos modelos de regressão e medidas de precisão de equações de volume da copa ajustadas para árvores com $DAP \geq 5$ cm, a partir dos dados de volume obtidos pelo método da AAR, de uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, Goiás.

Autor	Modelo	Coeficientes					R ² (%)	Syx	Syx (%)	
		b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄				b ₅
1 - Kopecky-Gehrdat	$Y = B_0 + \beta_1 DAP^2 + \varepsilon$	-0.0107	0.00024					95.7	0.013	57.7
2 - Spur:	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H + \varepsilon$	-0.0041	0.0000					93.8	0.012	56.7
3 - Dissecu-Meyer	$Y = \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$	0.0000	-0.0006	0.0002				95.8	0.014	65.9
4 - Hohenadl-Krenm	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$	-0.0132	0.0003	0.0002				95.9	0.013	57.5
5 - Stoate:	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 H + \varepsilon$	0.0093	0.0001	0.0000	-0.0027			96.4	0.012	53.1
6 - Naslund:	$Y = \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 DAPH^2 + \beta_4 H + \varepsilon$	0.00000	-0.00002	0.00003	-0.00003	0.00009		95.8	0.011	50.2
7 - Naslund modificado:	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + DAPH^2 + \beta_4 H + \varepsilon$	-0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001		96.7	0.011	50.5
8 - Meyer:	$Y = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \beta_3 DAPH + \beta_4 DAP^2 H + \beta_5 H + \varepsilon$	-0,0310	0,0058	-0,0001	-0,0009	0,0000		96,8	0,011	50,4
9 - Shumacher & Hall:	$Y = \beta_0 DAP^{\beta_1} H t^{\beta_2} + \varepsilon$	0.000008	2.4416	0.7423				97.2	0.011	50.1
10 - Spurr (log.):	$Y = \beta_0 (DAP^2 H t)^{\beta_1} + \varepsilon$	-12.6016	1.1967					97.1	0.011	61.5
11 - Berkholt:	$Y = B_0 DAP^{\beta_1} + \varepsilon$	0.0000	2.5158					96.8	0.012	53.8
12 - Ogaya:	$Y = DAP^2(\beta_0 + \beta_1 H) + \varepsilon$	0.0000	0.0000					96.1	0.013	59.4
13 - Honner:	$Y = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{H}\right)} + \varepsilon$	-447	52066					96.1	0.013	59.6
14 - Takata:	$Y = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{H}\right)} + \varepsilon$	73307	-771					97.2	0.011	50.2

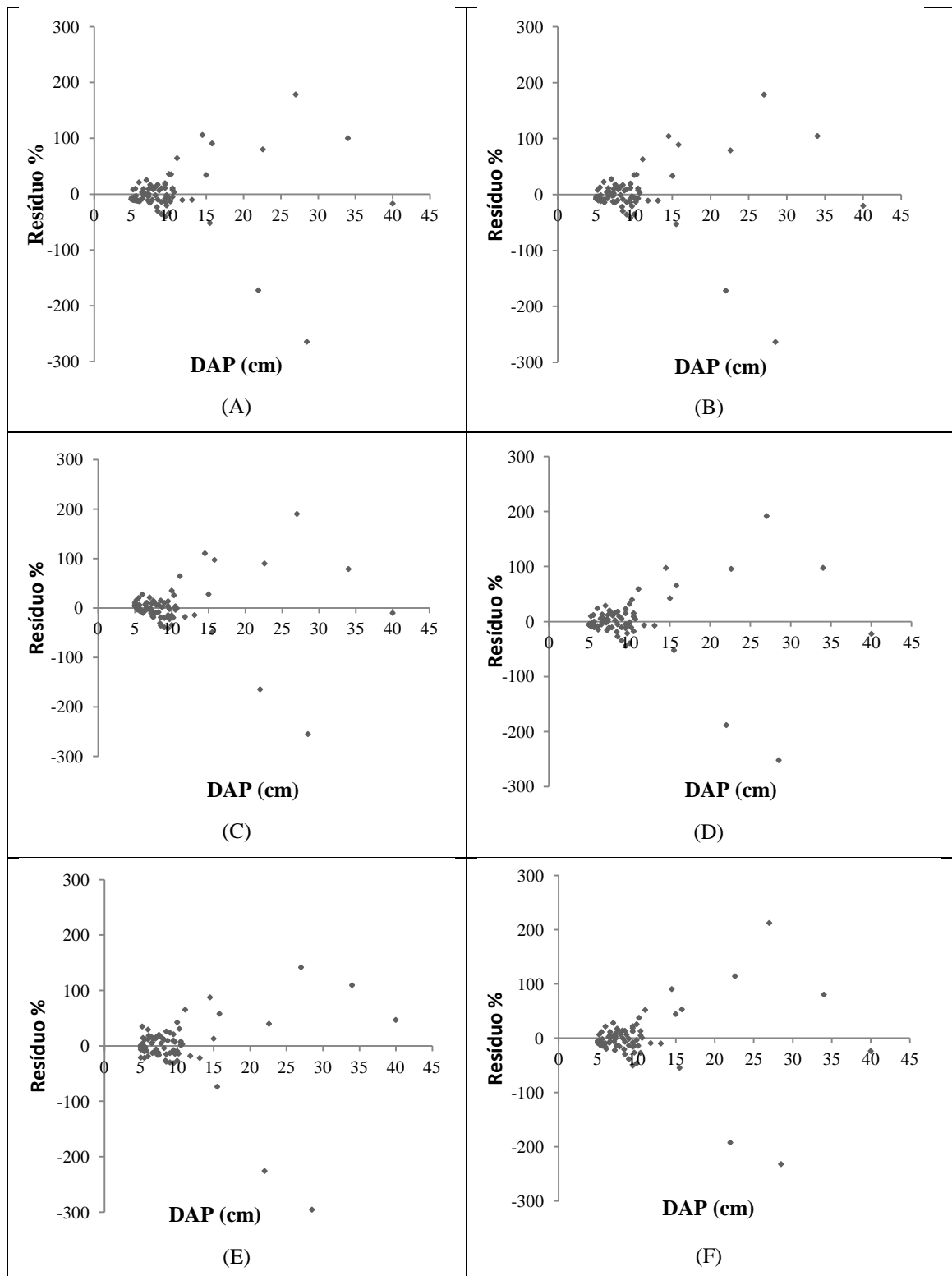


Figura 4.6. Distribuição gráfica dos resíduos relativos do volume da copa de árvores individuais, a partir dos dados de volume obtidos pelo método da AAR, gerada para os diferentes modelos ajustados de Storate (A), Naslund (B), Naslund modificado (C), Meyer (D), Schumacher & Hall (E) e Takata (F), utilizados para estimar o volume da copa de árvores de uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO.

Observa-se ainda na Figura 4.6 grande similaridade na dispersão dos resíduos entre os seis modelos analisados. Todos os modelos apresentaram valores residuais mais discrepantes (*outliers*) nas árvores de maior classe de diâmetro.

Considerando as três medidas de precisão na seleção do melhor modelo, verificou-se que o modelo 9 (Shumacher & Hall) apresenta maior precisão, porém, igualmente ao realizado para o volume total e volume do fuste, aplicou-se o teste de identidade de modelos para verificar a precisão do mesmo (Tabela 4.18).

Assim posto, este modelo foi selecionado para estimar o volume da copa de árvores da floresta estacional decidual estudada. Os resultados da aplicação do teste t para dados pareados, objetivando a validação das estimativas produzidas pelo modelo 9 (Shumacher & Hall), não evidenciou diferença estatística significativa entre os valores reais e os estimados. O modelo ajustado é dado por:

$$VG = 0,0,000008 \times DAP^{2,44} \times H^{0,742} \quad (4.3)$$

em que:

VG = volume da copa (m³);

DAP = diâmetro do fuste tomado à altura do peito (cm);

H = altura total (m).

A aplicação do teste da análise de modelos evidenciou que, o ajuste das equações para os dados provenientes dos dois métodos possuem tendência diferente, ou seja, os dados de volume da copa obtidos pelo método AAR é diferente dos dados obtidos pela cubagem rigorosa. Este resultado indica que os métodos são distintos na obtenção de volume da copa. Isto foi comprovado pela Anova, onde a redução foi significativa, ou seja, devee-se utilizar uma equação de volume da copa para cada métodos. Observa-se também que os valores dos parâmetros estimados (β_0 , β_1 e β_2) são distintos. Os resultados deste teste são apresentados na Tabela 4.17 e na Tabela 4.18.

Considerando os resultados desfavoráveis obtidos pela aplicação do teste de análise de modelo para a variável volume da copa, a equação ajustada não deverá ser utilizada para a estimativa deste parâmetro, uma vez que não atende aos requisitos pré-determinados.

Tabela 4.17. Resultados do teste de identidade de modelos, obtidos para a variável volume do da copa

MODELO REDUZIDO: UMA EQUAÇÃO PARA OS DOIS MÉTODOS						
N=196	Resumo dos Resultados da Regressão para Variáveis Dependentes: Ln(Vcopa) R= 0.10242; R ² = 0,10489; R ² Ajustado= 0,00024; F(2, 193) = 1,0229 p<0,36147; Erro padrão da estimativa: 2,4744					
	Beta	EPR do Beta	B	Erro Padrão de B	t (193)	p-valor
B0			-5,51270	1,067558	-5,16385	0,00001
LnDAP	0,05921	0,10574	0,33663	0,601129	0,55999	0,57613
LnHt	0,05067	0,10574	0,39952	0,833703	0,47921	0,63233
MODELO COMPLETO: UMA EQUAÇÃO PARA CADA MÉTODO						
N=98	MÉTODO 1					
	Resumo dos Resultados da Regressão para Variáveis Dependentes: Ln(Vcopa) R= 0,08125; R ² = 0,00660; R ² Ajustado= -----; F(2, 95)= 0,31567 p<0,7301; Erro padrão da estimativa: 2,4331					
	Beta	EPR do Beta	B	Erro Padrão de B	t (95)	p-valor
B0			-3,05989	1,48453	-2,06118	0,04202
LnDAP	-0,1167	0,151009	-0,64589	0,08359	-0,77267	0,44163
LnHt	0,06691	0,151009	0,51369	1,15934	0,44309	0,65871
N=98	MÉTODO 2					
	Resumo dos Resultados da Regressão para Variáveis Dependentes: Ln(Vcopa) R= 0.26671; R ² = 0,07114; R ² Ajustado= 0,05158; F(2, 95)= 3,6377 p<0,3004; Erro padrão da estimativa: 2,3539					
	Beta	EPR do Beta	B	Erro Padrão de B	t (95)	p-valor
B0			-7,96551	1,43619	-5,5463	0,00000
LnDAP	0,23819	0,14602	1,31915	0,80871	1,6312	0,10616
LnHt	0,03715	0,14602	0,28535	1,12159	0,2544	0,79973

Tabela 4.18. Análise de Variância para o teste de identidade de modelos, para a variável volume da copa

FV	GL	SQ	QM	F
Par (Ω)	6	3328,449		
Par (w)	3	3235,512		
R (H0)	3	92,93659	30,97886	5,41 Significativo
Resíduo	190	1088,748	5,730254	Conclusão: Utilizar equações separadas
Total	196	4417,197		

Em que:

Ω : Parâmetro do modelo completo

W: Parâmetro do modelo reduzido

R: Redução

4.5. AJUSTE DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMAR ESTOQUE DE BIOMASSA SECA E CARBONO

No ajuste dos modelos de regressão para estimar as variáveis estoque em biomassa seca e estoque em carbono foi observado que os modelos 1 (Kopezky-Gehrdt), 2 (Spurr), 3 (Dissecu-Meyer), 4 (Hohenadl-Krenm), 10 (Spurr -log), 11 (Berkholt), 12 (Ogaya) e 13 (Honner) apresentaram altos valores para o erro padrão da estimativa (Syx), tal como foi observado para a variável volume. Os erros destes modelos foram superiores a 50%. Desta forma, decidiu-se pela exclusão de tais modelos da seleção. As tabelas 4.19 e 4.20 apresentam, respectivamente, os resultados dos ajustes dos seis modelos classificados como mais precisos para estimar os estoques em biomassa seca e em carbono.

Tabela 4.19. Estimativas dos parâmetros dos modelos de regressão e medidas de precisão de equações de estoque em biomassa seca ajustadas para árvores com DAP ≥ 5 cm em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Campos Belos, Goiás.

Modelos	Coeficientes						R ² (%)	Syx	Syx (%)
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅			
5 - Stoate	24,9328	-0,3454	0,0672	-2,9296			97,4	15,91	39,8
6 - Naslund	0,000000	-0,399780	0,085976	-0,030215	0,276826		96,5	15,84	39,6
7 - Naslund modificado	13,6225	-0,4713	0,0890	-0,0416	0,1778		97,6	15,20	38,1
8 - Meyer	-94,6734	21,4066	-1,0527	-2,5965	0,1468	12,5521	98,1	13,50	33,8
9 - Schumacher & Hall	0,0026	2,1756	1,8282				97,9	15,61	39,1
14 - Takata	36						97,4	17,21	43,1

Tabela 4.20. Estatísticas dos parâmetros e medidas de precisão de equações de estoque em carbono, ajustadas para árvores com DAP ≥ 5 cm em uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Campos Belos, Goiás.

Modelos	Coeficientes						R ² (%)	Syx	Syx (%)
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅			
5 - Stoate	12,4664	-0,1727	0,0336	-1,4648			97,4	7,95	39,8
6 - Naslund	0,0000	-0,3998	0,0860	-0,0604	0,5537		96,5	7,92	39,6
7 - Naslund modificado	6,8112	-0,2356	0,0445	-0,0208	0,1031		97,6	7,60	38,1
8 - Meyer	-47,3367	10,7033	-0,5263	-1,2982	0,0734	6,2760	98,1	6,75	33,8
9 - Schumacher & Hall	0,0013	2,1756	1,8282				97,9	7,80	39,1
14 - Takata	72	0					97,4	8,60	43,1

Os resultados apresentados na Tabela 4.19 mostram que os seis modelos ajustados também apresentaram altos valores de erro padrão da estimativa, variando de 33,1% a 43,1%, apesar dos valores altos registrados para o coeficiente de determinação (96,5% a 98,1%).

Observa-se que as medidas de precisão registradas para o estoque de carbono (Tabela 4.20) são idênticas às registradas para estoque em biomassa, o que é explicado por ter sido fixado neste estudo um teor de carbono igual a 50% para todas as espécies envolvidas no ajuste. A distribuição gráfica dos resíduos apresenta esta mesma característica.

A Figura 4.7 apresenta o resultado da análise gráfica dos resíduos para os seis modelos ajustados, onde é possível observar a presença de *outliers* para os diferentes modelos.

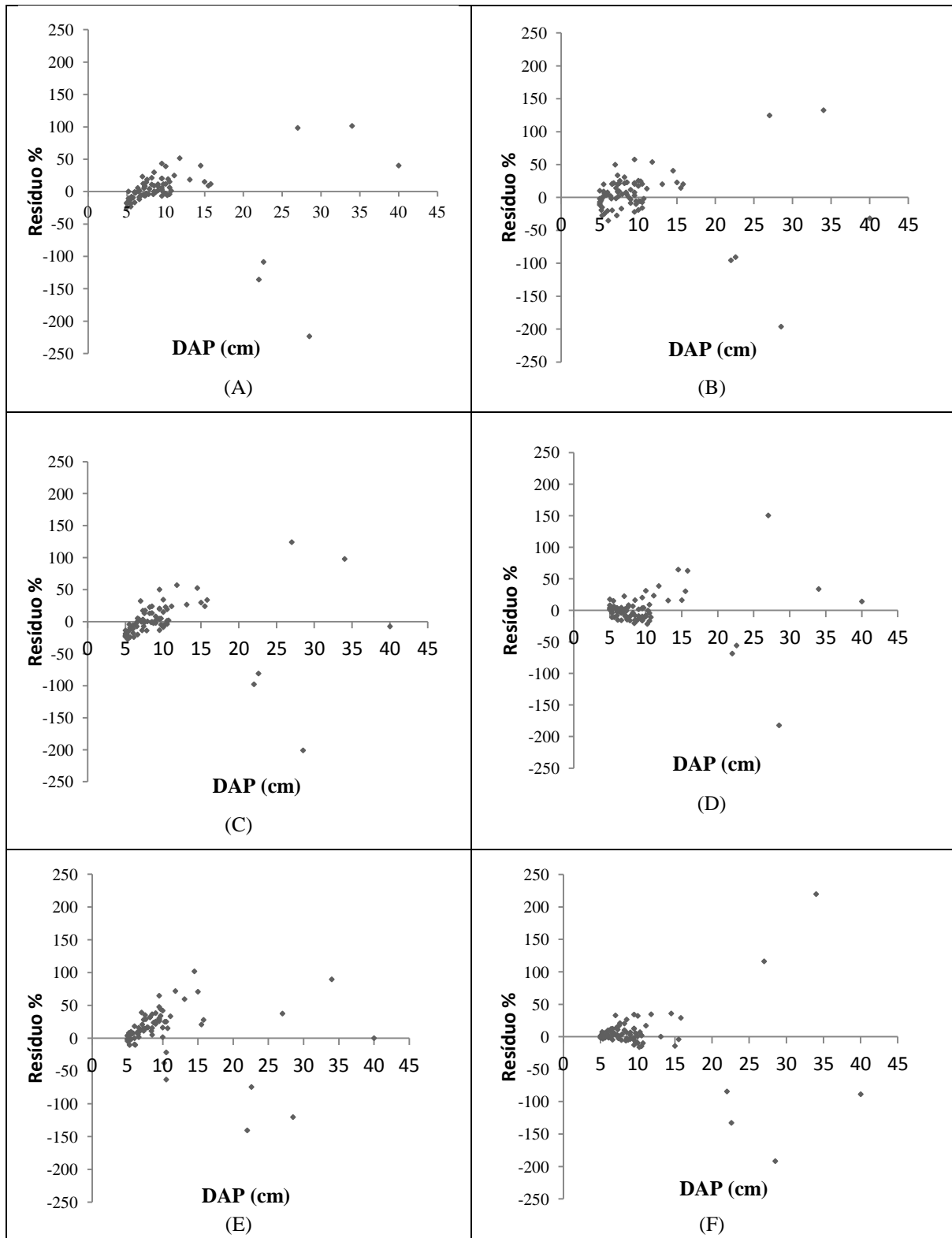


Figura 4.7. Distribuição gráfica dos resíduos relativos das variáveis biomassa seca e carbono de árvores individuais em função do DAP, gerada para os diferentes modelos ajustados de Stoate (A), Naslund (B), Naslund modificado (C), Meyer (D), Schumacher & Hall (E) e Takata (F) utilizados para estimar o volume da copa de árvores de uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos, GO

Os resultados apresentados nas tabelas 4.19, 4.20 e na Figura 4.7 mostram que o modelo que mais se destacou para estimar os estoques em biomassa seca e carbono foi o de Shumacher & Hall (modelo 9) por apresentar melhores medidas de precisão. Os modelos ajustados são definidos da seguinte forma:

$$BS = 0,008210 \times DAP^{1,8814} \times H^{1,8065} \quad (4.4)$$

$$C = 0,004105 \times DAP^{1,8814} \times H^{1,8065} \quad (4.5)$$

Em que:

BS = estoque em biomassa seca (kg);

C = estoque em carbono (kg);

DAP = diâmetro tomado à altura do peito (cm);

H = altura total (m).

O teste t para dados pareados foi aplicado para comparar os dados reais e os dados estimados dos estoques em biomassa seca e carbono em 20 árvores que foram separadas para a validação das equações e os resultados do teste t mostrou que não houve diferença estatística significativa entre os valores reais e os estimados.

A aplicação do teste da análise de modelos evidenciou que, o ajuste das equações para os dados provenientes dos dois métodos possuem a mesma tendência, ou seja, os dados de biomassa seca e carbono obtidos pelo método AAR são iguais aos dados obtidos pela cubagem e pesagem do material lenhoso. Este resultado indica que os métodos não diferem na obtenção destas estimativas. Isto foi comprovado pela Anova, onde a redução foi não significativa, ou seja, pode-se usar duas únicas equações ajustadas para biomassa e carbono para os dois métodos, e também pelos valores dos parâmetros estimados. Observe que os valores de β_0 , β_1 e β_2 são semelhantes. Os resultados deste teste são apresentados nas Tabelas 4.21, 4.22, 4.23 e 4.24.

Tabela 4.21. Resultados do teste de identidade de modelos, obtidos para a variável Biomassa Seca

MODELO REDUZIDO: UMA EQUAÇÃO PARA OS DOIS MÉTODOS						
N=196	Resumo dos Resultados da Regressão para Variáveis Dependentes: Ln(BS) R= 0,96997; R ² = 0,94084; R ² Ajustado= 0,94023; F(2, 193) = 1534,8 p<0,0000; Erro padrão da estimativa: 0,28535					
	Beta	EPR do Beta	B	Erro Padrão de B	t (193)	p-valor
B0			-3,30568	0,123109	-26,8517	0,00000
LnDAP	0,82099	0,02585	2,20130	0,069321	31,7551	0,00000
LnHt	0,19072	0,02585	0,70923	0,096141	7,3769	0,00000
MODELO COMPLETO: UMA EQUAÇÃO PARA CADA MÉTODO						
N=98	MÉTODO 1					
	Resumo dos Resultados da Regressão para Variáveis Dependentes: Ln(BS) R= 0,96639; R ² = 0,93391; R ² Ajustado= 0,93252; F(2, 95)= 671,2 p<0,0000; Erro padrão da estimativa: 0,29863					
	Beta	EPR do Beta	B	Erro Padrão de B	t (95)	p-valor
B0			-3,19095	0,18221	-17,5126	0,000000
LnDAP	0,81264	0,03895	2,14058	0,10260	20,8634	0,000000
LnHt	0,19645	0,03895	0,71767	0,14229	6,0436	0,000002
N=98	MÉTODO 2					
	Resumo dos Resultados da Regressão para Variáveis Dependentes: Ln(BS) R= 0,97374; R ² = 0,94816; R ² Ajustado= 0,94707; F(2, 95)= 868,87p<0,0000; Erro padrão da estimativa: 0,27386					
	Beta	EPR do Beta	B	Erro Padrão de B	t (95)	p-valor
B0			-3,42040	0,167092	-20,4702	0,000000
LnDAP	0,82931	0,03449	2,26203	0,094088	24,0417	0,000000
LnHt	0,18525	0,03449	0,70078	0,130490	5,3704	0,000001

Tabela 4.22. Análise de Variância para o teste de identidade de modelos para a variável Biomassa Seca.

FV	GL	SQ	QM	F	
Par (Ω)	6	1695,4			
Par (w)	3	1695,22			
R (H0)	3	0,11751	0,03913	0,48	Não significativo
Resíduo	190	15,5968	0,08208	Conclusão: Utilizar uma única equação	
Total	196	1710,93			

Em que:

Ω : Parâmetro do modelo completo

W: Parâmetro do modelo reduzido

R: Redução

Tabela 4.23. Resultados do teste de identidade de modelos, obtidos para a variável Cabono.

MODELO REDUZIDO: UMA EQUAÇÃO PARA OS DOIS MÉTODOS						
N=196	Resumo dos Resultados da Regressão para Variáveis Dependentes: Ln(C) R= 0,96997; R ² = 0,94084; R ² Ajustado= 0,94023; F(2, 193) = 1534,8 p<0,0000; Erro padrão da estimativa: 0,28535					
	Beta	EPR do Beta	B	Erro Padrão de B	t (193)	p-valor
B0			-3,99888	0,123109	-32,4820	0,0000
LnDAP	0,82099	0,02585	2,20130	0,069321	31,7551	0,0000
LnHt	0,19072	0,02585	0,70923	0,096141	7,3769	0,0000
MODELO COMPLETO: UMA EQUAÇÃO PARA CADA MÉTODO						
N=98	MÉTODO 1					
	Resumo dos Resultados da Regressão para Variáveis Dependentes: Ln(C) R= 0,96939; R ² = 0,93391; R ² Ajustado= 0,93252; F(2, 95)= 671,2 p<0,0000; Erro padrão da estimativa: 0,29863					
	Beta	EPR do Beta	B	Erro Padrão de B	t (95)	p-valor
B0			-3,8841	0,18221	-21,3167	0,000000
LnDAP	0,81264	0,03895	2,14058	0,10260	20,8634	0,000000
LnHt	0,19645	0,03895	0,71767	0,14229	5,0436	0,000002
N=98	MÉTODO 2					
	Resumo dos Resultados da Regressão para Variáveis Dependentes: Ln(C) R= 0,97374; R ² = 0,94816; R ² Ajustado= 0,94707; F(2, 95)= 868,87p<0,0000; Erro padrão da estimativa: 0,27386					
	Beta	EPR do Beta	B	Erro Padrão de B	t (95)	p-valor
B0			-4,11355	0,167092	-24,6184	0,000000
LnDAP	0,82931	0,03449	2,26203	0,094088	24,0417	0,000000
LnHt	0,18525	0,03449	0,70078	0,130490	5,3704	0,000001

Tabela 4.24. Análise de Variância para o teste de identidade de modelos para a variável Carbono

FV	GL	SQ	QM	F	
Par (Ω)	6	1051,66			
Par (w)	3	1051,55			
R (H0)	3	0,1175	0,03917	0,48	Não significativo
Resíduo	190	15,5968	0,08208		Conclusão: Utilizar uma única equação
Total	196	1067,26			

Em que:

Ω : Parâmetro do modelo completo

W: Parâmetro do modelo reduzido

R: Redução

4.6. QUANTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO EM VOLUME, BIOMASSA SECA E CARBONO PARA A FLORESTA ESTACIONAL

A partir das equações selecionadas para estimar os estoques em volume (total e fuste), biomassa seca e carbono por árvore, com dados obtidos pela AAR e a partir dos dados do inventário florestal na floresta estacional decidual estudada, foi realizada a quantificação da produção total em volume, biomassa seca e carbono.

4.6.1. Quantificação do Volume

A produção total volumétrica estimada para a floresta estacional decidual com base na equação de volume total gerada a partir de dados da AAR, considerando as árvores vivas e mortas em pé com DAP igual ou superior a 5 cm, foi igual a $58,81 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Para a área total da floresta (90 hectares), o volume total foi estimado em $5.292,9 \text{ m}^3 \pm 2.376,5 \text{ m}^3$, considerando um nível de significância de 5%.

Analisando as estimativas das variáveis estudadas na área amostrada, observa-se que o erro amostral percentual calculado foi alto (entre de 44,9% e 48,60%), o que pode ser justificado pela grande heterogeneidade da estrutura da vegetação observada na área. Verifica-se na Tabela 4.25 que o coeficiente de variação registrado no inventário para as

duas variáveis foi notoriamente elevado (cerca de 71%), o que mostra grande variabilidade das parcelas amostradas em torno da média das variáveis analisadas.

Tabela 4.25. Estimadores dos parâmetros da população amostrada considerando os estoques em volume ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) total e do fuste para uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos – GO.

Estimadores dos parâmetros da população amostrada	Volume total	Volume Fuste
Média ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$)	58,81	33,26
Coefficiente de variação (%)	71,50	71,73
Erro amostral ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$)	26,4	17,6
Erro amostral (%)	44,89	48,60
Intervalo de Confiança ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$)	$32,41 \leq x \leq 85,22$	$18,63 \leq x \leq 53,88$

A produção total encontrada na área de estudo pode ser considerada baixa, quando comparada a outros estudos. Por exemplo, o Inventário Florestal do Estado de Minas Gerais (SCOLFORO *et al.*, 2008) registrou valores de volume para as florestas estacionais deciduais variando segundo o estágio de sucessão entre $56,5 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ e $338,8 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$.

Boina (2008), estudando dois fragmentos de floresta estacional semidecidual localizados na região do alto médio Rio Doce, MG, observou produções volumétricas variando entre $102,28 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ e $245,66 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ e justificou que a diferença entre os valores podem indicar diferentes estágios de sucessão florestal entre as áreas mensuradas, uma vez que os maiores valores remetem aos estágios mais avançados de sucessão.

Coraiola & Péllico Netto (2003), em estudo conduzido em uma floresta estacional decidual, no município de Cássia-MG, estimaram a produção volumétrica da área em $146,65 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$.

Portanto, observa-se que os valores registrados nos estudos acima citados são notoriamente superiores aos observados no presente estudo. Contudo, uma comparação com as produções volumétricas registradas nos diferentes estudos citados somente será válida se forem avaliadas a qualidade do sítio de cada ambiente, que considera características climáticas, edáficas, geomorfológicas, presença de distúrbios etc. Todas essas características interferem significativamente na produção de uma floresta.

É importante destacar que a floresta estudada encontra-se em uma encosta sobre afloramento de rochas calcárias e embora apresente bom estado de conservação e está protegida de ações antrópicas. Durante o inventário foram observados alguns sinais de distúrbios causados principalmente pela extração seletiva de madeiras comerciais, tais como *Myracroduon urundeuva* (Aroeira) e *Callisthene fasciculata* (Pau-jacaré), que são utilizadas, principalmente, na construção de cercas e pilares. Tais distúrbios devem ter favorecido a baixa produção volumétrica da floresta, tomando como base de referência os resultados obtidos pelo Inventário Florestal de Minas Gerais. No entanto, outra característica intrínseca desta área de estudo é o fato da floresta encontrar-se numa área classificada pelo IBGE, como área de contato savana/floresta estacional (SN). No caso específico, a floresta estacional decidual faz contato com a vegetação do cerrado sentido restrito, sendo, portanto, registrado a presença de algumas espécies do cerrado sentido restrito na área, bem como a presença de muitas árvores de porte pequeno.

Mas, a produção volumétrica registrada neste estudo foi superior aos valores de produção encontrados em áreas cobertas por vegetação de cerrado sentido restrito. Uma investigação conduzida por Paula *et al.* (1998), em uma área de cerrado sentido restrito, localizado no Estado do Maranhão, constatou um volume médio de madeira igual a $40,50 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$. Rezende *et al.* (2006) estudaram uma área de cerrado sentido restrito no Distrito Federal e estimaram a produção volumétrica em $25,10 \pm 2,83 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$. Encinas *et al.* (2009) determinaram o volume de madeira igual a $16,18 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ para um cerrado sentido restrito, localizado em Planaltina de Goiás, Goiás, sendo que $10,85 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, correspondiam ao volume do fuste e $5,33 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ ao volume da copa.

Rocha (2011) estimou a produção volumétrica total ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) para a mesma floresta estacional decidual, a partir de uma equação de volume que foi desenvolvida com dados de cubagem rigorosa de árvores abatidas, utilizando a fórmula de Smalian para determinação do volume das seções das árvores. A produção total em volume estimada por Rocha (2011) foi de $88,65 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, o qual foi superior ao registrado neste estudo. Comparando os resultados, verifica-se que a produção volumétrica obtida neste estudo subestimou em aproximadamente 33,6% a produção encontrada por Rocha (2011), embora o teste t para dados pareados, bem como o teste de identidade de modelos não tenham detectado diferenças significativas entre as estimativas de volume por árvore individual, geradas a

partir de equações com dados de cubagem rigorosa de árvores abatidas e cubagem rigorosa de árvores em pé, pelo método da AAR.

Esta disparidade entre valores pode ser explicada pelo erro acumulado partindo do erro amostral intrínseco à aplicação da AAR, do erro padrão residual proveniente do ajuste de modelos, e do erro amostral do inventário. Focando apenas no erro amostral do inventário (ROCHA, 2011), este apresentou um intervalo de confiança da média entre 55,38 m³ a 121,93 m³, o qual abrange a estimativa do volume apresentada pelo presente estudo.

A tabela 4.26 apresenta as estimativas das características dendrométricas da população amostrada por classe de diâmetro bem como as produções volumétricas da floresta para cada compartimento considerado. A Figura 4.8 apresenta a distribuição da produção volumétrica total e do fuste (m³.ha⁻¹) por classes diamétricas para a floresta estacional decidual estudada.

Quando se analisou a produção volumétrica da floresta em função das árvores distribuídas em classes de diâmetro verificou-se que as duas primeiras classes diamétricas que abrangem percentual maior que 90% de árvores amostradas respondem por aproximadamente 39% do volume total observado em um hectare, principalmente devido à alta densidade observada nestas classes. Os volumes observados nas cinco classes centrais respondem por cerca de 50% do volume total, representados por árvores de maior porte, uma vez que estas classes agregam apenas 5% do total de árvores com DAP \geq 5 cm registradas em um hectare.

Tabela 4.26. Características dendrométricas e estimativas da produção volumétrica ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) total (VT) e do fuste (VF) por classe diamétrica para uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos – GO.

Classes Diamétricas	Média DAP (cm)	\overline{HT} (m)	N ($\text{árv}.\text{ha}^{-1}$)	G ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$)	VF ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$)	VT ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$)
05 – 10	6,77	5,30	890	3,33	6,72	9,97
10 – 15	11,69	6,94	176	1,91	4,87	7,61
15 – 20	16,94	8,82	34	0,77	2,86	4,24
20 – 25	22,41	10,91	19	0,75	3,66	5,46
25 – 30	27,18	11,78	18	1,05	5,24	8,16
30 – 35	32,18	12,94	9	0,73	4,03	6,36
35 – 40	37,02	12,75	7	0,65	3,17	5,36
40 – 45	40,88	15,25	4	0,53	3,59	5,64
45 – 50	47,35	14,00	2	0,35	1,76	3,20
50 – 55	50,00	12,00	1	0,20	0,66	1,39
55 – 60	62,00	13,00	1	0,30	1,07	2,32
Total geral	9,01	6,00	1161	10,57	33,26	58,81

DAP=média aritmética dos diâmetros; \overline{HT} = altura média; N = densidade; G = área basal

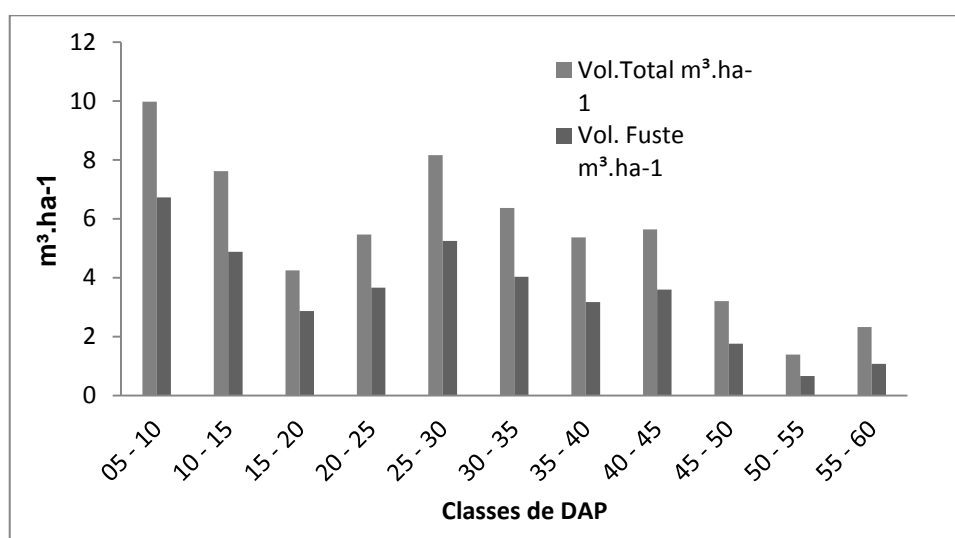


Figura 4.8. Distribuição do estoque de volume total, do fuste e da copa ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$), por classe de diâmetro em uma floresta estacional decidual na Fazenda Canaã, Campos Belos, GO.

Quanto a representatividade das espécies na produção volumétrica, verificou-se que dez espécies registradas na área apresentaram maior relevância volumétrica: *Guazuma ulmifolia* (mirindiba) com $6,72 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, *Callisthene fasciculata* (pau-jacaré) com $5,7 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, *Myracrodruon urundeuva* (aroeira) com $5,52 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, *Dilodendron bipinnatum* (farinha-seca) com $4,77 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, *Pseudobombax tomentosum* (imbiçu) com $4,34 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ e *Tabebuia impetiginosa* (ipê-roxo) com $3,81 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, *Astronium fraxinifolium* (Gonçalo-alves) com $3,40 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, *Tabebuia serratifolia* (ipê-amarelo) com $3,12 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, *Casearia*

rupestris com 2,29 m³.ha⁻¹ e *Combretum duarleanum* com 2,09 m³.ha⁻¹ (Tabela 4.27). Em conjunto, essas dez espécies somaram 46,87 m³.ha⁻¹, correspondente a 78,48% do volume total estimado por hectare para a floresta estacional decidual.

Neste estudo, a alta produção volumétrica observada para *Guazuma ulmifolia* foi resultante da alta densidade de árvores desta espécie na área de estudo (260 árv.ha⁻¹), bem como da sua área basal (1,82 m².ha⁻¹). As espécies *Myracrodruon urundeuva* e *Callisthene fasciculata* apresentaram respectivamente, 72 árv.ha⁻¹ e 0,83 m².ha⁻¹ e, 27 árv.ha⁻¹ e 0,78 m².ha⁻¹. As demais espécies mencionadas se destacaram em termos de produção volumétrica devido a presença de árvores de maior porte, evidenciando alta produtividade por árvore. As árvores mortas, porém em pé, apresentaram um volume igual a 1,17 m³, contribuindo em 1,95% da produção total observada.

Tabela 4.27. Características dendrométricas das espécies (ρ - densidade básica, \overline{DAP} , \overline{HT} , N - Densidade, G - Área basal) e produção em volume total (VT), fuste (VF) e copa (VC), biomassa seca (BS) e carbono (C) por espécie, considerando árvores vivas e mortas em pé para uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos – GO.

Espécie	ρ (g/m ³)	\overline{DAP} (cm)	\overline{HT} (m)	N árv.ha ⁻¹	G m ² .ha ⁻¹	VF (m ³)	VC m ³ .ha ⁻¹	VT m ³ .ha ⁻¹	BS t.ha ⁻¹	C t.ha ⁻¹
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	0,77	12,8	8,1	25	0,40	1,82	0,92	2,68	2083,49	1041,75
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speng.	0,77	15,4	9,4	4	0,10	0,58	0,30	0,86	687,53	343,76
<i>Andira</i> sp.	0,67	8,0	6,0	1	0,01	0,01	0,01	0,02	10,45	5,23
<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	0,44	10,7	5,2	6	0,06	0,08	0,07	0,15	97,28	48,64
<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart. ex A. DC.	0,61	9,3	6,5	6	0,06	0,31	0,14	0,44	341,51	170,75
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	0,56	11,4	7,2	29	0,43	2,34	1,16	3,40	2784,94	1392,47
<i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud.	0,88	6,6	5,5	11	0,04	0,09	0,04	0,13	83,41	41,71
<i>Buchenavia tomentosa</i> Eichler	0,74	25,2	10,0	1	0,05	0,17	0,12	0,30	227,81	113,90
<i>Byrsonima pachyphylla</i> A. Juss.	0,60	10,4	7,6	1	0,01	0,03	0,01	0,04	26,25	13,12
<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	0,79	15,0	7,0	27	0,78	3,31	2,40	5,70	4644,96	2322,48
<i>Campomanesia velutina</i> (Cambess.) O. Berg	0,68	6,2	4,2	5	0,02	0,02	0,01	0,03	18,58	9,29
<i>Casearia rupestris</i> Eichler	0,63	7,3	5,6	160	0,72	1,49	0,74	2,29	1446,29	723,15
<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg.	0,71	6,1	5,6	3	0,01	0,02	0,01	0,03	16,33	8,17
<i>Combretum duarteanum</i> Cambess.	0,79	6,4	5,3	213	0,71	1,44	0,62	2,09	1287,58	643,79
<i>Cybistax antisyphilitica</i> (Mart.) Mart.	0,60	6,3	3,9	1	0,00	0,00	0,00	0,01	3,06	1,53
<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	0,51	9,8	6,2	72	0,76	3,19	1,66	4,77	3714,18	1857,09
<i>Diospyros hispida</i> A. DC.	0,62	7,4	5,3	3	0,01	0,03	0,01	0,04	24,72	12,36
<i>Erythroxylum deciduum</i> A. St.-Hil.	0,80	5,7	3,5	1	0,00	0,00	0,00	0,00	2,09	1,04
<i>Eugenia dysenterica</i> DC.	0,83	11,2	6,0	1	0,01	0,02	0,01	0,03	19,69	9,84
<i>Ficus</i> sp.	0,42	5,9	4,8	7	0,02	0,03	0,01	0,05	27,82	13,91
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	0,60	9,0	6,2	260	1,82	4,31	2,25	6,72	4437,44	2218,72
<i>Guettarda viburnoides</i> Cham. & Schltld.	0,70	7,5	5,0	34	0,18	0,38	0,23	0,63	426,48	213,24
<i>Hyeronima alchorneoides</i> Allemão	0,65	6,2	5,4	4	0,01	0,03	0,01	0,04	22,29	11,15
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	0,49	13,3	9,3	3	0,05	0,29	0,11	0,38	290,05	145,02
<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	0,86	6,8	4,3	6	0,02	0,03	0,02	0,05	26,20	13,10
<i>Luehea grandiflora</i> Mart.	0,56	8,8	5,0	8	0,06	0,12	0,07	0,20	132,49	66,24
<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	0,75	22,3	8,3	1	0,04	0,09	0,08	0,18	129,26	64,63
<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld	0,75	19,1	8,4	2	0,06	0,18	0,14	0,32	236,87	118,44

Continuação da Tabela 4.27

Espécie	ρ (g/m ³)	\overline{DAP} (cm)	\overline{HT} (m)	N ár.v.ha ⁻¹	G m ² .ha ⁻¹	VF (m ³)	VC m ³ .ha ⁻¹	VT m ³ .ha ⁻¹	BS t.ha ⁻¹	C t.ha ⁻¹
<i>Machaerium villosum</i> Vogel	0.75	37.5	15.0	1	0.11	0,75	0,44	1,17	1001,10	500,55
<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	0.52	13.9	7.7	3	0.06	0,20	0,13	0,34	252,88	126,44
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	0.72	9.9	6.8	72	0.83	3,63	2,00	5,52	4318,46	2159,23
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J. F. Macbr.	0.84	28.0	13.0	1	0.06	0,36	0,19	0,55	446,17	223,08
<i>Platymiscium floribundum</i> Vogel	0.63	5.4	7.5	2	0.00	0,02	0,00	0,02	14,56	7,28
<i>Platypodium elegans</i> Vogel	0.83	8.5	6.5	3	0.02	0,07	0,03	0,10	68,00	34,00
<i>Pseudobombax tomentosum</i> (Mart. & Zucc.) Robyns	0.41	49.5	11.8	3	0.60	2,05	2,41	4,34	3639,71	1819,85
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	0.79	7.1	4.8	1	0.00	0,01	0,00	0,01	5,58	2,79
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	0.59	5.7	5.5	1	0.00	0,01	0,00	0,01	4,72	2,36
<i>Randia</i> sp.	0.71	7.2	4.4	7	0.03	0,04	0,02	0,06	37,01	18,51
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i> Reissek	0.77	6.9	4.7	37	0.15	0,20	0,12	0,34	205,84	102,92
<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel	0.59	11.2	5.2	3	0.05	0,09	0,09	0,19	132,49	66,25
<i>Simarouba versicolor</i> A. St.-Hil.	0.58	16.8	8.9	5	0.12	0,45	0,24	0,70	520,46	260,23
<i>Spondias mombin</i> L.	0.39	5.2	5.0	1	0.00	0,00	0,00	0,01	3,34	1,67
<i>Sterculia striata</i> A. St.-Hil. & Naudin	0.43	25.8	10.0	4	0.26	1,10	0,82	1,92	1558,60	779,30
<i>Syagrus oleracea</i> Glassman	0.47	13.4	9.8	5	0.07	0,41	0,13	0,50	375,00	187,50
<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore	0.50	14.9	7.1	16	0.41	1,36	1,05	2,42	1863,11	931,55
<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex A. DC.) Standl.	0.92	6.5	5.0	1	0.00	0,01	0,00	0,01	5,09	2,54
<i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart. ex DC.) Standl.	0.61	25.9	11.2	7	0.43	2,44	1,44	3,81	3172,80	1586,40
<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	0.65	7.5	5.4	45	0.24	0,68	0,33	1,01	713,15	356,58
<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) G. Nicholson	0.63	25.2	12.2	6	0.33	2,11	1,09	3,12	2575,81	1287,90
<i>Terminalia argentea</i> Mart.	0.69	9.0	5.9	3	0.02	0,04	0,02	0,07	46,31	23,16
<i>Terminalia phaeocarpa</i> Eichler	0.81	14.1	9.0	3	0.07	0,41	0,22	0,62	499,35	249,68
<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K. Schum.	0.59	6.4	5.0	17	0.06	0,10	0,05	0,15	90,91	45,46
TOTAL				1161	10.57	37,62	22,48	59,72	45,75	22,87

\overline{DAP} =média aritmética dos diâmetros; \overline{HT} = altura média; N = densidade; G = área basal

4.6.2. Quantificação da biomassa seca e estoque de carbono

A partir das equações ajustadas para estimar estoque em biomassa seca e carbono de árvores individuais, as quais foram geradas com base em dados provenientes da AAR, foram obtidas as estimativas destas variáveis para cada uma das parcelas amostradas no inventário florestal da área estudada.

Os valores de produção total em biomassa seca e em carbono estimados para a floresta estacional decidual foram de 45,015 t.ha⁻¹ e 22,507 t.ha⁻¹, respectivamente. As estimativas destas variáveis considerando a área total da floresta de 90 hectares foram iguais a 4.051,3 toneladas de biomassa seca e 2.025,7 toneladas de carbono, respectivamente.

É importante destacar os altos valores encontrados para erro amostral (48,67%) e coeficiente de variação (75,59%), o que mostra a grande variabilidade destas variáveis na floresta estudada. Os valores de biomassa seca e estoque de carbono estão apresentados na Tabela 4.28.

Tabela 4.28. Estimadores dos parâmetros da população amostrada considerando os estoques em biomassa seca (t.ha⁻¹) e em carbono (t.ha⁻¹) para uma floresta estacional decidual no localizada na Fazenda Canaã, Campos Belos, GO.

Estimadores dos parâmetros da população amostrada	Biomassa seca	Carbono
Média (t.ha ⁻¹)	45,015	22,507
Coeficiente de variação (%)	75,59	75,59
Erro amostral (t.ha ⁻¹)	21,91	17,52
Erro amostral (%)	48,67	48,67
Intervalo de Confiança (t.ha ⁻¹)	23,10 ≤ x ≤ 66,62	5,15 ≤ x ≤ 40,39

As produções estimadas em biomassa seca e carbono para a floresta estacional decidual, obtidas a partir das equações ajustadas com dados provenientes da AAR foram superiores aos resultados obtidos por Rocha (2011) que estimou tais produções a partir de equações geradas com dados provenientes da cubagem rigorosa de árvores abatidas. Rocha (2011) estimou em 39,17 t.ha⁻¹ e 19,58 t.ha⁻¹, as produções em biomassa seca e carbono, respectivamente. Diferentemente ao observado nas estimativas da variável volume, os valores estimados por Rocha (2011) para biomassa seca e carbono foram inferiores aos

observados no presente estudo, podendo indicar que os ajustes das equações de regressão utilizando os valores de biomassa seca e carbono produzidos pela AAR como variáveis dependentes tendem a superestimar a produção destes atributos na floresta. Cabe ressaltar que os valores estimados pelo presente estudo estão compreendidos pelo intervalo de confiança das estimativas apresentadas por Rocha (2011).

As produções estimadas para biomassa seca e carbono para a floresta estacional decidual estudada são notoriamente inferiores àquelas registradas em outras florestas estacionais. Boina (2008) estudou dois fragmentos de floresta estacional semidecidual na região do alto médio do Rio Doce, MG e encontrou valores de biomassa seca variando entre 73,39 t.ha⁻¹ e 152,35 t.ha⁻¹, correspondentes a um estoque de carbono entre 34,59 t.ha⁻¹ e 76,17 t.ha⁻¹. No Inventário Florestal Estadual de Minas Gerais (SCOLFORO *et al.*, 2008) foram encontrados em florestas estacionais deciduais, valores de estoque de biomassa variando, entre 32,3 t.ha⁻¹ e 188,5 t.ha⁻¹ e, carbono variando entre 14,95 t.ha⁻¹ e 90,6 t.ha⁻¹.

Os valores registrados neste estudo foram também bem inferiores aos registrados em outras formações tropicais. Por exemplo, Delitti & Burger (1998) estimaram a biomassa aérea em diferentes áreas contendo florestas tropicais ocorrentes no domínio da Mata Atlântica e obtiveram valores de 350 t.ha⁻¹ (175 t.C.ha⁻¹) para florestas primárias, 200 t.ha⁻¹ (100 t.C.ha⁻¹) para florestas secundárias e 100 t.ha⁻¹ (50 t.C.ha⁻¹) para secundárias iniciais. Estes autores afirmaram que a biomassa estocada nesta tipologia vegetal não ultrapassa a faixa de 350 t.ha⁻¹ (175 t.C.ha⁻¹). Entretanto Rodin & Bazilvechi (1967), citado por Burguer (2005), afirmam que as florestas tropicais podem estocar montantes de carbono acima de 500 t.C.ha⁻¹.

Uma pesquisa conduzida por Castilho *et al.* (2006) em uma floresta de terra-firme na Reserva Adolpho Ducke, Amazonas, avaliou o estoque em biomassa seca acima do solo de indivíduos arbóreos em parcelas espalhadas sobre diferentes solos e cotas topográfica e encontrou valores variando entre 189,8 t.ha⁻¹ e 422,8 t.ha⁻¹. Estes autores observaram que os efeitos do solo e topografia explicam até 30 % da variação da biomassa arbórea observada em diferentes sítios.

Os valores de produção em biomassa seca e carbono registrados no presente estudo foram superiores aos registrados em vários estudos realizados em áreas de cerrado sentido restrito

Vale *et al.* (2005) estudaram uma área de cerrado sentido restrito localizado na Fazenda Água Limpa, DF e observaram uma produção em biomassa seca igual a 12,4 t.ha⁻¹. Rezende (2000) também estudou o cerrado sentido restrito na mesma Fazenda, estimou a produção média de 9,85 ± 1,08 t.ha⁻¹ para biomassa seca e 4,93 ± 0,54 t.ha⁻¹ para carbono. Ottmar *et al.* (2001) estimaram o estoque de biomassa aérea em áreas de cerrado sentido restrito do Brasil Central, os quais variaram de 20,9 t.ha⁻¹ a 58,01 t.ha⁻¹. Rezende & Felfili (2004) avaliaram o estoque de carbono nos troncos e galhos de plantas lenhosas do cerrado sentido restrito do Brasil Central, onde foram encontrados valores que variaram de 3,71 t.ha⁻¹, em Patrocínio (MG) a 13,27 t.ha⁻¹, em Alvorada do Norte (GO).

Murphy & Lugo (1996) estudaram uma floresta estacional subtropical localizada em Porto Rico e encontraram um estoque de biomassa seca aérea para indivíduos com DAP ≥ 5 cm, igual à 14,64 t.ha⁻¹, considerando tronco, galhos grossos e árvores mortas. Esses autores associam a baixa produtividade por esta ser uma das florestas mais secas registradas no mundo, devido a baixa precipitação anual e o intenso estresse hídrico sofrido ao longo de seis ou mais meses por ano. Observe que os valores encontrados por Murphy & Lugo (1996) são inferiores ao registrado no presente estudo.

Quando se analisou as produções em biomassa seca e carbono registradas na área de estudo para as diferentes classes de diâmetro, verificou-se o mesmo comportamento observado para a produção volumétrica distribuída por classes de diâmetro. Para estas duas variáveis, aproximadamente 24,8% de suas produções totais estão concentradas nas primeiras duas classes diamétricas, apesar destas duas classes representarem mais de 90% de todas as árvores amostradas em um hectare. As produções foram decrescentes nas três primeiras classes diamétricas, apresentando acréscimo a partir da quarta classe. Desse ponto em diante, os valores observados se estabilizam parcialmente nas cinco classes centrais, respondendo por 56,5% do estoque total, representados por árvores de médio e grande porte.

Tabela 4.29. Características dendrométricas e estimativas da produção em biomassa seca ($t\cdot ha^{-1}$) e carbono ($t\cdot ha^{-1}$) por classe diamétrica para uma floresta estacional decidual localizada na Fazenda Canaã, Município de Campos Belos – GO.

Classes Diamétricas	\overline{DAP} (cm)	\overline{HT} (m)	N ($\text{ár}\cdot\text{v}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Área basal ($\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$)	BS ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	C ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)
05 – 10	6,77	5,30	890	3,33	6,19	3,10
10 – 15	11,69	6,94	176	1,91	5,14	2,57
15 – 20	16,94	8,82	34	0,77	3,13	1,57
20 – 25	22,41	10,91	19	0,75	4,26	2,13
25 – 30	27,18	11,78	18	1,05	6,54	3,27
30 – 35	32,18	12,94	9	0,73	5,25	2,63
35 – 40	37,02	12,75	7	0,65	4,46	2,23
40 – 45	40,88	15,25	4	0,53	4,90	2,45
45 – 50	47,35	14,00	2	0,35	2,74	1,37
50 – 55	50,00	12,00	1	0,20	1,15	0,57
55 – 60	62,00	13,00	1	0,30	1,99	1,00
Total geral	9,01	6,00	1161	10,57	45,01	22,51

\overline{DAP} =média aritmética dos diâmetros; \overline{HT} = altura média; N = densidade; G = área basal

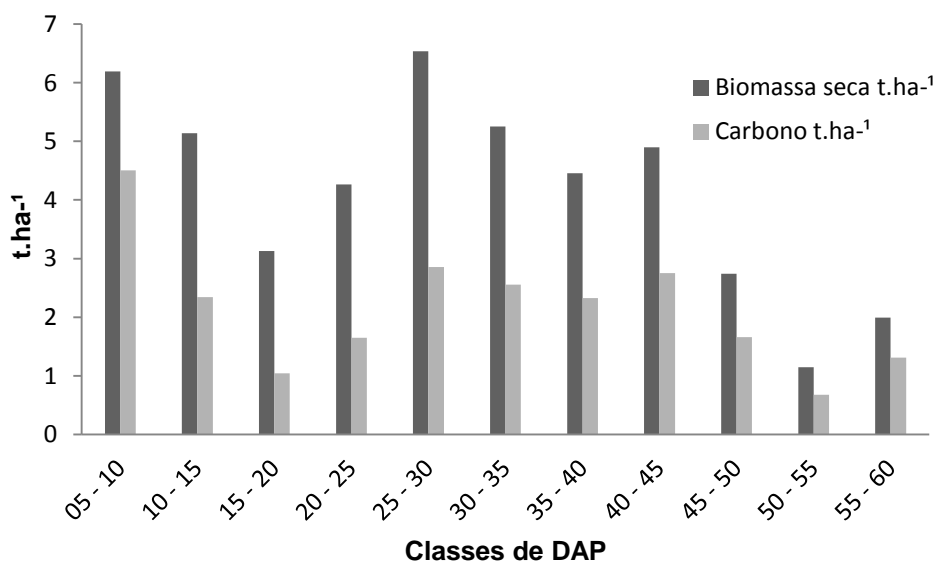


Figura 4.9. Distribuição da produção em biomassa seca e carbono ($t\cdot ha^{-1}$) por classe de diâmetro em uma floresta estacional decidual na Fazenda Canaã, Campos Belos, GO.

A distribuição da produção total em biomassa seca e carbono por espécie na floresta estacional mostra que as espécies que mais se destacaram foram: *Callisthene fasciculata* (pau-jacaré) com $4,6 t\cdot ha^{-1}$ de biomassa seca e $2,3 t\cdot C\cdot ha^{-1}$, *Guazuma ulmifolia* (mirimdiba)

com 4,4 t.ha⁻¹ de biomassa seca e 2,2 t.C.ha⁻¹, *Myracrodruon urundeuva* (aroeira) com 4,3 t.ha⁻¹ de biomassa seca e 2,2 t.C.ha⁻¹, *Dilodendron bipinnatum* (farinha-seca) com 3,7 t.ha⁻¹ de biomassa seca e 1,9 t.C.ha⁻¹, *Pseudobombax tomentosum* (imbituba) com 3,6 t.ha⁻¹ de biomassa seca e 1,8 t.C.ha⁻¹ e *Tabebuia impetiginosa* (ipê-roxo) com 3,2 t.ha⁻¹ de biomassa seca e 1,6 t.C.ha⁻¹ (Tabela 4.27).

É possível observar na Tabela 4.27 que as seis espécies somaram 23,93 t.ha⁻¹ da produção em biomassa seca e 11,96 t.ha⁻¹ da produção em carbono, o que corresponde a 52,3% dos valores totais destas variáveis. Tais espécies apresentaram expressivos valores de Índice de Valor de Importância (IVI) na área, conforme registrado por Rocha (2011).

5. CONCLUSÕES

Os resultados e discussões apresentados pelo presente estudo permitem concluir que:

- A AAR mostrou-se um método estatisticamente preciso, dada à baixa variabilidade proveniente de sua aplicação, portanto, apto a ser utilizado para estimar os atributos volume total e do fuste, biomassa seca e estoque de carbono, tanto para os agrupamentos de componentes da árvore, fuste e galhos grossos, quanto para a árvore como um todo;
- A AAR não se mostrou um método estatisticamente preciso para estimar volume da copa;
- A comparação dos resultados de volume obtidos pela AAR, com os valores reais obtidos através da cubagem rigorosa, por não apresentarem diferenças estatisticamente significativas detectadas pelo teste t e teste de identidade de modelos, demonstra que este método é preciso e apto a ser utilizado para este fim;
- Para a base de dados trabalhada, o resíduo obtido da comparação supracitada, não está associado ao porte das árvores, sendo distribuídos uniformemente ao longo da distribuição diamétrica.
- O modelo de Schumacher & Hall apresentou maior precisão na estimativa do volume (total e fuste), biomassa seca e estoque de carbono e, portanto, foi escolhido para estimar estes atributos da floresta estacional;

- A escolha das árvores-amostrar pautadas pela distribuição diamétrica da frequência, implicou em dois fatores inconvenientes à aplicação da AAR: grande quantidade de indivíduos de pequeno porte com copa reduzida e menores possibilidades de caminhos a serem amostrados, tendem a subestimar a variabilidade envolvida na estimativa das variáveis de interesse; e, pequena quantidade de indivíduos de grande porte, cujas copas muitas vezes densa e/ou irregulares, implicam em maiores erros amostrais na aplicação da AAR e em maior erro padrão residual proveniente do ajuste de modelos.

6. RECOMENDAÇÕES

- Para a aplicação da AAR de forma não destrutiva em indivíduos de médio a grande porte é necessário que a equipe de coleta de dados tenha um profissional com experiência em escalada de árvores e demais técnicas verticais, além da utilização de EPIs e demais equipamentos de segurança.
- A ocorrência de resíduos acima de 40% indica a necessidade de maiores estudos, principalmente aqueles que priorizem a aplicação da AAR em uma quantidade maior de árvores de grande porte.
- É indicado que seja delimitado dois ou mais fatores de inclusão, dependendo do local na árvore em que está sendo realizada a mensuração, o primeiro a ser utilizado ao longo do fuste, de forma a excluir os galhos inexpressivos (fonte de erros) e, o segundo a ser utilizado considerando os ramos terminais, de forma que não se perca a estimativa de galhos finos de até 3 cm de diâmetro. Esta recomendação pode ser aplicada a partir da estratificação da copa e aplicação deste método separadamente em cada estrato definido.
- Em árvores de baixo porte, providas de poucas ramificações recomenda-se a utilização da cubagem rigorosa em pé, a partir das fórmulas de Smalian, Huber ou Newton, uma vez que seria mais eficiente que a aplicação da AAR, e porventura mais ágil.
- Recomenda-se maiores investigações acerca da aplicação da AAR em indivíduos arbóreos comuns às várias fitofisionomias do Cerrado e de outros biomas, como método não destrutivo para estimar o estoque em volume, biomassa, carbono, dentre outras variáveis intrínsecas às formações florestais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALA, G. C.; CALDAS, L. S.; HARIDASAN, M. & EITEN, G. Above and below-ground organic matter and root-shoot ratio in a cerrado in central Brazil. *Brazilian Journal of Ecology*, v.2, n.1, 1998. p. 11-23.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Norma ABNT NBR 7190*, 107p. CB- 02 – Comitê Brasileiro de Construção Civil. E-02:003.10 – Comissão de Estudo de Estruturas de Madeira, 1997. p. 48-51.
- ADÂMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G. & MADEIRA NETO, J. S. Caracterização da região do cerrado. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). *Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo*. Planaltina: Embrapa-CPAC; Nobel, 1987. p.33-98.
- ADUAN, R. E.; VILELA, M. F. & KLINK, C. A. *Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres – o caso do Cerrado brasileiro*. Embrapa: Planaltina – DF, 2003.
- ALHO, C. J. R. & MARTINS, E. S. *De Grão em Grão, o Cerrado Perde Espaço (Cerrado – Impactos do Processo de Ocupação)*. WWF- Fundo Mundial para a Natureza. Brasília, 1995.
- BOINA, A. *Quantificação de estoques de biomassa e de carbono em floresta estacional decidual, Vale do Rio Doce, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2008. 98 p.
- BORGES, L. M. *Amostragem aleatória de ramos como técnica para quantificar a produção de frutos de Caryocar brasiliense Camb. (Caryocaraceae)*. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009. 166 p.
- BROWN, S. & LUGO, A. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of Brazilian Amazon. *Interciencia*, v.17, n.1, 1992. p. 8-18.
- BROWN, S. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests*. FAO Forestry Paper, n. 134. 1997. 55p.

- BURGER, D. *Modelos alométricos para a estimativa da fitomassa de Mata Atlântica na Serra do Mar, SP*. Tese de Doutorado em Ecologia - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. 121 p.
- BUSTAMANTE, M. M. C. & OLIVEIRA, E. L. Impacto das atividades agrícolas, Florestais e Pecuárias nos Recursos Naturais. In: FALEIRO, F. G. & FARIAS NETO, A. L. *Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2008.
- CANCINO, J. Determinación del tamaño de la muestra en el muestreo RBS con selección sin reposición en la primera etapa. *Bosque*, v.26, n.1, 2005. p.65-75.
- CANCINO, J. & SABOROWSKI, J. Improving RBS estimates – effects of the auxiliary variable, stratification of the crown and deletion of segments on the precision of estimates. *Journal of Forest Science*, v.53, n.7, 2007. p.320-333.
- CASTILHO, C. V.; MAGNUSSON, W. E.; ARAUJO, R. N. O.; LUIZÃO, R. C. C.; LIMA, A. P. & HIGUCHI, N. Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian Forest: Effects of soil and topography. *Forest Ecology and Management*, n. 234, 2006. p. 85-96.
- CASTRO, E. A. *Biomass, nutrient pools and response to fire in the Brazilian Cerrado*. Oregon, MS Thesis – Oregon State University, 1996. 118 p.
- CASTRO, E. A. & KAUFFMANN, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root biomass and consumption by fire. *Journal of Tropical Ecology*, v.14, 1998. p.263-283.
- CORAIOLA, M. & PÉLLICO NETTO, S. Análise da estrutura dimensional de uma floresta estacional semidecidual localizada no município de Cássia – MG: estrutura volumétrica. *Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais*, v1, n.4, 2003. p. 11-24.
- CUNHA, U. S.; MACHADO, S. A. & FIGUEIREDO FILHO, A. Uso de análise exploratória de dados e de regressão robusta na avaliação do crescimento de espécies comerciais de terra firme da Amazônia. *Revista Árvore* [online]. v.26, n.4, 2002, p. 391-402.

- DE GIER, A. Woody biomass assessment in woodlands and shrublands, off-forest tree resoucers of Africa, ITC. 1999.
- DELITTI, W. B. C. & BURGER, D. M. *Atlantic forests biomass estimates, Brazil. In The Earth's Changing land GCTE-LUCC*. Opens Science Conference on Global Change, Barcelona, 1998. p341.
- DIAS, B. F. S. *Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), Fundação Pró-Natureza (Funatura), Brasília, 1992.
- DRAPPER, N. R. & SMITH, H. *Applied regression analysis*. New York: John Wiley, 1981. 725p.
- DUCEY, M. J.; ZARIN, D. J.; VASCONCELOS, S. S. & ARAUJO, M. M. Biomass equations for forest regrowth in the eastern Amazon using randomized branch sampling. *Acta Amazônica* [online]. v.39, n.2, 2009, p. 349-360.
- EITEN, G. *Vegetação do Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. Brasília: Editora UnB, 1990.
- EVANS, A. M. *A randomized branch sampling method for Hemlock woolly Adelgid*. Third Symposium on Hemlock Woolly Adelgid, p.63-72, 2005.
- EVANS, A. M. & GREGOIRE, T. G. The tree crown distribution of hemlock woolly adelgid, *Adelges tsugae* (Hem., Adelgidae) from randomized branch sampling. *Journal of Applied Entomology*. v.131, n.1, 2007. p. 26-36.
- FELFILI, J. M. *Plantas da APA gama e cabeça de veado: espécies, ecossistemas e recuperação*. Brasília: Universidade de Brasília, 2002.
- FELFILI, J. M. & SILVA-JÚNIOR, M. C. Diversidade alfa e beta no cerrado sensu strictu, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia. In: SCARIOT et al. (orgs). *Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.
- FELFILI, J. M., NASCIMENTO, R. T. N., FAGG, C. W., MEIRELLES, E. M. Floristic composition, and community structure of a seasonally deciduous dry forest on

limestone outcrop in Central Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*. v. 30, n. 4, 2007, p. 375-385.

FEARNSIDE, P. M. Forest biomass in Brazilian Amazônia: Comments on the estimate by Brown and Lugo. *Interciência*, v.17, 1992. p. 19-27.

FEARNSIDE, P. M. Biomassa das florestas amazônicas brasileiras. In: *Anais do Seminário Emissão x Seqüestro de CO₂: Uma Oportunidade de Negócios para o Brasil*. Companhia Vale do Rio Doce, Rio de Janeiro, 1994.

FRANCO, A. C. Biodiversidade de forma e função: implicações ecofisiológicas das estratégias de utilização de água e luz em plantas lenhosas do Cerrado. In: Scariot et al. (orgs). *Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

FROST, P. Responses of savannas to stress and disturbance. A proposal for collaborative program of research. *Biology International Special Issue*, v.10, 1986. p.1-82.

GAFFREY, D. & SABOROWSKI, J. RBS, a multistage inventory method for estimating tree characteristics. I. Estimating needle and branch dry mass of 66-year-old Douglas fir trees. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, v.170, 1999, p.177-183.

GARCÍA-NÚÑEZ, C.; AZÓCAR, A. & SILVA, J. F. Fruit, seed production and sizes structure in some evergreen tree species of the Venezuelan Savannas. VIII Simpósio sobre o Cerrado e I International Symposium on Tropical Savannas, 1996, Brasília. *Anais*, 1996. p. 284-289.

GOOD, M.; PATERSON, M.; BRACK, C. & MENGERSEN, K. Estimating tree component biomass using variable probability sampling methods. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, v.6, 2001. p.258-267.

GOVE, J. H.; DUCEY, M. J. & VALENTINE, H. T. Multistage point relascope and randomized branch sampling for downed coarse woody debris estimation. *Forest Ecology and Management*, v.155, 2002. p.153–162.

- GREGOIRE, T. G.; VALENTINE, H. T. & FURNIVAL, G. M. Sampling methods to estimate foliage and other characteristics of individual trees. *Ecology*, v.76, n.4, 1995. p.1181-1194.
- GREGOIRE, T. G.; VALENTINE, H. T. Sampling methods to estimate stem length and surface area of tropical tree species. *Forest Ecology and Management*, v.83, 1996. p.229-235.
- GREGOIRE, T. G.; VALENTINE, H. T. *Sampling strategies for natural resources and the environment*. New York: Chapman & Hall/CRC, 2007. 474p.
- Haidar, R. F. Fitossociologia, diversidade e sua relação com variáveis ambientais em florestas estacionais do bioma cerrado no planalto central e nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais - Universidade de Brasília, Brasília, 2007. 254 p.
- HARIDASAN, M. Nutrição mineral de plantas nativas do Cerrado. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v.12, n.1, 2000. p. 54-64.
- HIGUCHI, N. & CARVALHO JR., J. A. *Fitomassa e Conteúdo de Carbono de espécies da Amazônia*. In: *Seminário Emissão x Seqüestro de CO₂ – Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil*. Rio de Janeiro. 1994. Companhia Vale do Rio Doce - Rio de Janeiro, 1994. p.125 – 154
- IMANA-ENCINAS, J.; SANTANA, O. A.; PAULA, J. E. & IMANA, C. R. Equações de volume de madeira para o cerrado de Planaltina de Goiás. *Floresta*, v.39, n.1, 2009. p.107-116.
- JESSEN, R. J. Determining the fruit count on a tree by randomized branch sampling. *Biometrics*, v.11, n.1, 1955, p.99-109.
- JORDAN, C. F. & UHL, C. Biomass of a terra firme forest of the Amazon Basin. *Oecol. Plantar*, v.13, 1978. p. 387-400.
- KLINK, C. A.; MACEDO, R. F.; MUELLER, C.C. De Grão em Grão, o Cerrado Perde Espaço (Cerrado - Impactos do Processo de Ocupação). WWF Fundo Mundial para a Natureza. Brasília, 1995.

- KLINK, C. A. & SOLBRIG, O. T. Efeito do fogo na biodiversidade de plantas do Cerrado. In: *Biodiversidad y Funcionamiento de Pastizales y Sabanas en América Latina*. G. Sarmiento & M. Cabido (eds.). CYTED y CIELAT, Venezuela, 1996. p.231-244.
- KLINK, C. A. Relação entre o desenvolvimento agrícola e a biodiversidade. In: R.C. Pereira, L. C. B. Nasser (Eds.). VIII Simpósio sobre o Cerrado, 1st International Symposium on Tropical Savanas - Biodiversidade e Produção Sustentável de Alimentos e fibras nos Cerrados. *Anais...Embrapa CPAC*. Brasília-DF, 1996. p. 25-27.
- KLINK, C. A. & MACHADO, R. B. *A conservação do Cerrado brasileiro*. In: *Megadiversidade*. Conservation International – Brasil, vol. 1, 2005.
- LEITE, H. G. & ANDRADE, V. C. L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. *Rev. Árvore*, v.26, n.3, 2002. p. 321-328.
- LEITÃO-FILHO, H. F. Considerações sobre a florística de florestas tropicais e subtropicais do Brasil. *IPEF*, v.35, 1987. p.41-46,
- LÔBO, R. N. *Método de Amostragem Aleatória de Ramos (AAR) como técnica para estimar volume, biomassa e estoque em cerrado sensu-stricto*. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009. 80p.
- MACHADO, S. A. & FILHO, A. F. *Dendrometria*. Curitiba, 2003. 309 p.
- MACHADO, R. B.; RAMOS NETO, M. B.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. *Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro*. Relatório técnico. Conservação Internacional. Brasília, 2004. 23p.
- MACHADO, S. A & FIGUEIREDO FILHO, A. *Dendrometria*. 2.ed. Guarapuava: UNICENTRO. 2006. 316p.
- MARTINELLI, L. A.; MOREIRA, M. Z.; BROWN, I. F.; VICTORIA, R. L. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais. Seminário emissão x

seqüestro de CO₂ – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. 1994, Rio De Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: CURD, 1994. p. 197-22.

- MENDONÇA, G. V.; REZENDE, A. V. & SILVESTRE, R. Composição florística e estrutura da comunidade arbórea de uma Floresta Estacional Decidual, sobre afloramento calcário, no Tocantins. *Revista Científica Eletronica de Engenharia Florestal*, v. 16, 2010, p. 31-49.
- MEYER, H. A. Structure, growth and drain in balanced uneven-aged forests. *Journal of Forestry*, v. 50, 1952. p. 85-92.
- MEYER, H. A.; RECKNAGEL, A. B.; STEVENSON, D. D. & BARTOO, R. A., *Forest Management*. The Ronald Press Company, 2.ed, 1961. 282 p.
- MIRANDA, A. C.; MIRANDA, H. S.; LLOYD, J.; GRACE, J.; FRANCEY, R. J.; MCINTYRE, J. A.; MEIR, P.; RIGGAN, P.; LOCKWOOD, R. & BRASS, J. Fluxes of carbon, water and energy over Brazilian cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. *Plant, Cell Environ.* v.20, 1997, p.315-328.
- MURPHY, P. G. & LUGO, A. E. Structure and biomass of a subtropical dry forest in Puerto Rico. *Biotropica*, v. 18, 1986, p 89-96.
- MYERS, N., MITTERMEIER, R. A., MITTERMEIER, C. G., FONSECA, G. A. B. & KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. v.403, 2000, p.853-858.
- MONTES, N., GAUQUELIN, T., BADRI, W., BERTAUDIÈRE, V. & ZAOUIEL, H. A non-destructive method for estimating above-ground forest biomass in threatened woodlands. *Forest Ecology and Management*, v. 130, 1999. p. 37-46.
- NASCIMENTO, A. R. T., FELFILI, J. M. & MEIRELLES, E. M. Florística e estrutura da comunidade arbórea de um remanescente de floresta estacional decidual de encosta, Monte Alegre, GO, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*. v.18, n.3, 2004. p.659-669.
- OTTMAR, R. D.; VIHANEK, R. E.; MIRANDA, H. S.; SATO, M. N. & ANDRADE, S. M. A. *Séries de estéreo-fotografia para quantificar a biomassa da vegetação do cerrado no Brasil Central*. USAID, UnB, Brasília, 2001. 88p.

- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; CURI, N.; VILELA, E. A. & CARVALHO, D. A. Effects of canopy gaps, topography, and soils on the distribution of woody species in a central Brazilian deciduous dry forest. *Biotropica*, v. 30, n. 3, 1998. p. 362-375.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T & RATTER, J. A. Vegetation physiognomies and wood flora of the cerrado biome. In: *The cerrados of Brazil: ecology and natural history of Neotropical Savanna*. Columbia University, New York, Columbia University, 2002. p. 91-120.
- PAIVA, A. O. *Avaliação do estoque de carbono em cerrado sensu stricto da Fazenda Água Limpa - UnB, Distrito Federal*. Trabalho de conclusão de curso. UnB, Brasília, 2006. 54p.
- PAULA, J. E.; IMAÑA-ENCINAS, J. & SUGIMOTO, N. Levantamento quantitativo em três hectares de vegetação de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 33, n. 5, 1998, p. 613-620.
- PÉLICO NETTO, S. & BRENA, D. A. *Inventário Florestal*. Curitiba. Editorado pelos autores. 1997. 316p.
- PEREIRA, B. A. S.; VENTUROLI, F. & CARVALHO, F. A.. FLORESTAS ESTACIONAIS NO CERRADO: UMA VISÃO GERAL. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. v. 41, 2011, p. 446-455.
- PIMENTEL GOMES, F. *Curso de Estatística Experimental*. 14. Ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477p.
- RAULIER, F.; BERNIER, P. & UNG, C. H. Canopy photosynthesis of sugar maple (*Acer saccharum*) comparing big-leaf and multilayer extrapolations of leaf-level measurements. *Tree Physiology*. v. 19, 1999, p. 407–420.
- RATTER, J. A.; ASKEW, G. P.; MONTGOMERY, R. F.; GIFFORD, D. R. Observações adicionais sobre o Cerradão de solos mesotróficos no Brasil Central. In: Ferri, M. (Coord.). *IV Simpósio sobre o Cerrado - bases para utilização agropecuária*. EDUSP, São Paulo, Ed. Itatiaia, Belo Horizonte, 1977.

- RATTER, J. A., ASKEW, G. P., MONTGOMERY, R. F. & GIFFORD, D. R. Observations on forests of some mesotrophic soils in central Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, v.1, 1978. p.47-58.
- REATTO, A.; CORREIA, J. R. & SPERA, S. T. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO & ALMEIDA (eds.). *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina, DF. EMBRAPA/CPAC, 1998. p.47-86.
- REZENDE, A. V. *Diversidade, estrutura, dinâmica e prognose do crescimento de um cerrado sensu stricto submetido a diferentes distúrbios por desmatamento*. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002. 243 p.
- REZENDE, A. V. & FELFILI, J. M. Avaliação do estoque de carbono do cerrado *sensu stricto* do Brasil Central. *Comunicações Técnicas Florestais*. Universidade de Brasília. v. 6, n. 2, 2004. 27p.
- REZENDE, A. V.; VALE, A. T.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A. & FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. *Scientia Forestalis*. n. 71, 2006, p. 65-76.
- RIBEIRO, J. F. & WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: S. SANO & ALMEIDA, S. P. (eds.). *Cerrado - ambiente e flora*. EMBRAPA-CPAC, Planaltina - DF, p. 89-169, 1998.
- RIBEIRO, J. F. & WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. & RIBEIRO, J. F. *Cerrado: ecologia e flora*. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2008. 1279p.
- ROCHA, C. C. C. *Estimativa de volume, biomassa verde e seca e carbono da vegetação lenhosa em Floresta Estacional Decidual localizada no estado do Goiás*. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais - Universidade de Brasília, Brasília, 2010. 80p.
- RODIN, P. *Distribuição da biomassa subterrânea e dinâmica de raízes finas em ecossistemas nativos e em uma pastagem plantada no Cerrado do Brasil Central*.

Dissertação de Mestrado em Ecologia – Universidade de Brasília, Brasília, 2004. 88p.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R. *et al.* (Eds.). *As florestas e o carbono*. Curitiba, 2002. p. 119-140.

SCARIOT, A. & SEVILHA, A. C. Biodiversidade, estrutura e conservação de florestas estacionais decíduais no Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUZA-SILVA, J. C. & FELFILI, J. M. (orgs.). *Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação*. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 122-139.

SCOLFORO, J. R. S.; FIGUEIREDO, A. F. *Biometria Florestal*. Lavras, UFLA/FAEPE, 1998. 310p.

SCOLFORO, J. R. S.; THIERSCH, C. R. *Biometria Florestal: Medição, Volumetria e Gravimetria*. Textos Acadêmicos. UFLA, Lavras, 2004. 285 p.

SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. & ACERBI JUNIOR, F. W. *Inventário florestal de Minas Gerais: equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fitofisionomias da flora nativa*. 1. Ed. Lavras: Editora UFLA, Lavras, 2008. v. 1. 216p.

SILVA, J. A. A. *Análise de equações volumétricas para construção de tabelas de volume comercial para Eucalyptus spp., segundo a espécie, região e método de regeneração*. Dissertação de Mestrado em Manejo Florestal - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG, 1977. 93p.

SILVA, L. A. & SCARIOT, A. Composição florística e estrutura da comunidade arbórea em uma floresta estacional decidual em afloramento calcário (Fazenda São José, São Domingos, GO, Bacia do Rio Paranã). *Acta Botanica Brasilica*. v. 17, n. 2, 2003. p. 305-313.

SILVA, L. A. & SCARIOT, A. Composição e estrutura da comunidade arbórea de uma floresta estacional decidual sobre afloramento calcário no Brasil central. *Revista Árvore*. v. 28, n. 1, 2004. p. 69-75.

- SILVEIRA, P.; KOEHLER, H.; SANQUETTA, C. & ARCE, J. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. *Floresta*. v. 38, n. 1, 2008. P. 185-206.
- SOARES, C. P. B.; NETO, F. P. & SOUZA, A. L. *Dendrometria e Inventário Florestal*. Ed. UFV, 2006. 278 p.
- THOMAS, C.; ANDRADE, C.; SCHINEIDER, P. & FINGER, C. Comparações de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. *Ciência Florestal*, v. 16, n. 3, 2006. p. 319-32
- TRIBONI, H. R. & BARBOSA, J. C. Estimativa do número de frutos por amostragem de parte da copa em laranjeiras. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 26, n. 3, 2004. p. 454-458,
- VALE, A. T. *Caracterização da biomassa lenhosa de um cerrado sensu stricto da região de Brasília para uso energético*. Tese de Doutorado em Agronomia, Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2000. 111p.
- VALE, A. T. & FELFILI, J. M. Dry biomass distribution in a cerrado *sensu stricto* site in Brazil central. *Revista Árvore*, v. 29, n. 5, 2005. p. 661-669.
- VALENTINE, H. T.; TRITTON, L. M. & FURNIVAL, G. M. Subsampling trees for biomass, volume or mineral content. *Forest Science*, v.30, 1984. p. 673-681.
- VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R. & LIMA, J. C. A. *Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal*. IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro, 1991.
- VENTUROLI, F. *Manejo de Floresta Estacional Semidecídua Secundária em Pirenópolis, Goiás*. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008. 186p.
- WANG, X.; FENG, Z. & OUY ANG, Z. The impact of human disturbance on vegetative carbon storage in forest ecosystems in China. *Forest Ecology and Management*. v. 148, 2001, p. 117–123.

WILLIAMS, R. A. Use of randomized branch and importance sampling to estimate loblolly pine biomass. *Southern Journal of Applied Forestry*, v.13, 1989, p.181-184.

ZAR, J. H. *Bioestatistical analysis*. 4.ed. New Jersey. Prentice Hall, 1999. 941p.