

**ESTIMATIVA DO VOLUME DE MADEIRA A PARTIR DO
DIÂMETRO DA CEPA EM UMA ÁREA EXPLORADA DE
FLORESTA AMAZÔNICA DE TERRA FIRME**

FLÁVIA SALTINI LEITE

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

ESTIMATIVA DO VOLUME DE MADEIRA A PARTIR DO
DIÂMETRO DA CEPA EM UMA ÁREA EXPLORADA DE
FLORESTA AMAZÔNICA DE TERRA FIRME

FLÁVIA SALTINI LEITE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

Aprovado por:

Alba Valéria Rezende (Universidade de Brasília – UnB)

(Orientadora)

Nilton César Fiedler (Universidade Federal do Espírito Santo – UFES)

(Examinador externo)

Mauro Eloi Nappo (Universidade de Brasília – UnB)

(Examinador interno)

Reginaldo Sérgio Pereira (Universidade de Brasília – UnB)

(Suplente)

Brasília, 29 de fevereiro de 2008.

FICHA CATALOGRÁFICA

LEITE, FLÁVIA SALTINI

Estimativa do Volume de Madeira a partir do Diâmetro da Cepa em uma Área Explorada de Floresta Amazônica de Terra Firme [Distrito Federal] 2008.

74p., 210 x 297 mm (EFL/FT/UnB, Mestre, Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia).

Departamento de Engenharia Florestal

1. Volume de madeira 2. Diâmetro da cepa 3. Equação de volume 4. Floresta Amazônica
4. Exploração Florestal 5. Fiscalização de Desmatamento 6. Manejo Florestal

I. EFL/FT/UnB

II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LEITE, F.S. (2008). Estimativa do Volume de Madeira a partir do Diâmetro da Cepa em uma Área Explorada de Floresta Amazônica de Terra Firme. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Publicação 2008, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 74p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Flávia Saltini Leite.

TÍTULO: Estimativa do Volume de Madeira a partir do Diâmetro da Cepa em uma Área Explorada de Floresta Amazônica de Terra Firme.

GRAU: Mestre

ANO: 2008

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Flávia Saltini Leite

AOS 4 – Bloco B – Apt. 418

70660-042 Brasília – DF – Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe e ao meu pai que sempre me acompanharam em todas as etapas e obstáculos da minha vida.

Ao meu amado Cláudio pela compreensão e auxílio nos dias difíceis e nos dias de impaciência.

À minha orientadora Alba pela atenção e por estar presente, sempre que possível, para sanar minhas dúvidas.

À Izabel madeiras do Brasil (IBL) por me receber na Fazenda Água Azul I (área de trabalho) e pelo apoio logístico local e à Engenheira Sílvia por me apresentar a empresa, por aceitar que eu desenvolvesse minha pesquisa nas áreas da empresa e por ter me disponibilizado parte da equipe e equipamentos necessários para a mesma.

Ao Allan, analista ambiental da diretoria de floresta do IBAMA, que me auxiliou na busca de empresas para realizar minha pesquisa e me passou os contatos da IBL, além de disponibilizar material sobre o Manejo Florestal e demais conhecimentos.

Ao Rober, aluno da graduação da UnB, que me ajudou na primeira coleta de dados em Breu Branco.

À coordenação da Pós-Graduação em Ciências Florestais pela intermediação junto ao DPP, para conseguir as passagens para coleta de dados.

À todas as pessoas que me auxiliaram no trabalho de campo, pois sem a ajuda deles esta dissertação não seria possível.

Ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília (UnB) que me ofereceu a oportunidade de desenvolver trabalhos em ciência aplicada.

Dedicado a Deus; aos meus pais Sandra e Henrique, que me proporcionaram uma educação de qualidade, que sempre me deram força para eu me aprimorar na profissão e seguir minha carreira de Engenheira Florestal. Dedico também ao meu noivo Cláudio, que sempre me incentivou a fazer mestrado e que, nos momentos de desânimo, me deu forças para continuar.

RESUMO

ESTIMATIVA DO VOLUME DE MADEIRA A PARTIR DO DIÂMETRO DA CEPA EM UMA ÁREA EXPLORADA DE FLORESTA AMAZÔNICA DE TERRA FIRME

Autor: Flávia Saltini Leite

Orientadora: Alba Valéria Rezende

Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais

Brasília, 29 fevereiro de 2008

Este estudo foi realizado em uma área de floresta tropical de terra firme, no município de Breu Branco, PA, com o objetivo de estimar o volume de árvores considerando apenas o diâmetro da cepa (toco), buscando atender às necessidades de técnicos de fiscalização, que precisam estimar com precisão o volume de árvores em áreas que foram desmatadas ilegalmente ou que apresentam suspeitas de irregularidade no corte, mesmo com plano de manejo, e cujo único testemunho do desmatamento ou da irregularidade, são as cepas das árvores exploradas. A área de estudo pertence a empresa IBL (Izabel Madeiras do Brasil Ltda) que teve o seu plano de manejo vistoriado e autorizado pelo IBAMA. Para este estudo foi realizada a cubagem rigorosa de 113 árvores com DAP ≥ 51 cm, pertencentes a diferentes espécies. A escolha das espécies e das árvores a serem cubadas foi feita em função do que estava estabelecido no plano de manejo da empresa. As árvores foram cubadas utilizando o método de Hohenadl, considerando a divisão do tronco comercial em 10 seções de comprimentos iguais. A fórmula de Smalian foi utilizada no cálculo do volume de cada seção da tora. Várias equações de volume foram ajustadas para estimar o volume comercial das árvores em função da variável diâmetro da cepa. Equações de volume em função do DAP e do DAP e altura também foram ajustadas para efeito de comparação. Devido à presença de árvores com sapopema cujas cepas não cilíndricas apresentam formas bastante irregulares, foram testadas metodologias para estimar o diâmetro da cepa (d_0) que, geralmente é medido a 30 cm acima da interferência da sapopema. Os resultados mostraram que d_0 apresenta boa relação com o volume comercial de árvores em floresta de terra firme, e pode ser utilizado no ajuste de modelos matemáticos visando estimar o volume comercial de árvores. Não foi observada diferença significativa entre os valores reais de volume comercial de árvores e os volumes estimados, gerados a partir de uma equação linear ajustada em função de d_0 , demonstrando que é possível obter com

precisão, informações de volume a partir do diâmetro da cepa. A precisão de equações volumétricas geradas a partir de d_0 se compara a precisão de equações volumétricas geradas somente em função do DAP, considerando um nível de significância de 5% pelo teste t. Os resultados mostram também que é possível estimar d_0 de árvores com sapopema cujas cepas não cilíndricas apresentam formas bastante irregulares, a partir de medições do diâmetro médio da cepa, ou ao nível do solo (\bar{D}_{cs}) ou na altura de corte da cepa (\bar{D}_{cc}). A razão entre d_0 e \bar{D}_{cs} ou entre d_0 e \bar{D}_{cc} , pode ser utilizada para obter fatores médios de estimação de d_0 . Estimativas de d_0 foram precisas (5%) quando obtidas a partir de um fator de estimação médio para a população amostrada, gerado a partir de \bar{D}_{cs} ou então quando obtidas a partir de equações matemáticas que estimam o fator de estimação em função de \bar{D}_{cs} e \bar{D}_{cc} . Desta forma, ao se utilizar uma equação de volume em função de d_0 para estimar o volume de uma árvore com cepa não cilíndrica e com forma irregular, e não se conhecendo d_0 , é possível obter d_0 , conhecendo o fator de estimação da árvore (equação) ou utilizando um fator de estimação médio para a área estudada, que seja obtido a partir de \bar{D}_{cs} . Os resultados deste estudo permitem concluir, portanto, que é possível estimar o volume de árvores em áreas de floresta de terra firme que foram desmatadas ilegalmente e que não existe informações sobre o volume de madeira colhido, medindo-se apenas o diâmetro das cepas que ficaram na área após a exploração.

ABSTRACT

ESTIMATION OF THE WOOD VOLUME FROM THE DIAMETER OF TRUNK LEFTOVER IN AN EXPLOITED AREA IN THE AMAZON FOREST OF “TERRA FIRME”

Author: Flávia Saltini Leite

Supervisor: Alba Valéria Rezende

Forestry Graduate Program

Brasília, 29 February of. 2008

This research was carried within an area of tropical forest of “terra-firme”, in Breu Branco, Pará, in order to estimate the volume of trees, considering only the diameter of the trunks leftovers, which is necessary for the overseers to precisely estimate the volume of trees that were either illegally took away or were inappropriately cut off, even if respected the forest management plan. The area belongs to the company IBL (Izabel Madeiras do Brasil Ltda), which forest management plan was inspected and authorized by IBAMA. A total of 113 trees with $DBH \geq 51$ cm, of different species and diameter classes were selected to determine the real cubic volume of commercial trunk. The selection of the species and trees was done according to the company’s forest management plan set. The trees were cubed by the method of Hohenadl considering the division of the commercial trunk in ten sections of equals lengths and the volume of each section of the trunk was determined by the Smalian formula. Equations were adjusted to estimate the commercial volume of the trees in function of trunks leftovers (d_0). Equations of commercial volume in function of DBH and DBH and height were adjusted too, to comparisons. Due to the presence of trees with irregular shape and non-cylindrical trunks leftovers by the buttresses, different methodologies were tested to estimate the trunks leftovers diameter (d_0), which is often measured 30 cm above the meeting with the buttresses. The results showed that d_0 has a high correlation with the commercial volume of trees within an area of forest of “terra firme” and it can be used in the adjustment of mathematical models in order to estimate the commercial volume of trees. No significant difference between the real and the estimated volume of trees – generated through an adjusted linear equation in function of d_0 was found. Therefore it is possible to precisely obtain the volume of trees from their d_0 . The precision of volume equations generated from the d_0

compares to those generated from the DBH, within a significance level of 5% by the t test. The results also showed that it is possible to estimate d_0 of non-cylindrical trunks by measuring the diameter either on the soil level (\bar{D}_{cs}) or on the cut level (\bar{D}_{cc}). Factors of estimation of d_0 obtained by the ratio between either d_0 and \bar{D}_{cs} or by the ratio between d_0 and \bar{D}_{cc} , can be used to estimate d_0 . The estimations of d_0 were precise (5%) when obtained either from an average estimation factor, generated from \bar{D}_{cs} , for the sampled population or from mathematical equations that estimates the estimation factor as a function of \bar{D}_{cs} and \bar{D}_{cc} . Therefore, whenever one uses a volume equation as a function of an unknown d_0 to estimate the volume of a tree with a non-cylindrical trunk and an irregular shape, it is possible to obtain d_0 either by the estimation factor of the tree (equation) or the average estimation factor of the area of the study, obtained from \bar{D}_{cs} . Hence, the results leads to conclude that it is possible to estimate the volume of trees within an illegally deforested area of land, where there is no data about the harvested volume of wood, by measuring the diameter of the trunk leftovers remained after the exploitation.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
SUMÁRIO	x
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. HIPÓTESE	3
1.2. OBJETIVO GERAL	3
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. BIOMA AMAZÔNIA	4
2.2. EXPLORAÇÃO CONVENCIONAL E DESMATAMENTO	7
2.3. MANEJO FLORESTAL	10
2.4. LEGISLAÇÃO APLICADA AO MANEJO FLORESTAL	11
2.5. FISCALIZAÇÃO	12
2.5.1. Desmatamento	12
2.5.2. Manejo Florestal	12
2.6. MÉTODOS DE OBTENÇÃO DO VOLUME DE ÁRVORES	13
2.6.1 – Cubagem por Smalian	16
2.6.2 – Cubagem por Huber	17
2.6.3 – Cubagem por Newton	18
2.6.4 – Cubagem por Hohenadl	18
2.6.5 – Métodos de cubagem adotados pelo IBAMA	19
2.6.6. Métodos Estimativos do Volume de Árvores	20
2.6.6.1 – Fator de forma	20
2.6.6.2 – Modelos e equações de volume	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	24
3.2. COLETA DE DADOS	26

3.2.1. Seleção e Cubagem das Árvores	26
3.2.2. Determinação do volume comercial das árvores	29
3.2.3. Medição do diâmetro da cepa das árvores com sapopema	30
3.3. ANÁLISE DE DADOS	33
3.3.1. Modelos volumétricos	33
3.3.1.1. Ajuste de modelos volumétricos em função do diâmetro da cepa (d_0)	34
3.3.1.2. Ajuste de modelos volumétricos em função do DAP e do DAP e altura	35
3.3.2. Critério para seleção dos melhores modelos	35
3.3.2.1. Coeficiente de Determinação (R^2).....	35
3.3.2.2. Erro Padrão da Estimativa (S_{yx})	36
3.3.2.3. Distribuição gráfica dos valores residuais	36
3.3.3. Correção da Discrepância Logarítmica	36
3.3.4. Estimativa do diâmetro da cepa em árvores com cepas de formas irregulares .38	
3.3.4.1. Uso de um fator de estimação médio do diâmetro da cepa	38
3.3.4.2. Uso de modelos matemáticos para estimar um fator de estimação do diâmetro da cepa.....	38
3.3.5. Validação das equações volumétricas e das equações de estimação do diâmetro da cepa selecionadas	39
3.3.5.1. Equações Volumétricas	40
3.3.5.2. Fator de estimação do diâmetro da cepa para árvores com cepas irregulares	41
4. RESULTADOS e DISCUSSÃO	42
4.1. ESTIMATIVA DO VOLUME COMERCIAL	42
4.1.1. Volume comercial estimado a partir do diâmetro da cepa (d_0)	42
4.1.2. Volume comercial estimado a partir do DAP e do DAP e altura	43
4.2. VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE VOLUME	47
4.2.1. Validação da equação para estimar o volume comercial a partir do diâmetro da cepa (d_0)	47
4.2.2. Equação para estimar o volume comercial a partir do diâmetro da cepa (d_0) versus equação para estimar o volume comercial a partir do DAP	47
4.3. ESTIMATIVA DO FATOR DE ESTIMAÇÃO DO DIÂMETRO DA CEPA EM ÁRVORES COM CEPAS IRREGULARES	48

4.3.1. Seleção do melhor modelo.....	48
4.3.2. Validação dos fatores de estimação do diâmetro da cepa gerados a partir das equações selecionadas para estimar o fator de estimação e a partir do fator de estimação médio.....	50
4.3.3. Validação da equação para estimar o volume comercial a partir do diâmetro da cepa (d_0) utilizando os diâmetros da cepa estimados	51
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	52
5.1. CONCLUSÕES GERAIS	52
5.2. RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Modelos de equações para a estimativa do fator forma artificial.....	22
Tabela 2.2 - Equações de volume, de acordo com Loetsch <i>et al.</i> (1973; citado por Schneider, 1993).....	23
Tabela 3.1 - Modelos volumétricos testados para estimar volume comercial em função do diâmetro da cepa (d_0) e também para estimar volume comercial em função do DAP das árvores de uma floresta de terra firme localizada no município de Breu Branco (PA).....	34
Tabela 3.2 - Modelos volumétricos testados para estimar volume comercial em função do DAP e altura das árvores de uma floresta de terra firme.....	35
Tabela 3.3 - Modelos matemáticos testados para estimar o fator de estimação do diâmetro da cepa.....	39
Tabela 4.1 - Estimadores dos parâmetros e medidas de precisão das equações ajustadas para estimar o volume comercial de árvores em função do diâmetro da cepa (d_0), para uma área de floresta de terra firme.	42
Tabela 4.2 - Estimadores dos parâmetros e medidas de precisão das equações ajustadas para estimar o volume comercial de árvores em função do DAP, para uma área de floresta de terra firme.	45
Tabela 4.3 - Estimadores dos parâmetros e medidas de precisão das equações ajustadas para estimar o volume comercial de árvores em função do DAP e altura total, para uma área de floresta de terra firme.	45
Tabela 4.4 - Estimadores dos parâmetros e medidas de precisão das equações ajustadas para calcular o fator de estimação do diâmetro da cepa (d_0) a partir da variável diâmetro da cepa tomado ao nível do solo (F_{cs}), para uma área de floresta de terra firme.....	49
Tabela 4.5 - Estimadores dos parâmetros e medidas de precisão das equações ajustadas para calcular o fator de estimação do diâmetro da cepa (d_0) a partir da variável diâmetro da cepa tomado ao nível do corte (F_{cc}), para uma área de floresta de terra firme.	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Formas que o tronco de uma árvore pode assumir (Husch <i>et al.</i> , 1982; Soares <i>et al.</i> , 2006).....	14
Figura 2.2 – Esquema de cubagem por Huber (Machado e Filho, 2003).....	17
Figura 2.3 - Esquema para cubagem de Hohenadl original (cinco seções) (Machado e Filho, 2003).....	18
Figura 3.1 - Mapa de localização dos pontos extremos dos talhões estudados no município de Breu Branco, com localização lateral deste no estado do Pará.	24
Figura 3.2 - Teste de oco realizado pelo motosserrista visando detectar a presença de espaço oco no interior da árvore e avaliar se será derrubada.	27
Figura 3.3 - Seqüência de procedimentos realizados após a árvore ser considerada boa para o abate: Medição do diâmetro (a); abertura da rota de fuga (b); corte da árvore com motosserra para derrubada (c) e limpeza da tora para a cubagem (d).....	28
Figura 3.4 - Divisão do tronco comercial (hcomer) em dez seções pelo método de Hohenadl (S_1 a S_{10}), localização dos dez diâmetros medidos, do diâmetro da cepa (d_0) e diâmetro da ponta (d_p).	29
Figura 3.5 - Cepas irregulares com presença de sapopema: vista superior da cepa (a) e lista lateral da cepa (b).	30
Figura 3.6 – Vista superior de uma cepa pertencente a uma árvore com fuste cilíndrico.....	31
Figura 3.7 – Demonstrativo das projeções de medidas dos diâmetros das cepas e da posição de medida das alturas da boca (h_b) e da cepa (h_c).	31
Figura 3.8 - Esquema da vista superior de uma cepa com exemplos de posições utilizadas para medir quatro diâmetros.....	32
Figura 4.1 - Distribuição dos resíduos em porcentagem em função do diâmetro da cepa (d_0) em cm, para as equações estudadas.....	44

1. INTRODUÇÃO

O modelo de uso predatório das florestas nativas no Sul e no Sudeste do Brasil teve início com a exploração da Mata Atlântica, após a chegada dos portugueses no ano 1500. Este mesmo modelo, segundo Higuchi (2000), vem se repetindo na Floresta Amazônica e já resultou em mais de 50 milhões de hectares de área desmatada. Cerca de 80% do desmatamento na Floresta Amazônica foi realizado de forma ilegal (Greenpeace, 1999; Fundação Floresta Tropical *et al.*, 2006).

O aumento contínuo da população e as pressões econômicas resultam, inexoravelmente, no desmatamento e na fragmentação florestal. A exploração predatória, as queimadas e os incêndios têm sido ameaças constantes à conservação do patrimônio florestal brasileiro e ao uso sustentável de seus recursos e, colocam igualmente em risco a conservação do solo, dos recursos hídricos, da biodiversidade e do equilíbrio climático, os quais dependem da preservação e do bom uso de nossas florestas. Além disso, estas formas de impacto catalisam o empobrecimento econômico e social da região a médio e longo prazo.

A expressiva cobertura vegetal Amazônica tem papel fundamental no processo de regulação do clima. Na Amazônia, 50% da umidade circulante é mantida dentro das florestas. A retirada da vegetação pelo desmatamento impede a retenção de umidade em uma determinada área e, conseqüentemente, favorece o dessecamento na atmosfera e no clima da região. Quando grandes áreas de florestas são destruídas, a alteração no clima estende-se também para outras áreas no entorno, pois a área limpa reflete a radiação solar, provocando alterações nas correntes eólicas e nas chuvas em áreas distantes dos trópicos.

Muitas das práticas de exploração madeireira na Amazônia são extremamente danosas ao meio-ambiente, caracterizadas inicialmente pela entrada dos madeireiros na floresta para retirar apenas as espécies de alto valor e, em seguida, em intervalos cada vez mais curtos, os madeireiros retornam à mesma área para retirar o restante das árvores de valor econômico. O resultado é uma floresta com grandes clareiras e grande número de árvores danificadas. Essas práticas de exploração facilitam a entrada e a propagação do fogo, aumentam a densidade de espécies pioneiras sem valor comercial e dificultam a regeneração de espécies madeireiras, além de favorecer a ocupação desordenada da região (Amaral *et al.*, 1998). Nas áreas de fronteira, na maioria das vezes são os madeireiros que constroem e mantêm estradas de acesso

às florestas, o que geralmente conduz à colonização por pequenos agricultores e, em alguns casos, à invasão de unidades de conservação e terras indígenas.

A preocupação com a conservação ambiental no setor florestal brasileiro tem seus primeiros registros no primeiro Congresso Florestal Brasileiro, realizado na década de 1950. Mas, a tentativa de controlar o desmatamento desordenado iniciou oficialmente em 1965 quando o Código Florestal Brasileiro (artigo 15) definiu que as florestas da Amazônia só poderiam ser utilizadas a partir de planos de manejo. Em 1989, os Planos de Manejo Florestal, começaram a ser protocolados no IBAMA, com base nos critérios da Ordem de Serviço nº 001/89 - IBAMA/ DIREN, que disciplinavam a extração madeireira na Mata Atlântica, mas tinham abertura para utilização em todos os estados.

Na Amazônia, a primeira exigência técnica específica, a Instrução Normativa 080/91-IBAMA, surgiu após um processo de consulta junto a diversos segmentos, especialmente o de pesquisa. Com a edição do Decreto 1.282/94, que regulamentou o artigo 15 do Código Florestal e outros (Brasil, 1994), o poder público estabeleceu a Portaria nº 048/95 em substituição a Instrução Normativa 080/91. Após a alteração do Decreto 1282/94 pelo Decreto 2.788/98, foi estabelecido as Portarias 04, 05, e 06/98-IBAMA, com critérios diferenciados para a apresentação de Planos de Manejo Florestal Comunitário, Simplificado e Empresarial (grandes áreas) (Hummel, 2001). Atualmente a exploração de florestas e de formações sucessoras que compreende o regime de manejo florestal sustentável e o regime de supressão de florestas e formações sucessoras para uso alternativo do solo, passou a ser regulamentada pelo Decreto Nº 5.975 de 30 de novembro de 2006.

Mesmo com a normatização dada pela legislação, a adoção de técnicas de manejo depende de um sistema de controle sobre suas implementações, isto é, vistorias que devem ser conduzidas por órgão do governo sobre a atividade de manejo, durante a execução de seu Plano, assim como a intensificação da fiscalização de desmatamento ilegal no local e no transporte dos produtos de origem florestal.

Na tentativa de equacionar o problema do desmatamento no Brasil, o IBAMA e demais órgãos ambientais têm intensificado o controle ambiental por meio do fortalecimento da fiscalização e estímulo à adoção de tecnologias sustentáveis de manejo florestal. Alguns procedimentos de fiscalização são feitos ao se verificar atividades de desmatamento, manejo e transporte de produtos florestais. Quando constatada alguma irregularidade, os agentes lavram

o auto de infração, no caso de extração ilegal de madeira procede-se a medição da área atingida, em hectare, ou mede-se (cubagem) o produto florestal no local. Contudo, para o caso de áreas onde tenha ocorrido desmatamento ilegal e não se têm informações sobre o destino da madeira colhida, a fiscalização ainda não possui uma maneira confiável de estimar o volume de madeira que existia no local e que foi retirada pela exploração. Tal fato inviabiliza o computo dos danos e o cálculo da multa de forma precisa.

1.1. HIPÓTESE

Durante a avaliação pericial de um desmate é possível estimar com precisão o volume comercial das árvores baseando-se apenas na medição do diâmetro das cepas existentes no local, pertencentes às árvores que foram colhidas.

1.2. OBJETIVO GERAL

Estimar o volume de árvores em uma área de floresta de terra firme da Floresta Amazônica considerando apenas o diâmetro da cepa (toco), visando atender as necessidades de técnicos de fiscalização, que precisam estimar com precisão, o volume de árvores em áreas que foram ou desmatadas ilegalmente ou que apresentavam suspeitas de irregularidade no corte, mesmo com plano de manejo, e cujo único testemunho do desmatamento ou da irregularidade, são cepas das árvores exploradas.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Ajustar modelos volumétricos visando estimar o volume de árvores na floresta de terra firme, em função do diâmetro da cepa;
- b) Selecionar a melhor equação e validar sua precisão em relação aos valores reais observados em campo e em relação as equações que utilizam a variáveis DAP, que é a variável mais utilizadas na estimativa de volume real de árvores;
- c) Desenvolver metodologia para estimar o diâmetro da cepa de árvores com sapopema cujas cepas não cilíndricas, apresentam formas bastante irregulares.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. BIOMA AMAZÔNIA

Abrangendo quarenta por cento (40%) das florestas tropicais remanescentes no planeta, o Bioma Amazônia estende-se por nove países da América do Sul, totalizando uma área de 6,4 milhões de quilômetros quadrados (Lentini *et al.*, 2005). Desse total, a Amazônia Legal brasileira, instituída pelo governo brasileiro para fins de planejamento econômico, abrange os Estados do Amazonas, Acre, Roraima, Rondônia (Amazônia Ocidental); Amapá, Pará, Maranhão até o meridiano 44° Oeste, Tocantins e Mato Grosso (Amazônia Oriental) (Silva, 1989; Brasil, 1966; Brasil, 1977; ADA, 2006). O total da superfície é de aproximadamente 5.217.423 km², ou cerca de 61% do território brasileiro (Rodrigues, 2006). Os 39% restantes estão distribuídos em ordem de maior grandeza entre o Peru, Colômbia, Bolívia, Venezuela, Guiana, Suriname, Equador e Guiana Francesa (Lentini *et al.*, 2005; ADA, 2006).

A Amazônia possui a maior floresta e o maior sistema fluvial do mundo. Seus rios concentram um quinto da disponibilidade mundial de água doce. O rio Amazonas, com nascente na Cordilheira dos Andes e foz na ilha do Marajó, percorre 6.868 km deste bioma. Sua diversidade de fauna representa um quarto de todas as espécies existentes e mais de vinte mil espécies diferentes de plantas crescem exclusivamente na região (Biblioteca virtual do Amazonas, 2006; Fundação Floresta Tropical *et al.*, 2006).

O estudo do RADAMBRASIL realizado na década de 70, concluiu que da área da Amazônia brasileira, 64% eram de formações florestais (densas, abertas e estacionais), 18% de formações não florestais e os 16% restantes representavam vegetações de transição (Araújo *et al.*, 1986). Segundo Lentini *et al.* (2005), até 2004 cerca de 14% da cobertura vegetal da Floresta Amazônica brasileira já tinha sido desmatada.

A vegetação amazônica foi classificada em cinco tipos por Pires e Prance (1985; citado por Silva, 1989), ou seja, Floresta de Terra Firme, Floresta Inundada (Várzeas e Igapós), Savanas (cerrado), Caatingas (Campinarana) e vegetação que cobre pequenas áreas diferenciadas que compreende os mangues, restinga, buritizal e Pirizal. Semelhante à esta classificação encontra-se a de Noronha (2003), ou seja: floresta de terra firme, floresta de várzea, floresta pantanosa (igapó), campina e savana.

Na Amazônia brasileira, a floresta densa, representada pelas florestas de terra firme e pelas florestas inundadas, além de ocupar a maior área da Floresta Amazônica, é particularmente importante para o manejo florestal (Lentini *et al.*, 2005).

Grande parte da extensão territorial da Floresta Amazônica é constituída por florestas de terra firme e, segundo Beltrão e Beltrão (1990), estas formações ocupam 95% da área Amazônica, compreendendo as terras altas e não alagáveis.

A floresta de terra firme é caracterizada pela dominância de solos ácidos (Beltrão e Beltrão, 1990; Santos, 1996 citado por Santos *et al.*, 2001), devido a sua formação e solos com de baixa fertilidade natural, com baixa capacidade de nutrientes essenciais disponíveis (Baena e Rodrigues, 2005). Contudo, apresenta inúmeras adaptações à pobreza de seus solos argilosos e podzólicos. A ciclagem de nutrientes tem um papel fundamental dentro desse sistema. As árvores que compõem a floresta de terra firme são capazes de se abastecer de nitratos através de bactérias fixadoras de nitrogênio, que estão ligadas às suas raízes. Além disso, uma grande variedade de fungos também simbioses das raízes (micorrizas) recicla rapidamente o material orgânico do solo antes que esse possa ser lixiviado (Biblioteca virtual do Amazonas, 2006). A serapilheira (formada por folhas e outros detritos vegetais que caem ao solo) é reciclada rapidamente pela fauna rica de insetos, especialmente besouros, formigas e cupins (Santos *et al.*, 2001).

As florestas de terra firme são caracterizadas, também, por apresentar árvores de grande porte, variando entre 30 e 60 m. O dossel é contínuo e bastante fechado, permitindo pouca penetração dos raios solares, que quase nunca atingem o solo, tornando o interior da mata bastante úmido e escuro (Silva *et al.*, 2003; Ambientebrasil, 2006).

As florestas inundadas, constituídas pelas florestas de várzea e de igapós, ocupam cerca de 8% do bioma amazônico, tendo como principal característica a flutuação cíclica dos rios, que pode atingir até 14 m, entre as estações de seca e enchente, resultando em inundações periódicas de grandes áreas ao longo de suas margens (Campos, 2002).

A vegetação da floresta de várzea é mais rica do que a vegetação da floresta de igapó devido à fertilidade oriunda dos sedimentos e solos aluvionais carregados pelos Andes. As árvores das florestas alagadas têm várias adaptações morfológicas e fisiológicas para viverem submersas, como raízes respiratórias e sapopemas. Além disso, a vegetação possui baixa densidade de plantas epífitas e o sub-bosque é praticamente inexistente. Em seu lugar existe uma

rica flora herbácea, como o capim-mori, canarana e o arroz selvagem. Na estação das enchentes, o capim se destaca e forma verdadeiras ilhas flutuantes, assim como a vitória-régia e o aguapé, que também acompanham o nível das águas (Biblioteca virtual do Amazonas, 2006).

A floresta de várzea situa-se em solo que é periodicamente alagado, sendo, portanto fertilizada pela deposição do limo rico dos rios de água barrenta. Os solos são ricos em nutrientes originários de formação geologicamente recente dos solos andinos (Sioli, 1990). Durante o período da enchente, que normalmente dura em média seis meses, a vegetação de várzea desenvolve uma estratégia de adaptação ambiental, que consiste na emissão de raízes respiratórias ao longo do caule, para viabilizar uma melhor oxigenação e evitar o apodrecimento das suas raízes. Este mecanismo adaptativo possibilita também maior dinâmica nutricional, permitindo maior captação de nutrientes durante esse período (Beltrão & Beltrão, 1990).

Durante o período de vazante ocorre sedimentação de nutrientes que enriquece o húmus deixado no solo, permitindo a vegetação de várzea um novo ciclo reprodutivo (Beltrão & Beltrão, 1990; Sioli, 1990; Alencar *et al.*, 2000).

As florestas de igapó, como já citado, ocorrem em solos que permanecem alagados durante cerca de seis meses, em áreas próximas aos rios. As árvores podem atingir até 40m de altura e raramente perdem as folhas que são, em geral, largas para captar a maior quantidade possível de luz solar. Nas águas aparecem as folhas da vitória-régia, que chegam a ter 4 m de diâmetro e ocorrem associadas aos rios de água branca. As florestas de várzea apresentam características semelhantes ao igapó, com árvores de grande porte (até 40 m de altura), mas com maior número de espécies. Essas florestas ocorrem associadas aos rios de água preta (Sioli, 1990; Ambientebrasil, 2006).

O clima amazônico é, em geral, caracterizado em quente e úmido (Salati *et al.*, 1998) com temperaturas médias máximas e mínimas anuais oscilando respectivamente entre 24°C e 27°C, 30°C e 32°C e 18°C e 23°C. Os totais anuais de brilho solar variam entre valores aproximados de 1.500 h e 2.600 h. A umidade relativa do ar oscila entre 67% e 90% e os totais pluviométricos anuais estão contidos entre 1.300 mm e 3.000 mm (Bastos, 2005).

De acordo com a classificação climática de Köppen, três tipos de clima são encontrados na Amazônia brasileira (Silva, 1989):

- Clima Afi, que é caracterizado por chuvas relativamente abundantes durante o ano, geralmente acima de 2000 mm. A menor precipitação mensal é sempre superior a 60 mm. Este tipo climático cobre aproximadamente 17% da Amazônia Legal localizada na região noroeste;
- Clima Ami, que ocorre em 41% da região. Neste tipo existe uma curta estação seca de dois a três meses, onde a precipitação mensal é menor que 60 mm, mas a precipitação anual é mais que 2000 mm;
- Clima Awi, que é caracterizado por uma distinta estação seca de 5-6 meses, com chuvas mensais abaixo de 60 mm e um total anual menor que 2000 mm. Ocupa mais que 42% da região Amazônica brasileira, principalmente a região Sul da Amazônia Legal.

A Amazônia possui aproximadamente 24% de áreas privadas (IBGE, 1996), 33% de áreas legalmente protegidas e cerca de 10% podem ser consideradas áreas especiais, sendo 3,7% ocupado por Terras Militares e Áreas de Proteção Ambiental (APAs) e 5,3% por assentamentos rurais. Restam 33% da Amazônia Legal como terras devolutas ou terras privadas em disputa.

Das áreas legalmente protegidas, 63% são Terras Indígenas, enquanto as Unidades de Conservação de Uso Sustentável somam 6,3% e as Unidades de Proteção Integral totalizam 5,5% (Lentini *et al.*, 2005).

2.2. EXPLORAÇÃO CONVENCIONAL E DESMATAMENTO

A maior parte da exploração madeireira na Amazônia ainda é praticada segundo os métodos convencionais, destrutivos e estabelecidos a partir de uma visão imediatista. Além disso, 80% das pessoas ou empresas que se dedicam à extração convencional de madeira praticam esta atividade ilegalmente e em áreas onde a retirada das árvores não foi previamente autorizada pelo órgão governamental responsável.

A exploração convencional e predatória destrói até 2 m³ de madeira para cada m³ aproveitado, reduz em até 60%, ou mais, a cobertura florestal, perturba severamente os solos minerais e danifica ou mata até 40% da biomassa. Áreas assim exploradas são abandonadas com muitos resíduos e essa flora danificada, seca e altamente combustível, expõe a floresta a riscos de incêndio. Essas perturbações geram ainda um forte impacto econômico, pois os

ciclos de corte podem variar entre 60 anos (tempo necessário à regeneração da floresta) e, talvez, nunca mais (Fundação Floresta Tropical *et al.*, 2006).

O desmatamento na Amazônia tem suas principais causas nos tipos de uso da terra (pecuária extensiva, plantio de grãos, agricultura de corte), obras de infra-estrutura (estradas) e especulação de terras públicas (a pecuária, usa o mapeamento do desmatamento ilegal para justificar a posse da terra) (Sá, 2003; Alencar *et al.*, 2004). Segundo Kaimowitz *et al.* (2003), a avassaladora maioria das áreas desmatadas acaba virando pastagem, havendo íntima correlação entre o desmatamento e o crescimento da pecuária.

O INPE estima que o desmatamento no período de agosto de 2004 a agosto de 2005 foi de 18.967 km², com uma margem de erro de 4% (INPE, 2006). A área acumulada relativa ao desflorestamento da Amazônia brasileira aumentou de 41,5 milhões de hectares em 1990 para 58,7 milhões de hectares em 2003. Em um período de apenas dez anos, o país perdeu uma área de floresta equivalente ao dobro do tamanho de Portugal ou do Paraguai. Nos dois anos que seguiram ao alarmante índice de desflorestamento de 1994-95, houve otimismo entre os analistas, pois as taxas de desmatamentos começaram a cair (Kaimowitz *et al.*, 2003). Recentemente foi anunciada pelo Governo Federal a redução de 30% no desmatamento na Amazônia entre agosto de 2005 a julho de 2006, quase o mesmo valor verificado entre 2004 e 2005 (31%). De acordo com o Projeto Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal (Prodes), a previsão é de que a taxa entre 2005 e 2006 corresponda a 13,1 mil quilômetros quadrados de desflorestamento (Máximo, 2006).

Com isso, os mais importantes impactos são a emissão de gases do efeito-estufa à atmosfera, principalmente pelas queimadas e pela decomposição de árvores em pé nos lagos das hidrelétricas e potencial alteração no ciclo d'água pela retirada da cobertura florestal; a erosão genética, tanto pelo corte raso, como pela exploração seletiva de madeira; a perda da biodiversidade e, a sedimentação e poluição dos rios e igarapés. Menos conhecidos que os impactos ambientais, os impactos sociais e culturais são, porém, igualmente importantes (Higuchi, 2000).

Alencar *et al.* (2004) acrescentam que o desmatamento ocorre em terras inapropriadas ao cultivo agrícola e à criação de gado (por exemplo, relevo acidentado, solos inapropriados, sob alto índice de precipitação, distantes de mercados e estradas), levando à sistemas agropecuários de baixa produtividade. Muitos destes cortes ferem o Código Florestal

(desmatamento de reserva legal e/ou das áreas de proteção permanente, Lei nº 4.771, de 15 de novembro de 1965), ou seja, é ilegal; ocorre em unidades de conservação, terras indígenas, ou em áreas de elevado valor para a conservação ou a utilização sustentável da biodiversidade (áreas ainda não protegidas por unidades de conservação); e ocorre em áreas onde a melhor opção econômica de uso da terra é a florestal – seja para a produção madeireira, seja para a produção não-madeireira, ou para ambas.

A forma no qual o governo brasileiro achou para detectar e controlar o desmatamento na Amazônia é através de plataformas orbitais. As tecnologias de sensoriamento remoto e processamento de dados têm passado por vários avanços, o que tem permitido o conhecimento muito maior sobre os comportamentos temporal e regional do desmatamento da Amazônia. As principais instituições responsáveis pelo levantamento de dados primários sobre desmatamento por meio de sensoriamento remoto são o INPE, o IBAMA e a FEMA-MT.

O cálculo oficial da taxa anual de desmatamento da Amazônia Legal é feito pelo Programa de Monitoramento da Amazônia (Prodes) do INPE, desde 1988, a partir das imagens Landsat. O Prodes detecta desmatamento acima de 6,25 hectares. A taxa é obtida dentro de um período de 12 meses, compreendido entre agosto de um ano a julho do ano seguinte (Júnior *et al.*, 2006). Embora os dados gerados pelo Prodes sejam úteis para analisar tendências e causas do desmatamento, eles não são os mais adequados para orientar os esforços de fiscalização, pois a sua divulgação ocorre meses depois do problema ter ocorrido. Por essa razão, o Governo Federal criou em 2004 o Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real (Deter), também operado pelo INPE. Os dados do Deter são obtidos a partir de imagens do sensor Modis a bordo dos satélites Terra e Aqua da Nasa. O Deter foi elaborado para detectar desmatamento acima de 20 hectares, muito embora as imagens do Modis permitam a detecção acima de 6,25 hectares (área do pixel de 250 m) (Júnior *et al.*, 2006).

O objetivo básico do trabalho do IBAMA é apoiar as operações de licenciamento e fiscalização. A base de dados começa em 1996 para áreas (plots) maiores que 1 ha. Florestas em estágios avançados de regeneração secundária até o ano mencionado são consideradas áreas florestadas. Oitenta por cento dos municípios monitorados pelo IBAMA estão no Arco do Desmatamento, o restante está espalhado em áreas do Mato Grosso, Rondônia e Acre. A principal limitação dos dados é a falta de imagens de satélite para determinados municípios, em certo número de anos (Margulis, 2003).

2.3. MANEJO FLORESTAL

O Decreto 2.788 de 28 de setembro de 1998 define o manejo florestal sustentável de uso múltiplo como, à administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo, e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não madeireiros bem como a utilização de outros bens e serviços de natureza florestal.

Para execução do manejo faz-se necessário um Plano de Manejo Florestal Sustentável - PMFS, de acordo com regulamentação estabelecida pelo IBAMA, através da Câmara Técnica a ser instituída pelas suas Superintendências Estaduais (SUPES) e obedecidos os seguintes princípios gerais: conservação dos recursos naturais; preservação da estrutura da floresta e de suas funções; manutenção da diversidade biológica; e desenvolvimento sócio-econômico da região (Brasil, 1995; Brasil, 1998).

Em termos ambientais, o bom manejo contribui para que a floresta mantenha sua forma e função mais próxima de seu estado original. A manutenção da forma se dá na medida em que se minimizam os danos à floresta e, em consequência, se minimizam os danos às árvores comerciais remanescentes. Mantida a sua forma, a floresta pode continuar a desempenhar suas funções: proteger o solo contra a erosão, preservar a qualidade da água, abrigar a biodiversidade e outras. Além disso, a floresta remanescente corre menos riscos de incêndios e pode ser enriquecida com os tratamentos silviculturais (Fundação Floresta Tropical, Cikel e Precious Wood, 2006).

O manejo sustentável é a melhor solução para a exploração racional de madeira e outras riquezas não-madeireiras da floresta. Uma floresta bem manejada continuará oferecendo essas riquezas para as gerações futuras, pois a madeira e seus outros produtos são recursos renováveis. Além do manejo sustentável ser economicamente viável é, a longo prazo, mais barato que a exploração convencional.

A conservação ambiental da Amazônia tem sido um dos principais desafios de governos e gestores públicos que atuam para garantir o uso e a conservação dos recursos naturais na região. Por conciliar a conservação e o uso sustentável dos recursos florestais com o desenvolvimento sócio-econômico regionais, o manejo florestal é um importante instrumento de política pública para frear o processo de devastação da Amazônia.

2.4. LEGISLAÇÃO APLICADA AO MANEJO FLORESTAL

A madeira em tora explorada em florestas naturais na Amazônia pode ser legalmente adquirida por meio de duas fontes: Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) (Brasil, 1998) ou Autorizações de Desmatamento. Nesse último caso, o desmatamento está restrito a 20% das propriedades rurais localizadas em áreas florestais da Amazônia Legal, de acordo com a Medida Provisória 2.166-65/2001 (Lentini *et al.*, 2005).

O Código Florestal (Lei 4771/65) estabelece a necessidade de planos de manejo florestal para o aproveitamento de recursos florestais na Amazônia. Os artigos relacionados a este tema (Artigos 15, 19, 20 e 21) foram regulamentados inicialmente pelo decreto 1282/94, que teve os artigos 1º, 2º, 3º, 5º e 6º alterados pelo decreto 2.788/98, mas no ano de 2006 o Decreto 5975/06 os revogou, bem como ao decreto 97628/89 e passou a regulamentar, entre outros, os artigos 15, 16, 19, 20 e 21 da Lei no 4.771/65. Atualmente, a norma que disciplina a sua aplicação é a Instrução Normativa do Ministério do Meio Ambiente (MMA) 04/2006 e 05/2006.

A exploração de florestas sob o regime de manejo florestal sustentável, tanto de domínio público como de domínio privado, dependerá de prévia aprovação do documento técnico básico que contém as diretrizes e procedimentos para a administração da floresta, conhecido como Plano de Manejo Florestal Sustentável – PMFS, pelo órgão competente do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, nos termos do art. 19 da Lei nº 4.771, de 1965 (Brasil, 2006).

A aprovação do PMFS pelo órgão ambiental competente confere ao seu detentor a licença ambiental para a prática do manejo florestal sustentável, no entanto, este deverá submeter à aprovação do órgão ambiental competente o plano operacional anual, com a especificação das atividades a serem realizadas no período de doze meses e o volume máximo proposto para a exploração neste período.

O PMFS será submetido a vistorias técnicas para acompanhar e controlar rotineiramente as operações e atividades desenvolvidas na área de manejo (Brasil, 2006).

A elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica do PMFS observarão a Instrução Normativa do MMA 05/2006.

2.5. FISCALIZAÇÃO

2.5.1. Desmatamento

Após a constatação de qualquer atividade de desmatamento, o agente de fiscalização solicita ao proprietário ou pessoa que possa representá-lo (gerente, sócio, empregado, esposa, filho) a apresentação de diversos documentos, entre estes a autorização de desmatamento. Se a autorização de desmatamento não for apresentada o agente deverá:

- Verificar se a área é de preservação permanente;
- Proceder a medição da área atingida, em hectares;
- Verificar se o desmatamento atingiu espécies que devem ser preservadas (aroeira, castanheira, seringueira, etc);
- Cubar o produto florestal encontrado no local;
- Verificar se houve queima da área e de produto florestal.

Após as atividades acima, procede-se à autuação e, se for o caso, o embargo da área/ atividade, apreensão e depósito do produto/ instrumento. O valor de multas seguirá os valores existentes nos artigos 37 à 39 do Decreto 3.179 de 21 de setembro de 1999, ou será cobrado valores de acordo com a Tabela de Infração, baseada no volume de madeira.

2.5.2. Manejo Florestal

Constatada a atividade de Manejo Florestal o agente de fiscalização solicita a apresentação de autorização para exploração sob regime de manejo sustentável; localiza a área do Plano de manejo na propriedade com base nos mapas; verifica o talhão e se as espécies que estão sendo exploradas são as constantes da Autorização de Exploração; verifica se o documento de transporte (ATPF ou Selo Florestal), hoje substituído por documento de origem florestal (DOF), está sendo utilizado corretamente; verifica se as árvores ou tocos estão com suas respectivas plaquetas de identificação numérica apostas (presas), para fins de identificação no mapa logístico; e verifica-se a licença de porte e uso de motosserra.

Na vistoria são medidas algumas árvores em pé para cálculo de volume e, cubadas algumas toras de madeira para verificar se o volume apresentado no plano de manejo está correto. É verificado se foram retiradas madeiras a mais e, caso seja constatado algum excesso, o auto de infração é preenchido. Neste caso, de posse do valor calculado do volume, verifica-se na tabela de infração ambiental a multa que será cobrada.

2.6. MÉTODOS DE OBTENÇÃO DO VOLUME DE ÁRVORES

A quantificação do volume sólido em povoamentos florestais é imprescindível para a implementação de planos de manejo sustentável das florestas (Leite e Andrade, 2002). A exploração florestal só pode ser bem planejada, vistoriada e fiscalizada, com base em um sistema eficiente de quantificação do volume de madeira. Portanto, pesquisas para melhorar a acuracidade e precisão das estimativas volumétricas podem tornar mais eficiente o planejamento da produção, a realização das vistorias e a aplicação de multas em caso de irregularidades decorrentes da exploração.

O volume sólido de uma árvore pode ser determinado de diversas formas: a) analiticamente, através de cubagem rigorosa (divisão do tronco em pequenas seções ou toras), que consiste na medição das variáveis diâmetro e comprimento de seções, ao longo do tronco, assumindo alguns pressupostos sobre a forma; b) graficamente, em função de informações das variáveis diâmetro e altura da árvore tomadas ao longo do fuste; c) pelo deslocamento de água (método do xilômetro) e, d) a partir do peso da árvore (Machado e Filho, 2003). O método considerado mais preciso para determinar o volume é por deslocamento de água em um xilômetro, mas, isto é impraticável e impossível para árvores em pé de grande porte, como as que ocorrem na Amazônia (Sternadt, 2001).

Para se determinar com rigor o volume de uma árvore deve ser considerado as irregularidades que a árvore pode possuir. Assim, é mais realístico considerar o tronco de qualquer árvore como sendo constituído por vários sólidos geométricos. Segundo Husch *et al.* (1982) e Soares *et al.* (2006), o tronco pode ser representado da base para o topo pelas formas geométricas (cilindro, neilóide, parabolóide e cone ou parabolóide), conforme indicado na figura 2.1.

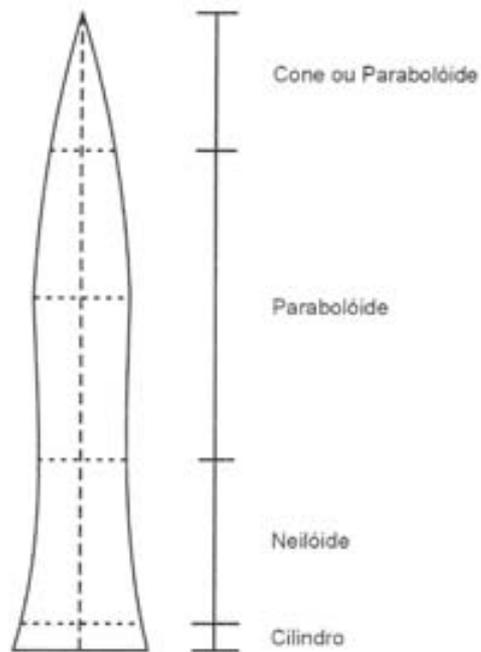


Figura 2.1 - Formas que o tronco de uma árvore pode assumir (Husch *et al.*, 1982; Soares *et al.*, 2006).

A partir dos sólidos geométricos representativos do fuste inteiro ou expressando apenas porções dele, a equação geral que descreve o afilamento do fuste ou parte deste (Sternadt, 2001; Machado e Filho, 2003), é dada por:

$$Y = K \sqrt{X}^R \quad (1)$$

em que:

Y = raio ao longo do tronco;

k = coeficiente constante que descreve o tamanho do corpo de rotação;

X = distância da seção do topo da curva;

R = índice que caracteriza a forma da curva. Varia de 0 a 3 e define uma família de parábolas generalizadas.

Considerando a figura 2.1 e a possibilidade do tronco de uma árvore poder apresentar em sua extensão várias formas geométricas, Soares *et al.* (2006) acrescenta que cada uma destas formas é representada por uma fórmula que melhor descreve suas características, sendo estas:

$$\text{Cilindro: } V = g.l \quad (2)$$

$$\text{Nelóide: } V = \frac{g \cdot l}{4} \quad (3)$$

$$\text{Parabolóide: } V = \frac{g \cdot l}{2} \quad (4)$$

$$\text{Cone: } V = \frac{g \cdot l}{3} \quad (5)$$

em que:

V = volume da tora (m³);

g = área transversal ou seccional (m²);

l = comprimento da tora (m).

Huber, Smalian, Newton (métodos absolutos) e Hohenadl (método relativo) desenvolveram fórmulas para calcular o volume sólido da tora, sendo bastante difundidas no meio florestal (Machado e Filho, 2003; Sternadt, 2001). Considerando que a forma de árvores não é perfeitamente regular, o uso dessas fórmulas de cubagem implica na divisão do fuste das árvores em *n* seções (toras), o que leva à medição de diâmetros sucessivos ao longo do tronco e o emprego dessas fórmulas para obtenção dos volumes das várias seções estabelecidas previamente. A soma dos volumes de todas as seções resulta no volume da árvore. Assim, quando se usam seções com comprimentos menores, o volume calculado será mais acurado, seja qual for o método empregado. 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 e Filho, 2003).

A fórmula de Smalian requer medidas de diâmetro nas duas extremidades da tora (base e topo). Embora seja de fácil aplicação, o que explica sua grande aceitação em todo mundo, perde em precisão quando comparada com as fórmulas de Huber e Newton se a forma da tora não é parabolóide (figura 2.1). Isto se aplica particularmente com toras terminando em alargamentos (saia). Os erros na estimação de volume aumentam rapidamente quando a intensidade das medidas diminui excedendo 8% quando o intervalo entre as medidas é maior que 5 m (Sternadt, 2001).

Existem outros métodos de cubagem de toras, contudo, estes são menos usados. Pode-se citar: método da FAO; método Pressler; método Grosenbaugh; método seccional padrão;

método com afilamento constante (taper-step); método de amostragem centróide; sobreposição de seções de Bailey; fórmula de Hossfeld (Machado e Filho, 2003); e método Frankon (IBAMA, 2002).

2.6.1 – Cubagem por Smalian

A cubagem rigorosa pelo método de Smalian consiste na medição dos diâmetros ou circunferências nas extremidades de cada seção do tronco. O volume de cada seção é determinado a partir da seguinte fórmula (Machado e Filho, 2003):

$$V_i = \frac{(g_1 + g_2)}{2} \cdot l \quad (6)$$

em que:

V = volume da seção i da tora (m³);

g₁ = área transversal na base da seção i da tora (m²);

g₂ = área transversal no topo da seção i da tora (m²);

l = comprimento da tora em m;

i = número de seções da tora (i= 1,2,3,.....,n).

Caso a árvore tenha sido dividida em mais de uma seção (*n* seções), o volume total ou volume real da árvore (V) é obtido da seguinte forma (Machado e Filho, 2003; Menezes e Silva, 2006):

$$V = v_c + \sum_{i=1}^n v_i + v_p \quad (7)$$

$$V_p = \frac{(g_p \cdot l_p)}{3} \quad (8)$$

$$V_c = g_c \cdot l_c \quad (9)$$

em que:

V = Volume total da árvore (m³);

V_p = volume da ponta (m³);

V_c = volume da cepa (m³);

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

g_p = área seccional tomada na base da ponta (m²);

l_p = comprimento da ponta (m);

l_c = altura da cepa (m).

2.6.2 – Cubagem por Huber

Segundo Machado e Filho (2003) a fórmula de Huber prevê a medição do diâmetro ou da circunferência na metade da seção da tora, assumindo que a área média de uma tora seccionada se encontra no seu ponto médio (Sternadt, 2001), conforme consta na figura 2.2. Assim o volume da tora é dado por:

$$V = g_m \cdot l \quad (10)$$

em que:

g_m = área transversal (m^2) tomada no meio da seção da tora.

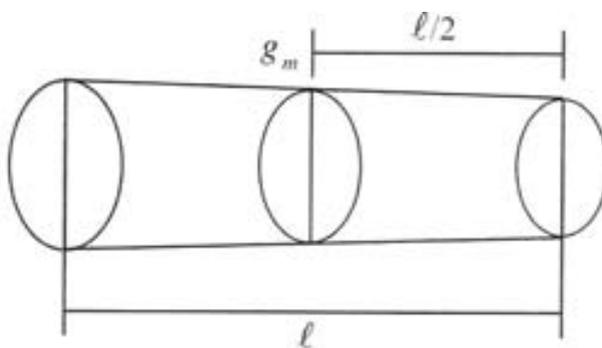


Figura 2.2 – Esquema de cubagem por Huber (Machado e Filho, 2003).

Caso a árvore tenha sido dividida em mais de uma seção (n seções), o volume total ou volume real da árvore (V) é obtido conforme apresentado nas fórmulas 7, 8 e 9.

A fórmula de Huber tem limitação de uso porque a área transversal tomada no meio da tora considera o diâmetro sem casca. Contudo, é de uso comum e também base das antigas tabelas de volume de vários comprimentos e diâmetros centrais ou de circunferência. É considerada mais precisa em relação as demais quando são utilizadas seções de maior comprimento. Com intervalos de 10 m ou mais a subestimação da fórmula de Huber é de somente 5% do volume total (Sternadt, 2001).

2.6.3 – Cubagem por Newton

Por este método, os diâmetros ou circunferências devem ser medidos em três posições ao longo de cada seção da tora, resultando em volume mais exato (Machado e Filho, 2003). O volume de cada seção é dado pela seguinte fórmula:

$$V_i = \frac{(g_1 + 4g_m + g_2)}{6} \cdot l \quad (11)$$

No caso de árvores com mais de uma seção (n seções), o volume total ou volume real da árvore (V) é obtido conforme apresentado nas fórmulas 7, 8 e 9.

2.6.4 – Cubagem por Hohenadl

O método de Hohenadl original é caracterizado pela divisão do tronco em cinco seções de iguais comprimentos (figura 2.3), que são estabelecidos em função da altura (h), sendo o volume calculado por apenas uma medida de diâmetro e circunferência no centro de cada seção como em Huber (Machado e Filho, 2003). Neste caso o volume é obtido pela fórmula a seguir:

$$V = \left(\frac{h}{5}\right)(g_{0,1} + g_{0,3} + g_{0,5} + g_{0,7} + g_{0,9}) \quad (12)$$

em que:

$g_{0,i}$ = área transversal (m^2), obtida a 10, 30, 50, 70, 90% da altura total (h).

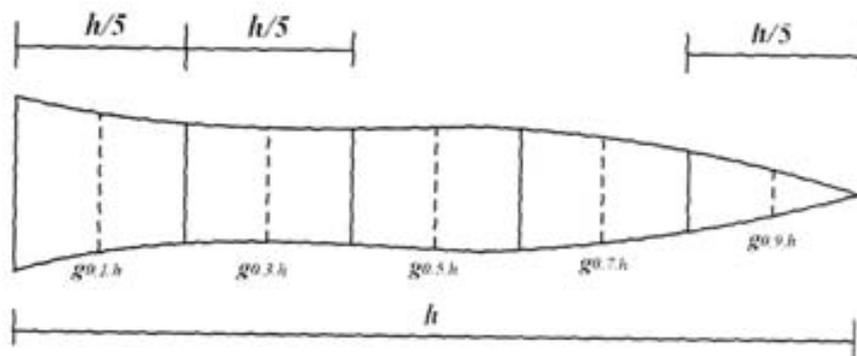


Figura 2.3 - Esquema para cubagem de Hohenadl original (cinco seções) (Machado e Filho, 2003).

Pela fórmula original pode-se obter volumes menos precisos, pois quanto maior a altura da árvore, mais longas serão as seções (Machado e Filho, 2003). No entanto, os

pesquisadores usam o método relativo de Hohenadl com frequência, mas medindo mais pontos sobre o tronco, variando de 10 a mais medidas (Queiroz *et al.*, 2006; UFSM/SEMA-RS, 2006; Machado *et al.*, 2006).

Segundo Queiroz *et al.* (2006), para dez seções, a fórmula de Hohenadl é dada por:

$$V = \frac{h}{10} (g_{0,05} + g_{0,15} + g_{0,25} + g_{0,35} + g_{0,45} + g_{0,55} + g_{0,65} + g_{0,75} + g_{0,85} + g_{0,95}) \quad (13)$$

em que:

v = volume de árvore considerada (m³);

$g_{0,i}$ = área seccional (m²) com diâmetros tomados a 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95% da altura do fuste (h) da árvore.

A UFSM/SEMA-RS (2006) aplica o seccionamento de Hohenadl preferencialmente na cubagem de árvores de povoamentos jovens, visando garantir um número substancial de diâmetros medidos ao longo do tronco. Para tanto, marcam 15 posições relativas sobre o fuste das árvores a 0,5%; 1,0%; 5%; 10%; 15%; 20%; 25%; 30%; 40%; 50%; 60%; 70%; 80%; 90% e 95% da altura total da árvore, e são medidos os diâmetros e a espessura de casca.

2.6.5 – Métodos de cubagem adotados pelo IBAMA

O IBAMA adota a fórmula de Smalian no processo de cubagem de toras, denominando-o de método geométrico (Sternadt, 2001), o qual consiste da média da mensuração cruzada dos diâmetros maior e menor de cada extremidade da tora, elevado ao quadrado, multiplicado pelo comprimento da tora e pelo fator 0,7854 (o número π dividido por quatro). O sistema de cubagem envolve a média simples dos diâmetros das extremidades da tora (média das áreas das extremidades) e, o comprimento da tora. É importante salientar que sempre que possível os fiscais do IBAMA utilizam tabelas existentes no manual de fiscalização para cubicar madeira, por ser um método mais simples (IBAMA, 2002).

No processo de cubagem da tora adotado pela indústria madeireira, considera-se somente o diâmetro menor da tora e o restante da fórmula é a mesma (método Frankon). A importância de caráter prático, do ponto de vista do madeireiro, durante o processo de transformação industrial, este volume dará menos perdas de resíduos, o rendimento é maior.

Este procedimento se aproxima mais do volume obtido de madeira serrada (tábuas, pranchões, pontaletes, vigas, vigotas, ripas, e outros produtos).

A diferença entre os métodos Geométrico e Frankon é de aproximadamente 20%. Este segundo método não é adotado pelo IBAMA, tendo em vista que o volume cubado é menor que o volume encontrado pelo método geométrico (Smalian) (IBAMA, 2002).

2.6.6. Métodos Estimativos do Volume de Árvores

Há duas formas de estimar o volume de árvores em pé. A primeira delas é calcular o volume cilíndrico a partir das medições do diâmetro a altura do peito e altura (DAP e H) e convertê-lo em volume sólido usando o fator de forma. O outro método é o uso de equações de volume ou tabelas de volume (Couto, 1982).

2.6.6.1 – Fator de forma

A determinação do fator de forma artificial ou natural constitui-se numa importante prática, quando se pretende estimar o volume individual de árvores. Conceitua-se fator de forma, segundo Silva (1977) e Finger (1992), como sendo um fator de redução do volume do cilindro para o volume real da árvore; este deve ser multiplicado pelo volume do cilindro para, então, se obter o volume real da árvore. Este fator, portanto, só pode ser conhecido após a determinação do volume real da árvore, podendo-se empregar para isto qualquer método de cubagem.

O fator de forma tem sido estimado em função do diâmetro à altura do peito e altura total (Schneider, 1993). Dependendo da altura em que for medido o diâmetro de referência, o fator de forma pode ser real ou verdadeiro, e falso ou artificial. Quando a medida do diâmetro for realizada em altura relativa do tronco, o fator de forma será denominado real ou verdadeiro (Hohenadl, 1924, citado por Schneider, 1993), e quando o diâmetro for medido a uma altura absoluta, esse será denominado de falso ou artificial (Drescher *et al.*, 2001).

Segundo Drescher *et al.* (2001), o fator de forma artificial pode ser obtido através da seguinte expressão:

$$f_j = \frac{v}{W_j} \quad (14)$$

em que:

f_j = fator de forma artificial – $f_j < 1$;

W_j = volume (m^3) de um cilindro de diâmetro d_j e altura h (m^3);

v = volume rigoroso ou real (m^3).

Com base nos estudos do fator de forma verdadeiro proposto por Hohenadl (1924, citado por Schneider, 1993), Pollanschuetz (1965; citado por Schneider, 1993) desenvolveu várias equações para estimar o fator de forma artificial, usando os quocientes de forma como variáveis independentes (Tabela 2.1).

Para árvores da floresta amazônica brasileira, Heinsdijk e Bastos (1963; citados por Menezes e Silva, 2006), determinaram um fator de forma de 0,7. Apesar de caráter provisório, este fator ainda é utilizado até hoje.

2.6.6.2 – Modelos e equações de volume

Medidas precisas de volume de madeira são ferramentas importantes no planejamento do uso do recurso florestal, sendo a equação de volume uma das ferramentas mais importantes (Higuchi, 1992). Muitas vezes, estas equações são específicas para uma determinada espécie, idade, ciclo e local (McTague *et al.*, 1989).

A equação de volume baseia-se em um modelo volumétrico, a diferença é que a equação usa estimadores dos parâmetros, isto é, obtidos por amostragem e o modelo tem como base a população como um todo, sendo assim é possível quantificar o erro. Ajusta-se modelos para gerar equações. Em geral, estas equações são de dupla entrada, tendo como variáveis independentes o DAP (o diâmetro à altura de 1,30 m) e altura da árvore (total ou comercial) (Higuchi, 1992).

Tabela 2.1 - Modelos de equações para a estimativa do fator forma artificial.

Número	Equações de fator de forma
01	$f = b_0 + b_1(d_{0,1} \cdot d_{0,5})/d^2$
02	$f = b_0 + b_1(d_{0,3}/d^2) + b_2(d_{0,1} \cdot d_{0,5})/d^2$
03	$f = b_0 + b_1(d_{0,3}/d^2) + b_2(d_{0,1} \cdot d_{0,5})/d^2 + b_3(d_{0,5}/d^2)$
04	$f = b_0 + b_1(d_{0,3}/d^2) + b_2(d_{0,1} \cdot d_{0,5})/d^2 + b_3(d_{0,5}/d^2) + b_4(d_{0,3}/d^2)$
05	$f = b_0 + b_1(d_{0,3}/d^2) + b_2(d_{0,3} \cdot d_{0,5})/d^2$
06	$f = b_0 + b_1(d_{0,3}/d^2) + b_2(d_{0,3} \cdot d_{0,5})/d^2 + b_3(d_{0,5}/d)^2$
07	$f = b_0 + b_1(d_{0,3}/d^2) + b_2(d_{0,3} \cdot d_{0,5})/d^2 + b_3(d_{0,5}/d)^2 + b_4(d_{0,3}/d)^2$
08	$f = b_0 + b_1 \cdot 1/d^2 h + b_2 \cdot 1/h + b_3 \cdot 1/d^2$
09	$f = b_0 + b_1 \cdot 1/d^2 h + b_2 \cdot 1/dh + b_3 \cdot 1/d + b_4 \cdot 1/h + b_5 \cdot 1/d^2$
10	$f = b_0 + b_1 \cdot 1/h + b_2 \cdot h/d + b_3 \cdot h/d^2$
11	$f = b_0 + b_1 \cdot d_{0,3}/d^2 + b_2 \cdot h/d^2$
12	$f = b_0 + b_1 \cdot d_{0,3}^2/d^2 + b_2 \cdot h/d^2$
13	$f = b_0 + b_1 \cdot d_{0,3}/d^2 + b_2 \cdot h/d^2 + b_3 \cdot 1/d$
14	$f = b_0 + b_1(d_{0,1} \cdot d_{0,5})/d^2 + b_2 \cdot d_{0,3}/d^2$
15	$f = b_0 + b_1(d_{0,1} \cdot d_{0,5})/d^2 + b_2 \cdot d_{0,3}^2/d^2 + b_3 \cdot h/d^2$
16	$f = b_0 + b_1(d_{0,5}/d)^2 + b_2(d_{0,3}/d)^2$
17	$f = b_0 + b_1 \cdot \ln(d_{0,5}/d)^2$
18	$f = b_0 + b_1 \cdot \ln(d \cdot h) + b_2 \cdot \ln(d_{0,5}/d)^2$
19	$\ln f = b_0 + b_1 \cdot \ln(d \cdot h) + b_2 \cdot \ln((d_{0,3} \cdot d_{0,5})/d^2) + b_3 \cdot \ln(d_{0,5}/d)^2$
20	$\ln f = b_0 + b_1 \cdot \ln(1/d) + b_2 \cdot \ln(d_{0,5}) + b_3 \cdot \ln((d_{0,3} \cdot d_{0,5})/d^2)$

Em que: h - altura total, em metros; d - diâmetro à altura do peito, em centímetros; $f_{1,3}$ - fator de forma artificial; b_i - coeficiente de regressão; $d_{0,i}$ - diâmetros relativos de Hohenadl, na forma aritmética, logarítmica.

Equações de volume são usadas para confecção de tabelas de volume (Schneider, 1993), elaboradas para espécies individuais ou grupos de espécies. As equações de volume estimam o volume por árvore em função ou do diâmetro, ou do diâmetro e altura, altura ou ainda do diâmetro, altura e forma da árvore (fator de forma), resultando assim em, respectivamente, três tipos básicos de tabelas: local ou simples entrada, regional ou dupla entrada, e tabela formal (Silva, 1989; Schneider, 1993). A mais usada, segundo Schneider (1993), é a de dupla entrada que expressa o volume em função do DAP e altura da árvore. A Tabela 2.2 apresenta algumas equações alométricas mais utilizadas na estimativa de volume de árvores individuais.

Segundo Jerran (1958; citado por Schneider, 1993) as tabelas de dupla entrada, podem ser utilizadas para: a) Estimar o estoque de crescimento visando organização de produção florestal; b) estimar o volume das árvores em pé antes da exploração, para racionalizar a produção, conforme plano de manejo.

Tabela 2.2 - Equações de volume, de acordo com Loetsch *et al.* (1973; citado por Schneider, 1993).

Variáveis independentes	Equações	Autores
d, h	$V=b_0 + b_1d + b_2d^2 + b_3dh + b_4d^2h$	Meyer
d, h	$V=b_0 + b_1d + b_2d^2 + b_3dh^2 + b_4d^2h$	Meyer modificada
d, h	$V=b_0 + b_1d^2 + b_2d^2h + b_3dh^2 + b_4h^2$	Naslund Modificada
d, h	$V=b_0 + b_1d^2 + b_2d^2h + b_3h$	Stoate
d	$V=b_0 + b_1d$	Berkhout
d, h	$V=b_0 + b_1d^2h$	Spurr
d	$V=b_0 + b_1d + b_2d^2$	Hohenald-Krenn
d	$V=b_0 + b_1d^2$	Kopezky-Gehrhardt
d, h	$V=d^2 (b_0 + b_1h)$	Ogaya
d, h	$\log V= b_0 + b_1\log d + b_2\log^2 d + b_3\log h + b_4\log^2 h$	Prodan
d, h	$\log V = b_0 + b_1\log d + b_2\log h$	Schumacher-hall
d	$\log V= b_0 + b_1\log(d^2h)$	Spurr
d	$\log V= b_0 + b_1\log d + b_2d^{-1}$	Brenac
d	$\log V= b_0 + b_1\log d$	Husch

Em que: h - altura (comercial ou total) em metros; d – diâmetro; b_i – coeficiente de regressão

Nos casos onde ocorre heterogeneidade de variância, recomenda-se ou usar um fator para ponderar as equações aritméticas, sendo recomendado por Furnival o uso do peso $1/d^2h$ para equações volumétricas, ou então, deve-se trabalhar com modelos aritméticos na forma logaritmizada (Schneider, 1993).

Rolim *et al.* (2006), estudando modelos volumétricos para Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí na Serra dos Carajás (PA) constataram que o modelo de dupla entrada de Schumacher & Hall estimava volume com melhor precisão que outros doze modelos testados. Higuchi e Ramm (1985) trabalhando com equações de volume para floresta tropical úmida de terra firme na região de Manaus e Thomas *et al.* (2006), com equações de volume para povoamentos de *Pinus taeda* L., também observaram maior precisão no modelo de Schumacher & Hall.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Esta pesquisa foi realizada na Floresta Amazônica, em uma área de floresta de terra firme, pertencente à empresa Camargo Correia Metais S.A e arrendada pela empresa IBL (Izabel Madeiras do Brasil Ltda), pelo prazo de 30 anos. A área onde a pesquisa foi realizada é denominada Fazenda Água Azul I ou Área de Manejo Florestal Água Azul I e encontra-se a 30 km da cidade de Breu Branco, região centro-oeste do Pará. Os talhões estudados encontram-se entre as coordenadas 03° 29'07,5" de latitude norte e 49°19'32,8" de longitude oeste e 03°26'53,9" de latitude norte e 49°19'31,8" de longitude oeste (Figura 3.1).

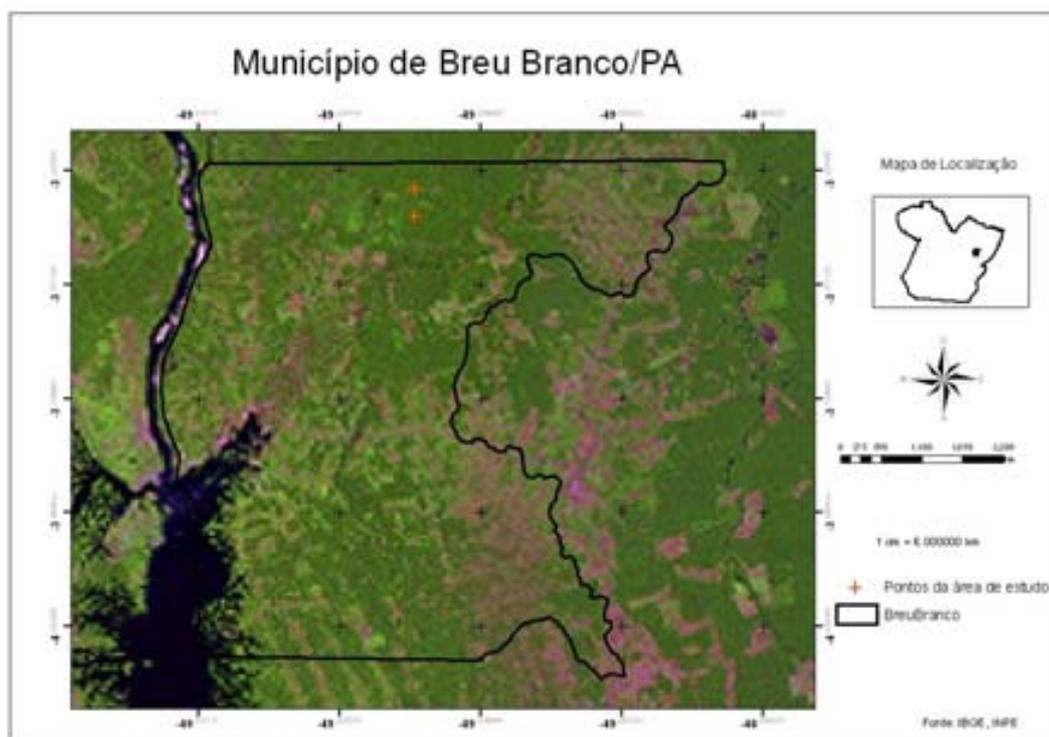


Figura 3.1 - Mapa de localização dos pontos extremos dos talhões estudados no município de Breu Branco, com localização lateral deste no estado do Pará.

O clima da região é classificado como tipo Ami segundo classificação climática de Köppen (Diniz, 1986; citado por Galletti, 2003). Este tipo é caracterizado por uma

precipitação anual em geral superior a 2.000 mm. Existe uma curta estação seca, onde o total de chuvas é inferior a 60 mm por mês. Durante o ano existem dois períodos bem definidos, um nitidamente marcado por fortes chuvas que inicia em janeiro e prolonga-se até o final de maio e outro caracterizado por uma estação mais quente e menos chuvosa, indo de junho a dezembro. A umidade relativa é sempre alta, em média 80%. As temperaturas médias mensais apresentam pouca variação durante o ano, ficando na faixa de 25 a 26 °C.

Na região do município de Breu Branco, no estado do Pará, segundo Brasil (1974; citado por Galletti, 2003), os solos dominantes estão representados pelos Latossolos Amarelos Distróficos, de textura média e argilosa, em relevo plano, suave ondulado e ondulado. Em menores proporções ocorrem os Latossolos Amarelo Distróficos Concrecionários, de textura argilosa, Argilossolos Amarelo Distróficos, de textura média/argilosa e Gleissolos, Neossolos e Plintossolos nas áreas das planícies aluviais dos cursos de água e áreas de depressão que sofrem inundações periódicas. Os Latossolos Amarelos e os Argilossolos Amarelos são profundos, bem drenados, porosos, permeáveis, porém, com baixa reserva de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas.

A região onde se insere a Fazenda Água Azul I está descrita por Brasil (1974; citado por Galletti, 2003) como pertencente ao Planalto Tapajós-Xingu. A Fazenda possui características em comum com o Planalto Setentrional do Pará-Maranhão, isto é, todo talhado em rochas sedimentares com altitudes em torno de 200 m. Além disso, na região ocorrem extensas áreas tabulares resultantes da dissecação na Formação Barreiras. A drenagem apresenta-se bem definida, com amplos vales pedimentados bem conservados indicando uma penetração da superfície pediplanada e sendo remodelados em algumas áreas por morfogênese úmida.

Na área em estudo situam-se a nascente do Rio Mamorana e alguns igarapés de nomes ainda desconhecidos.

A Floresta Ombrófila Densa (floresta de terra firme) em relevo plano e a Floresta aberta com palmeiras em relevo plano são os ambientes fitoecológicos identificados na Fazenda Água Azul I (Galletti, 2003).

A primeira tipologia, que é objeto deste estudo, é caracterizada por apresentar uma vegetação sempre-verde, com árvores de folhas perenes e raramente caducifólias. O dossel é fechado, com elevada biomassa, e com algumas árvores emergentes (altura variando de 30 a

50 m). O sub-bosque, em geral, é aberto, embora em alguns pontos possam ser encontradas manchas de vegetação herbácea ou arbustiva, áreas cipoálicas e de palmeiras como *Euterpe oleracea* Mart. (açai) e *Bacris cuspidata* Mart. (marajá).

Entre as espécies comerciais mais importantes observadas na floresta de terra firme, segundo Galletti (2003), destacam-se: Maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke) Standl.), Maparajuba (*Manilkara paraensis* (Huber) Standl.), Angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke), Ipê (*Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nichols), Cupiuba (*Goupia glabra* Aubl.), Piquiá (*Caryocar villosum* (Aubl.) Pers), Tauari (*Couratari* sp), Acajú (*Vouacapoua americana* Aubl.), Jatobá (*Hymenea courbaril* L.) Timborana (*Piptadenia suaveolens* Miq.) e Faveiras (*Parkia* spp).

A área de estudo teve o seu plano de manejo vistoriado e autorizado pelo IBAMA, sendo permitido o corte anual de 20 m³/ha e um ciclo de corte de 30 anos. A Fazenda possui cerca de 12000 ha de efetivo manejo e a unidade de produção anual é de 1500 ha.

3.2. COLETA DE DADOS

3.2.1. Seleção e Cubagem das Árvores

Para realização deste estudo foi feita a cubagem rigorosa de 113 árvores. A escolha das espécies e das árvores a serem cubadas foi feita em função do plano de manejo da Izabel Madeiras do Brasil Ltda (IBL), autorizado pelo IBAMA em 2006.

O método destrutivo foi adotado e a coleta de dados teve início em 12 de junho de 2007, sendo abatidas todas as árvores com DAP \geq 51 cm, selecionadas um ano antes pelo inventário e indicadas em mapas.

Para a coleta dos dados, inicialmente era definido o mapa das árvores a serem colhidas. Em seguida, as árvores eram localizadas em campo e marcadas. O “teste do oco” era feito (figura 3.2) e, quando a árvore era considerada boa para o abate, registrava-se o seu DAP (figura 3.3 a). Quando o teste de oco detectava a existência de oco na tora, em um ponto superior ao limite de aproveitamento pela serraria (>30 cm) a árvore era deixada em pé, e não se media o DAP, apenas registrava-se no mapa que a árvore não tinha sido abatida e apresentava o motivo.



Figura 3.2 - Teste de oco realizado pelo motosserrista visando detectar a presença de espaço oco no interior da árvore e avaliar se será derrubada.

O “teste do oco” consiste em introduzir a motosserra na base da árvore (aproximadamente entre 30 e 50 cm acima do solo) para avaliar a presença de espaço oco no interior da árvore, o qual não deve passar de 30 centímetros de profundidade para que a árvore seja considerada boa para abate, ou seja, possível de ser trabalhada na serraria.

Para o abate da árvore selecionada era realizado inicialmente o preparo da área. Parte da equipe limpava a área de trabalho e construía os caminhos de fuga de acordo com a direção de queda definida pelo motosserrista (figura 3.3 b). A árvore então era abatida na altura da cepa, entre 20 a 50 cm de altura (figura 3.3 c), independente da presença de sapopema. O ideal é cortar o mais baixo possível para diminuir a quantidade de resíduo e aumentar o aproveitamento de madeira, contudo, a altura escolhida depende de alguns fatores: ocorrência de cupinzeiro na base da árvore, conforto para o motosserrista em cortar a árvore a uma altura entre 20 e 50 cm do nível do solo e a redução de perigo para a equipe. Após o abate era feita a limpeza do tronco (retirada de resíduos de outras árvores que caem em cima, cipós, galhos quebrados etc) (figura 3.3 d).



Figura 3.3 - Sequência de procedimentos realizados após a árvore ser considerada boa para o abate: Medição do diâmetro (a); abertura da rota de fuga (b); corte da árvore com motosserra para derrubada (c) e limpeza da tora para a cubagem (d).

A direção de queda era escolhida, sempre que possível, de modo que a árvore caísse em direção à clareiras naturais ou em áreas de floresta em construção e, ainda, de modo a evitar superposição de copas. Contudo, sempre sobrava algum resíduo no tronco. As toras recebiam o mesmo número de identificação do inventário, acrescidas de letras do alfabeto (ex. a, b, c) no caso do tronco ser dividido em mais de uma tora. Este procedimento visa facilitar o controle da cadeia de custódia. Após a derrubada, os motosserristas indicavam no mapa a direção real de queda para orientar a equipe de planejamento e de arraste.

A derrubada das árvores foi realizada por equipes de motosserristas treinados em técnicas de derruba direcional, o que reduz desperdícios e danos à floresta remanescente, facilita o arraste, além de reduzir riscos de acidentes. Cada equipe tradicional é constituída de um motosserrista e de um ajudante. Além disso, dois identificadores botânicos locais

acompanharam as atividades com um mapa de derruba preparado pelo Departamento Florestal da empresa. O mapa, em geral, cobre uma área de 6,25 ha (250 m X 250 m).

Após a derrubada, as alturas comercial e total de cada árvore foram registradas e os galhos separados do tronco.

Todas as árvores abatidas foram cubadas rigorosamente pelo método de Hohenadl, considerando a divisão do tronco comercial em 10 seções de comprimentos iguais (Figura 3.4). O cálculo do volume de cada seção da tora foi obtido a partir da fórmula de Smalian (6). Esta metodologia foi sugerida pelo pesquisador Niro Higuchi que coordena as pesquisas em silvicultura tropical do INPA e vem sendo aplicada por ele em regiões de floresta Amazônica.

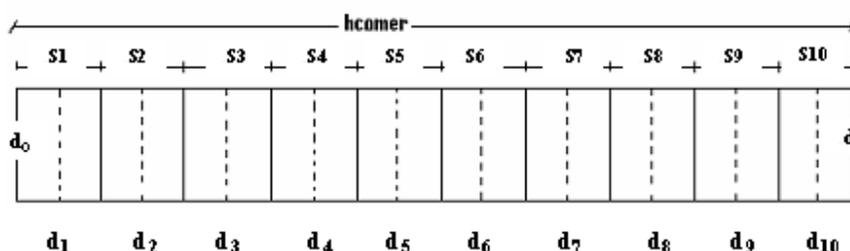


Figura 3.4 - Divisão do tronco comercial (hcomer) em dez seções pelo método de Hohenadl (S₁ a S₁₀), localização dos dez diâmetros medidos, do diâmetro da cepa (d₀) e diâmetro da ponta (d_p).

Os diâmetros de cada seção do tronco foram medidos com sutas de 80 cm e 100 cm. No caso de seções com diâmetros superiores a 100 cm foi utilizada uma trena para medir a circunferência. Valores de circunferência eram posteriormente transformados para diâmetro. O diâmetro da cepa (d₀) foi medido na base da seção de corte (figura 3.4) e, no caso das árvores com sapopema, o d₀ foi medido em um ponto localizado 30 cm acima dessa interferência.

O comprimento das seções foi medido com o auxílio de uma trena.

3.2.2. Determinação do volume comercial das árvores

O volume comercial de cada árvore foi obtido pelo somatório dos volumes das dez seções do tronco, sendo desconsiderado, portanto, o volume da cepa e da copa (fórmula 15).

$$V_{comer} = \frac{(g_0 + g_1)}{2} \cdot \frac{S}{2} + \frac{(g_1 + g_2)}{2} \cdot S + \frac{(g_2 + g_3)}{2} \cdot S + \frac{(g_3 + g_4)}{2} \cdot S + \dots + \frac{(g_{10} + g_p)}{2} \cdot \frac{S}{2} \quad (15)$$

em que:

V_{comer} = Volume comercial da árvore (m^3);

g_0 = área seccional da cepa (m^2);

$g_{1...10}$ = área seccional 1 a 10 das medidas segundo método de Hohenadl (m^2);

S = comprimento da seção obtida pelo método de Hohenadl (m);

Considerou-se como altura da cepa, a distância entre o topo da cepa (h_c) e o nível do solo e a altura comercial (h_{com}), a distância entre a base de corte da árvore, no topo da cepa, até a primeira inserção significativa de galhos.

3.2.3. Medição do diâmetro da cepa das árvores com sapopema

Durante a coleta de dados foram observadas várias árvores com sapopema e muitas formando cepas com formas bastante irregulares, como pode ser observado na figura 3.5 (a e b). As demais árvores apresentavam cepas mais cilíndricas (Figura 3.6).

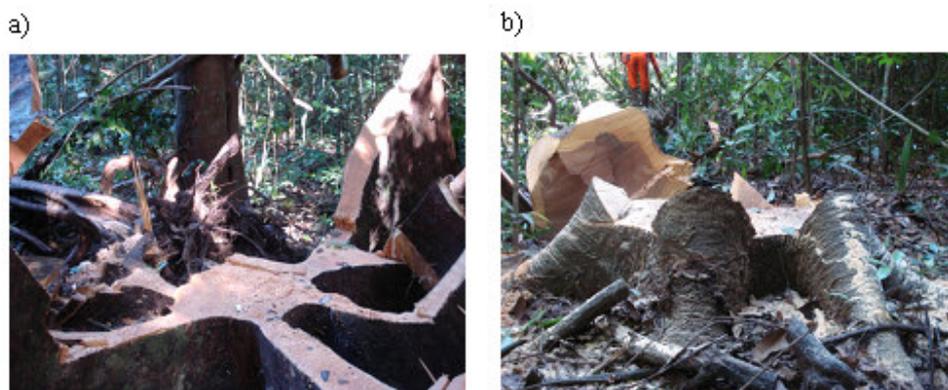


Figura 3.5 - Cepas irregulares com presença de sapopema: vista superior da cepa (a) e lista lateral da cepa (b).



Figura 3.6 – Vista superior de uma cepa pertencente a uma árvore com fuste cilíndrico.

No caso das árvores com cepas com formas irregulares, em decorrência da sapopema, a determinação do volume real das mesmas, a partir da cubagem rigorosa, considera o diâmetro da cepa (d_0), como sendo aquele tomado, geralmente, a 30 cm acima da interferência da sapopema.

Contudo, para efeito deste estudo, além de se tomar o diâmetro da cepa a 30 cm acima da interferência da sapopema, visando obter o volume real comercial, foi realizada também a medição do diâmetro da cepa em duas outras posições, sendo uma ao nível do solo, ou seja, projeção da cepa/sapopema no nível do solo, e outra, na altura do corte, ou seja, na parte superior da cepa, incluindo as catanas, nome dado à sapopema nesta altura (Figura 3.7).

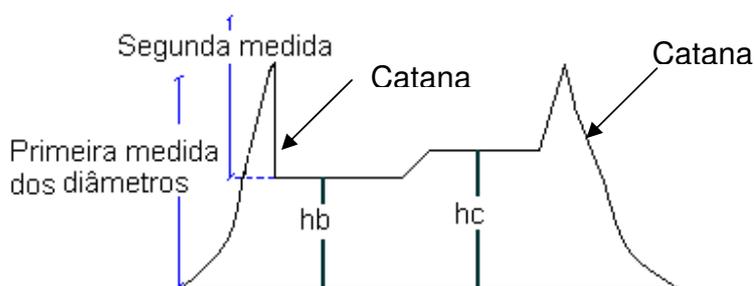


Figura 3.7— Demonstrativo das projeções de medidas dos diâmetros das cepas e da posição de medida das alturas da boca (hb) e da cepa (hc).

A decisão em se medir os diâmetros das cepas tanto ao nível do solo, ou seja, na projeção da cepa/sapopema no nível do solo, quanto na altura do corte, ou seja, na parte superior da cepa, incluindo as catanas, foi em função do fato da cepa ser a única parte do tronco que permanece no campo após o corte e retirada da árvore do local e, também, pelo fato da cepa poder servir de fonte de informação para tentar estimar o volume real da árvore colhida, quando ocorrer uma perícia no local.

A expectativa era de que os diâmetros coletados nessas duas posições da cepa fossem altamente correlacionados com o volume comercial da árvore, permitindo assim obter estimativas precisas do volume, para árvores individuais da Floresta Amazônica, a partir do diâmetro da cepa, que é o objetivo principal desta pesquisa. Além disso, a expectativa era também de encontrar diferentes alternativas de se obter um diâmetro que fosse representativo para as cepas irregulares, buscando assim atender as várias situações em que um fiscal poderia encontrar as cepas em campo, durante uma perícia, como por exemplo, cepas destruídas em função talvez da ação do tempo, ou da ação de cupins, fungos ou mesmo devido a danos causados por equipamentos de arraste.

Assim, em cada uma das duas posições escolhidas para medição do diâmetro da cepa foram tomadas várias medidas de diâmetro na cepa, visando obter com maior precisão um diâmetro médio, que fosse representativo de cada posição. Por árvore chegou-se a tomar de 2 a 5 medidas de diâmetro em cada posição (Figura 3.8), sempre procurando abranger todas as variações possíveis (diâmetros grandes, médios e pequenos). Em seguida era obtida a média desses diâmetros, para representar o diâmetro da cepa. No total foram tomadas as medições de diâmetro das cepas irregulares de 78 árvores.

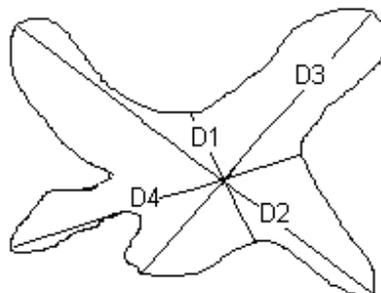


Figura 3.8 - Esquema da vista superior de uma cepa com exemplos de posições utilizadas para medir quatro diâmetros.

Para garantir maior precisão nas medidas, as projeções foram feitas com o auxílio de duas varas de um metro de altura cada, colocadas em direções opostas e seguradas por duas pessoas enquanto outra pessoa media as distâncias (diâmetros) com uma trena. Após medir os diâmetros, media-se a altura da cepa (h_c) e da boca de corte (h_b), conforme representado na figura 3.7.

A média aritmética dos diâmetros tomados em cada uma das duas posições da cepa, consideradas neste estudo, foi obtida a partir da seguinte expressão:

$$\bar{D}_{ci} = \frac{\sum D_{ci}}{n_i} \quad (16)$$

em que:

D_{ci} = diâmetro da cepa;

n_i = número total de diâmetros medidos por cepa;

\bar{D}_{ci} = diâmetro médio da cepa de cada indivíduo, sendo que:

$\bar{D}_{ci} = \bar{D}_{cs}$, quando os diâmetros da cepa são tomados ao nível do solo, ou seja, na projeção cepa/sapopema no nível do solo;

$\bar{D}_{ci} = \bar{D}_{cc}$, quando os diâmetros da cepa são tomados na altura do corte, ou seja, na parte superior da cepa, incluindo as catanas;

D_{cs} = diâmetro da cepa tomado ao nível do solo;

D_{cc} = diâmetro da cepa tomado na altura do corte.

3.3. ANÁLISE DE DADOS

3.3.1. Modelos volumétricos

A partir dos dados de volume real das árvores cubadas, foi realizado o ajuste de diferentes modelos volumétricos selecionados para estimar o volume comercial em metros cúbicos por árvore.

Do total de 113 árvores cubadas rigorosamente, 90 árvores foram utilizadas para o ajuste dos modelos e o restante, 23 árvores, foram utilizadas na validação do modelo selecionado.

Para atender aos objetivos deste estudo, foram utilizados os modelos volumétricos ajustados em função da variável independente, o diâmetro da cepa (d_0). Contudo, foram

também ajustados modelos volumétricos a partir do DAP e do DAP e altura, que são os modelos mais comumente utilizados para espécies de árvores nativas da Floresta Amazônica, devido a alta correlação entre essas variáveis e o volume comercial das árvores. O objetivo de ajustar modelos volumétricos a partir do DAP e do DAP e altura é de avaliar a eficiência de uma equação volumétrica gerada em função do diâmetro da cepa em relação a uma equação volumétrica gerada em função do DAP ou do DAP e altura.

3.3.1.1. Ajuste de modelos volumétricos em função do diâmetro da cepa (d_0)

A Tabela 3.1 apresenta o conjunto de modelos volumétricos que foram ajustados para estimar o volume comercial das árvores na área de estudo, em função do diâmetro. Todos os modelos são lineares, sendo que alguns já foram testados por Higuchi e Ramm (1985) na Amazônia Central, por Higuchi (1992) na Floresta Amazônica e por Rolim *et al.* (2006).

Tabela 3.1 - Modelos volumétricos testados para estimar volume comercial em função do diâmetro da cepa (d_0) e também para estimar volume comercial em função do DAP das árvores de uma floresta de terra firme localizada no município de Breu Branco (PA).

Modelos	Autores
$V = b_0 + b_1 d + \varepsilon$	Berkhout modificado
$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + \varepsilon$	Hohenadl & Krenn modificado
$V = b_0 + b_1 d^2 + \varepsilon$	Kopezky-Gehrhdt modificado
$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 d^{-1}$	Brenac modificado
$\log V = b_0 + b_1 \log d + \log \varepsilon$	Husch modificado

Em que: V é o volume comercial em m^3 ; d é o diâmetro da cepa (d_0) ou DAP; b_i – coeficiente de regressão.

A seleção de variáveis significativas para geração de equações, foi feita retirando-se aquelas que não apresentaram nível de significância $p \leq 0,05$.

A presença de outliers foi analisada, isto é, o caso de valores observados que diferem em demasia dos outros valores que compõem a amostra, causando um erro discrepante da média dos erros. A ocorrência de outliers foi checada cuidadosamente e, quando necessário, o outlier é retirado do conjunto de dados.

Os modelos foram ajustados considerando o total de árvores amostradas, independente da espécie.

3.3.1.2. Ajuste de modelos volumétricos em função do DAP e do DAP e altura

Na tabela 3.1 encontram-se os modelos volumétricos que foram ajustados visando estimar o volume comercial de árvores da área de estudo a partir da variável DAP e a tabela 3.2 apresenta os modelos volumétricos que foram ajustados para estimar o volume comercial em função do DAP e altura.

Tabela 3.2 - Modelos volumétricos testados para estimar volume comercial em função do DAP e altura das árvores de uma floresta de terra firme.

Modelos	Autores
$V=b_0 + b_1d^2h + \varepsilon$	Variável Combinada de Spurr
$V = b_1d^2h + \varepsilon$	Spurr
$\log V = b_0 + b_1\log d + b_2\log h + \log \varepsilon$	Schumacher & Hall
$\log V= b_0 + b_1 \log d^2h + \log \varepsilon$	Combinada logarítmica de Spurr

Em que: V é o volume comercial (m³); d é o DAP (cm); h é a altura comercial (m); b_i – coeficiente de regressão.

3.3.2. Critério para seleção dos melhores modelos

Os critérios utilizados para a escolha do melhor modelo para cada variável analisada, segundo Drapper e Smith (1981) foram:

- exame do quadro de análise de variância;
- análise das medidas de precisão: coeficiente de determinação (R²), e erro padrão da estimativa, expresso em percentagem (Syx%), sendo, neste caso, interpretado de forma análoga ao coeficiente de variação;
- distribuição gráfica dos resíduos.

3.3.2.1. Coeficiente de Determinação (R²)

O Coeficiente de Determinação (R²) é obtido a partir da seguinte expressão:

$$R^2 = \frac{SQ\text{Regressão}}{SQ\text{Total}} \quad (17)$$

em que:

R^2 = Coeficiente de Determinação Ajustado;

SQRegressão = Soma de Quadrados da Regressão;

SQTotal = Soma de Quadrados Total.

O Coeficiente de Determinação varia entre 0 e 1 ou 0 e 100%. Quanto mais próximo de 1 (um) mais precisa é a equação ajustada (Scolforo, 1997).

3.3.2.2. Erro Padrão da Estimativa (S_{yx})

O Erro-Padrão da Estimativa indica a precisão do ajuste de um modelo matemático e é dado por:

$$S_{yx} = \sqrt{QM_{res}} \quad (18)$$

em que:

S_{yx} = Erro-padrão da estimativa;

QM_{res} = Quadrado médio do resíduo, obtido na análise de variância.

Quanto menor S_{yx} , melhor é a estimativa obtida com a equação.

O erro padrão foi obtido em porcentagem ($S_{yx}\%$), dividindo-se o valor absoluto pela média aritmética do volume real sendo interpretado como o coeficiente de variação.

3.3.2.3. Distribuição gráfica dos valores residuais

As medidas apresentadas anteriormente indicam a precisão do modelo, mas uma análise complementar deve ser feita através da distribuição gráfica dos resíduos. Os resíduos são obtidos pela diferença entre o volume real observado de cada árvore em campo e o seu correspondente volume estimado, a partir da equação de volume selecionada. A distribuição gráfica dos resíduos visa verificar se o modelo selecionado apresenta alguma tendência na estimativa do volume e o desejado é que os resíduos se apresentem distribuídos de forma uniforme e próximos de zero, independente do tamanho da árvore.

3.3.3. Correção da Discrepância Logarítmica

As medidas de precisão das equações originadas dos modelos logarítmicos, ajustadas para cada variável foram recalculadas para as suas unidades originais, para que as mesmas

fossem comparadas com aquelas obtidas pelas equações lineares não logaritmizadas. Para isto foi utilizado o fator de correção apresentado por Baskerville (1972; citado por Santos *et al.*, 2001) para corrigir a discrepância logarítmica e permitir o novo cálculo das medidas de precisão:

$$f = e^{(QMR/2)} \quad (19)$$

em que:

f = fator de correção para a discrepância logarítmica;

e = exponencial;

QMR = quadrado médio do resíduo da equação logarítmica.

Neste estudo foi adotado o logaritmo de base 10.

Calculado o fator de correção da discrepância logarítmica obteve-se o volume estimado corrigido, ou seja:

$$Vol_{est} = 10^{(\log Vol_{est} * f)} \quad (20)$$

De posse dos novos valores de volume calculou-se os novos valores de soma de quadrados dos resíduos (SQResíduos_{recalculado}) e soma de quadrados total (SQTotal_{recalculado}), para obtenção dos valores recalculados de R² e Syx% das equações logarítmicas, dados por:

$$R^2 = 1 - \left[\frac{SQResíduo_{recalculado}}{SQTotal_{recalculado}} \right] \quad (21)$$

$$Syx\% = \frac{\left(\sqrt{\frac{SQResíduo_{(recalculado)}}{n - k - 1}} \right)}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (22)$$

em que:

SQTotal = Soma de quadrados total;

n = número de observações;

K = número de variáveis independentes;

\bar{Y} = média da variável dependente (volume).

A equação de volume selecionada foi aquela derivada do modelo que apresentou a melhor combinação dos indicadores estatísticos, ou seja: maior coeficiente de determinação, menor erro padrão da estimativa e melhor distribuição de resíduos.

3.3.4. Estimativa do diâmetro da cepa em árvores com cepas de formas irregulares

3.3.4.1. Uso de um fator de estimação médio do diâmetro da cepa

A partir dos valores de \bar{D}_{cs} , \bar{D}_{cc} e d_0 , foi calculado um fator de estimação que permitisse estimar o diâmetro da cepa d_0 .

Para obtenção do fator que estima d_0 a partir do diâmetro médio da cepa tomado ao nível do solo foi adotada a seguinte relação:

$$F_{cs} = \frac{d_0}{\bar{D}_{cs}} \quad (23)$$

em que:

F_{cs} = fator de estimação de d_0 em função do diâmetro médio da cepa tomado ao nível do solo;

d_0 = diâmetro da cepa em cm, tomado a 30 cm acima da interferência da sapopema;

\bar{D}_{cs} = diâmetro médio da cepa em cm tomado ao nível do solo.

Para obter fator de estimação de d_0 a partir do diâmetro médio da cepa tomado na altura do corte foi adotada a seguinte relação:

$$F_{cc} = \frac{d_0}{\bar{D}_{cc}} \quad (24)$$

em que:

F_{cc} = fator de estimação de d_0 em função do diâmetro médio da cepa tomado na altura do corte;

d_0 = diâmetro da cepa em cm, tomado a 30 cm acima da interferência da sapopema;

\bar{D}_{cc} = diâmetro médio da cepa em cm tomado na altura do corte.

A partir dos fatores de estimação dos diâmetros das cepas (F_{cc} e F_{cs}) de cada árvore, foi calculado um fator de estimação médio para cada situação (\bar{F}_{cs} e \bar{F}_{cc}).

3.3.4.2. Uso de modelos matemáticos para estimar um fator de estimação do diâmetro da cepa

Das 78 árvores que tiveram os valores de D_{cs} e D_{cc} registrados, uma amostra de 63 árvores foi utilizada para gerar equações matemáticas que estimassem o fator de estimação do

diâmetro da cepa. Tais modelos utilizaram como variável independente o diâmetro médio da cepa tomado ao nível do solo (\bar{D}_{cs}) ou diâmetro médio da cepa tomado na altura do corte (\bar{D}_{cc}). Os modelos matemáticos testados para estimar o fator de estimação encontram-se na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Modelos matemáticos testados para estimar o fator de estimação do diâmetro da cepa

Modelos	Autores
$F_{ci} = b_0 + b_1 D_{ci} + \varepsilon$	Berkhout modificado
$F_{ci} = b_0 + b_1 D_{ci} + b_2 D_{ci}^2 + \varepsilon$	Hohenadl & Krenn modificado
$F_{ci} = b_0 + b_1 D_{ci}^2 + \varepsilon$	Kopezky-Gehrhdt modificado
$\text{Log } F_{ci} = b_0 + b_1 \log D_{ci} + b_2 D_{ci}^{-1} + \varepsilon$	Brenac modificado
$\log F_{ci} = b_0 + b_1 \log D_{ci} + \log \varepsilon$	Husch modificado

onde: F_{ci} = Fator de estimação do diâmetro da cepa, podendo ser ou em função do diâmetro da cepa tomado ao nível do solo (F_{cs}) ou em função do diâmetro da cepa tomado na altura do corte (F_{cc}); D_{ci} = diâmetro médio da cepa tomado ao nível do solo (\bar{D}_{cs}) ou diâmetro médio da cepa tomado a altura do corte (\bar{D}_{cc}); b_0 = constante do modelo; b_1 e b_2 = coeficientes da regressão; log = logaritmo na base 10; ε = erro da equação.

A significância das variáveis independentes nos modelos testados foi avaliada, sendo considerada significativa a variável que apresentasse um nível de significância $p \leq 0,05$.

A seleção do melhor modelo ajustado foi baseada nos critérios de seleção apresentados no item 3.3.2.

A partir do modelo selecionado foi estimado o fator de estimação do diâmetro da cepa por árvore para, posteriormente, obter o diâmetro da cepa estimado.

3.3.5. Validação das equações volumétricas e das equações de estimação do diâmetro da cepa selecionadas

Para a seleção das 23 árvores que seriam utilizadas na validação da equação selecionada, foi realizada, inicialmente, a distribuição de todos os indivíduos cubados em classes de diâmetro (DAP), considerando intervalos de classe igual a 10 cm. Após a distribuição dos dados em classes de diâmetro, foram selecionados 20% dos indivíduos de

cada classe que seriam utilizados na validação, ou seja, 23 árvores pertencentes as diferentes classes de diâmetro.

3.3.5.1. Equações Volumétricas

Para verificação da precisão das equações volumétricas selecionadas foi aplicado o teste t para dados pareados (Campos e Leite, 2002), tradicionalmente utilizado quando se deseja examinar se uma nova técnica de predição é igual ou pode substituir uma já existente.

No caso das equações de volume, para aplicação do teste, foram utilizadas as 23 árvores que foram selecionadas e separadas dentro do conjunto original dos dados cubados rigorosamente, para serem utilizadas na validação das equações. A validação foi feita para a equação selecionada para estimar o volume comercial da árvore a partir do diâmetro da cepa (d_0 – tomado na base do tronco cilíndrico e tomado a 30 cm acima da interferência da sapopema).

Considerando que os erros obtidos entre os valores estimados pelas equações e os valores reais (provenientes da cubagem) seguem uma distribuição normal, a hipótese $H_0: \bar{e} = 0$ versus H_1 : rejeita-se H_0 , pode ser testada pela estatística “t”, dada por $t_{\bar{e}} = \frac{\bar{e} - 0}{S_{\bar{e}}}$, sendo

$S_{\bar{e}} = \frac{Se}{\sqrt{n}}$, com n-1 graus de liberdade (gl). Se $t_{\bar{e}} \geq t\alpha$ (n-1 gl), a hipótese é rejeitada, caso

contrário se $t_{\bar{e}} < t\alpha$ (n-1 gl), aceita-se H_0 (Campos e Leite, 2006).

Considerando ainda que as equações de volume geradas em função do DAP, podendo também, incluir ou não a variável altura, são as mais comumente ajustadas para estimar o volume de árvores na Floresta Amazônica, e pela necessidade de verificar se o d_0 possui mesma precisão que o DAP, resolveu-se também comparar a equação de volume selecionada neste estudo para estimar o volume comercial a partir do diâmetro da cepa (d_0) com a equação selecionada para estimar o volume comercial em função DAP. Para isto, aplicou-se o teste t aos dados estimados pelas duas equações, considerando que a primeira equação é a nova técnica que está sendo testada.

3.3.5.2. Fator de estimação do diâmetro da cepa para árvores com cepas irregulares

Para este caso, adotou-se também o teste t para dados pareados para validar os fatores de estimação.

Contudo, a variável a ser testada foi o valor de d_0 estimado a partir dos diferentes métodos que originaram os fatores de estimação. Assim, para aplicação do teste, foram utilizadas as 15 árvores que foram selecionadas e separadas entre as 78 árvores que tiveram os valores de \bar{D}_{cs} e \bar{D}_{cc} registrados. As 15 árvores também foram selecionadas proporcionalmente entre as diferentes classes de diâmetro.

Desta forma os valores reais de d_0 (diâmetro da cepa em cm, tomado a 30 cm acima da interferência da sapopema) das 15 árvores selecionadas foram comparados com os valores de d_0 estimados a partir dos valores médios de F_{cc} e F_{cs} , já definidos anteriormente e dos valores de d_0 estimados a partir das equações selecionadas para estimar F_{cc} e F_{cs} . O objetivo era o de comparar se o diâmetro da cepa (d_0) das árvores com cepa de formas irregulares é diferente ou estatisticamente igual ao diâmetro da cepa estimado tanto pelo fator de estimação médio quanto pelo fator de estimação gerado a partir de equações matemáticas.

Considerando que os erros obtidos entre os diâmetros reais e estimados pelo fator de estimação médio e os erros obtidos entre os diâmetros reais e estimados pelo fator de estimação gerado a partir das equações, seguem uma distribuição normal, a hipótese $H_0: \bar{e} = 0$ versus H_1 : rejeita-se H_0 , pode ser testada pela estatística “t”, dada por $t_{\bar{e}} = \frac{\bar{e} - 0}{S_{\bar{e}}}$, sendo $S_{\bar{e}} = \frac{Se}{\sqrt{n}}$, com n-1 graus de liberdade (gl). Se $t_{\bar{e}} \geq t\alpha$ (n-1 gl), a hipótese é rejeitada, caso contrário se $t_{\bar{e}} < t\alpha$ (n-1 gl), aceita-se H_0 (Campos e Leite, 2006).

Após este teste, resolveu-se também comparar os resultados obtidos pela equação de volume selecionada neste estudo para estimar o volume comercial a partir do diâmetro da cepa (d_0) utilizando os diâmetros das cepas estimados com os fatores de estimação, comparando com os valores de volume comercial. O objetivo era observar se o volume obtido pela equação selecionada para d_0 , calculada com o diâmetro da cepa estimado das árvores com cepa de formas irregulares é diferente ou estatisticamente igual ao volume observado.

4. RESULTADOS e DISCUSSÃO

4.1. ESTIMATIVA DO VOLUME COMERCIAL

4.1.1. Volume comercial estimado a partir do diâmetro da cepa (d_0)

Na tabela 4.1 encontram-se os resultados das equações ajustadas para estimar o volume comercial a partir do diâmetro da cepa. Observa-se que os valores de coeficiente de determinação variaram de 73,84% a 77,05%. Os valores de erro-padrão variaram respectivamente de 21,65% a 23,38%. Todos os modelos estudados foram significativos ao nível de 1% de probabilidade, confirmando a existência da regressão.

Tabela 4.1 - Estimadores dos parâmetros e medidas de precisão das equações ajustadas para estimar o volume comercial de árvores em função do diâmetro da cepa (d_0), para uma área de floresta de terra firme.

Equações	Variável			Medidas de Precisão		
	b_0	b_1	b_2	$R^2_{ajust} (\%)$	Syx	Syx %
$V=b_0 + b_1d$	-9,7038	0,2280		77,05	1,8599	21,65
$V=b_0 + b_1d + b_2d^2$	-11,4965	0,2688	-0,0002ns	76,83	1,8686	21,75
$V=b_0 + b_1d^2$	0,4867	0,0012		75,04	1,9395	22,58
$\log V= b_0 + b_1\log d + b_2d^{-1}$	-3,2124	2,1402	3,6014	73,84*	2,0083*	23,38*
$\log V= b_0 + b_1\log d$	-2,9783	2,0412		74,22*	1,9823*	23,07*

Em que: V é o volume comercial em metros cúbicos; d é o diâmetro da cepa (d_0); b_1 é o coeficiente de regressão; $R^2_{ajust} (\%)$ é o coeficiente de determinação ajustado em porcentagem; Syx é o erro padrão da estimativa.

* Medidas de precisão corrigidas: Coeficiente de determinação recalculado e Erro padrão da estimativa recalculado.

ns Coeficientes não significativos ($p>0,05$).

Pelos resultados apresentados na Tabela 4.1, no qual as equações ajustadas apresentam medidas de precisão bastante similares, a equação $V = b_0 + b_1d$ (modelo de Berkhout modificado) foi a que apresentou melhores estimativas, apenas a equação $V = b_0 + b_1d + b_2d^2$ (Tabela 4.1) se aproximou em precisão. Mas, como esta segunda equação possui o coeficiente “ b_2 ” não significativo ($p>0,05$), o que significa que a variável “ d^2 ” não é considerada precisa, ou possui alta correlação com a outra variável independente envolvida na equação, e a retirada da mesma, como é recomendado nestes casos, faz com que a equação se equivalha à equação ajustada para o modelo de Berkhout modificado, esta última foi selecionada.

A Figura 4.1 apresenta os gráficos de resíduos gerados a partir das equações ajustadas. Verifica-se que o comportamento da distribuição de resíduos é muito semelhante para todos os modelos ajustados. Os resíduos apresentaram uma distribuição mais homogênea nas classes de diâmetro que mais concentram indivíduos, ou seja, entre 64 a 84 cm. Evidencia-se, portanto, que houve uma pequena tendência de super e subestimação do volume conforme aumentou as medidas de d_0 . Vários fatores podem explicar esta tendência, como por exemplo, a variabilidade do d_0 versus o volume o que ocorre pela diversidade de espécies e pela diversidade de formas e tamanhos, comum em matas nativas. No entanto, esta tendência não inviabiliza o uso das equações estudadas, permanecendo a equação $V = -9,7038 + 0,2280.d$ como a melhor e indicada por esta pesquisa.

4.1.2. Volume comercial estimado a partir do DAP e do DAP e altura

As tabelas 4.2 e 4.3 apresentam respectivamente os resultados dos ajustes das equações que estimam o volume comercial das árvores em função apenas da variável DAP e em função das variáveis DAP e altura.

Observa-se que as equações ajustadas apenas com DAP apresentaram coeficientes de determinação relativamente altos que variaram de 75,86% a 77,37%. Os valores de erro padrão residual foram relativamente baixos variando de 21,50% a 22,33%. Para as equações ajustadas em função do DAP e altura, a precisão foi melhor, com valores de coeficiente de determinação variando de 93,77% a 98,81% e valores de erro padrão residual variando de 10,62% a 11,97%.

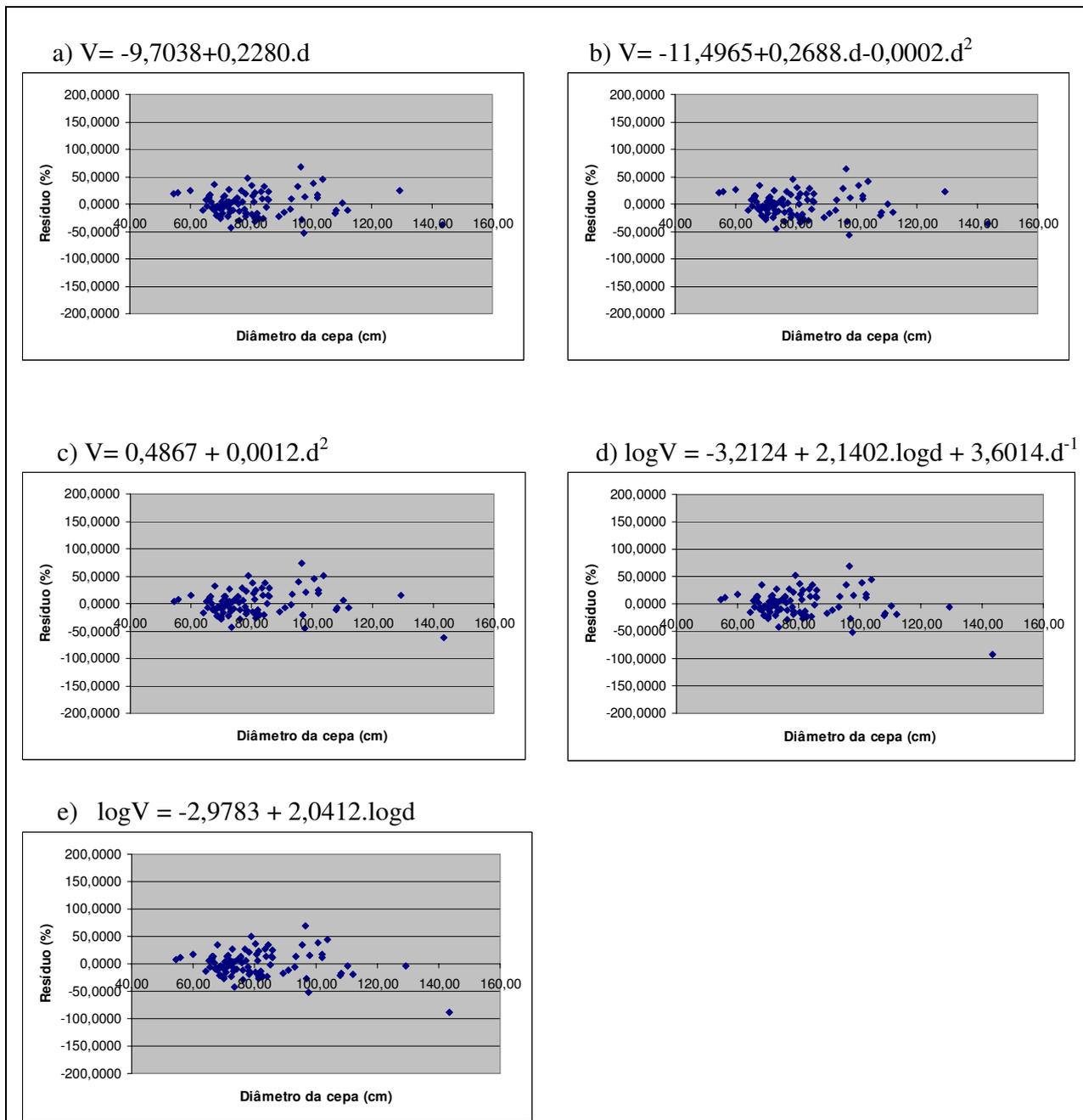


Figura 4.1 - Distribuição dos resíduos em porcentagem em função do diâmetro da cepa (d_0) em cm, para as equações estudadas.

Tabela 4.2 - Estimadores dos parâmetros e medidas de precisão das equações ajustadas para estimar o volume comercial de árvores em função do DAP, para uma área de floresta de terra firme.

Equações	Variável			Medidas de Precisão		
	b ₀	b ₁	b ₂	R ² _{ajust (%)}	Syx	Syx %
V=b ₀ + b ₁ d	-10,5540	0,2400		77,37	1,8469	21,50
V=b ₀ + b ₁ d + b ₂ d ²	-9,2607	0,2099ns	0,0002ns	77,13	1,8568	21,62
V=b ₀ + b ₁ d ²	-0,1188	0,0013		76,51	1,8817	21,90
logV= b ₀ + b ₁ logd + b ₂ d ⁻¹	-2,7733	1,9744ns	-5,7282ns	76,19*	1,9160*	22,30*
logV= b ₀ + b ₁ logd	-3,1476	2,1329		75,86*	1,9182*	22,33*

Em que: V é o volume comercial em metros cúbicos; d é o DAP; b_i é o coeficiente de regressão; R²_{ajust (%)} é o coeficiente de determinação ajustado em porcentagem; Syx é o erro padrão da estimativa.

* Medidas de precisão corrigidas: Coeficiente de determinação recalculado e Erro padrão da estimativa recalculado.

ns Coeficientes não significativos (p>0,05).

Tabela 4.3 - Estimadores dos parâmetros e medidas de precisão das equações ajustadas para estimar o volume comercial de árvores em função do DAP e altura total, para uma área de floresta de terra firme.

Equações	Variável			Medidas de Precisão		
	b ₀	b ₁	b ₂	R ² _{ajust (%)}	Syx	Syx %
V=b ₀ + b ₁ d ² h	0,8243	0,0001		93,77	0,9693	11,28
V = b ₁ d ² h		0,0001		98,81	1,0288	11,98
logV = b ₀ + b ₁ logd + b ₂ logh	-3,8406	1,9717	0,7541	94,60*	0,9122*	10,62*
logV= b ₀ + b ₁ log d ² h	-3,6887	0,8962		93,90*	0,9646*	11,23*

Em que: V é o volume comercial em metros cúbicos; d é o DAP; b_i é o coeficiente de regressão; R²_{ajust (%)} é o coeficiente de determinação ajustado em porcentagem; Syx é o erro padrão da estimativa.

* Medidas de precisão corrigidas: Coeficiente de determinação recalculado e Erro padrão da estimativa recalculado.

Como esperado, as equações que utilizaram as variáveis DAP e altura apresentaram resultados melhores do que aquelas geradas apenas a partir da variável DAP, apresentando coeficientes de determinação acima de 90% (tabela 4.3). Isto ocorre por esta relação (DAP e h) se aproximar mais do comportamento das árvores na natureza. Segundo Santos (1996), uma equação que considera tanto o diâmetro quanto a altura deve produzir estimativas melhores do que uma equação que utiliza apenas o diâmetro. A precisão aumenta a medida que se aumenta o número de variáveis independentes, desde que a informação auxiliar se adeque à população

em questão, caso contrário, há um aumento na tendenciosidade, o que compromete a confiabilidade das estimativas.

Rolim *et al.* (2006) ao comparar modelos de simples entrada (DAP) com modelos de dupla entrada (DAP e h), também encontraram coeficientes de determinação menores e erros maiores para o primeiro caso, e concluíram que essa precisão menor é esperada, pois esses modelos assumem que árvores de mesmo diâmetro possuem a mesma altura, o que não é verdadeiro para florestas heterogêneas.

Neste estudo, todos os modelos testados foram significativos ao nível de 1% de probabilidade, confirmando a existência da regressão. No entanto, o modelo “ $V = b_1 \cdot d^2 \cdot h$ ” (Spurr) (Tabela 4.3) apresentou as melhores medidas de precisão. A distribuição residual também comprovou a precisão do modelo. Portanto, o modelo de Spurr é recomendado para estimar o volume comercial de árvores a partir do DAP e altura, quando for possível medir a variável altura. No entanto, quando somente for possível medir a variável DAP, ou, quando apenas esta variável estiver disponível no inventário, recomenda-se o uso da equação $V = -10,5540 + 0,2400 \cdot d$ gerada a partir do modelo de Berkhout.

O DAP é uma das variáveis mais usadas em estudos realizados na Floresta Amazônica. Sua importância é observada em um estudo realizado por Menezes e Silva (2003), que tinha como objetivo melhorar a precisão de estimativas volumétricas da Amazônia brasileira, obtendo equações de volume, para uma floresta no estado do Pará, ajustadas a partir de modelos matemáticos em função apenas do DAP. Segundo Menezes e Silva (2003), os coeficientes de determinação encontrados, embora não tão altos, explicam entre 60 e 70% da variação do volume, e estão bem acima daqueles observados para equações determinadas para diversas espécies e regiões da Amazônia.

Outro estudo que enfatiza o uso da variável DAP foi desenvolvido por Rolim *et al.* (2006). Esses autores indicaram uma equação de simples (DAP) e outra de dupla entrada (DAP e h) para a estimativa de volume para a floresta nacional do Tapirapé-Aquiri.

O DAP apresenta boa correlação com o volume da árvore, e é de fácil determinação, diferente da altura que é mais difícil de medir.

Menezes e Silva (2003) escolheram a equação ajustada a partir do modelo de Kopezki-Gehardt ($V = b_0 + b_1 \cdot d^2$) por possuir 71, 24% de coeficiente de determinação e erro de

28,90%, valores estes, inferiores ao obtido no presente estudo com o mesmo modelo (tabela 4.2) utilizando DAP ou d_0 .

4.2. VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE VOLUME

4.2.1. Validação da equação para estimar o volume comercial a partir do diâmetro da cepa (d_0)

O teste de t para dados pareados que foi utilizado para validação da equação selecionada para estimar o volume comercial de uma árvore a partir do diâmetro da cepa, indicou com 95% de confiança, que a equação selecionada ($V = -9,7038 + 0,2280 \cdot d_0$) estima bem os volumes comerciais, se aproximando dos valores de volume observados. A equação desenvolvida demonstrou que sua resposta aos dados levantados é compatível com os dados de campo, motivo este que reafirma a recomendação para o uso desta equação.

4.2.2. Equação para estimar o volume comercial a partir do diâmetro da cepa (d_0) versus equação para estimar o volume comercial a partir do DAP

Os ajustes de modelos volumétricos em função das variáveis DAP e DAP e altura foram realizados apenas visando comparar a precisão dos mesmos com a precisão das equações ajustadas em função do d_0 , que é o objetivo desta pesquisa. Os resultados mostraram que as equações que estimam volume a partir do d_0 (tabela 4.1) são tão precisas quanto àquelas que estimam volume apenas em função do DAP (tabela 4.2). Contudo, quando comparadas as equações ajustadas em função do DAP e da altura (tabela 4.3), verificou-se que a precisão foi menor. No entanto, as medidas de precisão obtidas para as equações ajustadas em função do d_0 se mostram satisfatórias, se comparadas com outros estudos realizados para a Floresta Amazônica, como de Santos (1996) e Rolim *et al.* (2006), que encontraram, por exemplo, o menor valor de R^2 entre 81% e 82%, para modelos com variável independente DAP; e Menezes e Silva (2003) que encontraram valores entre 60 e 71%, para modelos com esta mesma variável.

O fato das medidas de precisão das equações de volume em função do d_0 e em função de DAP apresentarem valores próximos, demonstra, a princípio, que o comportamento das equações é semelhante, não diferindo significativamente o uso do diâmetro da cepa ou

diâmetro a altura do peito para estimar o volume comercial das árvores na área de estudo, fato este confirmado pelo teste de “t”. Portanto, é possível afirmar com 95% de confiança, que o volume estimado utilizando a variável independente “ d_0 ” é estatisticamente igual ao volume estimado com DAP, ou seja, a equação de volume não perderá em precisão ao utilizar o “ d_0 ”.

4.3. ESTIMATIVA DO FATOR DE ESTIMAÇÃO DO DIÂMETRO DA CEPA EM ÁRVORES COM CEPAS IRREGULARES

4.3.1. Seleção do melhor modelo

As tabelas 4.4 e 4.5 apresentam os resultados dos ajustes das equações testadas para estimar o fator de estimação do diâmetro da cepa (d_0) a partir do diâmetro da cepa tomado ao nível do solo (D_{cs}) e do diâmetro da cepa tomado na altura do corte (D_{cc}), respectivamente.

Observa-se pelos resultados apresentados nas tabelas 4.4 e 4.5 que todas as equações ajustadas apresentaram boa precisão. As equações ajustadas para estimar os valores de F_{cs} apresentaram coeficientes de determinação variando de 47,12% a 79,14% e valores de erro padrão residual variando de 14,21% a 22,45%. No caso das equações ajustadas para estimar F_{cc} , os valores de coeficiente de determinação variaram de 52,88% a 73,09%, enquanto os valores de erro padrão residual variaram de 13,73% a 17,97%.

Tabela 4.4 - Estimadores dos parâmetros e medidas de precisão das equações ajustadas para calcular o fator de estimação do diâmetro da cepa (d_0) a partir da variável diâmetro da cepa tomado ao nível do solo (F_{cs}), para uma área de floresta de terra firme.

Equações	Variável			Medidas de Precisão		
	b_0	b_1	b_2	$R^2_{ajust} (\%)$	Syx	Syx%
$F_{cs} = b_0 + b_1d$	0,7297	-0,0015		63,62	0,0818	18,62
$F_{cs} = b_0 + b_1d + b_2d^2$	1,0313	-0,0042	5,14E-06	76,22	0,0661	15,05
$F_{cs} = b_0 + b_1d^2$	0,5434	0,0000		47,12	0,0986	22,45
$\log F_{cs} = b_0 + b_1\log d + b_2d^{-1}$	1,7091	-0,9128	-3,0861ns	79,14*	0,0630*	14,33*
$\log F_{cs} = b_0 + b_1\log d$	1,6068	-0,8754		79,14*	0,0625*	14,21*

Em que: F_{cs} é o fator de estimação do diâmetro da cepa a partir da variável diâmetro médio da cepa tomado ao nível do solo (d); b_i é o coeficiente de regressão; $R^2_{ajust} (\%)$ é o coeficiente de determinação ajustado em porcentagem; Syx é o erro padrão da estimativa.

* Medidas de precisão corrigidas: Coeficiente de determinação recalculado e Erro padrão da estimativa recalculado.

ns Coeficientes não significativos ($p > 0,05$).

Tabela 4.5 - Estimadores dos parâmetros e medidas de precisão das equações ajustadas para calcular o fator de estimação do diâmetro da cepa (d_0) a partir da variável diâmetro da cepa tomado ao nível do corte (F_{cc}), para uma área de floresta de terra firme.

Equações	Variável			Medidas de Precisão		
	b_0	b_1	b_2	$R^2_{ajust} (\%)$	Syx	Syx%
$F_{cc} = b_0 + b_1d$	0,9341	-0,0025		65,08	0,0857	15,47
$F_{cc} = b_0 + b_1d + b_2d^2$	1,2365	-0,0061	9,819E-06	71,66	0,0772	13,94
$F_{cc} = b_0 + b_1d^2$	0,7039	0,0000		52,88	0,0996	17,97
$\log F_{cc} = b_0 + b_1\log d + b_2d^{-1}$	1,9888	-1,0094	-11,0568ns	73,09*	0,0765*	13,80*
$\log F_{cc} = b_0 + b_1\log d$	1,5403	-0,8385		72,96*	0,0760*	13,73*
$\log F_{cc} = b_0 + b_1d$	0,0574	-0,0022	x	70,90*	0,0789*	14,24*

Em que: F_{cc} é o fator de estimação do diâmetro da cepa a partir da variável diâmetro médio da cepa tomado ao nível do corte (d); b_i é o coeficiente de regressão; $R^2_{ajust} (\%)$ é o coeficiente de determinação ajustado em porcentagem; Syx é o erro padrão da estimativa.

* Medidas de precisão corrigidas: Coeficiente de determinação recalculado e Erro padrão da estimativa recalculado.

ns Coeficientes não significativos ($p > 0,05$).

Baseando-se nos valores de R^2 e S_{yx} de cada equação, pode-se observar que as equações $\log F_{cs} = b_0 + b_1\log d$ e $\log F_{cc} = b_0 + b_1\log d$, em que d representa, respectivamente, \bar{D}_{cs} e \bar{D}_{cc} , foram as que apresentaram melhores medidas de precisão, embora outras equações

tenham apresentado valores bastante próximos. A análise gráfica dos resíduos confirmou a precisão das equações.

4.3.2. Validação dos fatores de estimação do diâmetro da cepa gerados a partir das equações selecionadas para estimar o fator de estimação e a partir do fator de estimação médio

A partir das equações selecionadas para estimar F_{cs} e F_{cc} , foram obtidos os valores estimados de diâmetro da cepa (\hat{d}_0) para as 15 árvores selecionadas visando a validação das equações selecionadas.

O diâmetro da cepa real (d_0) e estimado (\hat{d}_0) a partir das equações de F_{cs} e F_{cc} foram comparados através do teste de t para dados pareados, conforme anteriormente apresentado.

Os resultados da aplicação do teste mostraram que os valores de \hat{d}_0 , gerados a partir do fator de estimação F_{cs} , estimado pela equação de F_{cs} e, conseqüentemente, a partir de (\bar{D}_{cs}), não diferem significativamente ao nível de 5% de significância dos valores reais do diâmetro da cepa (d_0).

O fator de estimação médio para estimar o diâmetro da cepa foi calculado (\bar{F}_{cs} = 0,4394) e, em seguida, utilizado para estimar o diâmetro da cepa de cada uma das árvores selecionadas para a validação do fator. Observou-se que os valores de diâmetro da cepa estimados a partir deste fator médio, não diferiram significativamente dos valores reais de diâmetro da cepa ao nível de 5% de significância.

Portanto, para estimar o valor real do diâmetro da cepa da área estudada pode ser usado tanto o fator de estimação do diâmetro da cepa estimado a partir da equação selecionada quanto um fator de estimação médio do diâmetro da cepa.

Além disso, os dois fatores estimados foram considerados estatisticamente iguais pelo teste t com 5% de significância.

Para o caso do diâmetro da cepa estimado a partir da equação que estima o F_{cc} em função do diâmetro médio da cepa tomado na altura do corte (\bar{D}_{cc}), verificou-se, pelo teste de t para dados pareados, que os valores de diâmetro da cepa estimados a partir deste fator não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância dos valores reais de diâmetro da cepa.

Contudo, o fator de estimação médio usado para estimar o diâmetro da cepa das árvores ($\bar{F}_{cc} = 0,5542$) apresentou diferenças significativas, pois os valores reais de diâmetro da cepa foram estatisticamente diferentes dos valores estimados a partir desse fator médio, pelo teste de t para dados pareados. Foi verificado também que os valores de diâmetro da cepa gerados a partir desse fator de estimação médio também diferem significativamente dos diâmetros da cepa estimados a partir da equação que estima F_{cc} .

Os resultados mostram que as equações que estimam F_{cc} e F_{cs} podem ser utilizadas com precisão para estimar o volume comercial de árvores da floresta estudada, considerando que os valores de diâmetro da cepa estimados a partir dessas equações não diferem dos valores observados.

4.3.3. Validação da equação para estimar o volume comercial a partir do diâmetro da cepa (d_0) utilizando os diâmetros da cepa estimados

O teste de t para dados pareados que foi utilizado para validação da equação selecionada para estimar o volume comercial de uma árvore a partir do diâmetro da cepa utilizando como variável independente os diâmetros da cepa estimados com \bar{F}_{cs} , F_{cs} estimado e F_{cc} estimado, indicou com 95% de confiança, que a equação utilizando estas variáveis estima bem os volumes comerciais, se aproximando dos valores de volume obtidos com a cubagem rigorosa.

No entanto, este mesmo teste aplicado para validação da equação selecionada para estimar o volume comercial de uma árvore a partir do diâmetro da cepa utilizando como variável independente os diâmetros da cepa estimados com \bar{F}_{cc} , indicou que a equação não estima bem os volumes comerciais.

Isto é, o volume comercial de árvores com cepas irregulares obtido com o diâmetro da cepa calculado em função da equação de F_{cc} e F_{cs} , que estimam o fator estimado do diâmetro da cepa em função de \bar{D}_{cc} e \bar{D}_{cs} , se equivale estatisticamente ao volume comercial obtido pela cubagem rigorosa, bem como pelo diâmetro calculado em função do \bar{F}_{cs} .

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados desta pesquisa permitem concluir que:

1. É possível estimar o volume de árvores em áreas de floresta de terra firme que foram desmatadas ilegalmente e que não existe informações sobre o volume de madeira colhido, medindo-se apenas o diâmetro das cepas que ficaram na área após a exploração. Sendo assim, a hipótese é aceita.
2. O diâmetro da cepa (d_0) apresenta boa relação com o volume comercial de árvores em floresta de terra firme, e pode ser utilizado no ajuste de modelos matemáticos visando estimar o volume comercial de árvores.
3. Não existe diferença significativa entre os valores reais de volume comercial de árvores e os volumes estimados, gerados a partir de uma equação linear ajustada em função do diâmetro da cepa ($V = b_0 + b_1 \cdot d_0$), demonstrando assim que é possível obter com precisão, informações de volume a partir do diâmetro da cepa.
4. A precisão de equações volumétricas geradas a partir do diâmetro da cepa (d_0) se compara a precisão de equações volumétricas geradas somente em função do DAP, considerando um nível de significância de 5% pelo teste t. O DAP é a variável mais comumente utilizada para estimar o volume de árvores na Floresta Amazônica, devido não apenas a alta correlação existente entre DAP e volume, mas também em função da facilidade de medição do DAP, já que a variável altura é uma variável mais difícil de se medir na maioria das formações florestais tropicais.
5. Para árvores que formam sapopema e cujas cepas não cilíndricas apresentam formas bastante irregulares, o diâmetro da cepa (d_0), utilizado na estimativa do volume real, é tomado, geralmente, a 30 cm acima da interferência da sapopema. Contudo, é possível estimar o volume real destas árvores com cepas irregulares a partir de um diâmetro da cepa, obtido pela média de 3 (três) ou mais diâmetros tomados ou ao nível do solo (\bar{D}_{cs}), ou na altura de

corde da cepa (\bar{D}_{cc}). Tais diâmetros permitem estimar com precisão o diâmetro da cepa (d_0), a partir de um fator de estimação, cognominado de F_{cs} ou F_{cc} , que é dado pela razão entre d_0 e \bar{D}_{cs} e entre d_0 e \bar{D}_{cc} , respectivamente. E os volumes obtidos por estes são estatisticamente iguais ao volume real.

6. Quando o diâmetro da cepa é tomado ao nível do solo (\bar{D}_{cs}), é possível estimar com precisão o diâmetro real da cepa (d_0) ou a partir de um fator de estimação médio da população amostrada, ou a partir de uma função matemática que expressa a relação entre o fator de estimação do diâmetro da cepa e o \bar{D}_{cs} . Valores de d_0 estimados a partir de qualquer um desses dois fatores não diferem significativamente dos valores de d_0 reais, utilizados para gerar as equações de volume, considerando um nível de 5% de probabilidade pelo teste t para dados pareados.
7. Quando o diâmetro da cepa é tomado na altura do corte da cepa (D_{cc}), é possível estimar com precisão o diâmetro real da cepa (d_0) a partir de uma função matemática que expressa a relação entre o fator de estimação do diâmetro da cepa e o D_{cc} . Valores de d_0 estimados a partir desse fator não diferem significativamente dos valores de d_0 reais, utilizados para gerar as equações de volume, considerando um nível de 5% de probabilidade pelo teste de t para dados pareados.
8. Ao se utilizar uma equação de volume em função de d_0 para estimar o volume de uma árvore com cepa não cilíndrica e com forma irregular, e não se conhecendo d_0 , é possível obter d_0 , conhecendo o fator de estimação da árvore (equação) ou utilizando um fator de estimação médio para a área estudada, que seja obtido a partir de \bar{D}_{cs} .

5.2. RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Recomenda-se que sejam realizadas pesquisas semelhantes a esta em outras regiões de floresta de terra firme da Floresta Amazônica, bem como em outras formações vegetacionais da Floresta Amazônica, que têm sofrido com a forte exploração madeireira, visando testar a metodologia aplicada neste trabalho, pois tais fisionomias podem apresentar características diferentes com predominância e ocorrência de outras espécies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADA, Agência de Desenvolvimento da Amazônia. **Amazônia Legal – Legislação**. Disponível em: < <http://www.ada.gov.br/>>. Acesso em: 20/09/2006.

ALENCAR, F.H.; YUYAMA, L.K.O; NAGAHAMA, D. Estudo antropométrico da população infantil da Calha do Rio Negro. **Acta Amazônica**, Amazonas, III-Parque Nacional do Jaú, 30(4). 2000. p.665-669.

ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.C.; MCGRATH, D.; MOUTINHO, P.; PACHECO, P.; DIAZ, M.D.C.V.; SOARES-FILHO, B. **Desmatamento na Amazônia: Indo além da emergência crônica**. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), Belém, Brasil, 2004.

AMARAL, P.C.; VERÍSSIMO, J.A. de O.; BARRETO, P.G.; VIDAL, E.J.S. **Floresta para Sempre: um Manual para Produção de Madeira na Amazônia**. Belém: IMAZON, 1998. 137p.

AMBIENTEBRASIL. **Floresta Amazônica – Flora**. Disponível em: < <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./natural/index.html&conteudo=./natural/biomas/amazonia.html#flora>>. Acesso em: 17/11/2006.

ARAÚJO, A.P.; JORDY FILHO, S.; FONSECA, W.N. A vegetação da Amazônia brasileira. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1., 1984, Belém. **Anais...** Belém: EMBRAPA-CPATU, 1986. 493p.

BAENA, A.R.C.; RODRIGUES, T.E. Solos. In: EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. **Sistema de Produção da Pimenteira-do-reino**. Sistemas de Produção, 01. 2005. Disponível em: < http://www.cpatu.embrapa.br/sistemasdeproducao/pimenta_do_reino/paginas/solos.htm>. Acesso em: 17/10/2006.

BASTOS, T.X. Clima. In: EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. **Sistema de Produção da Pimenteira-do-reino**. Sistemas de Produção, 01. ISSN 1809-4325, 2005. Disponível em: <http://www.cpatu.embrapa.br/sistemasdeproducao/pimenta_do_reino/paginas/clima.htm>. Acesso em: 17/10/2006.

BELTRÃO, O.; BELTRÃO, F. Realidade do Amazonas. Enciclopédia da Amazônia Brasileira. V. I. **Atlas**. 1990. 392p.

BIBLIOTECA VIRTUAL DO AMAZONAS. **Amazônia**. Governo do Estado do Amazonas. Disponível em: <http://www.bv.am.gov.br/portal/conteudo/meio_ambiente/amazonia.php>. Acesso em: 20/09/2006.

BRASIL. **Decreto n.2788**, de 28 de setembro de 1998. Altera dispositivos do Decreto nº 1.282, de 19 de outubro de 1994, e dá outras providências.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. **Portaria n. 113**, de 29 de dezembro de 1995. Disponível em: <http://www2.ibama.gov.br/~misis/cnia/lema_texto/IBAMA/PT0113-291295.PDF>. Acesso em: 25/10/2006.

BRASIL. **Decreto n.1282**, de 19 de outubro de 1994. Regulamenta os arts. 15, 19, 20 e 21, da Lei Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e dá outras providências. Disponível em:<<http://www.lei.adv.br/1282-94.htm>>. Acesso em: 18/10/2006.

BRASIL. **Lei n. 5173**, de 27 de outubro de 1966. Dispõe sobre o plano de valorização econômica da Amazônia; extingue a Superintendência do Plano de Valorização da Amazônia (SPVEA), cria a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), e dá outras providências. Disponível em:<<http://www6.senado.gov.br/sicon/ListaReferencias.action?codigoBase=2&codigoDocumento=116803>>. Acesso em: 18/10/2006.

BRASIL. **Lei Complementar n. 31**, de 11 de outubro de 1977. Cria o Estado de Mato Grosso do Sul, e dá outras providências. p. 7. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LCP/Lcp31.htm>. Acesso em: 19/10/2006.

BRASIL. **Decreto n. 5975**, de 30 de novembro de 2006. Regulamenta os arts. 12, parte final, 15, 16, 19, 20 e 21 da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, o art. 4º, inciso III, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, o art. 2º da Lei n. 10.650, de 16 de abril de 2003, altera e acrescenta dispositivos aos Decretos n. 3179, de 21 de setembro de 1999, e 3420, de 20 de abril de 2000, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5975.htm>. Acesso em: 19/10/2006.

CAMPOS, U.O. Grande reino da biodiversidade. In: **Amazônia Legal** – Programa de Prevenção e Controle de queimadas e Incêndios Florestais na Amazônia. Proarco, Prevfogo/Ibama, Diretoria de Florestas/Ibama e MMA. 2002.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 470p.

COUTO, H.T.Z.; Estimativa de volume com diferentes padrões de utilização. In: Seminário sobre atualidade e perspectivas florestais, 5., Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/URPFCS, 1982. p.57-63.

DRAPPER,N.R.; SMITH,H. **Applied regression analysis**. New York, John Willey & Sons, 1981. 709 p.

DRESCHER, R.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER C.A.G.; QUEIROZ F.L.C. Fator de Forma Artificial de *Pinus elliottii* Engelm para a região da Serra do Sudeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 31, n. 1, 2001.

FINGER, C.A.G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM / CEPEF - FATEC, 1992. 269p.

FUNDAÇÃO FLORETA TROPICAL, CIKEL E PRECIOUS WOOD. Manejo Florestal Sustentável e Exploração de Impacto Reduzido na Amazônia Brasileira. **Rev. Elo**. Disponível em: <<http://www.revistaelo.com.br/downloads/manejo-sustentavel.pdf>>. Acesso em: 21/09/2006.

GALLETTI Compensados Ltda. **Plano de Manejo Florestal Sustentável (Reformulação do PMFS protocolado sob o número 02018005170/00-54)**. Breu Branco, PA. 2003. 37p.

GREENPEACE. **Face a face com a destruição**: relatório Greenpeace sobre as companhias multinacionais madeireiras na Amazônia Brasileira. São Paulo: 1999. 21 p.

HIGUCHI, N.; RAMM W. Developing bole wood volume equations for a group of tree species of Central Amazon (Brazil). **Commonw**, 64 (1), 1985. 33 – 41p.

HIGUCHI, N. Amazônia Interesses e Conflitos - **Manejo florestal na Amazônia**. 2000. Disponível em:<<http://www.comciencia.br/reportagens/amazonia/amaz13.htm>>. Acesso em: 20/10/2006.

HIGUCHI, N. Usando o método “Jackknife” para estimar volume de madeira da floresta Amazônica. In: 24ª Reunião regional da associação brasileira de estatística – 12ª Semana do estatístico, 1992, Manaus. **Proceedings...** Manaus: ATAS, 1992. p.42–56.

HUMMEL, A.C. **Normas de acesso ao recurso florestal na Amazônia brasileira: o caso do manejo florestal madeireiro**. 2001. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – INPA/UA, Manaus, 2001.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest Mensuration**. 3 th ed. New York: John Wiley e Sons, 1982. 401 p.

IBAMA/DIREN/DECOM. **Comercialização de Produtos Madeireiros da Amazônia**. Brasília, 2000. 37p.

IBAMA. **Manual de Fiscalização**. Brasília, 2002. 276p.

IBGE. **Censo Agropecuário, 1995-1996**. Vol. 19. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1996.

INPE. **Projeto PRODES - Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>>. Acesso em: 21/10/2006.

JÚNIOR, C.S.; VERÍSSIMO, A.; MICOL, L.; GUIMARÃES, S. **Boletim Transparência Florestal – Estado de Mato grosso**. Nº 1. Imazon. Agosto de 2006. Disponível em: <http://www.icv.org.br/publique/media/BoletimDesm_MT_05.pdf>. Acesso em: 25/11/2006.

KAIMOWITZ, D.; MERTENS, B.; WUNDER, S.; PACHECO, P. **A Conexão Hambúrguer Alimenta a Destruição da Amazônia - Desmatamento e Pecuária na Amazônia**. CIFOR (Centro para a Pesquisa Florestal Internacional), 2003. 11p.

LEITE, H.G.; ANDRADE, V.C.L. A method for conducting forest inventories without using volumetric equations. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 3, 2002.

LENTINI, M.; PEREIRA, D.; CELENTANO, D.; PEREIRA, R. **Fatos florestais da Amazônia 2005**. Belém: Imazon (Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia), 2005. 141p.

MACHADO, A.M.; FILHO, A.F. **Dendrometria**. Curitiba: A. Figueiredo Filho, 2003. 309p.

MARGULIS, S. **Causas do Desmatamento da Amazônia Brasileira**. Brasília: Banco Mundial, 2003. 100p.

MÁXIMO, W. **Desmatamento na Amazônia entre 2005 e 2006 deve ter nova redução de 30%**. RADIOBRÁS – Agência Brasil, 2006. Disponível em: <http://www.agenciabrasil.gov.br/noticias/2006/10/26/materia.2006-10-26.2984420233>. Acesso em: 31/10/2006.

McTAGUE, J.P.; BATISTA, J.L.F.; STEINER, L.H. Equações de volume total, volume comercial e forma do tronco para plantações de *Eucalyptus* nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. **IPEF**, n.41/42, p.56-63, 1989.

MENEZES, N. P.; SILVA, J.N.M. Equações de volume para florestas de terra firme nos municípios de Tailândia e Paragominas. In: **Seminário** de Iniciação Científica da Ufra, 1. Seminário de Iniciação Científica da Embrapa Amazônia Oriental, 7, Belém, PA. Resumos Expandidos. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia. 2003. 4p.

QUEIROZ, D.; MACHADO, S.A. ; FILHO, A.F.; ARCE, J.E.; KOEHLER, H.S. Avaliação e validação de funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Benth em povoamentos na região metropolitana de Curitiba/PR. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 36, n. 2, mai./ago. 2006. 183 -199p.

RODRIGES, D. **O que é Amazônia Legal**. 11/10/2006. Apresenta notícias da EMBRAPA. Disponível em: http://www.embrapa.gov.br/noticias/banco_de_noticias/folder.2006/outubro/foldernoticia.2006-10-02.3248940969/noticia.2006-10-11.0112402031/mostra_noticia>. Acesso em: 17/10/2006.

ROLIM, S.G. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, n. 1, 2006.

SÁ, S.P.P. **O desflorestamento na Amazônia brasileira**. 2003. 45p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

SALATI, E.; SANTOS, A.A.; LOVEJOY, T.E.; KLABIN, J. **Porque salvar a Floresta Amazônica**. Manaus: INPA, 1998. 114P.

SANTOS, J.; PAULA NETO, F.; HIGUCHI, N.; LEITE, H. G.; SOUZA, A.L.; VALE, A. B. Modelos estatísticos para estimar a fitomassa acima do nível do solo da floresta tropical úmida da Amazônia central. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v. 25, n. 4, 2001. p.445-454.

SANTOS, J. Análise de Modelos de Regressão para Estimar a Fitomassa da Floresta Tropical Úmida de Terra-firme da Amazônia Brasileira. **Tese de Doutorado**, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1996.121p.

SCOLFORO, J.R.S. **Biometria florestal**: Técnicas de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 292p.

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

SILVA, J.N.M. **The behavior of the Tropical rain forest of the brazilian amazon after logging**. Thesis (PhD). Oxford Forestry Institute. Oxford University. Michaelmas Term, 1989. 304p.

SILVA, A.S.L.; ALMEIDA, S.S.; ROSÁRIO, C.S. Flora fanerogâmica da Estação Científica Ferreira Penna (ECFPn): Caracterização dos ecossistemas e lista preliminar de espécies. In: Seminário de 10 anos de atividades da ECFPn, Caxiuanã, 1, 2003, Belém. **Resumos...** Belém: MPEG, 2003.

SIOLI, H. **Amazônia fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais**. Instituto Max-Planck de Limnologia, 1990. Petrópolis, RJ. 72p.

STERNADT, G.H. Cubagem de toras de mogno – Comparação do processo do IBAMA e o adotado por madeiras. 2001. 100 p: ill. **Livro – IBAMA – Laboratório de Produtos Florestais**, 2001. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/ambtec/documentos/PROCESSOS_DE_CUBAGEM_DE_TORAS_DE_MOGNO_impress%E3o.doc>. Acesso em: 21/09/2006.

SCHNEIDER, P.R. **Introdução ao Manejo Florestal**. Santa Maria, UFSM/CEPEF-FATEC, 1993. 348 p.

SOARES, C.P.B.; NETO, F.P.de; SOUZA, A.L. de. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Viçosa, UFV, 2006. 276p.

THOMAS, C.; ANDRADE, C.M.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, 2006. p.319-327

UFSM/SEMA-RS. Inventário Florestal Contínuo – RS. **Capítulo IV – Amostragem.** 138 – 173p. Disponível em: <http://coralx.ufsm.br/ifcrs/Cap_IV_Amostragem.pdf>. Acesso em: 17/11/2006.