Poder Executivo
Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais e Ambientais - PPGCIFA

VOLUMETRIA E QUALIDADE DA MADEIRA DE *Bertholletia excelsa* Bonpl. EM PLANTIOS NA AMAZÔNIA CENTRAL

MANAUS

2016

Marrieth Nascimento de Souza

VOLUMETRIA E QUALIDADE DA MADEIRA DE *Bertholletia excelsa* Bonpl. EM PLANTIOS NA AMAZÔNIA CENTRAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Nabor da Silveira Pio

Coorientador: Prof. Dr. Roberval M. B. de Lima

MANAUS

2016

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida

À meus pais e minha irmã, por sempre acreditarem em mim, me dando apoio e incentivando nas horas mais difíceis.

A minha filha, pelos seus maravilhosos sorrisos me mostrando que sempre devo seguir em frente, e ao meu companheiro Yago, por estarem sempre o meu lado

Ao Prof. Dr. Nabor da Silveira Pio, pelos anos de orientação, amizade, apoio e incentivo ao ingresso no programa de Pós-Graduação;

Ao Prof. Dr. Roberval Monteiro B. de Lima, pela amizade, coorientação.

Aos Profs. Dr. José Reinaldo M. da Silva, Dr. José Tarcísio Lima e o Técnico Carlos Henrique da Silva do Departamento de Ciências Florestais, pela atenção e colaboração durante a coleta dos dados em Lavras-MG;

Aos amigos Maurício, Alice, Juliana, Bruno e Cabelinho pelo auxílio nos trabalhos de campo, nas análises e pelos muitos momentos de alegria e descontração;

Em especial a minha amiga Juliana pelo imenso apoio, incentivo e ajuda em todas as etapas do trabalho.

À Embrapa Amazônia Ocidental pela disponibilização do objeto de estudo e seu quadro de funcionários de campo e de serraria;

Aos Sr. João (Cuiú) da Embrapa Amazônia Ocidental pelo comprometimento durante a etapa de beneficiamento da madeira

Aos professores do PPG-CIFA da UFAM

À CAPES, pela concessão da bolsa;

E a todos que estiveram direta e indiretamente envolvidos para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo estimar a volumetria, comparar a qualidade da madeira e verificar diferença entre diferentes métodos de estimativa de volume da espécie Castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa B*onpl.) proveniente de plantios da Agropecuária Aruanã localizada no Município de Itacoatiara – AM, nas idades 10 e 15 anos. Para a obtenção da estimativa volumétrica foram realizadas cubagens rigorosas de 20 árvores, sendo 10 árvores para a idade 10 anos e 10 árvores para a idade 15 anos. Foram ajustados 10 modelos para a estimativa do volume comercial com casca. Para análise da qualidade da madeira foram avaliadas as propriedades físicas: umidade, densidade e estabilidade dimensional, e as propriedades mecânicas: compressão paralela e flexão estática, em 5 árvores de cada idade, de acordo com as normas ABNT 7190 (1997) e ASTM D 143-94 (200). As variáveis foram avaliadas por meio da aplicação do Teste *t* ($p<0,05$) para constatação de diferenças estatísticas entre as duas idades para as propriedades tecnológicas da madeira e por estatística descritiva. A equação com melhor ajuste para as estimativas volumétricas foi “V = 0,00003334*(dap)^2*(h). apresentando coeficientes de determinação de 98% e erro padrão da estimativa 4,021% As propriedades avaliadas não apresentaram diferenças estatísticas significativas nas idades avaliadas. Assim, a espécie avaliada possui bom comportamento na secagem e suas propriedades indicam uso comercial.

Palavras chaves: Propriedades físicas, propriedades mecânicas, volume.

ABSTRACT

The objective of this work was to estimate the volumetry, to compare the quality of the wood and to verify the difference between different methods of estimation of the volume of the Brazilian Chestnut (Bertholletia excelsa Bonpl.) From Aruanã Agropecuaria plantations located in the Municipality of Itacoatiara - AM, in the Ages 10 and 15 years. In order to obtain the volumetric estimation, we rigorously compiled 20 trees, 10 trees for age 10 years and 10 trees for age 15 years. Ten models were used to estimate commercial volume with bark. For the analysis of the wood quality, the physical properties were evaluated: moisture, density and dimensional stability, and mechanical properties: parallel compression and static flexion in 5 trees of each age, according to ABNT 7190 (1997) and ASTM D 143-94 (200). The variables were evaluated by applying the t test ($p < 0.05$) to verify statistical differences between the two ages for the technological properties of wood and by descriptive statistics. The equation with the best fit for the volumetric estimates was "V = 0.00003334 * (dap) ^ 2 * (h). Presenting coefficients of determination of 98% and standard error of the estimate 4.021%. The properties evaluated did not present significant statistical differences in the evaluated ages. Thus, the evaluated species has good drying behavior and its properties indicate commercial use.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 10

2. PRESSUPOSTO 13

3. OBJETIVOS 14

3.1 Objetivo Geral 14

3.2 Objetivos Específicos 14

4. REVISÃO DA LITERATURA 15

4.1 Características da espécie 15

4.1.1 Área de distribuição geográfica 16

4.1.2 Ecologia da espécie 17

4.2 Coleta, seleção e armazenamento de sementes 18

4.3 Beneficiamento e semeadura das sementes 18

4.4 Pragas 19

4.5 Crescimento e produção 19

4.6 Usos não madeireiros 20

4.7 Características da madeira 21

4.8 Importância econômica 23

4.9 Importância das Florestas Plantadas 24

4.10 Volumetria 25

4.11 Equações volumétricas 27

4.12 Fator de forma 28

4.12 Qualidade da madeira 29

4.12.1 Uso potencial e qualidade da madeira 29

4.12.2 Propriedades Físicas e Mecânicas 31

4.12.3 Propriedades físicas 33

4.5.4 Propriedades mecânicas 36

5 MATERIAL E MÉTODOS 38

5.1 Caracterização da área de estudo 38

5.1.2 Fazenda Aruanã 38

5.12.1 Clima 40

5.12.2 Solos 40

5.1.5 Hidrografia 41

5.1.6 Topografia 41

5.1.7 Vegetação 41

5.2 Coleta dos dados 42

5.2.1 Métodos de mensuração 42

5.2.2 Instrumentos e materiais utilizados na medição 43

5.2.4 Análise dos modelos de regressão 45

5.2.5 Critério de seleção dos modelos volumétricos 45

5.3 Propriedades físicas e mecânicas 48

5.3.1 Corpos de prova 48

5.3.2 Propriedades físicas 50

5.3.3 Propriedades mecânicas 53

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO 56

6.2.1 Teor de umidade..... 64

6.2.2 Densidade Aparente..... 64

6.2.2 Retratibilidade 66

7. CONCLUSÃO..... 71

8. RECOMENDAÇÕES 72

9. REFERÊNCIAS..... 73

LISTAS DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM - American Society for Testing and Materials

ABIMCI - Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicar

BSI - British Standard Institution

COPANT - Comisión Panamericana de Normas Técnicas

CV - Coeficiente de Variação

DAP - Diâmetro à altura do peito

FAO - *Food and Agriculture Organization*

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

ISO - International Organization for Standardization

MOE - Módulo elasticidade

MOR - Módulo ruptura

SFB - Serviço Florestal Brasileiro

UNEP - *United Nations Environment Programme*

LISTA DE SÍMBOLOS

Ar- Coeficiente anisotrópico para a retratibilidade

Ai - Coeficiente anisotrópico para o inchamento

R^2aj- Coeficiente de determinação ajustado

ρ_{bas} - Densidade básica

Syx - Erro padrão da estimativa

$\mathcal{E}i$- Inchamento volumétrico

E_{C0}- Módulo elasticidade na compressão paralela às fibras

E_{M0}- Módulo elasticidade na flexão estática

$\mathcal{E}r$ - Retração volumétrica

f_{c0}- Resistência à compressão paralela às fibras

f_M- Resistência à flexão estática

ΔV_r- Variação volumétrica para retratibilidade

ΔV_i- Variação volumétrica para inchamento

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Área de floresta plantada no Brasil

Figura 2. Mapa de localização da Agropecuária Aruanã

Figura3. Esquema de árvores selecionadas e derrubadas

Figura 4. Esquema de retirada de corpos de prova

Figura 5. Beneficiamento da madeira

Figura 6. Corpos de prova das propriedades mecânicas

Figura 7. Esquema da cubagem utilizado no estudo

Figura 8. Corpos de prova submersos e pesagem

Figura 9. Esquema de pesagem para densidade

Figura 10 Esquema de medição com paquímetro e amostragem dos coros de prova

Figura 11. Ensaio de compressão paralela

Figura 12. Ensaio de flexão estática

Figura 13. Distribuição gráfica dos resíduos (n=20) para os modelos volumétricos

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Estatística descritiva para diâmetro, altura comercial, altura total e fator de forma médio para as árvores de cada plantio

Tabela 02. Norma utilizadas dimensões e quantidades de corpos de prova

Tabela 03. Ajuste dos modelos para estimativa volumétrica de castanheira aos 10 e 15 anos e parâmetros estatísticos de seleção

Tabela 04. Valores médios para o teor de umidade

Tabela 05. Valores médios para a densidade básica

Tabela 06. Valores médios para os parâmetros de retratibilidade

Tabela 07. Valores médios para a resistência à compressão paralela às fibras e módulo elasticidade

Tabela 08. Valores médios para MOR e MOE das madeiras de 10 e 15 anos

LISTA DE QUADROS

Quadro 01. Modelos testados para estimativa de volume

Quadro 02. Volume individual observado e estimado, Dap, altura comercial

1. INTRODUÇÃO

Os vários setores da indústria madeireira vêm possibilitando pesquisas com produtos alternativos, objetivando à descoberta de matérias-primas que contenham características desejáveis para a confecção de produtos sólidos, de modo que atendam os níveis de qualidade necessários do produto final. Neste sentido, pesquisas vêm sendo desenvolvidas para a utilização de matérias-primas resistentes como alternativa para os diversos usos de madeira.

O Brasil tem uma área florestal expressiva, onde se ressalta a Amazônia brasileira, que acolhe um terço das florestas tropicais do mundo e milhares de espécies da flora, das quais cerca de 350 espécies são utilizadas para fins madeireiros (BARROS; VERÍSSIMO, 1996). O setor madeireiro está presente em todos os estados que compõe a Amazônia Legal, fazendo desta, a principal região produtora de madeira no Brasil e a segunda maior produtora de madeira tropical do mundo (LENTINI et al., 2005)

A floresta amazônica é uma das mais diversificadas do planeta com um grande número de espécies florestais de interesse econômico para o homem. Dentre esse leque de espécies a castanha-do-brasil é uma espécie que apresenta destaque na economia regional em face da produção de castanha, de valor econômico no mercado nacional e internacional.

A castanha-do-brasil, também conhecida como castanha-do-pará, poderia ser denominada também de castanha-da-amazônia, buscando representar a distribuição geográfica da espécie, que ocorre na Amazônia de modo geral, em países como a Venezuela, Peru, Bolívia, Colômbia e em outros estados da Amazônia brasileira, como o Pará, Amazonas, Roraima, Mato Grosso, Rondônia, Acre e Amapá., é uma árvore grandiosa, com uma copa grande e emergente; fuste retilíneo, com desrama natural de galhos, e com características madeireiras de grande interesse para a indústria.

A distribuição irregular da espécie na Amazônia, as dificuldades de acesso a alguns castanhais produtivos (Scoles & Gribel, 2012), a degradação biológica de populações de castanheira localizadas em áreas de expansão agropecuária (Homma et al., 2000) e o baixo controle da produção peculiar dos produtos extrativistas pouco manejados (Clement, 2006) justificam a promoção de práticas de plantios de castanheira.

O surgimento de iniciativas de plantio de espécies nativas tropicais para fins comerciais, surgiu com novos desafios para o setor de base florestal, como a implantação de grandes projetos industriais-florestais nas regiões que incorporam oportunidades para o desenvolvimento regional, como Centro-Oeste, Norte e Nordeste (Indústria Brasileira de Árvores - IBA, 2014). Contudo, estão se tornando cada vez mais importante, novos usos, e volumes mais significativos estão sendo registrados para um número relativamente pequeno de espécies tropicais disponíveis a partir de plantações.

Os argumentos econômicos a favor das plantações baseiam-se principalmente na disponibilidade de terrenos e na expectativa de escassez futura de madeira. Os trabalhos dendrométricos, em geral, são relacionados com espécies introduzidas, de rápido crescimento, principalmente os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. As espécies nativas muitas vezes deixam de ser estudadas por não conseguirem despertar interesse equivalente, na maioria das vezes, pela inexistência de informações relativas à sua ecologia, silvicultura e biometria. (TONINI, ARCO VERDE, 2005)

Portanto, há necessidade de as indústrias florestais desenvolverem metodologias para estimar a produção do volume de madeira, seja para estimativa da produção ou para a definição de estratégias para sua comercialização. A avaliação da produção de madeira em florestas normalmente é feita através do inventário florestal, e, para estimar o volume, busca-se relacionar variáveis como o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura da árvore com o seu volume.

O desenvolvimento tecnológico no uso da madeira cresceu bastante nas últimas décadas, aumentando sua utilização para diversos fins, além do surgimento de novos produtos e subprodutos a base de madeira. Contudo, a utilização da madeira para atividades que demandam de resistência, está associada, entre outras características, ao conhecimento de suas propriedades físicas e mecânicas.

Deste modo, a madeira merece destaque, em função da variabilidade que suas propriedades apresentam, da sua adequabilidade a inúmeras utilizações e da enorme variedade de espécies existentes (LISBOA et al., 1993).

Segundo Almeida et al. (2013), antes de a madeira ser empregada em algum projeto em que acarretará em um produto final sólido, é imprescindível que seja feita a classificação e caracterização de determinada espécie, pois o conhecimento das

propriedades físicas e mecânicas da madeira é uma importante base tecnológica para a utilização racional desse material.

Existem vários ensaios físicos e mecânicos que são empregados para determinação das características da madeira, como a massa especifica e a retratibilidade. Já os ensaios mecânicos são aplicados buscando aplicação da sua real utilização, entre eles cita-se a resistência à flexão estática e a resistência à compressão paralela, que fornecem valores que levam a inferir na sua melhor aplicação.

Desta forma, é fundamental determinar as propriedades de resistência da madeira de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em estágio juvenil oriunda de plantios, com base em sua estrutura lenhosa, nas idades mais jovens, qualificando-a para usos alternativos e propiciando a garantia de competição para mercados futuros assim como necessidade de transferência de informações para os polos produtivos e outros setores industriais de base florestal, quanto às características e possibilidades de uso da madeira de Castanha do Brasil como matéria prima competitiva ao mercado florestal.

2. PRESSUPOSTO

- A ausência de informações sobre características tecnológicas das propriedades das madeiras oriundas de florestas plantadas implica na ineficiência de uso comercial;

- O conhecimento das características tecnológicas da madeira de Castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) resultaria na sua utilização como alternativa para o Manejo Florestal em substituição às madeiras tradicionalmente comercializadas.

- A estimativa do volume de madeira, através de equações de volumes individuais ocasionaria em praticidade e economia, em consonância com as possibilidades técnicas e econômicas que a grande maioria das empresas florestais necessita para futura comercialização.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Ajustar equações de volume e comparar qualidade da madeira de *Bertholletia excelsa* Bonpl. de diferentes idades em plantios localizados na Amazônia Central.

3.2 Objetivos Específicos

- Estimar modelos volumétricos que permitam aplicações em diferentes idades;
- Comparar a qualidade da madeira a diferentes idades através das propriedades físicas e mecânicas;
- Desenvolver um fator de forma e uma equação volumétrica para estimar o volume comercial;

4. REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Características da espécie

A *Bertholletia excelsa* Bonpl. foi originalmente descrita em 1807 por Humbolt e Bonpland. No entanto, foi Poiteau em 1825, o primeiro a dar a lecythidaceae o status de família, removendo os gêneros *Bertholletia*, *Couratari, Couroupita* e *Gustavia* da família Myrtaceae onde eram tradicionalmente classificados (MORI; PRANCE, 1990).

A castanheira exibe um caule cilíndrico, liso e desprovido de ramos, com casca escura, fendida e os ramos curvos nas extremidades. Pode chegar a 50 m de altura, DAP maior que 2 m e viver centenas de anos (SALOMÃO et al., 1995).

Poucos são os estudos sobre a biologia reprodutiva da castanheira, no entanto sabe-se que a floração e frutificação estão intimamente ligadas às condições climáticas. A floração da castanha ocorre em inflorescências dispostas em panículas terminais, pouco ramificadas e eretas, com flores zigomórficas pedunculadas, subséssseis ou séssseis, com cálice verde-claro e pétalas carnosas branco-amareladas, ofertando néctar e pólen para os visitantes. No sudoeste da Amazônia (Acre, Rondônia, Bolívia e Peru), as flores geralmente começam a desabrochar em outubro e novembro, chegando ao pico de floração nos meses de novembro e dezembro, e encerrando o ciclo no final de janeiro.

Suas folhas são espaçadas, alternadas, pecioladas, de cor verde-escura, brilhosas na parte superior e claras na inferior. As flores apresentam seis pétalas branco amareladas, tubulosas, grandes, dispostas em panículas terminais, eretas que se desenvolvem de outubro a janeiro. No Peru, há relatos de que as flores começam a desabrochar entre outubro e novembro chegando ao pico de floração entre dezembro e janeiro, no Estado do Acre, (ARGOLO; WADT, 2000) encontraram resultados semelhantes, porém na região de Belém-PA, a f1oração ocorre um pouco mais cedo, de agosto a novembro (MAUÉS, 2002).

Desenvolve-se bem em regiões de clima quente e úmido, sendo que as maiores densidades ocorrem em regiões onde predominam os tipos climáticos tropicais chuvosos com a ocorrência de períodos de estiagem definidos. Prefere solos argilosos ou argilo-arenosos de textura média a pesada (MULLER et al., 1995), e se estabelece melhor em locais mais secos em mata de terra firme não inundável (ARAUJO et al., 2001). No leste da Amazônia, ocorre em oxissolos e ultissolos, pobres em nutrientes,

porém bem estruturados e drenados, não sendo encontrada em solos excessivamente compactados (CLEMENT, 2000).

No estado do Acre, observou-se que somente abelhas do gênero *Xilocopa* penetraram nas flores das castanheiras, sendo consideradas as principais polinizadoras na região de Rio Branco. Em Itacoatiara (AM), outro estudo também em plantio registrou que abelhas dos gêneros *Xilocopa, Eulaema, Centris, Epichari*s e *Bombus* foram os principais visitantes de flores da castanheira, sendo também potenciais polinizadores. Considera-se que os principais visitantes e polinizadores da castanheira são as abelhas dos gêneros *Bombus, Centris, Xylocopa e Epicharis*, assim como algumas espécies de Euglossinae. (SANTOS e ABSY, 2010)

O fruto, conhecido como ouriço, é uma cápsula indeiscente, com casca lenhosa muito dura e de formato esférico ou levemente achatado. Contém, em seu interior, cerca de dezoito sementes, cujas amêndoas são altamente nutritivas. As sementes da castanheira são angulosas, estreitamente compridas e com o tegumento duro com rugosidade transversal. Apresenta um tecido meristemático circundando a amêndoa, o que leva a crer que tenha boa capacidade de germinação, mesmo sofrendo danos mecânicos por predadores e dispersores ou ataque de patógenos. (CAMARGO et al., 2000).

Os frutos são produzidos todos os anos, porém o número de frutos por uma mesma árvore varia grandemente de um ano a outro embora a produção média da população não varie muito entre anos, os indivíduos da mesma população sofrem grandes variações entre eles (WADT et al., 2005).

4.1.1 Área de distribuição geográfica

Ocorre em toda a região amazônica, incluindo os estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Pará e norte dos Estados de Goiás e Mato Grosso. Habita matas de terra firme, quase sempre em locais de difícil acesso com dispersão natural abrangendo desde o Alto Orinoco (5° de latitude norte) até o Alto Beni (14° de latitude sul), onde encontra-se a Venezuela, Colômbia, Peru, Bolívia e Guianas. No entanto, as formações mais compactas ocorrem no Brasil (LORENZI, 2000).

A castanha-do-brasil desenvolve-se bem em regiões de clima quente e úmido, sendo que as maiores concentrações da espécie ocorrem em regiões onde

predominam os tipos climáticos tropicais chuvosos com a ocorrência de períodos de estiagem definidos (MULLER et al.,1995).

Na Amazônia Brasileira, as áreas produtoras de castanha-do-brasil encontram-se sobre os climas Ami e Awi. Apresentam temperaturas médias anuais que variam entre 24,3 e 27,2 ºC, com valores máximos de 30,6 e 32,6 ºC e mínimos de 19,2 e 23,4 ºC. As médias anuais de precipitação variam entre 1400 e 2800 mm, com a ocorrência de totais mensais inferiores a 60 mm e umidade relativa entre 79% e 86% (DINIZ; BASTOS, 1974).

4.1.2 Ecologia da espécie

O início da floração varia de acordo com a região. Na parte Oeste do Brasil (Acre) as árvores florescem antes que na parte leste (Pará). Do início do desenvolvimento dos frutos até a maturação decorrem aproximadamente 15 meses, ou seja, durante a floração e o desenvolvimento dos frutos novos, a castanha-do-brasil conserva os frutos velhos e quase maduros (MORITZ apud TONINI 2005), sendo comum encontrar frutos de diferentes estágios de desenvolvimento em uma mesma planta durante todo o ano (MAUÉS, 2002).

O período de florescimento ocorre de agosto a novembro, durante os meses secos do ano, e a frutificação de outubro a dezembro. No Leste da Amazônia, a floração inicia-se no fim da estação chuvosa (setembro) e estende-se até fevereiro com uma maior intensidade em outubro – dezembro. Os frutos começam a cair no início da estação chuvosa, ou seja, de janeiro a abril no Leste da Amazônia (CLAY et al., 2000).

A castanheira depende da atividade dos polinizadores para assegurar a produção de frutos. Para evitar o decréscimo nas populações de polinizadores naturais em plantações comerciais e consequentemente uma baixa produção de frutos, o desenvolvimento de programas de manejo para os principais polinizadores é de grande importância para os plantios comercias em grande escala (MAUÉS, 2002).

As sementes são disseminadas por roedores como a cutia. Algumas sementes são consumidas imediatamente, outras são armazenadas para posterior consumo ou abandonadas em outras áreas, onde germinam. Segundo (PERES e BAIDER, 1997), as sementes são dispersas até 25 metros da árvore adulta e são enterradas individualmente a uma profundidade de 1 a 3 cm.

O fruto cai durante o período de chuvas, e com o decorrer do tempo a água e os micro organismos destroem a casca e as sementes podem germinar em um período entre 12 a 18 meses (MORI; PRANCE, 1990).

O estudo a ecologia e o manejo de populações de castanha-do-brasil em reservas extrativistas de Xapuri (AC), observaram que o tamanho da árvore se correlacionou positivamente com elevadas aberturas de dossel (VIANA et al., 1998). A densidade de plantas jovens observadas foi quase duas vezes maior que a densidade de adultos, o que sugere que as menores classes de tamanho possuíam baixos níveis de abertura do dossel e que o corte de liberação ou abertura pode aumentar o recrutamento, crescimento e a produtividade dos castanhais.

Os plantios de enriquecimento em florestas secundárias na Bolívia observaram menor mortalidade e maior crescimento em altura nas linhas de plantio mais largas, que promoviam uma maior abertura do dossel (PEÑA-CLAROS et al., 2002).

4.2 Coleta, seleção e armazenamento de sementes

A coleta de sementes é efetuada durante a estação chuvosa. O número de sementes por fruto varia entre 12 e 24 e o peso do fruto pode alcançar até 1,5 kg (LOCATTELI; SOUZA, 1990).

As sementes devem ser selecionadas, dando-se preferência às sementes novas, grandes, largas e cheias (não flutuam quando imersas em água) e devem ter coloração branco-escura leitosa. Por terem comportamento recalcitrante, não suportam a secagem e perdem a viabilidade quando o teor de umidade é reduzido e sob condições naturais, têm um período de viabilidade bastante curto e devem ser semeadas imediatamente após a colheita e o beneficiamento. (MULLER et al., 1995).

O estudo de métodos adequados de armazenamento concluiu que as sementes com o tegumento (casca) resistiram mais ao armazenamento (FIQUEIREDO et al., 1990). Estes resultados evidenciaram a importância da manutenção do pericarpo na preservação das sementes mesmo para curtos períodos de tempo, pois o mesmo funciona como uma barreira contra a perda excessiva de umidade, garantindo a capacidade de emergência das sementes.

4.3 Beneficiamento e semeadura das sementes

As sementes possuem tegumento (casca) bastante resistente e de baixa permeabilidade, o que lhe conferem grande resistência mecânica que precisa ser superada para que as mesmas possam manifestar seu potencial de germinação (MULLER et al., 1995).

As sementes devem ser imersas em água durante 24 horas e, posteriormente, descascadas sem provocar ferimentos que podem ocasionar infecção por *Aspergillus flavus* causando severa redução na porcentagem de germinação. Durante o descascamento, a castanha recebe inicialmente um trincamento feito com prensa, em seguida é retirada a casca. Após o descascamento deve-se utilizar fungicidas durante 90 minutos, e em seguida colocar as sementes à sombra para secar, de preferência sobre papel jornal. A concentração deve ser de 0,2 % (SOUZA, 2006).

A semeadura deve ser feita até 12 horas após o beneficiamento, sendo uma das etapas mais importantes, já que a amêndoa semeada invertida produzirá muda de má qualidade.

4.4 Pragas

De maneira geral, o ataque de pragas não é visto como um fator limitante ao plantio da castanha. Um aspecto que chama a atenção é o ataque de fungos do gênero *Cercospora* causando mancha parda em plantios de castanheira. Devido à infecção ocorrer em folhas maduras e não ocasionar a queda prematura, a planta não chega a ser prejudicada no seu desenvolvimento e frutificação (ALBUQUERQUE, 1999).

Em cultivos no estado do Amazonas, foram observadas duas espécies de besouros (Hybolabus amazonicus e Hybolabus columbinus). Os adultos destas espécies danificam a superfície superior das folhas ao destruírem as folhas jovens durante a construção do ninho que tem a forma de um pequeno charuto (GARCIA et al., 1996).

4.5 Crescimento e produção

. O crescimento e produção volumétrica satisfatórios associados à ausência de problemas fitossanitários, são qualidades que tornam a castanheira uma das espécies nativas mais promissoras para programas de reflorestamento, pois apresenta boa forma do fuste, desrama natural em espaçamentos menores e tolerância à luz. Seus

povoamentos devem iniciar com densidades variando de 625 a 400 plantas por hectare, prevendo-se desbastes futuros. A idade de corte para se obter árvores de grandes diâmetros para serraria é de 30 a 40 anos (YARED et al ,1993).

É essencial estabelecer o objetivo do plantio antes de determinar o espaçamento. Espaçamentos iniciais muito amplos favorecem a formação de copas grandes sendo mais indicados para a produção de frutos. Espaçamentos menores, por favorecerem a desrama natural e formarem copas estreitas, são mais indicados para a produção de madeira. (PEÑA-CLAROS et al, 2002).

Os parâmetros dendrométricos para um plantio homogêneo de castanha-do-brasil implantado no campo experimental Confiança, no município do Cantá em Roraima, mostra o crescimento da castanha-do-brasil em diferentes regiões da Amazônia, onde observa-se, bom crescimento e altas taxas de sobrevivência. Em relação ao crescimento em diâmetro,

No crescimento em altura, os povoamentos jovens apresentam incrementos médios variando entre 1,2 e 1,6 m, sendo o crescimento em altura observado em Roraima superior aos observados em Belterra (PA) e Machadinho do Oeste (RO). Os povoamentos mais velhos apresentaram menores incrementos que variaram entre 1,49 e 1,73 m.

O incremento médio anual em volume observado em Roraima mostrou-se superior aos observados em Belterra (PA), o que pode ser atribuído ao efeito do espaçamento e sítio (qualidade do local). Já os povoamentos mais velhos apresentaram incrementos bastante baixos, o que provavelmente, deve-se ao reduzido número de árvores por hectare.

Este resultado, de certa forma, confirma as recomendações de (CLAY et al., 2000), ao afirmarem que a densidade para plantios em monoculturas deve ser de 65 a 100 árvores/ha, plantas em espaçamentos de 10 x 15 m ou 10 x 10 m.

4.6 Usos não madeireiros

A castanha-do-brasil é uma das mais importantes espécies de exploração extrativista da Amazônia, tendo participação significativa na economia para região, além de ser fonte geradora de emprego e renda para milhares de trabalhadores rurais e urbanos.

A amêndoa possui sabor e aroma agradáveis, com variada aplicação. Contém uma grande variedade de nutrientes incluindo proteínas, fibras, selênio, magnésio e fósforo, sendo também considerada fonte de agimina, importante agente anti-oxidante que atua na proteção contra doenças coronarianas e o câncer. A gordura das amêndoas é do tipo insaturada, de baixo colesterol.

A castanha é considerada como uma grande fonte natural de selênio, sendo que apenas uma única amêndoa excede a dose diária recomendada pelo National Research Council, dos Estados Unidos. O selênio é considerado um mineral essencial para o corpo humano com propriedades antioxidantes e anticancerígenas, especialmente na prevenção ao câncer de próstata (MAPA, 2002).

O comércio da castanha está voltado principalmente para a exportação. Sua utilização no mercado interno ainda é pequena e pouco explorada. Os derivados como a farinha, o óleo e a torta não têm preço fixo, não apresentando produção significativa. (MAPA, 2002).

Segundo SIMÕES (2003), em uma boa safra os extrativistas produzem 10 h-1/mês, sendo que a renda média com esta atividade gira em torno de R$ 125,00 mensais. Um plantio em monocultura, com 100 árvores por hectare, pode produzir o equivalente a 10 toneladas/ha/ano de castanha. (CLAY et al. 2000).

A coleta de 20 hectolitros necessita de 41 dias/homens, sendo que um coletor treinado pode juntar diariamente 700 a 800 ouriços com uma produção de até 2 hectolitros de castanha com casca (HOMMA et al, 2000). O valor pago tem variado entre 12 e 30 reais por hectolitro, atingindo seu maior valor na época de safra (MAPA, 2002).

4.7 Características da madeira

Sua madeira é de ótima qualidade para construção civil e naval, bem como para esteios e obras externas é uma espécie com grande potencial silvicultural para reflorestamentos com fins madeireiros (Tonini e Arco-verde, 2005).

Poucos são os dados sobre preço da madeira dessa espécie, devido à proibição de corte de exemplares nativos, mas através de notícias veiculadas sobre apreensão de madeira no Pará, foi constatado que a castanheira está sendo vendida por R$ 350,00 /m^3 (LOCATELLI et al., 2007).

Apesar de ser uma espécie protegida por lei, os castanhais nativos têm sido dizimados e sua produção econômica tem diminuído devido aos fragmentos florestais não comportarem condições ecológicas favoráveis à polinização. Com isso, o plantio da castanha-do-brasil tem sido estimulado, principalmente como componente agroflorestal para programas de reflorestamento, a fim de reincorporar áreas degradadas ao processo produtivo.

A madeira da castanha-do-brasil é considerada nobre, de aparência agradável, com grã lisa, fácil de trabalhar, produzindo bom acabamento, além de ser bastante durável (LOUREIRO et al., 1979).

Caracteriza-se por ser moderadamente pesada com densidade variando de 0,70 a 0,75 g/cm3. Possui cerne marrom-claro diferenciado do alburno castanho-amarelado ou acinzentado. Possui grã direita, textura média, cheiro e gosto indistintos, com secagem artificial muito lenta, apresentando rachaduras e empenamentos, porém, é muito durável tanto em contato com o solo quanto com a água. É indicada para forros, vigas, paredes, assoalhos, móveis, compensados e lâminas, sendo também muito apreciada na construção civil onde é muito procurada para a estrutura de telhados e para formas de concreto e caixaria (SOUZA, 2002).

O IPT (1989) realizou estudos com a madeira de Castanheira apresentando valores para propriedades físicas: densidade aparente a 15% de umidade de 750 kg/m, contrações radial de 4,3%, tangencial de 8,4% e volumétrica de 13,2%. Para propriedades mecânicas a 125 de umidade: Módulo de resistência na flexão de 116,0 MPa e módulo de elasticidade de 12553 Mpa, resistência a compressão paralela às fibras de 58,3 Mpa.

Em ensaio de laboratório realizado pelo mesmo Instituto citado acima, observou-se que a madeira de castanheira demonstrou ser resistente ao ataque de organismos xilófagos (fungos e insetos). Seu cerne é avaliado de resistente a muito resistente ao ataque de fungos apodrecedores e verificou que a durabilidade desta Madeira é inferior a 12 anos de serviço em contato com o solo.

A madeira da castanheira proveniente de florestas nativas não é utilizada na indústria madeireira, pois sua exploração é proibida pelo decreto n° 1.282 de 19/10/1994. Esse decreto reporta ao não uso da madeira de castanheira oriunda de florestas nativas, contudo a lei não impede a exploração da madeira proveniente de

reflorestamento (monocultivo ou plantios mistos) devidamente registrado no órgão ambiental competente.

4.8 Importância econômica

Após a decadência da borracha, a castanha-do-Brasil passou a compor o principal produto extrativo para exportação da Região Norte do Brasil, na categoria de produtos básicos. A exploração de exemplares nativos desta árvore é protegida por lei (Decreto 1282 de 19 de outubro de 1994) e seu fruto tem elevado valor econômico como produto extrativo florestal, mas não impede seu plantio com a finalidade de reflorestamento tanto em plantios puros quanto em sistemas consorciados. Contudo, o extrativismo da castanha, empurrou para áreas cada vez mais distantes os intermediários entre o coletor e os donos das usinas de beneficiamento.

A castanheira apresenta várias aplicações:

I) Ouriços na confecção de objetos,
II) Amêndoa, alimento rico em proteínas, lipídios e vitaminas podendo ser consumida ou usada para extração de óleo;
III) Resíduo da extração do óleo para fabricação de torta ou farelo usado como misturas em farinhas ou rações;
IV) Leite de castanha, utilizado na culinária regional;
V) Madeira com boas propriedades, sendo indicada para reflorestamento e empregada tanto na construção civil como naval.

O beneficiamento pode ou não ser feito. As castanhas com casca podem ser vendidas desidratadas ou semi desidratadas ou ainda a granel (sem beneficiamento). As castanhas sem casca (amêndoas) são obtidas quebrando-se manualmente e podem ser vendidas com ou sem película. Devido ao formato irregular, há uma grande porcentagem que se quebra (Vianna, 1972).

A castanha apenas poderá tomar um lugar de destaque nas exportações e no mercado interno quando houver uma política de estímulo destinada ao produtor extrativista, mantendo o homem na floresta e aumentando a produção.

Pesquisas com o melhoramento genético e germinação estão em andamento para a obtenção de variedades mais precoces e técnicas mais aprimoradas de manejo

e cultivo desta espécie, além da modernização dos modos de beneficiamento da produção e armazenagem.

4.9 Importância das Florestas Plantadas

As florestas plantadas são cultivadas atendendo a planos de manejo sustentável que têm o objetivo de reduzir impactos ambientais e promover o desenvolvimento econômico e social das comunidades vizinhas (BRACELPA, 2010). Prevê-se, no entanto, que a importância das florestas plantadas aumente progressivamente, já que a madeira é uma matéria-prima fundamental para a indústria (UNRIC, 2009).

As florestas plantadas são uma importante atividade econômica, social e ambiental. Destacam-se como instrumento de uso sustentável voltado à garantia do suprimento futuro de matéria-prima florestal para um planeta com demandas crescentes.

No âmbito social, as atividades do setor promovem a geração de emprego e renda, incluem pequenos produtores no sistema de produção, investem em programas de inclusão social, educação e meio ambiente. (ABRAF, 2012). Do ponto de vista ambiental, a gestão responsável das florestas plantadas reduz as pressões sobre as florestas nativas para produtos florestais ao oferecer uma alternativa economicamente sustentável de madeira proveniente de plantios florestais.

Hoje, além do manejo, os investimentos em pesquisa estão direcionados para o melhoramento genético das espécies, com o objetivo de aumentar a produtividade das florestas plantadas e, assim, otimizar o uso das áreas de plantio (BRACELPA, 2010). A silvicultura brasileira tem se desenvolvido de modo que já é possível encontrar no mercado madeiras de excelente qualidade provenientes de plantios florestais. Esses produtos, resultado do avanço tecnológico da indústria florestal brasileira, apresentam-se como alternativas viáveis e competitivas às madeiras extraídas das florestas nativas (SBEF).

Para Silva & Uhl (1992), o enfoque dado pela pesquisa em plantios florestais na Amazônia, não é o de substituir a de mata nativa por plantios puros mais produtivos, mas sim aumentar o valor da terra pela admissão de espécies de alto valor comercial em áreas com utilização de baixo valor econômico, como as capoeiras.

Deve-se considerar que as florestas naturais e artificiais têm utilizações complementares. Tradicionalmente, cumprem funções essenciais de proteção e fornecem madeira dura de grandes dimensões e alta qualidade.

As plantações atendem a uma demanda por massa de madeira utilizada na construção civil, energia e papel e celulose (BURLEY & WOOD, 1979), sendo necessário identificar e domesticar espécies nativas melhor adaptadas a diferentes condições ambientais, de forma a atender as crescentes necessidades do setor de base florestal (HAGGAR *et al*, 1998). No entanto, a carência de conhecimentos científicos sobre o comportamento e o crescimento das espécies nativas e exóticas nas diferentes condições edafoclimáticas da região e a baixa disponibilidade de sementes de boa qualidade são apontados como dificuldades ao aumento da área reflorestada na Amazônia (TONINI *et al*, 2008).

Para Butterfield (1995), a exploração da flora nativa em reflorestamentos deveria ser implementada, pois aumentaria a diversidade de espécies utilizadas, reduzindo riscos biológicos e econômicos, pelo cultivo de uma grande variedade de espécies em sítios específicos e sob diferentes formas de plantio (plantações puras, mistas, linhas quebra-vento e sistemas agroflorestais).

Existem vários estudos sobre o extrativismo da castanha-do-brasil, mas são poucos os estudos sobre a espécie em plantio. A obtenção de maiores informações a respeito de seu comportamento em plantio ajudará a conhecer melhor o papel que possa ter na agricultura do pequeno produtor (CLEMENT, 2000).

4.10 Volumetria

Conhecer o volume de madeira de uma floresta é importante, e a cada dia torna-se mais relevante para a implantação de plantios de espécies nativas, pois a valorização da madeira, o uso social, ecológico e economicamente correto do recurso florestal é uma forte demanda da sociedade. Esses fatores remetem ao planejamento, ordenado e a otimização do uso da madeira, com precisão na quantificação do volume dos povoamentos florestais. (SANTOS et al., 2012)

A obtenção de estimativas precisas de produtividade em formações vegetais tropicais é um pré-requisito importante no estabelecimento de ações de manejo (SCOLFORO, 1997). Dentre as diversas estimativas destacam-se as equações volumétricas, que são essenciais para o manejo florestal, onde, através de equações

matemáticas que foram desenvolvidas para estimar o volume de madeira em florestas naturais e plantadas, utilizando o volume, como variável dependente, juntamente com variáveis independentes de fácil mensuração, como DAP (diâmetro a 1,30 m do solo) e a altura (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2003).

O volume constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial disponível em um povoamento florestal, tendo em vista que o volume individual fornece subsídios para a avaliação do estoque de madeira e análise do potencial produtivo das florestas (THOMAS et al., 2006).

No Brasil os estudos são desenvolvidos desde a década de 1970 por Siqueira (1977), Machado (1979), dentre outros. Entretanto, mesmo com esta vasta experiência, na Amazônia há escassez de trabalhos envolvendo equações de volume que representem a maioria das espécies arbóreas nos diferentes sítios e regiões, no entanto, a grande variabilidade ambiental e genética leva à necessidade de desenvolvimento de equações características para cada sítio a ser manejado.

Segundo Thaines et al. (2010), a necessidade de quantificação de estoque de matéria-prima florestal, nos leva a buscar métodos eficientes de estimativa do volume comercial de madeira das árvores, que possibilitem quantificar os estoques presente e futuro de maneira eficiente e precisa, norteando decisões silviculturais que culminem na máxima produção e rentabilidade da floresta.

De acordo com Machado e Figueiredo Filho (2003), a necessidade de dispor de uma ferramenta simplificada que permita a obtenção de valores precisos do volume de madeira de uma espécie é vital para o planejamento da gestão das massas florestais e para sua ordenação sustentável. Árvores com mesmo diâmetro e mesma altura podem apresentar volumes diferentes, se as formas dos troncos não forem iguais. É comum, então, fazer referência a algumas formas geométricas de fórmulas conhecidas, como paraboloide, cônica, cilíndrica ou neilóide, a fim de facilitar a compreensão do cálculo do volume (CAMPOS e LEITE, 2009).

É importante salientar que estimativas volumétricas capazes de subsidiar o sucesso do manejo, principalmente quando utilizado os cortes seletivos, devem levar em consideração a distribuição diamétrica das árvores, na qual a mesma se apresenta como uma das mais importantes ferramentas de planejamento florestal devido ao fato de toda a prescrição de desbaste ser baseada na distribuição dos diâmetros com intervalos de classes (CARELLI NETO, 2008).

No que se refere a análises quantitativas, a obtenção da variável volume no meio florestal está associada a modelos ajustados de regressão, podendo ser linear (simples ou múltipla) ou não linear. Os modelos lineares simples são aqueles que apresentam apenas uma variável independente que estime com precisão o volume de árvores, com ou sem casca, no caso esta variável é o DAP. Os modelos lineares múltiplos apresentam duas ou mais variáveis independentes, ou seja, além do DAP inclui-se a altura comercial (HC), podendo ser combinada ou não com o DAP. (LEITE; REZENDE, 2010).

Segundo Schneider *et al* (2009), a equação ajustada é avaliada por meio de vários testes estatísticos, permitindo-se conseguir uma equação com melhor precisão possível. Para Scolforo (2005), os modelos de regressão linear são aplicados para estimar volumes de árvores individuais. Nesses modelos, simples ou múltiplos, os requisitos de normalidade de erros, de independência nas observações e de variância constante são usualmente assumidos.

A obtenção confiável de variáveis como o volume é essencial no planejamento e avaliação da quantidade do impacto a ser causado na área, podendo fornecer informações para mitigar tais problemas (ENCINAS *et al*, 2009). Logo, o uso de equações de volume em inventário florestal vem-se constituindo em operação rotineira, para uso em madeira em pé das árvores, por meio da relação DAP e altura. (VALENTE *et al*, 2011).

4.11 Equações volumétricas

Diferentes condições de clima e solo influenciam o crescimento e a relação entre as variáveis da árvore. Dessa forma, a criação de modelos baseados em dados de um povoamento ou de uma região sujeita às condições uniformes de clima e de solo permite o fornecimento aos produtores florestais de ferramentas que possibilitam a estimação mais precisa das variáveis, como o volume, nesse povoamento ou região (VALENTE *et al*, 2011).

Em relação a análises quantitativas, a obtenção da variável volume no meio florestal está associada a modelos ajustados de regressão, podendo ser linear (simples ou múltipla) ou não linear. Os modelos lineares simples são aqueles que apresentam apenas uma variável independente que estime com precisão o volume de árvores, no caso esta variável é o diâmetro medido a 1,30 m do solo (DAP). Os

modelos lineares múltiplos apresentam duas ou mais variáveis independentes, ou seja, além do DAP inclui-se a altura comercial (HC), podendo ser ajustada ou não com o DAP. (LEITE; REZENDE, 2010).

No que diz respeito as análises estatísticas, vários modelos podem ser ajustados por meio de regressão e seleção de uma equação, utilizando critérios estatísticos, como o coeficiente de determinação, o erro padrão da estimativa, a distribuição dos resíduos e a estatística F (BAYER *et al*, 2009).

O coeficiente de determinação (R^2) expressa a quantidade de variação total explicada pela regressão. Logo, seleciona-se a equação que apresenta maior R^2. Já o erro padrão da estimativa (*Syx*) representa a dispersão entre os valores observados e estimados ao longo da linha de regressão, sendo desejável optar pelo menor valor. A análise gráfica da distribuição dos resíduos entre a variável dependente estimada e observada, permite observar possíveis tendências no ajuste ao longo da linha de regressão (MACHADO *et al*, 2008). A estatística F mostra quanto o modelo ajustado representa a relação entre a variável dependente e as variáveis independentes (SCHNEIDER, 1997).

Neste sentido, com base em modelos matemáticos, várias equações foram desenvolvidas para estimar o volume de povoamentos florestais e, apesar da eficácia de alguns modelos, estes nem sempre se ajustam a todas as espécies e condições específicas do meio, sendo recomendável testá-los por meio das estatísticas de ajuste e precisão apropriados e identificar o melhor para cada característica.

Devido à heterogeneidade da floresta Amazônica, mais trabalhos são necessários para se estimar o estoque de madeira em regiões ainda não estudadas, sendo importante o desenvolvimento de modelos volumétricos baseados em um povoamento ou região de condições de clima e solo uniformes, apresentam estimativas mais precisas dessas variáveis (VALENTE et al., 2011; SANTOS et al., 2012*;* ROLIM, *et al*, 2006). Logo, produzir equações específicas para cada local é importante, pois condições distintas de clima e solo são determinantes na relação entre as variáveis diâmetro, altura e volume das árvores.

4.12 Fator de forma

As equações de volume são fundamentais na tomada de decisão de povoamentos florestais. Por isso, várias equações volumétricas foram desenvolvidas para se estimar o volume de povoamentos florestais, porém, apesar da eficiência de

alguns modelos, que nem sempre se ajustam às espécies e condições de interesse são recomendadas testar mais de um meio de se encontrar o volume, para dessa forma, escolher o que melhor se identifica para cada caso (SILVA, 2008).

Esses modelos volumétricos utilizam uma variável dependente que é o volume, associado a variáveis independentes, como o diâmetro à altura do peito e a altura (CUNHA et al, 2002). Através dessas equações pode-se estimar volumes individuais de árvores e chegar a estimativas de volume para toda a população.

. Assim como existem os modelos volumétricos para a estimativa volume também existe o fator de forma, que é uma opção antiga de obtenção de volume individual de árvores, onde busca corrigir o volume do cilindro para o volume real da árvore, ele fornece estimativas confiáveis, desde que se controle idade, espaçamento e sítio.

Este método se conceitua 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 (FINGER, 1992)

. Levando em consideração que a comercialização de produtos oriundos de florestas plantadas exerce um papel importante no desenvolvimento socioeconômico do país, levanta-se a questão da importância em realizar estudos que possibilitem obter resultados satisfatórios em relação às florestas plantadas, principalmente quando o objetivo é conhecer o estoque de madeira através de estimativas (MIGUEL, 2009).

4.12 Qualidade da madeira

4.12.1 Uso potencial e qualidade da madeira

A madeira apresenta-se como uma matéria-prima com possibilidade de utilização para múltiplos produtos e devido às suas peculiaridades intrínsecas não atende plenamente a essa premissa. As variações encontradas no lenho das árvores, entre e dentro de espécies, são de elevada magnitude e dependem fundamentalmente de fatores genéticos e ambientais. Existem diferenças significativas na composição

anatômica do lenho, dentro do tronco das árvores e até mesmo entre os tecidos que o constitui. (TRUGILHO, 2004)

Para obter-se um melhor aproveitamento econômico, é preciso ter uma compreensão do comportamento da madeira como material estrutural, determinando as características físicas e, a partir delas, estimar as propriedades mecânicas (LUCAS FILHO, 2012).

A qualidade da madeira é a soma de todas as características e propriedades que determinam o rendimento dos produtos finais e suas adequações para aplicações pretendidas. A qualidade final da madeira pode ser afetada por características como: densidade, rigidez, estabilidade, entre outros. (REMADE, 2005).

A madeira é julgada pela sua qualidade para o uso a que for destinada: na fabricação de compensado, produção de celulose e papel ou após desdobro nas serrarias. A qualidade, por sua vez, é avaliada por parâmetros como densidade, comprimento de fibra, ângulos das fibrilas, que afetam diretamente as propriedades físicas e mecânicas da madeira (JANKOWSKY, 1979).

Entre as propriedades físicas da madeira, a densidade aparente e a estabilidade dimensional são características importantes na avaliação da qualidade da madeira com relação ao seu uso. A densidade aparente, está aliada a uma série de outras características, principalmente àquelas relacionadas às propriedades mecânicas e anatômicas da madeira (MARQUES et al., 2012).

A retratibilidade varia entre as espécies, dependendo ainda do modo de condução da secagem e do próprio comportamento da madeira, o que leva a alterações da forma e à formação de fendas e empenos (VIVIAN, 2011).

Estudos realizados por Kollmann e Côté (1968) mostraram que a densidade do material lenhoso é proporcional a sua resistência mecânica. Os estudos confirmam a alta correlação e proporcionalidade entre as propriedades mecânicas e a massa específica.

Características como a massa específica, textura, grã e dureza são utilizadas na classificação e na avaliação da qualidade da madeira. Recentemente, a cor também vem sendo considerada como um importante índice de classificação e qualidade da madeira (MORI et al., 2004).

Precauções rigorosas devem ser tomadas nas situações em que se exige a estabilidade da madeira. Em peças de madeira podem ocorrer vários prejuízos,

chegando até mesmo inviabilizar o produto final quando a secagem até a umidade de equilíbrio das condições de uso é realizada de forma inadequada (VIVIAN, 2011).

Um dos fatores que limita a utilização da madeira para diversas finalidades, é a sua baixa resistência natural. Assim, o conhecimento desta característica torna-se um requisito importante para a correta utilização da madeira. Madeiras de maior durabilidade natural são preferidas em relação a madeiras que necessitam tratamento preservativo a fim de aumentar esta durabilidade (SILVA et al., 2004).

Estudos mostraram que a porcentagem de defeitos aumenta de acordo com o grau de severidade imposto pelos programas de secagem (SEVERO, 2000).
Martins (1988) afirma que os defeitos resultantes da secagem, além de causarem desvalorização do preço da madeira serrada, geram desinteresse quanto à utilização de determinadas espécies refratarias. Esse fato contribui em parte para exploração seletiva e de um pequeno número de espécies.

Quando se procura potencializar o uso de produtos a pesquisa inicial visa os ganhos financeiros que este produto proporcionará. A madeira não é diferente, a p pois a pesquisa visa compreender o rendimento e a qualidade da mesma. Por isso como ponto principal na busca pelo potencial da madeira está o estudo das tensões de crescimento, já que estas ocasionam os principais defeitos advindos do seu processamento, para obtenção da madeira serrada e industrializada (NICHOLSON, 1973).

Assim, a avaliação da qualidade da madeira é fundamental para definir a sua melhor aplicação, visando fornecer produtos adequados às exigências do mercado consumidor (BARRICHELO et al, 1983).

4.12.2 Propriedades Físicas e Mecânicas

O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas possibilita o uso racional da madeira, logo, torna-se fundamental para definir as aplicações a que serão destinadas e dimensionar, com segurança, as partes componentes de uma estrutura com esse material (BOTELHO, 2011). O desempenho e a resistência da madeira são influenciados significativamente pelas propriedades físicas e mecânicas, sendo necessário o conhecimento das mesmas (MOTTA, 2011).

O estudo das propriedades físicas e mecânicas é efetuada através de ensaios de laboratório, utilizando equipamentos próprios a essa finalidade e seguindo normas

que descrevem os métodos, procedimentos, fórmulas de cálculo a serem utilizadas, assim como as formas e dimensões de corpos de prova. As normas de ensaio mais empregadas mundialmente são as da American Society for Testing and Materials (ASTM), as da British Standard Institution (BSI), as da International Organization for Standardization (ISO) e as da Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT). No Brasil, também existem as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Em relação às propriedades físicas, as mais importantes, que caracterizam a madeira, são a densidade, teor de umidade e a retratibilidade. Sendo a densidade a relação entre a massa e o volume expresso em g/cm^3 ou kg/m^3, a umidade a quantidade de água presente na madeira em relação seu peso seco e a retratibilidade a quantificação da instabilidade dimensional em porcentagem. (BOWYER, 2003).

A densidade é uma das mais importantes propriedades, quando se fala em caracterização tecnológica da madeira, visto que sua variação afeta a resistência mecânica e a estabilidade dimensional da madeira (ARGANBRIGHT, 1971)

A umidade da madeira é um importante índice para qualificar a madeira no sentido de verificar a umidade de um lote de madeira que está sendo comercializado. A estabilidade dimensional, representada pelo valor absoluto da contração volumétrica e pela relação das contrações nos sentidos radial e tangencial também é de grande importância para qualificação de peças de madeira. (HELLMEISTER, 1983).

A retratibilidade é a movimentação da madeira pelos ganhos ou perdas de água abaixo do Ponto de Saturação das Fibras (PSF). A retração tangencial é maior que a radial, enquanto que a longitudinal é praticamente desprezível. Outro parâmetro importante é o índice de contração anisotrópica, razão entre as contrações tangenciais e radiais, de maneira geral, quanto mais próximo de 1 chegar esse índice, melhor o desempenho da espécie para uso em marcenaria.

Quanto as propriedades mecânicas, estas definem o comportamento da madeira quando submetida a esforços de natureza mecânica, permitindo compará-la com outras madeiras de propriedades conhecidas e por analogia fazer as comparações necessárias para conhecer sua utilização (STANGERLIN et al., 2008).

Os valores das propriedades mecânicas variam de acordo com a espécie, umidade da madeira, densidade e tempo de duração da carga durante o ensaio

mecânico, entre outros fatores. O módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) são dois parâmetros normalmente avaliados em testes de flexão estática, sendo o módulo de elasticidade de maior importância na caracterização tecnológica da madeira, representando a resistência do material quando submetido a uma carga aplicada (SCANAVACA JÚNIOR; GARCIA, 2004).

4.12.3 Propriedades físicas

a) Teor de umidade

O teor de umidade expressa a quantidade de água presente na madeira, mais precisamente a proporção entre a massa de água contida na madeira e a massa dessa madeira totalmente sem água. É o ponto de saturação e da umidade de equilíbrio, onde o ponto de saturação da madeira é a umidade abaixo da qual toda água existente é de impregnação, cujo valor gira em torno de 33% (CARRASCO, 2004).

Segundo Oliveira et al (2005) o teor de umidade está relacionado com as propriedades de resistência da madeira, com a maior ou menor facilidade em trabalhar com este material, com seu poder calorífico, sua suscetibilidade a fungos, entre outras propriedades. As informações relativas à distribuição da umidade no interior da madeira são de grande importância na segregação das peças em teores de umidade mais uniformes, de modo a facilitar a secagem tanto no que diz respeito à minimização de defeitos quanto à obtenção de menor variabilidade em torno do teor de umidade médio pretendido.

O teor de umidade da madeira corresponde à relação entre a massa da água nela contida e a massa da madeira seca, dado por

$$\boldsymbol{U}\% = \frac{\boldsymbol{mi-ms}}{\boldsymbol{ms}} \boldsymbol{* 100}$$

Em que,

$\boldsymbol{mi}$ = massa inicial da madeira, em gramas;

$\boldsymbol{ms}$ = massa da madeira seca, em gramas.

b) Densidade

A densidade, ou massa específica, é uma das propriedades mais importantes para a classificação da madeira, determinando, muitas vezes, o uso final desta. Ela relaciona a massa seca de um material com o seu volume e é, normalmente, expressa em kg/m³ ou g/cm³. É uma propriedade que varia conforme o gênero, espécie e dentro do próprio indivíduo, nas diferentes regiões (Pashin & Zeeuw, 1970). Shimoyama (1990), observou que as maiores influências sobre a densidade básica da madeira estão relacionadas à espessura da parede e diâmetro do lume das fibras. Conforme o autor, as características químicas não apresentaram influência, isoladamente.

A densidade básica é um importante parâmetro para avaliação da qualidade da madeira, sendo uma variável complexa, pois resulta da combinação de diversos fatores como dimensão das fibras, espessura da parede celular, volume dos vasos e parênquimas, proporção entre madeira do cerne e alburno e arranjo dos elementos anatômicos (Foelkel et al. 1971). A densidade básica pode ser determinada pela razão entre a massa seca e o volume saturado da madeira (Smith 1954).

São fatores que afetam a densidade básica, a espécie florestal; umidade da madeira; relação de lenho inicial e lenho tardio; largura dos anéis de crescimento; posição de retirada do material no tronco; local de crescimento da árvore; e métodos silviculturas empregados, como desbaste, poda e adubação. (MORESCHI, 2010).

Segundo Panshin e De Zeeuw (1980), a densidade, em função da idade da árvore em geral aumenta rapidamente durante o período juvenil, depois mais lentamente até atingir a maturidade, quando permanece mais ou menos constante, e a madeira de lenho tardio apresentava densidade básica maior que a de lenho juvenil.

A densidade, além de ser um bom indicativo da qualidade de determinada espécie de madeira, estabelece como um bom índice para análise de viabilidade de seu emprego em diversas finalidades (LOPES & GARCIA, 2002).

A densidade pode ser determinada pela equação abaixo:

$$\boldsymbol{\rho ap} = \frac{\boldsymbol{m12}}{\boldsymbol{v12}}$$

Em que,

$\boldsymbol{m12}$ = massa da madeira a 12% de umidade, (kg);

$\boldsymbol{v12}$ = volume da madeira a 12% de umidade, ($m^{3)}$

c) Retratibilidade

O termo retratibilidade volumétrica refere à perda total de água desde a amostra totalmente saturada até secagem completa em estufa a 103 ± 5 °C.

De acordo com Trevisan (2006), a retratibilidade da madeira é o fenômeno relacionado à sua variação dimensional, em função da troca de umidade do material com o meio que o envolve, até que seja atingida uma condição de equilíbrio, chamada de umidade de equilíbrio higroscópico.

Segundo Silva e Oliveira (2003), todo material higroscópico, como a madeira e vários outros materiais celulósicos, apresenta contração quando o seu teor de umidade do ponto de saturação das fibras (PSF) e reduzido a condição absolutamente seca ou anidra. A contração e a expansão dimensional da madeira são dois dos mais importantes problemas práticos que ocorrem durante a sua utilização, como consequência da mudança do teor de umidade.

A madeira é um material higroscópico capaz de absorver e perder água para a atmosfera causando mudanças dimensionais conhecidas como retratibilidade. Essa variação é diferente para cada sentido longitudinal, radial e tangencial, caracterizando-a como um material anisotrópico (TSOUMIS, 1969).

As deformações específicas de retração e de inchamento podem ser determinadas, para cada uma das direções preferenciais, em função das respectivas dimensões da madeira saturada e seca, sendo dadas por:

$$\varepsilon r(i) = \left[\frac{Lsat - Lseca}{Lseca}\right].100 \qquad \varepsilon i(i) = \left[\frac{Lsat - Lseca}{Lseca}\right].100$$

Em que,

$\boldsymbol{Lsat}$ = é a dimensão na direção $\boldsymbol{i}$ ($\boldsymbol{i}$ = radial, = $\boldsymbol{i}$ tangencial ou = $\boldsymbol{i}$ longitudinal) na condição saturada;

$\boldsymbol{Lseca}$ = é a dimensão direção $\boldsymbol{i}$ ($\boldsymbol{i}$ = radial, = $\boldsymbol{i}$ tangencial ou = $\boldsymbol{i}$ longitudinal) na condição seca;

d) Coeficiente de anisotropia da madeira

O coeficiente de anisotropia, segundo Logsdon et al. (2008), é usado na indicação da qualidade da madeira quanto aos defeitos oriundos da secagem. Uma das causas das propriedades anisotrópicas da madeira é a orientação das micelas, fibrilas e fibras que formam o tecido lenhoso. Segundo os autores, o volume dos raios, a dimensão radial das fibras e as diferenciações químicas entre as paredes radiais e tangenciais são responsáveis pela anisotropia da madeira.

Segundo Durlo e Marchiori (1992), o mais importante índice para se avaliar a estabilidade dimensional da madeira é o coeficiente ou fator anisotrópico, definido pela relação entre as contrações tangencial e radial (T/R). Tal relação, frequentemente, explica as deformações da madeira que ocorrem durante a secagem.

Com os dados de retração e inchamento pode-se calcular o coeficiente de anisotropia e inchamento através das equações abaixo:

$$\boldsymbol{Ar} = \frac{\varepsilon \boldsymbol{r\ tang}}{\varepsilon \boldsymbol{r\ rad}} \qquad\qquad \boldsymbol{Ai} = \frac{\varepsilon \boldsymbol{i\ tang}}{\varepsilon \boldsymbol{i\ rad}}$$

Em que:

$\boldsymbol{Ai}$ = coeficiente de anisotropia dimensional na retração;

$\boldsymbol{Ar}$ = coeficiente de anisotropia dimensional no inchamento;

4.5.4 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas da madeira são determinadas pelo seu comportamento quando é solicitada por forças externas, sendo divididas em propriedades de elasticidade e de resistência (CALIL, 1999).

As propriedades elásticas dizem respeito à capacidade do material de retornar à sua forma inicial uma vez retirada as cargas aplicadas, sem apresentar deformações residuais. Apesar da madeira apresentar esta deformação residual, é considerada como um material elástico para a maioria dos usos estruturais (MELLO, 2007).

As propriedades de resistência da madeira estão diretamente relacionadas com a sua densidade, de forma que as madeiras mais densas são normalmente as mais resistentes, embora haja variações destas propriedades em madeiras com a mesma densidade (MELO, 2002).

a) Resistência à compressão paralela às fibras

Na compressão paralela às fibras, como as forças agem na mesma direção do comprimento das fibras da madeira, esta apresenta uma grande resistência, sendo esta propriedade utilizada principalmente para se dimensionar pilares (MELLO, 2007).

Consiste na determinação da resistência e da rigidez de um lote de madeira considerado homogêneo e é dada pela máxima tensão de compressão que pode atuar na madeira (SCANAVACA JUNIOR, 2004).

Como todas as demais propriedades mecânicas, a resistência à compressão paralela às fibras depende da densidade da madeira, tornando-se maior com o aumento desta propriedade. Além da espécie, essa resistência depende do teor de umidade e se o esforço é aplicado perpendicular ou paralelo às fibras, sendo o último muito maior (OLIVEIRA, 2007).

A resistência à compressão paralela às fibras (fwc,0 ou fc0) é dada pela máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo-de-prova com seção transversal dada de 5,0 cm de lado e 15,0 cm de comprimento, sendo dada por:

$$\boldsymbol{fc0} = \frac{\boldsymbol{Fc0,máx}}{\boldsymbol{A}}$$

Em que,

$\boldsymbol{Fc0,máx}$ = máxima força de compressão aplicada ao corpo-de-prova durante o ensaio, (N)

$\boldsymbol{A}$ = área inicial da seção transversal comprimida, (m^2)

$\boldsymbol{fc0}$ = resistência à compressão paralela às fibras, (Mpa)

b) Resistência à flexão estática

A resistência à flexão estática é uma das mais importantes propriedades mecânicas da madeira, sendo determinada pela aplicação tangencial de uma carga em relação aos anéis de crescimento de uma amostra apoiada nos extremos (LIMA JUNIOR et al., 2008).

O ensaio determina a máxima resistência à flexão ou módulo de ruptura e o módulo de elasticidade, fornecendo a rigidez da madeira e a capacidade de resistir à

deformação, quando sujeita aos esforços de flexão. A deformação poderá ser elástica ou plástica, sendo a primeira reversível quando se retira a carga. (OLIVEIRA, 2007).

Segundo Moreira (1999) o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade são dois parâmetros normalmente determinados nos testes de flexão estática e são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira; ambos dão uma boa aproximação da resistência do material, constituindo-se, na prática, parâmetros de grande aplicação na classificação dos materiais.

A resistência da madeira à flexão (fw_M ou f_M) é um valor convencional, dado pela máxima tensão que pode atuar em um corpo-de-prova no ensaio de flexão simples, calculado com a hipótese de a madeira ser um material elástico, sendo dado por:

$$f_{M} = \frac{M_{máx}}{W_e}$$

Em que,

$M_{máx}$. = máximo momento aplicado ao corpo-de-prova, (N/m),

W_e = módulo de resistência elástico da seção transversaldo corpo-de-prova, dado por bh2/6, (m^3).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área de estudo

5.1.2 Fazenda Aruanã

A Fazenda Aruanã possui área de 12.000 hectares, localizada na Rodovia AM 010 - Torquato Tapajós (Manaus-Itacoatiara), no km 215, município de Itacoatiara, no Amazonas. Pertence ao Engenheiro Agrônomo Sergio Vergueiro, permanecendo sob a supervisão do Engenheiro Agrônomo Gabriel Teixeira de Paula Neto.

A fazenda possui 3.800 ha de plantios de castanha-do-brasil para produção de frutos e madeira, e de pupunheira (Bactris gasipaes) para produção de sementes e palmito. (Figura 01.)

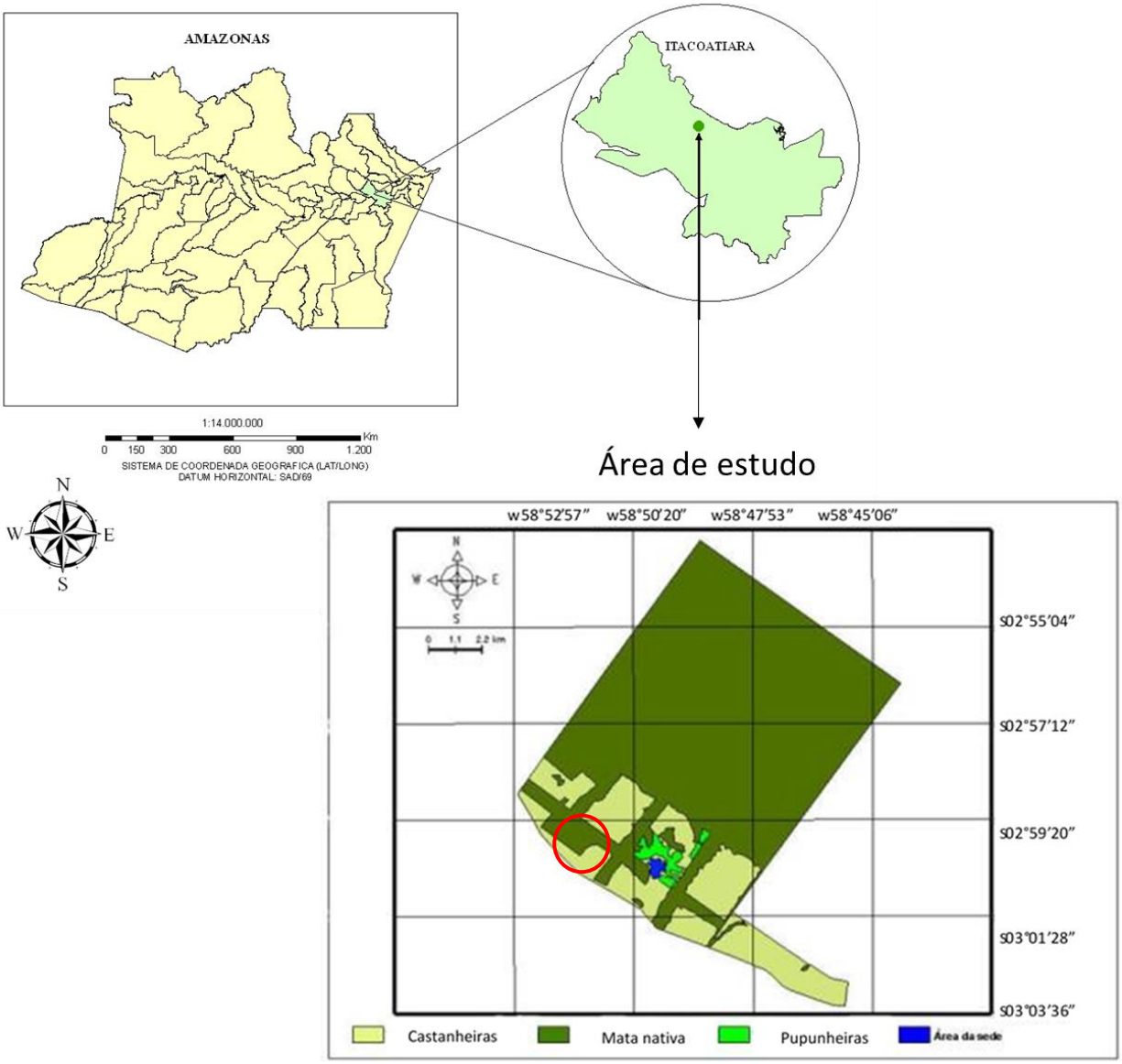


Figura 01. Mapa da área de estudo

A fazenda possui serviço de reposição florestal para empresas ou pessoas físicas, com atividades madeireiras conforme normas do IBAMA, segundo o artigo 20 da Lei n. 4771/65:

> *"Artigo 20 - As empresas industriais que, por sua natureza, consumirem grandes quantidades de matéria-prima florestal, serão obrigadas a manter, dentro de um raio em que a exploração e o transporte sejam*

julgados econômicos, um serviço organizado, que assegure o plantio de novas áreas, em terras próprias ou pertencentes a terceiros, cuja produção, sob exploração racional, seja equivalente ao consumido para o seu abastecimento. ”

Assim, os que necessitam fazer a reposição, contratam a fazenda para a realização de plantios de diferentes espécies, principalmente a castanha-do-brasil.

Foram utilizados dois povoamentos para elaboração do trabalho, ambos os plantios foram implantados com espaçamento 2,5 x 1,5. As idades dos plantios foram de 10 anos e 15 anos.

5.12.1 Clima

O clima local está classificado, segundo Köppen, como Grupo Climático A (Clima Tropical Chuvoso), abrangendo o tipo e variedade climática Amw (chuvas do tipo monções), representando uma variedade do tipo Am, possuindo todas as características, diferindo apenas por apresentar as maiores quedas pluviométricas durante o outono. A precipitação pluviométrica anual é de cerca de 2.200 mm, com

Figura 2. Croqui da área de estudo

menor volume mensal entre agosto e outubro. A temperatura média é de 26 ºC e a umidade relativa do ar é de 80% (RADAMBRASIL, 1978).

A precipitação pluviométrica, bem como o nível de água no solo, tem fortes consequências nas operações de colheita florestal e trabalho de silvicultura. O período de dezembro até junho apresenta alta precipitação pluviométrica, prejudicando as atividades de colheita e transporte de madeira. Porém, trabalhos relacionados com a silvicultura e o manejo em geral podem ser realizados durante esse período.

5.12.2 Solos

Os solos estão classificados no grupo dos Latossolos Amarelos Distróficos, de acordo com o Mapa Geral de Solos do Brasil. Segundo dados do projeto (RADAMBRASIL, 1978), a área está inserida na microrregião Médio Amazonas, com baixa fertilidade natural, alta toxidez de alumínio, e solos de textura argilosa.

As formas de relevo observadas na região confirmam que os solos foram consideravelmente desgastados de sua configuração original.

Os solos dos platôs apresentam um alto conteúdo de argila. Os solos nas encostas são também argilosos, porém apresentam uma camada superficial arenosa. Ao longo dos maiores cursos de água ocorrem extensas áreas de depósitos de areia de quartzo branco, profundas e puras.

5.1.5 Hidrografia

Os rios Anebá e Caru fazem a drenagem da região, em um sistema de fluxo no plano paralelo rumo Sudeste, desaguando no rio Urubu, que por sua vez deságua no rio Amazonas. O rio Anebá, no limite norte da área, alcança uma largura de até 10 m. Sua área de drenagem é de aproximadamente 1.500 km^2. O rio Caru, um pouco menor, drena cerca de 800 km2.

Pequenos cursos de água bem como rios maiores podem aumentar consideravelmente de volume durante os períodos de chuvas, alagando muitas áreas de vegetação, que são conhecidas como floresta de Igapó.

5.1.6 Topografia

O relevo é um planalto dissecado, com platôs levemente inclinados, frequentemente com encostas bastante íngremes limitando estas florestas. Estas encostas podem ter de 5 a 20 m de profundidade. A formação vegetal típica da região é a Floresta Tropical Densa, da Sub-região de Baixos Platôs Dissecados. Os platôs são bem drenados e abrigam uma floresta significantemente mais densa do que nos declives e nos Igapós (vegetação inundada ao longo dos cursos de água). Estima-se que a vegetação de Igapó e Campinarana cubram cerca de 30 % do total da área florestal da Fazenda.

5.1.7 Vegetação

A floresta da área de estudo está classificada como Floresta Tropical Fechada de Terras Baixas da sub-região de baixos platôs da Bacia Amazônica. Esta floresta caracteriza-se em função de um clima quente com elevadas precipitações. A floresta cresce sobre os platôs de origem Terciária e sobre terraços de rios recentes ou mais

velhos. Na cobertura vegetal podem-se observar vários estratos, formados de plantas herbáceas ou lenhosas, subarbustos, arbustos e finalmente de indivíduos arbóreos (RADAMBRASIL, 1978).

A área de estudo está em floresta de terra firme. Conforme (PIRES; O'BRIEN, 1995), as florestas de terra firme caracterizam-se por ocorrer em áreas não sujeitas a inundações. O tipo predominante apresenta árvores altas (de mais de 25 m de altura), copa fechada, muitas lianas, sub-bosque aberto e elevada biomassa.

5.2 Coleta dos dados

5.2.1 Métodos de mensuração

Foram utilizados dois plantios, de 10 anos e 15 anos de idade. Os plantios tiveram sua área dividida em 5 parcelas, e de cada parcela foram selecionadas duas árvores aleatoriamente para o abate, totalizando a derrubada de vinte árvores para realização do trabalho. É importante informar que esse foi o número de árvores limite, autorizado pela direção da Empresa. (Figura 02).

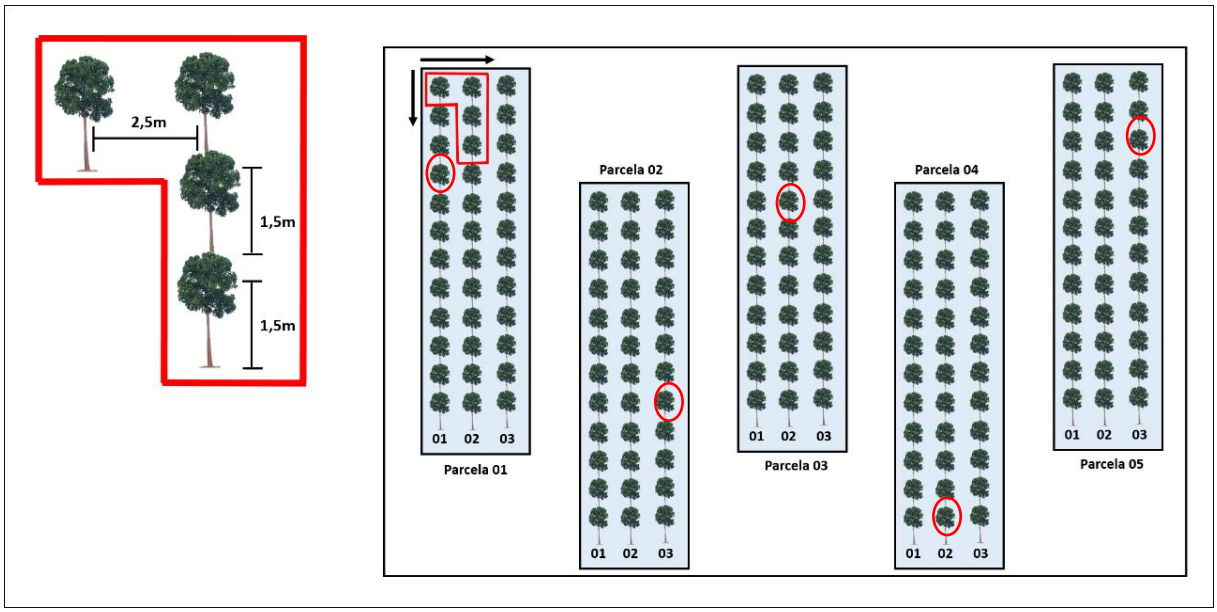


Figura 02. Croqui da área de estudo

Para a coleta de dados foi adotado o tipo de inventário 100%, onde foram coletados DAP e altura estimada, objetivando coletar amostras em todas as classes diamétricas. No total foram inventariadas 360 árvores, 180 árvores em cada plantio.

Foram selecionadas aleatoriamente 10 árvores amostras em cada plantio. A determinação do volume foi realizada por meio de cubagem rigorosa, utilizando o método de Smalian. Foram coletados diâmetro a 1,30m do solo (DAP) e a partir desta tomou-se a distância de 2 em 2 metros, até se chegar ao diâmetro de 6cm de ponta.

Estas informações forneceram os parâmetros dendrométricos para a estimativa de diâmetro médio, número de árvores, área basal, volume e altura total com casca.

Foi utilizada a mesma metodologia para as duas idades.

5.2.2 Instrumentos e materiais utilizados na medição

As medições dos DAPs das árvores inclusas nas parcelas foram feitas pelo método direto, com uso dos seguintes instrumentos e materiais.

A figura 3 apresenta o método de amostragem sistemática para seleção das árvores, onde foram utilizados, fita diamétrica, para medição dos DAPs, suta métrica graduada em centímetros, fita colorida para marcação das árvores, ficha de campo, prancheta.

Para a amostragem das parcelas foram utilizados: corda com o comprimento do raio da parcela, fita métrica e trena de 50 metros, GPS,facão e paquímetro digital.

Figura 03. Medição do diâmetro para cubagem utilizando a suta.

5.2.3 Determinação do volume através do fator de forma

A altura comercial foi determinada como sendo a medida da base da árvore até 6cm de ponteira ou a primeira bifurcação. A altura total foi determinada como sendo a medida obtida da base até o topo da árvore.

O fator de forma para o volume total e comercial de cada árvore amostra foi determinado por meio da seguinte equação:

$$F = \frac{VR}{VC}$$

Em que:

F = Fator de forma;

VR = Volume rigoroso da árvore em m^3 determinado pela cubagem;

VC = Volume do cilindro.

Dessa maneira, a estimativa dos volumes totais e comerciais pelo fator de forma foi estimada pela equação:

$$Vest = Vcil \cdot ff$$

Em que:

Vest = volume estimado (m³);

Vcil = volume do cilindro e;

ff = fator de forma.

5.2.4 Análise dos modelos de regressão

Na análise do modelo de regressão, foram utilizados os seguintes critérios, de acordo com Soares *et al* (2006) e Schneider *et al* (2009): coeficiente de determinação (R^2aj), erro padrão da estimativa $(\boldsymbol{Syx})$, análise gráfica dos resíduos e a significância dos coeficientes de regressão.

5.2.5 Critério de seleção dos modelos volumétricos

Após os ajustes dos modelos foram obtidos o coeficiente de determinação ajustado, o erro padrão da estimativa, o coeficiente de variação e valor de F. Simultaneamente ao ajuste dos modelos, foi realizada a análise gráfica de resíduos, para verificar a ocorrência ou não de tendenciosidade nas estimativas da variável dependente volume.

Os critérios estatísticos são descritos da seguinte maneira:

a) Coeficiente de Determinação ajustado $(\mathbf{R^2aj})$,

O coeficiente de determinação ajustado (R^2aj) determina o grau de ajustamento de uma equação ao conjunto de dados utilizados, ou seja, expressa a quantidade da variação total em torno da média explicada pela regressão. É uma fração que varia no intervalo de 0 < R2 ≤ 100 e não possui unidade. O coeficiente de determinação é dado pela expressão:

$$\boldsymbol{R^2aj = R^2 - \left[\frac{K-1}{N-K}\right] * (1 - R^2)}$$

Em que:

$\boldsymbol{R^2}$= Coeficiente de determinação;

$\boldsymbol{K}$ = Número de variáveis independentes da equação;

$\boldsymbol{N}$ = Número de observações.

b) Erro padrão da estimativa *(Syx)*

O erro padrão da estimativa é uma medida de dispersão entre os valores observados e estimados pela equação, ou seja, indica o erro médio associado ao uso da equação testada, sendo desejável aquela que tenha o menor valor. O erro padrão da estimativa é obtido pela seguinte fórmula:

$$\boldsymbol{Syx} = \sqrt{\boldsymbol{QMresíduo}}$$

Em que:

$\boldsymbol{Syx}$ = Erro padrão da estimativa;

$\boldsymbol{QMresíduo}$ = Quadrado médio do resíduo, obtido na análise de variância.

O erro padrão em porcentagem é utilizado como alternativa para a comparação de equações com variáveis dependentes de diferentes unidades (Schneider *et al*, 2009). É calculado pela seguinte expressão:

$$\boldsymbol{Syx}\ \% = \frac{\boldsymbol{Syx}}{\boldsymbol{Y}}.\boldsymbol{100}$$

Em que:

$\boldsymbol{Syx}$ % Erro padrão da estimativa em porcentagem;

$\boldsymbol{Y}$ = Média aritmética da variável dependente.

c) Análise gráfica dos resíduos

A análise gráfica da distribuição dos resíduos entre os valores observados e estimados da variável dependente possibilita a verificação de problemas de

tendenciosidades do ajuste ao redor da reta de regressão. Os resíduos são calculados pela seguinte expressão:

$$\boldsymbol{Ei = Yi - Y\hat{}}$$

Em que:

$\boldsymbol{Ei}$ = Resíduo da i-ésima observação;

$\boldsymbol{Yi}$ **=** Variável dependente observada;

$\boldsymbol{Y\hat{}}$ = Variável dependente estimada pela regressão.

d) Significância dos coeficientes de regressão

Foi realizado o teste F através da análise de variância (ANOVA) para avaliar o ajuste dos coeficientes de regressão à base dos dados nos modelos lineares e não lineares.

. ***5.2.6 Análise estatística***

O modelo da variável combinada de Spurr, em que o autor considera uma única variável independente de dap^2hc, que tem forte correlação com o volume e o modelo de Schumacher & Hall, proposto em 1993, na sua forma não linear. Os dois modelos são os mais testados nos ajustes de estimativas volumétricas para árvores comerciais na Amazônia.

Os modelos apresentados a seguir, são todos de uso corrente na modelagem volumétrica (Queiroz, 1984; Higuchi & Ramm, 1985; Couto & Bastos, 1987; Souza & Jesus, 1991; Schneider &Tonini, 2003; Batista *et al*, 2004).

Foram testados quatro modelos volumétricos de simples entrada com o DAP como variável independente e seis modelos volumétricos de dupla entrada com o Dap e altura (h) como variáveis independentes (Quadro 1).

Quadro 01. Modelos volumétricos testados para estimativa de volume comercial

	Modelos Testados	**Autor**
01	$ln(V) = \beta 0 + \beta 1.ln(d) + \beta 2.ln(h) + \mathcal{E}i$	Schumacher e Hall (logarítmica)

02	$ln(V) = \beta 0 + \beta 1.ln(d) + \mathcal{E}i$	Husch
03	$\ln(V) = \beta 0 + \beta 1.\ln(d.h) + \mathcal{E}i$	Spurr variável combinada (ln)
04	$\ln(V) = \beta 0 + \beta 1.\ln(d) + \frac{1}{d} + \mathcal{E}i$	Brenac
05	$V = \beta 0 + \beta 1.d + \mathcal{E}i$	Kopezky – Gehrardt modificada
06	$V = \beta 1.d^2 + \mathcal{E}i$	Husch modificada
07	$\boldsymbol{V = \beta 1.d^2.h + \mathcal{E}i}$	Spurr sem $\beta 0$
08	$V = \beta 0 + \beta 1.d + \beta 2.h + \mathcal{E}i$	Dissescu-Meyer.
09	$V = \beta 0 + \beta 1.d^2.h + \mathcal{E}i$	Spurr
10	$V = \beta 0 + \beta 1.d.h + \mathcal{E}i$	Spurr variável combinada

Quadro 1. Em que, $\boldsymbol{V}$ = volume da árvore; $\boldsymbol{d}$ = diâmetro a 1,30m do solo; $\boldsymbol{h}$ = altura total; $\boldsymbol{\beta 0, \beta 1\ e\ \beta 2}$ = coeficientes de regressão

5.3 Propriedades físicas e mecânicas

5.3.1 Corpos de prova

Em campo foi retirado de cada árvore uma prancha e cinco discos. Ambos foram encaminhados para serraria da Embrapa para beneficiamento.

Na Figura 04, mostra as pranchas utilizadas para confecção dos corpos de prova referente as propriedades mecânicas e os discos utilizados para confecção dos corpos de prova relacionados as propriedades físicas. (Figura 05).

Figura 04. Pranchas e discos utilizados na confecção dos corpos de prova

A Tabela 01 apresenta, as normas utilizadas e os respectivos ensaios realizados na pesquisa.

Tabela 01. Normas utilizadas, dimensões e quantidade dos corpos de prova

PROPRIEDADES FÍSICAS			
Ensaios	Norma	Dimensões (cm)	Quant
Teor de umidade	ABNT 7190/1997	2,0 x 3,0 x 5,0	7
Densidade básica	ABNT 7190/1997	2,0 x 3,0 x 5,0	7
Estabilidade dimensional	ABNT 7190/1997	2,0 x 3,0 x 5,0	7
PROPRIEDADES MECÂNICAS			
Resistência a compressão paralela as fibras	ASTM D 143-94/2000	2,5 x 2,5 x 10	10
Resistência à flexão estática	ASTM D 143-94/2000	2,5 x 2,0 x 41	10

Depois de retirados os corpos de prova, estes foram aclimatadas no Laboratório de Física da Madeira da Universidade Federal do Amazonas até atingir umidade de 12%. Após o beneficiamento, os corpos de prova das propriedades físicas foram encaminhadas ao Laboratório de Estudos e Análises Florestais da Embrapa Amazônia Ocidental, para a realização dos ensaios de Teor de Umidade, Densidade e Retratibilidade.

Os corpos de prova referente as propriedades mecânicas (Figura 05), foram enviadas ao Laboratório de Física e Mecânica da Madeira - Propriedades Físicas e Mecânicas no Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal Lavras), para análises realizadas em uma máquina universal dos ensaios de Compressão paralela as fibra e Flexão estática.

Figura 05. Corpos de prova propriedades aclimatando na UFLA

5.3.2 Propriedades físicas

a) Teor de umidade

O condicionamento da madeira é fundamental para determinação das suas propriedades. Além disso, é extremamente importante quando se busca avaliar a influência do teor de umidade nas propriedades. Desta forma, foi determinado o teor de umidade na seguinte condição.

As amostras foram submersas em água para saturação até massa constante, foi realizada a pesagem da massa saturada, então essas foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 103 ± 2 ºC até massa constante, determinando a massa seca (Figura 06).

A massa foi considerada constante quando a diferença entre duas pesagens consecutivas, com diferença de 24 horas. O teor de umidade máximo (TU) foi calculado em relação à base seca.

Figura 06. Retirada dos corpos de prova submersos em água e pesagem

b) Densidade

Para a determinação da densidade aparente ρap (14%), foram adotados os procedimentos referentes as recomendações do Anexo B da Norma NBR 7190:1997.

As medições realizadas foram às dimensionais de base, largura e espessura com o auxílio de paquímetro digital, e medidas de massa dos corpos de prova com auxílio da balança digital, obtendo-se desta forma a propriedade de densidade (Figura 07)

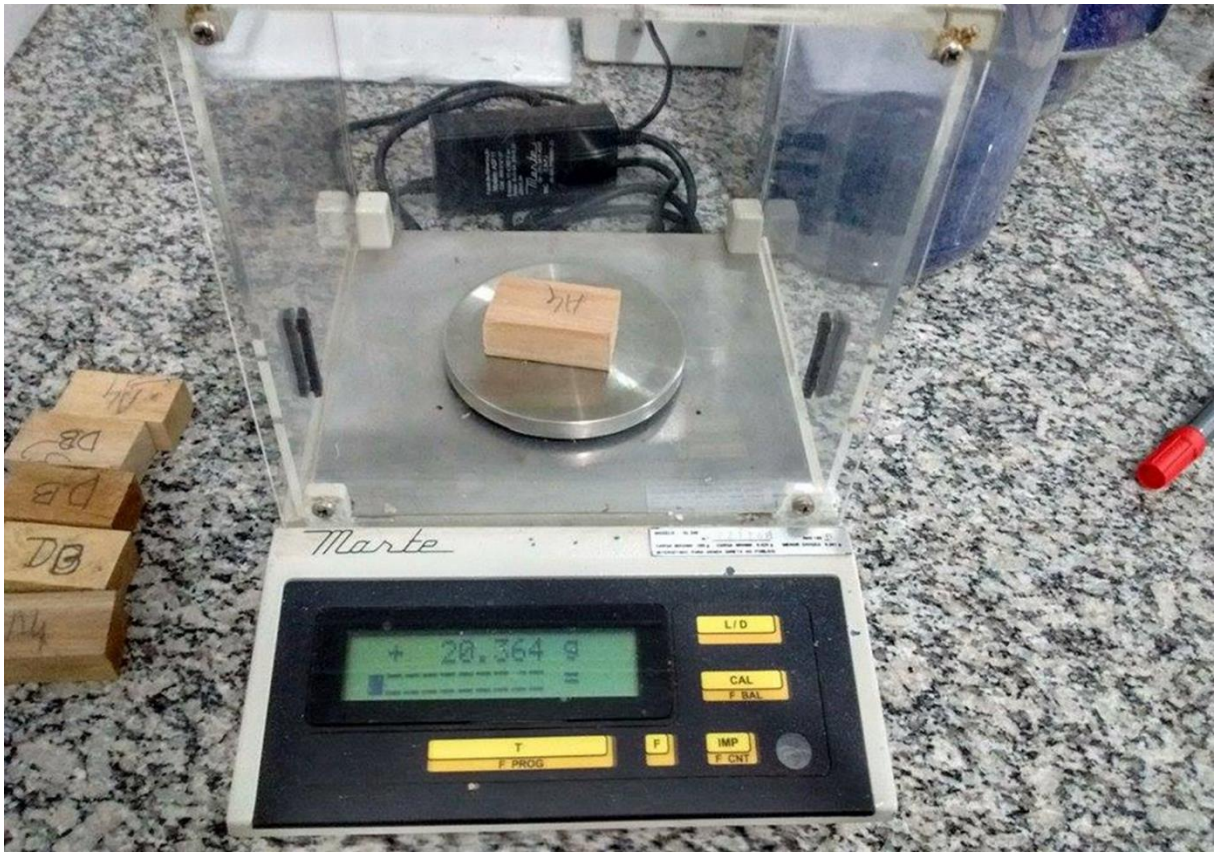


Figura 07. Pesagem dos corpos de prova para a determinação da densidade.

Estabilidade dimensional

Foram realizados procedimentos de acordo com os descritos na norma ABNT 7190. Os corpos de prova, após estabilizarem a umidade 12%, foram submersos em água até estabilizar o peso, em seguida foram pesados em balança digital analítica e tiveram suas medidas tangenciais, radiais e longitudinal medidas com paquímetro digital para serem colocados na estufa para secagem até estabilizar o peso para nova medição. (Figura 08).

Figura 08. Medição com paquímetro e amostragem corpos de prova do teste de Estabilidade dimensional

5.3.3 Propriedades mecânicas

a) Resistência à compressão paralela às fibras

Para a realização do ensaio de compressão aplicou-se uma carga paralela às fibras, comprimindo a madeira que permanecia sobre uma base com resistência superior à da madeira sendo ensaiada. (Figura 09)

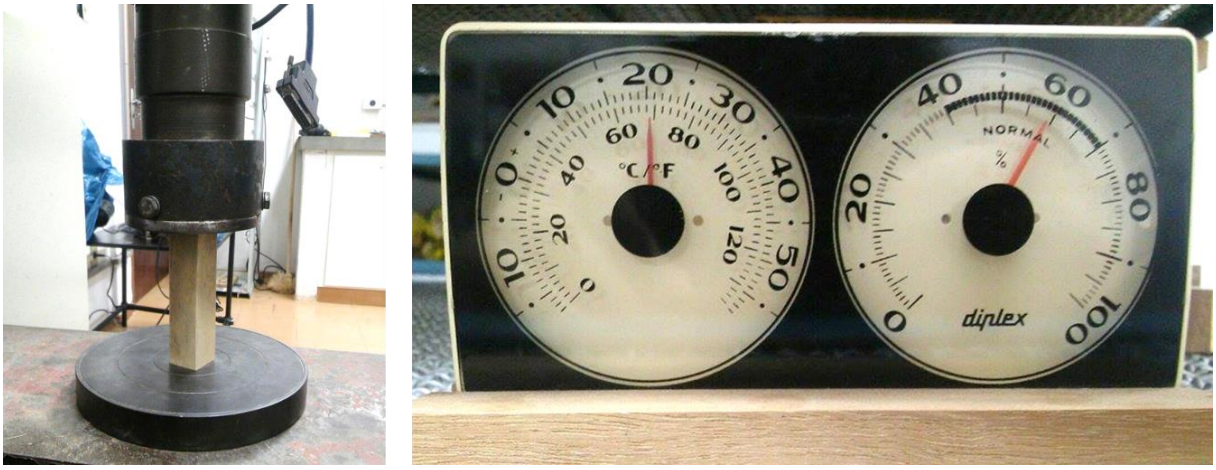


Figura 09. Ensaio de Compressão paralela as fibras

A resistência à compressão foi obtida a partir do valor convencional determinado pela deformação especifica residual de 2%, obtida em um ensaio de compressão uniforme e a rigidez da madeira na direção normal às fibras foi determinada por seu módulo de elasticidade.

Para a determinação do modulo de elasticidade foram utilizados relógios comparadores, com exatidão de 0,001 mm, para as medidas das deformações totais do corpo de-prova. Destas medidas foram descontadas deformações intrínsecas da máquina de ensaio.

b) Resistência a flexão estática

No ensaio de flexão estáticos corpos-de-prova foram vinculados a dois apoios articulado móveis, com vão livre de 42 cm sendo o equilíbrio do sistema garantido pelo atrito com o atuador (Figura 10).

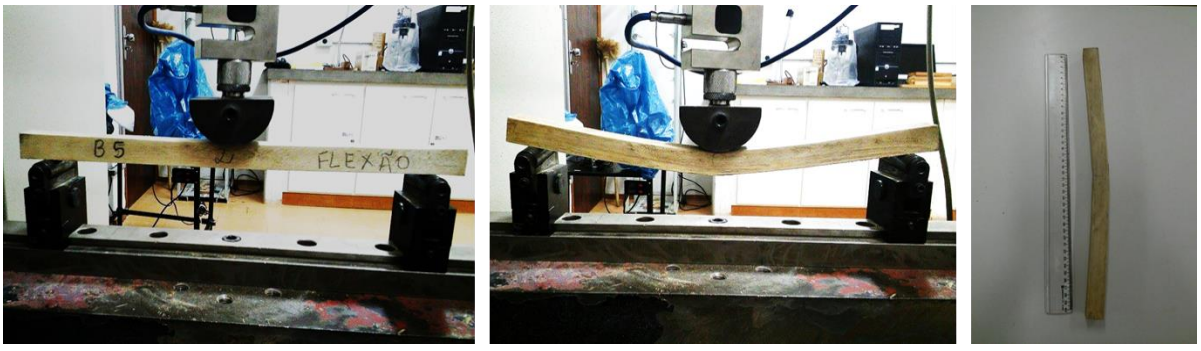


Figura 10. Ensaio de Flexão estática

Realizaram-se nos corpos de prova de flexão estática medições de base, largura e espessura dos corpos de prova e também se determinou a massa das amostras no estado seco a 12% com o objetivo de calcular sua densidade (ou massa específica) e a umidade de equilíbrio.

5.3.4 Análise estatística

Os valores referentes às propriedades físicas e mecânicas da madeira foram tabulados na planilha Microsoft Excel e analisados no Software R 2.4.3. Foi realizada análise de variância e, quando significativa, irá aplicar o teste Tukey a 5% de probabilidade para a comparação de médias.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Volumetria

As estimativas do fator de forma apontam importantes diferenças entre as espécies avaliadas e valores superiores ao fator de forma preconizado pelos órgãos oficiais de licenciamento ambiental (fator de forma 0,7).

Através da razão entre o volume real da árvore obtido mediante o processo de cubagem rigorosa e o volume do cilindro na qual a altura comercial foi considerada como altura total e o diâmetro igual ao DAP (diâmetro altura do peito), foi obtido o Fator de Forma, que é um fator responsável para corrigir de forma média a superestimava do volume de cada árvore uma vez que o fuste dos vegetais tende muito mais a um cone do que um cilindro, assim temos fator de forma de o,47 para a idade de 10 anos e 0,41 para a idade de 15 anos.

Tabela 02. Estatística descritiva para diâmetro, altura

Idade (anos)	Parâmetros	Dap	Hc (m)	Ht (m)
10	Média	21,09	10,80	17,83
	IC (Mínimo)	20,28	9,96	17,47
	IC (Máximo)	21,09	10,80	17,82
	Desvio Padrão	1,31	1,350	0,58
15	Média	27,53	14,23	20,89
	IC (Mínimo)	25,119	12,628	19,794
	IC (Máximo)	27,53	14,227	20,885
	Desvio Padrão	3,89	2,58	1,76

Em que: Dap: diâmetro a altura do peito; Hc: altura comercial; Ht: altura total

O fator de forma torna-se uma ferramenta de grande valia para a obtenção de estimativas rápidas da variável volume, no entanto vale ressaltar que sua precisão é inferior as equações de volume, logo, deve-se ter ponderações e cuidados quanto ao seu uso.

Nas áreas destinadas ao uso alternativo do solo na Amazônia (corte raso ou desmatamento autorizado), o método mais difundido para a estimativa do volume de madeira da floresta é o que utiliza o volume do cilindro multiplicado por um fator de forma médio igual a 0,7 e o reflexo disto é que as estimativas de volume não condizem com os estoques de volume reais, geralmente subestimando o volume da madeira (Higuchi et al., 2004)

Rocha et al (2015) em um estudo conduzido em um povoamento homogêneo de Genipa americana Linnaeus, com seis anos de idade, encontrou fator de forma médio de 0,40.

Já Oliveira (2011) encontrou para fatores de forma médios calculados para árvores individuais com e sem casca foram de 0,7424 e 0,7297, respectivamente. As árvores amostradas apresentaram valores médios de 66,45 e 63,92 cm de DAP com e sem casca, respectivamente, 16,3 m de altura total média. O volume real médio com casca foi de 5,76 m^3 com erro padrão da média igual a 0,069 m^3.

A diferença observada quanto ao fator de forma determinado pelos autores descritos é explicada pelo fato do fator de forma ser influenciado pela espécie, sítio, espaçamento, desbaste, idade (FERREIRA, 1999).

Ajuste de equações

Encontram-se os coeficientes das equações, os valores do coeficiente de determinação ajustado (R^2aj), do erro padrão da estimativa (Syx) encontrados para as duas idades. A linha em destaque representa a equação que apresentou a melhor estatística de ajuste (Quadro 2).

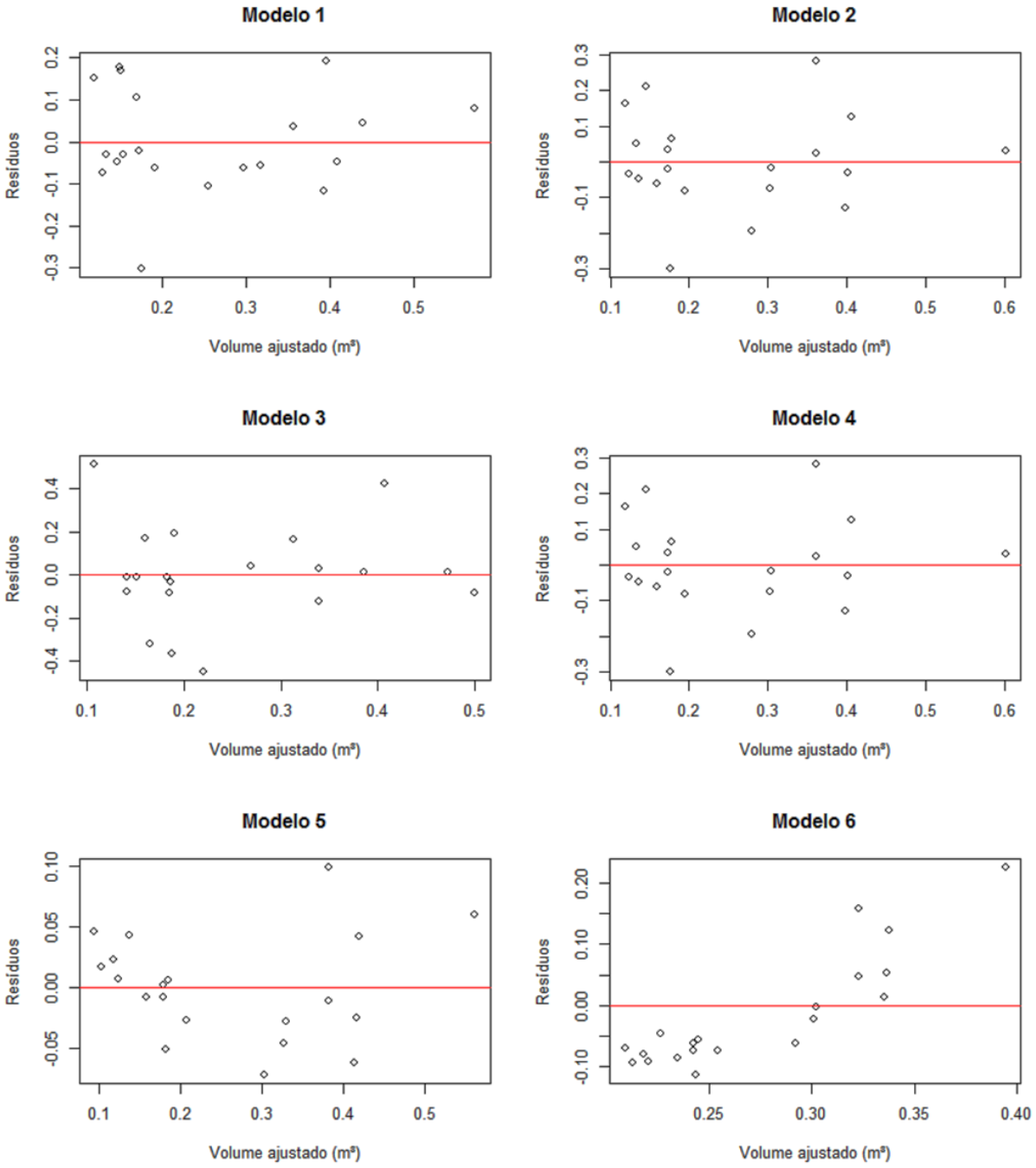
O melhor resultado obtido pelo presente trabalho foi pra a equação $\boldsymbol{V = \beta 1 . d^2 . h + \varepsilon i}$ que apresenta coeficiente de determinação ajustado de 98,23% e 98,13% e erro padrão de 4,021%.

Quadro 02. Ajuste dos modelos para estimativa volumétrica do jatobá aos 15 e 10 anos e parâmetros estatísticos de seleção

Nº	Modelo	Coeficientes			R^2 (%)	R^2_{aj} (%)	Syx(%)
		$\boldsymbol{\beta 0}$	$\boldsymbol{\beta 1}$	$\boldsymbol{\beta 2}$			
1	$ln(V) = \beta 0 + \beta 1.ln(d) + \beta 2.ln(h) + \varepsilon i$	-9.6837	2.3546	0.3107	94,17	93,48	12,9
2	$ln(V) = \beta 0 + \beta 1.ln(d) + \varepsilon i$	-9.3126	0.8898		92,91	92,52	13,83
3	$\ln(V) = \beta 0 + \beta 1.\ln(d.h) + \varepsilon i$	-8,4728	1,2383		79,14	77,98	23,71
4	$\ln(V) = \beta 0 + \beta 1.\ln(d) + \frac{1}{d} + \varepsilon i$	-9,5429	2,5555		92,91	92,52	13,83
5	$V = \beta 0 + \beta 1.d + \varepsilon i$	-0,4331	0,0289		90,56	90,04	4,48
6	$V = \beta 1.d^2 + \varepsilon i$		0,01149		90,32	89,81	9,39
7	$\boldsymbol{V = \beta 1.d^2.h + \varepsilon i}$		**0,00003334**		**98,23**	**98,13**	**4,021**
8	$V = \beta 0 + \beta 1.d + \beta 2.h + \varepsilon i$	-0,4718	0,02590	0,0091	92,63	91,76	4,08
9	$V = \beta 0 + \beta 1.d^2.h + \varepsilon i$	0,1467x10-2	3,186x10-5		92,27	91,84	4,06
10	$V = \beta 0 + \beta 1.d.h + \varepsilon i$	-0,8140	0,0011		81,82	80,81	6,23

R^2_{aj} : Coeficiente de determinação ajustado; S_{yx}: Erro padrão da estimativa;
*ns: não significativo (p>0,05)

O melhor resultado para Coeficiente de determinação ajustado (R^2aj = 98,13%) do modelo (7) e menor erro padrão da estimativa (Syx= 4,021%), coincidiram também com a melhor representação (Figura 11).



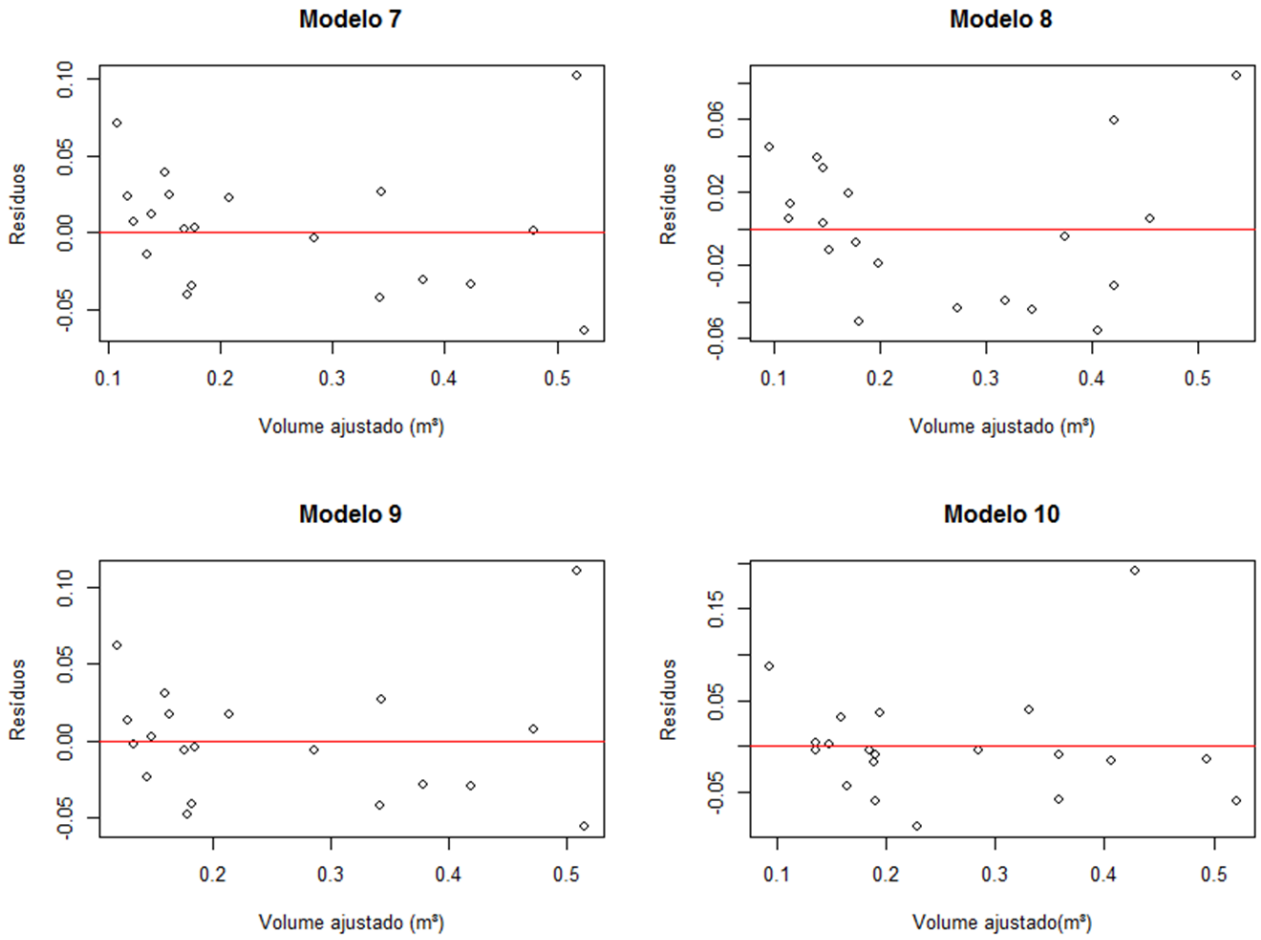


Figura 11. Distribuição gráfica dos resíduos (n=20) para os modelos volumétricos

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. 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.

Todos os modelos testados neste trabalho foram significativos ao nível de 5% de probabilidade, confirmando a existência da regressão. No entanto, o modelo de Spurr sem $\beta 0$ ($V = 0{,}00003334.d^2.h + \mathcal{E}i$**)** apresentou as melhores medidas de precisão. A distribuição residual também comprovou a precisão do modelo, assim como a análise dos resíduos gráficos. Logo foi o modelo recomendado para estimar o

volume comercial de árvores de Castanheira a partir do DAP e altura, quando for possível medir a variável altura.

Em um trabalho descrito por Silva Ribeiro et al (2014) para a espécie maçaranduba, observaram o modelo de Spurr como um dos modelos com as melhores estimativas de volume, apresentando as melhores estimativas de volume com coeficiente de determinação ajustado ($R^2aj\%$) de 90,70%, enquanto que o erro padrão da estimativa (Syx%) variou entre 13,64% e 16,29%.

Para Santos et al (2012) Os modelos de Spurr sem βo e o Spurr variável combinada foram os que apresentaram os melhores resultados. A equação de Regressão ajustada apresentou resultados satisfatórios de estimativa de altura, com alto valor do coeficiente de determinação ajustado ($R^2aj = 0,85$), e baixo erro padrão da estimativa em porcentagem (Syx % = 11,86%).

Quando somente for possível medir a variável DAP, ou, quando apenas esta variável estiver disponível no inventário, recomenda-se o uso das equações (2) $ln(V) = -9,3126 + 0,8892.ln(d) + \mathcal{E}i$e (4), $\ln(V) = -9,5429 + 2,5555.\ln(d) + \frac{1}{d} + \mathcal{E}i$ ambas na forma logarítmica respectivamente:

Em um estudo realizado por Menezes e Silva (2003), a equação ajustada a partir do modelo de Kopezki- Gehrardt ($V = b0 + b1.d^2$) por possuir 71, 24% de coeficiente de determinação e erro de 28,90%, 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.

Considerando que o modelo de Henricksen e o de Curtis (Ln) são de simples entrada, ou seja, não utiliza a variável altura, seria o mais indicado quando houver necessidade de otimizar as atividades de campo e o de Spurr sem $\beta 0$, quando for necessária maior precisão da estimativa.

Com a equação ajustada, foram estimados os volumes comerciais com casca para árvores individuais, em função do diâmetro a 1,30 m do solo e da altura comercial (Tabela 3).

Tabela 03. Valores dos volumes estimados, observados e fator de forma

	V obs.	*V est.*	*v f1,3*	p
10 anos	0,3544	0,3809	0,3189	
	0,1751	0,1553	0,1576	
	0,1513	0,1387	0,1362	
	0,1333	0,1708	0,1200	
	0,1774	0,1088	0,1597	0,87
	0,1692	0,1685	0,1523	
	0,1188	0,1346	0,1069	
	0,1888	0,1513	0,1699	
	0,1301	0,1229	0,1170	
Média	**0,1776**	**0,1702**	**0,1598**	
15 anos	0,1818	0,1775	0,1636	
	0,1442	0,1171	0,1298	
	0,6157	0,5178	0,5541	
	0,3870	0,4236	0,3483	
	0,4813	0,4791	0,4331	
	0,4614	0,5245	0,4152	
	0,1377	0,1745	0,1239	0,83
	0,3008	0,3429	0,2707	
	0,3675	0,3435	0,3308	
	0,2344	0,2076	0,2110	
	0,2819	0,2838	0,2537	
Média	**0,3267**	**0,3265**	**0,2940**	

Em que, Vobs.: volume observado, Vest.: Volume estimado, h: altura, Dap: Diametro a altura do peito; V $f_{1,3:}$ Volume calculado pelo fator de forma

A tabela 03 mostra a relação de volume observado e volume estimado utilizando a equação 7 (Spurr), onde pode-se observar que o menor volume observado foi 0,1881 e o maior foi 0,615, com a média de 0,2596, já o volume estimado teve seu menor valor de 1,170 e o maior de 0,5244, e o menor volume pelo fator de forma foi com médias dos valores de 0,2561, a média em altura comercial foi de 12,38 m, sendo a menor altura comercial 9,65m e a maior 18,2m e a média de DAP foi 23,905 cm, sendo o menor DAP 18,2cm e o maior 34,3cm.

O resultado da validação para a equação selecionada indicou com 98% de confiança que a equação selecionada (*Volume= 0,00003334* h^2 * DAP*) 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 esse que se reafirma a recomendação para o uso dessa equação.

Os resultados médios para os fatores de forma foram de 0,41 para idade de 15 anos e 0,47 para a idade de 10 anos, para estimar volume comercial com casca. O fator de forma determinado nesse estudo não difere estatisticamente em relação ao fator de forma 0,48, determinado para Castanha do Brasil de plantio do estado de Roraima encontrado por Tonini em 2005.

Em estudo feito no município do Cantá (RR) verificou-se que o fator de forma foi de 0,47 em um plantio de *Bertholletia excelsa* com idade de 13 anos. Apesar do fator de forma ser influenciado pela espécie, sítio, espaçamento, desbaste, idade, observa-se, o mesmo valor encontrado para idade de 10 anos do presente trabalho.

O fator de forma é um método muito utilizado e importante para obter estimativas rápidas da variável volume, no entanto deve ter ponderações e cuidados quanto ao seu uso, principalmente quando não for específico, ou seja, desenvolvido por espécie, idade, espaçamento e sítio florestal, podendo dessa forma obter estimativa com menor precisão e maior dispersão do volume.

Ainda na Tabela 03, observa-se que não diferenças estatísticas entre os valores encontrados para os respectivos volumes, logo torna-se possível com a utilização da equação de volume e/ou fator de forma, quantificar com precisão o estoque de madeira existente e ainda determinar o potencial produtivo da área estudada.

6.2 **Propriedades Físicas**

6.2.1 Teor de umidade

A tabela 03 apresenta os valores médios para teor de umidade, assim como a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação podem ser observados

Tabela 03. Valores médios para Teor de Umidade

Idade (anos)	IC Mínimo	IC Máximo	Média	CV(%)	S	t	p
10	11,99	16,30	14,14	10,17	4,92	0,99	0,47
15	13,78	14,44	14,26	8,55	4,14	0,26	1,13

Os teores de umidade das idades de Castanheira não diferem significativamente entre si, (p > 0,05).

Observa-se que os valores citados são superiores aos trabalhos encontrados, isso pode estar relacionado a metodologia de análises conjuntas de cerne, alburno e transição cerne-alburno.

Isso pode ser explicado pelo fato da área de alburno ir diminuindo com a altura da árvore, considerando que essa região apresenta um maior teor de umidade devido à menor presença de teor de extrativos, que por sua vez reduz a higroscopicidade da madeira (KLITZKE et al. 2007).

6.2.2 Densidade Aparente

Na Tabela 04 encontram-se os valores médios para densidade aparente, bem como os respectivos coeficientes de variação, valores de t e p. Por meio da análise de variância, verificou-se não haver diferença significativa entre as idades de 10 e 15 anos, ao nível de confiança de 95% de probabilidade. Os resultados já estão corrigidos para a umidade de referência 12% utilizando expressão prescrita pela NBR7190:1997.

Tabela 4. Valores médios da densidade aparente por idade

Idade (anos)	ρ (g/cm³)	IC Mínimo	IC Máximo	Variância	S	CV(%)	t	p
10	0,69	0,34	1,04	0,03	0,57	14,89	0,37	0,58
15	0,73	0,57	0,88	0,07	0,25	10,24		

Em que: IC: Intervalo de confiança
*As médias não diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05)

Os valores médios da densidade aparente variaram de 0,6884kg/cm^3 a 0,794kg/cm^3, com média de 0,7287 kg/cm^3 para idade de 15 anos, e de 0,5039 a 0,6943, com média de 0,685 para idade de 10 anos. O valor referente a idade de 15 anos, está próximo do encontrado pelo ao do IPT (1981) para castanheira nativa, que foi, 0,75kg/cm^3, realizado a 15% de umidade.

Já a densidade das árvores de 10 anos, mostraram-se superiores a outras folhosas como por exemplo Paricá, também com 10 anos e densidade média de 0,3475 kg/cm³, (Terezo, et al. 2010).

Apesar da densidade da Castanheira ter aumentado de acordo com a idade, para Panshin e Zeeuw (1970), determinadas espécies podem apresentar aumento ou diminuição da densidade básica em função da idade, de acordo com as condições ambientais a que estejam submetidas. Apesar disto, é difícil determinar a influência direta da idade da árvore na densidade básica, pois os resultados são, frequentemente, mascarados pelas condições ambientais durante o ciclo de vida da árvore.

Os resultados evidenciam que: os coeficientes de variação obtidos estão de acordo com Rocco Lahr (1990), que apontou valores de CV até 28% para propriedades de resistência da madeira, com densidades aparentes a 12% variando entre 0,6 e 1,2 g/cm³.

6.2.2 Retratibilidade

Observando os resultados mostrados na (Tabela 05) nota-se que as maiores variações dimensionais ocorreram no plano tangencial, variando de 8,12% para a idade de 10 anos e 9,27% para a idade de 15 anos, Para o plano radial as variações foram de 4,53% para a idade de 10 anos e 5,44% para a idade de 15 anos e no plano longitudinal, as variações foram menores que 1,00%.

Tabela 05: Valores para Retratibilidade e Inchamento

	Retratibilidade				
Idade (anos)	**Retração tangencial (%)**	**Retração radial (%)**	**Retração longitudinal (%)**	**Variação Volumétrica (%)**	**Coeficiente anisotrópico**
10	8,12	4,53	0,79	12,47	1,79
15	9,27	5,44	0,86	13,13	1,70
T	1,3	0,56	0,47	1,51	1,34
P	0,63	0,34	1,1	0,37	0,42
	Inchamento				
	Inchamento tangencial (%)	**Inchamento radial (%)**	**Inchamento longitudinal (%)**	**Variação volumétrica (%)**	**Coeficiente anisotrópico**
10	8,96	4,89	0,83	13,1	1,83
15	9,84	5,94	0,94	13,96	1,66
T	0,45	1,24	1,32	0,67	0,86
P	0,83	0,54	0,76	0,12	0,27

*As médias não diferem estatisticamente pelo teste t ($p<0,05$)

De acordo com Moreira (1999) e Mattos et al. (2009), O plano tangencial possui maior variação dimensional, seguida pela alteração no plano radial e por último, e praticamente desprezível, no plano longitudinal.

A pequena alteração no sentido longitudinal explica-se por estar à maioria dos elementos estruturais constituintes da madeira organizados verticalmente, o que faz com que o número de paredes por cm^2 seja bem menor nesse sentido (KLITZKE, 2002).

Segundo o IPT (1981), os resultados das contrações radial, tangencial e volumétrica para a Castanheira foram iguais 4,3 % 8,4 % e 13,2 % respectivamente. Estes resultados foram aproximados aos encontrados neste trabalho.

Segundo Tsoumis (1991), a variação dimensional é normalmente maior na madeira de maior densidade devido à maior quantidade de madeira por unidade de volume, o que foi observado neste trabalho. Além disso, madeiras de maior densidade para um mesmo teor de umidade contêm mais água na parede celular.

Kollmann e Cotê (1968) afirmaram que há uma relação diretamente proporcional entre a densidade e sua contração, quanto mais alta a densidade da madeira, maior a sua contração ou expansão e que a contração longitudinal total de madeira normalmente varia entre 0,1 e 0,9% está próximo do permissível. Tal valor encontra-se de acordo com esse estudo.

O fator anisotrópico é a relação entre a retratibilidade na direção tangencial dividida pela mesma propriedade na direção radial. A situação ideal, raramente encontrada, seria aquela na qual as tensões decorrentes da natureza anisotrópica se anulariam segundo as direções em que a retratibilidade se manifestasse. A importância desse índice, portanto, é que, quanto maior for o seu distanciamento da unidade, mais propensa será a madeira a fendilhar e empenar durante as alterações dimensionais provocadas pela variação higroscópica (KLOCK, 2000).

Em termos do coeficiente de anisotropia (εr,3/(εr,2), que expressa à relação entre as contrações tangencial e radial e sinaliza a estabilidade dimensional da madeira a espécie apresentou. De acordo MORESCHI (2010) a classe de qualidade da madeira pode ser definida segundo o fator de anisotropia classificando as espécies como madeiras consideradas excelentes (1,2 a 1,5), madeiras classificadas como normal (1,6 a 1,9) e madeiras de baixa qualidade (>2,0).

6.3 Propriedades Mecânicas

6.3.1 Valores de Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) para flexão estática

Na tabela 06 são apresentados os valores médios para os módulos ruptura (MOR) e elasticidade (MOE) observados a partir do ensaio de flexão estática a 12% de umidade para as duas idades.

Tabela 06: valores médios para Flexão estática

Idade (anos)	**IC Mínimo**	**IC Máximo**	**Ec0 (MPa)**	**CV**	**S**	**P**	**t**
10	13318,03	13631,90	13474,97	6,563	884,311	0,704	0,397
15	13034,61	13419,03	13226,82	8,188	1083,085		
	IC Máximo	**IC Mínimo**	**(MPa)**	**CV**	**S**	**P**	**T**
10	105,45	111,52	108,489	10,417	11,302	0,33	0,6
15	103,18	106,72	104,969	6,346	6,661		

*As médias não diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05)
MOE : Módulo de Elasticidade, *MOR*: Módulo de ruptura, CV: Coeficiente de variação

De acordo com a tabela acima observou-se que não há diferença significativa entre as idades de 10 e 15 anos, para a propriedade mecânica de Flexão estática.

Verifica-se que o maior valor médio do módulo de elasticidade à flexão estática (MOE) foi obtido para a idade de 15 anos, de 13226,8197 Mpa e para a idade de 10 anos foi encontrado o valor médio de 13474,9649, estes valores foram superiores ao encontrado por vários autores. Em relação a Castanheira nativa o resultado encontrado pelo IBDF (1981) foi de 12553 Mpa. O IPT encontrou para as espécies de Tauari e Sapucaia, ambas pertencentes a família Lecythidaceae, respectivamente 10591 Mpa e 8875Mpa, e o IBAMA encontrou para Jequitibá também da família Lecythidaceae o valor de 10885,3815 Mpa.

Observa-se que, em relação as espécies citadas acima, pertencentes a mesma família da Casttanheiras, todos os valores encontrados pelos autores citados foram inferiores aos valores encontrados para castanheira, os valores obtidos para as duas idades são similares entre si, e que os fatores idade e condições de crescimento não afetaram acentuadamente a propriedade de Flexão, não gerando elevadas diferenças de valores.

Com relação ao módulo de ruptura (MOR), foi encontrado o valor de 104,9699 para idade de 10 anos e 108,4894 para a idade de 15 anos, ambos os valores encontrados foram inferiores ao encontrado para castanheira Nativa pelo IBDF (1981) de 116,0 Mpa, Porém foi superior aos valores encontrados para outras espécies da família das Lecythiadaceae, Como por exemplo, os valores encontrados pelo IPT para Tauari e Sapuccaia que foram respectivamente, 88,8 Mpa e 101 Mpa, e também ao valor encontrado pelo IBAMA para jequitibá de 83,06 Mpa.

Segundo Tsoumis (1991), o MOR mostra os esforços mais elevados nas fibras de madeira mais exteriores quando a viga quebra sob a influência da carga, a qual é aplicada gradualmente durante alguns minutos.

De acordo com Pérez e Kanninen (2005), vários estudos têm demonstrado a similaridade entra as propriedades mecânicas da madeira jovem e da madeira mais velha, o que oferece uma margem para a redução da idade de rotação, sem afetar significativamente a resistência da madeira. Isso foi confirmado nesse estudo, já que a madeira de castanheira apesar de ser avaliada jovem teve valores de resistência mecânica superiores ou similares aos determinados por outros estudos de outras espécies e idades.

Percebe-se que a madeira de Castanheira, independentemente da idade, possui resistência à compressão paralela às fibras semelhante ao da madeira de árvore nativa pesquisada pelo IPT.

6.3.2 Valores de Compressão paralela as fibras

Com nos dados provenientes das fichas de caracterização mecânica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas– IPT e do Laboratório de Produtos Florestais do IBAMA – LPF e do anexo E da Norma NBR 7190 da ABNT (ABNT, 1997). É possível observar, nas duas idades, o desempenho da madeira de castanheira proveniente de floresta plantada em comparação com a de árvore nativa e de outras espécies da família Lecythidaceae.

A tabela 07 A Tabela apresenta os valores médios encontrados para a resistência a compressão paralela na idade 10 e 15 anos e seus respectivos módulos elasticidade (MOE).

Tabela 07. Valores para Compressão paralela as fibras

Idade (anos)	IC Mínimo	IC Máximo	Ec0 (MPa)	CV	S	p	t
10	4842,47	4843,62	4843,048	10,174	492,752	0,998	0,002
15	4841,82	4842,47	4842,299	8,550	414,001		
Idade (anos)	**IC Mínimo**	**IC Máximo**	f_{c0} **(MPa)**	**CV**	**S**	**P**	**t**
10	265,98	293,22	279,603	6,811	26,875	0,466	1,133
15	285,16	304,42	294,796	9,117	19,009		

*As médias não diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05)
Ec0 : Módulo de Elasticidade, *fc0*: resistência à compressão paralela às fibras, CV: Coeficiente de variação

Foram encontrados para f_{c0} valores médios de Resistência a compressão paralela de 279,63Mpa para a idade de 15 anos e 294,76 Mpa para idade de 10 anos, valores esses superiores ao encontrado pelo IBDF (1981) 58,3 para árvore de castanheira nativa.

Quando comparadas com outras espécies da família Lecythidaceae os números encontrados para Castanheiras de 10 e 15 anos também se mostraram elevados em relação a Sapucaia e Jarana que tiveram valores encontrados de o f_{c0} 53,6 e 75,7, respectivamente (IPT) e também superiores ao Jequitibá, que teve valor encontrado pelo IBAMA de 44,6203Mpa.

Para E_{c0} os valores médios para castanheira foram de 4843,048 Mpa para 10 anos e 4842,299 MPa para 15 anos, valores inferiores quando comparados com Sapucaia e Jarana, que segundo o IPT, possuem respectivamente, 12307 Mpa e 17848 Mpa.

7. CONCLUSÃO

A equação de Spurr foi a que melhor se ajustou aos dados, permitindo estimar o volume comercial da madeira com maior precisão;

Os diferentes procedimentos testados para determinação do volume comercial apresentaram valores similares;

A variável idade provavelmente não influencia nas propriedades físicas e mecânicas da madeira;

A qualidade da madeira indica potencial para uso comercial, tais como, embalagens, pallets, pequenos objetos de madeiras, exceto uso estrutural;

Em função do coeficiente de anisotropia a espécie pode apresentar um bom comportamento durante a secagem;

8. RECOMENDAÇÕES

- Recomenda-se que para os próximos estudos seja feita uma desrama artificial nas idades iniciais, afim de que as características tecnológicas obtenham melhores resultados;
- Com a utilização de tratamentos silviculturais, os valores estimados para caracterização volumétrica podem ser melhorados;
- A caracterização tecnológica desta espécie é fundamental para seu beneficiamento e melhor uso;
- Recomenda-se estudos com outras idades;
- Recomenda-se a análise do fator de forma comercial, já que o valor encontrado foi diferente do comumente usado 0,7 indicando que a utilização de um fator de forma médio para todas as espécies deve ser evitado, como forma de diminuir os erros nas estimativas do volume comercial.

9. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. H. de; SCALIANTE, R. de M.; MACEDO., L. B. de; MACÊDO, N. A.; DIAS, A. A.; CHRISTOFORO, A. L.; JUNIOR, C. C. **Caracterização completa da madeira da espé- cie amazônica Paricá (Schizolobium amazonicum Herb) em peças de dimensões estruturais**. Revista Árvore, Viçosa - MG, v.37, n.6, p.1175-1181, 2013

ALBUQUERQUE, F.C. **Doenças da cultura da castanheira-do-brasil**. In: DUARTE, M.L.R.Doenças de plantas no Trópico Úmido Brasileiro I- plantas industriais. Embrapa, Belém, Pará, 1999.

ARGOLO, V.; WADT, L. H. O. de. **Abelhas de dispersão de frutos de (Berlholletia excelsa Humb & Bonpl.) (Lecythidaceae) em castanhais silvetres da Amazônia Oriental.** Tese (Doutorado) – Instituto de Biociência da Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia Geral. USP, São Paulo, 81p., 2000.

ARGANBRIGHT, D.G. **Influence of extractives on bending strength of redwood (Sequoia sempresviens).** Wood and fiber Science, Pennsylvania, v.2, n.4, p 367-372,1971.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7190: **Projetos de Estruturas de Madeira.** Rio de Janeiro, 1997.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF 2012: ano base 2011. Brasília, DF: **Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas**, 140p., 2012.

ARAUJO, M.M; OSAQUI, H; MELO, R.S. **Padrão de distribuição espacial de castanheira (*Bertholletia excelsa* H.B.K), barragem do contado, Floresta Nacional de Carajás, Pará. 2001.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL - BRACELPA. **Relatório estatístico da BRACELPA**. São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF 2012: ano base 2011**. Brasília,145p., 2012.

BARROS, A.; VERÍSSIMO, A. (Org.) A expansão madeireira na Amazônia. Impactos e perspectivas para o desenvolvimento do Pará. Edição Belém: Imazon, 2002.

BAYER, F.; SANTANA, J.; GONÇALVES, P.; CRIBARI-NETO, F. **Comparação de critérios de seleção em modelos de regressão beta**.

BOTELHO, M. N. **Caracterização das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Piptadeniaginiacantha* (Mart.) J. F. Macbr**. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, p. 27, 2011.

BOWYER, J.L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J.G. **Forest products and woodscience: anintroduction**. Ames: Iowa State Press, 554p., 2003.

BRASIL. **Decreto-Lei n. 2.423, de 07 de abril de 1988.**

BRUDER, E. M. **Métodos de determinação da densidade básica e aparente da madeira de Eucalyptus sp.** Dissertação, Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Botucatu. 2012

CAMARGO, I. P; CASTRO, E. M; GALVANES, M. L. **Aspectos anatômicos e morfológicos de amêndoas e plântulas de castanheira do brasil**. CERNE, v. 6, n.2, 2000.

CALIL, J. C. **O potencial do uso da madeira de pinus na construção civil**. Revista da Madeira. n, 52, 2000.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: Perguntas e respostas.** 3.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 548p., 2009.

CARELLI NETO, C**. Dinâmica da distribuição diamétrica de Pinus taeda L. de diferentes idades e espaçamentos.** 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) − Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

CARRASCO, E.V.M. **Estruturas Usuais de Madeira.** Belo Horizonte: Escola de Engenharia, UFMG, 2004.

CLAY, J.W; SAMPAIO, P.T.B.; CLEMENT, C.R. **Biodiversidade amazônica**. Exemplos e estratégias de utilização. Manaus: INPA, 2000. 409 p.

CLEMENT, C. R. **Biodiversidade Amazônica: exemplos e estratégias de utilização.** 1. ed. Manaus: INPA, Programa de Desenvolvimento Empresarial e Tecnológico, p.119-131, 2000.

CLEMENT, C.R**. A lógica do mercado e o futuro da produção extrativista**. In: Simpósio Brasileiro De Etnobiologia E Etnoecologia, 6., 2006, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Etnobiologia e Etnoecologia, 2006.

COSTA, V. E. **Caracterização físico-energética da madeira e produtividade de reflorestamentos de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E.urophylla*.** 2006. 99 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

CUNHA, U.S.; MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Avaliação de erros não amostrais das variáveis locação (xi,yi) e diâmetro (cm) em inventários comerciais a 100% na Floresta Nacional do Tapajós, Pará**. Floresta e Ambiente, 9: 26-37. 2002.

DINIZ, T. D. de A . Sá; BASTOS, T. X. **Contribuição ao clima típico da Castanha do Brasil**. Boletim Técnico do IPEAN 64: p. 59-71. 1974.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. Tecnologia da madeira: Retratibilidade. CEPEF/FATEC. Série técnica, 1992.

ENCINAS, J. I.; SANTANA, O. A.; ribeiro, G. S.; IMAÑA, C. R. **Estrutura diamétrica de um trecho de floresta estacional semidecidual na área do Ecomuseu do cerrado, Goiás**. Cerne, Lavras, v. 15, n. 2, p. 155-165, 2009.

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

GARCIA, M. V. B; PAMPLONA, A. M. S.R; ANDREAZZE, R. **Ocorrência dos besouros enroladores de folhas *hybolabus amazonicus* Voss e H. *Columbinus* (erichison) coleoptera, attelabidae) em castanheira (Bertholletia excelsa HUMB. & Bonpl., Lecythidaceae).** Instruções Técnicas, n.04, CPAA, dez. 1996.

HELLMEISTER, J. C. **Madeiras e suas características.** In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em estruturas de Madeira, 1., São Carlos, SP,. Anais. São Carlos, USP, EESC, SET, LaMEM, v.1, 1983.

HIGUCHI. N., Jardim, F. C. S.; Santos J. dos e Barbosa, A. P. Bacia 3 - inventário florestal comercial. Acta Amazonica 15(3-4):327-369, 1985.

HOMMA, A. K. O., R. A. CARVALHO, C. A. P. FERREIRA & J. D. B. NASCIMENTO JÚNIOR**, A destruição de recursos naturais: o caso da castanha-do-pará no sudeste paraense.** EMBRAPA Amazônia Oriental (Documentos, 32), Belém, 2000.

IBA – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Florestas plantadas: bases para a política nacional. Número 01 | JUN 2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Madeira: O que é e como pode ser processada e utilizada.** São Paulo, 189 p., 1985.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Fichas de características das madeiras brasileiras.** 2a ed. São Paulo: IPT, 418 p., 1989.

KOLMANN, F.P.P., COTÉ, W.A.J. **Principles of wood science and technology. New York: Springer – Verlag**. 592p. 1968.

LEITE F. S; REZENDE, A. V. **Estimativa do volume de madeira partindo do diâmetro da cepa em uma área explorada de floresta Amazônica de terra firme.** Revista Ciência Florestal, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 71-82. 2010.

LENTINI, M.; PEREIRA, D.; CELENTANO, D.; PEREIRA, R. 2005. **Fatos florestais da Amazônia**. Belém: Imazon. 141 p., 2005.

LIMA JUNIOR, D. L.; PIRES, A. M.; MORAES, A. P.; PEIXOTO, E. J. S.; SILVA JUNIOR, C. A. O. **Madeira de lei.** Universidade do Amazonas - UNAMA. 27p. 2008.

LISBOA, C.D.J. et al. **Amostragem e propriedades físico-mecânicas de madeiras amazônicas**. (Coleção Meio Ambiente. Série Estudos Floresta, 1). Brasília: Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal IBAMA, 103p. 1993.

LOCATELLI, M.; PAULA, T. C.; MARTINS, E. P.; VIEIRA, A. H.; SOUZA, V. F. de. **Características silviculturais de castanha-dobrasil: plantio em consórcio em área de pequeno produtor no município de Porto Velho, Rondônia**. Revista Brasileira de Agroecologia, v. 2, n. 2, 2007. Resumos do V Congresso Brasileiro de Agroecologia, Guarapari, ES, 01 a 04 de outubro de 2007

LOPES, G. A.; GARCIA, J. N. **Densidade básica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associadas aos padrões de casca apresentados pela população**. IPEF, n, 62, p. 13-23, 2002.

LORENZI, H. Árvores brasileiras. 4. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000. v. 1, 384 p.

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. E.; ALENCAR; J. C. **Essências madeireiras da Amazônia.** INPA. VI: 121-125, 1979.

MACHADO, S.A. **Estimativa de sobrevivência de *Pinus taeda* em plantios homogêneos.** *Floresta*, 10(1): p.73-76. 1979.

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

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

MARQUES, S. S.; OLIVEIRA, J. T. S.; PAES, J. B.; ALVES, E. S.; SILVA, A. G.; FIEDLER, N. C. **Estudo comparativo da massa específica aparente e retratibilidade da madeira de pau-brasil (*Caesalpiniaechinata* LAM.) nativa e de reflorestamento.** Revista Árvore, v. 36 n.2, p. 373-380, 2012.

MAUÉS, M.M. **Reprodutive phenology and pollination of the brasil nut tree (Berlholletia excelsa Humb & Bonpl.) in Eantern Amazônia**. IN: Kevan P & Imperatriz Fonseca VL (Eds) – Pollinating Bees – The Conservation Link Between Agriculture and Nature – Ministry of Environment / Brasília. p. 245 – 254).

MELLO, R. L. **Projetar em madeira: Uma nova abordagem.** Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília para obtenção do Título de mestre em arquitetura. Área de concentração: Tecnologia. 2007.

P. **Desenvolvimento de equações hipsométricas e volumétrica para estimar o volume total e comercial de Eucalyptus urophylla na região norte do estado de Goiás.** Dissertação de Mestrado do Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, UFPR; 165p 2009.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUARIA E ABASTECIMENTO. Projeto de monitoramento da Castanha do Brasil. Relatório de atividades. Brasília: MAPA, 60p., 2002.

MOREIRA, W. S. Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira. 1999. 107 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

MORESCHI, J. C. Propriedades da Madeira. Manual didático, 3 ed, Curitiba: UFPR,. p132-134, 2010.

MORI. S.A. &. PRANCE. G. T. Flora NeotropIca: Lecythidaceae – Part II.. New York: **Botanical Garden**. 125 p. (monograph. 21). 1990.

MORI, C. L. S. O, MORI, F. A., LIMA, J. T., TRUGILHO, F., OLIVEIRA, A. C. **Características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos. Ciência Florestal.** Santa Maria - RS: Universidade Federal de Santa Maria. v. 14, n.2, p.123-132, 2004.

MOTTA, J. P. **Propriedades tecnológicas da madeira de *Tectonagrandis* L. F. Proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, UFES, 2011.

MULLER, C.H.; FIGUEIREDO, F.J.C.; CARVALHO, J.E.U. Características Comparativas 105 Entre Frutos e Sementes de Castanheira-do-brasil. Belém: EMBRAPA-CPATU,1995

NICHOLSON, J. E. **Growth stress diferences in *Eucalypts*.** Forest Science, Maryland, v. 19, n. 3, p. 169 – 174, 1973.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil.** 1997. 429f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1997.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. **Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto.** Revista Árvore, v.29, n.1, p.115-127, 2005.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Text book of wood technology.** 4 ed. New York: 722p., 1980.

PEÑA-CLAROS, M.; BOOT, R. G. A.; LORA, J. D.; ZONTA, A. **Enrichment planting of Bertholletia excelsa in a secondary forest in the Bolivian Amazon: effect of cutting line width on survival, growth and crown traits.** Forest ecology and management, Amsterdam, v. 161, p. 159-168, 2002.

PERES, C. A.; BAIDER, C. **Seed dispersal, spatial distribution and population structure of brazil nut trees (Bertholletia excelsa) in Southeastern Amazonia**. Journal of Tropical Ecology, New York, v. 13, p. 595-616, July 1997.

REMADE - **Propriedades da madeira.** Revista da madeira nº 83 – ano 14. Agosto de 2004.

ROCCO LAHR, F.A**. Considerações a respeito da variabilidade das propriedades de resistência e de elasticidade da madeira**. Tese (LivreDocência). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 162p. 1990.

ROLIM, S, G; COUTO, H, T, Z; JESUS, R, M; FRANÇA, J, T. **Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA),** Acta Amazonica, Vol, 36(1)p. 107-114, 2006.

SALOMÃO. R.P.; ROSA N. A.; NEPSTAD D.C.; BAKK A. **Estrutura populacional e breve caracterização ecológica – econômica de 108 espécies arbóreas de floresta amazônica brasileira** – I. Interciência, v. 20, n. 2, p. 169-187. 1995.

SANTOS, A. T.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; ROSOT, N. C. **Equação de volume e relação hipsométrica em plantio de Ocotea porosa. Pesquisa Florestal Brasileira – PFB**. BrazilianJournalofForestyResearch. Pesq. flor. bras., Colombo, v. 32, n. 69, p. 13-21, jan./mar. 2012

SANTOS, C. F; ABSY, M. L. **Polinizadores de Bertholletia excelsa (Lecythidales: Lecythidaceae): Interações com Abelhas sem Ferrão (Apidae: Meliponini) e Nicho Trófico.** Edited by Paulo R Pereira – EMBRAPA Neotropical Entomology 39(6):854-861, dezembro, 2010.

SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. **Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*.** ScientiaForestalis, Piracicaba, n. 65, p. 120-129, jun. 2004.

SCHUMACHER, F.X.; HALL, F. S. **Logarithmic expression of timber-tree volume**. Journal of Agricultural Research, v.47, n.9, p.719-734, 1933.

SCOLFORO, J.R.S. **Biometria florestal**: técnicas de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos da madeira. Lavras: UFLA/FAEPE, (Curso de Pós-Graduação "Lato Sensu": Manejo de Florestas Plantadas e Florestas Nativas). 292p,1997.

SCOLFORO, J.R.S. **Biometria florestal.** Parte I: modelos de regressão linear e não – linear, parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca. Lavras: UFLA/FAEPE, 352p, 2005.

SCHNEIDER, P. R; SCHNEIDER, P. S. P; SOUZA, C. A. M. **Análise de Regressão aplicada à Engenharia Florestal.** Santa Maria: UFSM/CEPEF, 217p., 1997.

SEVERO, E.T.D.; TOMASELLI, I. Efeito da vaporização no alívio das tensões de crescimento em toras de duas procedências de Eucalyptus dunnii. Sciencia Agraria, v.1, n.1-2, p.29-32, 2000.

SILVA, J. C; OLIVEIRA, J. T. S. Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de Eucalyptus saligna, em diferentes condições de umidade relativa do ar. Revista Árvore, Viçosa - MG, v.27, n.2, p.233-239, 2003.

SILVA, Maria Nazaré Pereira; SILVA, M. B. C. E; SILVA, A. C. E; CAMARGO, T. M. **Diagnóstico do Setor Madeireiro do Médio Amazonas.** Manaus: SEBRAE/ AM, 2004.

SILVA, W. F. **Ajuste de modelos volumétricos e de afilamento para plantios de (Eucalyptus urophylla) no município de Niquelândia – GO**. Mineiros: FIMES (Monografia apresentada ao curso de Engenharia Florestal, oferecido pelas Faculdades Integradas de Mineiros), 2008.

SIMÕES, A.V. **Impactos de tecnologias alternativas e do manejo da Castanha do Brasil (Bertholettia excelsa, Humb & Bonpl.,) no controle da contaminação por aflotoxinas em sua cadeia produtiva.** Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade do Amazonas, Manaus, 2003.

SIQUEIRA, J.P.D.**Tabelas de volume para povoamentos nativos de *Araucária angustifolia* (Bert) O, Ktze, no sul do Brasil.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 163p.1977.

SOUZA, I. F. de. **Cadeia produtiva de castanha-do-brasil (Bertholletia excelsa) no estado de Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado em Agronegócios), 2006.

STANGERLIN, D.M. et al. **Determinação da Resistência ao Impacto para as Madeiras de Eucalyptus dunnii, Corymbia citriodora e Pouteria pachycarpa.** In: XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 14, Londrina, Anais... 2008.

THAINES, F.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; THAINES, A. A. R. **Equações para a estimative de volume de madeira para a região da bacia do Rio Ituxi, Lábrea, AM.** Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 30, n. 64, p. 283-289,. 2010.

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*, 16(3): 319-327, 2006.

TONINI, H. e ARCO-VERDE, M**. O crescimento da Castanheira-do-brasil *(Bertholletia excelsa* Bonpl*.) em Roraima*.** Comunicado Técnico 05 - ISSN 0102-099, Embrapa Roraima, Boa Vista-RR, 2004.

TONINI, H.; PEREIRA, M. R. N.; ARCO-VERDE, M. F.; OLIVEIRA JUNIOR, M. M. de. **Seleção de equações para o paricá (Schizolobium amazonicum Huber ex Ducke), no estado de Roraima. Boa Vista: Embrapa Roraima**, 2005.

TRUGILHO, P.F.; BIANCHI, M.L.; GOMIDE, J.L.; SCHUCHARDT, U. **Classificação de clones de *Eucalyptus sp* visando a produção de polpa celulósica**. Revista Árvore, Viçosa, v.28, n.6, p.895-899, 2004

TSOUMIS, G. **Science and technologyof Wood: structure, properties, utilization.** New York: Chapman & Hall, P. 309-339, 1991.

VALENTE, M. D. R.; QUEIROZ, V. T de; PINHEIRO, J. G.; MONTEIRO, L. A. da S.; **Modelo de predição para o volume total de Quaruba (VochysiainundataDucke) via análise de fatores e regressão.** Revista Árvore, v. 35, n. 2, p. 307 - 317, 2011.

VIANA, V.M; GASCON, C; MOUTINHO, P. Ecology and mangement of Brazil nut population in extractive reserves in Xapuri, Acre. Ed. Floresta Amazônica: dinâmica , regeneração e manejo. Manaus: MCT/INPA, p.277 – 292, 1998.

VIVIAN, M. A. **Resistência biológica da madeira tratada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* em ensaios de laboratório e campo.** Dissertação, 104p. 2011.

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P. **Population structure and nut yield of a Bertholletia excelsa stand in Southwestern Amazonia.** Forest Ecology and Management, Dorchester, v. 211, p. 371-384, June 2005

YARED, J. A. G.; KANASHIRO, M.; VIANA, L. M.; CASTRO, T. C. A. de; PANTOJA, J. R. de S. **Comportamento silvicultural da castanheira (Bertholletia excelsa H. & K.), em diversos locais da Amazônia**. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, Curitiba. Floresta para o Desenvolvimento: Política, Ambiente, Tecnologia e Mercado: anais. São Paulo, 1993.