



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E  
AMBIENTAIS

VOLUMETRIA E QUALIDADE DA MADEIRA DE *Swietenia macrophylla* KING  
PROVENIENTE DE PLANTIO NA AMAZÔNIA CENTRAL

Rizomar Rodrigues da Silva

MANAUS - AM

Maio, 2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS

VOLUMETRIA E QUALIDADE DA MADEIRA DE *SWIETENIA MACROPHYLLA* KING  
PROVENIENTE DE PLANTIO NA AMAZÔNIA CENTRAL

Rizomar Rodrigues da Silva

Orientador: Dr. Nabôr da Silveira Pio

Coorientador: Dr. Alberto Carlos Martins Pinto

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas (PPG-CIFA/UFAM) como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

MANAUS - AM

Maio, 2020

### Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S586v Silva, Rizomar Rodrigues da  
Volumetria e qualidade da madeira de Swietenia macrophylla  
King proveniente de plantio na Amazônia Central / Rizomar  
Rodrigues da Silva . 2020  
96 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Nabôr da Silveira Pio  
Coorientador: Alberto Carlos Martins Pinto  
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) -  
Universidade Federal do Amazonas.

1. Propriedade físicas. 2. Propriedades mecânicas. 3. Volume. 4.  
Plantios de produção. I. Pio, Nabôr da Silveira. II. Universidade  
Federal do Amazonas III. Título

Ao meu pai, minha  
mãe, meus irmãos,  
esposa e filhos pelo  
incentivo para  
realização deste  
trabalho.

## **Agradecimentos**

À DEUS, O ETERNO, pela vida em CRISTO JESUS.

À meus pais, são exemplos de luta e superação, e a meus irmãos, por sempre acreditarem em mim, me dando apoio e incentivando nas horas mais difíceis.

A minha esposa Anne Daniele e aos meus filhos Gabrielle Rodrigues e Leonnardo Gabriel pelos seus maravilhosos sorrisos me mostrando que sempre devo seguir em frente e pelo apoio incondicional por estarem sempre o meu lado

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais (PPGCIFA), pela estrutura e organização que proporcionaram as bases para realização deste trabalho. A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão da bolsa.

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. Alberto Carlos, pela amizade, coorientação.

Aos Profs. Dr. Bruno Charles Dias Soares pelas orientações e apoio. Ao 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;

Alex Soares de Souza pelo apoio na correção, revisão e sugestões na melhoria deste trabalho.

Ao senhor Takeshi Sakai e sua esposa Claudia Sakai bem como a todos os funcionários da Fazenda Sakai pelo apoio, confiança e assistência total para coleta de amostras e apoio logístico.

Ao ICMBIO-SISBIO pela Autorização para atividades com finalidade científica.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais (PPGCIFA) pela capacitação e assistência científica durante o meu período de mestrado

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

## Resumo

Este trabalho teve por objetivo ajustar modelos volumétricos, gerar um fator de forma, determinar as propriedades físicas e mecânicas e comparar estas propriedades de *Swietenia macrophylla* King nas diferentes classes diamétricas em plantios equiâneos provenientes da Fazenda Sakai, localizada no Município de Itacoatiara – AM, na idade de 20 anos. Para a obtenção da estimativa volumétrica foram realizadas cubagens rigorosas de 29 árvores, sendo 5 árvores por cubagem rigorosa (destrutivo) e 24 pelo método não destrutivo com utilização de escada retrátil. Foram ajustados onze modelos para a estimativa do volume comercial com casca e selecionados por meio dos critérios estatísticos coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ), Critério de Informação de Akaike ( $AIC$ ) e distribuição gráfica dos resíduos. Para análise da qualidade da madeira foram avaliadas as propriedades físicas: umidade e densidade, e as propriedades mecânicas de cisalhamento, flexão estática, compressão paralela as fibras e dureza janka, em 5 árvores do plantio, 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 classes de diâmetro para as propriedades tecnológicas da madeira e por estatística descritiva. As equações com melhores ajustes para as estimativas volumétricas foram Husch (log) de simples entrada e Spurr (log) de dupla entrada, que apresentaram coeficientes de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) de 0,80 e 0,86%, erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) de 0,08 e 0,06 e critério de Informação de Akaike ( $AIC$ ) de 7,73 e 11,66 respectivamente. O Fator de forma médio obtido para os plantios foi de 0,93, o que demonstra que essa espécie apresenta fustes com menor grau de conicidade, o que é essencial para maior aproveitamento do fuste no processamento industrial para produção de madeira. As médias de umidade da madeira obtidas para as classes de diâmetro variaram de 33,9 à 50,4 %, enquanto as médias de densidade variaram entre 0,46 e 0,55 g/cm<sup>3</sup> (Tabela 7). Para ambas as variáveis, foram encontradas diferenças significativas entre as classes de diâmetro, onde a primeira classe de diâmetro apresentou menor valor de densidade, enquanto as classes intermediárias apresentaram maior densidade e menor umidade, demonstrando que, a partir da classe de 26 cm já é possível obter uma densidade ótima de madeira e as classes intermediárias apresentam melhor resposta a secagem. As classes intermediárias também apresentaram maiores valores de compressão TFM, flexão MOE e Flexão MOR, o que demonstra que as classes intermediárias apresentaram maior capacidade de resistência e flexibilidade à deformação, enquanto as classes superiores apresentaram maiores valores de dureza tangencial e transversal e maiores valores de cisalhamento, o que demonstra maior densidade e provavelmente maior porcentagem de lenho tardio.

**Palavras chaves:** Propriedades físicas; propriedades mecânicas; volume; plantios de produção.

## Abstract

The objective of this work was to adjust volumetric models, generate a form factor, determine the physical and mechanical properties and compare these properties of *Swietenia macrophylla* King in different diametric classes in pure plantations from Fazenda Sakai, located in Itacoatiara - AM, in 20 years-old. To obtain the volumetric estimate, rigorous cubing of 29 trees was carried out, 5 trees for rigorous cubication (destructive) and 24 by the non-destructive method using a retractable ladder. Eleven models were adjusted to estimate the commercial volume with shell and selected by means of the statistical criteria adjusted determination coefficient ( $R^2_{aj}$ ), residual standard error ( $S_{yx}$ ), Akaike Information Criterion ( $AIC$ ) and graphic distribution of the residues. To analyze the quality of the wood, the physical properties were evaluated: humidity and density, and the mechanical properties of shear, static bending, parallel compression of the fibers and janka hardness, in 5 trees of the plantation, according to ABNT 7190 (1997) and ASTM D 143-94 (200). The variables were evaluated by applying the t test ( $p < 0.05$ ) to find statistical differences between the diameter classes for the technological properties of wood and by descriptive statistics. The equations with the best adjustments for volumetric estimates were Husch (log) for single entry and Spurr (log) for double entry, which presented adjusted coefficients of determination ( $R^2_{aj}$ ) of 0.80 and 0.86%, residual standard error ( $S_{yx}$ ) of 0.08 and 0.06 and Akaike Information criterion ( $AIC$ ) of 7.73 and 11.66 respectively. The average form factor obtained for plantations was 0.93, which demonstrates that this species has stem with a lower degree of taper, which is essential for greater use of the stem in industrial processing for wood production. The wood moisture averages obtained for the diameter classes ranged from 33.9 to 50.4%, while the density averages varied between 0.46 and 0.55 g / cm<sup>3</sup> (Table 7). For both variables, significant differences were found between the diameter classes, where the first diameter class had a lower density value, while the intermediate classes had a higher density and lower humidity, demonstrating that, from the 26 cm class on, it is already possible to obtain an optimum density of wood and the intermediate classes have a better response to drying. The intermediate classes also presented higher values of TFM compression, MOE flexion and MOR flexion, which demonstrates that the intermediate classes presented greater resistance capacity and flexibility to deformation, while the upper classes presented higher values of tangential and transversal hardness and higher values of shear, which shows greater density and probably a higher percentage of late wood.

**Keywords:** Physical properties; mechanical properties; volume; production plantations.

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	9
2. PROBLEMA .....	14
3. JUSTIFICATIVA .....	14
4. PRESSUPOSTOS .....	15
5. OBJETIVO GERAL .....	16
5.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
6. REVISÃO DA LITERATURA.....	16
6.1. IMPORTÂNCIA DAS FLORESTAS PLANTADAS NO CENÁRIO ECONÔMICO NACIONAL.....	16
6.2. A ESPÉCIE <i>Swietenia macrophylla</i> KING (MOGNO) .....	19
6.3. ZONAS DE OCORRÊNCIA.....	20
6.4. REPRODUÇÃO E REGENERAÇÃO .....	22
6.5. QUALIDADE DA MADEIRA .....	22
6.5.1. Uso potencial e qualidade da madeira .....	22
6.5.2. Propriedades Físicas e Mecânicas .....	23
6.5.3. Propriedades Físicas .....	25
6.5.4. Propriedades mecânicas.....	28
6.6. VOLUMETRIA .....	31
6.6.1. Equações volumétricas .....	33
6.7. FATOR DE FORMA.....	34
7. MATERIAL E MÉTODOS .....	36
7.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	36
7.1.1. Vegetação .....	37
7.1.2. Clima .....	38
7.1.3. Solos .....	39
7.2. COLETA DO MATERIAL VEGETAL.....	39
7.3. VOLUMETRIA .....	40
7.3.1. Amostragem e cubagem .....	41
7.3.2. Determinação do volume comercial .....	42
7.3.3. Análise estatística .....	43
7.4. QUALIDADE DA MADEIRA .....	45
7.4.1. Propriedades físicas .....	47
7.4.2. Análise Dos Dados .....	52
8. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	53
8.1. ANÁLISE DESCRITIVA.....	53
8.2. MODELAGEM DO VOLUME.....	55



8.3.	FATOR DE FORMA.....	61
8.4.	PROPRIEDADES FÍSICAS.....	63
8.4.1.	A densidade da madeira.....	65
8.5.	PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	69
8.5.1.	Compressão Paralela às Fibras.....	69
8.5.2.	Flexão estática.....	71
8.5.3.	Dureza.....	73
8.5.4.	Cisalhamento.....	75
8.6.	IMPLICAÇÕES AO MANEJO DA ESPÉCIE.....	78
9.	CONCLUSÃO.....	80
10.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
11.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Evolução da quantidade (m <sup>3</sup> ) de madeira extraída, por tipo de floresta. Fonte: PEVS 2016/IBGE (2017).....	17
<b>Figura 2.</b> Cenário atual da produção e plantios no Brasil. Fonte: IBGE, PEVS 2016-2017.	18
<b>Figura 3.</b> Mapa de ocorrência do Mogno no Brasil. Fonte: CNCFlora, 2012.....	21
<b>Figura 4.</b> Cisalhamento na madeira (Fonte: Ritter, 1990).....	31
<b>Figura 5.</b> Exemplo de amostra teste para o teste de cisalhamento paralelo as fibras. AMERICAN SOCIETY for testing and materials. Standard methods of testing small clear specimens of timber: ASTM D 143-94. ....	31
<b>Figura 6.</b> Macrozoneamento da propriedade e Memorial descritivo.....	36
<b>Figura 7.</b> Mapa de localização da área do plantio de 19 anos da Fazenda TAKESHI SAKAI. ....	38
<b>Figura 8.</b> Média mensal da precipitação correspondente ao período de 1998 à 2018 em Itacoatiara-AM (INMET). ....	39
<b>Figura 9.</b> Detalhe do espaçamento consorciado do plantio de 20 anos da Fazenda TAKESHI SAKAI consorciado.....	40
<b>Figura 10.</b> Mensuração Dap (1,30m do solo) e altura comercial das árvores com apoio de vara de bambu seccionada de 5 metros. ....	40
<b>Figura 11.</b> Esquema de cubagem utilizado neste estudo. ....	41
<b>Figura 12.</b> Esquema de alinhamento da escada retrátil de 10m para medição das árvores por método não destrutivo – Fonte Medeiros et al., (2007).....	42
<b>Figura 13.</b> Esquema da retirada das pranchas para confecção dos corpos de prova. ....	46
<b>Figura 14.</b> Discos para confecção com espessura aproximada de 5 cm para posterior análise anatômica e propriedades físicas. ....	48
<b>Figura 15.</b> Equipamentos para medições do cisalhamento na madeira (A), compressão paralela as fibras (B), dureza janka (C) e flexão estática (D).....	52
<b>Figura 16.</b> Histograma e densidade de probabilidade da variável DAP.....	54
<b>Figura 17.</b> Gráficos e teste de normalidade dos resíduos da regressão dos valores de volume para povoamentos de <i>Swietenia macrophylla</i> (Mogno). ....	58
<b>Figura 18.</b> Distribuição dos resíduos ao longo dos valores estimados de volume para povoamentos de <i>Swietenia macrophylla</i> (Mogno). ....	59
<b>Figura 19.</b> Efeitos das classes de diâmetro na densidade e umidade da madeira em povoamentos de <i>Swietenia macrophylla</i> (Mogno). ....	65
<b>Figura 20.</b> Efeitos das classes de diâmetro no Cisalhamento e Dureza da madeira em povoamentos de <i>Swietenia macrophylla</i> (Mogno). ....	77
<b>Figura 21.</b> Efeitos das classes de diâmetro na compressão e flexão da madeira em povoamentos de <i>Swietenia macrophylla</i> (Mogno). ....	78

## Lista de tabela

<b>Tabela 1.</b> Área plantada (ha) de Mogno nos estados da Amazônia brasileira (Amazonas, Mato Grosso, Pará e Rondônia).....	20
<b>Tabela 2.</b> Modelos testados para estimativa do volume comercial com casca .....	44
<b>Tabela 3.</b> Propriedades analisadas neste trabalho, norma, dimensões utilizadas e amostragem.....	47
<b>Tabela 4.</b> Análise descritiva das variáveis dendrométricas mensuradas em povoamentos de <i>Swietenia macrophylla</i> (Mogno) .....	54
<b>Tabela 5.</b> Coeficientes de regressão e critérios estatísticos para modelos de volume ajustados aos dados de povoamentos de <i>Swietenia macrophylla</i> (Mogno).....	56
<b>Tabela 6.</b> Resultados da Validação do modelo por Bootstrap .....	61
<b>Tabela 7.</b> Médias de densidade e umidade da madeira obtidas para classe diamétrica em povoamentos de <i>Swietenia macrophylla</i> (Mogno). .....	63
<b>Tabela 8.</b> Médias de variáveis mecânicas obtidas para classe diamétrica em povoamentos de <i>Swietenia macrophylla</i> (Mogno). .....	76

## Lista de Quadros

<b>Quadro 1.</b> Caracterização tecnológica da madeira de <i>Swietenia macrophylla</i> King .....	80
---	----



## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente a indústria de florestas plantadas no Brasil é referência mundial por sua atuação pautada na sustentabilidade, competitividade e inovação. Esse setor gera centenas de produtos e subprodutos presentes em nossas casas e atividades cotidianas, exercem papel fundamental na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e promovem diversos serviços ambientais, como regulação dos ciclos hidrológicos, controle da erosão e qualidade do solo, conservação da biodiversidade e provisão de oxigênio para o planeta (IBÁ, 2017).

Além de renovável, a madeira oferece condições térmicas que permitem economia de energia aos edifícios. Devido a essas características, países europeus começam a fixar metas para aumentar o uso do produto na construção civil, atrelando a medida a seus compromissos internacionais para a redução de emissões de carbono. Nesse sentido, priorizar produtos madeireiros obtidos por práticas sustentáveis, ao invés de materiais alternativos como plástico ou aço, significa gerar condições econômicas que estimulam atividades legais inibindo as práticas predatórias (Adeodato et al., 2011)

Em 2017 a produção florestal brasileira atingiu R\$ 19,1 bilhões, um aumento de 3,4% em relação a 2016. Desse total, R\$ 14,8 bilhões (77,5%) vieram de florestas plantadas para fins comerciais (silvicultura) e 4,3 bilhões (22,5%) da exploração de recursos naturais (extrativismo). O valor de produção correspondente à silvicultura supera o do extrativismo desde 2000. A área de floresta plantada somou 9,8 milhões de hectares em 2017, sendo 75,2% composto de eucalipto, 20,6% de pínus e 4,2% de outras espécies (IBGE, 2017).

A Amazônia brasileira é uma das principais regiões produtoras de madeira tropical no mundo, atrás apenas da Malásia e Indonésia (OIMT, 2006). A exploração e o processamento industrial de madeira estão entre suas principais atividades econômicas ao lado da mineração e da agropecuária (Veríssimo et al., 2006).

Segundo Lentini et al. (2005), a Amazônia é a principal produtora de madeira tropical do mundo, com 25 milhões de m<sup>3</sup>, sendo 64% consumidos no Brasil. A exploração seletiva de algumas espécies mais procuradas pelo mercado madeireiro, como, por exemplo, *Virola surinameses* (ucuúba), *Ceiba pentandra* (sumaúma), *Bertholletia*

*excelsa* (castanha-do-Brasil) e *Swietenia macrophylla* (mogno) poderá provocar, do ponto de vista genético, a perda irreversível de muitas espécies florestais.

Souza et al. (2008), salienta a urgência da necessidade de adoção de medidas visando a ocupação mais racional da Amazônia, a ampliação do conhecimento sistematizado e científico da região, especificamente da pesquisa agropecuária e florestal, para reverter o processo de degradação em curso. Dentre as alternativas para restaurar ecossistemas degradados, está o reflorestamento com espécies arbóreas de alto valor comercial (NAS, 1982; Magalhães & Hummel, 1987; Alvim, 1990; EMBRAPA, 1990; Yared, 1990).

Souza et al. (2010), cita que vários são os benefícios ecológicos trazidos pelo reflorestamento, tais como, a redução da pressão sobre as florestas nativas, a absorção de CO<sub>2</sub> da atmosfera, a mitigação dos efeitos provocados pelo aquecimento global, a regulação do ciclo hídrico, a conservação do solo, o controle de ventos e redução da poluição do ar e da água.

Projeções mais recentes indicam que a população mundial deve atingir 9,1 bilhões de pessoas até 2050, impulsionando a demanda por commodities e bioenergia. Para atender esse volume crescente em um cenário de baixo carbono, energias renováveis e desmatamento líquido zero serão necessários 250 milhões de hectares adicionais de florestas plantadas no mundo (IBÁ, 2017).

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, estão relacionados com espécies introduzidas e de rápido crescimento, principalmente os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Pois, devido à escassez nas informações referentes à sua ecologia, silvicultura e biometria, as espécies nativas não despertam o mesmo interesse que as espécies introduzidas (Tonini et al., 2005).

No Brasil, a introdução e o cultivo de meliáceas exóticas em substituição principalmente ao mogno nativo (*Swietenia macrophylla*) são difundidos e recomendados principalmente em função da grande semelhança entre as espécies, à proibição da exploração e comercialização do mogno nativo e resistência ao ataque da *Hypsipyla grandella*, conhecida como broca das meliáceas ou broca do ponteiro, por atacar os brotos

terminais da planta impedindo seu desenvolvimento e tornado impossível a produção florestal, principalmente em plantios puros (França et al., 2015).

Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Mogno Africano, já são aproximadamente 10 mil hectares plantados com a espécie em diferentes estados (Ribeiro et al., 2017). Porém, a maioria dos plantios ainda são jovens, apresentando um crescimento inicial médio nos primeiros 12 meses de vida de 3,9 cm de DAP e 3,0 m em altura, para o estado de Minas Gerais (Lopes et al., 2012). Em Roraima, há um grande investimento que está sendo implementado pela empresa Mahogany Roraima, que prevê a implantação de uma área plantada de 24 mil hectares em 10 anos no estado e com aproximadamente 19 milhões de árvores (Canal Rural, 2018).

O desenvolvimento tecnológico no uso da madeira é uma forte realidade que obteve elevados investimentos nas últimas décadas e alavancaram a silvicultura brasileira e mundial proporcionando a 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 resistência está associada, entre outras características, ao conhecimento de suas propriedades físicas e mecânicas.

Assim, 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) e principalmente aquelas oriundas de plantios na Amazônia Central.

Apesar de haver uma bibliografia vasta a respeito das propriedades tecnológicas do mogno faz-se necessário atentar para a qualidade da madeira oriunda de plantios juvenis. Segundo Almeida et al. (2013), antes da madeira ser empregada em algum projeto que acarretará em 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 constitui importante base tecnológica para a utilização racional desse material.

Assim, existem vários ensaios físicos e mecânicos que determinam as características da madeira, como a densidade, teor de umidade e a retratibilidade. Já os ensaios mecânicos são aplicados buscando sua real utilização, entre eles a resistência à

flexão estática, resistência à compressão paralela as fibras, dureza Janka e cisalhamento fornecem valores que permitem determinar sua melhor aplicação.

O Mogno é uma espécie de grande importância econômica devido a sua madeira ser durável o que a torna muito apreciada para a fabricação de móveis de luxo e artigos de decoração. A valorização da madeira deve-se a sua cor atrativa, durabilidade, estabilidade dimensional, fácil manuseio e utilização pela indústria, tanto em mobiliários finos, painéis, objetos de adorno, régua de cálculo, laminados e embarcações leves (Rizzini, 1990) como na construção civil.

Nas últimas décadas, em decorrência da exploração desordenada dos recursos florestais e expansão das atividades agropecuárias, diversas espécies da flora brasileira já desapareceram e outras já entraram na lista das espécies ameaçadas de extinção, como é o caso do mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King), o que levou o Governo Brasileiro a emitir o Decreto Nº 4.722 de 05 de junho de 2003, que proíbe a exploração do mogno (BRASIL, 2003). O mogno é de grande interesse econômico, devido a sua excelente aceitação no mercado mundial, pois sua madeira é de alta qualidade para a indústria, sendo utilizado mundialmente para a confecção de mobiliários de luxo (Lorenzi, 2002).

Tentativas de buscar soluções para o uso sustentável da espécie através de plantio na América tropical fracassaram por causa da broca do ponteiro (*H. grandella*), a qual infesta áreas plantadas com alta densidade (Newton et al. 1993). Entretanto, alguns autores observaram que o plantio do mogno em baixa densidade nas áreas de vegetação secundária pode reduzir o ataque da broca do ponteiro (Swabey 1941, Marie 1949, Yared & Carpanezzi 1981). Embora, estudos sobre silvicultura do mogno venham sendo conduzidos ainda não há tecnologia para a implantação e condução de plantios homogêneos (Guimarães Neto et al., 2004).

Assim, uma solução para implantação de projetos de plantios de Mogno no Brasil ocorre em sistemas agroflorestais ou plantios consorciados com outras espécies tolerantes. Atualmente, são realizadas pesquisa e iniciativas como esta temática por todo o Brasil, um exemplo é o experimento instalado na Fazenda Água Limpa, da Universidade de Brasília (UnB), Distrito Federal, com dois tratamentos: plantio homogêneo e plantio consorciado com eucalipto, que demonstrou que o ataque das larvas de *H. grandella* foi



menor no plantio consorciado, indicando que o eucalipto serve como barreira física, diminuindo o ataque da praga, porém a competição de ambos ocasionou menor crescimento do mogno (Guimarães Neto et al., 2004).

Estudos conduzidos por Silva et al. (2013) em uma área de pastagem degradada no município de Vigia, Pará, avaliaram a eficiência da espécie botânica *Azadirachta* popularmente conhecida como nim, que serve como barreira natural ao ataque da *H. grandella* sobre o mogno em diferentes arranjos e densidades de plantio. Entretanto, apesar da barreira natural formada pelo nim não ter evitado o ataque de *H. grandella* sobre o mogno esta retardou e conseqüentemente minimizou o ataque do inseto-praga nos plantios mistos. Contudo, deve-se atentar que as duas espécies não devem ser plantadas simultaneamente.

Rocha et al. (2016), avaliaram o desenvolvimento da espécie em plantio homogêneo no Sudoeste do estado de Mato Grosso, Brasil, e a região como área de escape à ação da *H. grandella* constatou aos 152 meses, 53,6% de sobrevivência, em decorrência de fatores abióticos, contudo este valor é alto levando em consideração de se tratar de um plantio experimental de baixa intensidade.

Perez et al. (2010), não constataram redução no ataque da broca quando garfos de mogno-brasileiro foram enxertados em plantas resistentes de mogno-africano (*Khaya senegalensis*) e cedro australiano (*Toona ciliata*). O insucesso dessas diversas alternativas indica a dificuldade do controle dessa praga-chave.

Alguns autores relatam a introdução do mogno brasileiro em Goiás (Amaral, 1981), em Minas Gerais, em Pernambuco (Ledo, 1980), no Estado do Rio de Janeiro (Pereira & Fernandes, 1998), no Paraná (Silva & Torres, 1992) e no Distrito Federal (Guimarães, 1998), onde se desenvolve satisfatoriamente.

Desta forma, é fundamental determinar as propriedades tecnológicas e volumetria da madeira do mogno (*Swietenia macrophylla* King) em estágio juvenil, qualificando-a para usos adequados e alternativos que gerem valores agregados aos produtos, propiciando maior competitividade com outras espécies concorrentes atuais. Assim, este estudo objetiva gerar informações quanto às características e possibilidades de uso da madeira como matéria prima, que serão importantes para os polos produtivos e setores industriais de base florestal que pretendem investir em plantios com essa espécie.

## **2. PROBLEMA**

A escassez de informações sobre volumetria e propriedades tecnológicas da madeira de Mongo (*Swietenia macrophylla* King) em estágio juvenil oriundas de plantios, bem como a ausência de informações em relação a sua industrialização, comercialização e falta de iniciativas promissoras para projetos de reflorestamento na Amazônia Central, dificulta investimentos em plantios com a espécie. Walters *et al.* (2005), em seu estudo verificaram que a falta de conhecimento técnico sobre a silvicultura e o manejo de espécies arbóreas nativas constituíram fatores limitantes para as empresas florestais e agricultores de pequena escala em quatro estados da Amazônia brasileira iniciarem novas experiências Silviculturais.

## **3. JUSTIFICATIVA**

Segundo o relatório da Avaliação Global de Recursos Florestais (FRA, 2020), 54% das florestas do mundo estão concentradas em apenas cinco países - Federação Russa, Brasil, Canadá, Estados Unidos e China. Ainda segundo o relatório, 93% da área florestal em todo o mundo é composta por florestas em regeneração natural e 7% é de área plantada. A área de florestas em regeneração natural diminuiu desde 1990 (a uma taxa decrescente de perda), mas a área de florestas plantadas aumentou 123 milhões de ha.

As florestas plantadas cobrem cerca de 131 milhões de ha, o que representa 3% da área florestal global e 45% da área total de florestas plantadas. A maior parte da floresta de plantio está na América do Sul, com 99% da área total de floresta plantada e 2% da área total de floresta. A parcela mais baixa da floresta de plantio está na Europa, onde representa 6% da propriedade florestal plantada e 0,4% da área total da floresta. Globalmente, 44% das florestas plantadas são compostas principalmente por espécies introduzidas.

Aliado ao problema do desconhecimento das propriedades tecnológicas, o mogno possui restrições legais através da Instrução Normativa Ibama nº 17 de 19 de outubro de 2001, que proíbe a exploração de espécimes nativos, portanto, a utilização dessa espécie se restringe a áreas plantadas e permitida em regime de manejo florestal sustentável segundo Instrução Normativa Ibama nº 7 de 22 de agosto de 2003, desta forma,

dificultando o entendimento sobre a conscientização social e comercial na indicação da mesma para inclusão na lista de espécies aptas para investimentos e financiamentos.

Desta forma, é fundamental determinar as propriedades tecnológicas da madeira de *Swietenia macrophylla* King e de sua volumetria em estágio juvenil oriunda de plantio homogêneo, com base em sua estrutura lenhosa, qualificando-a para usos adequados e alternativos propiciando competição em mercados futuros, bem como obtenção de créditos de origem florestal (Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012, Decreto nº 5.975, de 30 de novembro de 2006, Lei Estadual (AM) nº 3.789 de 27 de julho de 2012 e Decreto Estadual (AM) nº 32.986, de 30 de novembro de 2012) ou como commodities ambientais.

Estudos com tecnologia e volumetria da madeira são necessários para gerar conhecimentos e informações à cerca do manejo e utilização de *S. macrophylla*, o qual servirão de base para os pólos silviculturais e setores industriais de base florestal utilizarem esta espécie de forma adequada quanto às características e possibilidades de uso da madeira, proporcionando maior competitividade no mercado florestal e contribuindo para a expansão de plantio comerciais com a espécie na região amazônica, inserindo-a novamente no rol das espécies nativas com potencial de comercialização e investimento florestal na região amazônica.

#### **4. PRESSUPOSTOS**

- A ausência de informações sobre a volumetria da madeira oriunda de florestas plantadas implica na ineficiência de uso comercial;
- O conhecimento das características tecnológicas da madeira de Mogno (*Swietenia macrophylla* King) em plantios juvenis, servirá de base para determinação de usos mais adequados da madeira dessa espécie;
- A estimativa do volume de madeira, através de equações volumétricas resultaria no melhor planejamento de produção e manejo da espécie pelas empresas florestais.

## 5. OBJETIVO GERAL

Desenvolver equações para estimar o volume e determinar qualidade da madeira de *Swietenia macrophylla* King em plantio equiâneo com 20 anos localizados na Amazônia Central.

### 5.1.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ajustar modelos volumétricos em plantio equiâneo na Amazônia Central;
- Gerar um fator de forma de *Swietenia macrophylla* King em plantio equiâneo na Amazônia Central;
- Determinar as propriedades físicas (densidade e teor de umidade) e mecânicas (cisalhamento, flexão estática, compressão paralela as fibras e dureza janka) em um plantio equiâneo na Amazônia Central;
- Comparar as propriedades físicas e mecânicas de *Swietenia macrophylla* King nas diferentes classes diamétricas.

## 6. REVISÃO DA LITERATURA

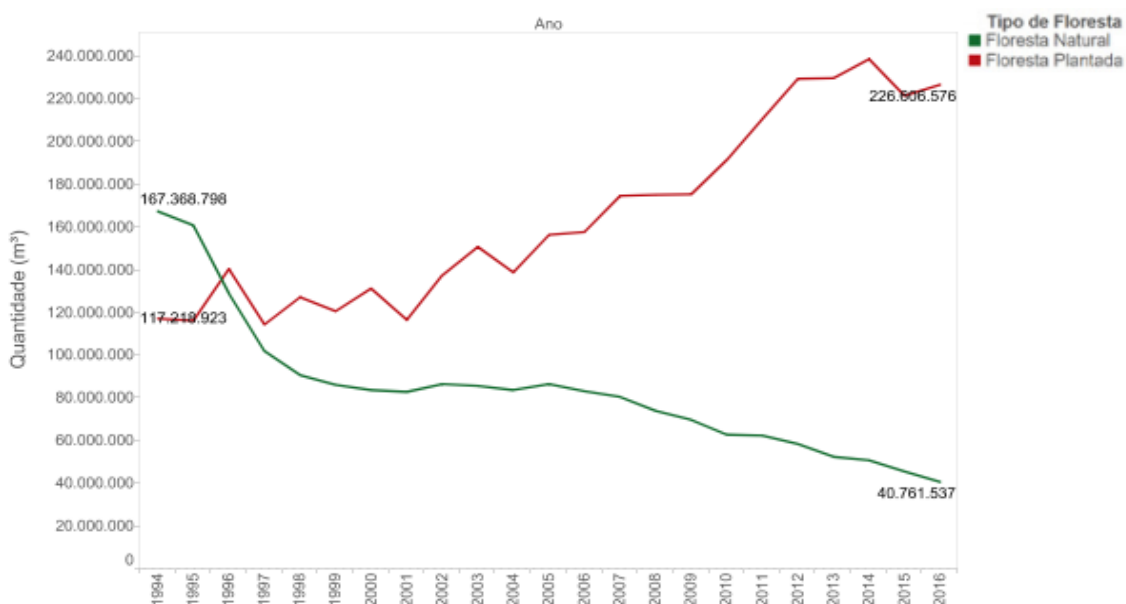
### 6.1.IMPORTÂNCIA DAS FLORESTAS PLANTADAS NO CENÁRIO ECONÔMICO NACIONAL

A atividade florestal no Brasil teve início imediatamente após a chegada dos portugueses no século XVI. O extrativismo florestal para o uso local em habitação, construção naval e combustível e também para suprimento de demandas do continente Europeu, perdurou por vários séculos. Em meados do século XIX, a indústria madeireira começou a se desenvolver no sul do Brasil baseada na grande disponibilidade de Araucária, matéria-prima de apreciável qualidade, constituindo-se, por muitos anos, em uma das principais fontes de divisas da região Sul do país. A partir da década de 60, em virtude da redução na oferta de Araucária oriunda da região Sul e do processo de ocupação e integração da região Amazônica, ocorreu uma gradativa transferência do parque industrial madeireiro para o norte do país (FAO, 2002)

Atualmente o setor brasileiro de árvores plantadas é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais e 6,2% do PIB Industrial no País e também é um dos que segmentos com maior potencial de contribuição para a construção de uma economia verde (IBÁ, 2017).

Em 2016, os produtos madeireiros provenientes da extração vegetal (floresta nativa) foram responsáveis por uma movimentação de R\$ 2,8 bilhões, enquanto a produção da silvicultura foi responsável por R\$ 13,7 bilhões (equivalente em valor, a 83% da extração madeireira). Em 2016, a quantidade de madeira em tora proveniente da silvicultura equivaleu a 5,6 vezes a quantidade da extração vegetal ( $226.606.576 \text{ m}^3 \times 40.761.537 \text{ m}^3$ ). Em relação a 2015 ( $267.131.410 \text{ m}^3$ ), houve um aumento de 0,08% de extração madeireira em 2016 ( $267.368.113 \text{ m}^3$ ), sendo um aumento de 0,2% do volume proveniente de silvicultura e uma redução de 8,9% do volume proveniente de floresta nativa (SNIF, 2017). As florestas plantadas vêm contribuindo cada vez mais para a economia do país e se consolida como um setor forte e em expansão conforme Figura 1 (PEVS 2016/IBGE, 2017).

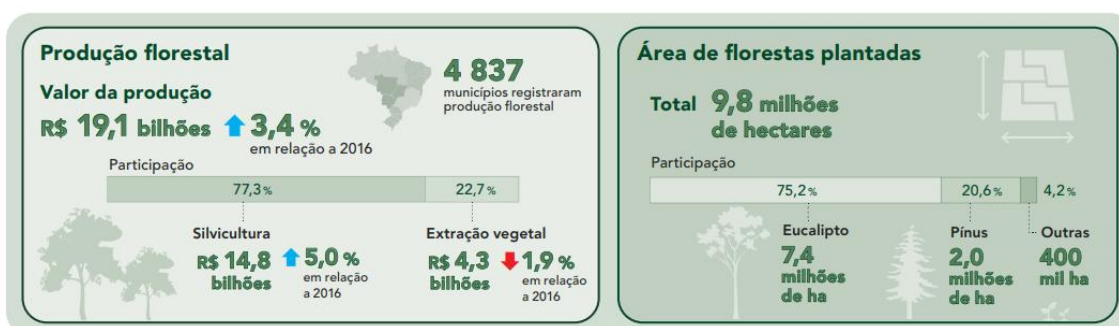
A importância das florestas plantadas aumenta progressivamente, já que a madeira é uma matéria-prima cada vez mais fundamental para a indústria e ajudam indiretamente a reduzir as perdas de florestas naturais, desempenhando um papel social e ambiental cada vez mais importante na conservação (UNRIC, 2009).



**Figura 1.** Evolução da quantidade ( $\text{m}^3$ ) de madeira extraída, por tipo de floresta. Fonte: PEVS 2016/IBGE (2017).

Em 2016, a indústria de florestas plantadas empregou diretamente 510 mil pessoas. Estima-se que no total o número de postos de trabalhos da atividade de base florestal – diretos, indiretos e resultantes do efeito renda, tenha sido da ordem de 3,7 milhões (IBÁ, 2017).

A silvicultura brasileira tem se desenvolvido de maneira expressiva (Figura 2) 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. Para Silva & Uhl (1992), o enfoque dado pela pesquisa em plantios florestais na Amazônia, não é o de substituir o extrativismo de madeira por plantios puros mais produtivos, mas sim aumentar o valor da terra pelo uso de espécies de alto valor comercial em áreas com utilização de baixo valor econômico, como as capoeiras.



**Figura 2.** Cenário atual da produção e plantios no Brasil. Fonte: IBGE, PEVS 2016-2017

As florestas naturais e artificiais têm utilizações complementares. Tradicionalmente, as florestas naturais cumprem funções essenciais de proteção e fornecem madeira dura de grandes dimensões e alta qualidade (Burley & Wood, 1979). De acordo com Tonini et al. (2006), a exploração de espécies nativas em projetos de 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).

Sendo assim é necessário identificar e domesticar espécies nativas mais bem adaptadas a diferentes condições ambientais, de forma a atender as crescentes necessidades da indústria de base florestal (Haggar et al., 1998)

Existem poucos estudos sobre as propriedades tecnológicas do mogno brasileiro e sua volumetria, mas é inédito estas informações em plantios na Amazônia. O conhecimento desta espécie de alto valor comercial e as iniciativas locais de empreendedorismo tornam promissor os investimentos da base florestal no Estado do Amazonas.

#### 6.2.A ESPÉCIE *Swietenia macrophylla* KING (MOGNO)

O mogno (*S. macrophylla*) é uma espécie pertencente ao gênero *Swietenia*, da família Meliaceae. É uma árvore robusta que domina o dossel da floresta. Seu tronco pode atingir 3,5 metros de diâmetro e altura total de 70 metros (média de 30 m – 40 m), e a copa chega a 40 m – 50 m de largura; apresenta raízes tabulares que podem atingir até 5 m na base. O tronco pode alcançar 20 m – 25 m de altura antes de formar galhos (Costa et al., 2009)

*Swietenia macrophylla* é atualmente a espécie madeireira mais valiosa e explorada do Brasil, já tendo sido extraída de forma predatória até mesmo em alguns locais remotos da Amazônia. A espécie apresenta baixas densidades populacionais, e sua distribuição coincide em grande parte com a região em que se concentram as mais altas taxas de desmatamento da Amazônia brasileira. Devido a esses fatores, suspeita-se que ao longo das últimas três gerações a população da espécie tenha declinado no mínimo em 30% (Martinelli & Moraes, 2013).

Apesar de ser considerada uma espécie heliófila, o mogno tem sido reconhecido como tolerante a níveis de luz moderados, podendo sobreviver sob o dossel, por causa do baixo ponto de compensação de luz. Por isso, quando o mogno ocorre em clareiras as mudas apresentam bom crescimento (Terezo, 2002).

O Mogno está entre as espécies nativas mais comercializadas e valorizadas do mundo, sendo exploradas há mais de 200 anos, muitas vezes de maneira ilegal e está em Risco de extinção que significa uma redução suspeitada, inferida, estimada ou observada

de 30% no tamanho de sua população, ao longo dos últimos 10 anos ou de três gerações (seja qual tenha sido o período mais longo), em que essa diminuição ou suas causas possam não ter terminado ou possam não ser compreendidas ou possam não ser reversíveis de acordo com o Livro Vermelho da Flora do Brasil (Martinelli & Moraes, 2013).

Segundo Oliveira et al. (2019), apesar das adversidades o cultivo de meliáceas, como o mogno brasileiro, vêm se destacando no setor florestal brasileiro, principalmente no segmento moveleiro. A opção dos investidores florestais por estas espécies se deve às vantagens que elas apresentam em termos qualitativos e econômicos. Porém, estudos e pesquisas com vistas a aprimorar os tratos silviculturais dessas espécies e consequentemente aumentar a produtividade dos povoamentos ainda são incipientes.

Sabogal et al. (2006), identificaram plantios de mogno brasileiro em alguns estados da região norte que indicam a disposição para investimento numa espécie promissora conforme a Tabela a seguir:

**Tabela 1.** Área plantada (ha) de Mogno nos estados da Amazônia brasileira (Amazonas, Mato Grosso, Pará e Rondônia)

<b>Plantio puro ao pleno sol</b>	<b>Plantio misto ao pleno sol</b>	<b>Enriquecimento</b>	<b>Manejo da regeneração com enriquecimento</b>
688,6	2740,43	410,6	8037

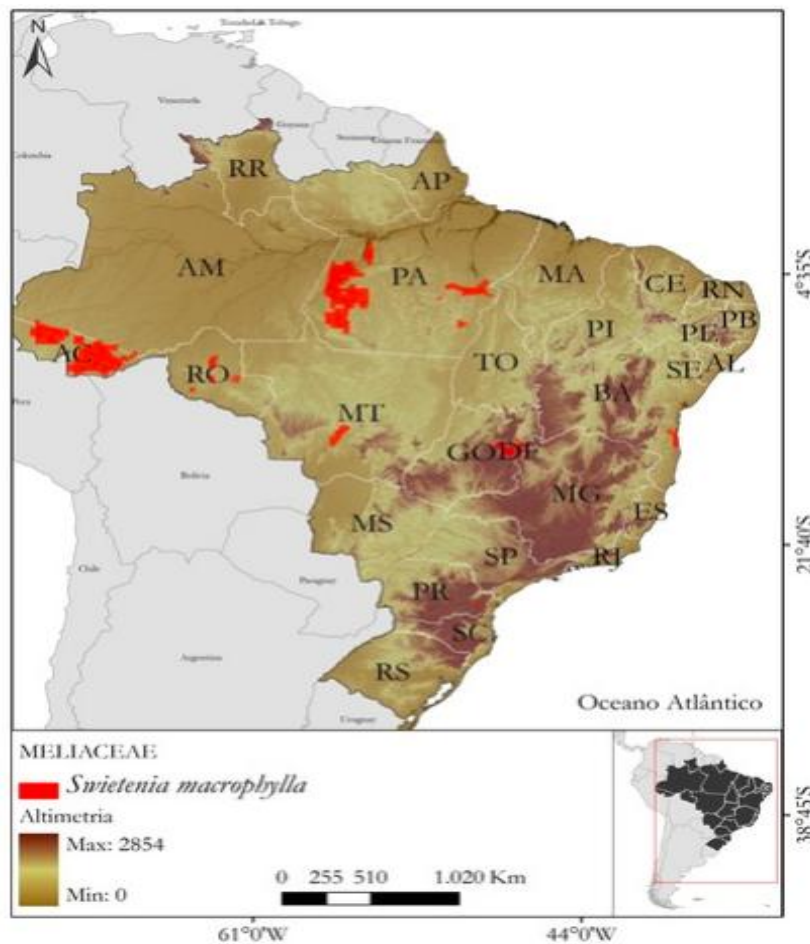
**Fonte:** Silvicultura na Amazônia brasileira: avaliação de experiências e recomendações para implementação e melhoria dos sistemas.

### 6.3.ZONAS DE OCORRÊNCIA

O mogno (*S. macrophylla*) é uma espécie com ampla distribuição neotropical, desde o Norte do Estado de Vera Cruz de Yucatán no México até ao longo da encosta atlântica da América Central a Venezuela e Brasil. Também ocorre na Colômbia, Peru, Bolívia e Equador (Pennington, 1981; Lamb, 1966). No Brasil, ocorre nas regiões Norte (Pará, Amazonas, Acre, Rondônia), Nordeste (Bahia), Centro-Oeste (Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal), Sudeste (Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Rio de Janeiro) e Sul (Paraná) (; Stefano; Calazans; Sakuragui, 2011). A ocorrência de mogno fora dos limites de distribuição naturais se justifica na adaptação a ambientes méxicos da



América Central e do Sul e pelo alto interesse em sua madeira nobre que favorecem seu cultivo em muitas regiões tropicais (Newton et al., 2003).



**Figura 3.** Mapa de ocorrência do Mogno no Brasil. Fonte: CNCFlora, 2012.

O mogno ocorre em toda a América do Sul e Central. No Brasil, a zona de ocorrência natural é a Amazônia Legal, e as áreas com maior densidade de mogno encontram-se na zona de transição floresta–cerrado, no sudeste do Pará, e na porção central e norte de Rondônia, sobre os ricos solos de Terra Roxa. É uma espécie que ocorre em baixa densidade, normalmente um indivíduo adulto/ hectare (Costa et al., 2013)

Os solos da área de ocorrência natural variam entre aqueles típicos de áreas sujeitas a alagamentos periódicos (hidromórficos) e os solos de área de terra firme (Espodosolos) (Terezo, 2002).

## 6.4. REPRODUÇÃO E REGENERAÇÃO

A taxa de produção de fruto é altamente idiossincrática, ou seja, nem todas as árvores de grande porte produzem frutos em abundância.

Algumas árvores de pequeno porte estão entre os indivíduos mais fecundos, e a produção interanual varia largamente no mesmo indivíduo, bem como entre as populações. Por essa razão, as taxas de disponibilidade de sementes para dispersão são altamente imprevisíveis para uma árvore específica (Grogan, 2002).

## 6.5. QUALIDADE DA MADEIRA

### 6.5.1. Uso potencial e qualidade da madeira

A madeira como matéria-prima apresenta possibilidade de utilização para diversos produtos e devido às suas peculiaridades individuais 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 et al., 2007)

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, 2004).

A performance da madeira, quando em uso, seja na fabricação de compensados, na produção de celulose e papel, ou após desdobro em serrarias; é julgada pela sua qualidade em função do uso a que foi destinada. A qualidade por sua vez é avaliada por parâmetros como densidade, comprimento de fibra, ângulo das fibrilas, que afetam diretamente as propriedades físicas e mecânicas da madeira (Jankowsky, 1979).

Estudos realizados por Kollmann & Côté (1968), demonstraram que a densidade do material lenhoso é proporcional a sua resistência mecânica. 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). Estudos mostraram aumento dos defeitos de acordo com o grau de severidade imposto pelos programas de secagem (Severo, 2000).

A pesquisa, de certa forma, visa potencializar o uso de produtos, objetivando ganhos financeiros que este produto possa proporcionar. O estudo da madeira não é diferente pois busca compreender o rendimento e a sua qualidade. O potencial do uso está relacionado com a 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 (Trugilho et al., 2007).

### **6.5.2. Propriedades Físicas e Mecânicas**

A análise das propriedades físicas e mecânicas é efetuada através de ensaios de laboratório, utilizando equipamentos próprios a essa finalidade e seguindo normas que especificam os métodos, procedimentos, fórmulas de cálculo, 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, existem as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (Araújo, 2007)

Ainda segundo o mesmo autor acima, entre as principais propriedades físicas da madeira estão a densidade e entre as propriedades mecânicas destacam-se a resistência à

ação de forças externas, tais como compressão, flexão, tração, cisalhamento e fendilhamentos.

Com a crescente uso da madeira industrialmente, o estudo das propriedades físicas da madeira passou a ser um procedimento imprescindível para o seu processamento. As principais propriedades físicas da madeira são teor de umidade e densidade básica da madeira (Almeida et al., 2014).

Com relação às propriedades físicas da madeira sólida a serem avaliadas, aponta-se a massa específica como um dos principais parâmetros de utilização, por se correlacionar diretamente com a maior parte das outras propriedades e também com a composição celular da madeira, expressando sua qualidade final e seu comportamento nos processos tecnológicos e industriais (Müller et al., 2014).

Segundo Braz (2013), a densidade está relacionada a muitas propriedades e características tecnológicas fundamentais para a produção e utilização dos produtos florestais, sendo um dos parâmetros mais importantes entre as propriedades físicas da madeira, pois apresenta relação com as demais propriedades dela. Normalmente, quanto maior a densidade da madeira, maiores serão as propriedades mecânicas. Madeiras com alta densidade são adequadas para construção civil e para produção de energia. Madeiras densas são adequadas para uso no solo, como estacas, mourões, dormentes e construção de pontes.

As propriedades mecânicas definem o comportamento da madeira quando submetida a esforços de natureza mecânica, permitindo compará-la com outras madeiras de propriedades conhecidas e por analogia indicar as provas adicionais necessárias para conhecer sua utilização. 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.

Mecanicamente o módulo da ruptura (MOR) e o módulo da elasticidade (MOE) são dois parâmetros normalmente determinados em testes de flexão estática e são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira, porque ambos estimam a

resistência do material submetido a uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal da peça. (Scanavaca Júnior & Garcia, 2004).

### **6.5.3. Propriedades Físicas**

#### *6.5.3.1. Teor de Umidade*

Por ser um material higroscópico, a madeira entra em equilíbrio com o ambiente, perdendo ou absorvendo água em função da umidade relativa e temperatura do ar. Essa sensibilidade em perder ou ganhar umidade e sua influência nas propriedades físicas e mecânicas, comportamento na secagem, eficiência nos processos de preservação, durabilidade natural, trabalhabilidade, acabamento e produtos derivados faz desta característica umas das mais importantes no estudo do comportamento da madeira visando sua qualidade.

O teor de umidade varia a cor da madeira que tende a ser tornar mais escura em exposição ao ar através da oxidação das substâncias orgânicas nela contida. A elevação da temperatura pela radiação solar ou aquecimento em estufa explica esta reação.

A maior parte da seiva das árvores é constituída de água, que preenche os espaços vazios dos traqueídes, vasos, raios, fibras e espaços intercelulares. Esta água é chamada de água livre e se mantém por meio de forças capilares e pode ser retirada com facilidade em algum processo de secagem, sem alterar suas características dimensionais e propriedades físicas e mecânicas. Além da água livre temos a água de impregnação que se encontra nas paredes das células sujeitas a forças eletrostáticas em nível molecular por estarem ligadas aos grupos hidroxilas das moléculas de celulose, holocelulose e lignina. A retirada desta água exige um consumo de energia maior em relação a retirada da água livre. Neste momento ocorre o fenômeno da retração devido a aproximação das cadeias de celulose e isto significa alterações nas propriedades da madeira (Bessa, 2018).

A madeira é considerada verde quando contém água livre e água de impregnação. Quando se remove somente a água livre, diz-se que a madeira está com um teor de umidade correspondente ao ponto de saturação das fibras. Este ponto de saturação varia de espécie para espécie, porém, permanece em torno de 30% de teor de umidade grande maioria.

Abaixo do ponto de saturação das fibras a madeira tende a estabilizar-se quando seu teor de umidade entra em equilíbrio com a temperatura e a umidade relativa do ar. Este ponto é chamado de teor de umidade de equilíbrio. Como nosso país tem uma vasta região territorial então o teor de umidade de equilíbrio da madeira com o ambiente será bastante variável. Como exemplo, o teor de umidade de equilíbrio médio anual da madeira em Porto Alegre é de 14,9%; em São Paulo, 15,4%; Belo Horizonte, 13,6% e Manaus, 17,1% (Galvão, 1975).

À medida que o teor de umidade aumenta, a madeira vai perdendo resistência até atingir o ponto de saturação, onde permanece estabilizada.

A entrada de água nos espaços submicroscópica da parede celular causa a dilatação e o amolecimento da madeira. Assim, de forma geral, quanto maior for o teor de umidade até certo percentual, menor é a sua resistência. Esta influência se verifica entre 0% umidade e o seu ponto de saturação das fibras específico; acima deste ponto não ocorrem alterações das propriedades elásticas e mecânicas da madeira (Moreschi, 2010).

Os elevados gradientes de umidade da madeira constituem-se em uma das causas de defeitos de secagem, notadamente os caracterizados por empenamentos e fendilhamentos (Oliveira et al., 2005). A resistência da madeira está relacionada à quantidade de água presente nas paredes celulares das fibras. Acima do ponto de saturação das fibras (Teor de umidade de 30%) a água se acumula nas cavidades das células da madeira (água livre), e não se verifica efeito sensível sobre a resistência da madeira associado à variação do teor de umidade neste intervalo.

Segundo Logsdon (1998), para teores de umidade entre 0% (madeira seca em estufa) até o ponto de saturação das fibras a água se acumula nas paredes das células da madeira (água de impregnação), e afeta sensivelmente a resistência da madeira, pois o aumento da quantidade de água reduz as ligações por pontes de hidrogênio, entre os polímeros orgânicos das paredes das células, diminuindo a resistência da madeira. 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. A umidade da

madeira na árvore pode variar de 31 a 249% no cerne e de 40-213% no albúrnio (Oliveira et al., 2005).

#### *6.5.3.2. Densidade da Madeira (Massa Específica)*

A densidade ou massa específica constitui uma das propriedades mais importantes da madeira, pois dela dependem a maior parte de suas propriedades físicas e tecnológicas, servindo na prática como uma referência para a classificação da madeira. Em regra geral, madeiras pesadas são mais resistentes, elásticas e duras que as leves. Porém, em paralelo a estas vantagens, são de mais difícil trabalhabilidade e apresentam maior variabilidade (Moreschi, 2010).

A densidade é a propriedade que melhor se relaciona com as demais propriedades da madeira. Esta característica é mais utilizada em pesquisas relacionadas à qualidade madeira, podendo ser um fator limitante do uso (Bruder, 2012).

A qualidade da madeira de lenho adulto se difere do lenho juvenil por apresentar uma massa específica mais baixa, maior ângulo microfibrilar, traqueóides mais curtos, menor contração transversal, maior contração longitudinal, maior proporção de lenho de reação, menor porcentagem de lenho outonal, paredes celulares mais finas, maior conteúdo de lignina, menor conteúdo de celulose e menor resistência mecânica (Latorraca & Albuquerque, 2000).

A densidade básica da madeira é a relação entre a massa seca de madeira e o seu volume verde. É a propriedade física e tecnológicas de maior importância, pois serve na prática como referência para a classificação da madeira expressando a quantidade de material lenhoso por unidade de volume. Quanto maior seu valor, maior será a retratibilidade em alguns casos e maiores serão as dificuldades em se trabalhar a madeira (Oliveira, 1997).

A densidade básica, entre outras propriedades, pode variar entre árvores e dentro da própria árvore, no sentido longitudinal e radial do tronco, entre cerne e albúrnio, entre madeira juvenil e adulta e dentro do mesmo anel de crescimento, entre lenho inicial e lenho tardio. Essas diferenças observadas dentro e entre árvores devem-se às diferentes dimensões celulares e à quantidade de componentes extratáveis por unidade de volume.

Estes fatores, por sua vez, são influenciados por idade, genótipo, índice de sítio, localização geográfica e tratos culturais, entre outros (Panshin & Zeewun, 1980). 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).

#### **6.5.4. 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 resistência. Tanto as propriedades de elasticidade quanto as de resistência diferem de acordo com a direção das fibras em relação à direção de aplicação da força na madeira, devido ao seu caráter anisotrópico. Além disto, como suas propriedades não variam em uma mesma direção, mas de uma direção para outra, a madeira possui um caráter ortotrópico. Isto é, possui propriedades mecânicas únicas e independentes nas direções de três eixos perpendiculares entre si; longitudinal, radial e tangencial. O eixo longitudinal é paralelo à fibra (ao longo do comprimento da árvore), o eixo radial é normal aos anéis de crescimento (em direção ao centro da árvore) e o eixo tangencial é perpendicular a grã mas tangente aos anéis de crescimento (Calil, 2000).

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. Por sua vez, 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 (Mello, 2007).

##### *6.5.4.1. 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 & Garcia, 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 ( $f_{wc,0}$  ou  $f_{c0}$ ) é dada pela máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo-de-prova com seção transversal. O módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras é aproximadamente igual ao módulo de elasticidade na flexão, para madeira tropical com teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras.

#### *6.5.4.2. Resistência à flexão estática*

A flexão estática refere-se à reação da madeira quando sujeita a uma carga aplicada tangencialmente, na metade do comprimento de uma peça, tendo por objetivo causar tensões e deformações até o momento de sua total ruptura (Moreschi, 2010).

A resistência da madeira à flexão ( $f_{wM}$  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.

O módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) são dois parâmetros determinados no ensaio de flexão estática e são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira, permitindo uma boa estimativa da resistência e rigidez do material. Oliveira (2007) explica que 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.

#### 6.5.4.3. Dureza

A dureza de um material caracteriza a sua susceptibilidade à penetração de corpos estranhos à sua massa. Esta propriedade está ainda relacionada com a resistência do material à abrasão, ou a ser riscado com diversos objetos, assim como com o grau de dificuldade em trabalhar a madeira com ferramentas de corte (Martins, 2010).

Além de ser um indicador da trabalhabilidade da madeira é especialmente importante nas aplicações destinadas à indústria moveleira e nas utilizações deste material em diversos tipos de pisos. Esta propriedade da madeira pode ser determinada pelo método de ensaio destrutivo proposto por Janka (Soriano et al., 2011).

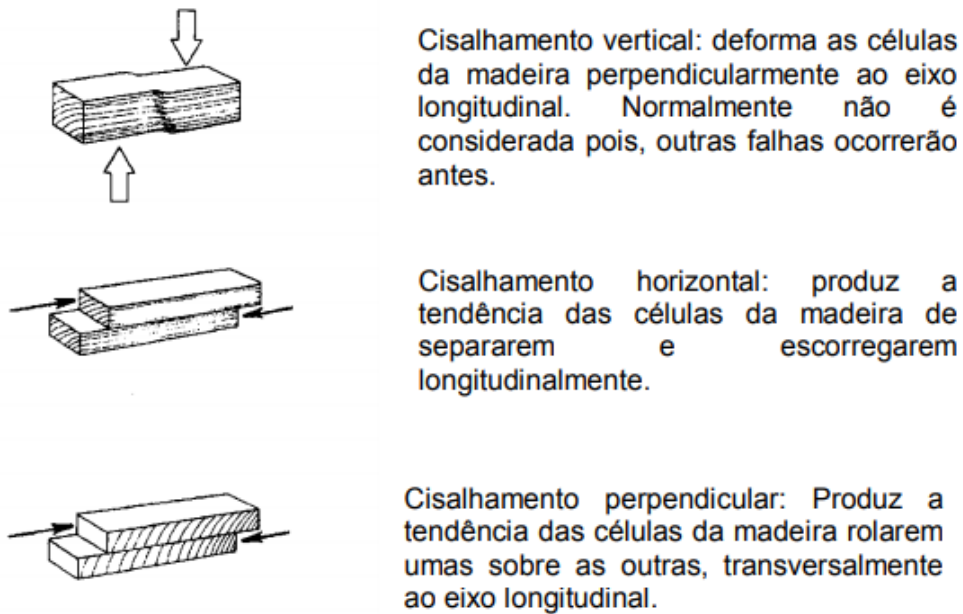
Soriano et al. (2011) salienta que as diversas variáveis que influenciam as propriedades mecânicas da madeira, tais como resistência a compressão e dureza, destacaram os efeitos da densidade e do teor de umidade, sendo que as espécies com densidades mais elevadas apresentam os valores mais elevados de tais propriedades. Em uma mesma espécie a magnitude da dureza é reduzida com o aumento do teor de umidade. De maneira idêntica à resistência a compressão, a dureza é dependente da direção anatômica das fibras da madeira.

De acordo com a Norma ASTM D 143-94 (2000), o ensaio consiste em medir o esforço necessário ( $f_H$ ) para introduzir no topo e nas faces laterais (tangencial e radial) de uma peça de madeira, uma semiesfera metálica com 1,13 cm de diâmetro, até uma profundidade igual ao seu raio.

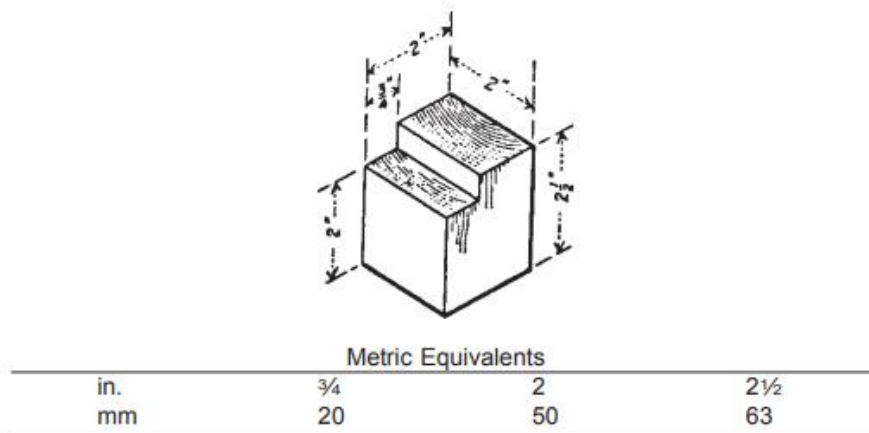
#### 6.3.4.4 Cisalhamento paralelo as fibras

Segundo Ritter (1990), existem três tipos de cisalhamento (Figura 4) que podem ocorrer em peças de madeira. O primeiro se dá quando a ação age no sentido perpendicular às fibras (cisalhamento vertical), este tipo de sollicitação não é crítico na madeira, pois, antes de romper por cisalhamento a peça já apresentará problemas de resistência na compressão normal. Os outros dois tipos de cisalhamento referem-se à força aplicada no sentido longitudinal às fibras (cisalhamento horizontal) e à força aplicada perpendicular às linhas dos anéis de crescimento (cisalhamento “rolling”). O caso mais crítico é o do cisalhamento horizontal que leva à ruptura pelo escorregamento entre as

células da madeira. Já o cisalhamento “rolling” produz uma tendência das células rolarem umas sobre as outras. Todas as amostras para testes devem ter um padrão como apresentado na Figura 5.



**Figura 4.** Cisalhamento na madeira (Fonte: Ritter, 1990)



**Figura 5.** Exemplo de amostra teste para o teste de cisalhamento paralelo as fibras. AMERICAN SOCIETY for testing and materials. Standard methods of testing small clear specimens of timber: ASTM D 143-94.

## 6.6. VOLUMETRIA

Conhecer o volume de madeira de uma floresta é de extrema relevância, e a cada dia torna-se mais importante 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. Essa preocupação remete ao planejamento,

ordenamento e a otimização do uso da madeira, com precisão na quantificação do volume dos povoamentos florestais. As equações volumétricas são fundamentais na tomada de decisão para o manejo florestal. Por isso, várias equações matemáticas foram desenvolvidas para se estimar o volume de madeira em florestas naturais e plantadas, utilizando o volume, como variável dependente, associado a variáveis independentes de fácil mensuração, como o diâmetro a 1,30 m do solo e a altura. No entanto, a grande variabilidade ambiental e genética dos materiais nativos leva à necessidade de desenvolvimento de equações específicas, para cada sítio a ser manejado (Santos et al., 2012)

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. Muitas equações matemáticas foram desenvolvidas para estimar o volume de povoamentos florestais, e apesar da eficiência de alguns modelos, estes nem sempre se ajustam a todas as espécies e condições, sendo recomendável testá-los e, por meio de estatísticas adequadas, identificar o melhor para cada caso (Thomas et al., 2006).

A determinação do volume de madeira, tanto para plantios florestais quanto para florestas naturais, é fundamental para a regulação da produção florestal (Souza & Soares, 2013). Por isto é importante a busca de métodos eficientes de estimativa do volume comercial que visam o planejamento futuro de maneira precisa e que possam nortear decisões silviculturais que culminem na máxima produção e rentabilidade da floresta. Porém, gerar estimativas volumétricas dos troncos das árvores pode acarretar erros, por apresentar formas diferentes entre espécies e até mesmo dentro de uma mesma espécie (Sanquetta et al., 2009). Visando reduzir estes erros foram desenvolvidos vários métodos diretos (valor real) e indiretos (valores estimados) para a determinação de volume.

Segundo Batista et al. (2004), há duas possíveis abordagens para a determinação do volume do fuste de árvores: a medição indireta e a cubagem rigorosa; a primeira envolve um princípio físico de associação do volume de uma seção com uma grandeza que pode ser medida diretamente, com destaque para o método do deslocamento de água ou xilômetro e o método do empuxo; a segunda abordagem visa a divisão e a mensuração de diversas seções ao longo do tronco.

Segundo Souza et al. (2014), na cubagem rigorosa, o abate e o seccionamento em n seções ou toras são necessários para, posteriormente, medir o diâmetro ou a circunferência e o comprimento de cada seção. Para tal, foram desenvolvidas expressões matemáticas para a determinação do volume com e sem casca, como as de Smalian, Huber, Newton e Hohenadl, que fornecem estimativas do volume de seções individuais da árvore (Loetsch et al., 1973).

Soares et al. (2011), afirmam que três métodos propiciam estimativas volumétricas diferentes, concluindo que quanto menor o comprimento da seção, menor a diferença entre as estimativas:

Equação de Huber:

$$V = g_m \cdot h \quad (1)$$

Equação de Smalian:

$$v = \frac{(g_i + g_s)}{2} \cdot h \quad (2)$$

Equação de Newton:

$$v = \frac{(g_i + 4 \cdot g_m + g_s)}{2} \cdot h \quad (3)$$

Em que:  $v$  = Volume da tora ( $m^3$ );  $g_m$  = área transversal na metade da tora ( $m^2$ );  $g_i$  e  $g_s$  = área transversal nos extremos inferior e superior da tora ( $m^2$ );  $h$  = comprimento da tora (m).

### 6.6.1. Equações volumétricas

Aliada às propriedades da madeira, as características silviculturais e dendrométricas das árvores são de elevada importância (Oliveira et al., 1999).

Diferentes condições de clima e de 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

estimativa mais precisa das variáveis de crescimento, como o volume, em um povoamento local ou regional (Valente et al., 2011).

Para estimativas de volume são ajustados modelos 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, onde geralmente 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).

Assim, após ajustados esses modelos são avaliados por meio de critérios estatísticos, como coeficiente de determinação, erro padrão da estimativa, distribuição dos resíduos e estatística F, afim de selecionar o modelo mais preciso e parcimonioso para a estimativa da variável dependente (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  $R^2$ . O erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) representa a dispersão entre os valores observados e estimados ao longo da linha de regressão, em que quanto menor for esse critério melhor será o modelo ajustado. 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). Por sua vez, a estatística F mostra quanto o modelo ajustado representa a relação entre a variável dependente e as variáveis independentes (Schneider, 1998).

## 6.7.FATOR DE FORMA

Durante algum tempo e até mesmo atualmente a quantificação volumétrica das espécies amazônicas é efetuada com base no fator de forma igual a 0,7, durante conforme proposto por Heinsdijk & Bastos (1963). Esse fator foi empregado de forma generalizada para diferentes espécies, sítios, formações e tipologias florestais, ocasionando erros nas estimativas volumétricas (Hiramatsu, 2008). A partir da década de 1980, surgiu a necessidade de aprimoramento das técnicas para estimar o volume de árvores, visando à

obtenção de estimativas mais confiáveis. Desde então, diversos trabalhos foram realizados na Amazônia com esse objetivo

O fator de forma é uma opção antiga e deve ser utilizado nas situações em que não se tenha nenhuma informação sobre a forma da árvore ou, ainda, quando for necessária rapidez no trabalho de inventário. Ele fornece estimativas confiáveis, desde que se controle idade, espaçamento e sítio.

O fator de forma é um fator de conversão entre o volume do cilindro e o volume real da árvore. Para calcular o volume do cilindro basta utilizar a altura total e o diâmetro com casca, tomado a 1,30 metro de altura na árvore (DAP). Com o DAP pode-se obter a área seccional do cilindro. Já o volume real da árvore pode ser calculado a partir de fórmulas específicas como as de Smalian, Huber, Newton, FAO, Hohenald, Hossfeld, Pressler e método geométrico, cujas informações dos diâmetros mensurados no fuste são obtidas por meio da cubagem rigorosa das árvores, com ou sem abate (Figueiredo et al., 2005).

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).

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

$$F = \frac{VR}{VC} \quad (4)$$

Em que:  $F$  = Fator de forma;  $VR$  = Volume rigoroso da árvore determinado pela cubagem ( $m^3$ ) e  $VC$  = Volume comercial ( $m^3$ )

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

$$Vest = Vcil \cdot ff \quad (5)$$

Em que:  $Vest$  = volume estimado ( $m^3$ );  $Vcil$  = volume do cilindro e;  $ff$  = fator de forma.

## 7. MATERIAL E MÉTODOS

### 7.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Fazenda TAKESHI SAKAI possui uma área total aproximada de 1.539,98 hectares (Figura 6), localizada na Rodovia AM 010 - (Manaus-Itacoatiara), km 172, com coordenadas geográficas correspondentes a Latitude  $-02\ 55'\ 04.17360''$  e Longitude  $-59\ 07'\ 27.05160''$ , município de Itacoatiara, Amazonas. A fazenda possui 100 ha de plantio de Mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*) para produção madeira e mais de 300 ha destinados a piscicultura, avicultura, fruticultura e outras culturas permanentes.

O plantio iniciou-se no ano de 1999 com 21.957 mudas com 16.738 sobreviventes em 2018. Naquele ano o Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM) concedeu a Licença de Operação N° 154/99-08. Trata-se de um empreendimento de grande porte por estar consorciada com outras culturas como por exemplo cupuaçu e andiroba. O projeto de plantio do Mogno também foi protocolado no Ibama em 14 de agosto do mesmo ano com n° 82/00. Os dados da propriedade estão inseridos no CAR N° AM-1301902-0696E4CDE001466DAD4B0EAB590C7C1B e o plantio homologado no SINAFLOR.

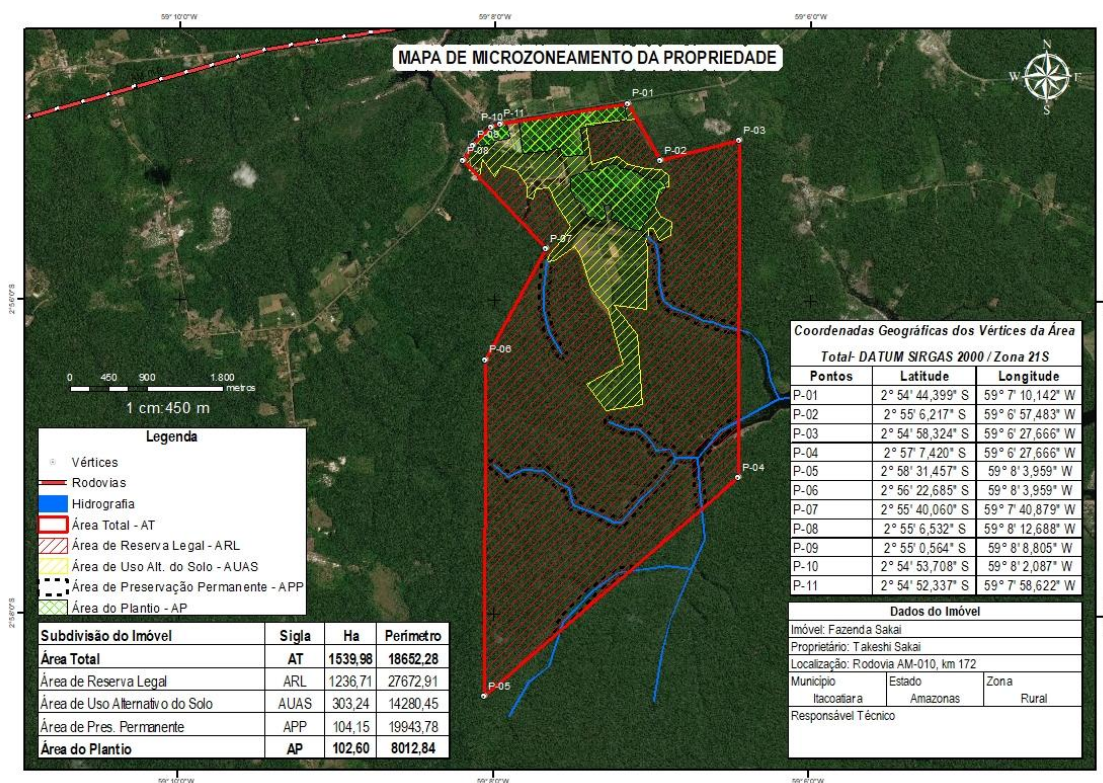


Figura 6. Macrozoneamento da propriedade e Memorial descritivo.

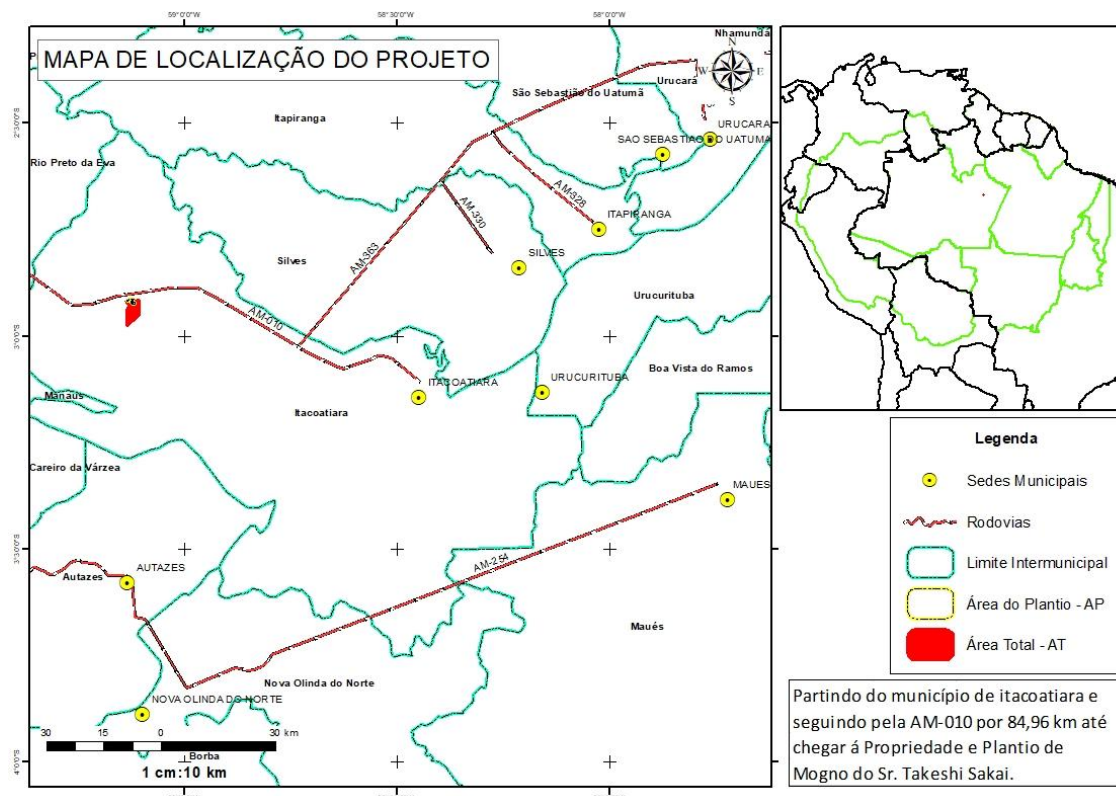


O plantio ocorreu de 04 de abril de 1999 até 02 de junho do mesmo ano em espaçamento inicial de 7 x 6 m. Não houve tratamentos silviculturais nas árvores de mogno para melhorar o crescimento do plantio. As práticas utilizadas eram direcionadas para a colheita de outras culturas existentes consorciadas entre as árvores de mogno como limpeza mecanizada dos acessos para retiradas de frutos.

Para melhor entendimento o plantio foi dividido em 3 áreas abaixo visualizadas separadas por uma estrada principal que dá acesso a todas as porções produtivas da propriedade. Foram retiradas 5 árvores por método destrutivo para cubagem rigorosa aleatoriamente dentro dos “talhões” (A, B ou C), onde se encontra o plantio de árvores de 20 anos conforme a Figura 7

#### **7.1.1. Vegetação**

Na área há predominância de floresta tropical densa de terra firme com formações pioneiras aluviais e áreas de tensão ecológica. Esta floresta caracteriza-se em função de um clima quente com elevada precipitação. Devido às condições de temperatura e umidade elevada, a cobertura vegetal é rica em espécies botânicas, onde se observa vários estratos, formados de plantas herbáceas ou lenhosos, subarbustos, arbustos e finalmente de indivíduos arbóreos.

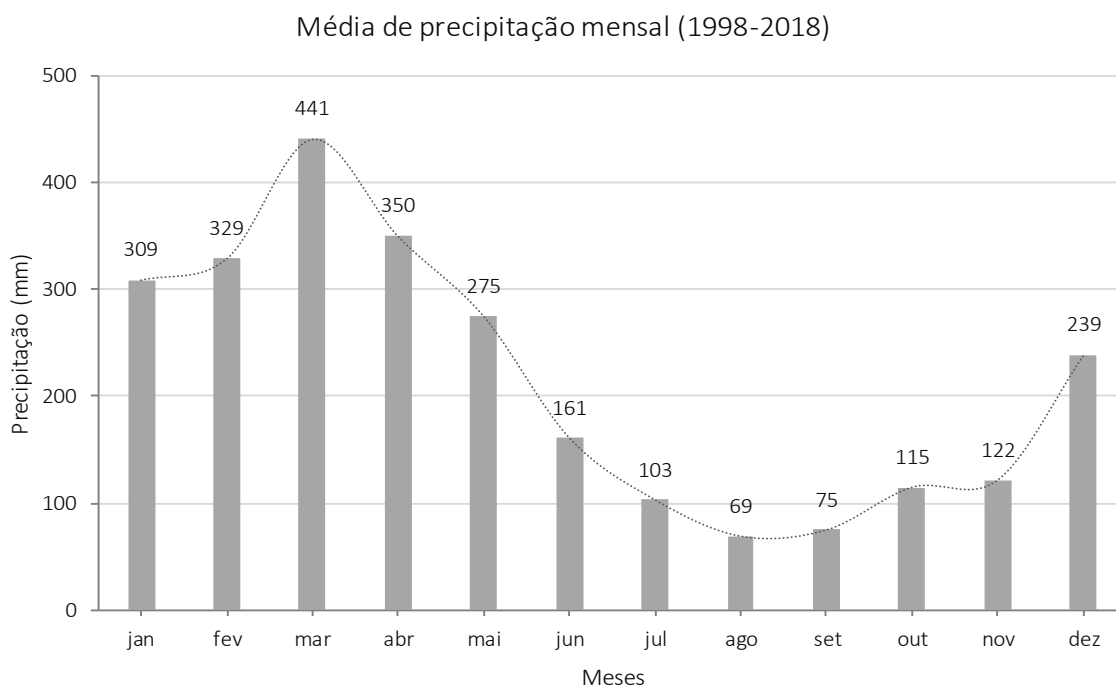


**Figura 7.** Mapa de localização da área do plantio de 19 anos da Fazenda TAKESHI SAKAI.

### 7.1.2. Clima

O clima do local está classificado, segundo a classificação de Köppen, como Grupo Climático A (Clima Tropical Chuvoso), abrangendo o tipo e variedade climática Amw (chuvas do tipo monções), representando uma variedade do tipo Amw. A precipitação pluviométrica anual é de cerca de 2200 mm, com maior volume nos meses de janeiro a abril e menor volume mensal entre agosto e outubro. A temperatura média é de 26°C e a umidade relativa do ar está em torno de 80% (RADAM BRASIL, 1978).

O regime de precipitação com base em uma série histórica de 1998 à 2018 é caracterizado por dois períodos distintos, sendo um período de alta precipitação com média mensal de 341 mm durante 5 meses de janeiro a maio e período de baixa precipitação com média mensal de 72 mm durante 2 meses de agosto a setembro. Estes dados foram obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Figura 8).



**Figura 8.** Média mensal da precipitação correspondente ao período de 1998 à 2018 em Itacoatiara-AM (INMET).

### 7.1.3. Solos

Os solos são predominantemente do tipo Latossolo Amarelo Distrófico, com baixa fertilidade natural e alto teor de alumínio, com pH variando entre 4,3 e 4,7, saturação de alumínio entre 85 e 90% e teor de fósforo abaixo de 4 mg/dm<sup>3</sup>. Os solos do platô são argilosos, os das encostas são argilosos recobertos por uma camada arenosa característica ao Podzólicos Amarelo. Próximo aos cursos d'água encontra-se depósitos de areia quartzo branco.

## 7.2. COLETA DO MATERIAL VEGETAL

O material foi coletado em um plantio de Mogno, com idade aproximada de 20 anos, instalado na Fazenda Takeshi Sakai, Município de Itacoatiara, Estado do Amazonas. Foi realizada a derrubada de 05 árvores de *Swietenia macrophylla* King com intervalo de diâmetro de 11 a 40,0 cm para posterior confecção dos corpos de prova e a para cubagem rigorosa (Figura 9).



**Figura 9.** Detalhe do espaçamento consorciado do plantio de 20 anos da Fazenda TAKESHI SAKAI consorciado.

### 7.3.VOLUMETRIA

Inicialmente à cubagem, foi realizado inventário 100% em toda a área do plantio (16.738 indivíduos) a partir da mensuração do DAP (diâmetro à altura do peito) a 1,30 metros do solo e mensuração do comprimento do fuste na altura comercial e total.

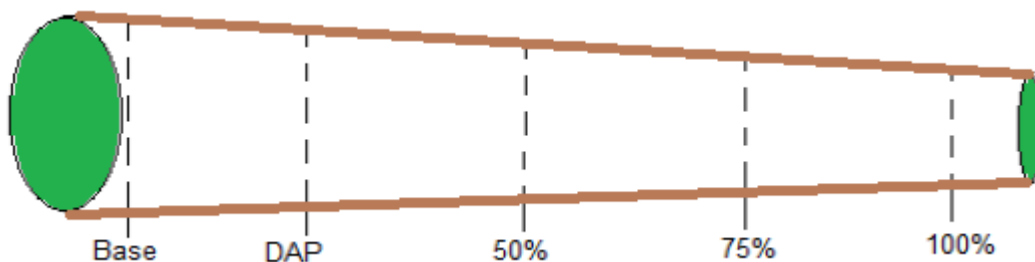


**Figura 10.** Mensuração Dap (1,30m do solo) e altura comercial das árvores com apoio de vara de bambu seccionada de 5 metros.



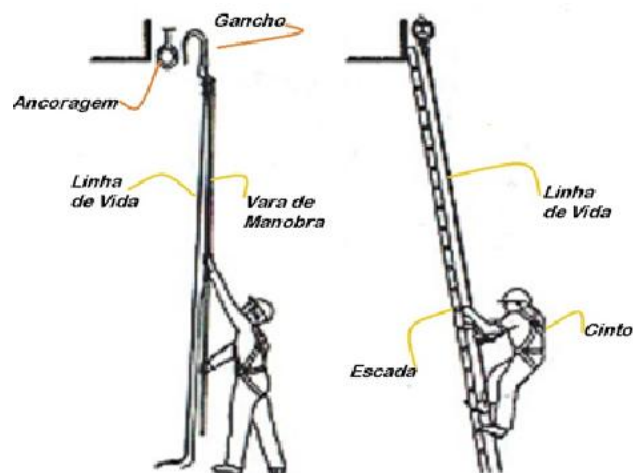
### 7.3.1. Amostragem e cubagem

Após o inventário foram selecionadas 29 árvores do plantio aleatoriamente, divididos da seguinte forma: a) 05 (cinco) indivíduos para os procedimentos de abate e cubagem rigorosa; b) 24 (vinte e quatro) indivíduos para cubagem por métodos não destrutivos utilizando escada retrátil de seções de alumínio (Figura 11) observando os padrões de segurança da norma reguladora para trabalho em altura (NR 35) com pessoal previamente treinado e com os equipamentos necessários. Foi aplicando o método de *Smalian* em 0,0 m, 1,30 m, e depois em intervalos regulares de 50%, 75% e 100% até a altura comercial (Figura 11).



**Figura 11.** Esquema de cubagem utilizado neste estudo.

Segundo Medeiros et al. (2007) a escada em seções (Figura 12) é um meio seguro e conveniente para alcançar a copa das árvores altas. As escadas com seções normalmente são fabricadas em alumínio, o que as tornam leves e fáceis de serem levantadas e manejadas sem causarem danos às árvores. Podem ser encontradas escadas de 7 m a 10,5 m com duas ou três seções de aproximadamente 3,5 m. O número e tamanho de seções variam conforme os modelos e fabricantes. É importante, sob o aspecto segurança que, à medida que se prolonga uma seção, esta seja amarrada ao tronco.



**Figura 12.** Esquema de alinhamento da escada retrátil de 10m para medição das árvores por método não destrutivo – Fonte Medeiros et al., (2007).

### 7.3.2. Determinação do volume comercial

Para obtenção do volume comercial com casca de cada árvore, foi aplicada a fórmula abaixo:

$$v = \frac{(g_i + g_s)}{2} \cdot l \quad (6)$$

Em que:  $v$  = volume da seção (m<sup>3</sup>);  $g_i$  = área transversal na base da seção (m<sup>2</sup>);  $g_s$  = área transversal no topo da seção (m<sup>2</sup>);  $l$  = comprimento da seção (m)

Onde a área transversal “g” de cada seção foi calculada por:

$$g = \frac{(\pi \cdot d^2)}{40.000} \quad (7)$$

Em que:  $g$  = área transversal (m<sup>2</sup>);  $d$  = diâmetro da seção (cm);

O método de *Smalian* foi aplicado sucessivamente, sendo o volume da última seção (cone) calculado por::

$$v_p = \frac{g_n \cdot l_p}{3} \quad (8)$$

Em que:  $V_p$  = Volume da ponta (m<sup>3</sup>);  $g_n$  = área transversal da base da ponta (m<sup>2</sup>);  $l_p$  = comprimento da ponta (m);

Para a obtenção do volume do toco será utilizada a fórmula:

$$V_t = g_0 \cdot l_0 \quad (9)$$

Em que:  $g_0$  = área seccional da base (m<sup>2</sup>);  $l_0$  = altura da base (m); Por fim, o volume comercial com casca será obtido pelo somatório do volume das seções do fuste, da ponta e do toco, como demonstrado abaixo:

$$V_{cc} = V_{seções} + V_p + V_t \quad (10)$$

Em que:  $V_{cc}$  = Volume comercial com casca (m<sup>3</sup>);  $V_{seções}$  = Volume comercial com casca (m<sup>3</sup>);  $V_p$  = Volume da ponta (m<sup>3</sup>);  $V_t$  = Volume do toco (m<sup>3</sup>)

Com o resultado do volume, é possível calcular o fator de forma para cada plantio. O cálculo é realizado pela razão entre o volume comercial real com casca e o volume do cilindro (produto da área transversal pela altura comercial).

### 7.3.3. Análise estatística

#### a) Reamostragem e Normalidade dos dados

A reamostragem será utilizada a fim de verificar se os resultados encontrados (para  $n=29$ ) atendem a um maior número de árvores. Para isso será aplicada a técnica *Bootstrap* com uma iteração para  $n=10000$ .

A ideia do método é a obtenção de amostras *bootstrap*, que são retiradas da amostra original com reposição. Dessa forma, todo resultado *bootstrap* irá depender diretamente da amostra original observada, isto é, os resultados *bootstrap* são considerados robustos para a amostra original (Lavoranti, 2003).

Embora seja habitual ter um conjunto de dados independente para fins de validação, a limitação de dados específicos do local neste estudo forçou o uso de uma abordagem de validação diferente para validação das equações de volume. A abordagem alternativa de validação consistiu no uso da técnica de bootstrap não paramétrica e na geração de 10000 amostras aleatórias, que imitam possíveis conjuntos de dados que seriam gerados. A técnica de bootstrapping é uma boa alternativa, uma vez que Kozak e Kozak (2003) demonstraram que não houve ganho adicional na análise de validação usando validação cruzada ou dupla.

Foram analisadas as premissas de distribuição normal de resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e homocedasticidade dos resíduos da regressão (teste de Breusch pagan).

#### b) Ajuste das equações de volume

Foram ajustados 11 modelos para a estimativa do volume comercial com casca, conforme tabela a seguir:

**Tabela 2.** Modelos testados para estimativa do volume comercial com casca

<b>Entrada</b>	<b>Modelos</b>	<b>Modelos testados</b>
<b>Simple entrada</b>	Husch (log)	$\text{Ln}(V) = b_0 + b_1(\text{LnDAP}) + \varepsilon_i$
	Brenac (log)	$\text{Ln}(V) = b_0 + b_1(\text{LnDAP}) + b_2(1/\text{DAP}) + \varepsilon_i$
	Berkhant	$V = b_0 + b_1(\text{DAP}) + \varepsilon_i$
	Koperzky & Gehrhardt modificado	$V = b_1(\text{DAP}^2) + \varepsilon_i$
	Koperzky & Gehrhardt	$V = b_0 + b_1(\text{DAP}^2) + \varepsilon_i$
<b>Dupla entrada</b>	Schumacher-Hall (log)	$\text{Ln}(V) = b_0 + b_1(\text{LnDAP}) + b_2(\text{LnHC}) + \varepsilon_i$
	Spurr (log)	$\text{Ln}(V) = b_0 + b_1(\text{Ln}(\text{DAP} \cdot \text{HC})) + \varepsilon_i$
	Modelo I	$V = b_1(\text{DAP} \cdot \text{HC}) + \varepsilon_i$
	Schumacher-Hall	$V = b_0 + b_1\text{DAP} + b_2(\text{HC}) + \varepsilon_i$
	Spurr	$V = b_0 + b_1(\text{DAP}^2 \cdot \text{HC}) + \varepsilon_i$
	Modelo II	$V = b_0 + b_1(\text{DAP} \cdot \text{HC}) + \varepsilon_i$

Em que: V = volume em (m<sup>3</sup>);  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = coeficientes da equação; ln = logaritmo neperiano; d = diâmetro a 1,3 m de altura (cm); h = altura comercial (m);  $\varepsilon_i$  = erro aleatório;

### c) Seleção do melhor modelo

Para seleção do modelo mais preciso foram utilizados os seguintes critérios estáticos: maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{Aj}$ ), menor erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ), Critério de Informação de Akaike (*AIC*) e melhor distribuição gráfica dos resíduos.

Segundo THOMAS et al. (2006), o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) expressa a quantidade da variação total explicada pela regressão, quanto mais próximo de 1 for o valor de  $R^2$ , melhor é o ajuste. Como o coeficiente de determinação cresce à medida que se inclui uma nova variável ao modelo matemático, será utilizado, como critério, o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{Aj}$ ), obtido pela expressão:

$$R^2_{aj} = R^2 - \left( \frac{k-1}{N-k} \right) \cdot (1 - R^2) \quad (11)$$

Em que:  $R^2$  = Coeficiente de determinação; K = número de coeficientes da equação; N = número de observações.



O Erro Padrão da Estimativa ( $S_{yx}$ ) expressa a dispersão entre os valores observados e os valores estimados pela regressão. Em que quanto menor esse critério melhor será o modelo ajustado.

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2}{n - p - 1}} \quad (12)$$

Em que:  $S_{xy}$  = Erro padrão da estimativa;  $y$  = valor observado da variável dependente;  $\hat{y}$  = valor estimado da variável dependente;  $n$  = número de observações;  $p$  = número de parâmetros do modelo.

Segundo Machado et al. (2002), mesmo sendo os estimadores de ajuste bons indicadores para a escolha do melhor modelo, considera-se indispensável para a escolha a análise gráfica de resíduos, pois esta permite detectar se há ou não tendenciosidade na estimativa da variável dependente ao longo da linha de regressão, se os resíduos são independentes ou se há homogeneidade na variância.

O Critério de Informação de Akaike (AIC) é importante na análise de regressão, permitindo selecionar modelos mais parcimoniosos, uma vez que penalizam modelos com número excessivos de parâmetros, em que quanto menores os valores de AIC melhor o modelo ajustado (Carvalho *et al.*, 2011). Será obtido o AIC segundo Lindsey & Sheather (2010), conforme seguintes expressões:

$$AIC = n + n \log 2\pi + n \log (SQ_{res}/n) + 2(p + 1) \quad (13)$$

Em que  $SQ_{res}$  = Soma dos quadrados dos resíduos;  $p$  = número de parâmetros do modelo;  $\ln$  = logaritmo neperiano;  $n$  = número de observações.

Como a avaliação gráfica é subjetiva, esta será utilizada em conjunto com as estatísticas citadas anteriormente.

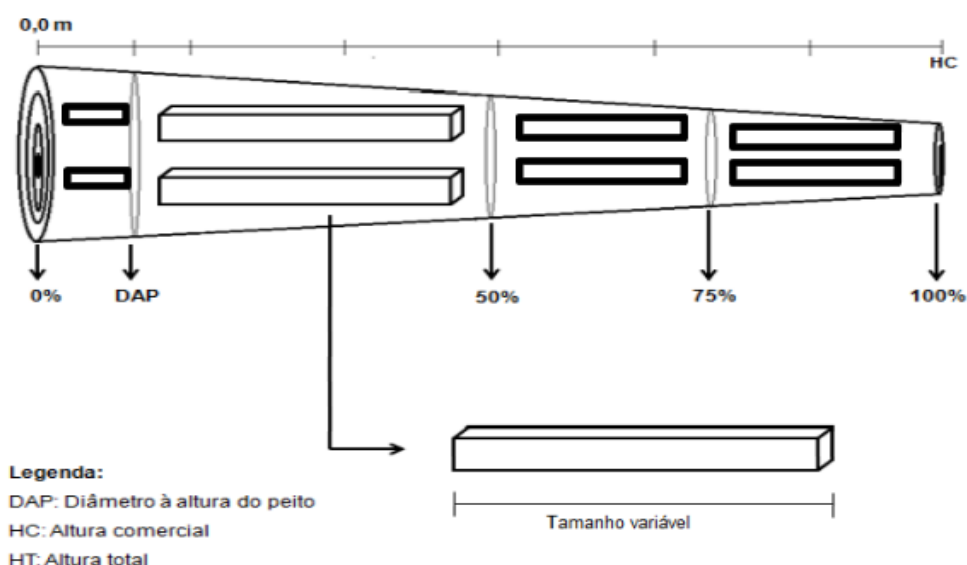
#### 7.4. QUALIDADE DA MADEIRA

Para avaliar a qualidade da madeira foram utilizadas 5 árvores do plantio através do método destrutivo. Para a amostragem, foram retirados discos e pranchas com comprimentos variáveis (Figura 13). As 5 árvores selecionadas aleatoriamente compreendem os diâmetros de 11 a 40 cm. Os discos retirados correspondem ao diâmetro

à altura do peito (DAP), tomado a 1,30 m do solo e nas posições 0, DAP, 50, 75 e 100 % da altura comercial, considerada a partir da base até 6 cm antes do local de inserção do primeiro galho em cada tronco.

O fuste foi seccionado para retirada dos discos (5 de cada árvore) referente as propriedades físicas (teor de umidade e densidade) e depois desdobrado com uso de motosserra para obtenção das pranchas com comprimentos variáveis correspondentes a cada seção do fuste a ser analisada para as propriedades mecânicas.

A partir das pranchas, foram confeccionados corpos de prova para os ensaios das propriedades físicas e mecânicas da madeira, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT 7190/1997 para os ensaios físicos, e *American Society for Testing and Materials* – ASTM D 143-94 (2000) para os ensaios mecânicos.



**Figura 13.** Esquema da retirada das pranchas para confecção dos corpos de prova.

Para os ensaios físicos e mecânicos foram utilizados 150 e 139 corpos de prova respectivamente. A amostragem foi realizada compreendendo, quando possível, toda a estrutura dimensional da tora.

A metodologia aplicada no campo observou a qualidade anatômica do interior das toras já que que algumas árvores juvenis apresentaram ter apenas um pequeno volume de cerne ou mesmo a ausência deste quando do processo por desdobro através de motosserra.

As propriedades físicas analisadas foram: Teor de umidade e Densidade básica. Enquanto as mecânicas foram: Flexão Estática, Compressão Paralela às Fibras e Dureza Janka (Tabela 3). Para a realização dos testes adotou-se controle de temperatura a 20+3°C e umidade relativa em torno de 65%.

**Tabela 3.** Propriedades analisadas neste trabalho, norma, dimensões utilizadas e amostragem

<b>Propriedades Físicas</b>	<b>Norma</b>	<b>Dimensões (cm)</b>	<b>Nº corpos de prova</b>
Umidade	ABNT 7190/1997	2,0 x 3,0 x 5,0	30
Densidade básica	ABNT 7190/1997	2,0 x 3,0 x 5,0	30
<b>Propriedades Mecânicas</b>	<b>Norma</b>	<b>Dimensões (cm)</b>	<b>Nº corpos de prova</b>
Compressão paralela às fibras	ASTM D 143-94 (2000)	5,0 x 5,0 x 20	8
Flexão estática	ASTM D 143-94 (2000)	5,0 x 5,0 x 76	8
Dureza Janka	ASTM D 143-94 (2000)	5,0 x 2,0 x 15	8
Cisalhamento	ASTM D 143-94 (2000)	5,0 x 5,0 x 6,3	8

Os ensaios referentes às propriedades físicas foram realizados no Laboratório de Física da Madeira da Universidade Federal do Amazonas. Os ensaios das propriedades mecânicas foram realizados no Laboratório de tecnologia da madeira, do departamento de ciências florestais da Universidade Federal de Lavras (UFLA), por meio de máquina universal de ensaios.

#### **7.4.1. Propriedades físicas**

De cada árvore foi retirado 5 discos com 5 cm de espessura (Figura 14) da base para obtenção de amostras para caracterização anatômica e análise das propriedades físicas. Estas propriedades foram determinadas e comparadas nas diferentes classes diamétricas.



**Figura 14.** Discos para confecção com espessura aproximada de 5 cm para posterior análise anatômica e propriedades físicas.

a) Umidade

O corpo de prova foi pesado em balança com precisão de 0,01 g para determinação da massa inicial ( $m_i$ ) e secado em estufa com temperatura a  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Durante a secagem a massa do corpo-de-prova foi medida a cada 6 h, até que ocorresse uma variação, entre duas medidas consecutivas, menor ou igual a 0,5% da última massa medida. Esta massa foi considerada como a massa seca ( $m_s$ ). Conhecida a massa seca ( $m_s$ ) do corpo-de-prova, determinou-se a umidade à base seca pela expressão definida abaixo.

$$U\% = \frac{m_i - m_s}{m_s} * 100 \quad (14)$$

Em que,  $m_i$  = massa inicial da madeira, em gramas;  $m_s$  = massa da madeira seca, em gramas.

b) Densidade básica

A “densidade básica” é uma massa específica convencional definida pela razão entre a massa seca e o volume saturado, sendo dada por:

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad (15)$$

Em que:  $m_s$  = massa seca da madeira (kg);  $V_{sat}$  = volume da madeira saturada (m<sup>3</sup>).

A massa seca foi obtida pelos mesmos procedimentos descritos no teste de umidade. Para a determinação do volume saturado, foram medidos os lados da seção transversal e do comprimento com paquímetro, efetuando-se duas medidas em cada direção, considerando a média dos valores obtidos como as dimensões de cada corpo de prova.

#### 7.4.2 Propriedades mecânicas

Após a retirada da madeira no campo e o preparo das amostras as mesmas tiveram determinadas as suas propriedades mecânicas e comparadas nas diferentes classes diamétricas.

##### a) Compressão paralela às fibras

A resistência à compressão paralela às fibras é dada pela máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo-de-prova com seção transversal quadrada, sendo dada por:

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,m\acute{a}x}}{A} \quad (16)$$

Em que:  $F_{c0,m\acute{a}x}$  = máxima força de compressão aplicada ao corpo-de-prova durante o ensaio, (N);  $A$  = área inicial da seção transversal comprimida, (m<sup>2</sup>);  $f_{c0}$  = resistência à compressão paralela às fibras, (Mpa)

A caracterização da rigidez da madeira foi verificada pelo valor médio do módulo de elasticidade determinado na fase de comportamento elástico-linear do diagrama tensão  $\times$  deformação específica.

A resistência à compressão foi obtida a partir do valor convencional determinado pela deformação específica 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 módulo de elasticidade serão 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) Flexão Estática

A resistência da madeira à flexão ( $f_M$ ) é um valor convencional, dado pela máxima tensão que pode atuar em um corpo-de-prova, calculada a partir da hipótese de que a madeira é um material elástico, sendo dado por:

$$f_M = \frac{M_{máx}}{w_e} \quad (17)$$

Em que:  $M_{máx.}$  = máximo momento aplicado ao corpo-de-prova, (N/m);  $W_e$  = módulo de resistência elástico da seção transversal do corpo-de-prova, dado por  $bh^2/6$  em  $m^3$  (b e h correspondem, respectivamente, à largura e à altura da seção transversal do corpo-de-prova em metros).

A caracterização da rigidez da madeira é verificada pelo valor médio do módulo de elasticidade determinado a partir do trecho linear do diagrama tensão x deformação como descrito na norma.

Com os resultados do ensaio, são calculados a partir do gráfico tensão/deformação, os módulos elasticidade (MOE) e ruptura (MOR). Estes módulos são parâmetros normalmente avaliados nos testes de flexão estática, sendo o MOE de maior importância na caracterização tecnológica da madeira. Quanto maior o MOE, maior será a resistência da madeira e menor será sua deformidade (Scanavaca Júnior & Garcia, 2004).

#### c) Dureza

A dureza da madeira ( $f_H$ ) proposta por Janka é determinada convencionalmente pela tensão que, atuante em uma das faces de um corpo-de-prova, produz a penetração de uma semiesfera de aço com área diametral (ABNT, 1997), dada por:

$$f_H = \frac{F_{max}}{A_{seção\ diametral}} \quad (18)$$

Em que:  $F_{\max}$  = máxima força aplicada ao corpo-de-prova necessária à penetração da semiesfera em N;  $A_{\text{seção diametral}}$  = área da seção diametral da esfera, igual a  $1 \text{ cm}^2$

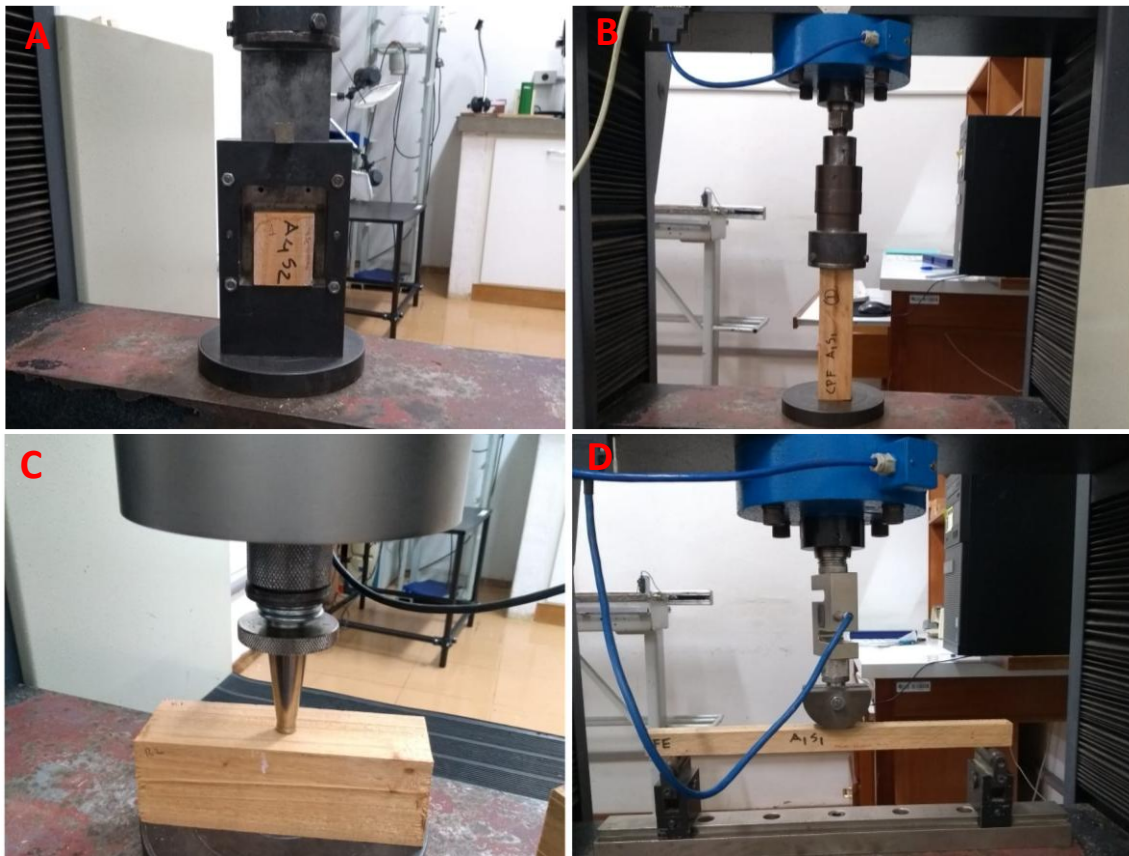
d) Cisalhamento

Usar uma ferramenta de cisalhamento semelhante à ilustrada na Figura 15, proporcionando um deslocamento de 3 mm entre a borda interna da superfície de apoio e o plano da borda adjacente da superfície de carga. Aplicar a carga e apoiar a amostra na superfície das fibras. Tomar cuidado ao colocar a amostra na ferramenta de cisalhamento para ver se a barra transversal está ajustada, de forma que as bordas da amostra fiquem verticais e a extremidade assente uniformemente no suporte sobre a área de contato. Observar apenas a carga máxima.

Máquina de teste de cisalhamento paralelo às fibras mostrando o método de aplicação de carga através do assento ajustável para fornecer distribuição lateral uniforme de carga. Valores dados por:

$$f_{vo} = \frac{f_{vo,máx}}{A_v} \quad (19)$$

Em que:  $f_{vo,máx}$  = máxima força cisalhante aplicada ao corpo-de-prova (N);  $A_v$  = área inicial da seção crítica do corpo-de-prova, num plano paralelo as fibras ( $\text{m}^2$ )



**Figura 15.** Equipamentos para medições do cisalhamento na madeira (A), compressão paralela as fibras (B), dureza janka (C) e flexão estática (D).

#### 7.4.2. Análise Dos Dados

Todas as análises estatísticas foram realizadas nos softwares R (R Core Development Team, 2019) e Microsoft Excel.

Os dados foram tabulados e através de estatística descritiva, avaliou-se: Média, desvio padrão, variância, máximo e mínimo. Foram analisadas as premissas de distribuição normal de resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variância (teste de Levene) (Zar, 1999). Aceitando a hipótese que os dados apresentaram distribuição normal foi realizado uma Análise de variância (ANOVA). Havendo diferenças significativas entre as médias realizou-se o teste Tukey a 5% de probabilidade. Para as variáveis (Flexão MOR, Dureza tangencial, Dureza transversal e Densidade) que não apresentaram normalidade dos resíduos e ou homogeneidade dos resíduos foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal Wallis e caso houvesse significância



estatística foi realizado o teste Pós hoc (a posteriore) pelo TESTE DUNN para comparar as médias entre os tratamentos ou classe de DAP.

## 8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 8.1. ANÁLISE DESCRITIVA

A variável altura comercial variou entre 3 e 6,71 m, enquanto o diâmetro à altura do peito (DAP) variou entre 11 e 43,61 cm. Por sua vez o volume variou entre 0,03 e 0,73 m<sup>3</sup> (Tabela 4). A maior variação foi observada ao volume e em seguida ao DAP, assim este segundo provavelmente teve maior influência no volume do que altura comercial. Além disso, o DAP apresentou uma densidade probabilística próxima da distribuição normal, o que é desejável para ajuste de modelos de volume (Figura 16).

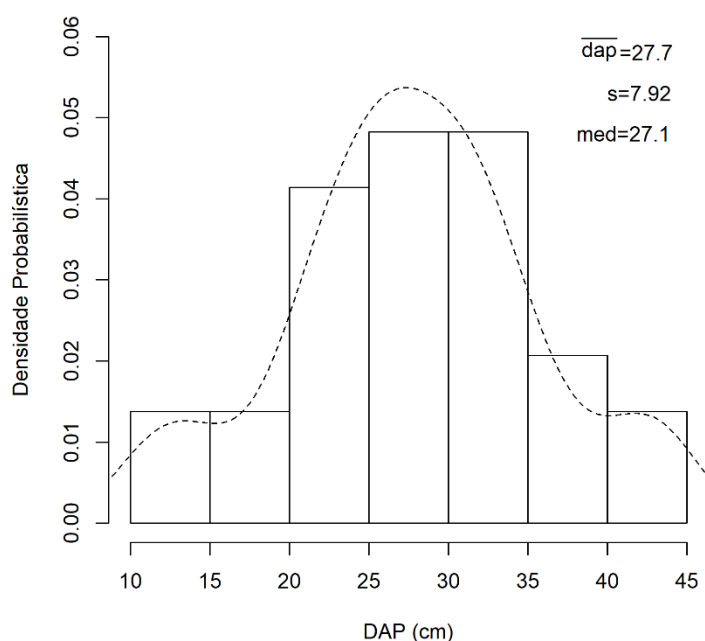
Em média a altura comercial foi de 4,92 m, o DAP foi de 27,74 cm e volume foi em média 0,3 m<sup>3</sup> aos 20 anos de idade para os plantios de *Swietenia macrophylla* (Mogno) (Tabela 4). Em um hectare é possível obter em média 71,4 m<sup>3</sup>. Assim considerando que os plantios possuem 20 anos o incremento médio anual em diâmetro (IMA<sub>d</sub>) foi em média 1,39 cm.ano<sup>-1</sup> enquanto o incremento médio anual em volume (IMA<sub>v</sub>) foi em média 0,015 m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>, ou seja, 3,53 m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup> considerando o espaçamento inicial de 7 m x 6 m.

O Instituto Nacional de Bosques - INAB (2017) realizou vários estudos minuciosos referente a qualidade de sítio (categoria de índice) para cultura de mogno aos 20 anos na Guatemala levando em consideração dados dendrométricos de plantios em todo o país. Comparando com os valores médios do presente trabalho (Tabela 4) para a área total plantada de 100 ha em Itacoatiara, podemos considerar que os valores de referência do IMA<sub>d</sub> e IMA<sub>v</sub> tendem a ser bons e satisfatórios respectivamente.

Fernandes et al. (2016) observaram que o IMA<sub>d</sub> do Mogno aos 7 anos de idade, apresentaram incremento de 2,8 cm.ano<sup>-1</sup>, que foi maior que o obtido em outras experiências para indivíduos com a mesma idade, inclusive em relação a este estudo. Segundo Marengo et al. (2001), o *Swietenia macrophylla* King, na escala de sucessão, é uma espécie intermediária, com baixa densidade em floresta natural e cresce bem sob alta luminosidade, o que pode explicar seu melhor desenvolvimento nas condições iniciais em relação a este presente estudo.

**Tabela 4.** Análise descritiva das variáveis dendrométricas mensuradas em povoamentos de *Swietenia macrophylla* (Mogno)

	Altura comercial (m)	DAP (cm)	Volume (m <sup>3</sup> )
Mínimo	3,00	11,00	0,03
Máximo	6,71	43,61	0,73
Média	4,92	27,74	0,30
Desvio padrão	0,91	7,92	0,17
CV	18,50	28,54	56,05
IC	0,35	3,01	0,06
IC Inferior	4,57	24,73	0,23
IC Superior	5,26	30,75	0,36



**Figura 16.** Histograma e densidade de probabilidade da variável DAP.

Souza et al. (2010), avaliando o comportamento de espécies florestais em plantios, aos seis anos em pleno sol e capoeira localizado no Campo Experimental da Embrapa na Amazônia Ocidental, no município de Manaus (AM), o mogno obteve IMA<sub>d</sub> de 1,8 e 0,7 cm.ano<sup>-1</sup> respectivamente. Segundo Terezo (2002) o mogno se desenvolve muito bem em clareiras e suas mudas apresentam bom crescimento nos estados iniciais. Porém, neste estudo independente do sistema de plantação, as plântulas sofreram 100% de ataques por *Hypsipyla grandella*, causando alta mortalidade, cerca de 50% em pleno sol e 81,6% em capoeira. O incremento médio anual para esta espécie no melhor tratamento, citado acima, em pleno sol foi 62,47 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> que reflete um valor inferior à 71,4 m<sup>3</sup>. h<sup>-1</sup> obtidos neste estudo. Sistemas agroflorestais ou consorciados podem obter bons resultados em relação

aqueles que não apresentam uma barreira física ou química para amenizar a severidade do ataque da broca do ponteiro.

Isto evidencia o que foi analisado por Guimarães Neto et al. (2004), que observaram que ataque da *H. grandella* foi menor no tratamento consorciado, indicando o eucalipto como barreira física, para diminuir o ataque da broca.

O crescimento observado em nosso estudo é considerado rápido em comparação com outras espécies nativas da região amazônica, mas ainda assim há um grande potencial de crescimento evidenciado pela grande variação de DAP e volume. Assim o potencial máximo pode ser de incremento médio anual em diâmetro de 2,18 cm.ano<sup>-1</sup> e incremento médio anual em volume de 0,04 m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>, ou seja, 8,67 m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup> considerando o espaçamento inicial de 7 m x 6 m. Ainda deve ser considerado que não houve aplicação de fertilizantes, tratamentos silviculturais periódicos. Além disso, o melhoramento genético pode proporcionar maiores ganhos em plantios futuros.

Tendo em vista que idade desses plantios é a mesma, essas variações observadas demonstram que há provavelmente sítios de diferentes qualidades. E estudos futuros que visem classificar esses sítios pode contribuir para melhor gerenciamento desses plantios e refinamento de modelos para estimativa de volume e/ou biomassa.

## 8.2.MODELAGEM DO VOLUME

Todos os modelos ajustados tiveram de coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ) superior a 80%, o que demonstra um bom ajuste dos modelos. O erro padrão da estimativa em porcentagem ( $Syx\%$ ) variou entre o 20,72% e 25,25%, ou seja, a precisão de ajuste foi muito próxima entre os modelos ajustados (Tabela 5).

Dentre todos os modelos ajustados Spurr (log), Spurr e Modelo II que são modelos de dupla entrada tiveram os maiores valores de  $R^2_{aj.}$  com 0,86 cada e ainda os menores valores de  $Syx\%$  com 21,08%, 20,75% e 20,72% respectivamente. Contudo pelo critério de informação de Akaike, que permite a seleção de modelos mais parcimoniosos com menor número de variáveis no modelo e com boa precisão penalizando modelos com número excessivo de parâmetros, os modelos de simples entrada Husch (log) e Brenac (log) tiveram menores valores deste critério. Isso demonstra que esses modelos possuem

uma boa precisão, apesar do modelo de dupla entrada Spurr (log) apresentar também um valor baixo de AIC após esses dois modelos de simples entrada.

**Tabela 5.** Coeficientes de regressão e critérios estatísticos para modelos de volume ajustados aos dados de povoamentos de *Swietenia macrophylla* (Mogno).

Entrada	Modelos	Coeficientes			Critérios estatísticos			
		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$R^2_{aj.}$	Syx	Syx%	AIC
Simples entrada	Husch (log)	-8.217*	2.079*		0.80	0.08	25.35	7.73
	Brenac (log)	-4.686*	1.226*	-18.382 <sup>ns</sup>	0.81	0.07	24.12	8.78
	Berkhant	-0.229*	0.019*		0.81	0.07	24.20	65.44
	Koperzky & Gehrhardt Modificado		0.0004*		0.81	0.07	24.17	66.50
	Koperzky & Gehrhardt	0.018 <sup>ns</sup>	0.0003*		0.81	0.07	24.43	64.89
Dupla entrada	Schumacher-Hall (log)	-8.616*	1.809*	0.815*	0.86	0.06	21.29	24.31
	Spurr (log)	-8.518*	1.467*		0.86	0.06	21.08	11.66
	Modelo I		0.002*		0.83	0.07	23.43	68.32
	Schumacher-Hall	-0.364*	0.017*	0.041*	0.85	0.07	22.06	69.87
	Spurr	0.053*	0.0001*		0.86	0.06	20.75	74.37
	Modelo II	-0.095*	0.003*		0.86	0.06	20.72	74.46

$\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  = coeficientes da regressão; ns = Coeficientes não significativos pelo teste t ( $\alpha = 0,05$ );  $R^2_{aj.}$  = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão de estimativa;  $S_{YX}\%$  = erro padrão de estimativa em porcentagem; AIC = Critério de informação de Akaike.

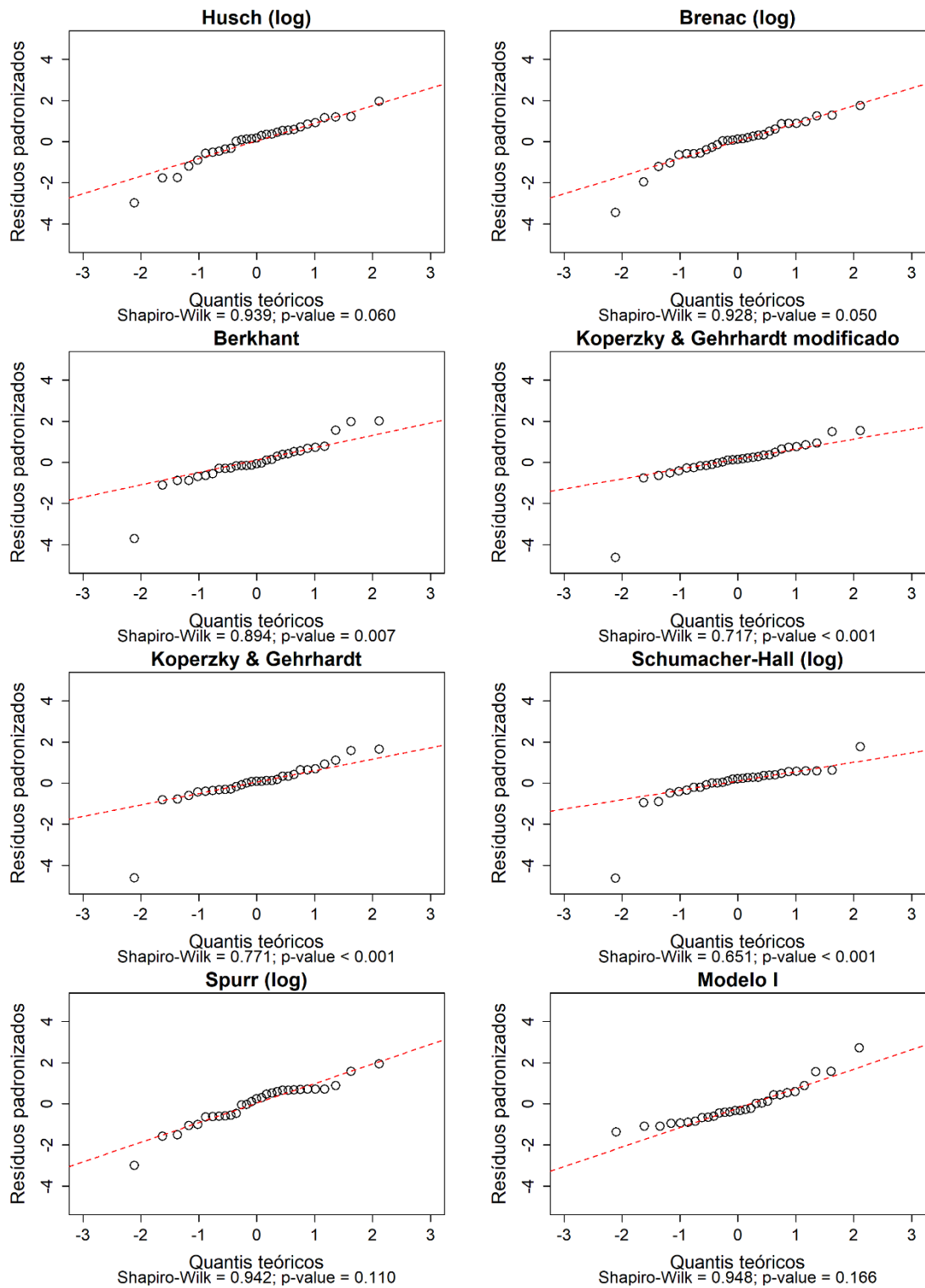
Porém, apesar desses três modelos de dupla apresentarem melhores critérios estatísticos com exceção do AIC, os modelos de simples entrada Husch (log) e Brenac (log) por possuírem melhor AIC e por não incluírem a variável altura, tendo em vista que a medição da altura está sujeita a maiores erros de medição, além de ser uma atividade onerosa os modelos de simples entrada são mais indicados. Além disso, o ganho de precisão pela inclusão da altura nos modelos de dupla entrada não é tão grande comparada aos modelos de simples entrada.

Contudo, considerando que o modelo de dupla entrada Spurr (log) também apresentou bom valor de AIC, seguido dos melhores modelos de simples entrada, este modelo pode ser selecionado para estimativa de volume com ganho de poder de explicação pelo  $R^2_{aj}$  com 0,86 em comparação com os de simples entrada com 0,80 e 0,81 para Husch (log) e Brenac (log) respectivamente. Por sua vez, entre esses dois modelos de simples entrada o modelo a ser selecionado é Husch (log), pois apesar dos dois modelos serem muito semelhantes quanto aos critérios estatísticos, o coeficiente  $\beta_2$  do modelo de Brenac (log) não foi significativo a regressão pelo teste t de Student, indicando provavelmente a multicolineariedade entre as variáveis independentes que na verdade são derivadas da mesma variável (DAP).

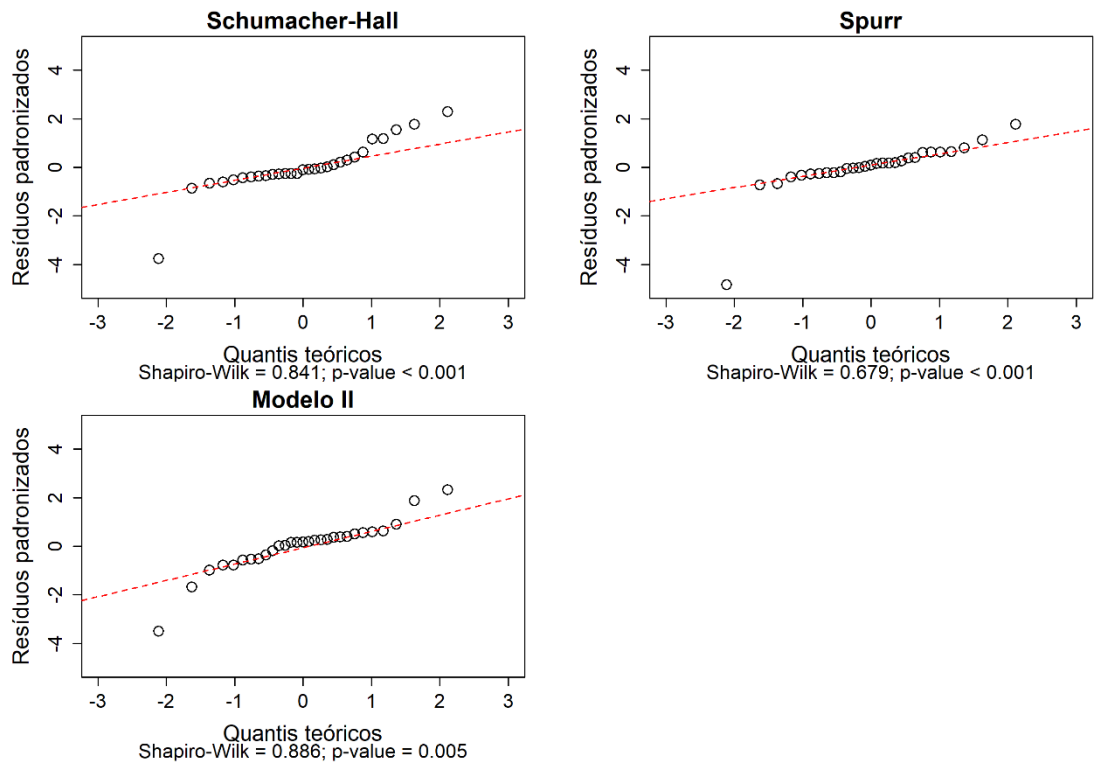
Além disso, os modelos Husch (log) de simples entrada e Spurr (log) de dupla entrada apresentaram resíduos com distribuição normal (Figura 17). Bem como apresentaram homocedasticidade dos resíduos (Figura 18). Apesar de haver uma maior dispersão dos resíduos ao longo do volume para esses dois modelos, houve uma distribuição mais homogênea, enquanto alguns modelos à exemplo de Brenac (log), Berkhan, Schumacher-Hall tiveram tendências mais pronunciadas de superestimativa ou subestimativa nos menores e maiores volumes. Assim, esses dois modelos Husch (log) e Spurr (log) foram selecionados para validação pelo método Bootstrap.

Fernandes et al. (2017), em um estudo de Equações volumétricas para *Swietenia macrophylla* King em sistema silvipastoril no oeste do Pará verificaram que os modelos que apresentaram maior precisão, foram o modelo Husch de simples entrada e os modelos Spurr e Schumacher-Hall de dupla entrada com a variável altura comercial. Estes resultados, preliminarmente, coincidem com os dados deste estudo.

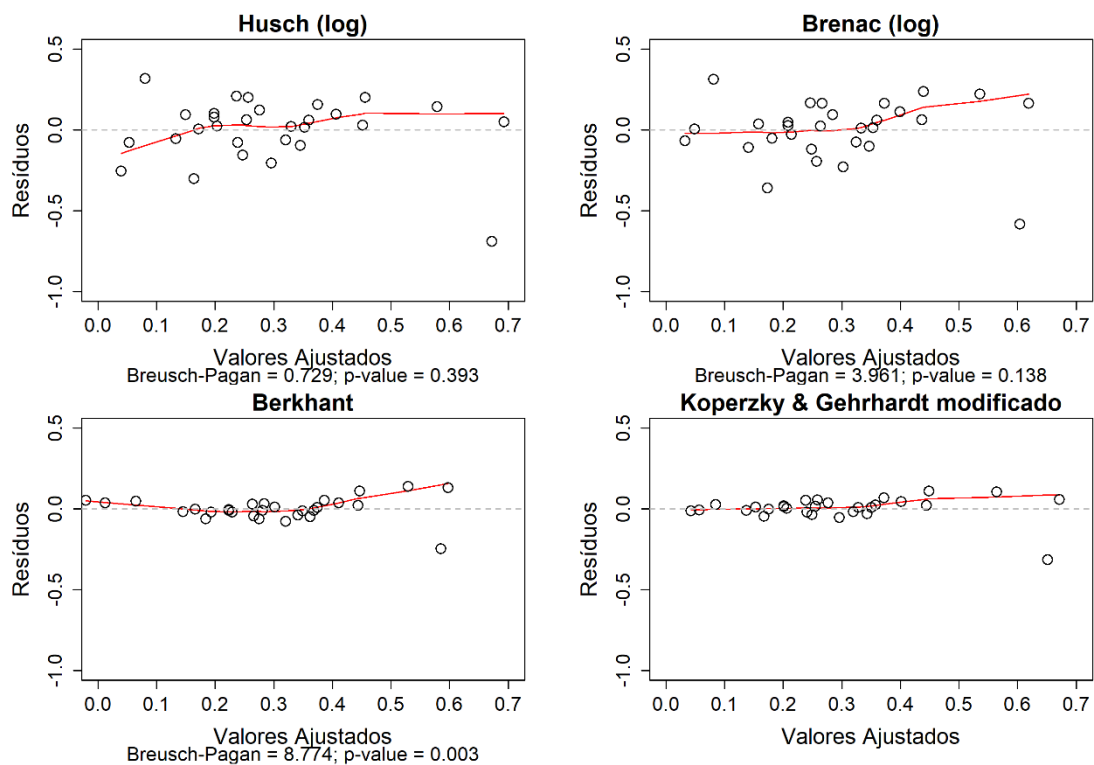
Os dados do presente estudo convergem em parte para os resultados apresentados por Barreto et al. (2014), quando da realização de ajustes de modelos para floresta nativa em Anapú-PA, onde verificaram que os modelo de Brenac e Husch apresentaram valores dos parâmetros da regressão satisfatórios, semelhantes entre si e uma distribuição de resíduos aleatória e homogênea, tornando os dois modelos ajustados muito precisos, semelhante ao encontrado por Rolim et al. (2006) na Floresta Nacional do Tapirapé-Aquir na Serra dos Carajás-PA.



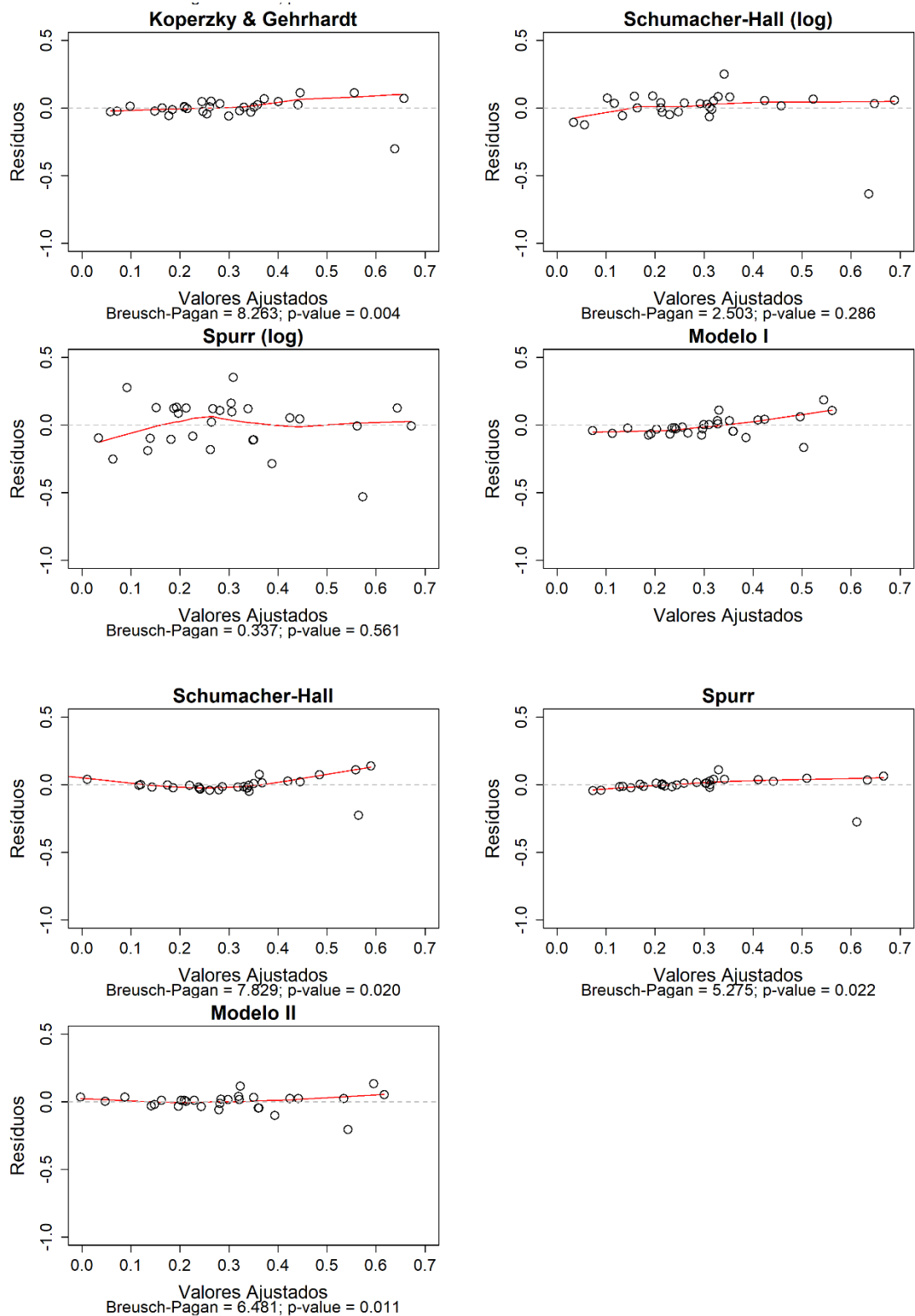
**Figura 17.** Gráficos e teste de normalidade dos resíduos da regressão dos valores de volume para povoamentos de *Swietenia macrophylla* (Mogno).



**Figura 17.** Continuação.



**Figura 18.** Distribuição dos resíduos ao longo dos valores estimados de volume para povoamentos de *Swietenia macrophylla* (Mogno).



**Figura 18.** Continuação.

Pelo método de validação Bootstrap, foram obtidas dez mil reamostras e ajustado cada amostra pelos dois modelos selecionados, assim foram obtidos a média dos



coeficientes da regressão e o intervalo de confiança ao nível de 5% de significância (Tabela 4).

**Tabela 6.** Resultados da Validação do modelo por Bootstrap

Modelo	Coef. - ajuste aos dados originais	Médias Coef. (Bootstrap)	Desvio padrão (Bootstrap)	Coef. IC Inferior (Bootstrap)	IC Superior (Bootstrap)
Husch (log)	-8.22	-8.24	0.56	-8.98	-6.67
	2.08	2.09	0.17	1.60	2.31
Spurr (log)	-8.52	-8.53	0.46	-9.17	-7.28
	1.47	1.47	0.09	1.21	1.60

Assim considerando que os coeficientes de ambos os modelos foram próximos a médias de coeficientes obtidas dos ajustes das reamostragens pelo método Bootstrap, bem como estiveram dentro do intervalo de confiança, esses modelos estão validados para ajuste de volume aos povoamentos de *Swietenia macrophylla* (Mogno) na área de estudo.

Dessa forma, ambos os modelos foram precisos e parcimoniosos para estimativa de volume nesses plantios, apresentaram normalidade dos resíduos, bem como homocedasticidade dos resíduos sem tendências pronunciadas de sub ou superestimativa da variável dependente volume e foram validados aos dados de reamostragem.

### 8.3.FATOR DE FORMA

Depois do diâmetro e da altura, o fator de forma é considerado a terceira variável, em importância, na obtenção do volume. Apesar do conceito simples do fator de forma, são escassos os trabalhos que fornecem informações técnicas dessa natureza para árvores de florestas tropicais (Locatelli et al., 2017).

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 superestimativa 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 0,93 para o plantio de mongo com idade de 20 anos.

Este fator de forma médio demonstra que essa espécie apresenta fustes próximos ao volume cilíndrico, ou seja, apresentam menor grau de conicidade, o que é essencial para maior aproveitamento do fuste no processamento industrial para produção de madeira. Porém, o uso desse fator não é recomendado para estimativa de volume, tendo em vista que as equações de volume ajustadas pela técnica de regressão proporcionam maior precisão nas estimativas de volume dos inventários florestais, devido à seleção criteriosa e cubagem de árvores-amostra abatidas ou em pé (Campos & Leite, 2009). Ou seja, sua precisão é inferior as equações de volume, logo, deve-se ter ponderações e cuidados quanto ao seu uso.

As estimativas apresentadas apontam uma importante diferença entre a espécie avaliada e valores superiores ao fator de forma preconizado pelos órgãos oficiais de licenciamento ambiental proposto por Heinsdijk & Bastos (1963) indicando o mesmo em 0,7.

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).

O valor médio do fator de forma do mogno, considerando-se a altura do tronco com diâmetro, é aplicado para a utilização do fuste em serraria, observando que o valor de 0,93 é de bom desempenho em relação aos resultados encontrados por Oliveira et al. (1999) para 7 (sete) espécies de eucaliptos com idades entre 17 - 21 anos. Neste estudo o fator de forma médio das espécies foi de 0,72 (desvio padrão de 0,09 e o coeficiente de variação 12%).

Machado (2008), encontrou fator forma médio para o Mogno de 0,43 num plantio homogêneo localizado próximo da mesma região do presente estudo com espaçamento de 2 x 2 m. Contudo, este valor pode ter sido influenciado pelo ataque da broca do

ponteiro (*Hypsipyla grandella*) que atingiu 100% do plantio e prejudicou diretamente seu crescimento e desenvolvimento.

Souza (2016), em seu estudo realizado em um plantio com 3.800 ha de *Bertholletia excelsa* na Fazenda Aruanã localizada na Rodovia AM-010 km 215 em Itacoatiara obteve fator de forma de 0,47 para a idade de 10 anos e 0,41 para a idade de 15 anos. Em plantios de Jatobá (*Hymenaea courbaril*) do Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental em Manaus, foram obtidos fatores de forma 0,72 e 0,68 para idades de 17 e 24 anos respectivamente (Silva, 2016).

Estudos do fator de forma médio realizados por Figueiredo et al. (2009) durante o romaneio de 20 espécies comerciais numa área de manejo florestal da fazenda Ipanema, localizada no Município de Bujari, Estado do Acre demonstram que o fator máximo obtido destas árvores em florestas nativas sujeitas a exploração foi de 0,927. Isto demonstra que o manejo do mogno em plantios consorciados pode produzir ótimos resultados.

Assim, com base nesses estudos, podemos dizer que o fator de forma é influenciado pela espécie, sítio, espaçamento, desbaste e idade, entre outros fatores (Scolforo, 1998).

#### 8.4.PROPRIEDADES FÍSICAS

As médias de umidade da madeira obtidas para as classes de diâmetro variaram de 33,9 à 50,4 %, enquanto as médias de densidade variaram entre 0,46 e 0,55 g/cm<sup>3</sup> (Tabela 7).

**Tabela 7.** Médias de densidade e umidade da madeira obtidas para classe diamétrica em povoamentos de *Swietenia macrophylla* (Mogno).

Classes de diâmetro	Média de Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Média de Umidade (%)
<b>17,0</b>	0,46	46,87
<b>26,0</b>	0,55	33,91
<b>33,7</b>	0,53	34,56
<b>41,4</b>	0,52	50,41

A variável umidade atendeu os pressupostos de homogeneidade da variância e normalidade dos resíduos após transformação logarítmica, enquanto a variável densidade da madeira não atendeu esses pressupostos, sendo necessário o uso de estatística não paramétrica. Para ambas as variáveis, foram encontradas diferenças significativas entre as classes de diâmetro (Figura 19).

Longwood (1962) em um brilhante e exaustivo estudo sobre madeiras comerciais e potenciais do Caribe relaciona o teor de umidade de *Swietenia macrophylla* nativas em países centro e sul-americanos, por exemplo no México (92,9%), Nicarágua (110,3%), Peru (106,8%), Brasil (56,8%) e Honduras (50,7%). Estes valores são elevados se comparados aos do presente estudo.

Sendo material estrutural, a madeira possui a desvantagem de ser heterogênea. Sequer amostras de uma mesma árvore apresentam valores das propriedades físicas e mecânicas absolutamente iguais (Brown et al., 1949). Segundo Rocha (1994), a heterogeneidade da madeira se deve aos diversos tipos de células com funções específicas, ao fato de ser constituída de uma série de compostos químicos, orgânicos e inorgânicos, e também aos fatores que afetam o desenvolvimento das árvores, tais como clima, solo, local de crescimento e os de ordem genética.

A quantidade de água afeta sobremaneira a resistência da madeira. As variações na umidade produzem diferenças na massa específica, resultando, portanto, em variações na resistência aos esforços mecânicos. Segundo Panshin & Zeeuw (1970), a resistência mecânica se altera inversamente com o conteúdo de umidade abaixo do PSF (ponto de saturação das fibras). Acima do PSF, têm-se evidenciado na literatura que as propriedades mecânicas da madeira permanecem estáveis quando ocorrem variações da umidade.

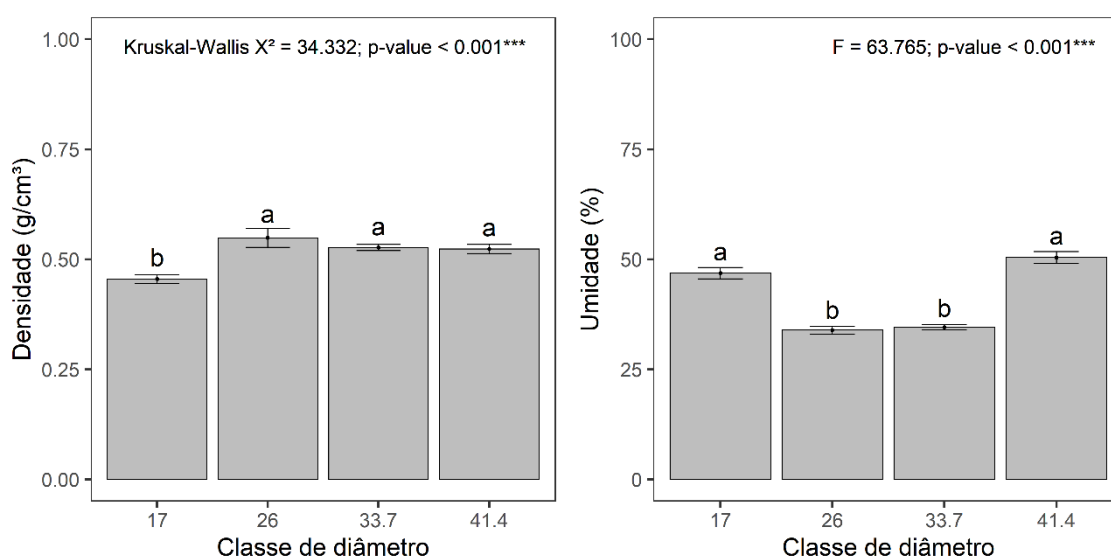
A madeira juvenil apresenta qualidade diferente da madeira adulta, sendo a última normalmente considerada para caracterizar os valores das propriedades das espécies. De modo geral, a variação das características da madeira corresponde a uma variação dos valores (densidade, comprimento de fibra, entre outros) durante o período juvenil, até atingirem durante a maturidade valores que se mantêm mais ou menos constantes (Jankowski, 1979).

Assis (2009), corrobora ao relatar que a proporção de madeira juvenil existente em uma tora é uma característica que depende fundamentalmente da idade da árvore, do ambiente de plantio e do manejo.

#### 8.4.1. A densidade da madeira

A primeira classe de diâmetro apresentou menor valor dessa variável e foi diferente estatisticamente das demais classes, que por sua vez não foram distintas entre si. Em relação a umidade da madeira a classe inferior e superior foram iguais entre si, tiveram os maiores valores e foram estatisticamente diferentes das classes intermediárias (Figura 19).

Considerando que maior densidade da madeira é desejável pela indústria madeireira, uma vez que é relacionada com a resistência, a partir da classe de 26 cm já é possível obter uma densidade ótima de madeira semelhante à maiores diâmetros. Assim, em práticas de desbastes essa informação pode auxiliar no planejamento dessas atividades, buscando o aproveitamento de indivíduos mais jovens, mas com boa densidade. Por sua vez, considerando que a umidade pode influenciar no processo e custo de secagem, as classes intermediárias podem ser desejáveis na otimização de gastos.



**Figura 19.** Efeitos das classes de diâmetro na densidade e umidade da madeira em povoamentos de *Swietenia macrophylla* (Mogno).

Os resultados encontrados para a densidade da madeira são compatíveis com aqueles descritos por Mainieri & Chimelo (1989) que apontam uma densidade de 0,52 g/cm<sup>3</sup> e um pouco abaixo com valores de 0,56 g/cm<sup>3</sup> de acordo com os valores de referência descritos pela ITTO (*International Tropical Timber Organization*).

Oliveira et al. (1999), estudando 7 espécies de eucaliptos aos 16 anos relatou que os valores médios do teor de umidade de cada espécie de eucalipto variaram de 62% (*Eucalyptus citriodora*, ***ρ<sub>bas</sub>*** 0,73 g/cm<sup>3</sup>) a 102% (*Eucalyptus grandis*, ***ρ<sub>bas</sub>*** 0,49 g/cm<sup>3</sup>). Nas madeiras mais densas, os teores de umidade foram mais baixos, como em *E. citriodora*, *E. paniculata* e *E. cloeziana*, com valores ***ρ<sub>bas</sub>*** de 0,73; 0,72; e 0,72 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Valores intermediários de teor de umidade foram encontrados no *E. tereticornis* e em *E. pilularis*, ***ρ<sub>bas</sub>*** de 0,66 e 0,60 g/cm<sup>3</sup>, sequencialmente, e mais elevados em *E. urophylla* e *E. grandis*, cujos valores ***ρ<sub>bas</sub>*** são de 0,54 e 0,49 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Os valores destas duas últimas espécies são elevados se comparados ao mogno a nível do teor de umidade. Observou-se, também, elevada variabilidade da umidade da madeira entre e dentro das árvores de uma mesma espécie de eucaliptos e de também para o mogno.

Slooten & Souza (1993), avaliaram as propriedades tecnológicas de algumas espécies madeireiras da Amazônia para manufatura de instrumentos musicais. A madeira de origem para os testes foi oriunda de floresta nativa em Rondônia com densidade de 0,48 g/cm<sup>3</sup> e apresentou valor abaixo ao registrado para mogno neste trabalho observando que o plantio é de 20 anos.

Estudos realizados em Goiás avaliaram um plantio de mogno com idade de 14 anos concernente as suas propriedades físicas e mecânicas. Segundo Reboleto et al. (2017) a densidade básica determinada nas análises foi de 0,47 g/cm<sup>3</sup> sendo inferior ao presente estudo.

Um estudo conduzido por Langbour et al. (2010) em Martinica, Pequenas Antilhas, aponta a densidade das árvores de Mogno com idade de plantio abaixo e acima de 40 anos apresentaram diferenças significativas em relação a árvores das florestas naturais. A densidade de árvores jovens (menor que 40 anos) foi de 0,472 g/cm<sup>3</sup>, 16,3% menor do que as árvores de plantio acima dos 40 anos, ou seja, 0,549 g/cm<sup>3</sup>. Da mesma

forma, em árvores de plantio com idade maior que 40 anos, a densidade foi 11,5% menor do que as árvores da floresta natural, ou seja, 0,612 g/cm<sup>3</sup>.

Segundo Normand & Sallenave (1955), plantações de mogno em Honduras tiveram suas densidades que variaram de 0,42 a 0,66 g/cm<sup>3</sup>, com média em torno de 0,54 g/cm<sup>3</sup>, sendo este valor médio próximo as classes diamétricas intermediárias e superiores observados neste estudo na Amazônia Central. Em Porto Rico, a densidade da madeira do mogno em plantios foi de 0,470 g/cm<sup>3</sup> a (Francis, 2003) sendo abaixo do valor deste estudo. Nas plantações asiáticas (Havaí, Fiji, Filipinas), os valores variaram de 0,510 a 0,570 g/cm<sup>3</sup> (Keating & Bolza, 1982). As árvores jovens das Ilhas Fiji (plantação de 30 anos) apresentaram densidade compatível com os resultados deste estudo com 20 anos de idade. Além disso, os valores de densidade da madeira em floresta natural estão de acordo com os da literatura (Berni et al., 1979; Chudnoff, 1984). Nas plantações asiáticas (Havaí, Fiji, Filipinas), os valores variaram de 0,510 a 0,570 g/cm<sup>3</sup> (Keating & Bolza, 1982). As árvores jovens das Ilhas Fiji (plantação de 30 anos) apresentaram densidade compatível com os resultados deste estudo com 20 anos de idade. Além disso, os valores de densidade da madeira em floresta natural estão de acordo com os da literatura (Berni et al., 1979; e Chudnoff, 1984). Os aumentos radiais (ou diminuições) da densidade (gravidade específica da madeira) são devidos a diferenças na estrutura anatômica, como proporção de vasos, fibras e espessura da parede celular (Panshin & De Zeeuw, 1980). Tendências radiais têm sido relatadas para relacionar a presença de madeiras jovens e maduras (Zobel & Sprague 1998). Em um plantio de mogno de 10 anos nas Filipinas, Sedenio (1991) estudou a influência da taxa de crescimento de 20 árvores na densidade específica (gravidade específica), comprimento das fibras e espessura da parede celular da madeira e demonstrou um padrão juvenil sistemático ao longo da direção radial. França et al. (2015), em um plantio com idade de 19 anos de *Khaya ivorensis* e *Khaya senegalensis* no norte do Espírito Santo obtiveram valores de densidade de 0,49 e 0,588 g/cm<sup>3</sup> respectivamente, portanto, sendo inferiores e superiores respectivamente em comparação com nosso estudo.

O Laboratório de Produtos Florestais-Serviço Florestal (USA), segundo Ross (2010), usa como referência para o valor da densidade básica de mogno brasileiro oriundo de florestas naturais 0,45 g/cm<sup>3</sup>. Fuentes & Hernandez (2008) ao estudarem as propriedades mecânicas e extrativos da madeira de *Swietenia macrophylla* analisaram a

densidade básica para mogno nativo no Peru 0,51 g/cm<sup>3</sup>. Estes estudos indicam valores inferiores e aproximados, respectivamente, ao do presente trabalho.

Panshin & 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 apresenta 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).

O cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem) é uma espécie de elevado valor comercial, com características similares ao mogno e cedros nativos. Em estudos realizados para avaliar as propriedades físicas, químicas e mecânicas desta espécie em plantio com 18 anos em Santa Catarina, o valor médio da massa específica básica ponderada foi de 0,33 g/cm<sup>3</sup> (Trianoski et al., 2014)

Verifica-se a partir das informações da literatura que há uma variedade nos resultados para *Swietenia macrophylla*, isto é plausível devido a origem do material nativo ter maior heterogeneidade, com influência da idade, local de desenvolvimento e material genético.

Alvarado et al. (2010) estudaram através da densitometria de raios X a variação da densidade do lenho e relação com a largura dos anéis de crescimento de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla*, da floresta tropical amazônica do Peru e concluíram que árvores de mogno dentro das populações mostraram diferenças significativas para a densidade média do lenho.

As diferenças entre densidades dentro de uma mesma espécie devem-se à diferença de sítios, principalmente aquelas relacionadas a fertilidade dos solos (Baker et al., 2004; Muller-Landau, 2004; Malhi 2006), o que justifica os diferentes resultados observados nos estudos citados., já que os dados dos trabalhos citados, podendo ser discrepantes, foram obtidos a partir de madeiras coletadas de vários países e os dados do presente trabalho foram coletados no Estado do Amazonas, Amazônia Central.



## 8.5. PROPRIEDADES MECÂNICAS

### 8.5.1. Compressão Paralela às Fibras

As médias de compressão MOE variaram de 4820,13 a 5683,88 Mpa, enquanto que as médias de compressão TFM variaram entre 35,30 e 47,38 Mpa (Tabela 8). A compressão MOE não obteve diferenças significativas entre as classes de diâmetro (Figura 21).

A compressão MOE não diferiu entre as classes diamétricas, contudo a compressão TFM apresentou maior valores nas classes intermediária e superior (penúltima classe), enquanto nas duas menores classes e maior classe essa variável foi menor estatisticamente e semelhante entre si (Figura 21). A compressão TFM apresentaram tendências nas quais as classes intermediária e superior (penúltima classe) apresentaram maiores valores. Essa tendência apresenta um padrão polinomial de aumento até a classe intermediária e decréscimo até a maior classe. Isso demonstra que há um pico ótimo de maior valor dessas variáveis na classe intermediária (Figura 21).

Reboleto et al. (2017) em plantios de *Swietenia macrophylla* com 14 anos realizados em Luziânia (GO) verificaram valores, em média, mais altos para a compressão paralela às fibras de 45,86 MPa.

Para o MOE e Resistência a compressão obtidos por ensaios de compressão paralela às fibras, Bortoleto Junior (2008) observou que os valores para sete espécie de *Pinus* variaram entre 6.705 e 13.320 para o MOE e, entre 32 e 44 MPa para a resistência à compressão paralela às fibras. Estes valores comparados aos observados no presente estudo foram superiores e relativamente próximos respectivamente.

Compressão paralela às fibras realizadas em amostras de mogno oriundas de florestas naturais (flora brasileira, peruana e mexicana) e plantios com idade abaixo de 40 e acima de 40 anos (em Martinica) correspondem respectivamente a 55,1, 40,6 e 45,1 Mpa (Langbour et al., 2010). Estes valores são superiores aos encontrados neste trabalho embora estejam razoáveis no intervalo de confiança que varia entre 35.30 MPa (mínimo) e 47.38 MPa (máximo). Kukachka (1959) em um relatório sobre as *Swietenia macrophylla* indica um valor de 46,06 MPa sendo superior a maioria das classes

diamétricas deste estudo com exceção é claro das amostras de diâmetro 26 do presente estudo.

França et al. (2015) obteve valores superiores, quando comparado ao mogno brasileiro, em um plantio com idade de 19 anos de *K. ivorensis* e *K. senegalensis* no norte do Espírito Santo, tendo constatado que estas espécies possuem resistência a compressão paralela às fibras caracterizadas como média e com seus respectivos valores de 43,1 e 46,1 MPa.

Trianoski et al. (2014) em estudos realizados para avaliar as propriedades físicas e mecânicas de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem) em plantio com 18 anos, observaram valores para resistência a compressão paralela às fibras de 25,30 Mpa e MOE de 9886,38 MPa, inferiores e superiores respectivamente aos obtidos neste presente trabalho.

De acordo com o banco de dados de madeiras brasileiras, Ibama (2018) a resistência à compressão paralela às fibras do cedro (*Cedrela odorata*) é de 53,46 MPa sendo, portanto, superior ao do presente trabalho.

Dados obtidos das fichas tecnológicas das madeiras de espécies que ocorrem na Floresta Nacional Jamari (RO), realizada pelo Laboratório de Produtos Florestais – SFB, LPF (2020), apontam valores superiores para cedro (*Cedrela odorata*) de 52,47 MPa. Kretschmann (2008) e Mello et al. (2010) citam que a madeira juvenil possui menor resistência mecânica que a madeira adulta. isto pode estar associado à menor densidade, comprimento e espessura da parede celular da madeira juvenil.

Os valores de referência descritos para a espécie segundo o banco de dados da ITTO (International Tropical Timber Organization) são superiores ao presente estudo pois apontam valores de 47,17 Mpa para resistência à compressão paralela às fibras. Por sua vez, Slooten & Souza (1993) encontraram um valor bem abaixo da média do mogno aos 20 anos de idade na Amazônia Central de 31,68 Mpa.

### 8.5.2. Flexão estática

A Flexão MOR não atendeu os pressupostos de homogeneidade da variância e normalidade dos resíduos após transformação por raiz quadrada, sendo necessário o uso de estatística não paramétrica.

As médias de Flexão MOE variaram de 7483,91 a 12272,40 Mpa, enquanto as médias de Flexão MOR variaram entre 69,63 e 91,23 Mpa (Tabela 8).

Tanto flexão MOE, quanto Flexão MOR apresentaram tendências semelhantes, onde as classes intermediária e superior (penúltima classe) apresentaram maiores valores. Essa tendência apresenta um padrão polinomial de aumento até a classe intermediária e decréscimo até a maior classe. Isso demonstra que há um pico ótimo de maior valor dessas variáveis na classe intermediária (Figura 21).

Os resultados obtidos por Reboleto et al. (2017) em plantios de *Swietenia macrophylla* com 14 anos, encontraram valores próximos para o MOR (74,40 MPa) e inferiores para MOE (9628,56 MPa) em relação aos plantios de mongó com 20 anos na Amazônia Central.

Os dados de flexão estática (MOR) em estudos de Langbour et al. (2010) encontraram valores para amostras oriundas de florestas naturais (FN) do Brasil, Peru e México de 88,3 MPa, para plantios abaixo de 40 anos 70,7 MPa e acima de 40 anos de 75,1 MPa. A média geral de todas as amostras deste estudo considerando as diversas classes diamétricas é de 74,91 (Tabela 8), que apesar da menor idade apresenta valores superiores. Na literatura os valores variam bastante (61,78 MPa por Longwood (1962), 81,08 MPa por Kukachka (1959) e 90,6 MPa por IPT, 1989).

De acordo com a classificação das propriedades mecânicas da madeira Ibama (2018) as médias gerais para o módulo de ruptura e para módulo de elasticidade são caracterizadas como alta e média respectivamente.

Ainda conforme Langbour et al. (2010), o módulo de elasticidade (MOE) observado demonstra valores sucessivos para florestas nativas no território sul e centro americano de 10.960 e para plantios de mogno nas Antilhas entre 10.850 (menor que 40 anos) e 11.100 MPa (maior que 40 anos). A média dos valores pertinentes (Tabela 8) encontrados são inferiores aos dados acima de 9.628,56 MPa. Contudo há valores

compatíveis nas classes diamétricas consistentes com os dados de Langbour et al. (2010), Kukachka (1959) 10617,93, Longwood (1962) 8825,29 MPa e IPT (1989) 9110,00 MPa.

França et al. (2015), em plantio de mogno africano com idade de 19 anos de *K. ivorensis* e *K. senegalensis* obtiveram valores MOR (78,4 e 83,3 MPa) e MOE ( 9.577 e 10.169 MPa) superiores, de modo geral, ao do presente estudo mas inferiores aos valores ótimos das classes diamétricas centrais ou intermediárias deste estudo.

Para Slooten & Souza (1993), nas análises das propriedades tecnológicas de várias espécies madeireiras da Amazônia, incluindo o mogno, para manufatura de instrumentos musicais os valores MOR e MOE foram 55,11 e 6.472,39 MPa respectivamente e, portanto, abaixo dos resultados obtidos para o presente trabalho.

Os valores de referência descritos segundo a ITTO (International Tropical Timber Organization) para os módulos de ruptura e elasticidade de *Swietenia macrophylla* são 86,10 e 9760,6 Mpa sendo considerados, comparativamente, altos e próximos respectivamente aos dados desta espécie em plantios na Amazônia Central.

Segundo Ibama (2018) a madeira de *Cedrela odorata* apresenta na propriedade de flexão estática, módulo de ruptura de 75,31 Mpa, e módulo de elasticidade de 9.708,58 MPa. Estes valores são em média muito próximos aos determinados para o mogno neste estudo.

Os valores de flexão estática para mogno deste presente estudo foram superiores aqueles determinados em *Toona ciliata* (cedro australiano) aos 18 anos em Santa Catarina onde o MOR e MOE à flexão foi de 48,83 e 6.488,37 Mpa respectivamente (Trianoski et al., 2014).

Segundo Larson (1973), o MOE e o MOR são altamente correlacionados pela densidade e, portanto, são influenciados pela quantidade de madeira juvenil existente

Geralmente o MOE dentro da espécie tende a estar linear ou curvilíneo relacionado à densidade (Kollmann & Côté 1984; Kretschmann, 2010).

Quanto maior for o módulo de elasticidade, maior é a capacidade de a madeira retornar ao seu estado padrão sem que ocorra deslocamento a nível atômico, ocasionando assim a deformação plástica da madeira, também denominada de irreversível (Gallio et

al., 2016). Assim, neste estudo as classes intermediárias apresentaram capacidade de resistência à deformação.

A razão para existência de valores superiores, principalmente quando comparando com madeiras oriundas de florestas naturais, para MOR e MOE deve-se ao fato das propriedades anatômicas e mecânicas da madeira serem diferenciadas em razão da idade do lenho, na qual a porção adulta apresenta características mecânicas superiores e mais homogêneas do que a porção de madeira juvenil (Soriano et al., 2011).

### 8.5.3. Dureza

As médias de Dureza radial variaram entre 35,44 e 53,77 Mpa, as médias de Dureza tangencial variaram entre 32,75 e 58,06 Mpa e as médias de Dureza transversal variaram entre 43,28 e 62,78 Mpa (Tabela 8)

A variável Dureza radial atendeu os pressupostos de homogeneidade da variância e normalidade dos resíduos após transformação por raiz quadrada. As variáveis Dureza tangencial e Dureza transversal não atenderam esses pressupostos, sendo necessário o uso de estatística não paramétrica. Por sua vez, as demais variáveis atenderam esses pressupostos e foi usada estatística paramétrica para essas variáveis. Para maioria das variáveis deste estudo, foram encontradas diferenças significativas entre as classes de diâmetro (Figura 20).

As durezas radial, tangencial e transversal apresentaram tendências semelhantes com aumento à medida que houve aumento da classe diamétrica, onde as duas classes superiores apresentaram maiores valores. Essas diferenças foram mais pronunciadas entre as duas classes superiores e as classes inferiores, com exceção da dureza transversal onde essas diferenças foram menores (Figura 20).

Segundo Reboleto et al. (2017) em plantios de *Swietenia macrophylla* com 14 anos indicam valores inferiores de (36,27 MPa) para a dureza paralela às fibras em relação aos plantios de mongu com 20 anos com 44,05 MPa em média.

Os resultados encontrados em plantios de 19 anos de mogno africano das espécies *Khaya ivorensis* (Tangencial 32,4 e Radial 36,8 MPa) são inferiores quando comparados ao mogno brasileiro que apresenta valores crescentes de acordo com aumento diamétrico e inferiores (radialmente e tangencialmente) para o *Khaya*

*senegalensis* (Tangencial 62,1 e Radial 59,4 MPa) de acordo com dados apresentados por França et al. (2015).

Neste estudo, os valores em escala se assemelham as afirmações de Klock (2000) quando cita que normalmente a dureza no sentido axial é maior que a dureza no sentido tangencial, e que esta é aproximadamente igual a dureza radial observando os dados da tabela 2. Os valores descritos pelo IPT (1989) referentes a dureza Janka paralela às fibras de 49,4 MPa estão abaixo do valor encontrado neste estudo.

Segundo Slooten & Souza (1993), nas análises desta propriedade para *Swietenia macrophylla* em florestas naturais os valores transversais e tangenciais foram respectivamente 50,70 e 42,66 Mpa representando valores aproximados e inferiores para o mogno com 20 anos de idade.

De acordo com as fichas tecnológicas das madeiras de espécies que ocorrem na Floresta Nacional Jamari, LPF (2020), o cedro (*Cedrela odorata*) apresenta dureza tangencial de 74,73 MPa e transversal de 61,10 MPa, superior ao do presente trabalho para o mogno. Os valores de referência segundo a ITTO para a dureza tangencial e radial são consecutivamente 36,28 e 48,54 Mpa, médias inferiores (tangencial) e superiores (radial) aos obtidos neste estudo. Resultados observados por Trianoski et al. (2014) sobre a dureza média (20,4 MPa) em *Toona ciliata* (cedro australiano) aos 18 anos em Santa Catarina apontam valores inferiores aos encontrados neste presente estudo.

Silva Filho et al. (1992) em estudos sobre a Influência da densidade na dureza Janka em oito espécies madeireiras da Amazônia Central encontraram proporcionalidade entre a resistência à penetração e a densidade básica de diferentes espécies amazônicas. Neste estudo não houve uma tendência a nível de proporcionalidade semelhante entre a resistência à penetração e a densidade básica.

A literatura ressalta que não há uma mudança absoluta da madeira juvenil para madeira adulta em um ano, mas sim em vários anos. Quase todas as propriedades físicas e químicas da madeira, dentro da zona juvenil, são muito variáveis e praticamente constantes na madeira adulta (Zobel, 1980)

#### 8.5.4. Cisalhamento

A média geral relacionada a esta propriedade (10,03 Mpa) é superior ao valor de referência apresentado pela ITTO (9,41 Mpa). As médias de cisalhamento da madeira obtidas para as classes de diâmetro variaram de 8,24 à 12,76 Mpa (Tabela 8).

O cisalhamento foi maior nas duas classes superiores, contudo a maior classe apresentou maior diferença com as classes inferiores e intermediárias (Figura 20). Dados de ensaios realizados pelo IPT (1989) com 10,9 MPa são próximos ao nosso estudo. França et al. (2015) em um plantio de mogno africano com idade de 19 anos de *K. ivorensis* e *K. senegalensis* obtiveram valores de 12,6 e 18,6 MPa respectivamente, que foram superiores ao do presente estudo. Os valores observados por Kukachka (1959) para resistência ao cisalhamento de 9,03 MPa são inferiores ao presente estudo. De acordo com os dados apresentados por Trianoski et al. (2014) em testes realizados para determinar a resistência ao cisalhamento em *Toona ciliata* (cedro australiano) aos 18 anos indicam valores em média inferiores (8,04 MPa), ao mogno em plantios na Amazônia central. Testes de cisalhamento realizados em amostras de *Swietenia macrophylla* por Reboleto et al. (2017) em plantios de 14 anos também indicam valores inferiores (9,38 MPa). Sendo que aparentemente estes valores evoluem de acordo com os diâmetros das árvores.

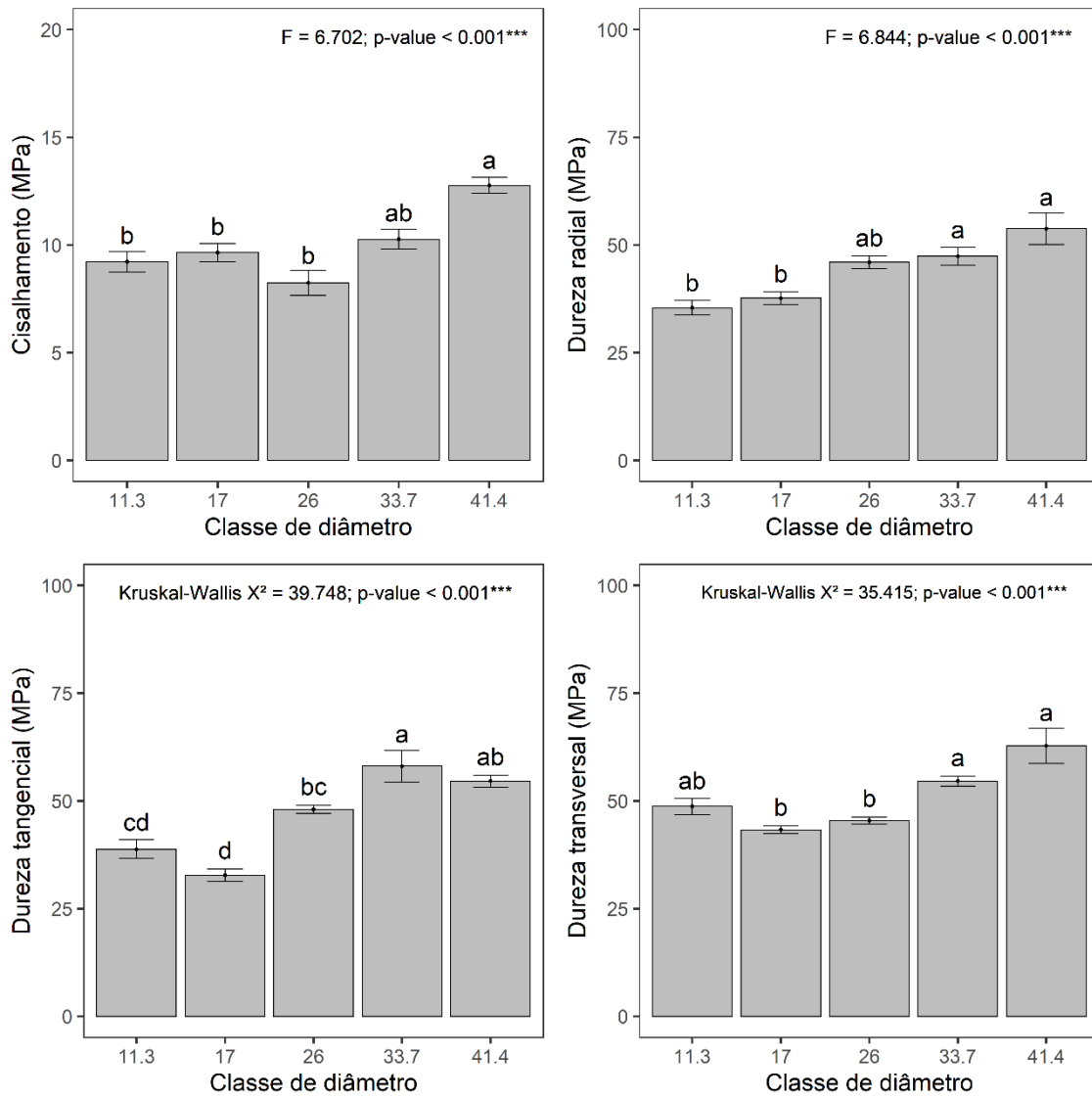
A resistência ao cisalhamento da madeira é diretamente proporcional à sua densidade, mas depende principalmente do sentido em que o esforço é aplicado em relação aos anéis de crescimento: Enquanto no plano tangencial há uma grande influência da diferença entre a porcentagem dos lenhos inicial e tardio que são rompidos, no plano radial há grande influência dos raios da madeira. No que se refere à influência dos raios da madeira, as madeiras com raios largos e em abundância apresentam baixas resistências ao cisalhamento em relação às com raios mais estreitos e em menores quantidades. De fato, a área superficial deste tecido frágil na face radial, afeta de forma significativa a sua resistência. No plano tangencial há uma grande influência do crescimento da árvore, ou da diferença de resistência entre os lenhos inicial e tardio. Assim, madeiras com maior porcentagem de lenho adulto, e conseqüentemente maior porcentagem de lenho tardio e de material lenhoso por unidade de volume, normalmente apresentam maiores resistências ao cisalhamento no plano tangencial que madeiras com maiores percentuais de lenho inicial (Moreschi, 2010).

Segundo Slooten & Souza, (1993) o valor do cisalhamento de madeira de mogno originárias de Roraima visando aplicação para o uso em instrumentos musicais é de 8,73 Mpa. Moraes Neto et al. (2009) cita um valor próximo de 8,7 MPa. Ambos valores inferiores aos resultados encontrados para este estudo.

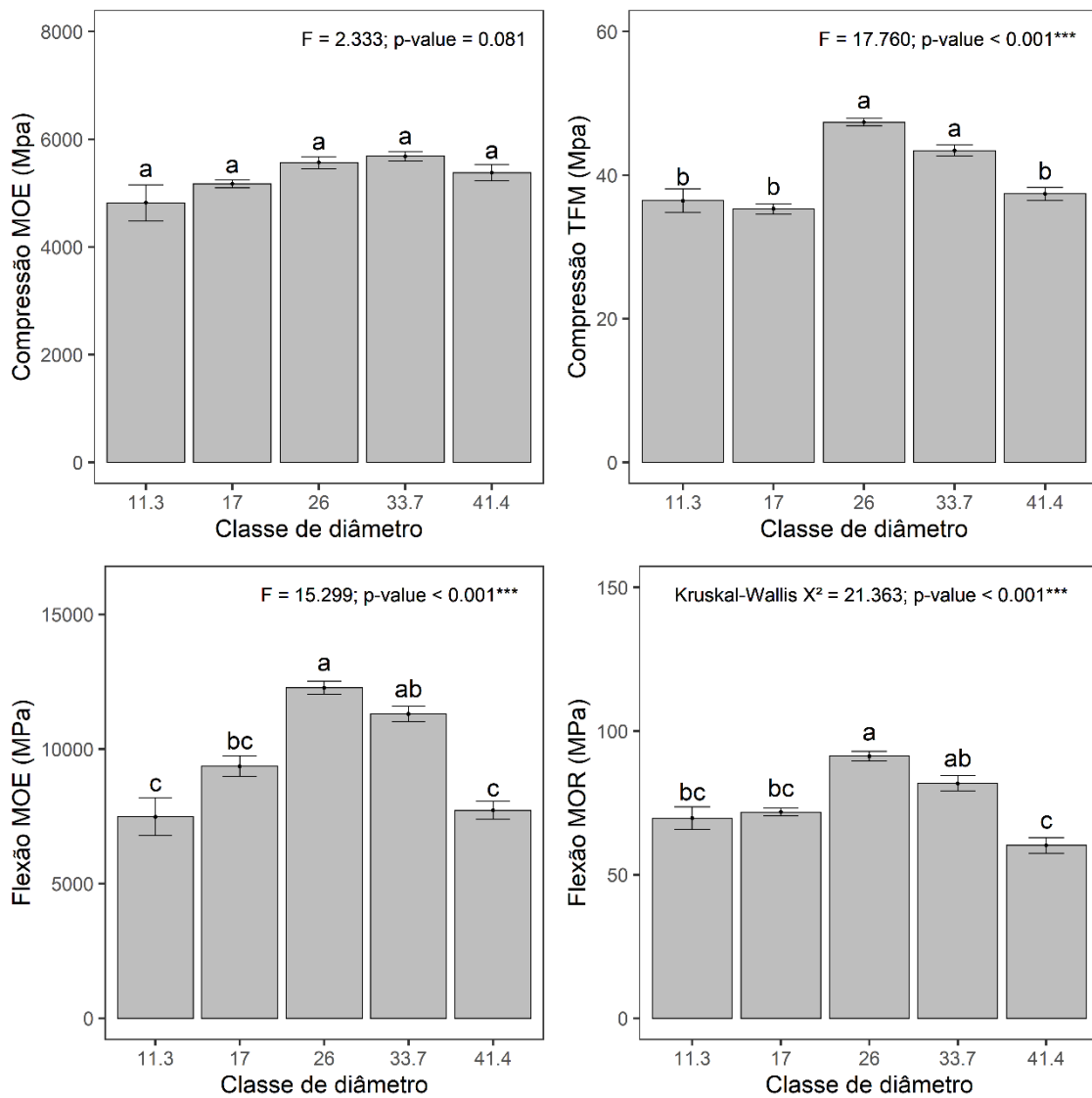
**Tabela 8.** Médias de variáveis mecânicas obtidas para classe diamétrica em povoamentos de *Swietenia macrophylla* (Mogno).

Variáveis	Classes de diâmetro				
	11.3	17.0	26.0	33.7	41.4
Cisalhamento (MPa)	9.22	9.65	8.24	10.27	12.76
Dureza radial (MPa)	35.44	37.66	45.98	47.38	53.77
Dureza tangencial (MPa)	38.77	32.75	48.00	54.58	58.06
Dureza transversal (MPa)	48.73	43.28	45.41	54.60	62.78
Compressão MOE (MPa)	4820.13	5171.42	5566.50	5683.88	5379.16
Compressão TFM (MPa)	36.43	35.30	47.38	43.42	37.41
Flexão MOE (MPa)	7483.91	9360.09	12272.40	11303.81	7722.59
Flexão MOR (MPa)	69.63	71.74	91.23	81.76	60.19





**Figura 20.** Efeitos das classes de diâmetro no Cisalhamento e Dureza da madeira em povoamentos de *Swietenia macrophylla* (Mogno).



**Figura 21.** Efeitos das classes de diâmetro na compressão e flexão da madeira em povoamentos de *Swietenia macrophylla* (Mogno).

## 8.6. IMPLICAÇÕES AO MANEJO DA ESPÉCIE

Segundo a classificação Ibama (2011), para as propriedades mecânicas da madeira, podemos concluir que: MOR é classificado como alto; MOE médio; Cisalhamento médio; dureza média e compressão paralela às fibras média

Estudos mostram que alguns fatores podem afetar as propriedades da madeira e podem ser inerentes a ela e também ao ambiente no qual se desenvolve. Kellison (1981), relata que a procedência da semente pode, até mesmo, influenciar as propriedades da

madeira. Em algumas espécies de *Pinus* plantadas nas regiões tropicais, é comum encontrar um fenômeno conhecido como “Foxtail”. As propriedades dessas árvores, são adversamente afetadas pelas acículas oclusas, na qual se estende seu comprimento do ponto de origem nos internós de crescimento do tronco das árvores. A presença de acículas oclusas, reduz o peso específico da madeira, e pode efetivamente, excluí-la para o uso em produtos que utilizam a madeira maciça, além disso, pode afetar adversamente a produção de polpa e papel (Latorraca & Albuquerque,2000).

A comparação voltada para as características da madeira de florestas naturais com árvores de plantios é complicada porque vários parâmetros são desconhecidos, como a proveniência do material de plantação e as condições de crescimento na floresta natural. Como faltam dados publicados sobre as características da madeira de mogno cultivado em plantações, nossos resultados fornecem uma primeira aproximação útil dos efeitos prováveis em comparação com uma ampla amostra de material de origem natural. Segundo Longwood (1962), os teores de umidade observados oriundos em de florestas são visivelmente superiores e se aproximam dos valores indicados no presente estudo somente quando comparados com a madeira de plantios de Honduras. O mogno, quando cultivado em plantações na Amazônia Central (Itacoatiara-AM), pode ser considerado como madeira leve, com densidade média a 12% de umidade, variando de 0,46 a 0,55 g/cm<sup>3</sup>. Sua densidade média tende a ser menor que a da madeira proveniente de florestas naturais na América Central e do Sul (ITTO, 2020; Langbour et al., 2010; Berni et al., 1979). Contudo é superior à plantios com idade acima ou abaixo de 20 anos ou até mesmo de dados oriundos florestas nativas (Ross, 2010; Slooten & Souza, 1993), como em plantios em Martinica com 0,47 g/cm<sup>3</sup> (<40 anos) e estado de Goiás (14 anos) segundo Langbour et al. (2010) e Reboleto et al. (2017) respectivamente. Comparando com o mogno africano das espécies *Khaya ivorensis* (0,49 g/cm<sup>3</sup>) e *Khaya senegalensis* (0,588 g/cm<sup>3</sup>) aos 19 anos (França et al., 2015) o desempenho foi superior e inferior respectivamente ao plantio de *Swietenia macrophylla* aos 20 anos. O Instituto de pesquisas Tecnológicas (IPT,1989) apresenta densidade semelhante (0,52 g/cm<sup>3</sup>) ao que foi mencionado neste estudo em plantios na Amazônia Central. Observando que neste caso as amostras são de floresta nativa.

Embora as características gerais da madeira de plantio tenham desempenho relativamente menor do que as da floresta natural, elas são suficientes para usos finais específicos ao mogno. Os valores foram compatíveis e favoráveis, comparativamente,

com o material das plantações de outros lugares. No Quadro 1 abaixo segue o resumo das propriedades físicas e mecânicas determinadas.

Latorraca & Albuquerque (2000) contribui afirmando que um maior impacto é que as árvores de reflorestamento alcançam tamanho de colheita mais jovens do que as árvores de florestas nativas.

**Quadro 1.** Caracterização tecnológica da madeira de *Swietenia macrophylla* King

PROPRIEDADE FÍSICA		Mogno juvenil 20 anos		
1	Teor de umidade (%)	41,43		
2	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )	0,52		
PROPRIEDADE MECÂNICA (Mpa)		Mogno juvenil 20 anos		
3	Compressão paralela às fibras	TFM		MOE
		39,988		5324,218
4	Flexão estática	MOR		MOE
		74,91		9628,56
5	Dureza Janka	RADIAL	TANGENCIAL	TRANSVERSAL
		44,05	46,43	50,96
6	Cisalhamento	10,03		

## 9. CONCLUSÃO

Os modelos Husch (log) de simples entrada e Spurr (log) de dupla entrada obtiveram os melhores ajustes permitindo estimar o volume comercial da madeira com maior precisão. O fator de forma calculado para o plantio de *Swietenia macrophylla* é de 0,93, o que demonstra que essa espécie apresenta fustes com menor grau de conicidade, o que é essencial para maior aproveitamento do fuste no processamento industrial para produção de madeira. As classes intermediárias apresentaram maior densidade e menor umidade, demonstrando que, a partir da classe de 26 cm já é possível obter uma densidade ótima de madeira e as classes intermediárias apresentam melhor resposta a secagem. As classes intermediárias também apresentaram maiores valores de compressão TFM, flexão MOE e Flexão MOR, o que demonstra que as classes intermediárias apresentaram maior capacidade de resistência e flexibilidade à deformação, enquanto as classes superiores apresentaram maiores valores de dureza tangencial e transversal e maiores valores de cisalhamento, o que demonstra maior densidade e provavelmente maior porcentagem de lenho tardio.

## 10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a utilização de tratamentos silviculturais, os valores estimados para caracterização volumétrica do plantio na idade de 20 anos podem ser potencialmente superados. A caracterização tecnológica mais ampliada desta espécie é fundamental para seu beneficiamento e enquadramento em determinados usos. Para uma análise mais precisa da qualidade da madeira, recomenda-se o planejamento de uma metodologia que especifique as amostras de cerne e alburno (e/ou transição) em árvores que não possuem cerne bem desenvolvido. A caracterização tecnológica pode ser utilizada como parâmetro para demais estudos relacionados à qualidade da madeira desta espécie, visto que as condições de clima, solo, e práticas silviculturais variam em cada região. Recomenda-se a análise do fator de forma comercial (0,93), 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.

## 11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

ADEODATO, S.; VILLELA, M.; BETIOL, L.S.; MONZONI, M. Madeira de ponta a ponta: o caminho desde a floresta até o consumo São Paulo: FGV RAE, 2011. 128p.

ALMEIDA, D.H.; MOLINA, J.C.; ALMEIDA, T.H.; CALIL JUNIOR, C.; ALVES, A.C.L. Determinação do teor de umidade e densidade básica pra espécies de Pinus e Eucalipto. Revista Científica Eletrônica da FAIT, São Paulo, 2014

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

ALVARADO, J.R.; POLLITO, P.A.Z.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação da densidade do lenho e relação com a largura dos anéis de crescimento de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla*, da floresta tropical amazônica do Peru. Scientia Forestalis. 2010.

ALVIM, P.T. Agricultura apropriada para o uso contínuo dos solos da Região Amazônica. Espaço, Ambiente e Planejamento, Rio de Janeiro, v.2, n.11, p.1- 72, 1990.

AMARAL, L.G. Meliaceae. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 1981. 56 p. (Flora do Estado de Goiás, v.2. Publicação, 37).

AMAZONAS. Decreto Estadual n° 32.986, de 30 de novembro de 2012. Regulamenta a Lei n° 3.789, de 27 de julho de 2012, que dispõe sobre a Reposição Florestal no Estado do Amazonas e dá outras providências.

AMAZONAS. Lei Estadual n° 3.789 de 27 de julho de 2012. DISPÕE sobre a reposição florestal no Estado do Amazonas e dá outras providências.

ARAÚJO, H.J.B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. *Floresta* 2007; 37(3): 399-416

ASSIS, T. F. Estratégias de melhoramento para a obtenção de madeira de qualidade para laminação e serraria. 2009. Disponível em:<<http://www.celso-foelkel.com.br>>. Acesso em: 7 jul. 2020.

ASTM, American society for testing and materials. Standard methods of testing small clear specimens of timber: ASTM D 143-94. Philadelphia, 2000. 31p.

BAKER, T.R.; PHILLIPS, O.L.; MALHI, Y.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; FIORE, A.; ERWIN, T.; KILLEN, T.J.; LAURANCE, S.G.; LAURANCE, W.F.; LEWIS, S.L.; LLOYD, J. 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in amazonian forest biomass. *Global Change Biology*, 10: 545-562

BARRETO, F.B.; LEÃO, F.M.; MENEZES, M.C.; SOUZA, D.V. Equação de volume para o apoio ao manejo comunitário de empreendimento florestal em Anapu, Pará. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v.34, n. 80, p.321-329, 2014. <http://dx.doi.org/10.4336/2014.pfb.34.80.721>

BATISTA, J.L.F.; MARQUESINI, M.; VIANA, V.M. Equações de volume para árvores de caxeta (*Tabebuia cassinoides*) no Estado de São Paulo e sul do Estado do Rio de Janeiro. *Scientia Forestalis*, n. 65, p.162-175, 2004.

BAYER, F.; SANTANA, J.; GONÇALVES, P.; CRIBARI-NETO, F. Comparação de critérios de seleção em modelos de regressão beta. 2009. Disponível em: <<http://emr11.de.ufpe.br/cd/trabalhos/T48.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2019.

BERNI, C.A, BOLZA E., CHRISTENSEN, F.J. 1979. South American Timbers—the Characteristics, Properties and Uses of 190 Species. CSIRO, Melbourne.

BESSA, M. A. S. Dimensionamento de estruturas de madeira tropical utilizando a densidade básica: madeira seca. 2018. xviii, 166 f., il. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo)—Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

BORTOLETO JUNIOR, G. Estudo de algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus merkusii*. *Scientia Forestalis*, v.36, n.79, p.237-243, 2008

BRASIL, Presidência da República, Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Decreto no 4.722, de 5 de junho de 2003. Estabelece critérios para exploração da espécie *Swietenia macrophylla* King (mogno), e dá outras providências. Disponível em:

[HTTP://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2003/D4722.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2003/D4722.htm). Acesso em: 21 abr. 2019.

BRASIL. Decreto nº 5.975, de 30 de novembro de 2006. Regulamenta os arts. 12, parte final, 15, 16, 19, 20 e 21 da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, o art. 4º, inciso III, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, o art. 2º da Lei nº 10.650, de 16 de abril de 2003, altera e acrescenta dispositivos aos Decretos nºs 3.179, de 21 de setembro de 1999, e 3.420, de 20 de abril de 2000, e dá outras providências.

BRASIL. Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.

BRAZ, R.L.; OLIVEIRA, J.T.S.; RODRIGUES, B.P.; ARANTES, M.D.C. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Toona ciliata* em diferentes idades, FLORESTA, Curitiba, PR, v.43, n.4, p.663-670, out/dez, 2013.

BROWN, H.P.; PANSHIN, A.J.; FORSAITH, C. C. **Textbook of wood technology:** structure, identification, defects, and uses of the commercial wood of the United States. New York: McGraw-Hill, 1949. v. 1. 652 p.

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

BURLEY, J.; WOOD, P.J. Manual sobre investigaciones de especies y procedencias con referencia especial a los tropicos. Londres: Commonwealth Forestry Institute/ University of Oxford, 1979. 233 p.

BUTTERFIELD, R.P. Promoting biodiversity: advances in evaluating native species for reforestation. *Forest Ecology and Management*, v.75, p.111-121, 1995.

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. 2009. Mensuração florestal: perguntas e respostas. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 548 pp.

CANAL RURAL. **Brasil terá a maior floresta de mogno africano do mundo.** Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/sites-e-especiais/brasil-tera-a-maior-floresta-de-mogno-africano-do-mundo/> / Acesso em: 23 de setembro de 2018

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

CARVALHO, P.E.R. Mogno: *Swietenia macrophylla*. Embrapa Florestas: Embrapa, 2007. 12p. (Circular Técnica, n.140).

Carvalho, S.P.C.; Calegario, N.; Silva, F. F.; Borges, L. A. C.; Mendonça, A. R.; Lima, M. P. 2011. Modelos não lineares generalizados aplicados na predição da área basal e volume de *Eucalyptus* clonal. *Cerne*, Lavras, 17(4): 541-548.

CHUDNOFF, M., 1984. *Tropical Timbers of the World*. US Department of Agriculture, Washington.

CNCFlora. *Swietenia macrophylla* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Swietenia macrophylla](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Swietenia%20macrophylla)>. Acesso em 9 abril 2019.

COSTA, J.R.; CASTRO, A.B.C.; WANDELLI, E.V.; CORAL, S.C.T.; SOUZA, S.A.G. de. Aspectos silviculturais da castanhado-brasil (*Bertholletia excelsa*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 34, p. 842-850, 2009.

COSTA, J.R.; MORAIS, R.R.; CAMPOS, L.S. Cultivo e manejo do mogno (*Swietenia macrophylla* King). Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2013. 36p. (Documento / Embrapa Amazônia Ocidental; 114)

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

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA FLORESTAL. Programa Nacional de Pesquisa Florestal. Curitiba, 1990. 25p.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Avaliação Global de Recursos Florestais 2020 (FRA 2020). Disponível em: <<http://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/en/>>. Acesso em: 11/05/2020.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Estado de la información forestal en Brasil: VII. ESTADO ACTUAL DE LA INFORMACION SOBRE PRODUCTOS FORESTALES – SANTIGAO, CHILE. 2002. Disponível em: <[http://www.fao.org/3/AD399S/AD399s09.htm#P3100\\_301183](http://www.fao.org/3/AD399S/AD399s09.htm#P3100_301183)>. Acesso em: 09/04/2019

FERNANDES, A.M.V.; GAMA, J.R.V.; RODE, R.; MELO, L.O. Equações volumétricas para *Carapa guianensis* Aubl. e *Swietenia macrophylla* King em sistema silvipastoril na Amazônia. *Nativa*, v.5, n.1, p.73-77, 2017.

FIGUEIREDO, E.O.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A.D. Estimativa de percentual de casca e do fator de forma em povoamentos jovens de teca (*Tectona grandis* L.f.). Rio Branco-AC: Embrapa Acre, 2005. 5 p. (Comunicado Técnico, 165)

FIGUEIREDO, E.O.; SCHROEDER, R.; PAPA, D.A. Fatores de forma para 20 espécies florestais comerciais da Amazônia. Rio Branco: Embrapa Acre, Comunicado Técnico 173, 2009, 4 p.

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



FRANÇA, T.S.F.A.; ARANTES, M.D.C.; PAES, J.B.; VIDAURRE, G.B.; OLIVEIRA, J.T.DAS.; BARAÚNA, E.E.P. 2015. CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DAS MADEIRAS DE DUAS ESPÉCIES DE MOGNO AFRICANO. *CERNE*, 21(4), 633-640.

FRANCIS J. 2003. Wood densities of mahoganies in Puerto Rican plantations. *Ecological Studies* 159: 358–361.

FRANCO, E. Empresário investe na maior floresta de mogno africano do mundo. CANAL RURAL UOL, 23 jun. 2018. Disponível em: Acesso em: <https://canalrural.uol.com.br/noticias/agricultura/empresario-investe-na-maior-floresta-de-mogno-africano-do-mundo/> 11 abr. 2019.

FUENTES, R.L.A.; HERNANDEZ, R. Efecto de los extractivos y la estructura anatómica en las propiedades mecánicas de la madera de caoba, *Swietenia macrophylla* King. *Colômbia Florestal*, v.11, n.1, Bogotá, 2008.

GALLIO, E.; SANTINI, E.J.; GATTO, D.A.; DE SOUZA, J.T.; RAVASI, R.; DE MENEZES, W.M.; FLOSS, P.A. & BELTRAME, R. (2016) - Caracterização Tecnológica da Madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. *Revista Scientia Agraria Paranaensis*, vol. 15, n. 3, p. 244-250

GALVÃO, A.P.M. Estimativas de umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil. IPEF, n.11, p.53-65, 1975.

GLASS, S.V.; ZELINKA, S.L. Moisture relations and physical properties of wood. In: Forest Products Laboratory-FPL. Wood Handbook: wood as an engineering material. Madison: FPL/USDA, 2010, chapter 4, p. 80-98.

GONÇALVES, F. G.; PINHEIRO, D. T. C.; P AES, J. B.; CARVALHO, A. G.; OLIVEIRA, G. L. Durabilidade natural de espécies florestais madeireiras ao ataque de cupim de madeira seca. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 1, p. 110-116, 2013.

GRIJPM, P. Resistance of Meliaceae against the shoot borer *Hypsipyla* with particular reference to *Toona ciliata* M. J. Roem.var. *australis* (F. V. Muell.) C. DC. In: WHITMORE, J. L. (Ed.) Studies on the shootborer *Hypsipyla grandella* (Zeller) Lep. Pyralidae. Vol. III. San José: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1976, p. 90–96 (Miscellaneous Publications, 101).

GROGAN, J. E. Big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in southeast Pará, Brazil: a life history study with management guidelines for sustained production from natural forests. 2001. 422 f. Tese (Ph.D.) - Yale University School of Forestry & Environmental Studies, New Haven, CT, USA.

GROGAN, J. Mogno na Amazônia brasileira: ecologia e perspectivas de manejo. Belém, PA: Imazon, 2002. 64 p.

GUIMARAES NETO, ASSIS BRASIL et al. Avaliação do plantio homogêneo de mogno, *Swietenia macrophylla* King, em comparação com o plantio consorciado com *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, após 40 meses de idade. *Rev. Árvore*, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 775-784, 2004.

GUIMARÃES, D. P. Espécies não tradicionais para reflorestamento no Cerrado. In: GALVÃO, A.P.M., coord. Espécies não tradicionais para plantios com finalidades produtivas e ambientais. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1998. p.25-30. Não publicado.

HAGGAR, J. P.; BRISCOE, C. B.; BUTTERFIELD, R. P. Native species: a resource for the diversification of forestry production in the lowland humid tropics. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 106, p. 195-203, Oct. 1998.

HEINSDIJK, D.; BASTOS, A. M. Inventários florestais na Amazônia. *Boletim do Serviço Florestal*, v. 6, 1963. 100p.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.J.; PINTO, A.C.M.; SILVA, R.P.; ROCHA, R.M.; TRIBUZY, E.S. 2004. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. *Revista Floresta*, 34: 295-304.

HILJE, L.; CORNELIUS, J. Es in manejable *Hypsipyla grandella* como plaga? *Manejo Integrado de Plagas*, Turrialba, n.61, p.i-iv, 2001.

HIRAMATSU, N. A. Equações de volume comercial para espécies nativas na região do Vale do Jari, Amazônia Oriental. 2008. 107 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

HOPE C, CASTILLA-RUBIO J.C. A First cost benefit analysis of action to reduce deforestation. Working paper (Cambridge Univ, Cambridge, UK). Disponível em: <digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc13708/>. Acesso em: 11/04/2019.

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório 2017. Disponível em: <[https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf)>. Acesso em: 11/04/2019

IBAMA. INSTRUÇÃO NORMATIVA 17, DE 19 DE OUTUBRO DE 2001. Suspende o transporte, o beneficiamento, a comercialização de Mogno (*Swietenia macrophylla* King), por tempo indeterminado, Brasília, DF, 2001. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/pnf/\\_arquivos/in\\_Ibama\\_17\\_01.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/pnf/_arquivos/in_Ibama_17_01.pdf)>. Acesso em: 09 ABRIL de 2019

IBAMA. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 07 DE 22 DE AGOSTO DE 2003. Disciplina as atividades de plano de manejo florestal sustentável que contemplem a exploração de da espécie mogno (*Swietenia macrophylla* King), Brasília, DF, 2003. Disponível em: <<http://www.Ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/IBAMA/IN0007-220803.PDF>>. Acesso em: 09 ABRIL de 2019.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da extração vegetal e da silvicultura 2017. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs\\_2017\\_v32\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2017_v32_informativo.pdf)>. Acesso em: 09/04/2019.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Projeto Prodes. Monitoramento da floresta Amazônica brasileira por satélite, 2019. Disponível em: Acesso em: abr. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. Banco de dados de madeiras brasileiras. Disponível em : <http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/resultado.php?idioma=portugues>. Acesso em: 30 ABRIL de 2018.

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

INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES. *Caoba Swietenia macrophylla*; paquete tecnológico forestal. Guatemala, INAB. 2017

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET) Disponível em: [http://www.inmet.gov.br/sim/abre\\_graficos.php](http://www.inmet.gov.br/sim/abre_graficos.php);

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION - ITTO. Lesser used species. Disponível em: < <http://www.tropicaltimber.info/pt-br/specie/mahogany-swietenia-macrophylla/> >. Acesso em: 26 abril. 2020.

IPT. 1989. *Fichas de Características das Madeiras Brasileira*. IPT, São Paulo.

JANKOWSKI, I.P. Madeira juvenil, formação e aproveitamento industrial. Piracicaba: IPEF, 18p. (IPEF. Circular técnica, 81). 1979.

KEATING, W.G & BOLZA, E. 1982. *Characteristics, Properties and Uses of Timbers. South-East Asia, Northern Australia and the Pacific*. Volume 1. Inkata Press, Melbourne.

KELLISON, R. C. Characteristics affecting quality of timber from plantations, their determination and scope for modification. 170 IUFRO Word Congress. Japão, pag. 77 - 87, 1981.

KLOCK, U. Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal - Ciências Florestais. Curitiba-PR, 2000.

KOLLMANN, F.R. & COTÉ, W.A., Principles of Wood science and technology. Berlin, Springer-Verlag. 592p., 1968.

KOZAK, A.; KOZAK, R. Does cross validation provide additional information in the evaluation of regression models? Canadian Journal of Forest Research, [S.l.], v. 33, n. 6, p. 976-987, 2003.

KRETSCHMANN, D.E. The influence of juvenile wood content on shear parallel, compression, and tension perpendicular to grain strength and mode I fracture toughness of loblolly pine at various ring orientation. Forest Products Journal, v.58, n.7/8, p.89-96, 2008.

KRETSCHMANN, D.E. Wood Handbook. General Technical Report FPL-GTR-190. US Department of Agriculture, Washington. 2010.

KUKACHKA, B.F. 1959, *Mahogany Swietenia macrophylla King*. Report No. 2167. Forest Products Laboratory, Madison.

LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS. SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Madeiras Brasileiras. 2020. Disponível em: Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/concessoes-florestais/concessoes-florestais-florestas-sob-concessao/flona-do-jamari/edital/192-fichas-tecnicas/file> . Acesso em: 10 abr. 2020.

LAMB, F. B. Mahogany of Tropical America: its Ecology and Management. An Arbor, the University of Michigan Press. 1966.

LANGBOUR, P., GÉRARD, J. RODA, J., FAUZI, A., P., GUIBAL, D. Comparison of wood properties of planted big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) in Martinique island with naturally grown mahogany from Brazil, Mexico and Peru, Journal of Tropical Forest Science, Vol. 23, n.3, p. 252-259, 2010.

LATORRACA, J.V.F.; ALBUQUERQUE, C.E.C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. Floresta e Ambiente, v.7, n.1, p.279-291, 2000.

LAVORANTI, O. J. Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da Reamostragem "Bootstrap" no modelo AMMI. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2003.

LEDO, A. A. M. Observações ecológicas na Estação Experimental Florestal de Saltinho, Pernambuco, visando reflorestamento no Nordeste. Cadernos Ômega, v. 4, n. 2, p. 197-206, 1980.

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. et al., 2005. *Fatos florestais da Amazônia 2005*. Belém, PA: IMAZON, 142 pp.

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. Disponível em: Acesso em: 07 março de 2019.

LINDSEY, C.; SHEATHER, S. 2010. Variable selection in linear regression. *The Stata Journal*, 10(4): 650-669.

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.; MARTINS, E. P.; MARCANTE, P. H.; CIPRIANI, H. N.; MORAIS, J. P. S. Fator de forma para a castanheira-da-amazônia. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2017. 4 p. (Embrapa Rondônia. Circular Técnica, 150).

LOETSCH, F.; HALLER, K. E. Forest inventory. München: BLV 1973. v. 1. 436 p.

LOGSDON, N.B., Influência da umidade nas propriedades de resistência e de rigidez da madeira. São Carlos, SP. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1998.

- LONGWOOD, F.R. Present and Potential Commercial Timbers of the Caribbean. Agriculture Handbook No. 207. US Department of Agriculture, Washington.1962
- LOPES, E.D., UCHÔAS, E.G., GOMES, J.M., COLLARES, R.A. Desempenho inicial no campo de mogno africano implantado em área de pastagem na região semi-árida do médio Vale do Jequitinhonha. In: Anais II Simpósio de Integração Lavoura Pecuária-Floresta; 2012; Montes Claros. Montes Claros: Universidade Federal de Minas Gerais; 2012. p. 131-136
- 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: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil, v. 1, 4 ed, Nova Odessa , SP: Instituto Plantarum, 2002.
- MACHADO, M. R. (2008) Plantios florestais na Amazônia central: biometria, ciclagem, bioquímica e alterações edáficas. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Amazonas- Manaus-AM, 54p
- MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. Revista Ciências Exatas e Naturais. Curitiba, vol. 4, n. 2, 2002.
- MACHADO, S. A; FIGURA, M. A; SILVA, L. C. R; TÉO, S. J; STOLLE, L; URBANO, Modelagem volumétrica para bracatinga (*Mimosa scabrella*) em povoamentos da Região Metropolitana de Curitiba. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, n.56, p.17-29, 2008.
- MAGALHÃES, L. M.S.; HUMMEL, A.C. Impasses e alternativas na Amazônia Ocidental. Ciência Hoje, Brasília, v.6, n.31, p.25-29, 1987.
- MAINIEIRI, C.; CHIMELO, J. P. Fichas de características das madeiras brasileiras. São Paulo: IPT, 1989. 418 p.
- MALHI, Y.; WOOD, D.; BAKER, T.R.; WRIGHT, J.; PHILLIPS, O.L.; COCHRANE, T.; MEIR, P.; CHAVE, J.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; HIGUCHI, N. 2006. The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. Global Change Biology, 12: 1107-1138.
- MARCIANO, F. W. P. Principais tipos de resíduos utilizados na análise de diagnóstico em MLG com aplicações para os modelos: Poisson, ZIP e ZINB. Relatório de atividades. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. Universidade Federal do Ceará. Departamento de Estatística e Matemática aplicada. Fortaleza-CE, 2009.
- MARENCO, R. A.; GONÇALVES, J. F. de C.; VIEIRA, G. Leaf gas exchange and carbohydrates in tropical trees differing in successional status in two light environments in central Amazonia. Tree Physiology, Oxford, v. 21, p. 1311-1318, 2001. <https://doi.org/10.1093/treephys/21.18.1311>
- MARIE, E. 1949. Notes on reforestation with *Swietenia macrophylla* King in Martinique. Caribbean Forester 10: 211-216.

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 (*Caesalpinia echinata* LAM.) nativa e de reflorestamento. Revista *Árvore*, v. 36 n.2, p. 373-380, 2012.

MARTINELLI, G.; MORAES, M. A. (Org.). Livro vermelho da flora do Brasil. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson: Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013. 1100 p. il. Tradução de: Andrea Anderson e Chris Hieatt.

MARTINS, T. F. R. M. Dimensionamento de Estruturas em Madeira - Coberturas e Pavimentos. Dissertação (Mestrado). Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2010.

MEDEIROS, A.C.S.; CHODOR, J.; BULGACOV, A. Coleta de sementes em árvores altas. Colombo: Embrapa Florestas. 2007. 36 p. (Série Documentos n. 145)

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.

MELLO, R. R.; STANGERLIN, D. M.; DEL MENEZZI, C. H. S.; GATTO, D. A.; CALEGARI, L. Caracterização física e mecânica da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.5, n.1, p.67-73, 2010. <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v5i1a515>>.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. 2008. Instrução Normativa nº 6 de 23 de setembro de 2008. Diário Oficial da União de 24 de setembro de 2008. nº 185. Seção 1. p.75-83. Brasília, MMA.

MORAES NETO, S.P.; TELES, R.F.; RODRIGUES, T.O.; VALE, A.T.; SOUZA, M.R. Propriedades físicas da madeira de cinco procedências de *Pinus caribaea* var. hondurensis implantadas no cerrado do Distrito Federal, DF. Planaltina: Embrapa Cerrados (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 243), Planaltina, Distrito Federal, 2009. 19p

MORESCHI, J. C. Propriedades da madeira. Ministério da Educação e do Desporto. Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. 175p. 2010.

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.

MÜLLER, B. V.; ROCHA, M. P.; CUNHA, A. B.; KLITZKE, R. J.; NICOLETTI, M. F. Avaliação das Principais Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage, Floresta e Ambiente 2014 out./dez

MULLER-LANDAU, H.C. Interspecific and inter-site variation in wood specific gravity of tropical trees. *Biotropica*, 36 (1): 20-32. 2004

NAS - NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. COMMITTEE ON SELECTED BIOLOGICAL PROBLEMS IN THE HUMID TROPICS. Ecological aspects of development in the humid tropics. Washington: National Academy Press, 1982. 297p.

NELDER, J. A. (1966). Inverse polynomials, a useful group of multi-factor response functions. *Biometrics*, 22, 128-141.

NEWTON, A. C., P. BAKER, S. RAMNARINE, J. F. MESEN & R. R. B. LEAKEY. 1993. The mahogany shoot borer: prospects for control. *Forest Ecology and Management* 57: 301-328.

NEWTON, A.; OLDFIELD, S.; FRAGOSO, G. et al., Towards a Global Tree Conservation Atlas: mapping the status and distribution of the world's threatened tree species. UNEP-WCMC/FFI, 2003.

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

NORMAND, D. & SALLENAVE, P. Caracteristiques et proprietes des acajous (Swietenia et Khaya). *Bois et Forêts des Tropiques* 59: 43–52. 1955.

OHASHI, O. S.; SILVA J. N. M; SILVA, M. F. G. F.; COSTA, M.S. S.; SARMENTO JÚNIOR, R. G.; SANTOS, E. B.; ALVES, M. Z.N.; PESSOA, A.M.C.; BITTENCOURT, P. R. G.; BARBOSA, T. C.; SANTOS, T. M. (Ed.). Manejo integrado da broca do mogno *Hypsipyla grandella* Zeller (Lep. Pyralidae). In: POLTRONIERI, L. S.; TRINDADE, D. R. Manejo integrado das principais pragas e doenças de cultivos amazônicos. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. p. 91-120.

OIMT. 2006. Reseña anual y evaluación de la situación mundial de las maderas. 2006. Organización Internacional de las Maderas Tropicales. Yokohama, Japón. OIMT. 210 p.

OLIVEIRA, L. F. R. de; SANTOS, P. H. R. dos; SILVA, L. G.; CORREIA, L. P. de S.; LAFETÁ, B. O.; Cultivo de meliáceas arbóreas no Brasil. *Applied Research & Agrotechnology*, Guarapuava-PR, v.12, n.2, p.139-151, Mai-Ago., 2019. DOI: 10.5935/PAeT.V12.N2.14

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. Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro. Vitória: Aquarius, p. 129-163, 2007.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; SIMÕES, J. W.; FILHO, M. T. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1-avaliações dendrométricas das árvores. *SCIENTIA FORESTALIS* n. 56, p. 113-124, dez. 1999

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.
- PENNINGTON, T. D.; STYLES, B. T.; TAYLER, D. A. H. *Meliaceae*. Flora Neotropica Monograph, New York, n.28, p.1- 472, 1981.
- PEREIRA, R. da S.; FERNANDES, V. T. Comportamento ecofisiológico do mogno (*Swietenia macrophylla*, King), no Município de Miguel Pereira, RJ. Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 5, n. 1, p. 139-145, jan./dez. 1998.
- PEREZ, J.; EIGENBRODE, S. D.; HILJE, L.; TRIPEPI, R. R.; AGUILAR, M. E.; MESEN, F. Use of grafting to prevent *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) damage to new world meliaceae species. Neotropical Entomology, v.39, n.4, p.618-625, 2010.
- R Core Development Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- RADAM BRASIL. Programa de Integração Nacional. Levantamentos de Recursos Naturais. V.18 (Manaus) - RADAM (Projeto) DNPM, Ministério das Minas e Energia. Brasil, 626p., 1978.
- REBOLETO, I. D.; DAMBRAZ, G.B.V.; SILVA, J.G.M.; MININI, D.; CAMARA, A. P; OLIVEIRA, J.T. da S.; FIRMINO, A.V. Propriedades Físico-Mecânicas da Madeira de Mogno Brasileiro Proveniente de Plantios Homogêneos aos 14 Anos. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, III CBCTEM., 2017, FLORIANÓPOLIS. Anais
- REMADE - Propriedades da madeira. Revista da madeira nº 83 – ano 14. agosto de 2004. Acesso em 03 outubro 2018.
- RIBEIRO, A., FERRAZ FILHO, A. C., SCOLFORO, J. R. S. O Cultivo do Mogno Africano (*Khaya* spp.) e o Crescimento da Atividade no Brasil. Revista Floresta e Ambiente, v. 24, p. 0-11, 2017.
- RITTER, M. A. Timber bridges. Forest Products Laboratory - Forest Service, Madison, 1990.
- RIZZINI, C. T. Árvores e madeiras úteis do Brasil - manual de dendrologia brasileira. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1990. 286 p.
- ROCHA, J. S. A segurança de estruturas de madeira determinada a partir da variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras amazônicas. 160 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1994.
- ROCHA, K. J.; CALDEIRA, S. F.; BRONDANI, G. E. Development of *Swietenia macrophylla* in escape areas. Scientia Forestalis, v. 44, n. 110, p. 281-291, 2016



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**, Manaus, v. 36, n. 1, p. 107–114, 2006.

ROSS, R.J (ed). Wood handbook: wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, 2010.

SABOGAL, C.; ALMEIDA, E.; MARMILLOD, D.; CARVALHO, J.O.P. 2006. Silvicultura na Amazônia Brasileira: avaliação de experiências e recomendações para implementação e melhoria dos sistemas. Belém, CIFOR. 190 pp.

SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; CORTE, A.P.D.; FERNANDES, L.de A.V.; SIQUEIRA, J.D.P. Inventários florestais: planejamento e execução. 2ªed. Ed. Multi-Graphic Gráfica e Editora, 2009. 316 p.

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. Brazilian Journal of Forestry Research. Pesq. flor. bras., Colombo, v. 32, n. 69, p. 13-21, jan./mar. 2012.

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.

SCHNEIDER, P. R. Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal. 2 ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF, 1998.

SCOLFORO, J. R. S. Biometria florestal: medição e volumetria de árvores. Lavras, MG: UFLA: FAEPE, 1998. 310 p. (Textos acadêmicos).

SEDENIO P.E. 1991 Influence of growth rate on specific gravity, fiber length, and cell wall thickness on an even-aged mahogany stand (*Swietenia macrophylla* King). *Journal of Science* 4: 2–20.

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 FILHO, D. F.; ROCHA, J. S.; MOURA, J. B. Influência da densidade na dureza Janka em oito espécies madeireiras da Amazônia Central. *Acta Amazonica*, vol. 22. n. 2. p. 275 - 283, Manaus, 1992.

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, J. T., Volumetria, biomassa e qualidade da madeira de *Hymenaea courbaril* L. proveniente de plantios na Amazônia Central. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais – UFAM, 2016.

SILVA, J.N.M.; UHL, C. Atividade madeireira como uma alternativa viável para utilização sustentada dos recursos florestais na Amazônia brasileira. In: Seminário internacional sobre meio ambiente, pobreza e desenvolvimento da Amazônia - sindamazônia, 1992, Belém. Anais... Belém: PRODEPA, 1992. p.257-261.

SILVA, L. B. X.; REICHMANN NETO, F. Avaliação comparativa do desenvolvimento de florestais em plantios homogêneos no sudeste paranaense. **In:** VI Congresso florestal brasileiro, Campos do Jordão, Brasil. 1990.

SILVA, L. B. X.; TORRES, M. A. V. Espécies florestais cultivadas pela COPEL-PR (1974-1991). In: Congresso Nacional Sobre Essências Nativas, 2., 1992, São Paulo. Anais. p. 585-594.

SILVA, M. C. A.; ROSA, L. DOS S.; VIEIRA, T. A.. Eficiência do nim (*Azadirachta indica* A. Juss) como barreira natural ao ataque de *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) sobre o mogno (*Swietenia macrophylla* King). *Acta Amazônica*, Manaus, v. 43, n. 1, p. 19-24, Mar. 2013.

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.

SLOOTEN, H. J. VAN DER; SOUZA, M. R. Avaliação das espécies madeireiras da Amazônia selecionadas para a manufatura de instrumentos musicais. Manaus: INPA, 1993. 141 p.

SNIF. Sistema Nacional de Informações Florestais. Boletim SNIF 2017. Serviço Florestal Brasileiro, ed. 1, 2017. Disponível em: < <http://www.florestal.gov.br/publicacoes/1179-boletim-snif-2017-ed-1> >. Acesso: 09 de abril de 2018.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A.L. Dendrometria e inventário florestal. 2 ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2011. 272p.

SORIANO, J.; GONÇALVES, R.; BERTOLDO, C. TRINCA, A. J. Aplicações do método de ensaio esclerométrico em peças de eucalipto saligna sm. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(3), 322-328.2011.

SOUZA, A.L.de; SOARES, C.P.B. Florestas nativas: estruturas, dinâmica e manejo. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013. 322p

SOUZA, C. R. de; AZEVEDO, C. P. de; LIMA, R. M.; ROSSI, L. M. B. Comportamento de espécies florestais em plantios a pleno sol e em faixas de enriquecimento de capoeira na Amazônia. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 40, p.127-134, 2010.

SOUZA, C. R. de; LIMA, R. M.; AZEVEDO, C. P. de; ROSSI, L. M. B. Desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia. *Scientia Forestalis*, v. 36, n. 77, p. 7-14, 2008.

SOUZA, E. C. Análise de influência local no modelo de regressão logística. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Área de concentração: Estatística e Experimentação

Agronômica. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba-SP, 2006.

SOUZA, M.N. de; VOLUMETRIA E QUALIDADE DA MADEIRA DE *Bertholletia excelsa* Bonpl. EM PLANTIOS NA AMAZÔNIA CENTRAL. 2016. 83 p. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

SOUZA, R. F.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. Modelagem da biomassa total e da lenha para bracatingais nativos. Revista *Árvore*, v. 38, n. 1, p. 53-62, 2014.

STEFANO M.V.; CALAZANS L.S.B.; SAKURAGUI C.M. Lista de Espécies da Flora do Brasil.: Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro 2011.

SWABEY, C. 1941. An islander looks at the mainland. *Caribbean Forester* 3: 39-40.

TADANO, Y. S.; UGAYA, C. M. L.; FRANCO, A. T. Método de regressão de Poisson: Metodologia para avaliação do impacto da poluição da atmosfera na saúde populacional. *Ambiente e Sociedade*. Campinas. v. XII, n. 2, p. 241-255, 2009.

TEREZO, E. F. de M. Status do mogno (*Swietenia macrophylla*, King) na Amazônia brasileira. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2002. 47 p.

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.; ARCO-VERDE, M.F.; SCHWENGBER, D.; MOURÃO JUNIOR, M.M. 2006. Avaliação de espécies florestais em área de mata no estado de Roraima. *Cerne*, 12(1): 8-18.

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.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S. Propriedades físicas, químicas e mecânicas da madeira de cedro australiano cultivado em Corupá, SC. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 34, n. 80, p. 435-441, 2014. DOI: 10.4336/2014.pfb.34.80.523

TRUGILHO, P.F.; BIANCHI, M.L.; ROSADO, S.C da S.; LIMA, J. T.; Qualidade da madeira de clones de espécies e híbridos naturais de *Eucalyptus*.. *Scientia Forestalis*, n. 73, p. 55-62, 2007.

UNRIC – CENTRO REGIONAL DE INFORMAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS. Florestas plantadas são cada vez mais importantes para futuro da produção de madeira. Baseado numa notícia divulgada pelo Centro de Notícias da ONU, a 27/02/2009.

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 (*Vochysia inundata* Ducke) via análise de fatores e regressão. *Revista Árvore*, v. 35, n. 2, p. 307 - 317, 2011.

Veríssimo, A.; Souza Jr.; C., Celentano, D.; Salomão, R.; Pereira, D. & Balieiro, C. 2006. Áreas para produção florestal manejada: Detalhamento do Macrozoneamento Ecológico Econômico do Estado do Pará. Relatório para o Governo do Estado do Pará.

VIVIAN, M. A. Resistência biológica da madeira tratada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* em ensaios de laboratório e campo. 104f. Dissertação (g.jg. A. G.; BRIENZA JUNIOR, S.; CARVALHO, J. O. P. de, LOPES, J. do C. A.; 2011.

WALTERS, B. B.; SABOGAL, C.; SNOOK, L. K.; ALMEIDA, E. 2005. Constraints and opportunities for better silvicultural practice in tropical forestry: an interdisciplinary approach. *Forest Ecology and Management*, 209(1-2): 3-18.

YARED, J. A. G. & A. A. CARPANEZZI. 1981. Conversão de capoeira alta da Amazônia em povoamento de produção madeireira: o método do "recrú" e espécies promissoras. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, Belém, Pará, Brasil. Boletim de Pesquisa Nº. 25, 27 pp.

YARED, J. A. G. 1990. Silvicultura de algumas espécies nativas da Amazônia, p. 119-121. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6. Campos do Jordão. Florestas e meio ambiente: conservação e produção, patrimônio social. *Anais...* Sociedade Brasileira de Silvicultura: Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais. Vol. 3. Campos do Jordão.

ZAR, J.H. **Biostatistical analysis**. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall Inc., 1999. 938 p.

ZOBEL, B. J. Inherent differences affecting wood quality In Fast-Grown Plantations. In: Iufro Conference, Oxford, p. 169-188, 1980.

ZOBEL, B.J.; SPRAGUE, J.R. 1998. *Juvenile wood in forest trees*. Springer-Verlag, New York.