

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

ISABELA DIAS REBOLETO

PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA DE MOGNO
BRASILEIRO PROVENIENTE DE PLANTIOS HOMOGÊNEOS

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO
2016

ISABELA DIAS REBOLETO

PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA DE MOGNO
BRASILEIRO PROVENIENTE DE PLANTIOS HOMOGÊNEOS

Monografia apresentada ao
Departamento de Ciências
Florestais e da Madeira da
Universidade Federal do
Espírito Santo, como requisito
parcial para obtenção do título
de Engenheira Florestal

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2016

ISABELA DIAS REBOLETO

PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA DE MOGNO
BRASILEIRO PROVENIENTE DE PLANTIOS HOMOGÊNEOS

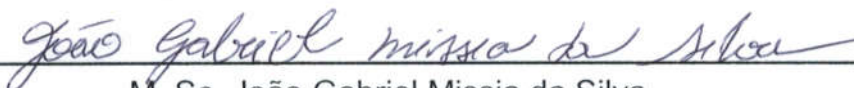
Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira
da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheira Florestal.

Aprovada em 02 de dezembro de 2016

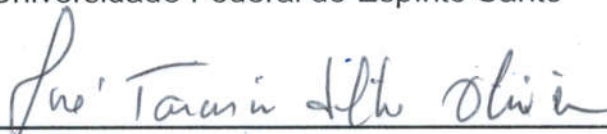
COMISSÃO EXAMINADORA



Profª. D. Sc. Graziela Baptista Vidaurre
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora



M. Sc. João Gabriel Missia da Silva
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira
Universidade Federal do Espírito Santo



M. Sc. Ana Paula Câmara
Universidade Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela saúde e força para superar às dificuldades.

Aos meus pais Eliane e Fernando, por todo amor, suporte e confiança.

A minha família por sempre acreditarem em mim.

Aos meus amigos e colegas da universidade que sempre estiveram ao meu lado, me ajudando e apoiando.

Ao João Gabriel pela paciência, sabedoria, compreensão, e ajuda que foi essencial na conclusão desse trabalho.

A Professora Graziela, companheira de caminhada ao longo da graduação, por seus ensinamentos, confiança e incentivo.

Ao técnico de marcenaria Eleyce pela ajuda na elaboração das amostras e ao técnico de laboratório José Geraldo pela ajuda na condução dos ensaios mecânicos.

A Mayra, minha companheira de turma, pelo companheirismo, amizade, alegrias, conquistas e por tudo que vivenciamos dentro e fora da universidade.

A Ariany por sempre estar por perto me ajudando e tirando minhas dúvidas.

A UFES e ao DCFM pela infraestrutura e laboratórios para realização do trabalho e também por minha formação acadêmica.

A empresa Celeiro Floresta Criativa pela disponibilidade do material para realização da pesquisa.

A Daniela Minini e ao Ramon Ferreira pela ajuda no preparo dos corpos de prova.

Agradeço a todos os professores que de forma significativa contribuíram para minha formação.

Aos demais membros da banca examinadora.

Enfim, a todas as pessoas que fizeram parte dessa etapa decisiva em minha vida.

RESUMO

O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas da madeira é importante para que se tenha a melhor destinação no mercado diante do seu uso e potencial. Dentre elas se destaca a densidade, as contrações volumétricas e lineares, fator anisotrópico, dureza Janka, cisalhamento, compressão paralela e resistência a flexão estática (MOR e MOE). Nesse cenário, o presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de contribuir para um somatório de informações e dados para promover o desenvolvimento da espécie *Swietenia macrophylla* King, visto que há poucas informações tecnológicas e científicas a respeito da qualidade da madeira de mogno brasileiro. Foram coletadas sistematicamente 15 árvores de mogno brasileiro, sendo 8 árvores aos 14 anos de idade e 7 aos 16 anos e foram avaliadas as propriedades físicas e mecânicas da madeira. A idade da madeira influenciou diretamente nos valores das propriedades físicas e mecânicas, com a madeira de 16 anos apresentando valores superiores aos da madeira de 14 anos. A madeira de mogno brasileiro plantado apresentou para as duas idades valores médios de dureza Janka, cisalhamento e compressão paralela, alto módulo de ruptura e baixo módulo de elasticidade. A densidade básica correlacionou significativamente com as propriedades mecânicas, com exceção do cisalhamento da madeira de mogno brasileiro.

Palavras-chave: *Swietenia macrophylla*. Caracterização tecnológica. Qualidade da madeira.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 O problema e sua importância	2
1.2. Objetivos	3
1.2.1 Objetivo geral.....	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Descrição da espécie.....	4
2.2 Propriedades físicas da madeira.....	5
2.2.1 Densidade básica e contrações lineares e volumétrica da madeira ...	5
2.3 Propriedades mecânicas da madeira.....	7
2.3.1 Módulo de ruptura e elasticidade no ensaio de flexão estática.....	8
2.3.2 Resistência a compressão paralela	8
2.3.3 Cisalhamento.....	9
2.3.4 Dureza Janka.....	9
3 METODOLOGIA.....	11
3.1 Amostragem e coleta do material.....	11
3.2 Densidade básica e contrações da madeira	12
3.3 Propriedades mecânicas da madeira.....	14
3.4 Análises estatísticas.....	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
4.1 Densidade básica da madeira.....	16
4.2 Contrações lineares e volumétrica da madeira	19
4.3 Propriedades mecânicas da madeira de mogno.....	23
4.4 Correlações simples entre as variáveis.....	24
5 CONCLUSÕES	27

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material biológico, heterogêneo e bastante complexo, com elevada variabilidade em relação às suas características e propriedades. O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas do lenho é necessário para aumentar as informações de usos potenciais, adequando-os, e ainda como alternativa para substituição de outras madeiras (BRAZ, 2013). Segundo Burger e Richter (1991), as diferenças entre as propriedades da madeira são comuns, tanto entre as espécies, como entre indivíduos de uma mesma espécie e até mesmo, entre diferentes regiões de um mesmo indivíduo.

As florestas naturais brasileiras contam com uma rica diversidade de espécies arbóreas, e com base na análise das tendências de mercado é possível concluir que a demanda por produtos florestais oriundos de plantações com espécies nativas, deverá acompanhar o crescimento da população mundial (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006). Nesse cenário, o plantio de espécies nativas, fontes de matéria-prima da indústria madeireira, passou a ser uma alternativa de investimento a longo prazo e surge como um modo de suprir essa demanda.

O conhecimento científico sobre as florestas plantadas brasileiras iniciou-se pelas espécies exóticas, principalmente as dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Pesquisas recentes enfatizam as florestas nativas pela sua importância no contexto da produção de madeira e na conservação ambiental (Brasil, 2007). De acordo com Souza (2012), as espécies exóticas apresentam alta produtividade e competem com as espécies nativas, sendo necessário o desenvolvimento de uma silvicultura alternativa, que explore todo potencial das espécies nativas e que pondere a alta produção com a geração de um menor impacto ambiental. Experimentos envolvendo potencial silvicultural das espécies nativas são escassos.

As espécies provenientes de plantios florestais são comparadas a nativa por diversos aspectos, porém, tal comparação pode ser prejudicial. Pois a madeira plantada tem que ser vista de uma maneira distinta, pois em seu

crescimento e desenvolvimento são realizadas práticas de manejo (adubação, irrigação, desbaste, desrama), sendo em povoamentos com espaçamentos padronizados, com diferentes características de solos e com um nível baixo de informações, tornando necessário buscar exemplos de implantação de outras árvores nativas, de mesma família e até mesmo exóticas.

Entre essas espécies está o mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*), uma das essências florestais mais conhecidas no mundo pelas propriedades e qualidade da madeira e pelo valor estético, cultural e financeiro. A madeira de mogno é vista popular e internacionalmente como sinônimo de madeira de qualidade.

Plantios puros de mogno brasileiro no sul do estado do Pará estabelecidos nos anos 90, foi um fracasso pela alta infestação de *Hypsipyla grandella* (broca do ponteiro), ocorrência de incêndios florestais e devido a seleção inadequada da área de plantio em geral (Grogan 2001). Os plantios atuais de mogno brasileiro, tem adotado medidas como a seleção de mudas de mogno resistentes ao ataque da broca do ponteiro e optou-se por uma proteção adicional para as mudas, introduzindo espécies exóticas (*Toona ciliata* ou cedro australiano) que são tóxicas à broca do ponteiro (Costa et al. 2000).

1.1 O problema e sua importância

O mogno brasileiro corre sérios riscos de extinção e os motivos são: a extração de madeira clandestina, a aceitação no mercado internacional e o alto valor comercial. Em decorrência desta extração desordenada, há a devastação da floresta amazônica, de modo a exaurir a espécie de grandes áreas, restando indivíduos apenas em regiões de difícil acesso e legalmente protegidas, evidenciando assim, a importância de plantios de *Swietenia macrophylla*, bem como estudos de suas propriedades (WORLD WIDE FUND FOR NATURE, 2016).

Todavia, a madeira de mogno brasileiro proveniente de plantios homogêneos ou comerciais possui poucas informações tecnológicas e científicas a respeito da sua qualidade, podendo não apresentar as mesmas características de crescimento, propriedades e qualidade que a madeira nativa.

Esse estudo irá contribuir para a formação de um somatório de informações e dados que poderá contribuir e promover o desenvolvimento dos plantios com a espécie, o ajuste dos tratamentos silviculturais nos plantios e das etapas de beneficiamento, o direcionamento para o uso mais adequado e uma maior agregação de valor à madeira.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar algumas propriedades físicas e algumas mecânicas da madeira de mogno brasileiro, proveniente de plantios homogêneos, em duas idades de corte.

1.2.2 Objetivos específicos

Determinar a densidade básica e as contrações lineares e volumétrica da madeira;

Analisar a variação da densidade básica e contrações da madeira no sentido casca a casca e base-topo das árvores;

Avaliar a resistência e a rigidez por meio do módulo de ruptura e elasticidade na flexão estática e a resistência a compressão paralela às fibras, ao cisalhamento e a dureza Janka da madeira;

Conhecer o grau de correspondência entre algumas propriedades da madeira.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Descrição da espécie

O mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King.) é uma espécie pertencente à família Meliaceae, é considerada uma das espécies superiores da família, com uma altura média entre 25 a 30 metros e com um diâmetro médio de 50 a 80 centímetros (LORENZI, 1995; SHARMIN et al., 2015). Segundo Lamprecht (1990), os indivíduos da espécie geralmente apresentam crescimento rápido, porém com variações de acordo com o ambiente de desenvolvimento da árvore, dependendo do local, podendo atingir de 10 a 12 metros de altura com 10 anos de idade. A árvore é ornamental e pode ser utilizada em praças e em paisagismo (JÚNIOR; GALVÃO, 2005).

Segundo Rizzini (1978), as áreas de ocorrência natural da espécie estende-se desde o sul do México até a região amazônica no Brasil, cruzando a América Central e ocorrendo também na Venezuela, Colômbia, Bolívia e Peru.

A madeira de mogno brasileiro é moderadamente pesada; possui boa estabilidade dimensional; não possui cheiro e sabor característico; é de fácil trabalhabilidade e acabamento; seca facilmente ao ar e em câmara de secagem, sem demonstrar defeitos; é resistente ao ataque de fungos apodrecedores e moderadamente resistente a cupins de madeira seca (RIZZINI, 1978; SANTOS et al., 2008; WIEMANN, 2010). A madeira dessa espécie é utilizada na fabricação de móveis, lâminas decorativas, compensados, peças torneadas, objetos de decoração, instrumentos musicais, esculturas, construção naval e na indústria de aviação (JÚNIOR; GALVÃO, 2005), o que faz dela uma das madeiras mais valiosas da região amazônica (SANTOS et al., 2008).

O elevado preço da madeira de mogno no mercado nacional e internacional, fez com que a extração, durante décadas, tivesse grande impacto em toda a sua extensão natural, desde o México até ao Brasil (SANTOS et al., 2008).

Apesar da boa qualidade da sua madeira, o mogno brasileiro é suscetível ao ataque de pragas florestais, dentre as principais que causam prejuízos ao crescimento e ao desenvolvimento do mogno em plantios, destaca-se a

Hipsipyla grandella, sendo considerada como a principal praga florestal da América Latina e Caribe (HILJE; CORNELIUS, 2001).

2.2 Propriedades físicas da madeira

As propriedades físicas da madeira são determinadas em ensaios realizados em laboratório, sendo utilizados equipamentos próprios a tal finalidade, de acordo com normas técnicas que especificam os métodos, procedimentos, fórmulas de cálculo, formas e dimensões de corpos-de-prova, etc. (ARAÚJO, 2007).

2.2.1 Densidade básica e contrações lineares e volumétrica da madeira

A densidade básica é um dos principais parâmetros de qualidade da madeira, e é a relação entre a massa seca (0% de umidade) e o volume úmido (saturado) do lenho. Essa propriedade é herdável para a utilização da espécie (JAEGER, 2013).

De acordo com Zobel e Buijtenen (1989), existem três padrões de variabilidade da densidade da madeira dentro de uma mesma árvore. O primeiro padrão apresenta a variabilidade decorrente das diferenças existentes no anel de crescimento, entre suas distintas camadas, o segundo padrão é mais abrangente, observável no sentido medula-casca, incorporando as variações dentro do anel de crescimento e considera também as variações existentes entre as regiões de cerne e alburno, e lenho inicial e tardio eventualmente presentes. O último padrão de variabilidade, geralmente de menor importância, considera a variabilidade associada às diferentes alturas ao longo do fuste das árvores.

A densidade básica é uma das propriedades físicas mais importantes da madeira por se relacionar diretamente com outras propriedades tecnológicas, inclusive a anisotropia de contração. Assim, tais propriedades da madeira norteiam a utilização racional de uma espécie em um determinado produto (BATISTA et al., 2010) e podem servir como referência para uma classificação da madeira.

A densidade básica influencia no manejo das florestas, é uma característica de grande importância na definição da idade de corte, devido ao seu incremento observado ao longo dos anos.

Na maioria das vezes, quanto maior a densidade básica da madeira, maior será a resistência mecânica. Segundo Sturion et al. (1987), madeiras com alta densidade são adequadas para construção civil e para produção de energia, já as madeiras com baixas densidades são adequadas para uso no solo, como estacas, mourões, dormentes e construção de pontes.

Segundo Kollman e Cotê (1968), as madeiras mais pesadas são mais elásticas, duras e resistentes que as leves, porém, podem apresentar dificuldades em relação a trabalhabilidade e secagem. Todavia, somente a determinação da densidade básica, pode não ser o suficiente para indicar com segurança a utilização ideal da madeira, sendo importante o estudo das variações dimensionais, para o complemento das informações (BOTELHO, 2011).

As madeiras de todas as espécies sofrem modificações em suas dimensões quando o seu teor de umidade é alterado, ou seja, a contração da madeira é uma variação dimensional, que ocorre de forma diferente em cada um dos planos anatômicos (tangencial, radial e longitudinal). Segundo Jaeger (2013) a maior alteração dimensional ocorre no sentido tangencial.

Os índices de contração da madeira variam tanto em relação à posição longitudinal como em relação à posição radial do tronco. Segundo Cruz et al. (2003), as maiores contrações ocorrem na madeira situada na base da árvore.

O estudo do comportamento das variações dimensionais é de extrema importância para o uso industrial da madeira (REZENDE et al. 1998), os diferentes valores das contrações nas diferentes direções são responsáveis pela formação de fendas ou rachaduras e empenos que dificultam a colagem, sendo um obstáculo ao uso mais eficiente da madeira.

Segundo Lelles e Silva (1997), a utilização da madeira para produtos finais de alta estabilidade demanda um fator anisotrópico baixo, pois, uma anisotropia de contração igual a 1 representa uma alteração igual de dimensões nos sentidos radial e tangencial, condição considerada ideal e que não causaria formação de tensões internas. Quanto maiores forem os desvios nesses dois

sentidos, mais alta será a anisotropia de contração e maiores serão os danos na madeira na fase de secagem.

O entendimento da abrangência das variações das propriedades da madeira é essencial. Essas variações podem ser causadas, pelo material genético, diferenças de manejo, idade de corte e com a posição amostrada do tronco da árvore. Na Tabela 1 são listados os valores médios das propriedades físicas da madeira do mogno brasileiro nativo, encontrados na literatura.

Tabela1 – Propriedades físicas da madeira nativa de *Swietenia macrophylla*.

Fonte	DB ¹ (Kg cm ⁻³)	CR (%)	CT (%)	CV (%)	FA
Mainieri e Chimelo (1989)	520	3,2	4,5	8,6	1,41
Langbour et al. (2010)	520	2,5	5,4	-	2,16
Glass e Zelinka (2010)	612	3,0	-	7,8	-

¹DB: densidade básica; CR, CT e CV: contrações radial, tangencial e volumétrica, em ordem; FA: fator anisotrópico.

Fonte: O autor (2016).

Verifica-se a partir das informações da tabela 1 que há uma variedade nos dados de *Swietenia macrophylla*, contudo, por serem obtidos a partir de material nativo a heterogeneidade é maior, com influência da idade, local de desenvolvimento, entre outros fatores.

2.3 Propriedades mecânicas da madeira

A avaliação das propriedades mecânicas é importante para determinar a qualidade da madeira e é dependente da densidade básica, porcentagem de madeira juvenil, inclinação da grã, teor de umidade, quantidade de nós, além da espécie, procedência, idade e sítio (LADRACH, 1986; EVANS et al., 2000).

As propriedades mecânicas da madeira indicam a capacidade dela resistir a vários tipos de forças externas, estáticas ou dinâmicas, que pode atuar sobre uma peça ou produto. São muito importantes em caso de construção civil e fins estruturais da madeira (SHARMIN et al., 2015). Segundo Stangerlin et al. (2008), as propriedades mecânicas explicam o comportamento da madeira, o que permite compará-la com outras madeiras de propriedades conhecidas e sugerir ensaios adicionais necessários para conhecer a sua utilização.

A variação nas propriedades mecânicas é comum, porque a madeira é um material natural e a árvore está sujeita a diversas influências em constante mudança, tais como, umidade, condições do solo e espaçamento para o crescimento (SHARMIN et al., 2015). As propriedades mecânicas que se destacam na resistência à ação de forças externas, são o módulo de ruptura e elasticidade na flexão, a compressão, a dureza e o cisalhamento da madeira.

2.3.1 Módulo de ruptura e elasticidade no ensaio de flexão estática

O ensaio de flexão estática refere-se a 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). 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.

A resistência à flexão estática é avaliada na utilização da madeira como material de construção, ou seja, na fabricação de casas, pontes, telhados, construções marítimas, e em todas às demais construções de madeira (OLIVEIRA, 2007).

Segundo Martins (2010), a resistência da madeira à flexão é inferior à dos metais, porém é mais elevada quando comparada a outros materiais não metálicos, como plásticos.

2.3.2 Resistência a compressão paralela

Dentre as propriedades mecânicas mais estudadas está a compressão paralela às fibras, por apresentar excelente correlação com as outras propriedades da madeira, sendo um parâmetro balizador na classificação estrutural desse material (LEONELLO, 2001).

A compressão paralela refere-se à carga máxima suportável por uma peça de madeira quando esta é aplicada em direção paralela às fibras (LIMA JÚNIOR et al., 2008). O ensaio de compressão paralela às fibras 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).

Segundo Fusco, Almeida e Calil Junior (1996), a resistência à compressão depende da massa específica, sendo maior com o aumento desta propriedade. Além da espécie, depende também da umidade e do esforço aplicado paralelo às fibras da madeira.

2.3.3 Cisalhamento

Segundo Moreschi (2012) o ensaio de cisalhamento da madeira é problemático devido à superposição de tensões, principalmente com as de flexão. As tensões de compressão, o desenvolvimento de rachaduras e a concentração de tensões podem mascarar o fenômeno do cisalhamento.

A resistência ao cisalhamento da madeira é definida por Oliveira (2007) como a capacidade que a madeira possui em resistir à ação de forças que tendem a fazer com que parte do material deslize sobre a parte adjacente. Esta propriedade sofre influência da massa específica. Segundo Figueiredo (2006), o mecanismo de ruptura no cisalhamento paralelo às fibras envolve o deslizamento entre fibras adjacentes à seção do corte.

2.3.4 Dureza Janka

O ensaio de dureza é utilizado com frequência em diversas pesquisas, e avalia a resistência a penetração de uma esfera de aço, com diâmetro de 1 cm², com determinada pressão, inserindo até a metade do seu diâmetro na superfície da madeira (PADILHA, 2000).

Segundo Rocha (2003), a dureza Janka é uma propriedade mecânica de extrema importância por ser um excelente parâmetro de comparação entre espécies.

Na Tabela 2 são listados os valores médios das propriedades mecânicas da madeira nativa de mogno brasileiro, encontrados na literatura.

Tabela 2 – Propriedades mecânicas da madeira nativa de *Swietenia macrophylla*

Fonte	f_H^1 (MPa)	f_{v0} (MPa)	f_{c0} (MPa)	Flexão Estática	
				MOR (MPa)	MOE (MPa)
Mainieri e Chimelo (1989)	49,43	10,89	-	80,51	9.110,38
Fuentes e Hernandez (2008)	-	-	44,2	83,00	8.800,00
Langbour et al.(2010)	-	55,10	-	88,30	10.960,00

¹ f_H : dureza Janka; f_{v0} : resistência ao cisalhamento; f_{c0} : resistência à compressão paralela às fibras; MOR: módulo de ruptura e MOE: módulo de elasticidade.

Fonte: O autor (2016).

3 METODOLOGIA

3.1 Amostragem e coleta do material

A coleta das árvores foi realizada em plantios comerciais da empresa Celeiro Floresta Criativa a 30 km da cidade de Luziânia, Goiás. A área plantada é de 89,7 hectares, sendo as mudas provenientes de sementes de *Swietenia macrophylla* adquiridas na região norte do Brasil. As árvores apresentaram um DAP médio de 23,8 cm e uma altura média de 13,8 metros.

Foram amostradas 15 árvores de mogno brasileiro, aos 14 (8 árvores) e aos 16 anos (7 árvores) de idade representativas do diâmetro médio de cada talhão e que tinham altura comercial, adotada como a altura da primeira bifurcação, igual ou superior a 5 m. Utilizou-se os dados de inventário florestal do ano anterior ao corte, sendo colhida uma árvore em cada parcela do inventário nos 7 talhões, de tal modo, foi selecionada uma árvore a cada 6 hectares considerando a área total do plantio.

Para um controle mais criterioso na amostragem, durante a realização das análises e na apresentação dos dados, a direção cardinal norte do plantio foi identificada com bússola e marcada ao longo do tronco das árvores.

O diâmetro a altura do peito (DAP, 130 cm do solo) das árvores ainda em pé foi mensurado com fita métrica. Após o corte, foram medidas com trena a altura total e comercial das árvores, sendo essa última definida como o ponto em que ocorreu a primeira bifurcação ou inserção da copa.

O fuste comercial foi seccionado em toras e discos (5 cm de espessura), conforme o ilustrado na Figura 1 (A). Os discos e toras foram identificados com o número da árvore e posição no sentido base-topo, utilizando um marcador industrial permanente. As toras foram desdobradas em um sistema de desdobro tangencial, ajustando o modelo de corte [Figura 1(B)] para a produção de uma prancha diametral (80 mm de espessura) e tábuas predominantemente tangenciais (25 mm de espessura), com número dependente do diâmetro das toras.

Neste estudo, foram utilizados os discos retirados ao longo do tronco (nas posições 0%, 50% e 100% da altura comercial) no preparo das amostras para

avaliação das propriedades físicas e a prancha diametral da primeira tora de cada árvore na fabricação dos corpos de prova para avaliação da resistência mecânica da madeira.

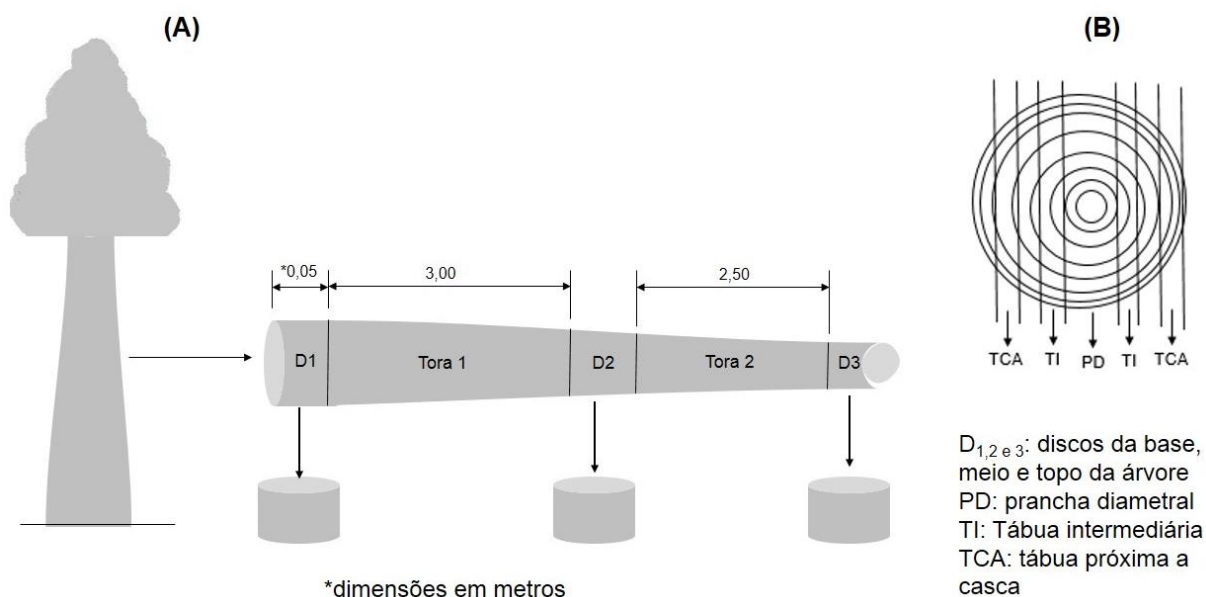


Figura 1 – Esquema de utilização das árvores: amostragem do fuste comercial (A); modelo de corte e descrição das peças serradas (B).

Fonte: O autor (2016).

3.2 Densidade básica e contrações da madeira

Na determinação das propriedades físicas do lenho, para análise da variação longitudinal, devido os discos retirado ao longo do fuste apresentarem tamanhos diferentes, foram amostrados a quantidade máxima de corpos de prova em cada disco, a cada 2 cm, sendo um total de 283. Para análise da variação radial, cada disco das árvores foi amostrado em seis posições no sentido casca-casca, a cada 2 cm, tendo por referência as direções cardeais norte e sul (Figura 2). A adaptação das dimensões dos corpos de prova foi necessária em função da realização de outras análises, por isso, utilizou-se corpos de prova de 2 x 3 x 3 cm nas direções radial, tangencial e longitudinal, respectivamente.

A densidade básica e as contrações (longitudinal, radial, tangencial e volumétrica) da madeira foram determinadas conforme a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1997). O fator

de anisotropia dimensional foi calculado pela relação entre as contrações tangencial e radial.

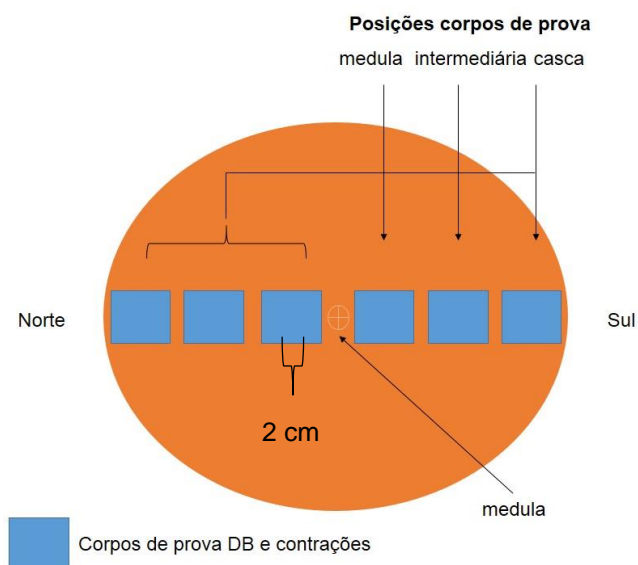


Figura 2 – Esquema de amostragem nos discos retirados ao longo do tronco para análise da densidade básica e contrações da madeira

Fonte: O autor (2016).

As amostras permaneceram 36 dias em processo de saturação em um dessecador com água e com aplicação de vácuo diário de 5 minutos. Em seguida, foi realizada a mensuração das dimensões e do volume úmido dos corpos de prova, pelo método de deslocamento em água. Após a secagem em estufa, período de 5 dias para atingir a massa constante, foi realizada a mensuração da massa, em balança de precisão, e das dimensões secas das amostras.

Para análise do fator anisotrópico da madeira foi utilizada a classificação desenvolvida por Durlo e Marchiori (1992), demonstrada na Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação de qualidade de acordo com o fator anisotrópico da madeira

Fator anisotrópico (T/R)	Classe de qualidade
1,2 – 1,5	Excelente
1,5 – 2,0	Normal
> 2,0	Ruim

Fonte: Durlo e Marchiori (1992).

3.3 Propriedades mecânicas da madeira

As propriedades mecânicas avaliadas foram o MOR e o MOE na flexão estática, a resistência a compressão paralela às fibras, ao cisalhamento e a dureza Janka, as mais exigidas para a maioria dos usos da madeira serrada. Foram utilizadas as pranchas diametrais (8 cm de espessura) no preparo das amostras para avaliação da resistência mecânica e caracterização do material (Figura 3).

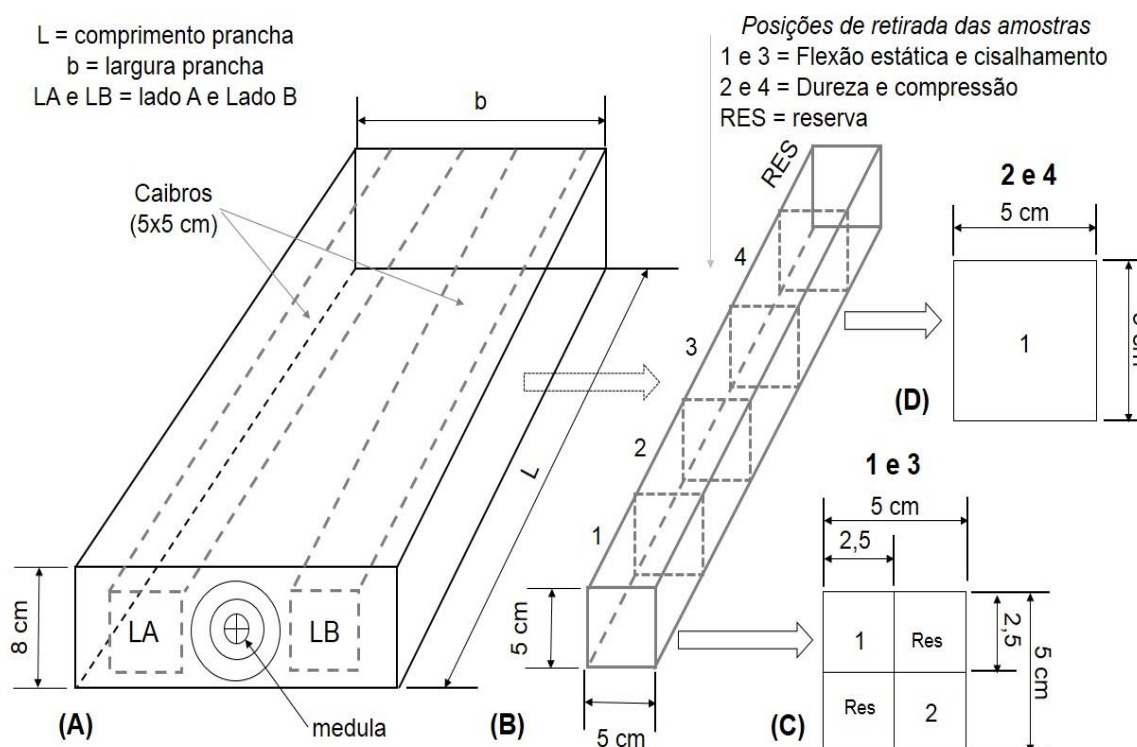


Figura 3 – Esquema de amostragem na prancha diametral: corte de dois caibros longitudinais em cada lado da medula da prancha (A); seções ao longo do comprimento dos caibros, com as posições de retirada das amostras por ensaio (B); amostragem para a flexão estática no sentido transversal da peça (C); e dimensionamento transversal das amostras do ensaio de cisalhamento, compressão e dureza.

Fonte: O autor (2016).

A elaboração dos corpos de prova e os procedimentos dos ensaios seguiram a norma D143 da American Society for Testing and Materials - ASTM (2005), sendo realizados em máquina universal. Foram utilizados 120 corpos de prova no ensaio de flexão estática e 60 para as demais análises. O valor final da

dureza Janka foi obtido pela média das durezas longitudinal, tangencial e radial. Os valores obtidos para todas as propriedades foram corrigidos para 12% de umidade.

Para a classificação das propriedades mecânicas das espécies estudadas foi utilizada a metodologia desenvolvida pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA (2011), de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação das propriedades mecânicas da madeira de acordo com o IBAMA (2011)

Propriedades (Mpa)	Baixo	Médio	Alto
Módulo de ruptura (MOR)	< 64,90	64,90 - 68,30	> 68,3
Módulo de elasticidade (MOE)	< 9.414,30	9.144,3 - 12.846,0	> 12.846,0
Compressão paralela às fibras	< 29,22	29,22 - 48,24	> 48,24
Cisalhamento	< 7,60	7,60 - 11,47	> 11,47
Dureza paralela às fibras	< 35,69	35,70 - 78,60	> 78,60

Fonte: IBAMA (2011).

3.4 Análises estatísticas

Para análise dos resultados das propriedades físicas e mecânicas da madeira, nas duas idades de corte das árvores, foi aplicado o Teste F da análise de variância (ANOVA). A pressuposição de normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk. Para todos os testes utilizou-se o nível 5% de significância.

O grau de correspondência da densidade básica e do MOE com as demais propriedades físicas e mecânicas da madeira foi avaliado por uma análise de correlação de Pearson, sendo a significância dos coeficientes analisada pelo teste t.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk, em que todos os valores encontrados apresentaram normalidade.

4.1 Densidade básica da madeira

Os valores médios de densidade básica da madeira de mogno brasileiro nas idades de 14 e 16 anos foram de $0,468 \text{ g cm}^{-3}$ e $0,485 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente. Não houve diferença estatística significativa entre as duas idades. A madeira das duas idades é classificada como madeira de baixa densidade, segundo a classificação utilizada por Melo, Coradin e Mendes (1990), na qual madeiras com densidade básica menor que $0,500 \text{ g cm}^{-3}$ são consideradas leves.

A média geral da densidade básica da madeira, nas duas idades estudadas, foi comparada com a da madeira de mogno brasileiro nativo, porém em idades mais avançadas. Segundo Glass e Zelinka (2010) as madeiras do mogno brasileiro nativo apresentam densidade básica de $0,520 \text{ g cm}^{-3}$. Fuentes e Hernandez (2008) ao estudarem o efeito dos extrativos e a estrutura anatômica nas propriedades mecânicas da madeira de *Swietenia macrophylla*, obtiveram uma densidade básica de $0,540 \text{ g cm}^{-3}$. Em ambos trabalhos, a madeira possuía mais de 20 anos de idade, um fator que justifica o valor encontrado no presente estudo ser inferior aos demais. Langbour et al. (2010) obteve um valor de $0,472 \text{ g cm}^{-3}$ para madeira de *Swietenia macrophylla* plantada, valor muito próximo ao encontrado nesse trabalho.

As tendências de variação ao longo do fuste da densidade básica da madeira do mogno brasileiro plantado, podem ser observados na Figura 4. De acordo com os valores, pode-se notar que há uma variação no sentido longitudinal (base-topo) do fuste, indicadas pelas diferentes porcentagens da altura do tronco. Ambas as idades apresentaram um comportamento análogo, no qual a densidade básica na idade de 16 e 14 anos decrescem 4,4% e 8,1% até a posição do meio do fuste, e em seguida crescem 5,3% e 6,4% até o topo, ou 100% da altura comercial, respectivamente.

Na idade de 16 anos a densidade básica do topo foi superior a da base, sendo esse comportamento não expresso na madeira de 14 anos.

Essa tendência da variação longitudinal da densidade básica, pode ser observada em outras espécies de madeira, como as do gênero *Eucalyptus*, observadas por Alzate et al. (2005), que ao estudar o padrão de variação longitudinal da densidade básica de clones de *Eucalyptus grandis*, observaram um decréscimo da densidade básica até 50% da altura comercial seguida de um aumento até o ápice da tora.

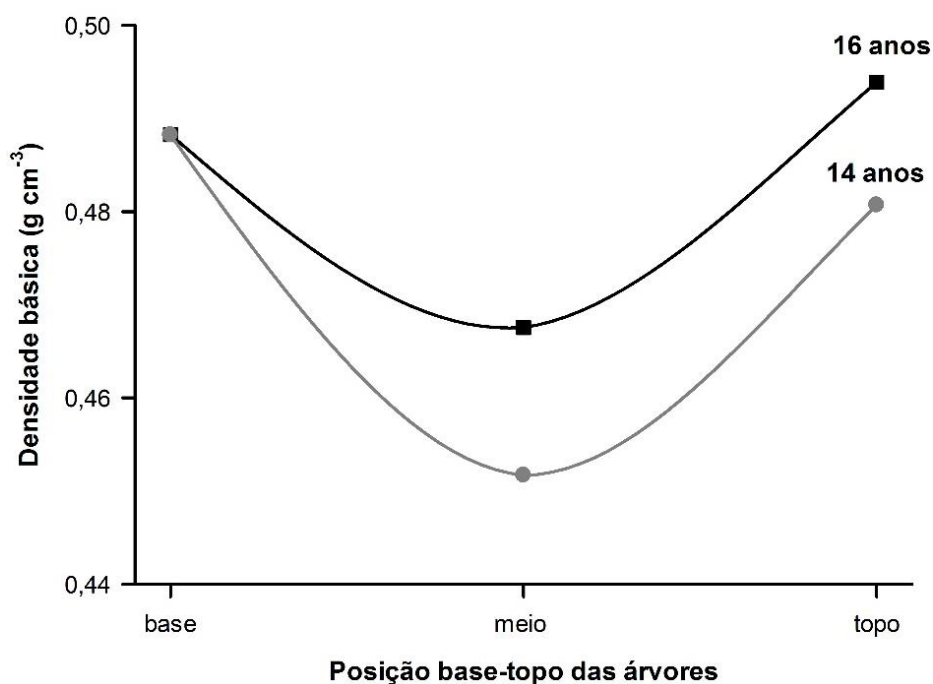


Figura 4 – Variação ao longo do fuste da densidade básica da madeiras de *Swietenia macrophylla* aos 14 e 16 anos de idade

As tendências de variação no sentido casca-casca da densidade básica da madeira, para as duas idades de corte, podem ser observadas na Figura 5.

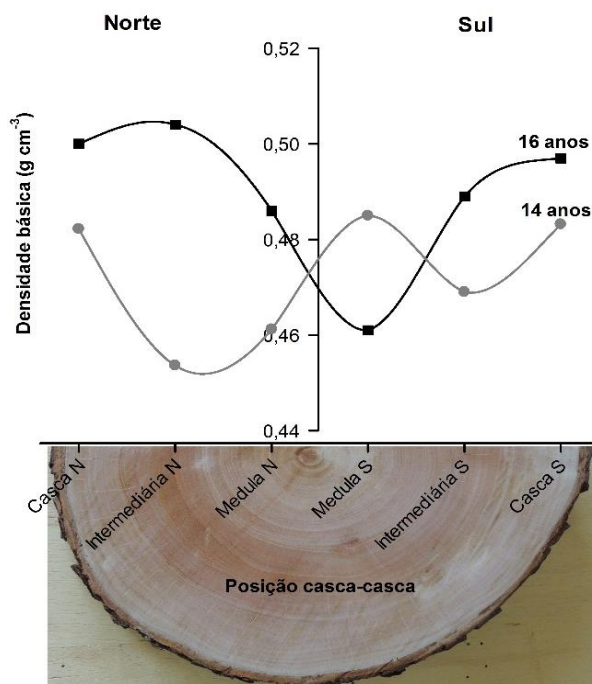


Figura 5 – Variação no sentido casca-casca da densidade básica da madeira de *Swietenia macrophylla* aos 14 e 16 anos de idade

Pode-se observar na Figura 5 uma variação nos valores de densidade básica nas posições estudadas, em que ocorreu uma tendência de aumento em direção a casca nas idade de 16 anos.

De acordo com Bosman et al. (1994) a tendência é que ocorra um aumento na densidade da medula para a casca, o que está associado a um aumento na espessura da parede das fibras nesse sentido. A existência de menores densidades mais próximas à medula, segundo Latorraca e Albuquerque (2000), deve-se ao fato da presença da madeira juvenil, a qual é formada no início do crescimento das árvores. Assim, desejando-se madeiras de maiores densidades, deve-se dar preferência a árvores com maiores idades e maiores diâmetros. A idade de 14 anos, apresentou um leve aumento próximo a medula, que pode ser justificado pela variabilidade genética, devido o plantio ser oriundo de sementes ou alguma característica anatômica da madeira.

4.2 Contrações lineares e volumétrica da madeira

As médias das contrações lineares e volumétrica e do fator anisotrópico da madeira do mogno brasileiro, nas duas idades de corte, podem ser observadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores médios das contrações lineares e volumétrica e do fator anisotrópico da madeira de *Swietenia macrophylla* aos 14 e 16 anos

Propriedades	14 anos	16 anos	Média geral
Contração longitudinal (%)	0,43 ^{ns}	0,43	0,43
Contração radial (%)	3,58 [*]	3,82	3,70
Contração tangencial (%)	5,96 ^{ns}	5,92	5,94
Contração volumétrica (%)	9,97 ^{ns}	10,17	10,07
Fator anisotrópico	1,80 [*]	1,61	1,70

^{ns}: diferença não significativa e ^{*}significativa ao nível de 5% (P < 0,05).

Não houve diferença estatística na contração longitudinal, tangencial e volumétrica da madeira entre as duas idades de corte. Todavia, ocorreu uma diferença estatística na contração radial, sendo superior na idade de 16 anos. Isto pode ser explicado por alguma característica na anatomia ou pelo efeito da densidade básica da madeira de *Swietenia macrophylla*.

Os valores encontrados para contração longitudinal nas duas idades, estão de acordo com o proposto por Kollmann e Cotê (1968), no qual, a contração longitudinal total de uma madeira normal varia entre 0,1 e 0,9%.

A madeira aos 14 anos de idade apresentou um maior fator anisotrópico. Pode-se constatar que esse resultado mostrou uma tendência decrescente com o aumento da idade, conseqüentemente, valores baixos do fator anisotrópico indicam uma melhor estabilidade dimensional da madeira, o que tende a minimizar possíveis defeitos. Quanto mais perto de 1,00 estiver o valor dessa variável, melhor será a sua trabalhabilidade (OLIVEIRA; SILVA, 2003).

Foi usado o critério proposto por Durlo e Marchiori (1992), onde as duas idades foram enquadradas na mesma classe de qualidade, ou seja, de madeiras que apresentam fator anisotrópico normal.

De acordo com os dados de Mainieri e Chimelo, (1989) para madeira de mogno brasileiro nativo em idade superior, os valores médios para as contrações radial, tangencial e volumétrica, encontrados foram de 3,2, 4,5 e 10,1%, respectivamente, e o fator anisotrópico 1,41, valores superiores aos encontrados no presente estudo.

Segundo Langbour et al. (2010) que realizou em seu estudo a comparação entre a madeira de *Swietenia macrophylla* nativa e plantada, os valores médios obtidos para a madeira nativa das contrações radial e tangencial foram 2,5% e 5,4%, os quais se aproximam dos valores do presente estudo.

As tendências de variação ao longo do fuste das contrações lineares e volumétrica da madeira do mogno brasileiro, em duas idades, podem ser observadas na Figura 6.

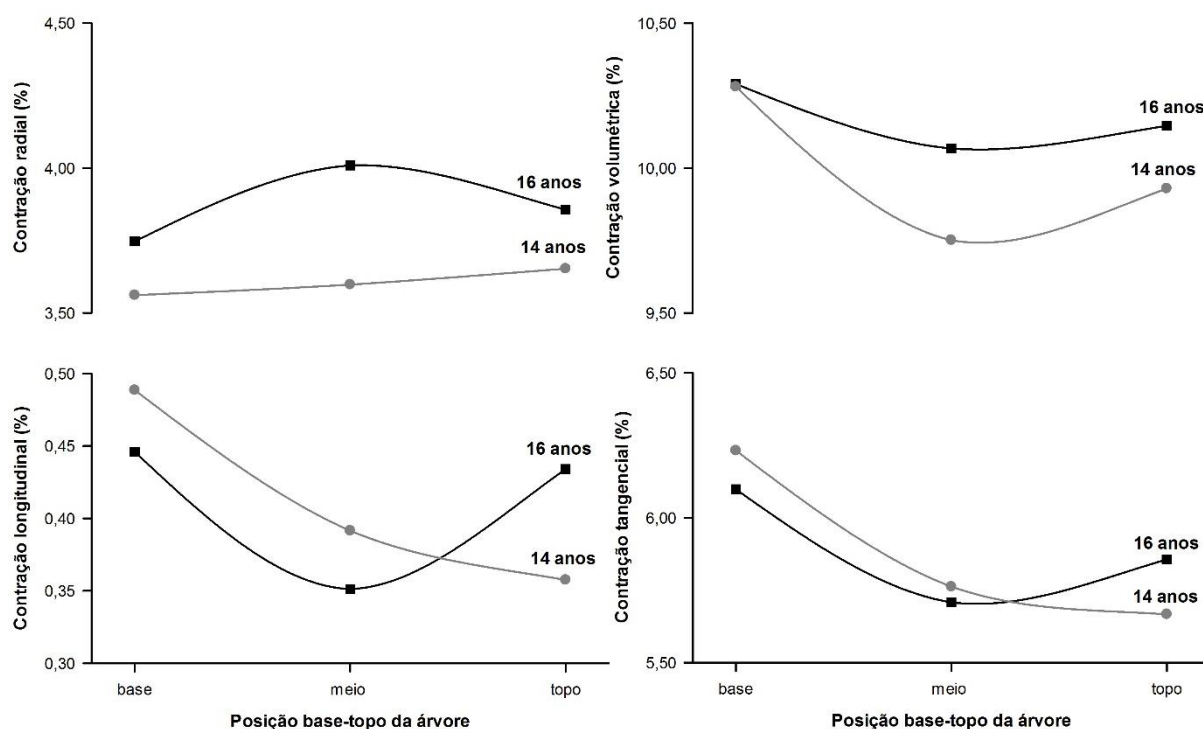


Figura 6 – Variação ao longo do fuste das contrações lineares e volumétrica da madeira de *Swietenia macrophylla* aos 14 e 16 anos de idade

Os valores apresentam variações no sentido longitudinal do fuste, no qual o comportamento das contrações mostraram similaridade ao da densidade básica, onde ocorre uma diminuição nos valores próximos ao meio do fuste e posteriormente, um aumento em direção ao topo da árvore.

Pode-se observar na Figura 6 que as contrações longitudinal, tangencial e volumétrica na idade de 16 anos apresentam esse comportamento, decrescendo 27%, 6,8% e 2,2%, respectivamente, e em seguida ocorreu um acréscimo de 19%, 2,5% e 0,7%, respectivamente.

No entanto na idade de 14 anos somente a contração volumétrica apresentou tal comportamento, decrescendo 5,4% no meio do fuste e depois aumentando 1,8%.

A contração radial apresentou um comportamento contrário nas duas idades, o que pode ser influenciado pela anatomia da madeira ou devido à grande proporção de lenho juvenil, que ocasiona uma maior variabilidade nas propriedades físicas e menor estabilidade da mesma.

Na Figura 7, pode-se observar valores inferiores nas contrações radial, tangencial e volumétrica na região medular, ocorrendo um decréscimo de 15,4%, 9,8%, 3,4% na região norte e 5,6%, 7,2%, 3,2% na região sul, respectivamente, na idade de 14 anos. Na idade de 16 anos, ocorreu um decréscimo de 29,9% e 3,8% nas contrações radial e volumétrica na região norte e 9,5% e 1% na região sul, respectivamente.

Os valores da contração longitudinal aumentam na região próximo a medula nas duas idades, tais valores podem ser o reflexo de grandes ângulos microfibrilares da madeira, que são comuns nas regiões mais internas do tronco, ocasionando, conseqüentemente, maiores contrações longitudinais nessa região, como foi observado.

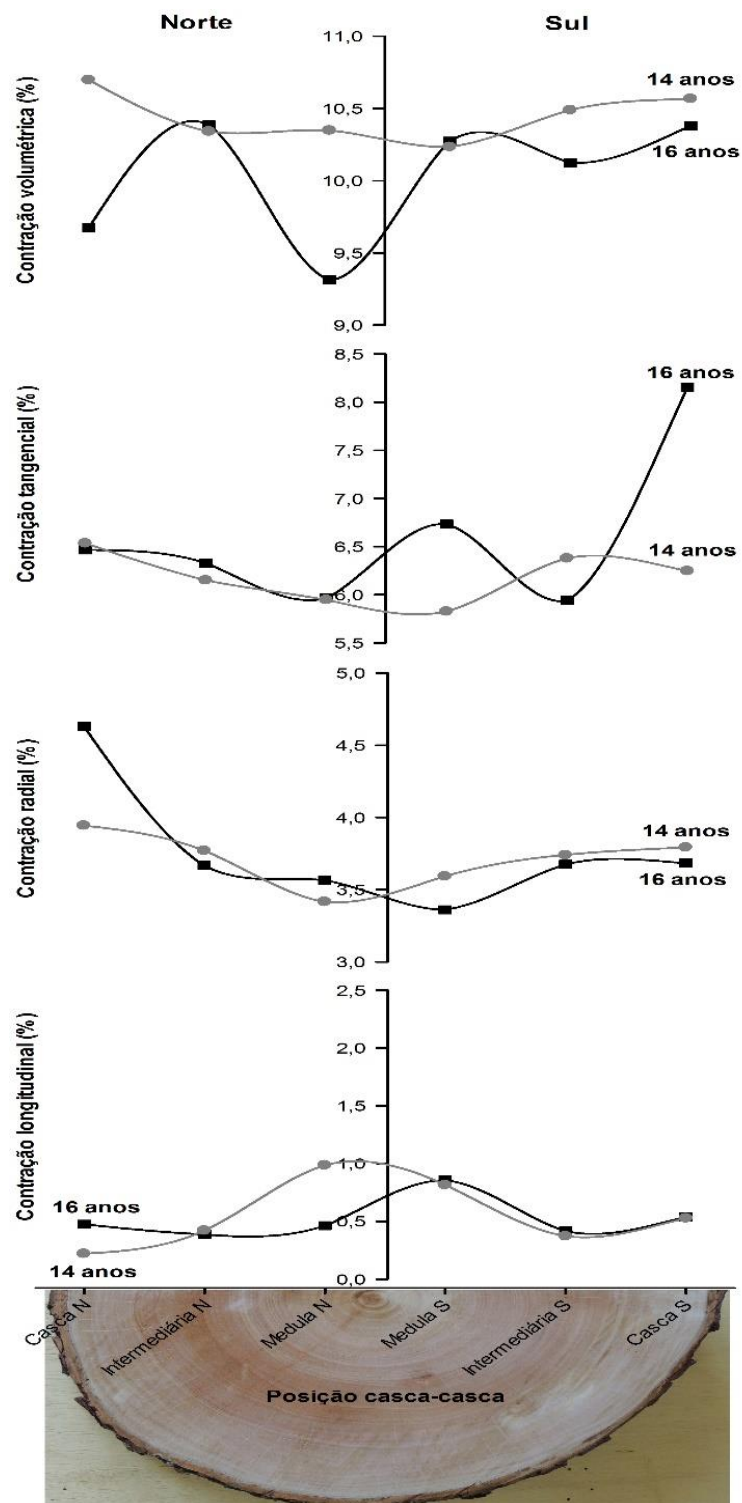


Figura 7 – Variação radial das contrações volumétricas e lineares no sentido casca-casca da madeira de *Swietenia macrophylla* aos 14 e 16 anos de idade

4.3 Propriedades mecânicas da madeira de mogno

Os valores médios das propriedades mecânicas determinadas para as madeiras de mogno brasileiro nas duas idades de corte estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores médios das propriedades mecânicas da madeira *Swietenia macrophylla* aos 14 e 16 anos de idade

Propriedades		14 anos	16 anos	Média Geral
Flexão Estática	MOR (Mpa)	74,77 ^{ns}	78,43	76,60
	MOE (Mpa)	8074,97 ^{ns}	8474,56	8274,76
Compressão Paralela (Mpa)		45,86 ^{ns}	44,49	45,17
Cisalhamento (Mpa)		9,38 [*]	8,35	8,86
Dureza Janka (Mpa)		36,27 ^{ns}	36,69	36,48

^{ns}: diferença não significativa e ^{*}significativa ao nível de 5% (P > 0,05).

Os dados apresentados na Tabela 6 evidenciaram um incremento nos valores médios do MOE e MOR obtidos no ensaio de flexão estática em função da idade, todavia, sem ocorrer uma diferença estatística entre as médias. Constatou-se que não houve diferença significativa para a resistência à compressão paralela às fibras e na dureza Janka entre as idades avaliadas.

Como pode ser verificado na Tabela 6, os valores obtidos na resistência ao cisalhamento foram mais altos na idade de 14 anos, apresentando diferença estatística entre as duas idades. Essa diferença pode ser explicada pela irregularidade da grã ou por diferenças nas proporções de parênquimas e homogeneidade da estrutura anatômica.

As duas idades do mogno brasileiro podem ser enquadradas nas mesmas classes, segundo a classificação do IBAMA (2011). A madeira de *Swietenia macrophylla* possui alto módulo de ruptura, baixo módulo de elasticidade, média resistência à compressão paralela e ao cisalhamento e dureza Janka média.

Este resultado exclui a madeira *Swietenia macrophylla* para alguns usos potenciais, como por exemplo, pisos de madeira, em que busca-se a utilização

de madeiras com dureza mais elevada; ou outras utilizações que, possivelmente, ocorra elevadas cargas concentradas em menores áreas.

A média dos valores das propriedades mecânicas da madeira nas duas idades estudadas foi comparada a do mogno brasileiro nativo, porém em idades mais avançadas. A madeira plantada em Luziânia – GO possui valores inferiores de MOR e MOE, resistência a dureza e cisalhamento em relação à madeira nativa, estudada por Fuentes; Hernandez (2008), porém a compressão paralela apresentou um valor médio superior.

Segundo Mainiere e Chimelo (1989) os valores médios encontrados para *Swietenia macrophylla* nativa são de 90,6; 9.110,0; 10,9; e 49,4 MPa para MOR, MOE, cisalhamento e dureza Janka, respectivamente. Comparando estes valores com os encontrados no presente estudo, a madeira de mogno brasileiro plantada, obteve valores médios de resistência ao cisalhamento, dureza Janka, MOR e MOE inferiores aos encontrados para a madeira dessa espécie nativa.

De acordo com o estudo de Langbour et al. (2010), para a madeira de *Swietenia macrophylla* nativa e plantada, os valores encontrados para a nativa foram 88,3 MPa, 10.960 MPa, para MOR e MOE respectivamente, e para madeira plantada 70,7 MPa, 10.850 MPa, sendo os valores para plantada muito próximos ao do presente estudo.

As distintas respostas são em decorrência da idade e proporção de lenhos das árvores, pois a nativa por apresentar idade superior possui maior proporção de lenho adulto, enquanto na plantada a maior proporção é de lenho juvenil. Associado a isso, as características físicas, químicas, anatômicas e mecânicas do lenho juvenil são alteras com o crescimento da árvore, período no qual a formação do lenho adulto.

4.4 Correlações simples entre as variáveis

Os coeficientes de correlação de Pearson das variáveis, densidade básica e MOE com as demais propriedades da madeira de mogno brasileiro, para as duas idades de corte, são apresentados na Tabela 7.

Os valores da correlação variam entre -1 e 1, assim, quanto mais próximo o valor de 1 maior será a associação positiva entre as variáveis, e quanto mais próximo de -1, maior será a associação negativa.

A maioria das correlações observadas entre as variáveis foram baixas, positivas e não significativas, porém, também ocorreram correlações altas e significativas entre as variáveis analisadas (Tabela 7), possibilitando a avaliação da influência de um parâmetro sobre o outro.

Tabela 7 – Correlações de Pearson da densidade básica e MOE com as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Swietenia macrophylla* aos 14 e 16 anos de idade.

Variáveis	DB	MOE
CV	0.4983	0.6679 **
DB	1,0	-
MOR	0.5645 *	0.8092 **
MOE	0.5421	1,0
f _{co}	0.6315 *	0.5546 *
f _{vo}	0.2351	-0.0495
f _H	0.7971 **	0.4281

¹CV: contração volumétrica; DB: densidade básica; MOR: módulo de ruptura; MOE: módulo de elasticidade; f_{co}: resistência a compressão paralela; f_{vo}: cisalhamento; e f_H: dureza Janka. ** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$).

A densidade baixa se correlacionou significativamente e positivamente com as propriedades mecânicas, com exceção do cisalhamento e sendo melhor para a dureza Janka. Isso é conveniente pois a densidade básica é uma propriedade de fácil determinação e por meio dela será possível estimar as demais propriedades mecânicas da madeira. Como regra geral quanto maior for a densidade básica, maiores serão as propriedades mecânicas da madeira (NASCIMENTO, 1993).

A densidade básica da madeira correlacionou positivamente com a propriedade física, contração volumétrica. O MOE apresentou coeficientes de correlação muito elevados e significativos a 1% de probabilidade com a contração volumétrica e o MOR, onde ocorrendo um aumento do MOE, ocasionará em um aumento nas variáveis citadas. Essa correlação com a contração volumétrica pode ter sido originado por um reflexo da densidade básica da madeira.

A correlação entre o MOE e o cisalhamento foi negativa e muito baixa e com as demais propriedades mecânicas apresentou um coeficiente de correlação médio, e significativo para compressão paralela às fibras.

5 CONCLUSÕES

A madeira de *Swietenia macrophylla* plantada apresentou densidade básica baixa, contudo, não ocorreu o efeito da idade nessa propriedade.

A estabilidade dimensional foi considerada normal para as duas idades, tendo ocorrido o efeito da idade apenas para a contração radial.

O fator de anisotropia nas duas idades foi considerado normal.

Ambas as idades apresentaram um comportamento análogo, no qual a densidade básica na idade de 16 e 14 anos decrescem até a posição do meio do fuste, e em seguida crescem até o topo, ou 100% da altura comercial.

A variação das contrações no sentido longitudinal do fuste, apresentaram comportamento similar ao da densidade básica.

As contrações radial, tangencial e volumétrica apresentaram menores valores na região próximo a medula na idade de 14 anos, já na idade de 16 anos foram as contrações radial e volumétrica. Na contração longitudinal houve um aumento na região próximo a medula nas duas idades.

A madeira de mogno brasileiro plantado apresentou para as duas idades valores médios de dureza Janka, cisalhamento e compressão paralela, alto módulo de ruptura e baixo módulo de elasticidade.

A densidade básica teve uma relação positiva com as propriedades mecânicas, com exceção do cisalhamento da madeira.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis**, n. 68, p. 87-95, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – **ASTM D 143-14**: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber- 31 p.

ARAÚJO, H. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 399-416, 2007.

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

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.

BOSMAN, M. T. M.; KORT, I.; VAN GENDEREN, M. K.; BASS, P. Radial variation in wood properties of naturally and plantation grown light red meranti (*Shorea*, Dipterocarpaceae). **IAWA Journal**, Utrecht, v. 15, n. 2, p. 111-120, 1994.

BOTELHO, M. N. **Caracterização das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Piptadenia gonoacantha*** (Mart.) J. F. Macbr. 2011. 27 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

Brasil (2007) Plano Nacional de Silvicultura com espécies nativas e sistemas agroflorestais – MMA; MAPA; MDA; MCT. Brasília. 38 p.

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. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v.43, n.4, p. 663-670, 2013.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel; 1991.154 p

CALLIL JUNIOR, C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. São Paulo: Manole, 2003, 152p.

Costa, M. S. S., O. S. Ohashi, J. N. M. Silva & M. F. G. F. Silva. 2000. **Controle da broca do mogno através da preferência de ovoposição de *Hypsipyla grandella* Zeller sobre *Toona ciliata* M. J. Roem. plantado em consórcio com *Swietenia macrophylla* King.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, Belém, Pará, Brasil. Comunicado Técnico No . 47, 3 pp.

CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, n. 64, p. 33-47, 2003.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira:** retratibilidade. Santa Maria, CEPEF/FATEC: 33, 1992.

EVANS, J.L.W.; SENFT, J.F.; GREEN, D.W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, v. 50, n. 7/8, p. 75-87, 2000.

FIGUEIREDO, A. D. **Inter-relação entre as propriedades e a microestrutura das madeiras.** Departamento de Engenharia de Construção Civil Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 25 p., São Paulo, 2006.

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.

FUSCO, P. B.; CALIL JUNIOR, C.; ALMEIDA, P; A. de O. **Norma de projeto de estrutura de madeira.** 1996, 122p. Boletim Técnico da Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 1996.

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

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

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

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 20 out. 2016.

JAEGER, P., **Propriedades físicas da madeira**. Centro Universitário de União da Vitória, Paraná, 2013

JUNIOR, M. J. V. L.; GALVÃO, M. S. **Mogno *Swietenia macrophylla***. Informativo Técnico Rede De Sementes da Amazônia. Universidade Federal do Amazonas, n. 8, 2005.

KOLLMAN, F. F. P.; COTE, W. A. **Principles of Wood Science and Technology**, Volume I: Solid Wood. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 592 pp., 1968.

LADRACH, W.E. Control of wood properties in plantations. In: IUFRO WORLD CONGRESS 18, 1986, Ljubljana. **Proceedings...** Ljubljana: 1986, p. 369-379.

LAMPRECH, H. **Silvilicultura nos trópicos**. Eschborn: GTZ, 1990. 343p.

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.

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

LELLES, J. G.; SILVA, J. C. Problemas e soluções sobre rachaduras de topo de madeiras de Eucalyptus sp. nas fases de desdobro e de secagem. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 186, p. 62-69, 1997.

LEONELLO, E.C. **Avaliação das propriedades físico-mecânicas da madeira de árvores de *Hevea brasiliensis* em três condições de sanidade no Estado de São Paulo**. 2011. 129f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2011.

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

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; STAPE, J. L. Influência do Desbaste e da Fertilização no Deslocamento da Medula e Rachaduras de Extremidade de Tora de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 170-177, 2007.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**. 5ª ed. Editora Plantarum, 1995.

MAINIEIRI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: IPT, 1989. 418 p.

MARTINS, T. F. R. M. **Dimensionamento em estruturas em madeira**. 2010, 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

MELO, J. E.; CORADIN, V. T. R.; MENDES, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia Brasileira. In: 6º CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, FLORESTAS E MEIO AMBIENTE: CONSERVAÇÃO E PRODUÇÃO, PATRIMÔNIO SOCIAL. **Anais...** Campos do Jordão, SP, 1990, p. 695 - 699.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Silvicultura Com Espécies Nativas e Sistemas Agroflorestais** – PENSAF, p. 9, 2006.

MORESCHI, J.C. **Propriedades da madeira**. 4ª ed., Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Setor de Ciências Agrárias/UFPR, 2012.

NASCIMENTO, C. C. **Variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras da Amazônia**. Piracicaba, 1992. 119p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

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**. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora. p. 129 – 163, 2007.

PADILHA, F. A. **Materiais de Engenharia: Microestrutura e Propriedades**. 1ª ed, Curitiba - PR, Hemus: 2000. 343p.

REZENDE, A. M.; SAGLIETTI, J. R. C.; CHAVES, R. Variação da densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* aos 8 anos de idade em função de diferentes níveis de produtividade. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 53, p. 71-78, 1998

RIZZINI, C.T. **Árvores e madeiras uteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira**, p. 294, 1971.

ROCHA, R. R. **Avaliação não-destrutiva de madeiras para dormentes ferroviários**. 2003. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

SANTOS, R. A.; TUCCI, C. A.F.; HARA, A. S.; SILVA, W. G.; Adubação fosfatada para a produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.). **Revista Acta Amazonica**, v. 38, n. 3, p. 453-458, 2008.

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

SHARMIN, A.; ASHADUZZAMAN, M.; SHAMSUZZAMAN, M. Variations of the Physical and Mechanical Wood Properties of *Swietenia macrophylla* in Mixed and Monoculture Plantations. **International Research Journal of Engineering and Technology**, v. 02, p. 692-697, 2015.

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, v. 27, n. 2, p. 233-239, 2003.

SOUZA, M. G. O. S., **Crescimento de espécies florestais em povoamentos puros e sua influência sobre atributos edáficos em Trajano de Moraes, RJ.** Dissertação (Mestrado – Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2012. 64 f.

STANGERLIN, D.M; MELO, R.R.; DOMINGUES, J.M.X.; TREVISAN, R.; GATTO, D.A.; MULLER, M.T.; CALEGARI, L. Determinação da resistência ao Impacto para as Madeiras de *Eucalyptus dunnii*, *Corymbia citriodora* e *Pouteria pachycarpa*. In: XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 14, 2008, Londrina, **Anais...** Londrina: 2008.

STURION, J. A.; PEREIRA, J. C. D.; ALBINO, J. C.; MORITA, M. Variação da densidade básica da madeira de doze espécies de *Eucalyptus* plantadas em Uberaba, MG. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 14, p. 28 - 38, 1987.

TRIPODI, A. **Madeiras para marcenaria, carpintaria e artesanato.** São Paulo: CTT Cultural e Editora, 2006. p.70

WIEMANN, M. C. Characteristics and Availability of Commercially Important Woods. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY -FPL. **Wood Handbook:** wood as an engineering material. Madison: FPL/USDA, 2010, chapter 2, p. 16-60.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE- WWF. **Mogno: a poucos passos da extinção.** Disponível em: <
http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/biodiversidade/especie_do_mes/julho_mogno.cfm>. Acesso em 21 de nov. de 2016.

ZOBEL, B.J.; BUIJTENEN, J.P. **Wood variation: its causes and control.** Germany: Springer Verlag, 1989. 363 p.