



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

GISELE LUSTOZA DE SIQUEIRA

**VARIAÇÃO RADIAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE
MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis* A. Chev.)**

Prof. Dr. ALEXANDRE MIGUEL DO NASCIMENTO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2015



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

GISELE LUSTOZA DE SIQUEIRA

**VARIAÇÃO RADIAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE
MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis* A. Chev.)**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. ALEXANDRE MIGUEL DO NASCIMENTO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2015

**VARIAÇÃO RADIAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE
MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis* A. Chev.)**

GISELE LUSTOZA DE SIQUEIRA

Monografia aprovada em 19 de junho de 2015.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alexandre Miguel do Nascimento – UFRRJ
Orientador

Prof.^a. Msc. Natália Dias de Souza – UFRRJ
Membro

Prof. Dr. Edvã Oliveira Brito – UFRRJ
Membro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho às minhas mães, Maria de Lourdes, Helena, Marta, Denise e Deise.

AGRADECIMENTOS

A Deus por mais uma conquista.

À minha família por tudo. Minha tia Lena, minha vó Maria e minha mãe Marta por acordarem todo dia cedo e trabalharem duro para me dar condições para sonhar e realizar. Meus irmãos Gabriel, Júlia e Matheus, minhas primas Manoela e Gabriela, minhas tias Márcia e Lúcia por me pentelhar e me amar.

Aos amigos que fiz durante minha trajetória acadêmica.

Ao meu professor de história Eduardo Possidônio por ser uma das minhas maiores referências na vida.

Ao professor Renato Robert da UFPR pela experiência única do Brasil Norte-Sul. E a todos que fizeram parte dessa viagem.

À professora Glauciana da Mata por me conceder a primeira oportunidade de aprendizado prático no Departamento de Silvicultura.

Ao meu orientador Alexandre Miguel pela força, carinho e paciência.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar a variação radial das propriedades físicas e mecânicas da madeira de Mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev), utilizando três árvores com 30 anos, plantadas de forma isolada no campus da Embrapa Agrobiologia e UFRRJ, município de Seropédica, RJ. Foram aproveitados três pranchões de madeira, pertencentes às três árvores, de onde foram retiradas entre 25 a 27 amostras de diferentes posições da madeira no sentido medula-casca. Foram utilizadas 134 lâminas de orientação parcialmente radial, com dimensões de 5 mm x 37mm x 180 mm em espessura, largura e comprimento, respectivamente, que foram climatizadas em ambiente com temperatura controlada de 20°C e umidade relativa do ar com 65%. As propriedades avaliadas foram: densidade aparente, ângulo de inclinação da grã, módulo de elasticidade estático, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à flexão, cor e nível de empeno. Os procedimentos foram realizados segundo a norma ABNT: NBR7190/97. Observaram-se valores médios para densidade aparente de 0,76 g.cm⁻³, sendo a madeira moderadamente pesada. A densidade aparente aumentou à medida que as amostras se aproximavam da casca, alcançando valores máximos próximo a 20,0 cm de distância da medula, decrescendo na região de transição cerne-alburno. A inclinação da grã e o empeno também aumentam à medida que as amostras se aproximam da região de transição cerne-alburno. As variáveis de cor L* (luminosidade) e b* (pigmento amarelo), saturação e ângulo de tinta obtiveram correlação inversa com a distância radial observando respectivamente o escurecimento da madeira no sentido medula-casca, bem como a diminuição da pigmentação amarela nesse mesmo sentido, passando pela região de transição cerne-alburno quando a madeira volta a clarear e ganhar mais pigmentação amarela. Das propriedades a que melhor se correlacionou com a variação radial da madeira foi à velocidade de ondas acústicas, que diminui com o aumento do diâmetro da tora. Ficou indicado também que o aumento da pigmentação vermelha (a*) aumenta a resistência na flexão.

Palavras-chave: densidade aparente, módulo de elasticidade dinâmico, módulo de elasticidade estático, pigmentação, grã.

ABSTRACT

The aim of this work was to study the radial variation of physical and mechanical properties of African mahogany wood (*Khaya ivorensis* a. Chev), using three 30 year old trees, planted in isolation on the campus of Embrapa Agrobiologia and UFRRJ, located in Seropédica, RJ. three large planks of wood were used, belonging to three trees, where 25 to 27 samples were withdrawn from different positions of wood in the direction pith-bark. 134 laminates with partially radial orientation and dimensions of 5 mm x 37 mm x 180 mm in thickness, width and length, respectively, were used. These were climatized in a temperature-controlled environment at 20° C and a relative humidity of 65%. The properties evaluated were: Grain tilt angle, density, modulus of static elasticity, modulus of dynamic elasticity, bending strength, colour and warped level. The procedures were performed according to ABNT: NBR7190/97 standard. The Average density values observed was 0.76-3 g/cm³, classifying the wood as moderately heavy. The density increased as the samples were closer to the bark, reaching maximum values of near 20.0 cm from the pith, decreasing in the transition region heartwood-sapwood. The grain tilt angle and the bending strength also increased as the samples approach the transition region heartwood-sapwood. The variables of color L* (luminosity) and b* (yellow pigment), saturation and ink angle obtained inverse correlation with the radial distance observing respectively the darkening of the wood in the pith-bark direction, as well as the decrease of yellow pigmentation in this same direction, passing through the transition region heartwood-sapwood when the wood begins to lighten again and makes more yellow pigmentation. The property that best correlated with the radial variation of wood was the speed of acoustic waves, which decreases with the increase in the diameter of the log indicating that the increased red pigmentation (a*) increases the resistance in bending.

Keywords: density, modulus of static elasticity, modulus of dynamic elasticity, pigmentation, wood grain.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	1
2.1 Características gerais do Mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i> A. Chev).....	1
2.2 Propriedades físicas da madeira.....	3
2.3 Colorimetria	4
2.4 Propriedades mecânicas da madeira	5
3. OBJETIVOS	5
3.1 Objetivo geral.....	5
3.2 Objetivos específicos	5
4. MATERIAIS E MÉTODOS	6
4.1 Produção dos corpos-de-prova e amostragem	6
4.2 Propriedades físicas da madeira de mogno africano.....	9
4.2.1 Determinação da Densidade Aparente.....	9
4.2.2 Colorimetria.....	10
4.2.3 Ângulo de inclinação das fibras.....	12
4.2.4 Empenamento	12
4.3 Propriedades mecânicas da madeira de mogno africano	12
4.4 Análise Estatística.....	13
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	14
5.1. Análise das Propriedades Físicas	14
5.2. Análise das Propriedades Mecânicas	20
6. CONCLUSÕES	22
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Corpos-de-prova selecionados para utilização nos ensaios e análises.....	9
Tabela 2. Valores médios as propriedades físicas da madeira.....	14
Tabela 3. Correlações entre as propriedades físicas da madeira.	14
Tabela 4. Correlações entre a cor e as demais propriedades físicas da madeira.	16
Tabela 5. Valores de médios das propriedades mecânicas da madeira de Mogno africano.	20
Tabela 6. Correlações entre as propriedades mecânicas e físicas da madeira de Mogno africano.	20

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Árvore de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i> A. Chev.). Fonte: https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/1034001/mogno-africano-arvore	2
Figura 2: (A) Seções do caule e (B) madeira serrada de mogno-africano. Fonte: (A) Italo Claudio Falesi, 2010 e (B) http://www.multiflorestal.com	3
Figura 3: Desdobro das toras para obtenção dos pranchões de madeira.	6
Figura 4: Representação do corte dos pranchões para obtenção das lâminas.	7
Figura 5: Lâmina com dimensões nominais resultantes do beneficiamento dos pranchões de madeiras.....	7
Figura 6: Dispositivo para secagem e alinhamento das lâminas.	8
Figura 7: Corpos-de-prova com as dimensões finais.	8
Figura 8: Esquema da medição das dimensões em pontos distintos para obtenção do volume utilizado na determinação da densidade aparente.....	10
Figura 9: (A) Espaço de cor tridimensional do sistema CIE-L*a*b*. L*: luminosidade (eixo preto-branco). a* e b*: variáveis cromáticas (eixos verde-vermelho e azul-amarelo, respectivamente). (B) Diagrama de cromaticidade (Fonte: KONICA MINOLTA, 1998).	11
Figura 10: Desenho esquemático da medição da cor em cinco pontos diferentes na amostra.	11
Figura 11: Desenho esquemático da medição dos ângulos das fibras.....	12
Figura 12. Comportamento da densidade aparente (Kg/m ³) em função do raio (cm).....	15
Figura 13. Comportamento da inclinação da grã (°) em função da variação radial da madeira.	16
Figura 14. Comportamento da claridade (L*) em função da variação radial da madeira.	17
Figura 15. Comportamento da matriz (b*) em função da variação radial da madeira.	18
Figura 16. Comportamento da matriz (b*) em função da densidade aparente (ME).	18
Figura 17. Comportamento da saturação (C) em função da variação radial da madeira (cm).19	

Figura 18. Comportamento do ângulo de tinta (H) em função da variação radial da madeira (cm)..... 19

Figura 19. Comportamento do módulo de elasticidade estático na flexão em função do módulo de elasticidade dinâmico na flexão..... 21

1. INTRODUÇÃO

O aumento do consumo da madeira como matéria-prima para atender as necessidades humanas exerce efeitos diretos sobre nossos remanescentes de florestas naturais. Diversas árvores nativas de elevado valor ecológico e sobretudo de grande potencial madeireiro, vêm sofrendo com a exploração indiscriminada aliada à baixa velocidade da condução dos reflorestamentos com espécies nativas produtoras de madeira.

Com o objetivo de aliviar a pressão sobre as florestas foram introduzidos no Brasil plantios de espécies exóticas que demonstram adaptabilidade e bom desenvolvimento sob as condições edafoclimáticas dos diversos biomas do país. Além da avançada experiência com espécies de *Eucalyptus* para reflorestamentos e produção de madeiras para diversos fins, atualmente é feito o manejo de plantios de Teca (*Tectona grandis* L.f.), Pinheiro-do-Pará (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.), além do próprio mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev) que vem sendo cultivado na região norte do País, dentre outras.

Trata-se da espécie exótica de mogno que apresenta melhor crescimento no Brasil, sendo a mais procurada pelos reflorestadores. Em condições favoráveis tem tido incremento de até 40 m³/ha/ano. O metro cúbico da madeira do mogno africano pode atingir cerca de US\$ 2.000,00 (RECH, 2006).

O mogno africano tem sido indicado para plantios em função do seu bom desenvolvimento e produção de madeira bastante atrativa, resistente e de elevado valor no mercado internacional. Além de muitas semelhanças com o mogno brasileiro, soma-se o fato de ser uma alternativa resistente a pragas que atacavam o mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King.) cultivado em plantios homogêneos e que atualmente hoje tem o seu corte proibido devido esta espécie figurar a lista de árvores em risco de extinção.

O uso de espécies exóticas para produção de madeira nobre ou outros fins esbarra diretamente no conhecimento que se tem acerca das características e propriedades tecnológicas da madeira dessas espécies. Em outras linhas, o que torna viável a sua utilização é o correto beneficiamento desse material.

A madeira de mogno vem sendo empregada em usos nobres e mais exigentes, como na construção naval, revestimentos, faqueados, construções sofisticadas e movelaria. Segundo TRUGUILHO et al 1996, a madeira é um material heterogêneo e complexo, possui vários tipos de células adaptadas a desempenharem diferentes tipos de funções. As variações físicas, químicas e anatômicas são grandes entre as espécies, variando também dentro da mesma espécie e até mesmo dentro da mesma árvore.

Para se definir a forma mais segura e economicamente viável de utilização desse material é de suma importância que se elabore projetos e pesquisas científicas a fim melhor se conhecer suas propriedades e características tecnológicas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características gerais do Mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev)

A espécie *Khaya ivorensis* A. Chev, conhecida vulgarmente como mogno africano é uma árvore exótica no Brasil, de grande porte, e que pertence à Família Meliaceae. O gênero *Khaya* é nativo da África e Madagascar e possui outras espécies também conhecidas pelo nome comum de mogno-africano (*K. anthotheca*, *K. senegalensis*, *K. madagascariensis* e *K. nyasica*)

que apresentam grande interesse econômico na indústria madeireira (GUIMARÃES et al., 2004).



Figura 1: Árvore de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). Fonte: <https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/1034001/mogno-africano-arvore>

O mogno-africano suporta bem condições de estiagem (de 4 a 6 meses), situação na qual a planta suspende seu crescimento. Ocorrendo irrigação suplementar, a espécie emite novas brotações mesmo nos meses mais frios do ano. Cresce melhor em solos bem estruturados e drenados, e suporta bem breves períodos de alagamento (TEIXEIRA, 2011).

A partir dos 7 e 8 anos de idade, período que corresponde ao início da frutificação, a planta apresenta rápidos incrementos em diâmetro e abertura da copa. Em sua região de ocorrência natural chega a frutificar duas vezes por ano. Aos 16 anos, apresenta DAP em torno

de 60 cm, podendo chegar a diâmetros de 200,0 cm com a idade. Estima-se, que entre 16 e 20 anos de idade as árvores de mogno-africano apresentem boas dimensões para a obtenção de madeira serrada (TEIXEIRA, 2011).

A madeira de mogno-africano é moderadamente pesada, com densidade a 12% que varia de 570 a 800kg/m³ (0,57 a 0,80 g/cm³). Sendo fácil de trabalhar e secar, permite bons acabamentos, cola satisfatoriamente e apresenta elevada durabilidade. O albúrnio tem coloração marrom-amarelada e, o cerne, coloração marrom-avermelhada. A madeira apresenta porosidade difusa, parênquima indistinto e resina. Devido às características tecnológicas e à beleza da madeira, é usada em movelaria fina, faqueado, construção naval e civil, em revestimentos internos e decorativos. Os descartes de serraria podem ser utilizados na fabricação de compensados ou como fonte energética (TEIXEIRA, 2011).

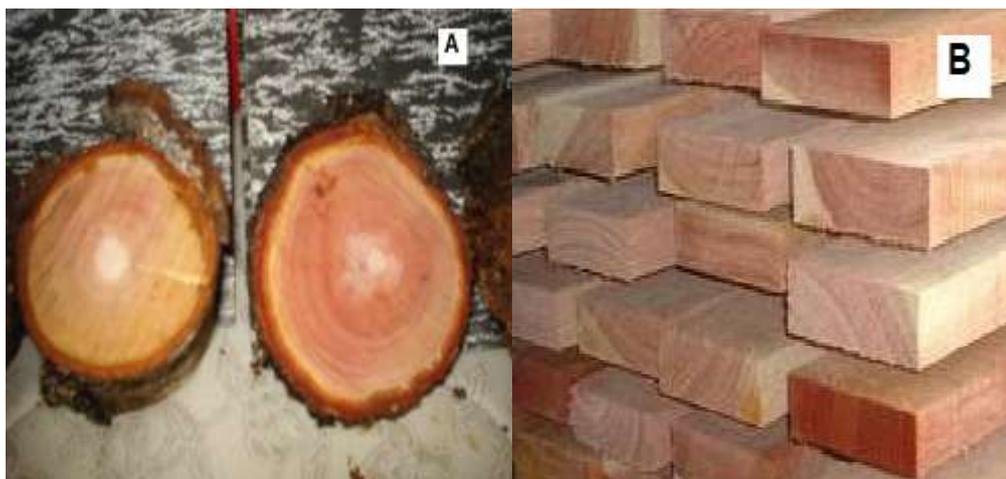


Figura 2: (A) Seções do caule e (B) madeira serrada de mogno-africano. Fonte: (A) Italo Claudio Falesi, 2010 e (B) <http://www.multiflorestal.com>.

O mogno-africano foi introduzido no Brasil para substituir o mogno brasileiro devido a sua alta resistência ao microlepidóptero *Hypsiphyla grandella*, conhecido vulgarmente como praga-do-broto-terminal ou broca-do-ponteiro, a principal praga do mogno-brasileiro. (MARQUES et al, 2011). A madeira de mogno-brasileiro se tornou artigo de luxo e, devido às fortes restrições legais ao seu corte na condição natural e dificuldades de cultivo em escala comercial devido ao ataque da broca-das-meliaceae, esta espécie passou a ser substituída no Brasil por cultivos comerciais de mogno-africano (GASPAROTTO et al., 2001).

2.2 Propriedades físicas da madeira

As propriedades físicas e mecânicas das madeiras necessitam ser conhecidas para que seja permitido definir o seu uso de uma forma mais racional (GOMES, 2007). Contudo, segundo DIAS e LAHR (2004), muitas vezes a madeira é utilizada sem o conhecimento básico de suas propriedades, o que leva ao mau uso e desperdício desse material.

Segundo MORESCHI (2009) a massa específica ou densidade aparente 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. Desconsiderando-se o teor de extrativos e de material estranho à

madeira, a densidade é um reflexo fiel da quantidade de matéria lenhosa por unidade de volume ou, de forma inversa, do volume de espaços vazios existentes na madeira.

Esta propriedade apresenta uma grande variação entre espécies, entre indivíduos de uma mesma espécie e até mesmo ao longo do fuste de uma árvore, pois como a madeira é um material da natureza que está sempre em contínuo desenvolvimento, ela jamais fornecerá medidas ou valores fixos e constantes. Devido à sua variabilidade, a massa específica também é um reflexo das inúmeras influências externas e internas que atuam na organização e nas dimensões das células do lenho (MORESCHI, 2009).

Por outro lado, a determinação da densidade pode não ser suficiente para indicar com segurança uma correta utilização para a madeira, sendo importante também o estudo das suas variações dimensionais (OLIVEIRA et al., 1990 apud BOTELHO, 2011).

2.3 Colorimetria

A cor da madeira é de grande importância no ponto de vista prático, pela influência que exerce sobre seu valor decorativo. A variação da cor natural da madeira é facilmente perceptível aos olhos humanos. Essa variação é devido à impregnação de diversas substâncias orgânicas nas paredes celulares, sendo depositadas de forma mais acentuada no cerne (TSOUMIS, 1968).

Características como a densidade, textura, grã e dureza são bastante 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).

Segundo NISHINO et al. (2000), a cor é uma das mais importantes características da madeira, assim como suas propriedades mecânicas, quando usada nas mais variadas formas. A cor da madeira dificilmente é associada a outras características físicas da madeira, entretanto, conhecendo-se melhor esta relação, pode-se entender o comportamento da coloração da madeira. Essa relação pode ser aplicada para determinar o uso apropriado das mais diferentes espécies e as condições mais adequadas de cultivo para a obtenção de produtos de qualidade.

MÖTTÖNEN et al. (2002) observaram que as características e a uniformidade da coloração da madeira representam um papel direto no estabelecimento do preço e no valor final do produto. A cor é, portanto, um fator crucial na aparência da madeira.

Sendo assim, torna-se claro a importância da cor, uma vez que ela é um dos primeiros contatos visuais, podendo indicar de forma imediata a finalidade de um determinado produto. Além disso, no caso da madeira, a cor tem essa importância, por ser uma das características que a classifica esteticamente como aceitável ou não (MORI et al., 2005).

Para a determinação precisa da cor utiliza-se a colorimetria, ciência que, por meio de aparelhos específicos, conhecidos como espectrofotômetros e colorímetros, permite medir e analisar cada elemento da composição de uma cor, quantificando-a, ou seja, atribuindo-lhe valores numéricos.

Na maioria das vezes, a determinação de um padrão de cor na madeira é realizada de forma bastante subjetiva. Dentre a variedade de formas de descrever precisamente uma cor, existem métodos capazes de discerni-la cientificamente e de modo preciso (MORI et al., 2004).

Atualmente, o método mais eficaz para a determinação da cor da madeira consiste na utilização de aparelhos apropriados, podendo ser um colorímetro ou um espectrofotômetro, os quais utilizam o sistema CIE $L^*a^*b^*$, o qual por sua vez é caracterizado por um sistema de coordenadas de cor tridimensional, sendo elas: a luminosidade (L^*) que varia de 0 (preto) a 100% (branco) e as coordenadas cromáticas a^* (verde-vermelho) e b^* (azul-amarelo) que variam entre -60 e +60.

A grã da madeira segundo MORESCHI, 2009 refere-se à orientação geral dos elementos verticais constituintes do lenho, em relação ao eixo da árvore ou de uma peça de madeira. Esta orientação é decorrente das mais diversas influências em que a árvore é submetida durante o seu processo de crescimento, culminando em grande variação natural no arranjo e na direção dos tecidos axiais, originando vários tipos de grãs.

Para o uso estrutural da madeira, além do conhecimento de características físicas, como densidade e retração, há a necessidade, também, do conhecimento de algumas características mecânicas como resistência aos esforços mecânicos e rigidez. (BOTELHO, 2011).

2.4 Propriedades mecânicas da madeira

As propriedades mecânicas da madeira estão relacionadas à resistência desse material, ou seja, a capacidade de resistir a forças externas ou cargas, que tendem a alterar seu tamanho e sua forma original (ROCHA, 1988).

Com relação às propriedades mecânicas das madeiras de *Khaya spp*, KRETSCHMANN (2010) obteve em ensaios de flexão estática (condição verde), um módulo de ruptura (MOR) médio igual a 510 kgf.cm⁻² e um módulo de elasticidade (MOE) de 79000 kgf.cm⁻²;

As particularidades de cada espécie e do ambiente onde a mesma estiver inserida, também influenciam diretamente nas propriedades mecânicas da madeira, por isso os valores que as indicam oscilam ao redor de médias. Então se pode concluir que a indicação de uso de uma determinada espécie madeireira depende da avaliação individual de suas propriedades mecânicas (LOGSDON et al., 2007).

Apesar de serem encontrados vários estudos na literatura internacional relacionados à caracterização tecnológica da madeira de mogno africano, informações sobre as propriedades das madeiras de espécies plantadas no Brasil ainda são escassas.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Estudar a variação radial das propriedades físicas e mecânicas da madeira de mogno africano e correlaciona-las.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar as propriedades físicas: Densidade aparente, velocidade de propagação das ondas, inclinação de grã, cor e empeno;
- Determinar as propriedades mecânicas: Módulo de elasticidade estático e resistência da madeira a flexão perpendicular às fibras e módulo de elasticidade dinâmico.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Produção dos corpos-de-prova e amostragem

Para realização deste estudo foi utilizada a madeira de três árvores de mogno-africano, plantadas de forma isolada no campus da Embrapa Agrobiologia e UFRRJ, município de Seropédica, RJ. Os três indivíduos possuíam 30 anos e DAP entre 110,0 e 90,0 centímetros, e após a sua queda tiveram sua madeira aproveitada. Através do desdobro deste material feito no Laboratório de Processamento Mecânico e Usinagem do Depto. de Produtos Florestais, foram obtidos doze pranchões de madeira, quatro por árvore, nos quatro primeiros metros de altura das árvores.

Dos doze pranchões resultantes foram selecionados três deles, um de cada árvore, de madeira parcialmente radial. Considerando que as árvores apresentavam medula excêntrica e a posição que foram extraídas as pranchas. (Figura 3).

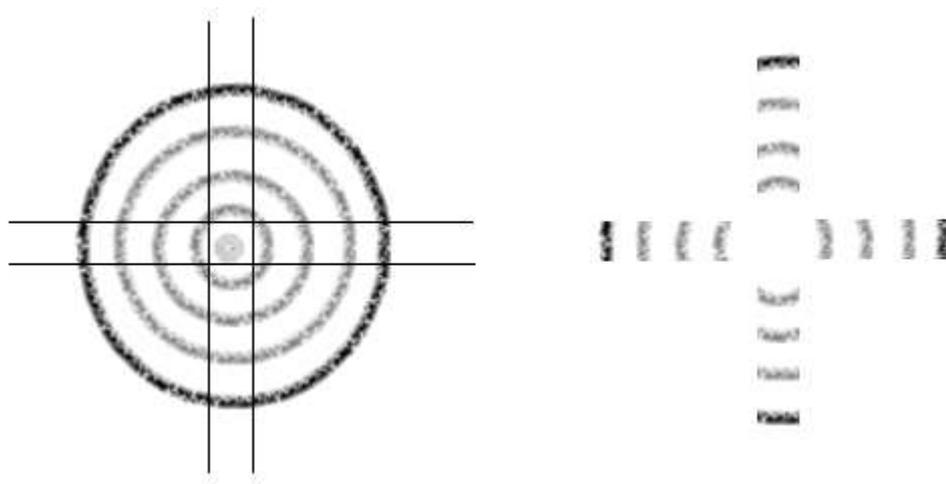


Figura 3: Desdobro das toras para obtenção dos pranchões de madeira.

Com o auxílio de uma serra de disco com espessura de corte de 0,5cm esses pranchões de madeira foram serrados para obtenção de lâminas com aproximadamente 70,0 cm de comprimento, 4,0 cm de largura e 0,5cm de espessura. As laminas foram cortadas e numeradas no sentido medula-casca conforme a Figura 2. A seguir foi feito o beneficiamento dessas lâminas através de uma plaina a espessura foi uniformizada em 0,5 centímetros (Figura 5). Foram geradas assim 27 amostras no sentido medula casca (Figura 4).

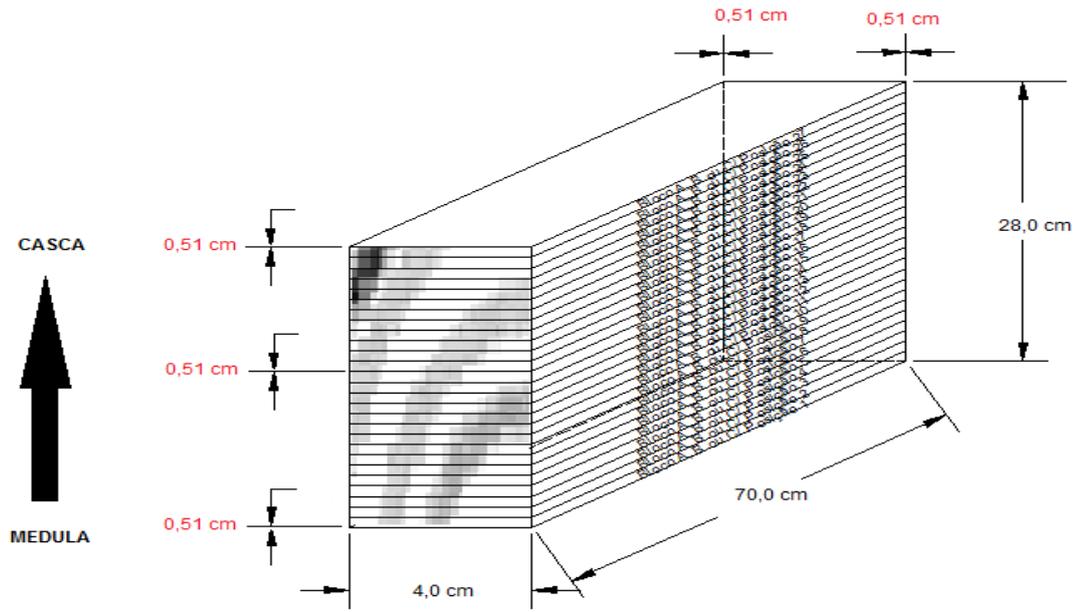


Figura 4: Representação do corte dos pranchões para obtenção das lâminas.

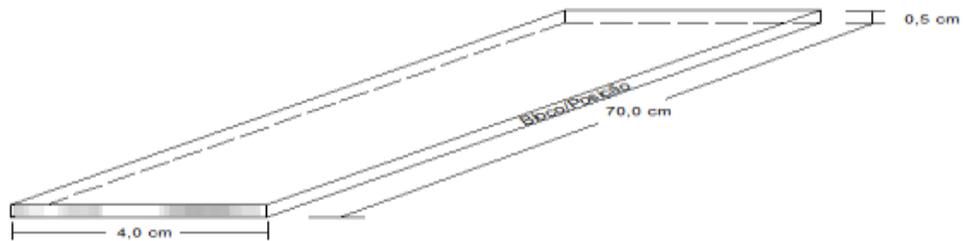


Figura 5: Lâmina com dimensões nominais resultantes do beneficiamento dos pranchões de madeiras.

As lâminas foram climatizadas em ambiente com temperatura e umidade relativa controladas, em torno de 20 °C e 65%, respectivamente, entre tabiques e sob um dispositivo de prensagem para sua secagem e alinhamento (Figura 6).

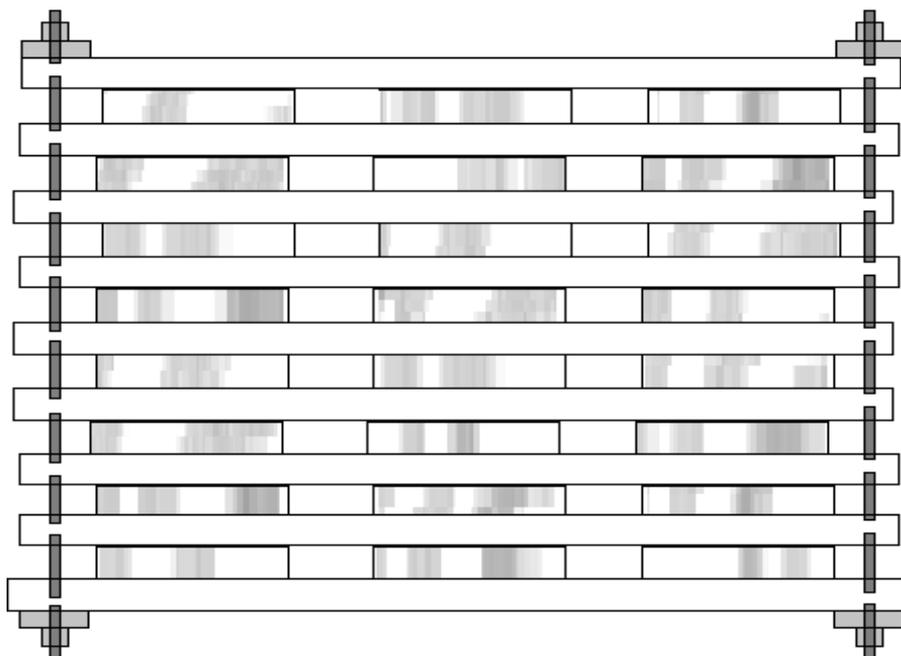


Figura 6: Dispositivo para secagem e alinhamento das lâminas.

A partir de então as amostras tiveram seu peso aferido utilizando balança analítica de precisão 0,01g periodicamente até a constatação de sua estabilização onde a madeira entrou em equilíbrio higroscópico com ambiente com umidade entre 12% e 15%. Depois de climatizada, as laminas com 70 cm foram dividias em 3 partes, gerando assim laminas com dimensão 0,5 x 4,0 x 18,0cm (Figura 7). O pranchão C teve suas dimensões mais prejudicadas pelo descarte do alburno produzindo apenas duas repetições nas posições 26 e 27. Desta maneira foi possível se obter um total de 237 corpos-de-prova.

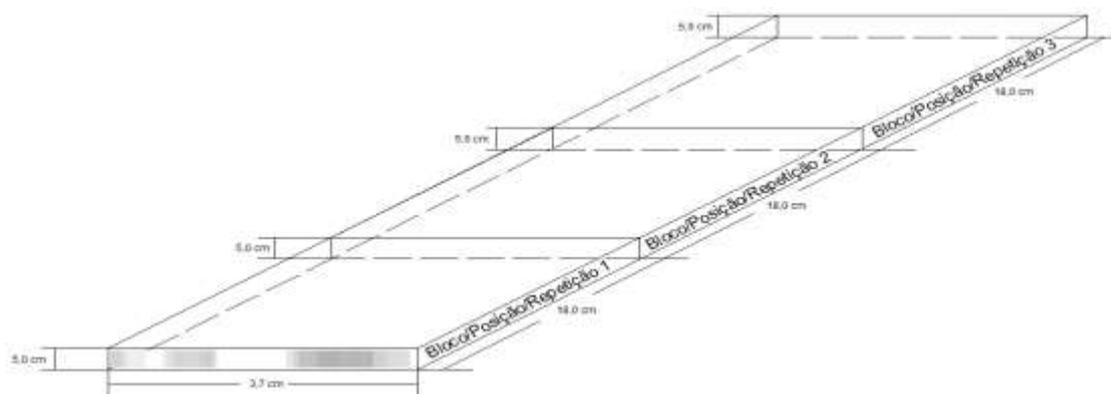


Figura 7: Corpos-de-prova com as dimensões finais.

Para realização dos ensaios e análises estatísticas que se seguiram, foram selecionadas pelo menos 1 (uma) e no máximo (2) amostras de cada posição dos três blocos, totalizando aleatoriamente 5 (cinco) lâminas por posição, resultando um total de 134 amostras analisadas (Tabela 1).

Tabela 1. Corpos-de-prova selecionados para utilização nos ensaios e análises.

POSICÃO	Pranchão			SOMA
	A	B	C	
1	1	2	2	5
2	2	1	2	5
3	1	2	2	5
4	2	2	1	5
5	2	1	2	5
6	1	2	2	5
7	2	2	1	5
8	2	1	2	5
9	1	2	2	5
10	2	2	1	5
11	2	1	2	5
12	1	2	2	5
13	2	2	1	5
14	2	1	2	5
15	1	2	2	5
16	2	2	1	5
17	2	1	2	5
18	1	2	2	5
19	2	2	1	5
20	2	1	2	5
21	1	2	2	5
22	2	2	1	5
23	2	1	2	5
24	1	2	2	5
25	2	2	1	5
26	2	3	0	5
27	3	1	0	4
SOMA	46	46	42	134

4.2 Propriedades físicas da madeira de mogno africano

4.2.1 Determinação da Densidade Aparente

Na determinação da densidade aparente, obteve-se o peso (g) de cada amostra através de uma balança analítica 0,01 g de precisão, e o volume através do método estereométrico. A largura foi medida em dois pontos da lâmina utilizando um paquímetro digital com precisão de 0,01mm, o comprimento (cm) no centro da peça com régua de aço de precisão 0,5 mm, e a espessura (mm) em quatro pontos distintos com o auxílio de um micrômetro de precisão de 0,01 mm, conforme ilustrado na Figura 8. Visando minimizar o efeito de possíveis defeitos de secagem foi calculada a largura média espessura média para utilização dos valores no cálculo da densidade aparente.

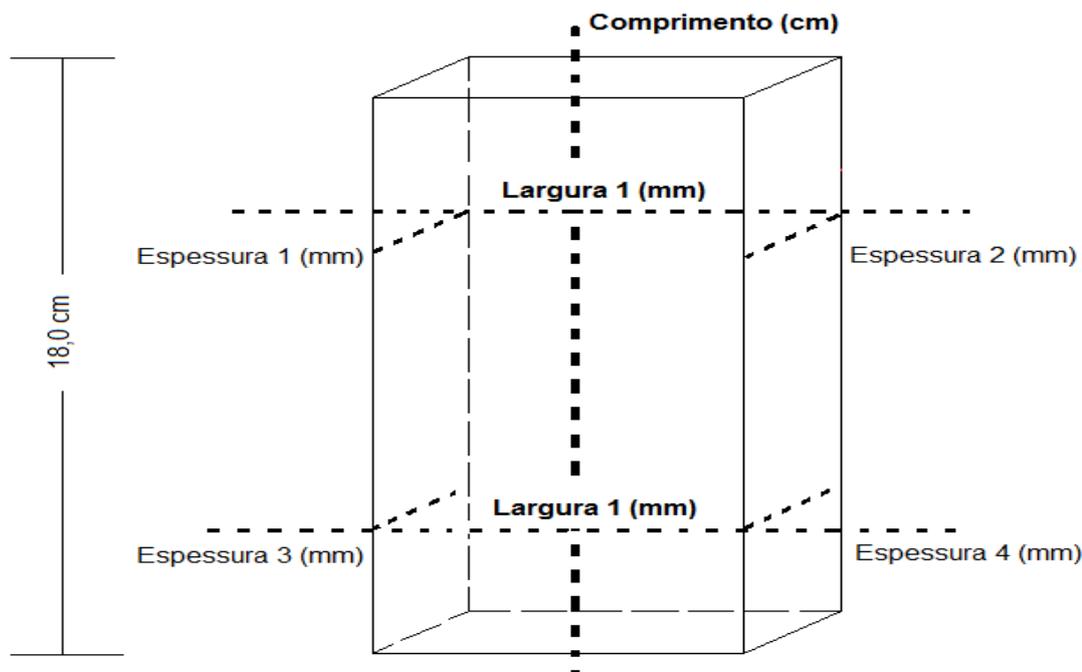


Figura 8: Esquema da medição das dimensões em pontos distintos para obtenção do volume utilizado na determinação da densidade aparente.

Em seguida foi calculada a densidade aparente através da seguinte equação:

$$D = \frac{M}{V} \quad (1)$$

Sendo, D: densidade aparente da madeira ($\text{g} \cdot \text{cm}^3$); M: massa da amostra à 12% de umidade ou no teor de umidade de equilíbrio (g); e V: volume da amostra à 12% de umidade ou no teor de umidade de equilíbrio (cm^3).

4.2.2 Colorimetria

Para estudo da cor foi preciso inicialmente lixar as amostras utilizando lixas de papel com granulação de 120, 250 e 360, respectivamente, para se obter uma superfície sem oxidação.

Em seguida retirou-se o pó resultante do trabalho das lixas, e realizou-se a medição da coloração da madeira utilizando o espectrofotômetro portátil CM 2600d, versão 1.41 da Konica Minolta (Figura 9A e 9B) com base na norma internacional CIELAB 1976. Esta é caracterizada por estudar três diferentes coordenadas (L^* , a^* e b^*), dispostas em um espaço de cor tridimensional (Figura 9A e 9B), no qual L^* representa a luminosidade ou claridade variando de zero (preto) à 100 (branco), enquanto que a^* e b^* representam as variáveis cromáticas nos eixos verde-vermelho e azul-amarelo, respectivamente, ambas variando entre 60 e +60. No diagrama de cromaticidade CIE- $L^*a^*b^*$, os sinais positivos e negativos indicam: aumento na cor vermelha ($+a^*$), aumento na cor verde ($-a^*$), aumento na cor amarela ($+b^*$) e aumento na cor azul ($-b^*$) tal como apresentado na Figura 9 (KONICA MINOLTA, 1998).

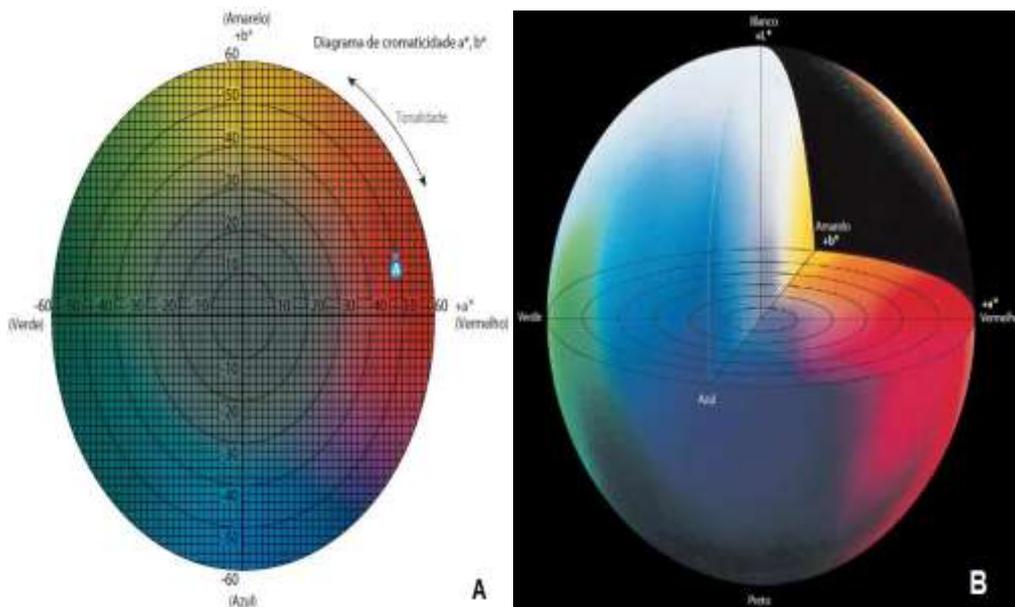


Figura 9: (A) Espaço de cor tridimensional do sistema CIE-L*a*b*. L*: luminosidade (eixo preto-branco). a* e b*: variáveis cromáticas (eixos verde-vermelho e azul-amarelo, respectivamente). (B) Diagrama de cromaticidade (Fonte: KONICA MINOLTA, 1998).

A cor foi medida através do contato direto do aparelho com a superfície da madeira, na face de maior superfície da lâmina em 5 pontos distintos pré-determinados com o auxílio de um gabarito (Figura 9). Antes das medições, o aparelho foi calibrado com o padrão preto e branco, utilizando-se a placa CM-A145 (Figura 7B) para calibração do branco. Os dados registrados pelo espectrofotômetro, foram transferidos para o software SpectraMagic NX™ (Konica Minolta) e assim puderam ser exportados para o software Microsoft Office EXCEL.

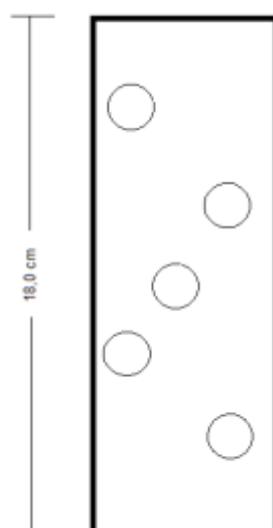


Figura 10: Desenho esquemático da medição da cor em cinco pontos diferentes na amostra.

4.2.3 Ângulo de inclinação das fibras

Em seguida, os corpos-de-prova foram utilizados para o cálculo do ângulo de inclinação das fibras, medindo-se a inclinação da grã de cada amostra na largura da peça relação às suas arestas e também na espessura da amostra, conforme Figura 11. Sendo assim o ângulo pode ser obtido por meio da seguinte equação:

$$\tan \theta = \frac{CO}{CA} \therefore \hat{\text{Ângulo de Grã 1 e 2}} = \tan^{-1} \theta \quad (2)$$

Onde: $\tan \theta$ = tangente do ângulo θ , co = cateto oposto, ca = cateto adjacente, $\tan^{-1} \theta$ = arcotangente de θ .

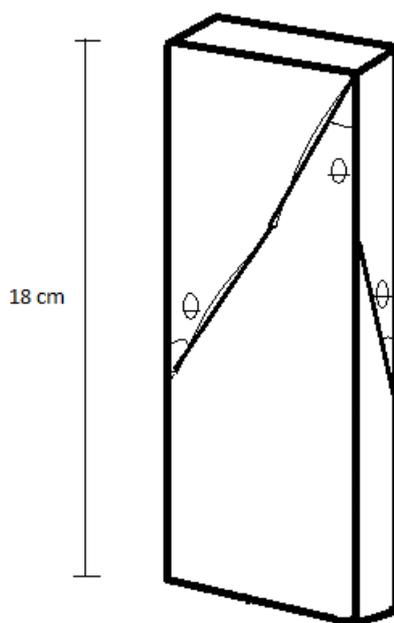


Figura 11: Desenho esquemático da medição dos ângulos das fibras.

4.2.4 Empenamento

Durante a fase de climatização e secagem algumas amostras apresentaram distorções que foram agrupadas em classes de empeno. Para isto as lâminas foram arranjadas sobre uma superfície lisa e perfeitamente plana, e foi medido o afastamento da aresta em relação à superfície plana atribuindo assim índices para cada intensidade de empenamento.

As amostras perfeitamente alinhadas com a superfície receberam índice zero, amostras com afastamento de até 3,0 mm da superfície receberam índice 1 e foram consideradas levemente empenadas, de 3,0 mm até 5,0 mm de afastamento receberam índice 2 e foram consideradas moderadamente empenadas, e acima de 5,0 mm de afastamento foi considerado empenamento alto e índice 3.

4.3 Propriedades mecânicas da madeira de mogno africano

O ensaio de flexão estática foi realizado em uma máquina universal de ensaios mecânicos com capacidade para 30 toneladas, utilizando um software de aquisição automática

de dados, o Pavitest Madeira versão 2.77 para posterior transferência das informações para o software Microsoft Office EXCEL.

Esse ensaio consistiu em alocar a lâmina entre dois apoios de vão igual a 15,0 cm e aplicar uma carga uma concentrada no centro da amostra até uma deformação aproximada de 0,40 mm da madeira e novamente até uma deformação em torno de 0,80 mm. Com as cargas respectivas as deformações de 0,4 mm e 0,8mm foi calculado o módulo de elasticidade.

A deformação máxima foi estabelecida pela relação vão/200, ou ainda 150/200 =0,75mm, de modo que a lamina trabalha-se com tensões normais no regime elástico e abaixo do limite de proporcionalidade.

O vão de 15 cm foi escolhido de modo que houvesse uma relação entre a altura das amostras e o vão de teste maior que 21 vezes.

Módulo de elasticidade estático foi calculado conforme a equação:

$$MOE_e = \Delta N * L^3 \div 4 * \Delta \delta * b^3 * h \quad (3)$$

Onde: MOE_e = módulo de elasticidade estático da madeira, em kgf/cm⁽⁻²⁾; ΔN = diferença de carga, kgf/cm⁽⁻²⁾; L = vão do corpo-de-prova, em cm; b e h = correspondem, respectivamente, à espessura e largura média do corpo-de-prova, Δδ = diferença de flecha, cm;

Findado o ensaio de flexão estática da madeira, foram realizados ensaios de flexão dinâmica com os mesmos corpos-de-prova.

Com o uso do equipamento Stress Wave Timer da Metriguard, constituído por um pêndulo metálico, dois transdutores acelerômetros e um relógio registrador da velocidade de propagação da onda sonora sobre a madeira, foi possível o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico. Cada lâmina foi fixada entre os transdutores do aparelho que permitia ajustar o vão à largura da amostra e o pêndulo era lançado do seu máximo curso até atingir a face transversal da lâmina fazendo com que a onda acústica percorresse a madeira longitudinalmente até e fosse registrada no final do seu percurso.

A densidade aparente é uma variável necessária para o cálculo do Módulo de Elasticidade da madeira obtida em ensaio dinâmico conforme a seguinte equação:

$$MOE_d = \frac{V * D_{12\%}}{A} \quad (4)$$

Onde: MOE_d = módulo de elasticidade dinâmico (MPa); V = velocidade de propagação da onda (cm/s); D(12%)= massa específica a 12% de umidade (g/cm³); e A = aceleração da gravidade (9,80 m/s²).

Após todas as análises e ensaios de maneira não destrutiva do material foi realizado ensaios de flexão estática seguindo a mesma metodologia descrita anteriormente, porém levando o material à ruptura para o cálculo da resistência da madeira à flexão.

4.4 Análise Estatística

As variáveis estudadas foram submetidas a análises de correlações feitas pelo método de Pearson, ao nível de 5% de significância, utilizando o software Statistica 7.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Análise das Propriedades Físicas

Para os dados das propriedades físicas da madeira foram realizadas análises de correlação entre as variáveis e procurou-se entender o efeito da variação radial em cada uma dessas variáveis.

O valor de densidade aparente encontrado para madeira de mogno africano neste estudo foi de 0,761 g/cm³ (Tabela 2), portanto dentro da faixa encontrada por MAINIERI & CHIMELO, 1989, para *Swietenia macrophylla* King. (Mogno brasileiro) que foi entre 0,48 g/cm³ a 0,85 g/cm³, caracterizando-a como moderadamente densa.

Os valores de densidade aparente resultantes apresentaram correlação positiva com a posição (r=0,70) e a distância radial (r=0,68), como pode ser visto na Tabela 3 e figura 12.

Tabela 2. Valores médios as propriedades físicas da madeira.

Estatísticas	ME (kg/m ³)	Ângulo Grã1	Ângulo Grã2	Empeno	L*	a*	b*	H (°)	C
Média	761,01	9,46	7,63	1,41	52,2	13,9	18,2	52,2	23
Desvio	92,49	5,86	6,66	0,95	4,06	1,12	2,8	3,5	2,6
CV %	12,15	61,95	87,28	66,96	7,7	8,03	15,2	6,6	11,4

Onde: ME é a densidade básica (Kg/m³), Ângulo de grã 1 é o ângulo da grã na espessura (°), Ângulo de grã 2, ângulo da grã na largura (°), L* é a luminosidade da madeira, a* matriz é a tonalidade vermelha, b* matriz a tonalidade amarela, H o ângulo de tinta (°) e C a saturação da cor.

Tabela 3. Correlações entre as propriedades físicas da madeira.

Variáveis	Posição	Raio	ME	Ângulo grã 1	Ângulo Grã 2	Empeno
Posição	1,00	<u>0,99</u>	<u>0,70</u>	-0,03	<u>0,49</u>	<u>0,41</u>
Raio	<u>0,99</u>	1,00	<u>0,68</u>	-0,03	<u>0,49</u>	<u>0,42</u>
ME	<u>0,70</u>	<u>0,68</u>	1,00	0,11	<u>0,35</u>	<u>0,31</u>
Ângulo Grã1	-0,03	-0,03	0,11	1,00	-0,11	<u>0,19</u>
Ângulo Grã2	<u>0,49</u>	<u>0,49</u>	<u>0,35</u>	-0,11	1,00	<u>0,32</u>
Empeno	<u>0,41</u>	<u>0,42</u>	<u>0,31</u>	<u>0,19</u>	<u>0,32</u>	1,00
L*	<u>-0,29</u>	<u>-0,30</u>	<u>-0,61</u>	<u>-0,19</u>	-0,04	<u>-0,33</u>
a*	0,02	-0,02	0,17	-0,04	-0,14	0,10
b*	<u>-0,42</u>	<u>-0,43</u>	<u>-0,59</u>	-0,13	-0,17	<u>-0,30</u>
H (°)	<u>-0,46</u>	<u>-0,43</u>	<u>-0,73</u>	-0,10	-0,08	<u>-0,32</u>
C	<u>-0,36</u>	<u>-0,38</u>	<u>-0,47</u>	-0,12	<u>-0,18</u>	<u>-0,24</u>

Onde: ME é a densidade básica (g/cm³), Raio é a distância radial medula-casaca em cm, Ângulo de grã 1 é o ângulo da grã na espessura (°), Ângulo de grã 2, ângulo da grã na largura (°), L* é a luminosidade da madeira, a* matriz é a tonalidade vermelha, b* matriz a tonalidade amarela, H o ângulo de tinta (°) e C a saturação da cor. Os coeficientes de correlações sublinhados são significativos, pelo método de Pearson, ao nível de 5% de significância.

Na figura 12 verifica-se o aumento da massa específica aparente da madeira à medida que as amostras vão se afastando da medula atingindo seu valor máximo em torno de 20,0 cm. A partir deste momento verifica-se uma queda nos valores da massa específica coincidindo com o fato das amostras começarem a apresentar madeira de transição entre cerne e alburno.

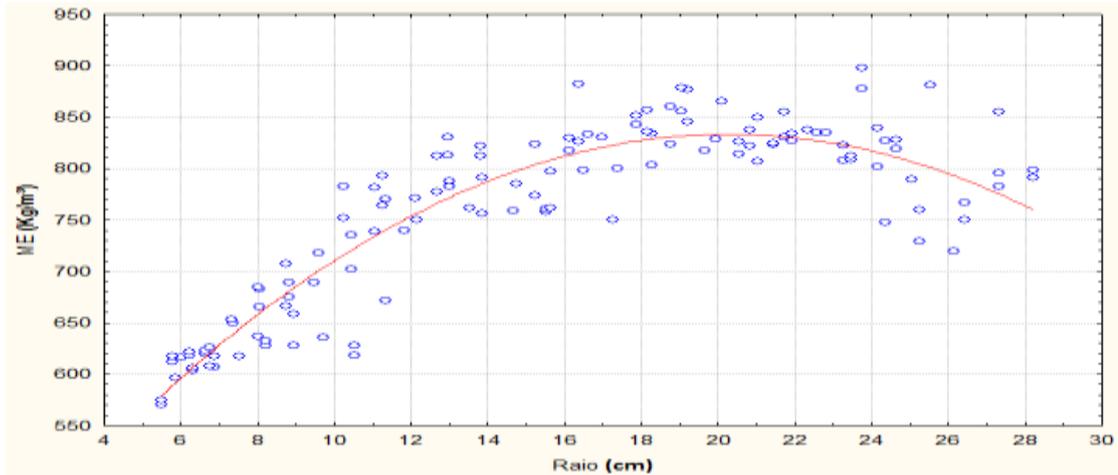


Figura 12. Comportamento da densidade aparente (Kg/m^3) em função do raio (cm).

Além da densidade aparente, a variação radial apresentou correlação também com outras propriedades físicas como a cor, o empeno ($r=0,42$), e a inclinação da grã medida na largura da peça ($r=0,49$) (Tabela 3).

A inclinação da grã e o empeno, características não desejáveis para o uso da madeira, se correlacionaram positivamente com posição radial das amostras, notou-se que conforme as amostras vão se aproximando da casca, a quantidade de madeira produzida aumenta na variação radial medula-casca, porém verifica-se que essa madeira apresenta um elevado desvio de grã e está mais propensa a defeitos como o empenamento. Pode-se observar visualmente os vasos cortados longitudinalmente ou diagonalmente num mesmo plano da madeira reiterando a característica de grã irregular reversar da madeira de mogno-africano.

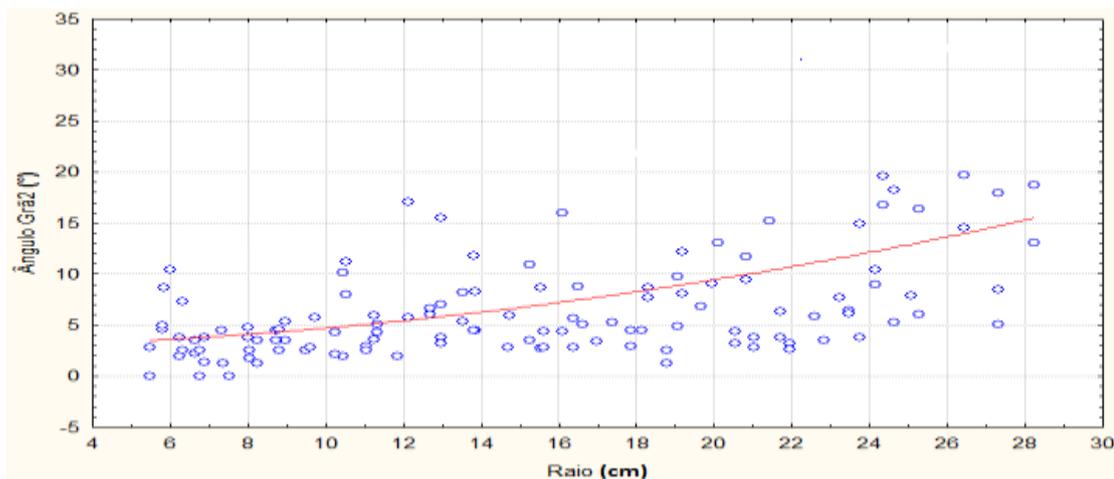


Figura 13. Comportamento da inclinação da grã (°) em função da variação radial da madeira.

Quanto à cor da madeira, pode-se perceber que a variação radial e a densidade aparente apresentaram correlação negativa com as variáveis *L (Luminosidade), a variável cromática *b (tonalidade amarela), H (ângulo de tinta) e C (Saturação) da madeira estudada.

Tabela 4. Correlações entre a cor e as demais propriedades físicas da madeira.

Variáveis	L*	a*	b*	H (°)	C
Posição	<u>-0,29</u>	0,02	<u>-0,42</u>	<u>-0,46</u>	<u>-0,36</u>
Raio (cm)	<u>-0,30</u>	-0,02	<u>-0,43</u>	<u>-0,43</u>	<u>-0,38</u>
ME (Kg/m ³)	<u>-0,61</u>	0,17	<u>-0,59</u>	<u>-0,73</u>	<u>-0,47</u>
Ângulo Grã 1	<u>-0,19</u>	-0,04	-0,13	-0,10	-0,12
Ângulo Grã 2	-0,04	-0,14	-0,17	-0,08	<u>-0,18</u>
Empeno	<u>-0,33</u>	0,10	<u>-0,30</u>	<u>-0,32</u>	<u>-0,24</u>
L*	1,00	-0,09	<u>0,59</u>	<u>0,66</u>	<u>0,50</u>
a*	-0,09	1,00	0,13	<u>-0,53</u>	<u>0,36</u>
b*	<u>0,59</u>	0,13	1,00	<u>0,63</u>	<u>0,97</u>
H (°)	<u>0,66</u>	<u>-0,53</u>	<u>0,63</u>	1,00	<u>0,43</u>
C	<u>0,50</u>	<u>0,36</u>	<u>0,97</u>	<u>0,43</u>	1,00

Onde: ME é a densidade básica (g/cm³), Raio é a distância radial medula-casca em cm, Ângulo de grã 1 é o ângulo da grã na espessura (°), Ângulo de grã 2, ângulo da grã na largura (°), L* é a luminosidade da madeira, a* matriz é a tonalidade vermelha, b* matriz a tonalidade amarela, H o ângulo de tinta (°) e C a saturação da cor. Os coeficientes de correlações sublinhados são significativos, pelo método de Pearson, ao nível de 5% de significância.

Maiores valores de luminosidade indicam madeira mais clara e menores valores madeira mais escura. A medida que se aumenta os valores de massa específica, diminui-se os valores de L*, ou seja, a madeira fica mais escura com menor luminosidade, logo, madeiras mais densas são mais escuras.

A coordenada L* da madeira, apresentou uma redução significativa (r=-0,30) (Tabela 4) conforme as amostras se afastavam da região da medula atingindo seu ponto mais baixo numa distância radial de 18,0 cm da medula, onde novamente aumenta com a transição para região de alburno (Figura 14). Essa propriedade também apresentou redução acentuada com o

aumento da densidade aparente da madeira. A diminuição do valor da coordenada L^* significa o escurecimento da madeira no sentido radial.

Para a madeira de Mogno africano amostrada, o valor da coordenada L^* encontrado foi de 52,2 (Tabela 2), bem próximo do valor de 52,5 encontrado no trabalho de CAMARGOS E GONÇALEZ, 2001. Esta variável, assim como as demais variáveis de cor que obtiveram correlação com a variação medula-casca da madeira, apresentou valor de coeficiente de variação baixo conforme a literatura estatística que considera C.V (%) menor que 30, um conjunto homogêneo e de baixa variabilidade em relação a propriedade estudada.

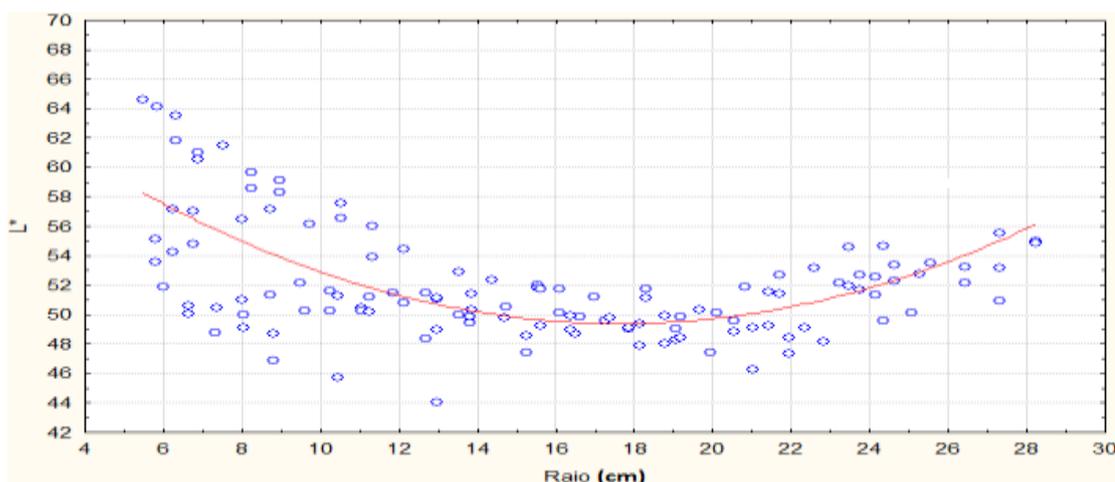


Figura 14. Comportamento da claridade (L^*) em função da variação radial da madeira.

A coordenada cromática b^* (amarelo) apresentou valor de 18,2 e 15,2 de C.V (%) (Tabela 2). Para a madeira de mogno-africano, a variação radial da madeira causou um decréscimo nos valores de b^* ($r=-0,43$) (Tabela 4), o qual foi decrescente também com o aumento da densidade específica (Figura 15 e 16), correspondendo à redução de tonalidade amarela.

Ficou evidente que madeira mais densa tem menor quantidade de pigmento amarelo, ou ainda, que madeira mais próxima da medula são mais amareladas e este teor de pigmentos tende a diminuir à medida que se distancia da medula ($r=-0,42$ entre posição e coordenada b^*) (Tabela 4).

Fica evidente que a madeira de mogno africano tem uma predominância de pigmentos amarelos devido ao coeficiente de correlação entre a coordenada cromática b^* e a saturação C que foi de 0,97 também verificado na tabela 4.

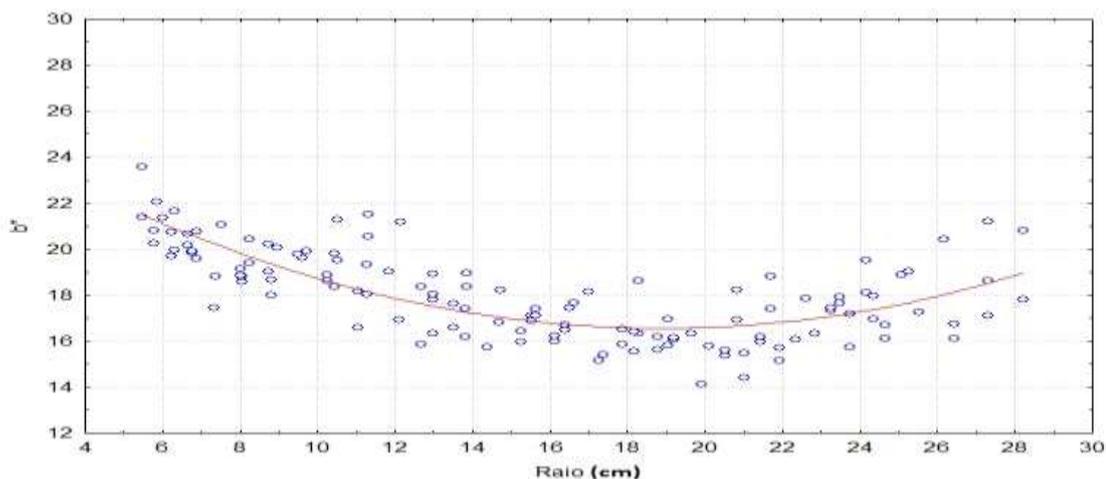


Figura 15. Comportamento da matriz (b^*) em função da variação radial da madeira.

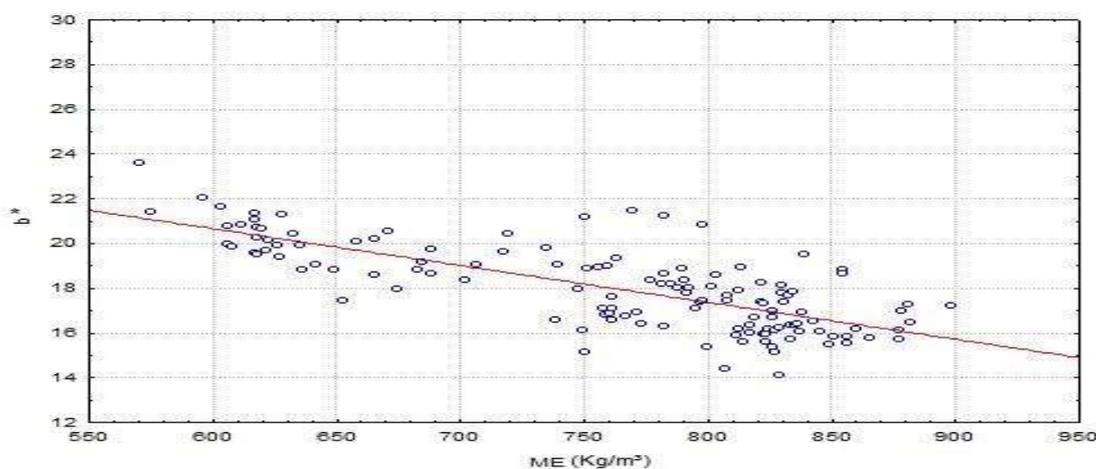


Figura 16. Comportamento da matriz (b^*) em função da densidade aparente (ME).

O valor da matriz a^* encontrado foi de 13,9 e 8,0 de C.V (%) bem próximo do valor de 13,86 encontrado no trabalho de CAMARGOS E GONÇALEZ, 2001, porém não ocorreu correlação entre essa variável e as demais propriedades físicas da madeira.

A saturação correlacionou-se também negativamente com a variação radial da madeira ($r=-0,38$), apresentando comportamento semelhante à matriz amarelo (b^*) (Figura 17) apresentando decréscimo com o incremento crescente da densidade aparente e da distância radial. Os valores de saturação (C) dependem da matriz vermelho (a^*) e amarelo (b^*). Na medida em que os valores de b^* para madeira são em geral maiores que os de a^* , assume-se que a matriz amarela (b^*) tem mais influência sobre a saturação, o que explica o comportamento semelhante entre b^* e C. A saturação obtida para madeira de mogno foi de 23,0 e 11,4 de C.V (%), sendo o valor de b^* superior ao valor de 17,8 encontrado no trabalho de CAMARGOS E GONÇALEZ, 2001.

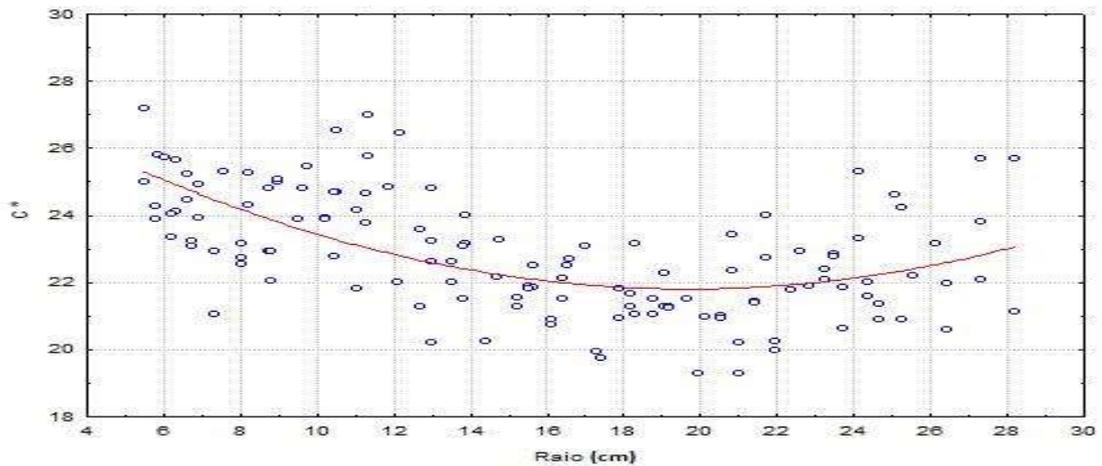


Figura 17. Comportamento da saturação (C) em função da variação radial da madeira (cm).

Para o ângulo de tinta (H), foi observado comportamento semelhante ao da claridade, ocorrendo seu decréscimo com o afastamento da medula ($r=-0,43$), atingindo seu maior valor em torno de 18,0 cm (Figura 18). Constata-se também redução acentuada com o crescimento dos valores de densidade aparente. O valor médio encontrado para H foi de $52,22^\circ$ e 6,63 de C.V (%). O ângulo de tinta (H) também é resultante das matrizes vermelho a^* e amarelo b^* . Desse modo, o ângulo de tinta, assim como a saturação, mostrou comportamento parecido com a matriz amarelo devido ao seu maior valor em relação à matriz.

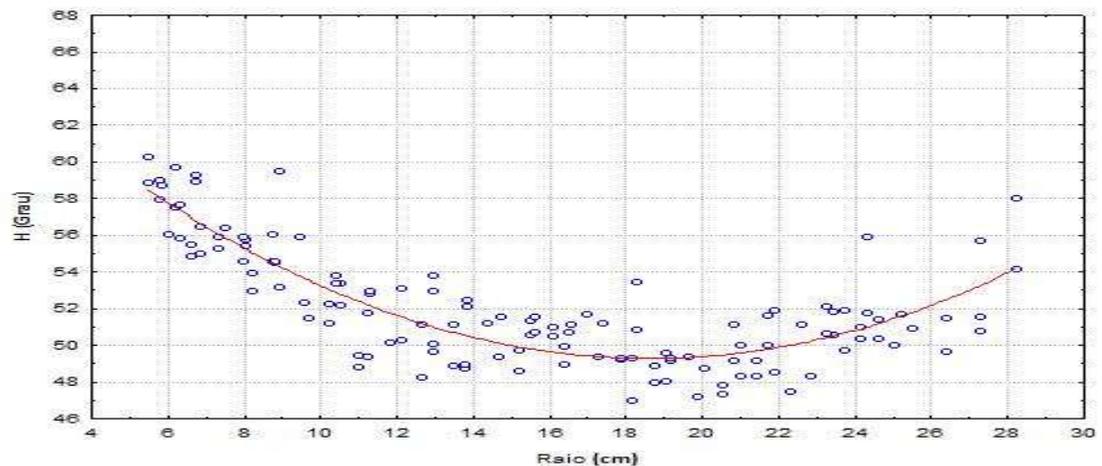


Figura 18. Comportamento do ângulo de tinta (H) em função da variação radial da madeira (cm).

Segundo o agrupamento de cores de Cluster para determinação de cores de madeira, baseado no sistema CIE La^*b^* de 1976, os valores médios das variáveis de cor encontrados (Tabela 2), indicam que a madeira de mogno-africano pode ser classificada como amarela amarronzada. Para efeito comparativo foi observado no trabalho de AUTRAN E GONÇALEZ, 2006, que o mogno Brasileiro nesse mesmo sistema é classificado como uma madeira amarela amarronzada.

5.2. Análise das Propriedades Mecânicas

Os valores médios das propriedades mecânicas encontrados podem ser vistos na tabela 5. A tabela 6 mostra a correlação dessas variáveis entre si e com as demais variáveis das propriedades físicas estudadas.

Tabela 5. Valores de médios das propriedades mecânicas da madeira de Mogno africano.

	MOE e (kgf/cm ²)	MOE d (kgf/cm ²)	Velocidade (m/s)	fb (kgf/cm ²)
Média	106.906	97.161	3546	1048
Desvio	22.039	16.451	334	241
CV %	20,6	16,9	9,4	22,98

Sendo: módulo estático na flexão (MOEe), módulo dinâmico na flexão (MOEd), velocidade de propagação do som e resistência a flexão (fb).

Tabela 6. Correlações entre as propriedades mecânicas e físicas da madeira de Mogno africano.

Variáveis	MOE e (kgf/cm ²)	MOE d (kgf/cm ²)	Velocidade (m/s)	fb (kgf/cm ²)
MOE e	1,00	<u>0,66</u>	<u>0,55</u>	<u>0,80</u>
MOE d	-	1,00	<u>0,77</u>	<u>0,66</u>
Velocidade	-	-	1,00	<u>0,38</u>
fb	-	-	-	1,00
Posição	<u>-0,20</u>	0,07	<u>-0,43</u>	0,06
Raio	-0,17	0,09	<u>-0,41</u>	0,06
ME	-0,02	0,13	<u>-0,48</u>	<u>0,24</u>
Ângulo Grã1	-0,13	-0,07	-0,12	-0,13
Ângulo Grã2	<u>-0,47</u>	<u>-0,37</u>	<u>-0,52</u>	<u>-0,40</u>
L*	-0,07	<u>-0,18</u>	<u>0,27</u>	<u>-0,24</u>
a*	0,14	0,17	0,02	<u>0,34</u>
b*	0,06	-0,07	<u>0,33</u>	-0,14
H (°)	-0,06	<u>-0,21</u>	<u>0,30</u>	<u>-0,39</u>
C	0,08	-0,02	<u>0,29</u>	-0,04

Sendo: módulo estático na flexão (MOEe), módulo dinâmico na flexão (MOEd), velocidade de propagação do som e resistência a flexão (fb). ME é a densidade básica (g/cm³), Raio é a distância radial medula-casaca em cm, Ângulo de grã 1 é o ângulo da grã na espessura (°), Ângulo de grã 2, ângulo da grã na largura (°), L* é a luminosidade da madeira, a* matriz é a tonalidade vermelha, b* matriz a tonalidade amarela, H o ângulo de tinta (°) e C a saturação da cor. Os coeficientes de correlações sublinhados são significativos, pelo método de Pearson, ao nível de 5% de significância.

O módulo estático na flexão da madeira em questão foi de 106.906 kgf/cm² e seu coeficiente de variação de 20,6%. Essa importante propriedade mecânica se correlacionou negativamente com a posição das amostras (r= -0,2). Apesar da correlação significativa o valor de r foi baixo.

O módulo de elasticidade na flexão estático também se correlacionou de forma positiva com outras propriedades mecânicas como a resistência na flexão (r=0,80), a velocidade de

propagação das ondas sonoras na madeira ($r=0,55$) e consequentemente com o módulo de elasticidade dinâmico ($r=0,66$). A dispersão desta correlação pode ser vista na Figura 19.

O valor de correlação entre a resistência e rigidez na flexão igual a 0,8 é um bom indicador que com o aumento da resistência mecânica há também um aumento da rigidez da madeira. Podendo ser a rigidez calculada em ensaios não destrutivos, no regime elástico, uma forma de estimar a resistência da madeira na flexão.

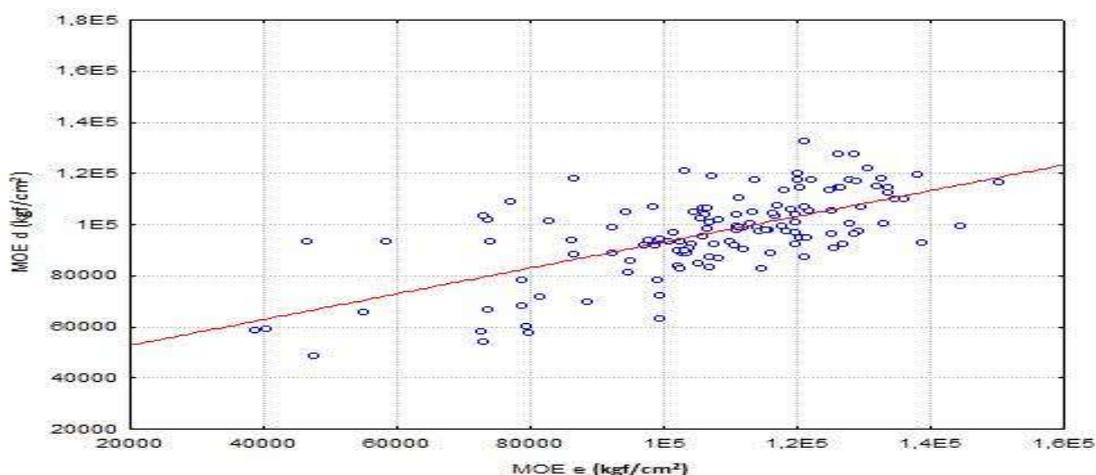


Figura 19. Comportamento do módulo de elasticidade estático na flexão em função do módulo de elasticidade dinâmico na flexão.

Já a matriz a* obteve correlação somente com a resistência na flexão, uma correlação positiva ($r=0,34$), onde se observa aumento da resistência da madeira com o crescimento da intensidade da tonalidade vermelha.

O módulo dinâmico encontrado para a madeira de mogno-africano foi de 97.161 Kgf/cm² e seu coeficiente de variação de 16, 93%. Esta propriedade não se correlacionou com a variação radial da madeira, porém com as propriedades físicas, essa propriedade se correlacionou de forma negativa. Tais propriedades são a inclinação da grã medida na largura da peça ($r=-0,37$) e Luminosidade L* ($r=-0,18$), e consequentemente também com o ângulo de tinta ($r=-0,21$).

A velocidade do som é uma propriedade acústica da madeira importante quando se faz uso desta para construção de instrumentos musicais. Madeira de mogno africano como o mogno brasileiro são muito utilizados nas construções de violões, guitarras e ukuleles.

Em relação à posição, distância radial e densidade aparente, essa propriedade apresentou correlações negativas de $r= -0,43$, $-0,41$ e $-0,48$ respectivamente.

A velocidade de propagação do som na madeira encontrada foi de 3.546 m/s e seu coeficiente de variação apresentado 9,42 %. Esta propriedade foi a que mais apresentou correlações com as coordenadas cromáticas, com exceção da matriz a* que não houve correlação. Observa-se que a medida que se aumenta a pigmentação amarela aumenta-se a velocidade do som, e, ainda, que este tipo de madeira está mais próximo da medula.

Foi percebido também que o aumento da inclinação da grã, reduz significativamente a velocidade do som ($r=-0,52$). Madeira com grã mais alinhada vai propiciar madeira mais acústica e grã reversa e/ou inclinada madeira menos acústica.

6. CONCLUSÕES

Foi observado o aumento da massa específica aparente da madeira à medida que as amostras vão se aproximando da casca atingindo seu valor máximo em torno de 20,0 cm. A partir deste momento verifica-se uma queda nos valores da massa específica coincidindo com o fato das amostras começarem a apresentar madeira de transição entre cerne e alburno.

A variação radial apresentou correlação também com outras propriedades físicas como a inclinação da grã medida na largura da peça e o empeno. Conforme as amostras vão se aproximando da casca, a quantidade de madeira produzida por unidade de área aumenta na variação radial medula-casca, porém verifica-se que essa madeira apresenta um elevado desvio de grã e está mais propensa a defeitos como o empenamento.

Quanto a luminosidade (L^*) foi possível observar o escurecimento da madeira no sentido radial, atingindo seu ponto mais baixo numa distância radial de 18,0 cm da medula, onde novamente volta a ser mais claro com a transição para região de alburno.

A pigmentação amarela da tende a diminuir à medida que as amostras se distanciam da medula, alcançando valores mais baixos em torno de 20,0 cm da medula onde ocorre a região de transição de madeira de cerne e alburno, após isso volta a aumentar.

A saturação (C) e o ângulo de tinta (H) apresentaram decréscimo com o aumento da distância radial da madeira. Como os valores de saturação e do ângulo de tinta dependem da pigmentação vermelha (a^*) e amarela (b^*), à medida que os valores de b^* para madeira são em geral maiores que os de a^* , assume-se que a pigmentação amarela tem mais influência sobre a saturação e sobre o ângulo de tinta o que explica seus comportamentos semelhantes.

O módulo de elasticidade estático na flexão se correlacionou negativamente com a posição das amostras, porém o valor do coeficiente de correlação foi muito baixo ($r=-0,2$).

O módulo de elasticidade dinâmico não se correlacionou com a variação radial da madeira.

Em relação à velocidade de propagação do som foi observado uma correlação negativa, significando uma diminuição na velocidade de propagação do som com o acréscimo de diâmetro da madeira.

Ficou indicado que o aumento da pigmentação vermelha (a^*) aumenta a resistência na flexão.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUTRAN, C. S.; GONÇALEZ, J. C. Caracterização colorimétrica das madeiras de muirapiranga (*Brosimum rubescens* Taub.) e de seringueira (*Hevea brasiliensis*, clone Tjir 16 Müll Arg.) visando à utilização em interiores. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 445-451, 2006.

BOTELHO, M. N. **Caracterização das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J. F. Macbr.** Rio de Janeiro: UFRRJ, 2011. 27p.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Floresta**, n. 71, 2001.

DIAS, F.M., LAHR, F.A.R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia Forestalis**, v.1, n.65, p.102-113, 2004.

GASPAROTTO, L.; HANADA, R.E.; ALBUQUERQUE, F.C.; DUARTE, M.L.R. Mancha areolada causada por *Thanatephorus cucumeris* em mogno africano. **Fitopatologia brasileira**, Brasília, v. 26, n. 3, p.660-661, 2001.

GOMES, J. J.; TOLEDO FILHO, R. D.; NASCIMENTO, J. W. B.; SILVA, V. R.; NÓBREGA, M. V. Características tecnológicas da *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. e alternativas para uso racional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.5, p. 537-542, 2007.

GUIMARÃES, K. V. & MARINHO, P. S. B. & SILVA, M. F. G. V. & FERNANDES, J. B. & VIEIRA, P. C. & MÜLLER, M. W. 2004. **Limonóides isolados na família Meliaceae**. XXVI Reunião Anual sobre Evolução, Sistemática e Ecologia Micromoleculares.

KRETSCHMANN, D.E. Mechanical properties of wood. In: Forest Products Laboratory-FPL. **Wood Handbook: wood as an engineering material**. Madison: FPL/USDA, 2010, chapter 5, p. 100-145.

LOGSDON, N. B.; FINGER, Z.; ROSA, L. M. Caracterização da madeira de *Vochysia guianensis* Aubl. **Engenharia Civil**, n.29, p. 57-69, 2007.

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

MARQUES, F; CESAR, E. Emaranhado burocrático. **Pesquisa FAPESP**, N.179, P. 28, 2011.

MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MORI, C. L. S. DE O.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; TRUGILHO, P. F.; GONCALEZ, J. C. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus spp.* **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 137-146, 2005.

MORI, C. L. S. DE O.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; OLIVEIRA, A. C. **Influência das características da cor da madeira de eucaliptos**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 123-132, 2004.

MÖTTÖNEN, K.; ALVILA, L.; PAKKANEN, T. CIELab Measurements to determine the role of felling season, log storage and kiln drying on coloration of silver birch wood. **Scandinavian Journal Forest Research**, v. 17, p. 179-191, 2002.

NISHINO, Y.; JANIN, G.; YAMADA, Y.; KITANO, D. Relations between the colorimetric values and densities of sapwood. **Journal of Wood Science**, v. 46, p. 267-272, 2000.

RECH, C. 2006. Estados Unidos lidera importações brasileiras. **Revista da Madeira**, 96.

ROCHA, J. S.; PAULA, E. V. C. M.; SIQUEIRA, M. L. Flexão estática em amostras pequenas livres de defeitos. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 18, n. 1/2, p. 147-162, 1988.

RODRIGUES, E. A. C; ROSADO, S. C. S; TRUGUILHO, P. F; SANTOS, A. M. Seleção de clones de Eucalyptus para as propriedades da madeira avaliada em árvores no campo. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 2, p. 147-152, 2008.

TEIXEIRA, V. C. M. Avaliação da usinagem da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). Seropédica, RJ, julho/2011. Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/2011I/Vitor.pdf>. Acesso em: 12/05/2012.

TSOUMIS, G. **Wood as raw material**. Nancy, 1968. 276 p.

