



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

THALITA PAES BARRETO STEVENS

EFEITO DA VARIAÇÃO RADIAL EM DETERMINADAS PROPRIEDADES DA
MADEIRA DE MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis*)

Prof. Dr. ALEXANDRE MIGUEL DO NASCIMENTO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ



DEZEMBRO – 2017

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

THALITA PAES BARRETO STEVENS

**EFEITO DA VARIAÇÃO RADIAL EM DETERMINADAS PROPRIEDADES DA
MADEIRA DE MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis*)**

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
DEZEMBRO – 2017

**EFEITO DA VARIAÇÃO RADIAL EM DETERMINADAS PROPRIEDADES DA
MADEIRA DE MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis*)**

THALITA PAES BARRETO STEVENS

Monografia aprovada em 01 de dezembro de 2017.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alexandre Miguel do Nascimento
UFRRJ/IF/DPF
Orientador

Prof^a. Dr^a. Natália Dias de Souza
UFRRJ/IF/DPF
Membro

Eng. Florestal Lucas Avellar Arantes Vieira
UFRRJ/IF/DPF
Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por te me dado força e sabedoria quando precisei, além de proteção e saúde.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pelo amadurecimento e pela experiência de vida fantástica que tive durante a graduação.

Ao professor Alexandre Miguel do Nascimento, pela orientação, pelos ensinamentos e conselhos que me deu durante anos e principalmente por me apoiar quando mais precisei.

Aos membros da banca, Professora Natália Dias de Souza e Lucas Avellar Arantes Vieira pela contribuição valiosa nesse trabalho.

À minha família e em especial aos meus pais, por serem a minha base e estarem sempre presente na minha vida.

Ao meu namorado e melhor amigo Filipe, por estar sempre comigo, me dando apoio e amor, e sua família, por me acolherem e me emprestarem o carro nesse final de graduação.

Aos grandes amigos que construí na turma de Engenharia Florestal 2009- II, cada um de vocês está dentro do meu coração (S2), em especial a Rê, Sadi, Talles, Fê, Cat, Tavares, Avellar, Bidu, Thay, Cueca, Girafa e Yuri (*in memoriam*).

A todos meus amigos do Programa Ciência sem Fronteiras, em especial ao Rafael Cavassani, que como qualquer bom ruralino me acolheu no Canadá como se fosse meu irmão.

A todas as meninas que dividiram casa comigo, em especial a Renata Sistons, que estive comigo desde o 1º período, a Caroll Davis que nos últimos anos de faculdade se transformou em uma grande amiga, e a Camilla Castro que foi sempre como uma irmã pra mim.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo estudar o efeito da variação radial na densidade aparente, na compressão paralela às fibras, e no módulo de elasticidade dinâmico, como também a variação radial e tangencial da colorimetria da madeira de *Khaya ivorensis*, vulgarmente conhecida como mogno africano. Para isso, foram retiradas amostras radial de três árvores, localizadas no município de Seropédica - RJ, com DAP aproximado de 90 e 100 cm e idade em torno de 30 anos. Para determinação da densidade aparente utilizou-se a relação massa e volume das amostras com 12% de umidade de equilíbrio. O módulo de elasticidade foi obtido através do método Stress Wave, e a compressão paralela através da máquina universal de ensaios. As coordenadas cromáticas (a^* e b^*) e a luminosidade (L^*) foram obtidas com o espectrofotômetro portátil Konica Minolta CM 2600d. As médias encontradas foram: 743 kg/m³ para a densidade aparente, 546 Kgf/cm² para a compressão paralela, e 96.086 Kgf/cm² para o módulo de elasticidade. Observou-se o aumento no sentido medula-casca das propriedades físico-mecânicas avaliadas, com exceção do módulo de elasticidade dinâmico. Em relação à cor observou-se a diminuição do L^* e b^* sentido medula-casca, indicando que a região mais próxima da medula apresenta madeira mais clara e com maior pigmentação amarela do que vermelha. As coordenadas de cor variaram de acordo com a seção de corte observado, indicando que a orientação e/ou proporção das células afeta a cor da madeira. A variação radial das propriedades expressa um indicativo de diversificadas aplicações tecnológicas. A densidade aparente e as coordenadas de cor indicaram correlações significativas, com exceção da coordenada a^* . A densidade aparente pode ser utilizada como um estimador de outras propriedades. A colorimetria pode ser utilizada como uma ferramenta de classificação e qualidade da madeira.

Palavras-chave: mogno africano, variação radial, propriedades físico-mecânicas, colorimetria.

ABSTRACT

The objective of this work was to study the effect of radial variation in apparent density, in parallel compression to fibers, and in the dynamic modulus of elasticity, as well as the radial and tangential variation in the colorimetry of *Khaya ivorensis* wood, commonly known as African mahogany. For this, radial samples were taken from three trees, located in the municipality of Seropédica - RJ, with approximate DBH of 90 and 100 cm and age around 30 years. To determine the apparent density, the mass and volume ratio of the samples with 12% of equilibrium moisture was used. The modulus of elasticity was obtained through the Stress Wave method, and the parallel compression through the universal test machine. The chromatic coordinates (a^* and b^*) and brightness (L^*) were obtained with the Konica Minolta CM 2600d handheld spectrophotometer. The averages found were: 743 kg / m³ for the apparent density, 546 Kgf / cm² for the parallel compression, and 96,086 Kgf / cm² for the modulus of elasticity. The increase in the marrow-shell direction of the physical-mechanical properties evaluated, except for the dynamic modulus of elasticity, was observed. Regarding color, we observed a decrease in L^* and b^* in the marrow-bark direction, indicating that the region closest to the marrow presents lighter wood and with a higher yellow than red pigmentation. The color coordinates varied according to the observed section cut, indicating that the orientation and / or proportion of the cells affects the color of the wood. The radial variation of the properties expresses an indicative of diversified technological applications. The apparent density and color coordinates indicated significant correlations, with the exception of a a^* coordinate. The bulk density can be used as an estimator of other properties. Colorimetry can be used as a classification and quality tool for wood.

Keywords: African mahogany, radial variation, physical-mechanical properties, colorimetry.

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Valores de distância do centro geométrico da seção transversal da amostra na posição até a medula para as três árvores de mogno africano.....	7
Tabela 2. Valores médios das três árvores encontrados para as propriedades físicas-mecânicas da madeira de <i>Khaya ivorensis</i> em relação à posição radial.....	11
Tabela 3. Valores médios das coordenadas L^* , a^* e b^* para as seções tangencial e radial em relação à posição radial.....	15
Tabela 4. Coeficientes de correlação entre as propriedades.....	18

LISTA DE FIGURA

Figura 1. Características da espécie <i>Khaya ivorensis</i> : (A) copa e tronco. (B) sementes e frutos. Fonte: https://www.jornalufgonline.ufg.br e www.ibflorestas.org.br	2
Figura 2. Demonstração de madeira juvenil, adulta e transição da madeira de <i>Pinus taeda</i> L. Fonte: BALLARIN E NOGUEIRA, 2005.....	5
Figura 3. Preparação dos corpos de prova de <i>Khaya ivorensis</i> . Fonte: VIEIRA et al., 2014.....	6
Figura 4. Espaço de cor do sistema CIE-L*a*b*. L*. Fonte: MINOLTA, 1998.....	10
Figura 5. Densidade aparente de <i>Khaya ivorensis</i> em diferentes posições radiais.....	12
Figura 6. Módulo de elasticidade dinâmico de <i>Khaya ivorensis</i> em diferentes posições radiais.....	13
Figura 7. Resistência na compressão de <i>Khaya ivorensis</i> em diferentes posições radiais.....	14
Figura 8. Luminosidade (L*) de <i>Khaya ivorensis</i> nas seções tangencial e radial em diferentes posições radiais.....	16
Figura 9. Análise colorimétrica da coordenada a* de <i>Khaya ivorensis</i> nas seções tangencial e radial em diferentes posições radiais.....	17
Figura 10. Análise colorimétrica da coordenada b* de <i>Khaya ivorensis</i> nas seções tangencial e radial em diferentes posições radiais.....	17

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 <i>Khaya ivorensis</i>.....	2
2.2 Propriedades Físico-mecânica.....	3
2.3 Cor da Madeira.....	4
2.4 Variação Radial da Madeira.....	5
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	6
3.1 Coleta do Material.....	6
3.2 Determinação das Propriedades Físico-mecânicas.....	7
3.2.1 Densidade aparente.....	7
3.2.2 Módulo de elasticidade dinâmico.....	8
3.2.3 Resistência na compressão.....	8
3.3 Colorimetria.....	9
3.4 Análise Estatística.....	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
4.1 Propriedades físico-mecânicas.....	11
4.1.1 Densidade Aparente.....	11
4.1.2 Módulo de Elasticidade dinâmico.....	13
4.1.3 Resistência na compressão.....	14
4.1.4 Análises colorimétricas.....	15
4.2 Correlação entre as propriedades físicas-mecânicas e as análises colorimétricas	18
5. CONCLUSÕES.....	20
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um dos materiais mais utilizados pelo homem ao longo de sua história, e, ainda hoje, é uma matéria prima de importância mundial. Sua aplicação em grande escala se deve à suas propriedades, como alta resistência, durabilidade e solidez que são essenciais para estruturas resistentes. Além disso, a madeira possui alta trabalhabilidade, sendo empregada para diversas finalidades.

O conhecimento das características físico-mecânicas e anatômicas para a qualidade da madeira é de grande importância, pois estas informações possibilitam a determinação das propriedades tecnológicas, com o propósito de utilizar a madeira com economia e segurança (OLIVEIRA, 2007). Porém, características estéticas como cor e desenho são importantes, pois têm um papel direto no estabelecimento do preço e no valor final do produto (MÖTTÖNEN et al., 2002). Por essa razão, a cor também é considerada importante índice de classificação e qualidade, devendo ser incorporada na caracterização tecnológica da madeira, visando atender aos usos mais nobres desse material (MORI et al., 2004)

Por ser um material heterogêneo, a madeira possui diferentes tipos de células, apresentando grande variabilidade. Assim suas propriedades físicas e mecânicas, variam significativamente entre espécies, entre árvores de uma mesma espécie e, mesmo, entre diferentes partes de uma mesma árvore (OLIVEIRA e SILVA, 2003). O conhecimento dessa variação é fundamental para a recomendação de uso de uma madeira.

Em virtude da alta suscetibilidade do mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King) ao microlepidóptero *Hypsiphyla grandella* Zeller, a principal praga dessa espécie conhecida como a broca do ponteiro, e da proibição da sua exploração e comercialização, o uso de mogno africano vem sendo indicado em plantios comerciais (CASTRO et al., 2008).

Segundo Dias et al. (2012) a madeira de mogno africano apresenta grande potencial econômico, apesar disso o conhecimento tecnológico e científico desta madeira ainda é precário. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da variação radial na densidade aparente, na compressão paralela às fibras, e no módulo de elasticidade dinâmico, como também a variação radial e tangencial da colorimetria da madeira de *Khaya ivorensis*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *Khaya ivorensis*

O gênero *Khaya* pertence à família Meliaceae, e uma de suas espécies muito utilizada é a *Khaya ivorensis*, conhecido como mogno africano, a qual foi introduzida no Brasil com objetivo de substituir o mogno brasileiro. É uma espécie arbórea, de grande porte, com madeira nobre, e de grande potencial econômico para comercialização (PINHEIRO et al., 2011).

Originário da costa ocidental africana, sendo natural da Costa do Marfim, Gana, Togo, Benin, Nigéria e sul de Camarões. Ocorre desde 0 a 450 metros de altitude em sua região natural, normalmente em vales úmidos, suportando inundações durante o período das chuvas, porém é muito sensível ao período de estiagem (ACAJOU D'AFRIQUE, 1979).

Segundo Lamprecht (1990), ela é uma planta heliófila, sendo tolerante à sombra durante a fase jovem. Apresenta vigorosas raízes tabulares e tronco retilíneo livre de ramos até aos 30 m de altura. A copa ampla com folhagem aspecto escuro (figura 1-A). As folhas são paripenadas com três a seis pares de folíolos brilhantes, glabros, com ápices longos-acuminados de 0,5 a 1 cm de comprimento. Frutifica duas vezes ao ano em seu ambiente natural. O fruto é uma cápsula de cor acastanhada de cerca de 5 a 7 cm de diâmetro com sementes achatadas e aladas (figura 1-B) (CONDE, 2006).



Figura 1. Características da espécie *Khaya ivorensis*: (A) copa e tronco (B) sementes e frutos. Fonte: <https://www.jornalufgonline.ufg.br> e www.ibflorestas.org.br.

Segundo Machado et al. (2003) as madeiras de mogno africano apresentam características tecnológicas semelhantes às do mogno brasileiro. De uma forma geral possui características muito desejáveis, a madeira é de fácil trabalhabilidade e secagem, possui alborno com coloração marrom-amarelada e o cerne marrom-avermelhada. A espécie tem um crescimento inicial rápido e grande potencial para utilização em sistemas consorciados, atinge idade de corte entre 15 e 20 anos.

Devido à sua beleza, qualidade e características de sua madeira o mogno africano é muito empregado na indústria moveleira, na construção naval e em sofisticadas construções de interiores e pisos, sendo o mercado europeu o principal consumidor dessa madeira (AUBREVILLE, 1959 apud CONDE, 2006).

No Brasil, a espécie foi introduzida em 1976 no estado do Pará, por sementes doadas pelo Ministro da Agricultura da Costa do Marfim ao pesquisador Ítalo Falesi, porém a difusão da espécie no país foi apenas em 1989 (RIBEIRO et al., 2017). Mostrou-se bem adaptado ao clima e solo brasileiro, tendo os principais plantios para fins comerciais localizado nos Estados do Espírito Santo, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Bahia e Paraná (FRANÇA et al., 2015).

2.2 Propriedades Físico-mecânica

O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas é imprescindível para a correta utilização da madeira (GOMES, 2007). No entanto, segundo Dias e Lahr (2004), muitas vezes a madeira é tratada com descaso e utilizada sem o conhecimento básico de suas propriedades, o que leva ao mau uso e desperdício desse material.

Uma propriedade fácil de determinar é a densidade aparente da madeira, uma característica complexa resultante da combinação de vários fatores. Representa a quantidade de matéria lenhosa por unidade de volume, ou do volume de espaços vazios em dada madeira (VALE et al., 1992). A umidade utilizada deve estar em equilíbrio com o ambiente, varia entre 12 e 15%, pois são nestas condições ambientais que as indústrias madeireiras trabalham.

A massa específica aparente ou densidade aparente é uma das propriedades mais importantes da madeira, isso se dá pela rapidez de seus resultados, servindo como informação útil sobre a qualidade, classificação e indicação de uso de uma madeira. É considerada um importante fator na determinação das propriedades físicas e tecnológicas

da madeira por causa da sua relação com outras propriedades, tais como: o módulo de elasticidade (MOE) e a compressão paralela às fibras.

O módulo de elasticidade é a capacidade de o material resistir às deformações produzidas pela força aplicada e tornar-se completamente recuperável após remoção das cargas (KRETSCHMANN, 2010). Isso quer dizer que quanto maior o módulo, menor será a deformação elástica resultante da aplicação de uma determinada tensão, tendo o material uma maior rigidez.

A resistência à compressão paralela às fibra se refere à carga máxima suportável por uma peça de madeira quando esta é aplicada em direção paralela às fibras (LIMA JUNIOR et al., 2008). De acordo com Fusco, Almeida e Calil Junior (1996), a resistência à compressão depende da massa específica, da espécie da umidade e do esforço aplicado.

2.3 Cor da Madeira

A cor é uma característica tão importante quanto às propriedades físicas e mecânicas, e vem sendo considerada como um indicador de qualidade da madeira. Ela é influenciada pelas características intrínsecas da madeira (físicas, químicas e anatômicas), assim como pelos fatores externos (condições climáticas e tratamentos silviculturais) (LOPES et al., 2014).

A cor da madeira deriva da composição química das substâncias presentes no xilema (MADDY, 2000), segundo Gierlinger et al. (2004) a cor está relacionada à presença de extrativos e à composição química da lignina em algumas espécies. A variação da cor da madeira de cerne e alborno pode ser explicada pela variação no teor ou na composição de extrativos (LIU et al., 2005).

Möttönen et al. (2002) afirmaram que as características e a uniformidade da cor da madeira têm um papel direto no estabelecimento do preço e no valor final do produto. Por essa razão, a cor deve ser incorporada na caracterização tecnológica da madeira, visando atender aos usos mais nobres desse material (Mori et al., 2004).

2.4 Variação Radial da Madeira

As propriedades da madeira apresentam uma grande variação dentro de uma mesma árvore. As variações entre as propriedades da madeira dentro da árvore na direção radial, da medula para a casca, podem influenciar de forma negativa ou positiva, no

processo de industrialização e transformação da madeira em outros produtos (PALERMO et al., 2013).

A diferença nas propriedades da madeira na direção radial é a mais importante fonte de variação no tronco (MALLAN, 1995). Esta variação ocorre em função das diversas influências internas e externas que configuram a organização e dimensões das células do lenho (MORESCHI, 2009). A extensão dessa variação radial é influenciada principalmente pela presença da madeira juvenil, sua proporção relativa no tronco e pelas suas características físico-químicas e anatômicas (PÁDUA, 2009).

O lenho juvenil está localizado no centro da árvore, ao redor da medula, e se estende até o topo da árvore. Já o lenho adulto se encontra localizado próximo à casca (figura 2). Segundo Silva (2007) a madeira juvenil é caracterizada por apresentar células de menores comprimentos, de paredes finas, lumes grandes e baixa densidade, já a madeira adulta se caracteriza por apresentar células de maiores comprimentos, paredes espessas, lumes reduzidos e alta densidade.



Figura 2. Demonstração de madeira juvenil, adulta e transição da madeira de *Pinus taeda* L. Fonte: BALLARIN E NOGUEIRA, 2005.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Coleta do Material

A madeira utilizada foi obtida de três árvores (árvore A, B e C) da espécie *Khaya ivorensis*, de indivíduos localizados no município de Seropédica – Rio de Janeiro. As árvores apresentaram diâmetro à altura do peito - DAP aproximado entre 90 e 100 cm e idade em torno de 30 anos de idade.

As toras foram retiradas entre o primeiro e o quarto metro de altura das árvores e foram conduzidas ao Laboratório de Processamento Mecânico e Usinagem do Departamento de Produtos Florestais, do Instituto de Florestas, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, onde foi realizado o desdobro primário retirando-se quatro pranchões radiais (figura 3 – etapa 1 e 2)

Foi selecionado um pranchão de cada árvore que continha parte da medula até o alburno. Foram então retirados tábuas com 2,5 cm de espessura de cada pranchão selecionado, garantindo que os planos radiais e tangenciais estivessem muito bem definidos.

No sentido medula-casca as tábuas foram divididas em oito posições, de forma que a posição 1 estivesse mais próxima à medula e a posição 8 mais próxima à casca. Assim os corpos de prova finalizaram com as dimensões de 2,5 x 3,0 x 7,0 cm (espessura, largura e comprimento) (figura 3 – etapa 3).

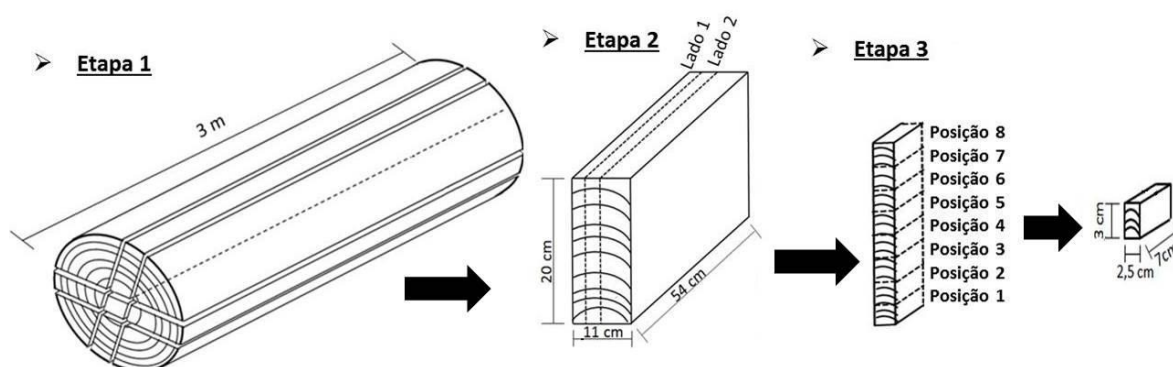


Figura 3. Preparação dos corpos de prova de *Khaya ivorensis*. Fonte: VIEIRA et al., 2014.

Dessa forma, cada posição radial foi retirada à uma certa distância da medula. Essa distância do centro geométrico da seção transversal da amostra até a medula foi chamada de raio, e foi medido para cada árvore (árvore A, B e C). Na tabela 1 está

apresentado o raio de cada árvore (árvore A, B e C) referente à cada posição radial. Devido a presença de nós foi descartada o corpo de prova da posição 1 da árvore A, e além disso, todas as outras posições desta árvore obtiveram maiores raios para que não houvesse influência nos resultados.

Tabela 1. Valores de distância do centro geométrico da seção transversal da amostra na posição até a medula para as três árvores de mogno africano

Árvore A		Árvore B		Árvore C	
Posição	Raio(cm)	Posição	Raio(cm)	Posição	Raio(cm)
1	-	1	2,98	1	3,57
2	8,16	2	6,36	2	6,94
3	11,52	3	9,73	3	10,3
4	14,87	4	13,1	4	13,67
5	18,24	5	16,47	5	17,03
6	21,62	6	19,83	6	20,4
7	24,98	7	23,2	7	23,76
8	28,35	8	26,56	8	27,06
9	32,00	9	30,00	9	30,00
10	35,00	10	35,00	10	35,00

3.2 Determinação das Propriedades Físico-mecânicas

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira, localizado no Departamento de Produtos Florestais - DPF no Instituto de Floresta - IF da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ e seguiram as orientações da Norma Brasileira de Madeira e Estruturas de Madeira – NBR 7190-1997 da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

3.2.1 Densidade aparente

A densidade aparente foi determinada considerado como teor de umidade de equilíbrio 12% de umidade, após um período de estabilização em câmara climática com 20°C e 65% de umidade relativa. A umidade da madeira foi obtida com o auxílio de um aparelho medidor de umidade da madeira da marca Sultech modelo ST7500. As amostras foram pesadas em uma balança eletrônica e suas dimensões mensuradas com auxílio de um paquímetro. A densidade aparente foi obtida pela razão entre a massa e o volume dos corpos-de-prova, em um mesmo teor de umidade, neste caso, umidade de equilíbrio de 12%, conforme a equação abaixo:

$$\rho_{aparente} = \frac{m}{V}$$

Onde:

$\rho_{aparente}$ = densidade aparente (g/cm³);

m = massa da madeira (g);

V = volume da madeira (cm³).

3.2.2 Módulo de elasticidade dinâmico

O módulo de elasticidade dinâmico (MOE_d) foi determinado pelo Stress Wave Timer, onde as ondas são geradas pela vibração produzida por um impacto na peça em estudo. O tempo de propagação de onda de tensão ao longo do corpo de prova é medido por meio de dois transdutores com acelerômetros, sendo um emissor na forma de pêndulo e outro um receptor de forma plana e um relógio registrador da velocidade da onda.

Os corpos de prova foram fixados no aparelho através de braçadeiras de alavanca. O pêndulo preso na braçadeira inicial induziu a onda de tensão que atravessou todo corpo de prova até alcançar o outro acelerômetro. O ensaio foi realizado três vezes e foi obtido a média do tempo de leitura em microssegundos, e calculado o MOE_d através da seguinte equação:

$$MOE_d = \frac{V \times ME}{a}$$

Onde:

MOE_d $\rho_{aparente}$ = módulo de elasticidade dinâmico (Mpa);

V = velocidade de propagação da onda (m/s);

ME = massa específica a 12% de umidade (kgf/m³);

a = aceleração da gravidade (9,80 m/s²).

3.2.3 Resistência na compressão

Os ensaios foram realizados numa máquina universal de ensaios mecânicos da marca CONTENCO com capacidade de 30 toneladas gerenciada por um computador, e seus valores calculados pelo software Pavitest Madeira. Os corpos-de-prova foram colocados no centro da base onde a máquina aplicou a carga. A carga foi aplicada gradativamente e obtido os valores de deformação do corpo-de-prova conforme a carga comprimida é aumentada. O resultado da carga de ruptura define a carga limite para resistência da madeira à compressão paralela às fibras conforme a equação:

$$f_{c0} = \frac{F_{c0\text{máx}}}{A}$$

Onde:

f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras (kgf/cm²);

$F_{c0\text{máx}}$ = máxima força de compressão aplicada ao corpo-de-prova (kgf);

A = área inicial da seção transversal comprimida (cm²).

3.3 Colorimetria

As medições de cor foram realizadas com o auxílio do espectrofotômetro portátil CM 2600d versão 1.41 da marca Konica Minolta disponível no Departamento de Produtos Florestais (IF, UFRRJ). As análises colorimétricas foram realizadas no espaço de cor L*a*b* CIE 1976, segundo a norma ISO 11.664-4:2008, o qual é caracterizado por três coordenadas (L*, a* e b*) em um espaço tridimensional.

A coordenada L* representa a luminosidade, a qual varia de zero (preto) a 100 (branco), enquanto que as coordenadas a* e b* representam as variáveis cromáticas nos eixos verde-vermelho e azul-amarelo, respectivamente, ambas variando entre -60 e +60. Os sinais positivo e negativo indicam o aumento na tonalidade: vermelha (+a*), verde (-a*), amarela (+b*) e azul (-b*) (KONICA MINOLTA, 1998).

Foram determinadas as variáveis L*, a* e b* nas seções radial (L*-radial, a*-radial e b*-radial) e tangencial (L*-tang, a*-tang e b*-tang), e preestabelecidos três pontos fixos por peça para os dois lados, em todas as 8 posições. Para cada amostra, foram efetuadas 12 medições de cor, 3 em cada uma das 4 faces, em duas faces radiais e duas faces tangenciais.

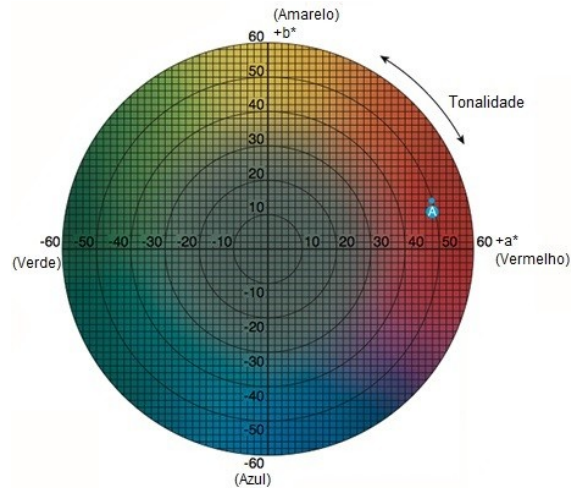


Figura 4. Espaço de cor do sistema CIE-L*a*b*. L*. Fonte: MINOLTA, 1998.

3.4 Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos à uma análise de variância (ANOVA) com o auxílio do programa Statistica. Quando o valor F foi significativo ($\alpha = 0,05$) aplicou-se o teste de média de Tukey ($\alpha = 0,05$), a fim de determinar as diferenças significativas. De acordo com o Teste Tukey os dados que apresentam coeficiente de variação menor que 10% apresentam homogeneidade e alta precisão.

Análises de correlação de Pearson foram realizadas a fim de avaliar a relação entre a posição radial, as propriedades e as análises colorimétricas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades físico-mecânicas

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios das propriedades físico-mecânicas estudadas: a densidade aparente, a resistência na compressão paralela às fibras e o módulo de elasticidade dinâmico, da madeira de *Khaya ivorensis* em relação à variação radial. Verifica-se que a madeira apresentou diferenças significativas em relação à sua posição radial nas três propriedades.

Tabela 2. Valores médios das três árvores encontrados para as propriedades físicas-mecânicas da madeira de *Khaya ivorensis* em relação à posição radial

Posição radial	ρ_{ap} (kg/m ³)	fc (Kgf/cm ²)	MOE _d (Kgf/cm ²)
1	601 d	438 d	127184 b
2	633 d	533 c	127810 a
3	729 c	584 b	100743 c
4	774 b	592 ab	89158 e
5	797 ab	613 a	80770 g
6	827 a	614 ab	68745 h
7	815 ab	538 bc	82840 f
8	769 bc	425 d	88686 d
Média	743	546	96086
CV (%)	3,82	7,33	7,33

ρ_{ap} = densidade aparente; fc = resistência à compressão paralela às fibras; MOE_d = módulo de elasticidade dinâmico, CV% = coeficiente de variação. Letras minúsculas distintas revelam diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

4.1.1 Densidade Aparente

A densidade é menor na região próxima da medula, com tendência de crescimento sentido medula-casca, atingindo um valor máximo na posição 6, e decresce na região próxima a casca. O gráfico da figura 5 ilustra a variação média da densidade básica observada em relação à posição radial.

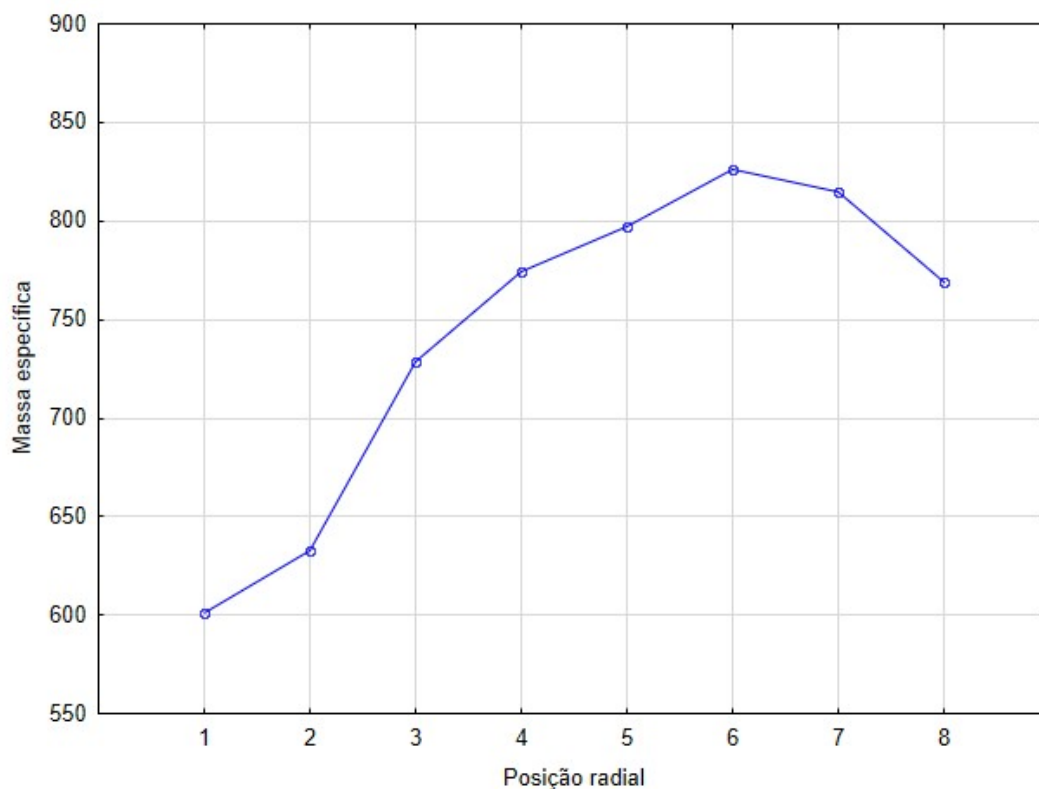


Figura 5. Densidade aparente de *Khaya ivorensis* em diferentes posições radiais.

A média encontrada da densidade aparente para a madeira de *Khaya ivorensis* foi de 743 kg/m^3 , valor um pouco superior aos 627 kg/m^3 encontrado por Carvalho (2010), possivelmente devido à idade inferior, 10 anos, e o dap de 30 cm das árvores testadas pelo autor. Pode-se observar que a posição 6 é onde possui maior valor de densidade aparente, 827 kg/m^3 , e a posição 1 possui o menor valor, 601 kg/m^3 .

O padrão do aumento da massa específica no sentido medula-casca foi similar ao encontrado por Valente et al. para madeiras de Angico vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.). Palermo et al. (2013) também observou o aumento da densidade da madeira no sentido medula-casca, e seu ligeiro decréscimo na região próxima à casca.

Segundo Latorraca e Albuquerque (2000) a região mais próxima à medula apresenta menores densidades devido ao fato da presença da madeira juvenil, a qual é formada no início do crescimento das árvores. Portanto quando se deseja madeiras com maiores valores de densidade, deve-se dar preferência a árvores com maiores idades e maiores diâmetros.

4.1.2 Módulo de Elasticidade dinâmico

A figura 6 apresenta um gráfico com a variação média do módulo de elasticidade dinâmico observado em relação à posição radial. Observa-se que o MOE_d de forma geral tende a diminuir sentido medula-casca, porém aumenta a partir da posição 6.

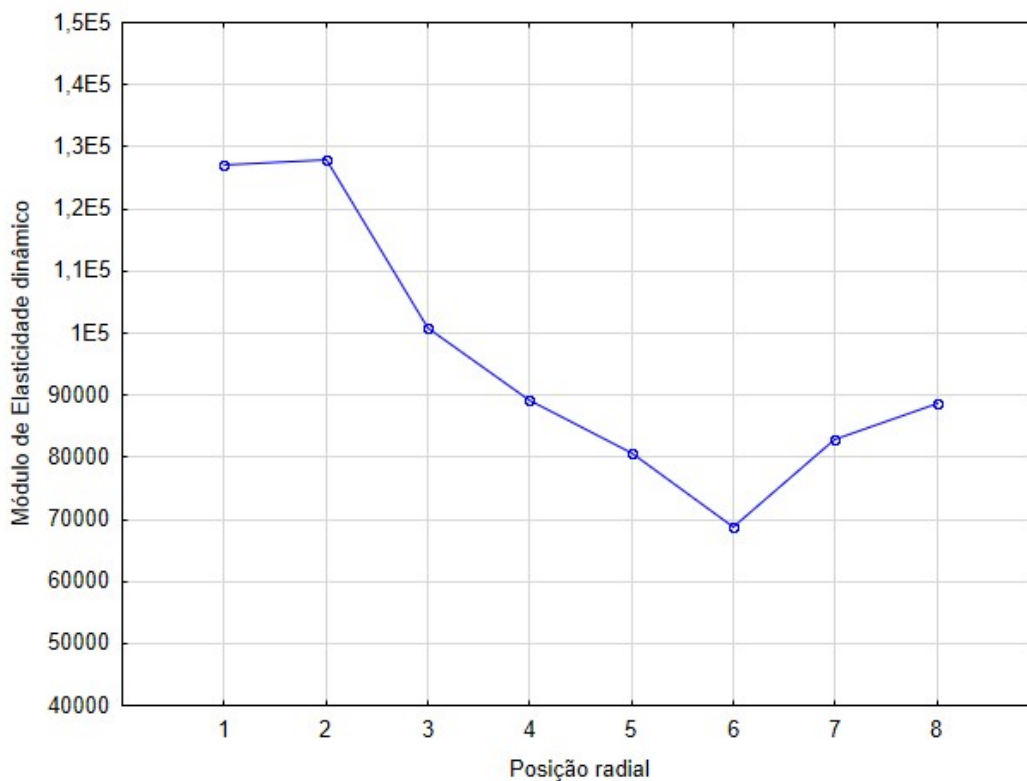


Figura 6. Módulo de elasticidade dinâmico de *Khaya ivorensis* em diferentes posições radiais.

A posição 6 foi a que apresentou menor valor de módulo, sendo de 68.745 Kg/cm², e as posições 1 e 2 foram as que apresentaram os maiores valores, de 127.184 Kg/cm² e 127.810 Kg/cm² respectivamente.

O resultado da média do módulo foi 96.086 Kg/cm², próximo ao valor encontrado por Kretschmann (2010) que encontrou módulo de elasticidade de 97.000 kgf/cm².

Não foi encontrado estudos com a variação radial do módulo de elasticidade dinâmico para madeira de *Khaya ivorensis*. Embora diversos autores tenham destacado aumento do módulo de elasticidade sentido medula-casca para outras espécies, como Teixeira (2008) para para madeira de Angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*), este padrão não foi observado em *Khaya ivorensis*.

Esta variabilidade pode ser explicada pelas diferentes estruturas anatômicas das espécies. Outros fatores que ainda podem ser citados são o teor de umidade da madeira, a idade, os tratamentos silviculturais, o solo e as condições climáticas na qual estava inserida a árvore.

4.1.3 Resistência na compressão paralela às fibras

O gráfico com o padrão de variação médio da resistência na compressão observado em relação à posição radial está representado na Figura 7. Verificou-se que a resistência na compressão apresenta os valores mais baixos nas regiões extremas, tanto na região mais próxima da medula, quanto na região mais próxima da casca.

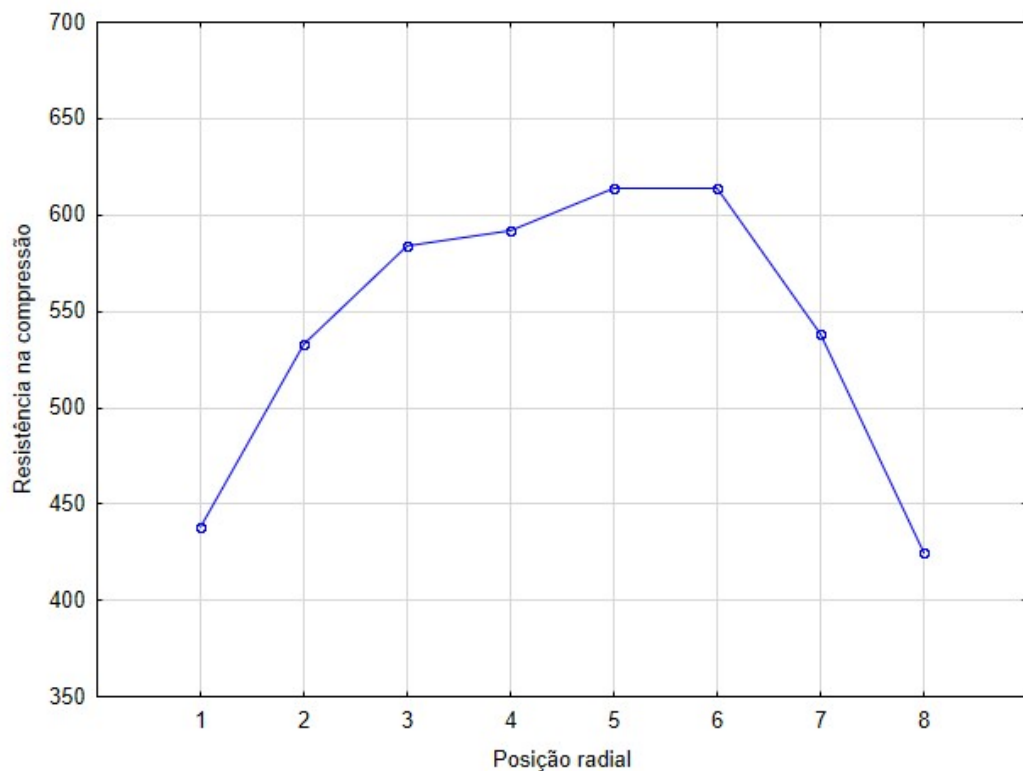


Figura 7. Resistência na compressão de *Khaya ivorensis* em diferentes posições radiais.

Teixeira (2008) também observou um aumento da compressão paralela sentido medula-casca para madeira de Angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*), este aumento acompanha a densidade, porém diferentemente do que foi encontrado, os maiores valores observados pelo autor foram nas posições mais próximas da casca.

A posição 5 e 6 são as de maior valor de resistência, 613 Kgf/cm² e 614 Kgf/cm² respectivamente, indicando que a madeira de *Khaya ivorensis* possui maior resistência na região central entre medula e a casca.

A média obtida da resistência foi de 546 Kgf/cm², o resultado foi superior, porém próximo ao encontrado por Silva (2013), que obteve resistência máxima na compressão paralela às fibras para madeira de *Khaya ivorensis* de 506 kgf/cm².

4.1.4 Análises colorimétricas

Os resultados obtidos para as coordenadas colorimétricas L*, a* e b* nas seções radial e tangencial em relação à sua posição radial está exposto na tabela 3. Valores obtidos de L*, a* e b* em ambas seções foram similares ao encontrado por Oliveira (2015).

Tabela 3. Valores médios das coordenadas L*, a* e b* para as seções tangencial e radial em relação à posição radial

Posição Radial	Tang - L*	Tang - a*	Tang - b*	Rad - L*	Rad - a*	Rad - b*
1	65,5 a	12,2 a	21,6 a	63,5 a	13,0 a	20,7 a
2	60,3 b	13,3 abc	19,2 b	57,3 b	13,6 a	18,4 b
3	55,9 c	13,9 a	18,9 b	53,0 cd	13,5 a	17,6 bc
4	54,7 cd	13,5 ab	16,8 c	52,2 d	13,6 a	16,2 d
5	52,4 d	12,6 bc	15,1 d	53,6 cd	13,6 a	17,1 bcd
6	52,6 d	13,1 abc	15,0 d	54,6 bcd	13,5 a	16,3 cd
7	56,1 c	13,1 abc	15,7 cd	56,7 bc	13,4 a	16,4 cd
8	54,1 cd	13,9 a	18,2 b	55,2 bcd	13,9 a	17,9 b
Média	56,6	13,2	17,5	55,8	13,5	17,6
CV (%)	3,36	5,89	5,33	5,89	4,98	5,53

Tang-L* = Luminosidade L* na seção tangencial; Tang-a* = coordenada cromática a* na seção tangencial; Tang-b* = coordenada cromática b* na seção tangencial; Rad-L* = Luminosidade L* na seção radial; Rad-a* = coordenada cromática a* na seção radial; Rad-b* = coordenada cromática b* na seção radial; CV% = coeficiente de variação. Letras minúsculas distintas revelam diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A figura 8 ilustra o padrão de variação médio da luminosidade observado nas seções tangencial e radial em relação à posição radial. Nota-se que a região mais próxima à medula a luminosidade é maior, isso mostra que a madeira é mais clara nessa região, e de forma geral o valor tende a decrescer direção medula-casca. Pode-se constatar que apesar da luminosidade decrescer, a região mais escura se encontra na região central, na posição 4 para a seção radial (L^* de 52,2), e posição 5 para tangencial (L^* de 52,4).

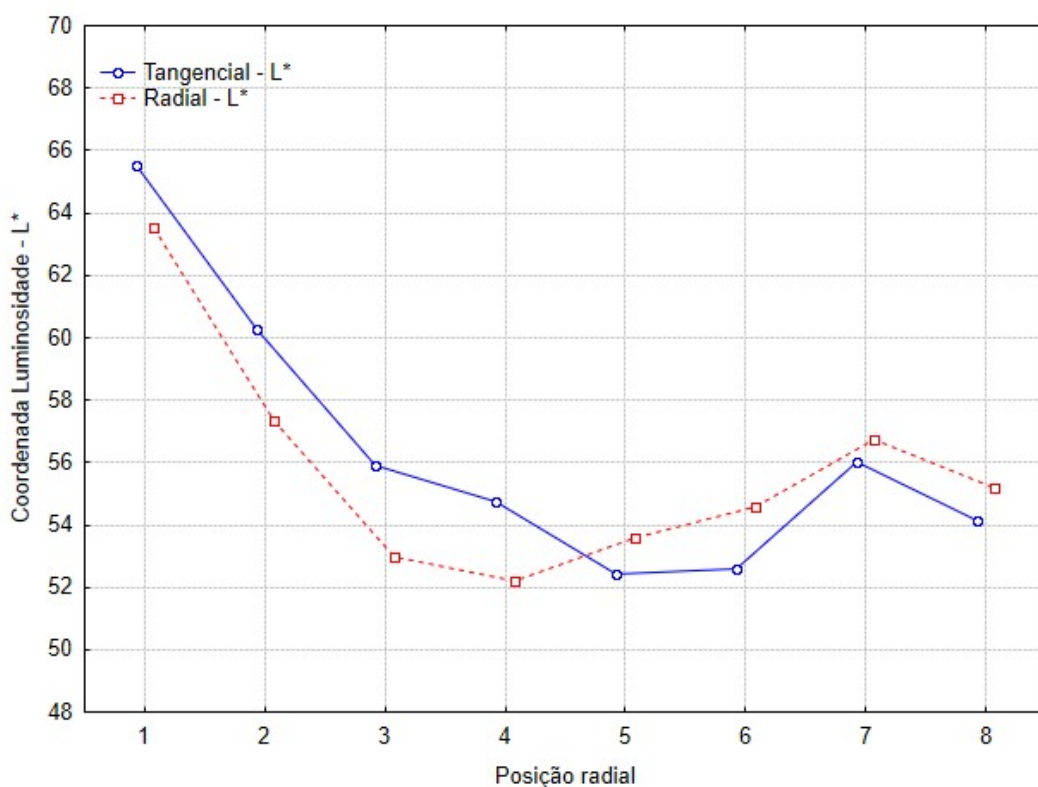


Figura 8. Luminosidade (L^*) de *Khaya ivorensis* nas seções tangencial e radial em diferentes posições radiais.

Observa-se que a variável Radial- L^* apresenta menores valores que o Tangencial- L^* nas posições 1 à 4 e valores superiores nas demais posições, ou seja, a madeira é mais clara na face tangencial que a na radial na região próxima a medula e meio. Já próximo à casca a madeira é mais clara na radial que na tangencial.

A variação na direção medula-casca foi similares ao observado por Silva (2013) para madeira de *Khaya ivorensis*, segundo o mesmo autor a madeira tende a escurecer no sentido medula-casca, tanto na face radial quanto na tangencial, sendo a face radial mais clara do que a face tangencial, a partir da região de transição cerne-alburno.

O padrão de variação médio da coordenada a^* e b^* observado nas seções tangencial e radial em relação à posição radial estão retratados na figura 9 e 10 respectivamente.

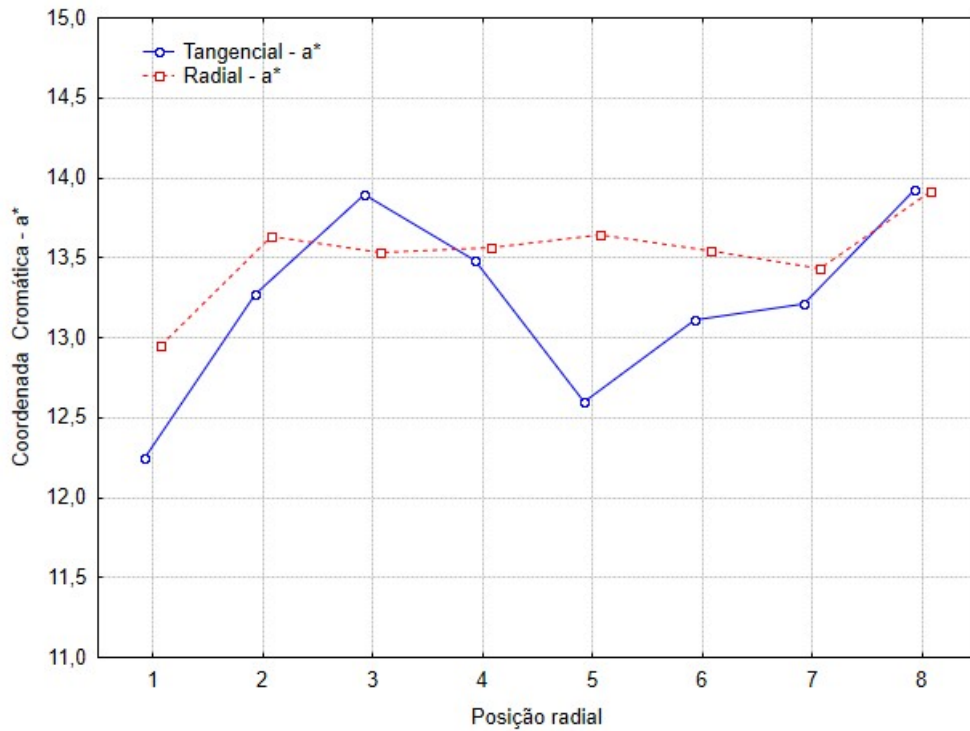


Figura 9. Análise colorimétrica da coordenada a^* de *Khaya ivorensis* nas seções tangencial e radial em diferentes posições radiais.

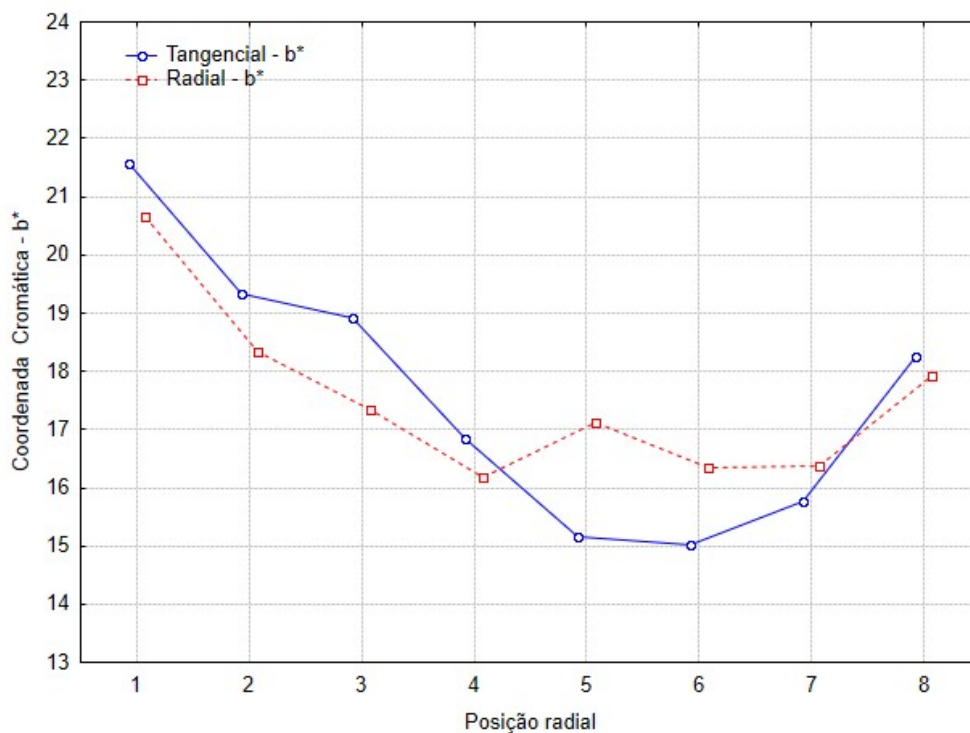


Figura 10. Análise colorimétrica da coordenada b^* de *Khaya ivorensis* nas seções tangencial e radial em diferentes posições radiais.

A seção tangencial na coordenada a^* em geral tende ser menor que a seção radial, ao contrário do que ocorre com a coordenada b , em que a seção tangencial em geral tende ser maior que a seção radial. Isso mostra que a madeira de *Khaya ivorensis* tem mais pigmento vermelho na seção tangencial do que na seção radial, e mais pigmento amarelo na seção tangencial do que na radial.

A coordenada b^* apresenta valor superior na seção tangencial que na radial nas posições 1 à 4. Nas demais posições a variável b^* é maior na seção radial, porém na posição 7, eles quase se igualam, e passa a seção tangencial ser maior na posição 8.

Observa-se que os valores de L^* e b^* tanto radial quanto tangencial, tem uma propensão de reduzir seus valores até a posição 5 e 6, e após isto há um aumento na posição 7 e decrescendo novamente na posição 8, segundo Oliveira (2015) isto ocorre, pois, estas duas últimas posições são regiões de transição cerne/alburno e alburno. As variáveis L^* e b^* apresentam o mesmo padrão de variação da posição mais próxima da medula até a região central.

4.2 Correlação entre as propriedades físicas-mecânicas e as análises colorimétricas

As correlações lineares entre as propriedades físico-mecânicas e as análises colorimétricas estão apresentadas na tabela 4.

Tabela 4. Coeficientes de correlação entre as propriedades.

	Posição	ρ_{ap}	fc	MOE _d	Tang-L*	Tang-a*	Tang-b*	Rad-L*	Rad-a*	Rad b*
Posição	1,00	0,81	0,30	-0,66	-0,72	0,33	-0,71	-0,42	0,23	-0,59
ρ_{ap}		1,00	0,66	-0,81	-0,89	0,15	-0,84	-0,71	-0,01	-0,80
fc			1,00	-0,51	-0,65	0,01	-0,71	-0,65	0,03	-0,73
MOE _d				1,00	0,74	-0,09	0,72	0,57	0,04	0,65
Tang-L*					1,00	-0,09	0,86	0,86	0,01	0,80
Tang-a*						1,00	0,12	-0,12	0,66	-0,11
Tang-b*							1,00	0,63	-0,01	0,81
Rad-L*								1,00	0,07	0,82
Rad-a*									1,00	0,09
Rad-b*										1,00

ρ_{ap} = densidade aparente; fc = resistência à compressão paralela às fibras; MOE_d = módulo de elasticidade dinâmico; Tang-L* = Luminosidade L* na seção tangencial; Tang-a* = coordenada cromática a* na seção tangencial; Tang-b* = coordenada cromática b* na seção tangencial; Rad-L* = Luminosidade L* na seção radial; Rad-a* = coordenada cromática a* na seção radial; Rad-b* = coordenada cromática b* na seção radial; Os valores em negritos são significativo a 5% de significância.

A propriedade que apresentou maior correlação em relação a posição radial foi a densidade aparente, isso indica que a densidade aparente está fortemente correlacionada com o tipo de lenho que se encontra na madeira. Além disso, esta propriedade é a que melhor se correlaciona com as outras propriedades, e possui uma relação positiva com a resistência à compressão e é inversamente proporcional ao módulo de elasticidade dinâmico.

Segundo Pigozzo, a densidade afeta significativamente a resistência à compressão paralela às fibras da madeira. Quanto maior a densidade, maior a resistência. Em seus estudos obteve um coeficiente de correlação de 0,815 para a média de várias espécies, superior ao encontrado no presente estudo.

Observa-se que a luminosidade na seção tangencial (Tang-L*), tem valores de correlação acima 0,80 entre b* radial e tangencial e L*radial, mas não tem correlações significativas com as coordenadas a*. Apesar da luminosidade na seção radial (Rad-L*) não apresentar correlação tão forte quanto o Tang-L*, ela também apresentou correlações significativas entre as outras coordenadas de cor em ambas seções, com exceção da coordenada a*. Isto demonstra que a medida que aumenta o pigmento amarelo, aumenta a luminosidade da madeira, em ambos sentidos.

As análises de correlação entre a densidade e as coordenadas de cor indicaram correlações significativas com exceção da coordenada a*. A densidade apresentou uma correlação forte com a luminosidade e o pigmento amarelo, tendo uma correlação negativa com a coordenada b* e luminosidade L* nas duas faces, a maior correlação da densidade foi com a luminosidade L* na face tangencial, indicando que as madeiras mais densas apresentam uma madeira mais clara seção tangencial.

Como densidade aparente e as coordenadas de cor indicaram correlações significativas, com exceção da coordenada a*, com apenas a cor é possível se ter uma idéia das propriedades da madeira. A região mais próxima da medula apresenta madeira mais clara e com maior pigmentação amarela do que vermelha e apresenta uma menor densidade, conforme aumenta a densidade sentido medula-casca a luminosidade e a pigmentação amarela diminuem.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nesse trabalho, pode-se concluir que:

A variação radial das propriedades expressa um indicativo de diversificadas aplicações tecnológicas.

Todas as propriedades físico-mecânicas avaliadas tendem a aumentar na direção radial, com exceção do módulo de elasticidade dinâmico.

A densidade aparente pode ser utilizada como um estimador de outras propriedades.

A colorimetria pode ser utilizada como uma ferramenta de classificação e qualidade da madeira.

As coordenadas de cor variaram de acordo com a seção de corte observado, indicando que a orientação e/ou proporção das células afeta a cor da madeira.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACAJOU D'AFRIQUE. Revue Bois et Forêts des tropiques, n2 183, p.33-48, 1979

AUBREVILLE, A. **La flore forestière de la Cota d'Ivoire**. Nogent-sur-Marne: Centre Technique Forestier Tropical, 1959. 341p.

BALLARIN, A. W.; NOGUEIRA, M. Determinação do módulo de elasticidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* por ultra-som. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.19-28, jan./abr. 2005

CASTRO, C. R. T.; LOURENÇO, J. B. J.; SANTOS, N. F. A.; MONTEIRO, E. M. M.; AVIZ, M. A. B.; GARCIA, A. R. Sistema silvipastoril na Amazônia: ferramenta para elevar o desempenho produtivo de búfalos. **Ciência Rural**, v. 38, n. 8, p. 2395-2402, 2008.

CARVALHO, A.M.; SILVA, B.T.B.; LATORRACA, J.V.F. Avaliação da usinagem e caracterização das propriedades físicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). **Cerne**, Lavras, v. 16, suplemento, p. 106-114, 2010.

CONDE, R. A. R. **Controle silvicultural e mecânico da broca do mogno *Hypsipyla grandella* (Zeller, 1948)(Lepdoptera; Pyralidae) em sistema agroflorestal**. 2006. 190p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2006.

DIAS, A. H. S.; UMETSU, F.; BREIER, T. B. Avaliação do potencial de germinação do mogno-africano sob diferentes tipos de substrato e períodos de armazenamento. Informativo **ABRATES**, v. 22, n. 1, p. 26-29, 2012.

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

FRANÇA, T. S. F. A.; ARANTES, M. D. C.; PAES, J. B.; et al. Características anatômicas e propriedades físico-mecânicas das madeiras de duas espécies de mogno africano. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 633–640, 2015.

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.

GARCIA, R. A.; MARINONIO, G. B. Variação da Cor da Madeira de Teca em Função da Densidade e do Teor de Extrativos. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 1, p. 124-134, 2016.

GIERLINGER, N.; JACQUES, D.; GRADNER, M.; WIMMER, R.; SCHWANNINGER, M.; ROZENBERG, P.; PÂQUES, L.E. Colour of larch heartwood and relationships to extractives and brown-rot decay resistance. **Trees**, v. 18, p. 102-108, 2004.

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

KONICA MINOLTA. Comunicação precisa da cor: controle de qualidade da percepção à instrumentação. Seoul: Konica Minolta; 1998.

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.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos. Ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas – Possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Cooperação Técnica. Eschborn. 342 p. 1990. . República Federal da Alemanha.

LATORRACA, 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, Seropédica 2000.

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.

LIU, S.; LOUP, C.; GRIL, J.; DUMONCEAUD, O.; THIBAUT, A.; THIBAUT, B. Studies on European beech (*Fagus sylvatica* L.). Part 1: Variations of wood color parameters. **Annals Forest Science**, v. 62, p. 625-632, 2005.

LOPES, J. de O.; GARCIA, R. A.; LATORRACA, J. V. de F.; NASCIMENTO, A. M. Alteração da cor da madeira de teca por tratamento térmico. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, 2014.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 1. ed. Curitiba: os autores, 2003. 309p.

MADY, F. T. M. **Conhecendo a madeira: informações sobre 90 espécies comerciais**. Manaus: SEBRAE-AM, 2000. 212 p.

MALLAN, F. A. **Eucalyptus improvement for lumber production**. In: Seminário Internacional de utilização da madeira de eucalipto para serraria, 1995. São Paulo: IPEF/IPT, 1995.

MORESCHI, João Carlos. **Propriedades da madeira**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. Curitiba, 2014.

MORI CLSO, Lima JT, Mori FA, Trugilho PF, Goncalez JC. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne** 2005; 11(2): 137-146.

MORI CLSO, MORI FA, LIMA JT, TRUGILHO PF, OLIVEIRA AC. Influência das características da cor da madeira de eucaliptos. **Ciência Florestal** 2004; 14(2): 123-132.

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 of Forest Research** 2002; 17(2): 179-191.

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. Visconde do Rio Branco: **Suprema Gráfica e Editora Ltda**, 2007, p. 129-163.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 381-385, 2003.

OLIVEIRA, M. P. **Variação radial das propriedades físicas da madeira de *khaya ivorensis* associadas ao teor de extrativo**, 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

SILVA, L.V.M.S da. **Propriedades físicas e mecânicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis*)**, 2013. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

SILVA, M. R. **Determinação da permeabilidade em madeiras brasileiras de florestas plantadas**. 2007. 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

PÁDUA, F. A. **Amostragem para avaliação da densidade básica da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. Lavras, 2009. Dissertação (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais.

PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; SEVERO, E. T. D.; NASCIMENTO, A. M.; REZENDE, M. A. Delimitação entre os lenhos juvenil e adulto de *Pinus elliottii* engelm. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, 2013

PIGOZZO, J.C. **Influência da Umidade e da Densidade na Resistência à Compressão da Madeira.** São Carlos, 1982. 141p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PINHEIRO, A. L.; COUTO, L.; PINHEIRO, D. T.; BRUNETTA, J. M. F. C. Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilizações dos mognos- africanos (*Khaya ssp.*). Viçosa: **Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura**; 2011.

RIBEIRO, A.;FILHO, A. C. F.; SCOLFORO, J.R.S. O Cultivo do Mogno Africano (*Khaya spp.*) e o Crescimento da Atividade no Brasil. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

VALE, A. T.; MARTINS, I. S.; ARAÚJO, W. O. Estudo da densidade básica de três espécies do cerrado. **Revista Árvore**, v.16, n.2, p.209-217, 1992

VALENTE, B. M. R. T.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; LUCIA, R. M. D. Variabilidade radial e longitudinal das propriedades físicas e anatômicas da madeira de angico-vermelho. **Scientia. Forestalis.**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 485-496, dez. 2013

TEIXEIRA, B. M. R. **Variabilidade radial e longitudinal das propriedades físicas e anatômicas da madeira de angico-vermelho.**Viçosa, 2008 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.