



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB  
FACULDADE DE TECNOLOGIA - FT  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL - EFL

**Correlações entre propriedades tecnológicas da madeira de cedro (*Cedrela odorata* L.) determinadas por metodologias destrutivas e não destrutivas.**

LUANA NUNES DA SILVA

Brasília-DF, junho de 2017.



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB  
FACULDADE DE TECNOLOGIA - FT  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL - EFL

**Correlações entre propriedades tecnológicas da madeira de cedro (*Cedrela odorata* L.) determinadas por metodologias destrutivas e não destrutivas.**

Linha de Pesquisa: Tecnologia de Produtos Florestais

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Carlos Gonzalez – EFL/UnB

Co-orientador: Marcella Hermida de Paula – Doutoranda em Ciências Florestais - EFL/UnB

Trabalho apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Brasília-DF, junho de 2017.

II

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

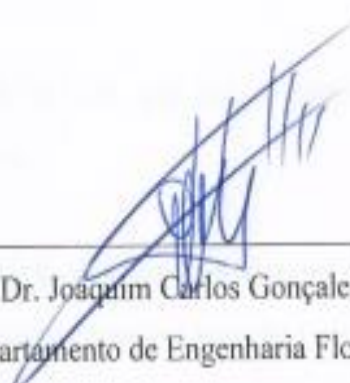
**Correlações entre propriedades tecnológicas da madeira de cedro  
(*Cedrela odorata* L.) determinadas por metodologias destrutivas e  
não destrutivas.**

Acadêmica: Luana Nunes da Silva

Matricula: 12/0016435

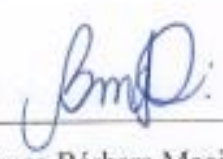
Menção: SS

Aprovado por



---

Prof. Dr. Joaquim Carlos Gonzalez (Orientador)  
Departamento de Engenharia Florestal – UnB



---

MSc. Bruna Bárbara Maciel Amoras Orellana  
Doutoranda em Ciências Florestais – UnB/EFL



---

MSc. Robert Rossi Silva de Mesquita  
Doutorando em Ciências Florestais – UnB/EFL

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por sempre ter me mantido com fé para alcançar os meus objetivos.

Ao meu orientador, Dr. Joaquim Carlos Gonzalez, por todos os ensinamentos, pela paciência e pela orientação. Á minha co-orientadora, MSc. Marcela Hermida de Paula, por me ajudar sempre que precisei, pelo incentivo e por toda a simpatia. Á MSc Roberta Santos Souza, pelo auxílio e disponibilidade.

À minha mãe Ana Nunes, por ser minha maior incentivadora, por ter financiado os meus estudos e por ter me dado apoio em todos os momentos difíceis que passei durante a graduação. Á minha tia Diomar Nunes que mesmo de longe sempre torceu pela minha vitória.

A Empresa Júnior ECOFLOR, por todo o aprendizado, experiências profissionais e pessoais que me proporcionou.

Ao professor Dr. Ildeu Soares, por todo o auxílio nos cálculos do trabalho final. Aos professores, pois sem eles não seria possível a minha formação como Engenheira Florestal. Aos funcionários da Universidade de Brasília por todo o trabalho desempenhado.

Aos meus amigos de que alguma maneira, colaboraram para que eu chegasse até aqui, agradeço por todas as risadas, conselhos, brincadeiras e histórias que tornaram a minha graduação bem mais leve e alegre.

E a todos que de alguma forma fizeram parte desta importante etapa na minha vida.

## RESUMO

O cedro (*Cedrela odorata*) é uma espécie que ocorre em toda a Amazônia e estende-se até o norte do Espírito Santo, sendo uma possível alternativa ao Mogno, espécie de alto valor agregado. O objetivo deste trabalho foi correlacionar propriedades tecnológicas do cedro determinadas por flexão estática (ensaio destrutivo) e ultrassom, *stress wave* e colorimetria (ensaios não destrutivos). O trabalho foi realizado no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília. Foram confeccionados 40 corpos de prova, 20 com as dimensões de 2cm x 2cm x 30 cm (largura, espessura e comprimento) que foram submetidos aos ensaios de flexão estática, ultrassom, *stress wave* e colorimetria e 20 com dimensões de 2cm x 2cm x 10 cm (largura, espessura e comprimento) que foram submetidos aos ensaios de densidade básica, densidade a 12% e retratibilidades. A madeira de cedro foi classificada como de leve densidade, retratibilidade média, alta estabilidade dimensiona e de coloração rosa. A densidade não apresentou correlação com os parâmetros colorimétricos, com as retratibilidades, com o MOE e também com MOEds, mas apresentou correlação positiva com MOR e MOEdu. As correlações entre MOE estático e MOEd dinâmico foram significativas tanto pela técnica do ultrassom como pelo *stress wave*, mostrando que os ensaios não destrutivos são eficientes para determinar as propriedades mecânicas. A técnica do *stress wave* foi a que melhor estimou MOE.

Palavras chave: cedro, propriedades, correlação, densidade, ultrassom, *stress wave*

## ABSTRACT

Cedar (*Cedrela odorata*) is a species that occurs throughout the Amazon and extends to the north of the Espírito Santo, being a possible alternative to the mahogany, a species of high added value. The objective of this work was to correlate the technological properties of cedar determined by static bending (destructive test) and ultrasound, stress wave and colorimetry (non destructive tests). The work was carried out at the Madeira Technology Laboratory of the Forestry Engineering Department of the University of Brasilia. A total of 40 specimens, 20 x 2 cm x 30 cm (width, thickness and length) were submitted to static flexion, ultrasound, stress wave and colorimetry tests and 20 with dimensions of 2 cm x 2 cm x 10 Cm (width, thickness and length) that were submitted to the tests of basic density, density at 12% and retratibilities. Cedar wood was classified as light density, medium shrinkage, high stability scale and pink coloring. The density did not correlate with the colorimetric parameters, with the retratibilities, with the MOE and also with MOEds, but presented a positive correlation with MOR and MOEdu. The correlations between static MOE and dynamic MOEd were significant both by the ultrasound technique and by stress wave, showing that the non destructive tests are efficient to determine the mechanical properties. The stress wave technique was the one that best estimated MOE.

Keywords: cedar, properties, correlation, density, ultrasound, stress wave

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivos Gerais .....	12
2.2 Objetivos Específicos .....	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
3.1 <i>Cedrela odorata</i> L. ....	13
3.2 Propriedades físicas e mecânicas da madeira .....	13
3.2.1 Umidade.....	13
3.2.2 Densidade.....	14
3.2.3 Retratibilidade.....	14
3.2.4 Flexão estática.....	15
3.3 Propriedades da madeira por métodos não destrutivos.....	15
3.3.1 Ultrassom .....	16
3.3.2 <i>Stress Wave Timer</i> .....	16
3.3.3 Colorimetria .....	17
3.4 Correlações entre propriedades da madeira .....	18
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
4.1 Preparo das amostras .....	19
4.2 Propriedades físicas e mecânicas .....	19
4.2.1 Densidade básica.....	19
4.2.2 Retratibilidade.....	21
4.2.3 Ensaio Flexão estática.....	22
4.2.4 Ultrassom .....	24
4.2.5 <i>Stress Wave Timer</i> .....	25
4.2.6 Colorimetria .....	27
4.3 Análises estatísticas .....	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
5.1 Densidade e Retratibilidade .....	28
5.2 Ensaio de Flexão Estática .....	30
5.3 Avaliações não destrutivas .....	31
5.3.1 Ultrassom e <i>Stress wave</i> .....	31

5.3.2 Colorimetria .....	32
5.4 Correlações entre as propriedades tecnológicas .....	33
5.4.1 Densidade e Retratibilidade .....	34
5.4.2 Densidade, ultrassom, <i>stress wave</i> e flexão estática .....	35
5.4.3 Densidade, colorimetria, ultrassom, <i>stress wave timer</i> e flexão estática .....	36
6 CONCLUSÃO .....	38
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	39



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação do Sistema Colorimétrico CIELAB 1976.....	18
Figura 2: Corpos de prova submersos na água.....	20
Figura 3: Corpos de prova na estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . ....	20
Figura 4: Ensaio de Flexão Estática na Máquina de Ensaio Universal EMIC DL 30kN. ....	23
Figura 5: Ultrassom USlab, da marca Agricef. ....	24
Figura 6: Stress Wave Timer modelo 239A, da marca Metiguard. ....	26
Figura 7: Espectrofotômetro utilizado no ensaio de colorimetria. ....	27

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores médios de densidade (básica e a 12%) e retratibilidades para a madeira de cedro. ....	28
Tabela 2: Módulo de elasticidade estático (MOE) e módulo de ruptura (MOR) para a madeira de cedro.....	30
Tabela 3: Velocidade de propagação de onda e módulo de elasticidade dinâmico dos ensaios de ultrassom e <i>stress wave timer</i> para a madeira de cedro.....	31
Tabela 4: Valores médios dos parâmetros colorimétricos para a madeira de cedro.....	33
Tabela 5: Coeficiente de correlação de Pearson entre densidade básica, retratibilidade e coeficiente de anisotropia para a madeira de cedro.....	34
Tabela 6: Coeficiente de correlação de Pearson entre densidade básica, flexão estática, <i>stress wave</i> e ultrassom.....	35
Tabela 7: Coeficientes de correlação de Pearson entre densidade básica, parâmetros colorimétricos, <i>stress wave timer</i> , ultrassom e flexão estática para a madeira de cedro.....	37

## 1 INTRODUÇÃO

A madeira é um dos materiais mais utilizados no mundo. Se destaca pelos seus diversos usos, como na construção civil, na confecção de instrumentos musicais, produção de papel e celulose, geração de energia, indústria moveleira entre outros.

Mesmo sendo um produto abundante no Brasil e de fonte renovável, a madeira ainda não é vista como um produto de qualidade, sendo muitas vezes tratada com descaso, principalmente devido à falta de informações sobre as suas propriedades físicas e mecânicas, que por sua vez são essenciais para o conhecimento das espécies que possuem o potencial de serem comercializadas.

A madeira é um material de elevada complexidade, devido a isso, a caracterização de parâmetros isolados pode não ser suficiente para uma indicação adequada do emprego deste material. Deste modo, a determinação de diversas propriedades e a sua análise conjunta torna-se a solução mais propícia para determinar os seus possíveis usos. (MELO et al., 2010).

Usualmente, as determinações das propriedades baseiam-se em resultados obtidos a partir dos ensaios não destrutivos que, além de onerosos e laboriosos, muitas vezes inviabilizam a posterior utilização do material (CARRASCO, 2003). Nesse sentido, os métodos alternativos como os não destrutivos, surgem com importância fundamental no contexto da ciência e tecnologia da madeira. Trabalhos que realizem os ensaios convencionais e os ensaios não destrutivos e comparem as duas técnicas são essenciais no sentido de atestar tais métodos para diferentes madeiras para difundi-los (LEITE, 2012). A avaliação não destrutiva é definida como sendo a ciência de identificar as propriedades físicas e mecânicas de uma peça de determinado material sem alterar suas capacidades de uso final (ROSS et al., 1998).

O estudo das relações das propriedades físico-mecânicas é muito importante, no sentido do aproveitamento e qualidade de madeira de diferentes espécies. A avaliação das relações entre as propriedades da madeira determinadas de formas não destrutivas e destrutivas podem servir para descrever e prever as propriedades de resistências das espécies, propiciando uma utilização mais coerente e com menos desperdício de material. Possibilita ainda estender essas relações a outras espécies pouco estudadas (MOREIRA, 1999).

As espécies nativas, em sua maioria, apresentam possibilidade de múltiplos usos, além de reunirem características favoráveis de adaptação às condições do ambiente, mas, para isso, é preciso conhecimento de seu potencial tecnológico.

O cedro (*Cedrela odorata* L.) é uma espécie que possui grande potencial tecnológico e o maior conhecimento das suas propriedades tecnológicas e das correlações entre elas pode colaborar para a maior eficácia no seu uso. É uma madeira que recebe muito bem trabalhos de acabamentos, incluindo polimento que se ressalta muito atrativo. Essas características possibilitam a sua utilização como alternativa ao mogno (*Swietenia macrophylla* King.), cujo valor comercial é muito elevado (LOUREIRO et al., 2000; VASCONCELLOS et al., 2001).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos Gerais**

Avaliar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de cedro (*Cedrela odorata* L.) por métodos destrutivos e não destrutivos visando aumentar o conhecimento das suas propriedades, e conseqüentemente, a maior eficácia nos seus possíveis usos.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Determinar a densidade básica da madeira;
- Determinar as retratibilidades radial, tangencial e volumétrica e o coeficiente de anisotropia;
- Determinar a cor e os parâmetros colorimétricos: claridade (L\*), coordenadas cromáticas (a\*, b\*), saturação da cor (C) e ângulo de tinta (h\*) da madeira por meio do sistema CIELAB, 1976;
- Determinar o módulo de ruptura e módulo de elasticidade por meio do ensaio destrutivo de flexão estática;
- Determinar módulo de elasticidade dinâmico pelos métodos não destrutivos de ultrassom e *stress wave*;
- Correlacionar as propriedades físicas e mecânicas obtidas por métodos destrutivos e não destrutivos.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### 3.1 *Cedrela odorata* L.

O cedro-rosa (*Cedrela odorata* L.) é uma espécie da família Meliaceae, sendo uma árvore de grande porte, com altura entre 30 e 35 metros e tronco de 90 a 150 centímetros de diâmetro e que ocorre em toda a floresta Amazônica e estende-se até o norte do estado do Espírito Santo (ESALQ, 2016). É uma espécie parcialmente umbrófila no estado juvenil e heliófita no estado adulto, que ocorre nas florestas primárias, sobretudo nas bordas da mata ou clareiras e nas florestas secundárias (LORENZI, 2002).

O principal produto é a madeira, que possui boa resistência mecânica e é moderadamente resistente ao ataque de organismos xilófagos (LORENZI, 2002). A madeira tem densidade média entre 0,40 e 0,60 g/cm<sup>3</sup> e pode apresentar cores que variam do castanho-claro ao bege-rosado-escuro e ao castanho avermelhado, com lustre mediano a elevado, com reflexos dourados, o que lhe confere um alto valor econômico e aplicações como marcenaria, caixotaria, compensados, esquadrias, confecção de móveis finos, acabamentos internos e caixas para charutos (LOCATELLI et al., 2006). É uma planta importante na composição de reflorestamentos heterogêneos destinados à recuperação de áreas degradadas (LORENZI, 2002).

### 3.2 Propriedades físicas e mecânicas da madeira

#### 3.2.1 Umidade

As propriedades tecnológicas da madeira têm influência da sua umidade, que é dada pelo peso de água ali contida, tanto no interior da cavidade das células ocas quanto a absorvida nas paredes das fibras. Madeiras verdes ou recém cortadas possuem umidades máximas diferentes de acordo com as espécies e estação do ano. Quando colocadas para secar a água que está contida na cavidade das células evapora até atingir o ponto de saturação de fibras, ou seja, as paredes das células estão saturadas, mas seu interior está vazio. Ainda assim, a madeira não se encontra em equilíbrio com a umidade da atmosfera, para chegar a essa umidade é necessário secá-la até conter cerca de 12% de água, que é a umidade padrão de referência para o Brasil (PFEIL e PFEIL, 2003).

### 3.2.2 Densidade

Entre as várias propriedades da madeira, a densidade é a mais utilizada, pois além de ser determinada com facilidade, se correlaciona diretamente com a massa, composição celular, demais propriedades físicas, mecânicas, térmicas, acústicas e elétricas. Assim, a densidade é uma propriedade que indica a qualidade e aplicação da madeira (BATISTA, 2012).

A partir da medição da massa da madeira em seu estado totalmente seco e suas dimensões em seu estado úmido é possível calcular a sua densidade básica, convencionalmente definida pela razão entre a massa seca da amostra considerada e o respectivo volume nas condições de total saturação, ou seja, tendo todos os seus vazios internos preenchidos por água (CALIL JUNIOR et al., 2003).

A densidade básica é uma variável complexa, pois resulta da combinação de diversos fatores como dimensão das fibras, espessura da parede celular, volume dos vasos e parênquimas, proporção entre madeira do cerne e alborno, arranjo dos elementos anatômicos e propriedades químicas (FOELKEL et al., 1971 *apud* DE PAULA, 2016).

### 3.2.3 Retratibilidade

Segundo Oliveira (1997), a retratibilidade da madeira é o fenômeno decorrente da variação dimensional, em função da troca de umidade da madeira com meio que a envolve. Esse fenômeno acontece quando a madeira se encontra abaixo do ponto de saturação de fibras, devido a umidade responsável pela retratibilidade estar localizada nas paredes celulares.

A retratibilidade é um dos mais importantes problemas práticos que ocorrem durante a sua utilização, como consequência da mudança do teor de umidade. A magnitude das variações dimensionais depende de inúmeros fatores, como o teor de umidade, a direção estrutural, a posição dentro da árvore, a densidade da madeira, a temperatura, o grau de estresse de secagem causado pelo gradiente de umidade entre outros (OLIVEIRA e SILVA, 2003).

A razão entre a retratibilidade tangencial e radial é conhecida como fator ou coeficiente de anisotropia, geralmente varia de 1,5 a 2,5, e é um índice muito importante nos estudos de contração da madeira pois quanto maior essa relação, maior será a tendência ao fendilhamento e empenamento da madeira. Para usos que envolverem estabilidade dimensional da madeira, a mais recomendada é aquela que apresentar o menor coeficiente de anisotropia (OLIVEIRA e SILVA, 2003).

### 3.2.4 Flexão estática

As propriedades mecânicas da madeira são dependentes da densidade básica, da porcentagem de madeira juvenil, da largura dos anéis, do ângulo das microfibrilas, da inclinação da grã, da quantidade de extrativos, do teor de umidade, da intensidade ao ataque de insetos, do tipo e da localização e quantidade de nós, dentre outros fatores (EVANS et al., 2000).

O módulo de elasticidade (MOE) e o módulo da ruptura (MOR) são dois parâmetros normalmente determinados em testes de flexão estática e são de enorme importância na caracterização tecnológica da madeira, pois ambos estimam a resistência do material submetido a uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal da peça (SCANAVACA JUNIOR e GARCIA, 2004). De maneira geral, a madeira até determinado ponto apresenta o comportamento elástico, onde se cessarmos a força que a deforma, ela ainda apresenta capacidade de voltar ao seu estado original. A partir do ponto em que a madeira deixa de ser elástica, ela passa a ser plástica, ou seja, ela não apresenta mais a capacidade em retornar ao seu estado original, mesmo quando a força que a deforma é cessada (MORESCHI, 2010).

### 3.3 Propriedades da madeira por métodos não destrutivos

Os métodos de avaliação não destrutiva da madeira permitem estimar propriedades tecnológicas importantes sem alterar sua estrutura, preservando o material e desta forma não comprometendo seu uso (DE PAULA, 2016). Esses métodos são baseados no pressuposto de que algumas propriedades físicas simples podem indicar de maneira satisfatória características físicas, mecânicas ou químicas que são determinantes na qualidade da madeira (BUCUR, 2006). Existem diversas técnicas de ensaios não destrutivos aplicáveis a madeira como colorimetria, ultrassom, vibração transversal e vibração longitudinal (CARREIRA e CANDIAN, 2008).

A avaliação não destrutiva tornou-se uma ferramenta importante na inferência de propriedades físicas e mecânicas da madeira, devido, principalmente, ao baixo custo dos equipamentos, rapidez e praticidade dos testes (SILVA, 2010). Porém, não é uma avaliação totalmente livre de erros, pois, as equações que regem o comportamento de cada uma destas técnicas consideram o material como sendo homogêneo, isotrópico e contínuo. Entretanto, como se sabe, a madeira apresenta descontinuidade das fibras devido ao processo de desdobro e devido à presença de nós, é um material heterogêneo e anisotrópico (CARREIRA et al., 2006).

### 3.3.1 Ultrassom

O ultrassom é uma técnica que se baseia no princípio de aplicação de ondas inaudíveis pelo homem, em madeiras para a determinação de suas constantes elásticas. Assim, a onda ultrassônica é emitida em determinada direção e ao encontrar um obstáculo à sua livre propagação, é refletida por ele, voltando ao aparelho emissor. Conhecendo-se a velocidade de propagação e a densidade do material é possível calcular sua constante elástica (DEL MENEZZI et al., 2010). De acordo com Gonzalez et al. (2001) classificam-se como ondas de ultrassom aquelas de frequência superior a 20 kHz.

Calegari (2006) relata que os fatores que influenciam na propagação de ondas ultrassônicas são: propriedades anatômicas, físicas (densidades básica e aparente), morfológicas (tipos de lenhos e ângulo de grã), presença de defeitos (nós e rachaduras), tamanho das amostras ensaiadas, condições de temperatura, umidade relativa e as técnicas de medição.

A qualidade das propriedades mecânicas da madeira está diretamente correlacionada com a velocidade e o tempo de propagação da onda. Quanto maior a velocidade, menor o tempo, verificando-se menor presença de descontinuidades e em melhor estado a sua peça de madeira se apresenta (RIBEIRO, 2009).

Atualmente, a avaliação não destrutiva, por meio da técnica de emissão de ondas de ultrassom, aparece como sendo um dos métodos mais aplicados e promissores, em função da facilidade de operação e custo relativamente baixo na aquisição e operacionalização do equipamento, quando comparado aos equipamentos utilizados em ensaios destrutivos (STANGERLIN et al., 2010).

### 3.3.2 *Stress Wave Timer*

Segundo Targa et al. (2005) o *stress wave timer* é um método não destrutivo que consiste na aplicação de ondas de tensão no material e na análise do fenômeno de propagação deste estímulo. A velocidade de propagação de uma onda de tensão induzida e sua atenuação no material são os principais parâmetros analisados.

A técnica das ondas de tensão faz uso de um indutor de impacto mecânico ou ultrassônico para transmitir uma onda ao material analisado. Dois transdutores acelerômetros medem o tempo de propagação da onda, gerada pelo impacto do pêndulo sobre os sensores



piezoelétricos, que detectam a passagem da onda e mostram o resultado da velocidade no painel (CALDERON, 2012). O método está embasado no princípio da velocidade de propagação de onda ao longo da peça avaliada, com relação direta com a densidade específica e o módulo de elasticidade (TRIANOSKI, 2012).

Atualmente, o teste de vibração transversal é considerado uma técnica que apresenta valores confiáveis para o módulo de elasticidade e que pode ser usado em qualquer tipo de madeira, com qualquer seção transversal e, também, em madeira laminada colada ou, ainda, em painéis de madeira (MURPHY, 2000 *apud* RIBEIRO, 2009).

### 3.3.3 Colorimetria

Entre as principais propriedades organolépticas, ou seja, as propriedades percebidas pelos sentidos humanos, que possuem importância para a identificação e classificação de madeiras, inclui-se a cor (ARAUJO, 2002). A cor é originada por substâncias corantes depositadas no interior das células do material lenhoso, bem como impregnadas nas paredes celulares (MORESCHI, 2005).

Gonçalez (1993) afirma que vários fatores podem influenciar na cor da madeira, como: composição química, anatomia, método de derrubada, posição da amostra na árvore, espécie, altura e diâmetro da árvore, qualquer fator relativo ao meio ambiente e idade da árvore, além dos fatores genéticos.

A colorimetria quantitativa é uma metodologia eficaz para a medição da cor da madeira. Existem dois tipos de aparelhos apropriados para descrever quantitativamente e cada elemento da composição de uma cor em superfícies; os colorímetros e os espectrofotômetros (GONÇALEZ et al., 2001). Esses aparelhos permitem medir e analisar cada elemento da composição de uma cor, atribuindo-lhe valores numéricos (MARIMONIO, 2011).

Entre os sistemas utilizados para medição de cores, o CIEL\*a\*b\* é o mais empregado, o qual é sintetizado através dos parâmetros colorimétricos: luminosidade (L\*), coordenada cromática do eixo verde-vermelho (a\*), coordenada cromática do eixo azul-amarelo (b\*), saturação da cor (C\*) e ângulo da tinta (h) (CAMARGOS e GONÇALEZ, 2001; ATAYDE et al., 2011).

A luminosidade define escala cinza entre o branco e o preto e é expressa pela variável “L” assumindo o valor 0 para o preto absoluto e 100 para o branco total sendo representada em forma de um círculo cortado por duas retas perpendiculares (horizontal e vertical) passando

pelo centro. A tonalidade é expressa pelas cores primárias vermelho, verde, amarelo e azul que são definidos pelas variáveis “+a\*”; “-a\*”, “+b\*” e “-b\*”, respectivamente, e variam de 0 a 60. O ângulo de tinta (h) é o ângulo do círculo, derivado dos valores de a\* e b\*, variando de 0 a 60. A saturação ou cromaticidade expressa pela variável “C”, é o desvio a partir do ponto correspondente ao cinza no eixo L\*. Quanto mais distante do eixo, mais saturada será a cor (CAMARGOS e GONÇALEZ, 2001).

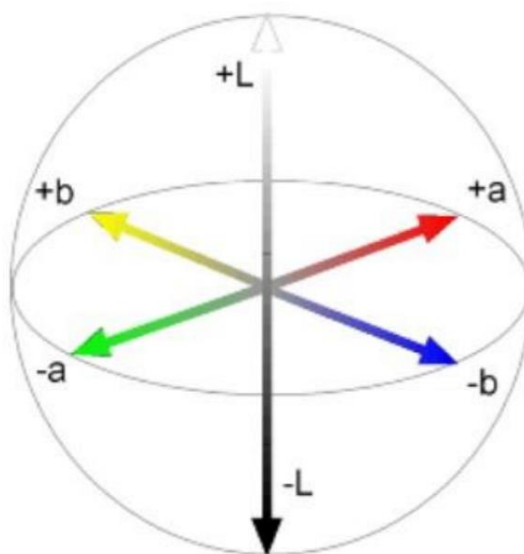


Figura 1: Representação do Sistema Colorimétrico CIELAB 1976.  
Fonte: GRIEBELER, 2013.

### 3.4 Correlações entre propriedades da madeira

Pesquisadores têm procurado, relações que permitiriam prever a magnitude de certa propriedade, conhecidos os valores de outras. Em especial, a predição de propriedades mecânicas vem sendo muito explorados (MOREIRA, 1999).

Ribeiro (2009) citando Bodig e Jayne (1993) indicou que a técnica utilizada para correlacionar ensaios destrutivos e não destrutivos, consiste de uma análise de regressão linear, dos módulos de ruptura (MOR) encontrados, e da velocidade de propagação da onda obtida em ensaios não destrutivos.

As constantes dinâmicas obtidas por meio de ensaios com equipamentos de ultrassom indicam a possibilidade de serem estabelecidas correlações com o módulo de elasticidade obtido por meio de ensaio destrutivo (GONÇALVES e SILVA, 2003).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Preparo das amostras

A espécie utilizada nesta pesquisa foi o cedro (*Cedrela odorata*). Os corpos de prova para os ensaios tecnológicos foram confeccionados em uma indústria moveleira do Distrito Federal. Foram confeccionados 20 corpos de prova com dimensões de 2cm x 2cm x 10cm (largura, espessura e comprimento) para os ensaios de densidade e retratibilidade e 20 corpos de prova com dimensões de 2cm x 2cm x 30 cm (largura, espessura e comprimento) para os ensaios de flexão estática (MOR e MOE), ultrassom, *stress wave timer* e colorimetria. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília - UnB.

### 4.2 Propriedades físicas e mecânicas

#### 4.2.1 Densidade básica

O ensaio de densidade básica foi realizado segundo a norma COPANT 30:1 – 005/461. Para a determinação da densidade básica utilizou-se 20 corpos de prova que foram submetidos a duas pesagens: a primeira foi realizada no estado de total saturação de volume (ficaram submersos em água por mais de 40 dias) Figura 2 e a segunda com as amostras secas em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , Figura 3.



Figura 2: Corpos de prova submersos na água



Figura 3: Corpos de prova na estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Para a determinação da densidade básica, foi utilizada a Equação 1

$$DB = \frac{M_s}{V_{sat}} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

DB = densidade básica (g/cm<sup>3</sup>);

Ms = massa seca (g);

Vsat = volume saturado (cm<sup>3</sup>).

A densidade a 12% foi calculada utilizando-se a mesma equação, porém, a massa e o volume da amostra estavam com o teor de umidade de 12%.

#### 4.2.2 Retratibilidade

A retratibilidade da madeira foi determinada a partir das medições realizadas nas faces tangencial, radial e longitudinal das amostras. Para cada amostra foram realizadas três medições nas faces tangencial e radial e uma medição na face longitudinal, para cada condição, de saturada e seca em estufa. A retratibilidade foi determinada nos corpos de prova saturados e posteriormente secos em estufa através de um paquímetro digital de 50 cm com precisão de 0,01mm. Para o cálculo da retratibilidade radial, tangencial, volumétrica e o coeficiente de anisotropia, foram utilizadas 20 amostras.

A retratibilidade radial foi calculada pela Equação 2 e a tangencial e volumétrica pelas Equações 3 e 4, respectivamente:

$$RR = \frac{Dur - Dsr}{Dur} \times 100 \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

RR = retratibilidade radial (%);

Dur = dimensão da amostra no sentido radial, em condição saturada (cm);

Dsr = dimensão da amostra no sentido radial, em condição seca (cm).

$$RT = \frac{Dut - Dst}{Dut} \times 100 \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde:

RT = retratibilidade tangencial (%);

Dut = dimensão da amostra no sentido tangencial, em condição saturada (cm);

Dst = dimensão da amostra no sentido tangencial, em condição seca (cm).

$$RV = \frac{V_{sat} - V_s}{V_{sat}} \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

RV = retratibilidade volumétrica (%);

V<sub>sat</sub> = volume saturado da amostra (cm<sup>3</sup>);

V<sub>s</sub> = volume seco da amostra (cm<sup>3</sup>).

Foi realizado o cálculo o coeficiente de anisotropia com a Equação 5:

$$CA = \frac{RT}{RR} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

CA = coeficiente de anisotropia;

RT = retratibilidade tangencial (%);

RR = retratibilidade radial (%).

#### 4.2.3 Ensaio Flexão estática

Para a realização do ensaio de flexão estática, foi utilizada a máquina marca EMIC modelo DL 30000 com capacidade máxima de 30kN. O ensaio foi realizado no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal (FT/UnB), seguindo a norma COPANT 30:1 - 006/72.

Para o ensaio, foram utilizadas 20 amostras nas dimensões de 2cm x 2cm x 30 cm (largura, espessura e comprimento). Para o ensaio de flexão estática, a madeira foi apoiada em suas extremidades com a distância de 1cm de cada lado. A máquina é conectada ao computador e a partir dos valores de força e deformação é gerado um gráfico para a interpretação dos dados.



Figura 4: Ensaio de Flexão Estática na Máquina de Ensaio Universal EMIC DL 30kN.

Posteriormente, foram calculados o módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) com as seguintes fórmulas, respectivamente:

$$MOE = \frac{PL^3}{48bd^3} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

MOE = módulo de elasticidade à flexão estática (kgf/cm<sup>2</sup>);

P = carga no limite proporcional (kg);

d = deformação correspondente á carga do limite proporcional;

L = distância entre apoios, vão livre (cm);

b = base da amostra (cm).

$$MOR = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

MOR = módulo de ruptura à flexão estática (kgf/cm<sup>2</sup>);

P = carga máxima aplicada (kg);

L = distância entre apoios, vão livre (cm);

b = base da amostra;

h = altura da amostra.

Após calcular o MOE e MOR em  $\text{kgf/cm}^2$ , os valores encontrados foram divididos por 10,19 para converter para Megapascal (MPa).

#### 4.2.4 Ultrassom

Para o ensaio de ultrassom foram utilizados os mesmos corpos de prova do ensaio de flexão estática, antes de serem submetidos ao ensaio destrutivo. Foram utilizados 20 corpos de prova com o teor de umidade a 12% nas dimensões de 2cm x 2cm x 30cm (largura, espessura e comprimento). O equipamento utilizado foi USLab com potência de 700 V, resolução de 0,1  $\mu\text{s}$  e transdutores de onda longitudinal e de seção plana que operam na frequência de 45 kHz de acordo com a Figura 5.

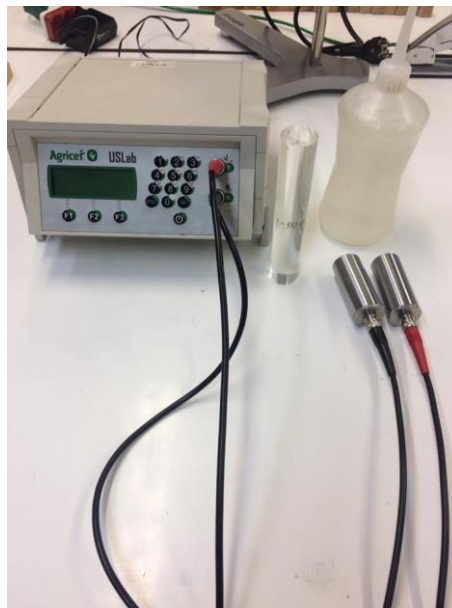


Figura 5: Ultrassom USLab, da marca Agricef.

Com os valores dos tempos de propagação e tendo-se a distância percorrida, foram calculadas as velocidades de propagação para cada um dos corpos de prova, segundo a Equação 8:



$$V = \frac{C}{\Delta t} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

C = Comprimento dos corpos de prova (m);

V = velocidade de propagação de ondas (m/s);

$\Delta t$  = tempo que a onda demorou a percorrer o corpo de prova (s).

Após calcular os dados de velocidade da propagação da onda calculou-se o módulo de elasticidade dinâmico (MOEdu) segundo a Equação 9:

$$MOEdu = V^2 \times D_{12\%} \div 10^6 \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

MOEdu = módulo de elasticidade dinâmico por ultrassom (MPa);

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

D = densidade a 12% de umidade (g/cm<sup>3</sup>).

#### 4.2.5 *Stress Wave Timer*

Com os corpos de prova utilizados para realizar o ensaio de ultrassom foi realizado o ensaio de *stress wave timer*. O equipamento utilizado foi o da marca Metriguard, modelo 239A (Figura 6). Os corpos de prova foram colocados entre os dois acelerômetros, com a distância de 1cm para cada extremidade da peça. De um lado, está posicionado o primeiro sensor que é o ponto de partida onde é produzido o impacto que gera o ponto de tensão. O segundo fica do lado oposto, que irá receber o impacto gerado. O tempo de propagação começou a ser contabilizado a partir do momento em que a onda de tensão chegou ao acelerômetro de partida e finalizou quando a onda de tensão atingiu o acelerômetro de parada, o resultado aparece no visor digital do aparelho. Foram realizadas 3 (três) medições em cada amostra, totalizando 60 medições.

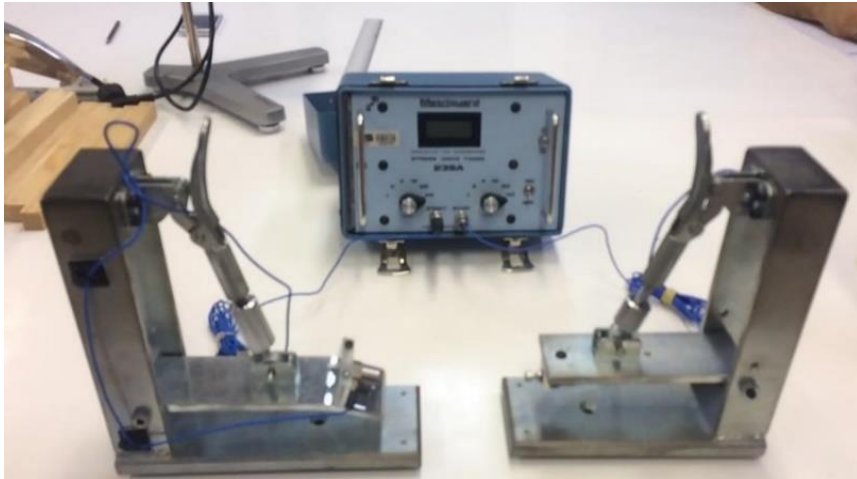


Figura 6: *Stress Wave Timer* modelo 239A, da marca Metiguard.

Para a determinação da velocidade foi utilizada a Equação 10:

$$V = \frac{L'}{t \times 10^6} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

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

L' = distância percorrida pela onda de tensão (m);

t = tempo de trânsito da onda de tensão ( $\mu$ s).

Com os dados de velocidade de propagação calculado através da média simples das 3 medições realizadas para cada amostra e a distância entre cada transdutor, calculou-se o módulo de elasticidade dinâmico (MOEds) no sentido longitudinal do corpo de prova utilizando a Equação 11:

$$MOEds = V^2 \times D_{12\%} \div 10^6 \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

MOEds = módulo de elasticidade dinâmico por *stress wave* timer (MPa);

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

D = densidade a 12% de umidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

#### 4.2.6 Colorimetria

Para a realização deste ensaio foi utilizado um espectrofotômetro *ColorEye® XTH* (Figura 7), vinculado a um microcomputador com o *software* Color iControl, com iluminante *Pulsed Xenon D65* e ângulo de  $10^\circ$ , em temperatura ambiente.

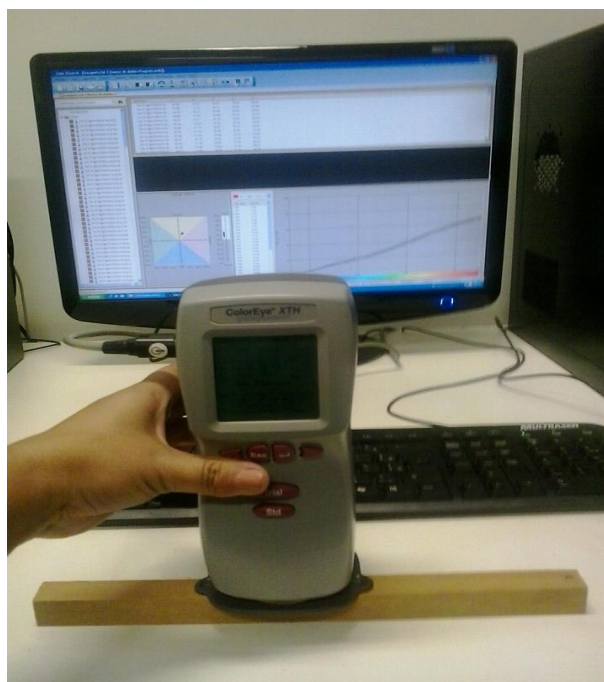


Figura 7: Espectrofotômetro utilizado no ensaio de colorimetria.

Utilizou-se 20 corpos de prova nas dimensões 2cm x 2cm x 30cm (os mesmos da flexão estática). Foram realizadas 10 leituras ao longo da face tangencial do corpo de prova. A metodologia proposta por González (1993) foi utilizada no trabalho, seguindo a definição dos parâmetros colorimétricos  $L^*$  (claridade), coordenadas ( $a^*$  e  $b^*$ ),  $C$  (saturação) e  $h^\circ$  (ângulo de tinta) conforme o sistema CIELAB 1976. Para a especificação das cores da espécie utilizou-se a tabela de cores descrita por Camargos e González (2001).

#### 4.3 Análises estatísticas

Para as propriedades físicas e mecânicas foi utilizado a estatística descritiva: média, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação. Foi verificada a normalidade dos dados pelo teste Shapiro-Wilk pelo programa Action Stat. As correlações entre as propriedades

físicas e mecânicas foram determinadas pelo método de correlação de Pearson a 1 e 5 % de significância pelo teste t, utilizando o programa Genes da UFV (CRUZ, 2006).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Densidade e Retratibilidade

As propriedades físicas para a madeira de cedro (*Cedrela odorata*) estão apresentadas a seguir:

Tabela 1: Valores médios de densidade (básica e a 12%) e retratibilidades para a madeira de cedro.

	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )		Retratibilidade (%)			Coefficiente de Anisotropia
	Básica	12%	Radial	Tangencial	Volumétrica	Razão T/R
<b>Média</b>	<b>0,46</b>	<b>0,53</b>	<b>5,31</b>	<b>5,93</b>	<b>11,08</b>	<b>1,33</b>
Mínimo	0,41	0,47	4,72	3,71	9,09	0,9
Máximo	0,51	0,6	7,13	6,37	13,28	1,44
Desvio P.	0,02	0,03	0,57	0,75	1,05	0,16
CV (%)	5,05	7,21	9,58	14,22	9,47	13,8

De acordo com a Tabela 1, o valor médio de densidade básica para as amostras de cedro é de 0,46 g/cm<sup>3</sup>. Segundo Melo et al. (1990) *apud* Zerbini (2008) a classificação das madeiras tropicais quanto à densidade pode variar de leve a pesada, sendo os valores para madeiras leves  $\leq 0,50$  g/cm<sup>3</sup>, para madeiras de densidade média entre 0,51 g/cm<sup>3</sup> e 0,72 g/cm<sup>3</sup> e para madeiras pesadas  $\geq 0,73$  g/cm<sup>3</sup>. De acordo com essa classificação, a madeira de cedro é considerada de leve densidade. Araújo (2007) relata que a densidade das espécies florestais é a propriedade que mais fornece informações sobre as características da madeira, por estar relacionada com as demais propriedades da madeira.

Dias (2000) encontrou o valor de 0,51 g/cm<sup>3</sup> para a densidade aparente a 12% da madeira de cedro (*Cedrela odorata*), valor semelhante a densidade aparente encontrado neste trabalho.

Valério et al. (2008) determinaram a densidade básica da espécie de cedro (*Cedrela fissilis*) e encontraram o valor médio de 0,43 g/cm<sup>3</sup>, valor semelhante ao encontrado no presente estudo.

Gonçalez e Gonçalves (2001) realizaram um estudo valorando a espécie de cedrorana (*Cedrelinga catenaeformis*) para a indústria moveleira. Nesse estudo, os autores realizaram comparações entre a madeira de *Cedrelinga catenaeformis* e *Cedrela odorata* baseadas principalmente nas suas semelhanças visuais. A densidade básica da madeira de *Cedrelinga catenaeformis* encontrada pelos autores foi de 0,47 g/cm<sup>3</sup>, valor semelhante ao da densidade da madeira de *Cedrela odorata* encontrado no presente trabalho.

Os valores referentes à retratibilidades radial, tangencial e volumétrica da madeira de cedro (*Cedrela odorata*) foram iguais a 5,31%, 5,93% e 11,08%, respectivamente, foram bem inferiores ao encontrado por (IBAMA, 2011), de 9,06%, 12,1% e 20,82% e bem próximos ao encontrado por (IPT, 2013) para *Cedrela spp.* de 4,0% para contração radial, 6,2% para tangencial e 11,6% para volumétrica.

De acordo Sallenave (1955) e Guiscafre (1978), citados por Gonçalez (1993) a classificação das madeiras quanto a retratibilidade volumétrica (RV) pode variar de fraca a forte. Madeiras que apresentam retratibilidade volumétrica fraca os valores são de 4 a 9%; madeiras com retratibilidade volumétrica média, valores de 9 a 14% e madeiras com retratibilidade volumétrica forte apresentam valores de 14,1 a 19%. De acordo com essa classificação, a madeira de *Cedrela Odorata* está no grupo das madeiras de retratibilidade volumétrica média (11,08%).

Segundo Gonçalez et al. (2006) a amplitude de retratibilidade é um bom indicador da estabilidade dimensional da madeira e dos seus produtos derivados. Os autores relatam que a diferença entre as retratibilidades tangencial e radial pode explicar com frequência, as deformações na madeira durante a secagem, sendo assim, um parâmetro essencial na qualidade da madeira e, por consequência, em sua utilização.

O coeficiente de anisotropia encontrado no presente trabalho foi de 1,33, valor bem próximo ao encontrado por (IBAMA, 2011) de 1,34. Moreschi (2012) classificou o coeficiente de anisotropia (CA) em: madeira considerada excelente (1,2-1,5); madeira considerada normal (1,6-1,9) e madeira de baixa qualidade ( $\geq 2,0$ ). De acordo com essa classificação, a madeira de cedro é considerada excelente com CA = 1,33. Quanto mais próximo de 1 esse coeficiente, melhor é a estabilidade dimensional da madeira, produzindo assim, produtos de melhor qualidade. Sendo assim, esse valor é muito importante, principalmente por se tratar de uma espécie que tem a sua madeira utilizada na fabricação de móveis, como é o caso da madeira estudada, indicando que se trata de uma madeira de boa qualidade para este fim (CALDERON, 2012).

## 5.2 Ensaio de Flexão Estática

A Tabela 2 apresenta os valores de MOE (módulo de elasticidade estático) e MOR (módulo de ruptura) da madeira de cedro.

Tabela 2: Módulo de elasticidade estático (MOE) e módulo de ruptura (MOR) para a madeira de cedro.

	Flexão estática	
	MOE (MPa)	MOR (MPa)
<b>Média</b>	<b>10.786,30</b>	<b>81,05</b>
Mínimo	7.417,56	65,45
Máximo	13.624,40	93,07
Desvio P.	1.654,52	8,23
CV (%)	15,34	10,15

Em que: MOE = módulo de elasticidade estático, MOR = módulo de ruptura.

Os valores médios módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) determinados para a madeira de cedro a 12% de umidade foram 10.786,30 MPa e 81,05 MPa, respectivamente.

Os resultados encontrados estão de acordo com a literatura. Segundo IBAMA (2011) a madeira do cedro (*Cedrela odorata*) apresenta um MOE de 9.715 MPa e um MOR de 75,35 MPa. Dias (2000) estudando a densidade aparente a 12% como estimador das propriedades de resistência e rigidez da madeira estimou para a madeira de *Cedrela odorata* um valor médio de 9.962 MPa para MOE e 61,5 MPa para MOR, valores semelhantes ao encontrado no presente estudo.

Segundo o IPT (2013) a cedrorana (*Cedrelinga cateniformis*), uma espécie alternativa à madeira de cedro que é utilizada na construção civil, mobiliário, lâminas decorativas, chapas compensadas e embalagens. Essa espécie possui módulo de elasticidade estático e módulo de ruptura a 12% de umidade nos valores de 12.847 MPa e 77,8 MPa, respectivamente, valores próximos aos encontrados no presente estudo.

Melo et al. (2002) *apud* Autran (2005) encontraram um valor médio de módulo de elasticidade estático (MOE) e de módulo de ruptura (MOR) para a madeira de mogno (*Swietenia macrophylla*) de 9.715,4 MPa e 79,58 MPa, respectivamente. Os valores para as mesmas propriedades mecânicas encontradas no presente estudo para a espécie de cedro foram

maiores que o encontrado pelos autores para o mogno, uma espécie de alto valor agregado, amplamente utilizada para a decoração e indústria moveleira.

### 5.3 Avaliações não destrutivas

#### 5.3.1 Ultrassom e *Stress wave*

Os valores dos ensaios de ultrassom e *stress wave timer* referentes à velocidade de propagação e o módulo de elasticidade dinâmico estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Velocidade de propagação de onda e módulo de elasticidade dinâmico dos ensaios de ultrassom e *stress wave timer* para a madeira de cedro.

	Avaliação não destrutiva			
	Ultrassom		<i>Stress Wave Timer</i>	
	Velocidade (m/s)	MOEd (MPa)	Velocidade (m/s)	MOEds (MPa)
<b>Média</b>	<b>4.971,76</b>	<b>13.420,00</b>	<b>4.724,32</b>	<b>12.154,80</b>
Mínimo	5.464,48	16.186,33	5.325,44	15.847,36
Máximo	4.573,17	9.927,97	4.128,44	8.090,92
Desvio P.	225,61	1.859,78	305,69	2.079,14
CV (%)	4,54	13,86	6,47	17,11

Em que: MOEd = módulo de elasticidade em ultrassom, MOEds = módulo de elasticidade em *stress wave*.

Os valores médios de velocidade de propagação de onda encontrados para a madeira de cedro estão de acordo com o que propõem Gonzalez et al. (2001); Puccini (2002) e Balarin e Nogueira (2005) que relataram valores entre 4.000 a 6.000 m/s. A velocidade encontrada foi maior na técnica de ultrassom do que na técnica de *stress wave timer* com os valores de 4.971,76 e 4.724,32 (m/s), respectivamente.

Del Menezzi et al. (2010) estimaram as propriedades de flexão estática de seis espécies de madeiras amazônicas por meio da técnica não destrutiva de ondas de tensão. Os autores encontraram valores semelhantes ao presente estudo para o módulo de elasticidade dinâmico e velocidade de propagação de onda das madeiras de pau marfim (*Balfourodendron riedelianum*), freijó (*Cordia goeldiana*) e cedro (*Cedrela fissilis*). Os valores encontrados foram 12.187, 12.884 e 11.084 MPa e 3.797, 4.552 e 4.321 (m/s), respectivamente. Os autores concluíram que de maneira geral, o módulo de elasticidade dinâmico MOEds obtido através do *stress wave timer* é um ótimo estimador das propriedades de flexão de madeiras tropicais.

Stangerlin et al. (2010) citando Wang (2001) e Ouis (2002) relatam que a superioridade dos valores de MOEd em relação a MOE pode ser explicada devido à natureza viscoelástica da madeira. Quando uma carga é aplicada rapidamente, a madeira se comporta como um sólido elástico, voltando a um formato próximo ao original, quando a carga é retirada. Entretanto, em situações que a carga permanece mais tempo, como no ensaio de flexão estática, o comportamento da madeira se iguala ao de um líquido viscoso, onde, mesmo após a retirada da carga, a deformação continua a ocorrer e passa a ser permanente. Fato denominado como fluência. Os mesmos autores, relatam que apesar dos valores dos módulos de elasticidade obtidos pelo método destrutivo e não destrutivo serem diferentes, o método ultrassonoroso é eficiente por avaliar, de forma rápida e eficaz, as diferenças relativas à qualidade da madeira. Para Gonzalez et al. (2001) quanto menor a frequência de excitação do material, maior seria a proximidade entre os resultados obtidos em ensaios dinâmicos e seus correspondentes estáticos.

Ribeiro (2017) analisando as propriedades tecnológicas de vinte espécies de madeiras tropicais verificou que de maneira geral o ultrassom (MOEdu) superestimou os valores do MOE para todas as espécies. A autora relata que o ensaio de *stress wave timer* também apresentou valores mais elevados que o MOE, porém com valores mais próximos, exceto para uma das espécies estudadas. No presente trabalho os mesmos resultados foram semelhantes.

Quanto aos coeficientes de variação (CV), obtidos para o módulo de elasticidade dinâmico em ultrassom, foram menores que os obtidos para o módulo de elasticidade estático. Sendo assim, possivelmente, essa técnica de avaliação não destrutiva da madeira apresenta uma menor variabilidade se comparado com o ensaio destrutivo. Resultados parecidos foram obtidos por Calderon (2012).

### 5.3.2 Colorimetria

Os resultados referentes aos parâmetros colorimétricos para a madeira de cedro estão apresentados a seguir:



Tabela 4: Valores médios dos parâmetros colorimétricos para a madeira de cedro.

	L*	a*	b*	C*	h*
<b>Média</b>	<b>62,63</b>	<b>13,00</b>	<b>24,44</b>	<b>27,69</b>	<b>62,02</b>
Mínimo	53,08	10,52	20,58	23,11	58,78
Máximo	67,60	15,09	26,05	29,86	63,84
Desvio P.	3,67	1,00	1,17	1,42	1,26
CV (%)	5,87	7,69	4,80	5,12	2,03

Em que: L\* = claridade, a\* = matiz do eixo vermelho-verde, b\* = matiz do eixo amarelo-azul, C = saturação; h\* = ângulo de tinta.

A madeira de cedro apresentou os seguintes valores médios dos parâmetros colorimétricos, L= 62,63, a\* = 13,00 e b\* = 24,44, C\* = 27,69 e h\* = 62,02. Tomando-se como base a classificação colorimétrica proposta por Camargos e Gonzalez (2001) a madeira de cedro apresenta a coloração rosa.

A luminosidade L\* acima de 56 mostrou uma madeira clara. (CAMARGOS E GONÇALEZ, 2001). Ribeiro (2017) observou que ambas coordenadas (a\* e b\*) atuam na formação da cor das madeiras estudadas, porém, devido a maior influência da coordenada b\* (pigmento amarelo), a espécie se encaixa no 1º quadrante do sistema Cielab 1976 mais próximo do eixo amarelo. Resultados semelhantes aos encontrados no presente trabalho. O ângulo de tinta h\* elevado posiciona a cor próxima ao eixo b\*, confirmando assim a grande influência da coordenada b\* na caracterização da cor da madeira estudada.

Os resultados encontrados para a madeira de cedro estão de acordo com a literatura. Leão (2016) analisando o efeito do intemperismo artificial na cor da madeira da *Cedrela odorata*, encontrou maiores valores do parâmetro b\* em relação ao a\*, indicando maior participação da tonalidade amarela na cor da madeira. O autor utilizou a tabela de Camargos e Gonzalez (2001) para classificar a cor da madeira de cedro e a classificou como rosa. Silva e Gonzalez (2013) ao caracterizarem a madeira de *Cedrela odorata* encontraram os seguintes valores para os parâmetros colorimétricos: L\* (63,12), a\* (13,26), b\* (22,55), C\* (26,17) e h\* (59,53). Resultados estes bem próximos aos encontrados neste trabalho. Silva et al. (2015) ao caracterizarem a madeira de cedro (*Cedrela fissilis*), encontraram valores para a face tangencial de L\* a\*, b\* semelhantes ao do presente trabalho.

#### 5.4 Correlações entre as propriedades tecnológicas

#### 5.4.1 Densidade e Retratabilidade

Tabela 5: Coeficiente de correlação de Pearson entre densidade básica, retratabilidade e coeficiente de anisotropia para a madeira de cedro.

	DB	RR	RT	RV	CA
DB	1				
RR	0,0286	1			
RT	0,2038	0,4617 *	1		
RV	0,1281	0,8929 **	0,7942 **	1	
CA	0,0909	- 0,7883 **	0,1628	- 0,4541*	1

\*\* , \* : Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t

Em que: DB = densidade básica, RR= retratabilidade radial, RT = retratabilidade tangencial, RV = retratabilidade volumétrica e CA = coeficiente de anisotropia.

A Tabela 5 mostra que a densidade básica não apresenta correlação significativa com as retratabilidades. Autran (2005) trabalhou com a valorização tecnológica da seringueira (*Hevea brasilienses*) e muiripiranga (*Brosimum rubescens*) e assim como no presente trabalho, não encontrou correlações entre as densidades e as retratabilidades das madeiras estudadas. Para a autora, a não correlação encontrada para a madeira de muiripiranga pode ser explicada pela existência de um alto teor de extrativos, que obstruem o interior dos vasos. Dessa maneira, a madeira torna-se parcialmente impermeabilizada, não permitindo uma grande absorção de água e assim pouca variação dimensional.

Araújo (2002) correlacionou as propriedades físicas e mecânicas de 187 espécies nativas e assim como no presente estudo, encontrou correlações fracas entre densidade e retratabilidade radial (0,443) e entre densidade e retratabilidade tangencial (0,411).

Quanto a não correlação da densidade com a retratabilidade volumétrica, Skaar (1988) *apud* Marques et al. (2012) diz que a retratabilidade volumétrica é diretamente proporcional à densidade básica da madeira, sendo a correlação desta maior em espécies de clima temperado do que em espécies de climas tropicais. Nesse sentido, o cedro é uma espécie tropical, assim, a baixa correlação encontrada entre a densidade básica e a retratabilidade volumétrica pode ser considerada normal. Ribeiro (2017) observou-se que não existe uma tendência geral de correlação da densidade com as retratabilidades para as espécies que estudou, assim, deve sempre ser considerado espécie a espécie para poder entender o comportamento das madeiras com relação a estas propriedades.

Assim como no presente trabalho, Autran (2005) e Ribeiro (2017) encontraram correlações significativas entre as retratabilidades volumétrica e radial e volumétrica e

tangencial para as espécies estudadas. De acordo com Oliveira e Silva (2003) a magnitude das variações dimensionais depende de inúmeros fatores, como o teor de umidade, a direção estrutural (radial, tangencial ou longitudinal), a posição dentro da árvore, a densidade da madeira, a temperatura, o grau de estresse de secagem causado pelo gradiente de umidade, entre outros.

#### 5.4.2 Densidade, ultrassom, *stress wave* e flexão estática

Tabela 6: Coeficiente de correlação de Pearson entre densidade básica, flexão estática, *stress wave* e ultrassom.

	DB	VELu	MOEdu	VELs	MOEds	MOE	MOR
DB	1						
VELu	0,2429	1					
MOEdu	0,4966*	0,9077**	1				
VELs	0,1981	0,9406**	0,8461**	1			
MOEds	0,4031	0,9117**	0,9625**	0,9376**	1		
MOE	0,4342	0,5545*	0,7779**	0,5564*	0,7586**	1	
MOR	0,6343**	0,3456	0,6212**	0,2664	0,5217*	0,7059**	1

\*\* , \* : Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t

Em que: DB = densidade básica, VELu = velocidade da propagação de onda em ultrassom, MOEdu = módulo de elasticidade dinâmico em ultrassom, MOE = módulo de elasticidade estático, MOR = módulo de ruptura.

De acordo com a Tabela 6, para o ensaio de ultrassom, a correlação entre as variáveis VELu e MOEdu; MOEdu e MOE; MOEdu e MOR foram significativas ao nível de 1% de probabilidade. Já a correlação entre VELu e MOE foi significativa ao nível de 5% de probabilidade. Longui (2009) estudando as espécies de ipê (*Handroanthus* spp.), itaúba (*Mezilaurus itauba*), jatobá (*Hymenaea* spp.), cumaru (*Dipteryx* spp.), sucupira (*Diplopteryx* spp.) e muiracatiara (*Astronium lecointei*) não observou correlação significativa entre a densidade e a velocidade de propagação da onda em ultrassom. No presente trabalho essa correlação também não foi encontrada.

Houve correlação significativa entre a DB e MOEdu ao nível de 5% de probabilidade. A densidade, a rigidez, a forma e o tamanho das fibras e de outros elementos anatômicos afetam a transmissão das ondas (BUCUR, 2006). Ou seja, cada espécie irá apresentar um comportamento, devido a sua composição intrínseca, além de outros fatores como umidade e temperatura (CALDERON, 2012).

Para o ensaio de *stress wave timer*, a correlação entre as variáveis VELs e MOEds; MOEds e MOE foram significativas ao nível de 1% de probabilidade. Já a correlação entre VELs e MOE; MOEds e MOR foram significativas ao nível de 5% de probabilidade. Não foram encontradas correlações significativas para DB e VELs; DB e MOEds.

Os resultados encontrados estão de acordo com a literatura. Del Menezzi et al. (2010) analisaram por meio de ondas de tensão as propriedades mecânicas de 6 espécies amazônicas e a correlação entre a velocidade de propagação de onda e o módulo de elasticidade dinâmico apresentou correlação a nível de 1% de probabilidade. Ribeiro et al. (2016) avaliou as propriedades mecânicas da madeira por meio de métodos destrutivos e não destrutivos e encontraram forte correlação entre a velocidade da propagação de onda e o módulo de elasticidade dinâmico e também, entre a velocidade de propagação de onda e o módulo de elasticidade estático. As correlações encontradas pelos autores foram significativas a nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

Lima et al. (2013) avaliaram o desempenho físico-mecânico de painéis de lâminas paralelas (LVL) produzidos com diferentes composições de espécies tropicais amazônicas e *Pinus oocarpa*. Os autores concluíram que o método do *stress wave timer* poderia ser utilizado para predição do MOE a partir do MOEd.

Apesar da densidade básica apresentar correlação positiva com MOE e com MOR, este só foi significativo para MOR a nível de 1% de probabilidade com variação alta, chegando a 63% de influência direta. O MOE e o MOR também apresentaram correlação significativa positiva a 1% de probabilidade. Isto indica que apesar das evidências, outros fatores interferem na correlação entre DB e as propriedades de flexão estática. A heterogeneidade dos compostos anatômicos e químicos entre indivíduos de uma mesma espécie e o número de indivíduos que foram amostrados ajuda a entender a baixa correlação entre as propriedades dentro da mesma espécie. (ZERBINI, 2008).

#### 5.4.3 Densidade, colorimetria, ultrassom, *stress wave timer* e flexão estática

Tabela 7: Coeficientes de correlação de Pearson entre densidade básica, parâmetros colorimétricos, *stress wave timer*, ultrassom e flexão estática para a madeira de cedro.

	DB	L*	a*	b*	MOEdu	MOEds	MOE	MOR
DB	1							
L*	0,3479	1						
a*	-0,1463	-0,0153	1					
b*	0,0962	0,5574*	0,7284**	1				
MOEdu	0,4966*	0,5544*	-0,3941	0,1004	1			
MOEds	0,4031	0,6089**	-0,3040	0,2388	0,9625**	1		
MOE	0,4342	0,4007	-0,3837	0,0708	0,7779**	0,7586**	1	
MOR	0,6343**	0,3480	-0,3016	-0,0169	0,6212**	0,5217*	0,7059**	1

\*\* , \* : Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t

Em que: DB = densidade básica, L\* = claridade, a\* = matiz do eixo vermelho-verde, b\* = matiz do eixo amarelo-azul, MOEdu = módulo de elasticidade em ultrassom, MOEds = módulo de elasticidade em *stress wave timer*, MOE = módulo de elasticidade estático e MOR = módulo de ruptura.

Ao analisar a Tabela 7, não é possível estabelecer um padrão definido para as correlações entre a densidade básica e os parâmetros colorimétricos. Silva et al. (2015) também não encontraram um padrão definido para a correlação entre os parâmetros colorimétricos e a massa específica a 12% para as espécies estudadas. Para a *Cedrela fissilis*, uma das espécies estudadas pelos autores, a correlação entre massa específica e o parâmetro a\* foi negativa. Os autores não encontraram correlação entre a massa específica e o parâmetro b\* para nenhuma das espécies estudadas. Os mesmos resultados foram encontrados no presente trabalho.

O parâmetro colorimétrico que obteve melhor correlação com a densidade básica foi a claridade (L\*), indicando uma maior influência da coloração amarela na densidade. Entretanto, essa correlação não foi significativa. Mori et al. (2004) relatam que para cada madeira verificasse um determinado parâmetro colorimétrico que melhor caracteriza a variação da massa específica. Esse resultado justifica-se em razão de que a massa específica não é o principal fator influente na variação colorimétrica da madeira, mas sim, a quantidade de compostos químicos como os extrativos e lignina (MORI et al., 2004).

O parâmetro claridade (L\*) também obteve um coeficiente de correlação significativo com b\* e MOEds a nível de 1% de probabilidade e com MOEdu a nível de 5% de probabilidade. O parâmetro a\* obteve coeficiente de correlação significativo com b\* a nível de 1% de probabilidade, o que indica que a medida que a\* aumenta, b\* também aumenta, sendo grandezas diretamente proporcionais.

## 6 CONCLUSÃO

A madeira de cedro (*Cedrela odorata*) foi considerada como de densidade leve. Possui retratibilidades consideradas médias e coeficiente de anisotropia considerado baixo, atribuindo-lhe uma alta estabilidade dimensional. A retratibilidade volumétrica apresentou correlações com as retratibilidades tangencial e radial.

Os valores médios das propriedades de MOE e MOR indicam que a madeira de cedro possui boa resistência mecânica. A densidade básica só apresentou correlação significativa com MOR.

O Ultrassom e o *Stress wave* foram promissores para estimar o módulo de elasticidade estático (MOE) da madeira de cedro mesmo superestimando os valores. O MOEd obtido por *stress wave* apresentou valor mais próximo do MOE estático do que o MOEd obtido por ultrassom.

A madeira de cedro foi classificada como de cor rosa e com maior influência do pigmento amarelo, representado pela coordenada  $b^*$  no sistema Cielab 1976. O parâmetro colorimétrico que obteve melhor correlação com a densidade básica foi a claridade ( $L^*$ ) e o ângulo de tinta ( $h^*$ ) resultou em um valor próximo ao de  $b^*$ , confirmando a maior influência da coloração amarela na densidade da madeira de cedro. As correlações entre densidade básica e parâmetros colorimétricos não apresentaram um padrão.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, H.J.B. **Agrupamento de madeiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do Projeto de Colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas.** 184p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

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

ATAYDE, C.M.; GONÇALEZ, J. C.; CAMARGOS, J.A. Características colorimétricas entre as seções anatômicas da madeira de muirapiranga (*Brosimum* sp.). **Revista Cerne**, v. 17, n. 2, p. 231-235, 2011.

AUTRAN, C.S. **Valorização tecnológica das madeiras de *Hevea brasilienses* Mull Arg. e *Brosimum rubescens* Taub. Para a indústria moveleira.** 81p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, DF, 2005.

BALLARIN, A.W.; NOGUEIRA, M. Determinação do módulo de elasticidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* por ultra-som. **Revista Engenharia Agrícola**, v.25, n.1, p. 19-28, 2005.

BATISTA, D.C. **Modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial pelo processo brasileiro vap holzSysteme®.** 338p. (Tese de Doutorado), Universidade Federal do Paraná. Paraná, 2012.

BUCUR, V. **Acoustics of Wood. 2nd Edition. Springer Series in Wood Science.** Printed in Germany. 393p., 2006

CALDERON, C.M.A. **O segmento moveleiro na região do Alto Juruá - AC: Perfil e usos de tecnologias alternativas para a caracterização das principais espécies madeireiras.** 174p. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

CALEGARI, L. **Uso da onda ultra-sônica como meio de controle do processo de secagem da madeira.** 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Centro de Ciências Rurais – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2006.

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

CAMARGOS, J.A.A.; GONÇALEZ, J.C. Colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Revista Brasil Florestal**, Brasília, v. 71, n.4, p.30-41, 2001.

CARRASCO, E.V.M.; JUNIOR, A.P.A. Avaliação não destrutiva de propriedades mecânicas de madeiras através de ultra-som: fundamentos físicos e resultados experimentais. **Revista Cerne**, v.9, n.2, p. 178-191, 2003.

CARREIRA, M. R.; CHEUNG, A.B.; F. OLIVEIRA, G.R.; DIAS, A. A.; CALIL JÚNIOR, C.; SALES, A.; CANDIAN, M. **Classificação de peças estruturais de Pinus sp por ultrassom**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu - PR, 2006.

CARREIRA, M.R.; CANDIAN, M. Teste de um equipamento para classificação de peças estruturais de madeira pela técnica da vibração transversal. Semina: **Revista Ciências Exatas e da Terra**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 3-14, 2008.

Cruz, C.D. **Programa Genes: Biometria**. Viçosa (MG): Editora UFV, 382p. 2006.

DE PAULA, M.H. **Efeito do tratamento térmico em propriedades tecnológicas das madeiras de Angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke) e sapucaia (*Lecythis pisonis* Cambess)**. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, DF, 2016.

DEL MENEZZI, C.H.S., SILVEIRA, R.S., SOUZA, M.R. Estimativa das propriedades de flexão estática de seis espécies de madeiras Amazônicas por meio da técnica não destrutiva de ondas de tensão. **Revista Acta Amazônica**, v.40, n.2, p. 325- 332, 2010.

DIAS, F.M. **A densidade aparente como estimador de propriedades de resistência e rigidez da madeira**. 170p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2000.

ESALQ – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. **Trilhas da ESALQ**. Disponível em: < <http://www.esalq.usp.br/trilhas/lei/lei21.htm> > Acesso em: 08 de junho de 2017.

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

GONÇALEZ, J.C. **Caracterisation technologique de quatre espèces peu connues da la forêt Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques**. 446f. Thèse Doctorat – Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, Nancy, 1993.

GONÇALEZ, J.C.; GONÇALVES, M. D. Valorização de duas espécies de madeira *Cedrelinga catenaeformis* e *Enterolobium shomburgkii* para a indústria madeireira. **Revista Brasil Florestal**, n. 70, p. 69-74, 2001.

GONÇALEZ, J.C.; JANIN, G.; SANTORO, A.C.S.; COSTA, A.F. da; VALE, A.T. do. Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Revista Brasil Florestal**, n. 72, p. 47-58, 2001.

GONÇALEZ, J.C., VALE, A.T., COSTA, A.F. Estimativas das constantes elásticas da madeira por meio de ondas ultra-sonoras (ultra-som). **Revista Cerne**, Lavras, v.7, n.2, p. 81-92, 2001.

GONÇALEZ, J.C., BRENDA, L.C.S., BARROS, J.F.M., MACEDO, D.G., JANIN, G., COSTA, A.F., VALE, A.T. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Madein e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 329-341, 2006.



GONÇALVES, R.; SILVA, S. A. M. **Correlações entre módulo de elasticidade e constante dinâmica em chapas MDF**. Rio de Janeiro: III *Pan-American Conference for Nondestructive Testing*. PANNDT 2003.

GRIEBELER, C.G.O. **Colorimetria da madeira de Eucalyptus grandis W. Hillex Maiden modificada termicamente**. 69p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Banco de dados de madeiras brasileiras**. 2011. Disponível em <<http://www.mad-uliana.com.br/site/pt/pdf/03-freijo.pdf>> Acesso em 08 de junho de 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil**. São Paulo. 2013.

LEÃO, F.C.; **Efeito do intemperismo artificial na rugosidade e na cor de madeira de cedro (*Cedrela odorata* L.) tratada com um produto de acabamento**. Trabalho de conclusão de curso - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

LEITE, E.R.S. Estimation of the dynamic properties of wood from *Copaifera langsdorffii* Desf using resonance analysis. **Revista Cerne**. vol. 18 n.1, 2012.

LIMA, N.N., MENDES, L.M., SÁ, V.A., BUFALINO, L. Propriedades físico-mecânicas de painéis lvl produzidos com três espécies Amazônicas. **Revista Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 407-413, 2013.

LOCATELLI, M.; MACEDO, R. S.; VIEIRA, A. H. **Caracterização de sintomas de deficiências em cedro rosa (*Cedrela odorata* L.)**. EMBRAPA, Circular Técnica 88. Porto Velho, RO. 2006.

LONGUI, E.L. **Potencial de madeiras nativas na fabricação de arcos para instrumentos de corda**. 144p. Tese (Doutorado) - Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2009.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. São Paulo: Nova Odessa, 368p. 2002.

LOUREIRO, A.A., FREITAS, J.A., RAMOS, K.B.L. & FREITAS, C.A.A. **Essências madeireiras da Amazônia**. Manaus: INPA, 191p. 2000.

MARIMONIO, G.B. **Efeito da densidade e do teor de extrativos na variação da cor da madeira de *Tectona grandis* L.f.** Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2011.

MARQUES, S.S.; OLIVEIRA, J.T.S.; PAES, J.B.; ALVES, E.S.; SILVA, A.G.; FIEDLER, N.C. Estudo comparativo da massa específica aparente e retratibilidade da madeira de Pau-

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

MELO, R.R.; STANGERLIN, D.M.; DEL MENEZZI, C.H.S.; GATTO, A.D.; CALEGARI, L. Caracterização física e mecânica da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Revista Agrária**, Recife, v. 5, n. 1, p. 67-73, 2010.

MOREIRA, W.S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. 119p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 1999.

MORESCHI, J.C. **Propriedades Tecnológicas da Madeira** – Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná – UFPR, 2005.

MORESCHI, J.C. (2010). **Apostila de propriedades da madeira**. Setor de Ciências agrárias UFPR, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/publicacoes/propriedadesdamadeira2010.pdf>> Acesso em: junho de 2017.

MORESCHI, J.C. (2012). **Apostila de propriedades da madeira**. Setor de Ciências agrárias UFPR, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. 4º edição. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES%20DA%20MADEIRA.pdf>> Acesso em: maio de 2017.

MORI, F.A.; LIMA, J.T.; TRUGILHO, P.F.; OLIVEIRA, A.C. Influência das características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos. **Revista Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 123-132, 2004.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para construção civil**. 252p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

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

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 224p. 2003.

PUCCINI, C.T. **Avaliação de aspectos de qualidade da madeira utilizando o ultra-som**. 158p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

RIBEIRO, P. G. **Utilização de Técnicas Não Destrutivas para Caracterização de Madeiras de *Pinus caribaea* Var. *hondurensis* e de *Eucalyptus grandis***. 114p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

RIBEIRO, E.S.; GONÇALEZ, J.C.; SOUZA, R.S; DE PAULA, M.H. Avaliação de propriedades mecânicas da madeira por meio de métodos destrutivos e não-destrutivos. **Revista Nativa**, v.4, n.2, p.103-106, 2016.

RIBEIRO, E. S. **Propriedades Tecnológicas de Vinte Espécies de Madeiras Tropicais Comercializadas Pelo Estado de Mato Grosso**. 183p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

ROSS, R.J.; BRASHAW, B.K.; PELLERIN, R.F. Nondestructive evaluation of wood. **Forest products journal**, v.48, n.1, p.14-19, 1998.

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

SILVA, D.M.R. **Avaliação das propriedades físicas e da elasticidade da madeira de *Tectona grandis* L.f proveniente de povoamento com três densidades de plantio em Cáceres - MT**. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ, 2010.

SILVA, E. S.; STANGERLIN, D. M.; GATTO, D. A.; CALEGARI, L.; PARIZ, E. Colorimetria da madeira de oito espécies nativas do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Ciência da Madeira**, v.6, n.1, p. 31-37, 2015.

SILVA, L. F. X.; GONÇALEZ, J. C. **Envelhecimento artificial acelerado de duas espécies florestais amazônicas para usos como madeira serrada**. Trabalho de conclusão de curso - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

STANGERLIN, D.M.; GATTO, D.A.; MELO, R.R.; CALEGARI, L.; VIVIAN, M.A.; CASTELO, P.A. **Uso do ultrassom para estimativa das propriedades mecânicas da madeira de *Peltophorum dubium***. *Ciência da Madeira*, Pelotas, v. 01, n. 02, p. 44-53, 2010.

TARGA, L.A. BALLARIN, A.W., BIAGGIONI, M.A.M. Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não-destrutivo de vibração transversal. **Revista Engenharia Agrícola**, v.25, n.2, p. 291-299, 2005.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos.** 552p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

VALÉRIO, A. F.; WATZLAWIC, L. F.; SILVESTRE, R.; KOEHLER, H. S.; Determinação da densidade básica da madeira de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) ao longo do fuste. **Revista Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, n. 1, p. 23-28, 2008.

VASCONCELOS, F.J., FREITAS, J.A., LIMA, V.M.O.C., MONTEIRO, L.V. & PEREIRA, S.J. **Madeiras tropicais de uso industrial do Maranhão: características tecnológicas.** Manaus: INPA. 2001.

ZERBINI, J. N. **Madeiras tropicais com potencial comercial da região do Rio Xingu (Pará, Brasil): propriedades tecnológicas e cadeia produtiva.** 187p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.