



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

**GABRIEL IURI CANDIDO LEANDRO**

**PROPRIEDADES ACÚSTICAS E O EFEITO DA RADIAÇÃO UV NAS  
CORES DE MADEIRAS NATIVAS E EXÓTICAS**

Prof. Dr. ALEXANDRE MIGUEL DO NASCIMENTO  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
DEZEMBRO – 2024



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

**GABRIEL IURI CANDIDO LEANDRO**

**PROPRIEDADES ACÚSTICAS E O EFEITO DA RADIAÇÃO UV NAS  
CORES DE MADEIRAS NATIVAS E EXÓTICAS**

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 – 2024

# PROPRIEDADES ACÚSTICAS E O EFEITO DA RADIAÇÃO UV NAS CORES DE MADEIRAS NATIVAS E EXÓTICAS

**GABRIEL IURI CANDIDO LEANDRO**

APROVADA EM: 04/12/2024

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente  
 ALEXANDRE MIGUEL DO NASCIMENTO  
Data: 11/12/2024 19:11:19-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. ALEXANDRE MIGUEL DO NASCIMENTO – UFRRJ  
Orientador

Documento assinado digitalmente  
 FRANCISCO ANTONIO LOPES LAUDARES  
Data: 11/12/2024 20:41:23-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. FRANCISCO ANTÔNIO LOPES LAUDARES – UFRRJ  
Membro

Documento assinado digitalmente  
 JAQUELINE ROCHA DE MEDEIROS  
Data: 11/12/2024 20:08:06-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

MSc. JAQUELINE ROCHA DE MEDEIROS – UFRRJ  
Membro

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao Seu Adilson Soares,  
Seu Chico e a Dona Maria, por serem os  
melhores avôs e avó que eu poderia ter,  
espero que vocês estejam desfrutando da  
paz eterna.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Daniel Peixoto Leandro e Marina Andrade Candido Neta e aos seus antepassados por terem me dado a oportunidade de estudar e viver em tranquilidade para poder estudar e poder ter resistido a toda pressão de todo mundo em volta.

Aos professores que obtive em toda minha vida, seja no colegial, seja na faculdade, por ter me instruído a ser uma pessoa transformadora pela educação.

Ao meu irmão Gustavo pelos momentos de descontração e por ser um grande aliado na vida.

Aos meus eternos avôs Adilson Soares Leandro (*In memoriam*) e Francisco Andrade Candido (*In memoriam*) e a minha eterna avó Maria das Graças Candido (*In memoriam*) - espero que Deus e/ou Orixás guiem o seu caminho para o melhor, por terem sido exemplo de superação, luta, sabedoria, resiliência e garra.

Agradeço a Flora Júnior, por ter me oferecido a oportunidade de reinventar meu modo de viver e ser um profissional melhor e com mais empatia e segurança.

À oportunidade de poder criar amizades e laços que fiz durante a graduação, por terem sido leais e companheiros, nos melhores e piores momentos. Não subtraindo outras pessoas, mas em especial agradeço à Flávia Lemos, Pedro Lucas, Diego Costa, João Victor, Gabriel Yukio, que estiveram comigo oferecendo suporte desde o início da graduação.

A todos do Laboratório de Modificação Físico Química da Madeira (MFQM), em especial ao professor Alexandre Miguel do Nascimento pela oportunidade de poder iniciar na pesquisa científica, Caroline Santos, Jaqueline Rocha, Rogério Santos e Daiana, pelos ensinamentos e companhia na pesquisa.

À UFRRJ, pela oportunidade de ingressar e realizar um ensino superior, gratuito e de qualidade.

Ao CNPQ, pela oportunidade de bolsas de iniciação científica para poder incentivar as minhas pesquisas em inovação em tecnologia de madeira.

A banca em questão, por terem disponibilizado seu tempo e dedicação para poder avaliar esta monografia.

*“Quando o dia amanhece  
Minha mágoa se esconde  
A esperança aparece  
O que me restou da noite  
O cansaço, a incerteza  
Lá se vão na beleza desse lindo alvorecer.”*

***Yvonne Lara***

## RESUMO

A madeira um recurso natural renovável e versátil, tem sido um componente essencial em diversas aplicações ao redor do mundo. Seu uso é vasto e diversificado, abrangendo áreas como arquitetura, onde é empregada na construção de estruturas e edifícios; na fabricação de móveis, proporcionando durabilidade e estética; e na criação de instrumentos musicais, onde suas propriedades acústicas únicas são altamente valorizadas. A exposição prolongada à luz solar pode causar uma mudança na cor da madeira, um fenômeno conhecido como fotodegradação. Isso pode resultar em um escurecimento da madeira ao longo do tempo, alterando sua aparência original. Dito isto, o trabalho em questão objetivou mensurar a variação de cor em seis espécies de madeiras tratadas termicamente, após aplicação de radiação ultravioleta sendo assim um tratamento de envelhecimento artificial acelerado em tempo de 120 horas. As cores foram coletadas nos parâmetros CIELAB ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , $C$  e  $h$ ) e as propriedades acústicas por ensaio não destrutivo de propagação de ondas transversal de acordo com a norma ASTM E1876 de 2022 através do método de vibração transversal, foram analisados os parâmetros de módulo de elasticidade, densidade, frequência natural de vibração, atenuação acústica, velocidade do som e eficiência de conversão acústica. Notou-se que as amostras de Pinus, Marupá e Freijó obteve os melhores resultados de eficiência acústica, sendo mais indicadas para produção de tampos musicais, devido a sua transmissão de som com baixos ruídos. O freijó mostrou-se uma madeira com grande módulo de elasticidade, apesar de sua densidade média. Para as propriedades colorimétricas, as madeiras mais claras obtiveram cores mais saturadas, com mais tons vermelhos e amarelos, além de redução na sua luminosidade. Indicando valor estético ao material.

**Palavras-chave:** Ondas sonoras; Módulo de elasticidade; Eficiência de conversão acústica; Cor.

## ABSTRACT

Wood, a renewable and versatile natural resource, has been an essential component in many applications around the world. Its use is vast and diverse, covering areas such as architecture, where it is used in the construction of structures and buildings; in the manufacture of furniture, providing durability and aesthetics; and in the creation of musical instruments, where its unique acoustic properties are highly valued. Prolonged exposure to sunlight can cause a change in the color of wood, a phenomenon known as photodegradation. This can result in a darkening of the wood over time, altering its original appearance. That said, the study in question aimed to measure the color variation in six species of heat-treated wood, after application of ultraviolet radiation, thus an accelerated artificial aging treatment in a time of 120 hours. The colors were collected in the CIELAB parameters ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , C and h) and the acoustic properties by non-destructive transverse wave propagation test according to the ASTM E1876 standard of 2022 through the transverse vibration method, the parameters of modulus of elasticity, density, natural frequency of vibration, acoustic attenuation, speed of sound and acoustic conversion efficiency were analyzed. It was noted that the Pinus, Marupá and Freijó samples obtained the best results of acoustic efficiency, being more suitable for the production of musical tops, due to their sound transmission with low noise. Freijó proved to be a wood with a high modulus of elasticity, despite its average density. For the colorimetric properties, the lighter woods obtained more saturated colors, with more red and yellow tones, in addition to a reduction in their luminosity. Indicating aesthetic value to the material.

**Keywords:** Sound waves; Modulus of elasticity; Acoustic conversion efficiency; Color.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xi
LISTA DE ANEXOS .....	xii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2.1. REVISÃO DE LITERATURA .....	2
2.2. Composição química da madeira.....	2
2.2.1. Celulose .....	2
2.2.2. Lignina .....	3
2.2.3. Extrativos .....	3
2.3. Acústica da madeira.....	3
2.4. Radiação ultravioleta em madeira .....	4
3. METODOLOGIA .....	5
3.1. Preparação das amostras .....	5
3.2. Ensaio de emissão de radiação UV.....	5
3.3. Colorimetria.....	6
3.4. Ensaio não destrutivo de propagação de ondas .....	7
3.5. Análise dos dados .....	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	9
4.1. Colorimetria.....	9
4.2. Propriedades acústicas .....	11
5. CONCLUSÃO .....	14
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	14
ANEXO .....	17

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1:** Proporção de composição química das madeiras.

**Tabela 2:** Parâmetros colorimétricos coletados antes e após tratamento de emissão de radiação ultravioleta e sua variação de coordenadas e variação total de cor.

**Tabela 3:** Resultados médios das propriedades acústicas das espécies de madeiras.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Máquina responsável pela emissão da radiação UV QUV Weathering Testers.
- Figura 2:** Madeira de marupá acoplada e travada, com sua face exposta para as lâmpadas que emitiram a radiação ultravioleta.
- Figura 3:** Demonstração dos pontos de coleta nas amostras.
- Figura 4:** Espaço de cores do sistema de coordenadas CIELAB. Fonte: Konica Minolta, 1988.
- Figura 5:** Esquematização do aparelho utilizado no ensaio não destrutivo de propagação de ondas (como o aparelho está sob processo de obtenção de patente, foi representado no esquema da figura o seu funcionamento, na prática a madeira fica suspensa em linhas, sendo assim o método livre-livre).
- Figura 6:** Avaliação visual da madeira de Muiracatiara, Pinus, Mogno Africano, Marupá, Freijó e Louro Preto. Em que (A) representa as madeiras após o tratamento de envelhecimento acelerado por radiação UV e (B) representa as madeiras antes do tratamento. Fonte: O autor.
- Figura 7:** Cores de madeira no sistema RGB, demonstrando a variação de cor ocorrida com a influência da radiação ultravioleta.
- Figura 8:** Mediana das densidades das amostras e as espécies utilizadas, de acordo com o gráfico as espécies diferem entre si graficamente.
- Figura 9:** Mediana acerca das frequências naturais de vibração em relação às espécies (gráfico A) e a atenuação acústica das amostras (gráfico B). Madeiras de Marupá, Pinus e Freijó não apresentam diferenças entre si, assim como Mogno, Muiracatiara e Louro Preto.
- Figura 10:** Mediana da velocidade do som em metros por segundo em relação às espécies (gráfico A) e sua eficiência de conversão acústica (ECA) das amostras e as espécies (gráfico B). Madeiras de Marupá, Pinus e Freijó não apresentam diferenças entre si, assim como Mogno, Muiracatiara e Louro Preto.
- Figura 11:** Mediana dos módulos dinâmicos das espécies sob o método de vibração livre-livre.

## **LISTA DE ANEXOS**

**Anexo 1:** Método de Kolmogorov-Sminov.

**Anexo 2:** ANOVA do Teste de Brown-Forsythe para Homogeneidade de Variância- 5%.

## 1. INTRODUÇÃO

Madeira é um material orgânico e sustentável, é frequentemente apreciada por suas qualidades decorativas e ecológicas. A madeira é um material amplamente utilizado em todo o mundo, desempenhando papéis essenciais na construção civil, fabricação de instrumentos musicais, arquitetura e em objetos diversos. Sua textura natural, que pode variar de lisa a rugosa e até apresentar nós, oferece uma singularidade que é difícil de replicar. Além disso, a madeira possui uma ampla gama de cores, desde tons claros a escuros, que podem evocar sentimentos de aconchego, conforto e intimidade. As preferências estéticas individuais em relação à madeira geralmente se baseiam em duas dimensões visuais principais: textura e cor (Pereira, 2013).

A textura da madeira, incluindo a presença de nós na superfície, e a cor desempenham papéis importantes na forma como as pessoas percebem e apreciam sua beleza (Dai Zetian, 2023).

No entanto, a madeira possui características que podem alterar suas propriedades colorimétricas, como é o caso da radiação ultravioleta.

A colorimetria, o estudo científico das cores, tem várias aplicações no campo da madeira. Pode ser usada para identificar diferentes tipos de madeira com base em suas características colorimétricas, facilitando a comercialização e a diferenciação entre o cerne (a parte interna da árvore) e o alburno (a parte externa) (Lopes, 2012).

A fotodegradação da madeira é um fenômeno superficial, devido à grande quantidade de grupos (carbonila, dupla ligação, hidroxila fenólica etc) ou sistemas cromóforos (quinomas, bifenil etc.) dos componentes distribuídos na camada externa, que impedem a entrada da luz da madeira. A radiação ultravioleta consegue penetrar até uma profundidade de 75 $\mu$ m e a visível atinge cerca de 200  $\mu$ m, dependendo da cor original da madeira. Apesar da radiação visível penetrar mais profundamente, sua energia menor do que 70 Kcal/mol, é insuficiente para romper as ligações químicas em qualquer um dos constituintes da madeira (Lima, 2023). Assim, na ciência da madeira, é essencial levar em conta a radiação UV para se ter informações sobre a qualidade e a possibilidade de alteração na aparência desse material.

Além de suas qualidades visuais, a madeira também é conhecida por suas propriedades acústicas. Ela é capaz de absorver a energia sonora de maneira eficiente, o que pode ajudar a reduzir a transmissão de ruídos entre diferentes áreas, tornando-a ideal para melhorar a qualidade sonora em ambientes internos. Nos instrumentos musicais, a madeira é escolhida por sua capacidade de produzir timbres ricos e ressonantes. Isso é particularmente evidente em instrumentos como violões, violinos e pianos, onde a madeira contribui significativamente para a qualidade do som produzido. Entretanto, para que a madeira possa produzir um som de qualidade é necessário que possua propriedades acústicas ideias para os desejados usos, como confecção de instrumentos, isolamentos acústicos, entre outros.

Para a confecção de instrumentos musicais, os valores de resistência à propagação da onda sonora e de resistência à irradiação sonora devem ser cuidadosamente estudados. Esses valores estão intimamente ligados ao módulo de elasticidade dinâmico da madeira e servem de embasamento para uma série de experimentos relacionados à determinação de propriedades acústicas da madeira por meio de métodos acústicos, tais como ultrassom e propagação de ondas de tensão (Neto et al., 2008).

O objetivo deste trabalho foi investigar e mensurar as propriedades acústicas de seis espécies de madeira comumente utilizadas pela indústria acústica e sua variação de cor causada pela radiação UV. Este estudo é importante para entender melhor como suas propriedades de cor podem ser alteradas devido à radiação UV. Através de uma compreensão mais profunda dessas características, podemos utilizar a madeira de maneira mais eficaz e sustentável.

## 2.1.REVISÃO DE LITERATURA

### 2.2. Composição química da madeira

A madeira é um material orgânico composto por células vegetais, sendo um biopolímero tridimensional composto de celulose, hemicelulose, lignina e extrativos (Araujo, 2020). Estes polímeros compõe a parede celular da madeira e quanto a composição elementar a madeira pode possuir em maior quantidade carbono (entre 49% e 50%), oxigênio (entre 44% e 45%), hidrogênio (cerca de 6%) e nitrogênio (entre 0,1% e 1%) e menores quantidades (menor que 0,1%) cálcio, potássio, magnésio, manganês, fósforo e sódio, como demonstra a Tabela 1, porém as proporções podem consideravelmente variar de grupo, mas entre espécies do mesmo grupo não se têm diferenças significativas (Wastowski, 2018).

**Tabela 1:** Proporção de composição química das madeiras.

Constituintes	Coníferas (%)	Folhosas (%)
Celulose	40-44	43-47
Poliose	25-29	25-35
Lignina	25-31	16-24
Extrativos	1-5	2-8
Cinzas	$\leq 1$	$\leq 1$

Adaptado de Wastowski (2018).

Os constituintes moleculares podem ser divididos em substâncias de baixo peso molecular e alto peso molecular, sendo baixo peso molecular, matéria orgânica (extrativos) e matéria inorgânica (cinzas), já alto peso molecular seriam polissacarídeos (celulose e hemicelulose) e lignina. E no caso, os polímeros de alto peso molecular são os responsáveis por determinar as propriedades físicas e mecânicas das madeiras (Jesus, 2023), exercendo influência em seus parâmetros acústicos e colorimétricos.

#### 2.2.1. Celulose

A celulose é um polímero constituído por cadeias de unidades monoméricas de  $\beta$  – D – glicose produzido durante processo de fotossíntese se ligando através de reação de condensação, é um polímero linear que possui fórmula empírica de  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , o “n” representa o número de unidades de  $\beta$  – D – glicose repetidas na molécula de celulose também chamado de grau de polimerização.

As moléculas de glicose unem-se através de ligações glicosídicas do tipo  $\beta(1,4)$  formando cadeias lineares, que interagem umas com outras através de ligações de hidrogênio. Os grupos hidroxilos (OH) presentes nas cadeias de celulose são responsáveis pelos comportamentos físico e químico da celulose, sendo capazes de formar dois tipos de ligações (intramolecular e intermolecular), em função do seu posicionamento na unidade glicosídica e são responsáveis pela hidroscopicidade da madeira, pois os grupos OH possuem adesão as moléculas de água presentes na umidade do ar.

As ligações de hidrogênio entre as cadeias de celulose (ligações intermoleculares) permitem a formação de microfibrilas, as quais, formam as fibrilas (macrofibrilas) e estas

constroem as fibras celulósicas. Como consequência dessa estrutura fibrosa a celulose possui alta resistência à tração, além de ser um bom isolante acústico sendo uma alternativa a fibras sintéticas (Trematerra; Lombardi, 2017). A velocidade de propagação da onda ultrassônica é afetada pela densidade da madeira. Um aumento desse valor, com umidade constante ao longo da amostra, provoca um aumento na velocidade de propagação. Esse fato se deve à deposição de celulose na face interna da parede celular, que causa um aumento significativo da rigidez (Neto, 2008).

### 2.2.2. **Lignina**

A lignina é a segunda mais abundante substância natural do Reino Vegetal, atrás apenas da celulose (M O’Leary, 2020). É um componente estrutural da madeira, ocorrendo entre 15 e 30% do peso seco dos vegetais. Cada planta tem a sua própria e única molécula de lignina, que dificilmente conseguiria ser replicada de forma exatamente igual em outras plantas, ainda que da mesma espécie.

A lignina é uma substância amorfa, de natureza aromática e muito complexa e faz parte da parede celular e da lamela média dos vegetais (Agarwal, 2006). A lignina é um componente estrutural que oferece rigidez a parede celular por ser um polímero complexo e essencial encontrado nas paredes celulares das plantas terrestres. Ela desempenha um papel crucial na rigidez e integridade estrutural das células vegetais, além de contribuir para o transporte de água e nutrientes e atuar como uma barreira contra patógenos (Vanholme et al., 2019).

Tem um impacto significativo na cor da madeira, sendo o principal composto responsável por dar coloração ao material (Silva, 2015).

### 2.2.3. **Extrativos**

Os extrativos são componentes que não fazem parte da parede celular da madeira, possuem baixo ou médio peso molecular e podem ser extraídos em água e/ou solventes orgânicos neutros. De forma geral, para as madeiras de folhosas a quantidade de extrativos se encontra na faixa de 2 a 4% (Gomes, 2020).

Os extrativos, direta ou indiretamente, exercem influência em diversas propriedades da madeira, entre elas as organolépticas, como por exemplo a cor, uma característica visual que afeta a percepção do produto pelo seu consumidor. A tonalidade amarela da madeira é diretamente influenciada pela presença de substâncias lipofílicas, enquanto a tonalidade vermelha é definida pelo efeito de extrativos hidrofílicos (Maia, 2020).

## 2.3. **Acústica da madeira**

A madeira é amplamente reconhecida por suas propriedades acústicas únicas, tornando-se um material ideal para a construção de instrumentos musicais e revestimento de espaços como auditórios e estúdios de gravação. Suas capacidades de absorção e reflexão sonora dependem da espécie de madeira, densidade, umidade e direção das fibras. Em geral, a madeira oferece uma combinação equilibrada de reflexão e difusão de som, minimizando a reverberação indesejada e melhorando a clareza acústica. Além disso, suas propriedades naturais de amortecimento ajudam a suavizar as altas frequências e proporcionar um som mais quente e natural, essencial para a qualidade tonal desejada em diversos contextos musicais e arquitetônicos.

Para a confecção de instrumentos musicais, os valores de resistência à propagação da onda sonora e de resistência à irradiação sonora devem ser cuidadosamente estudados. Esses valores estão intimamente ligados ao módulo de elasticidade dinâmico da madeira e servem de embasamento para uma série de experimentos relacionados à determinação de propriedades da

madeira por meio de métodos acústicos, tais como ultrassom e propagação de ondas de tensão (Neto, 2008).

O módulo de elasticidade dinâmico é determinado através métodos não destrutivos, sendo dois métodos mais usuais (Júnior, 2018). As técnicas baseadas nas frequências naturais e atenuação acústica são mais utilizadas para a caracterização de madeiras. O módulo de elasticidade dinâmico da madeira é uma propriedade que pode ser determinada por meio de ensaios, e que depende da frequência de excitação da fonte. Quanto maior a frequência, maior o valor do módulo de elasticidade dinâmico (Ballarin; Nogueira 2015), com isso sendo um material com maior rigidez. A atenuação acústica é a característica física que representa a capacidade do material de dissipar a energia acústica, sabe-se que quanto menor for esse fator, melhor será a qualidade acústica da madeira (Laudares, 2023). A frequência natural de cada objeto é determinada por sua massa e rigidez. Aumentar a massa (ou peso) de um objeto reduz ou abaixa a sua frequência natural. Aumentar a rigidez do objeto, aumenta ou sobe sua frequência natural (Calvino, 2017), chamamos de frequências naturais de um objeto as frequências com que esse objeto comumente vibra, quando excitado de alguma forma levando um impacto. Quando uma ação externa age sobre o objeto ele só vibra nessas frequências naturais ou seus harmônicos (UFC, s.d.). Esses dados são fundamentais para mensurar a acústica de um material como a madeira.

Portela (2014), demonstrou, por meio de comparação com madeiras consideradas como referência para instrumentos musicais que a espécie de madeira tropical analisada, o marupá (*Simarouba amara*), se encaixa na faixa de propriedades e características consideradas boas para a construção de um cordofone, sendo utilizada para tal a caracterização experimental e numérica do tampo livre, complementada posteriormente com a análise do corpo completo do instrumento.

Por ser um material orgânico, a madeira apresenta uma variedade expressiva de combinações de propriedades acusticamente relevantes entre as espécies, entre diferentes indivíduos e até mesmo em uma única árvore, o que torna cada peça única. Para alguns casos, certas espécies madeireiras são consideradas insubstituíveis, pois apresentam uma combinação de propriedades físicas, mecânicas e acústicas singular, distinta de todos os materiais naturais e sintéticos disponíveis, como os arcos de violino confeccionados em Pau-Brasil (*Paubrasilia echinata*) (Haddad, 2023; Fletcher, 1999; Brémaud, et al., 2008).

Haddad (2023), verificou que o alburno de madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea* apresentou menor decaimento logarítmico (atenuação acústica) que a do lenho de cerne, bem como maior frequência natural de ressonância e módulo de elasticidade dinâmico.

#### **2.4. Radiação ultravioleta em madeira**

A cor da madeira é influenciada por substâncias corantes que são depositadas no interior das células que compõem o material lenhoso, bem como impregnadas nas paredes celulares (Camargos; Gonçalez, 2001). No entanto, a cor da madeira pode mudar com a exposição à radiação ultravioleta (UV) (Júnior e Lengowsk, 2018).

A radiação ultravioleta (UV) é uma onda eletromagnética de alta energia, com comprimento de onda entre 200 e 400 nanômetros. Ela é proveniente dos raios solares e possui frequência maior que a luz visível. A cor violeta representa a tonalidade do espectro visível com a maior frequência detectável pelo olho humano.

No contexto madeireiro, a radiação UV é considerada fator predominante de alteração na cor superficial do material. Quando a madeira é exposta à radiação UV, ocorre um processo de fotodegradação, afetando principalmente sua cor superficial. Essa degradação pode alterar as propriedades físicas e químicas da madeira. Para minimizar esses efeitos, é comum aplicar

produtos de acabamento, como vernizes, stains e tintas, que oferecem proteção contra a radiação UV.

Gonzalez *et.al.* (2010) estudando a madeira de freijó (*Cordia goeldiana* Huber), observou que o tratamento com Polisten mostrou maior resistência à radiação UV em comparação com a seladora (nitrocelulose). Em madeira de *Cordia glabrata* (Muiracatiara) a radiação UV promoveu maior escurecimento na cor, tornando uma madeira mais escura e com a cor mais saturada, fornecendo um aspecto de madeira nobre (Leandro, 2024), o que pode beneficiar na estética do material.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Preparação das Amostras

Foram adquiridas pranchas de madeiras de *Cordia alliodora* (Freijó), *Astronium lecointei* (Muiracatiara), *Pinus spp.*, *Khaya ivorensis* (Mogno africano), *Simarouba amara* (Marupá), *Cordia glabrata* (Louro preto), e foram processadas com dimensões finais de 6 mm x 35 mm x 21 mm (espessura x comprimento x largura) de cada amostra. No total foram produzidas 12 amostras de cada espécie, para cada condição de tratamento, sendo 9 para avaliação acústica e colorimétrica e 3 destinada para cálculo de perda de massa.

Após o processamento, as amostras foram armazenadas e climatizadas com umidade relativa de 65% e temperatura média de 22°C, até atingirem massa constante. Uma vez que a massa se manteve estável, as dimensões dos corpos de prova foram coletadas com auxílio de um micrômetro digital com precisão de 0,001 mm, e balança de precisão com três casas decimais. Esses dados permitiram a obtenção de informações sobre a densidade de cada madeira presente no estudo. Após a coleta das dimensões de cada amostra, elas foram ensacadas em dois sacos sobrepostos e armazenadas para evitar troca de umidade com o meio. Em seguida ficaram aptas aos ensaios não destrutivo de propagação de ondas e ao ensaio de emissão de radiação UV.

#### 3.2. Ensaio de Emissão de Radiação UV

O ensaio foi conduzido em uma câmara de ensaio climático QUV Weathering Testers, fabricada pela Q-Lab, modelo QUV/Spray, equipada com 8 lâmpadas fluorescentes UVA-340, que imitam a luz solar numa faixa de comprimento de onda de 295 a 365 nm, com picos de emissão em 340 nm, conforme demonstra a Figura 1.



Figura 1: Máquina responsável pela emissão da radiação UV QUV Weathering Testers.

As madeiras foram expostas radiação em um ciclo de tempo de 120 horas à 0,68 W.m<sup>-2</sup> com emissão de ultravioleta no comprimento de 340nm, o que segundo Chang e Chang (2001) equivale a exposição solar de aproximadamente 1 ano e meio. As amostras foram posicionadas no sentido vertical, com apenas uma face exposta às lâmpadas, conforme demonstra Figura 2.



Figura 2: Madeira de marupá acoplada e travada, com sua face exposta para as lâmpadas que emitiram a radiação ultravioleta.

### 3.3. Colorimetria

Para uma análise quantitativa foi utilizado a medição colorimétrica de acordo com o sistema de coordenadas de cores CIELAB e coletando dados acerca dos parâmetros ( $L^*$ ,  $C^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $h^\circ$ ) antes e após do tratamento de envelhecimento acelerado da madeira.

A primeira medição foi realizada antes da submissão das amostras ao tratamento de envelhecimento acelerado, usando o espectrofotômetro portátil CM 2600d, versão 1.41, da Konica Minolta Sensing, Inc, seguindo o espaço de cores CIELAB (Figura 1). O sistema CIELAB é composto por 5 parâmetros,  $L^*$  representa a luminosidade,  $a^*$  representa a tonalidade amarela (+ $a^*$ ) e verde (- $a^*$ ) e  $b^*$  representa o gradiente de tonalidade amarelo (+ $b^*$ ) e azul (- $b^*$ ), além disso é composto por parâmetros de saturação ( $C^*$ ) (equação 1) que é dependente da distância da luminosidade e “ $h^\circ$ ” que representa o ângulo de tonalidade (equação 3) (Konica Minolta, 1998), com quatro pontos de coleta na amostra, sendo dois na parte superior e dois na parte inferior da amostra, sendo cada um distanciados por 5 cm, conforme demonstra a Figura 3.

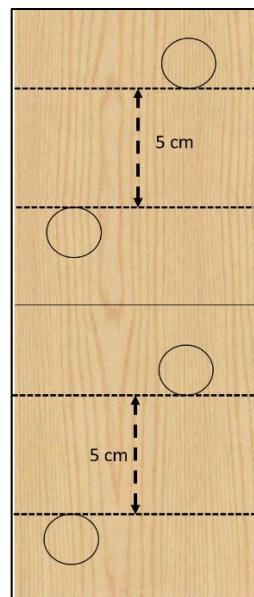


Figura 3: Demonstração dos pontos de coleta nas amostras.

Para avaliação da mudança de coloração será utilizada metodologia proposta pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE, 1976) e adotadas em trabalhos como Laudares (2022), Chang e Chang (2001), Silva et al. (2007).

$$(1) \quad C^* = ((a^*)^2 + (b^*)^2)^{1/2}$$

$$(2) \quad \Delta E = ((\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2)^{1/2}$$

$$(3) \quad h^\circ = \tan^{-1}(b^*) / (a^*)$$

Em que  $\Delta E$  (Equação 2) representa a variação total de cor após o tratamento de radiação ultravioleta.

Para uma análise visual e qualitativa das amostras, foi realizado fotografias das amostras nas fases anteriores e posteriores aos tratamentos para efeito de comparação.

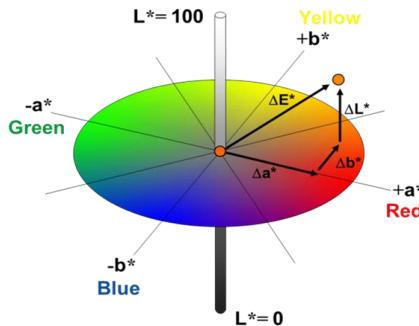


Figura 4: Espaço de cores do sistema de coordenadas CIELAB. Fonte: Konica Minolta, 1988.

Após a coleta dos dados dos parâmetros, as amostras foram levadas para ensaios de emissão de radiação UV e refeito as coletas dos parâmetros colorimétricos.

Os dados CIELAB foram convertidos pelo site com a função gratuita de conversão “<https://www.nixsensor.com/free-color-converter/>” e coletados os seus códigos HEX, responsável por ler essas cores nos softwares mais comuns, os códigos hexadecimal ou HEX são produtos desta conversão e com eles foi feito a montagem da tabela comparativa de cores nas madeiras, antes e após da radiação UV.

### 3.4. Ensaio não destrutivo de propagação de ondas

Para o estudo das propriedades acústicas das espécies, foi utilizado o método de vibração transversal, conforme a norma ASTM E1876 (2022), também conhecido como método de vibração livre-livre. Nesse método, a amostra foi suspensa entre dois pontos de apoio paralelos, localizados a uma distância de 0,224 vezes o comprimento longitudinal da amostra a partir das extremidades livres (Figura 5). Esses pontos coincidem com os pontos nodais do primeiro harmônico (Laudares, 2022). Durante o teste, foram aplicados impactos transversais no centro da amostra usando um martelo devidamente dimensionado. As ondas sonoras são captadas hardware, como um microfone, localizado no sentido oposto ao impacto gerado no centro da amostra, e o sinal gerado por esse impacto na amostra foi processado por um software chamado *Fast Fourier Analyzer* (FFT) da FAKOOP® Enterprise. O primeiro harmônico corresponde à frequência natural de vibração (fr) da amostra (Jesus, 2023).

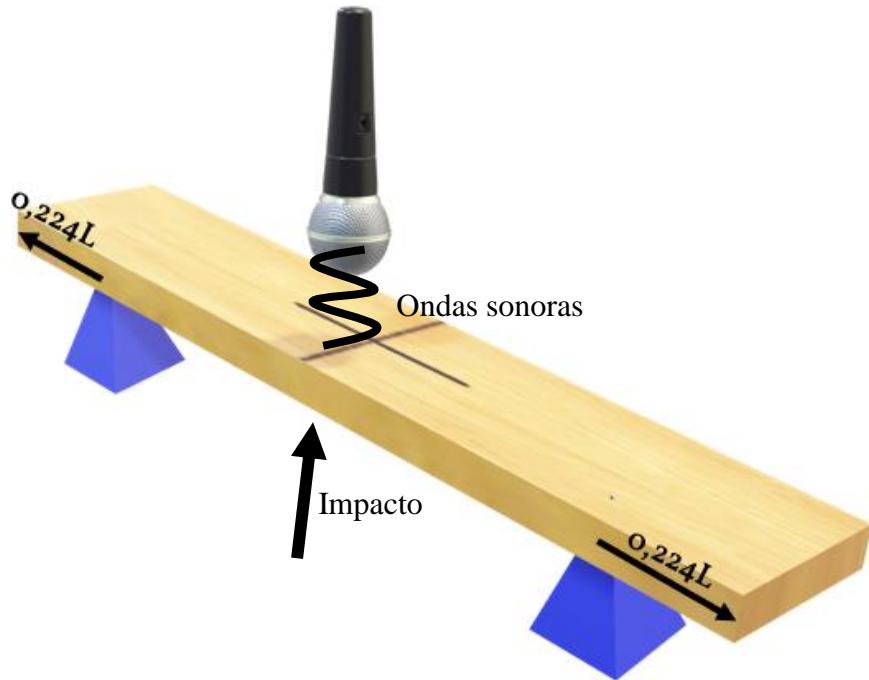


Figura 5: Esquematização do aparelho utilizado no ensaio não destrutivo de propagação de ondas (como o aparelho está sob processo de obtenção de patente, foi representado no esquema da figura o seu funcionamento, na prática a madeira fica suspensa em linhas, sendo assim o método livre-livre).

A atenuação acústica foi determinada pelo amortecimento por decremento logarítmico (Dl), também conhecido como *Logarithmic Decrement of Damping* (LDD). Nesse método, registra-se a resposta de frequência do sistema após uma excitação por impulso (Jesus, 2023). A atenuação (Equação 4) é calculada pela razão entre duas amplitudes sucessivas do sinal no domínio do tempo. Apesar da Equação 4, o software FFT *Analyzer* da FAKOPP® Enterprise fornece o decremento logarítmico de forma automatizada.

$$(4) \quad Dl = (1. n^{-1}) \ln A0. An^{-1} \approx \pi x \tan\delta$$

Para determinar as propriedades acústicas do material foi determinado o módulo de elasticidade dinâmico de acordo com a Equação 5 descrita também em outros trabalhos sobre métodos de ressonância como Laudares (2022).

$$(5) \quad Ed = (0,9464\rho. fn^2. L^4)h^{-2}$$

Onde que, “Ed” representa módulo de elasticidade dinâmico em  $\text{kgf.cm}^{-2}$ , “h” representa espessura da barra em cm, “ρ” representa a densidade da amostra em  $\text{g.cm}^{-3}$ , “fn” representa a frequência de vibração em Hz, “L” representa o comprimento da barra em cm.

Para o cálculo de Eficiência da Conversão Acústica (ECA), foi utilizada a Equação 6, onde é possível relacionar a razão entre o coeficiente de radiação sonora gerado e o coeficiente de amortecimento ( $\tan\delta$ ) (Laudares, 2022), entretanto como o software FFT Analyzer já fornece o Dl, basta substituir na equação.

$$(6) \quad ECA = \pi(Ed. \rho^{-3})^{1/2}. Dl^{-1}$$

Para o cálculo da velocidade do som,  $vsom$  ( $\text{m.s}^{-1}$ ), foi utilizado a Equação 7, a partir da raiz quadrada do módulo de elasticidade dinâmico, dividido por sua densidade,  $\rho$  ( $\text{kg.m}^{-3}$ ).

$$(7) \quad v_{som} = \sqrt{\frac{E_{din}}{\rho}}$$

### 3.5. Análise dos dados

Todos esses cálculos foram coletados e realizados, com o software Microsoft Excel 2016. e processados E os cálculos estatísticos no programa STATISTICA® 12.

Para análise estatística dos dados foram realizados teste de Brown-Forsythe para Homogeneidade de Variância- 5% e o método de Kolmogorov-Smirnov.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Colorimetria

Nas espécies de freijó, mogno e louro preto, não houve diferença visual significativa com base nas imagens apresentadas. Os parâmetros colorimétricos assim como suas variações antes e após os tratamentos colorimétricas podem ser mais bem observadas na Tabela 2.

**Tabela 2:** Parâmetros colorimétricos coletados antes e após tratamento de emissão de radiação ultravioleta e sua variação de coordenadas e variação total de cor.

Madeira	antes da aplicação de UV					E
	L	a*	b*	C	H	
Marupá	84,3	2,9	21,8	22,0	82,4	
Freijó	64,6	6,8	22,2	23,2	72,9	
Muiracatiara	55,4	17,9	27,0	32,4	56,5	
Louro preto	39,2	5,7	12,5	13,7	65,3	
Pinus	82,9	4,5	25,5	25,9	79,9	
Mogno	46,2	15,0	20,1	25,1	53,3	
Madeira	após aplicação de UV					E
	L	a*	b*	C	H	
Marupá	75,4	8,9	36,4	37,5	76,3	
Freijó	61,2	9,3	28,9	30,4	72,1	
Muiracatiara	35,2	20,9	17,6	27,4	40,1	
Louro preto	42,7	6,5	14,9	16,3	66,3	
Pinus	73,3	9,9	39,5	40,7	75,9	
Mogno	41,9	14,2	18,0	22,9	51,7	
Madeira	variação das coordenadas					E
	L	a*	b*	C	H	
Marupá	- 8,9	6,0	<b>14,7</b>	<b>15,5</b>	- 6,1	<b>18,19</b>
Freijó	- 3,4	2,5	6,8	7,2	- 0,8	8,71
Muiracatiara	<b>- 20,2</b>	3,1	- 9,4	- 5,0	<b>- 16,4</b>	<b>22,52</b>
Louro preto	3,6	0,8	2,4	2,5	1,0	5,18
Pinus	- 9,5	5,4	<b>14,0</b>	<b>14,8</b>	- 4,0	<b>17,85</b>
Mogno	- 4,3	- 0,8	- 2,2	- 2,2	- 1,6	5,08

A análise quantitativa das espécies revelou maior variação de cor na madeira de *Astronium lecointei* (Muiracatiara), sendo 22,52 de variação total de cor, que se destaca pela perca de luminosidade, variando -20,2 na coordenada de luminosidade, tornando-a mais escura e menos reflexiva à luz. As madeiras de *Pinus* e Marupá, quando expostas à luz ultravioleta (UV), ganharam mais coloração nos tons amarelos e vermelhos em suas superfícies, evidenciado pelo aumento nos parâmetros de  $a^*$ ,  $b^*$  e C, sendo na madeira de Marupá um aumento de 6,0 na coordenada a, e um aumento de 14,7 na coordenada  $b^*$  e aproximadamente um aumento de 15,5 na saturação C. O Louro preto (*Cordia glabrata*) apresentou um aumento leve na luminosidade e pouca diferença nos parâmetros. Podendo ser devido ao mosaico de cores em sua superfície, além de ser predominantemente composto por cores escuras. Pela Figura 6, é possível observar de maneira qualitativa as variações ocorridas nas superfícies das madeiras, notando-se a baixa variação de cor em madeiras de Freijó, Mogno e Louro preto, porém com notável diferença entre Muiracatiara, *Pinus* e Marupá.



Figura 6. Avaliação visual da madeira de Muiracatiara, *Pinus*, Mogno Africano, Marupá, Freijó e Louro Preto. Em que (A) representa as madeiras após o tratamento de envelhecimento acelerado por radiação UV e (B) representa as madeiras antes do tratamento. Fonte: O autor.

Na Figura 7, é observado a conversão dos dados CIELAB para o sistema RGB, é evidente a percepção da influência da radiação UV na cor das espécies de madeira. É observado também que a intensidade da variação da cor pode variar de espécie para espécie.



Figura 7: Cores de madeira no sistema RGB, demonstrando a variação de cor ocorrida com a influência da radiação ultravioleta.

#### 4.2. Propriedades acústicas

A Tabela 3 descreve os resultados médios das características acústicas obtidas das seis espécies de madeira pelo ensaio de vibração transversal. É possível observar que as madeiras de *Cordia alliodora* (Freijó), *Pinus spp.*, e *Simarouba amara* (Marupá), são mais eficientes na transformação de energia mecânica em energia sonora devido ao seu alto índice de ECA.

**Tabela 3.** Resultados médios das propriedades acústicas das espécies de madeiras.

Madeira	Densidade (g.cm <sup>-3</sup> )	Frequência (Hz)	DL (10 <sup>-3</sup> )	E <sub>d</sub> (GPa.cm <sup>3</sup> .g <sup>-1</sup> )	Velocidade do som (m.s <sup>-1</sup> )	ECA (m <sup>4</sup> .kg <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> )
Marupá	<b>0,475</b>	<b>713</b>	<b>21,6</b>	113.118	<b>4857</b>	<b>1.521</b>
Pinus	<b>0,528</b>	<b>684</b>	<b>25,7</b>	126.395	<b>4867</b>	<b>1.142</b>
Freijó	<b>0,578</b>	<b>714</b>	<b>18,5</b>	<b>140.653</b>	<b>4927</b>	<b>1.498</b>
mogno	0,764	543	34,0	106.026	3716	481
Muiracatiara	0,848	551	26,7	<b>138.003</b>	4031	573
Louro preto	0,901	532	34,1	120.562	3632	396

Em que: “DL” a atenuação acústica, “Ed” é o modulo dinâmico transversal, “ECA” é a eficiência de conversão acústica. Os números destacados em negrito representam significância aos dados obtidos em relação aos parâmetros acústicos encontrados e suas espécies.

A Figura 8 demonstra a distribuição de densidades das espécies estudadas, onde que, as madeiras teoricamente mais densas foram provadas por meio das coletas de dados realmente mais densas e com isso tem relação com outros parâmetros acústicos estudados, como por exemplo, eficiência de conversão acústica, velocidade do som, entre outros, conforme comprova os gráficos abaixo.

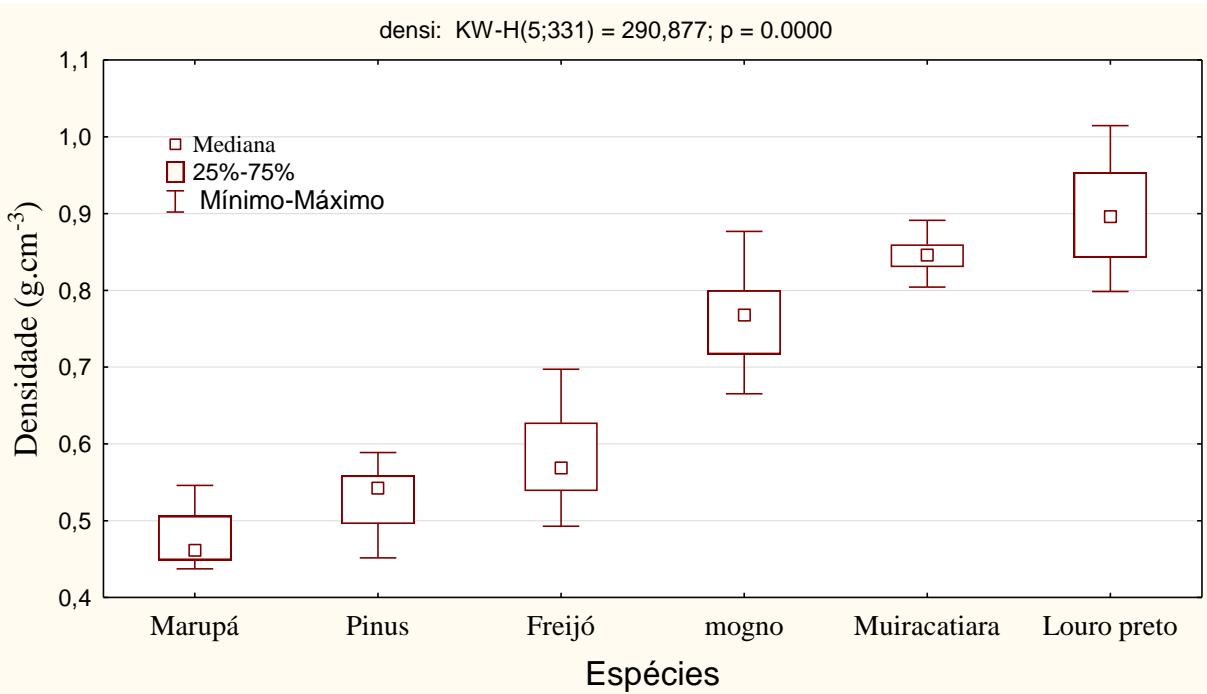


Figura 8: Mediana das densidades das amostras e as espécies utilizadas, de acordo com o gráfico as espécies diferem entre si graficamente.

Na Figura 9, podemos analisar a distribuição da frequência natural de vibração de cada espécie estudada e sua atenuação acústica (DL). As madeiras mais densas possuem menor frequência e uma maior atenuação acústica, desta forma, estas madeiras possuem mais capacidades em absorver o som e transmiti-lo muito pouco, já as madeiras com densidades mais baixas, como Marupá, Pinus e Freijó, possuem frequência alta e uma baixa atenuação acústica, isto significa que são madeiras que consegue transmitir o som de maneira eficaz com baixa emissão de ruídos, podendo ser mais eficientes como matéria prima de tampos musicais.

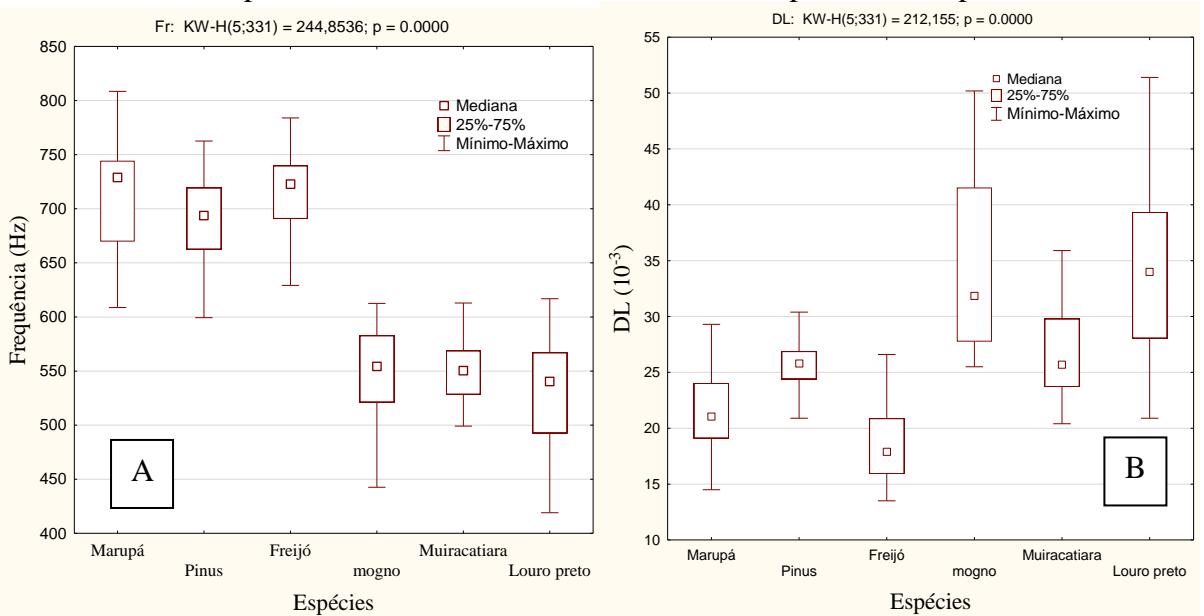


Figura 9: Mediana acerca das frequências naturais de vibração em relação às espécies (gráfico A) e a atenuação acústica das amostras (gráfico B). Madeiras de Marupá, Pinus e Freijó não apresentam diferenças entre si, assim como Mogno, Muiracatiara e Louro Preto.

Pela Figura 10, é observado que a madeira de Mogno, Muiracatiara e Louro Preto possuem dificuldade em transmitir o som de maneira eficiente, visto que a velocidade da onda sonora ao atravessar as madeiras é mais baixa quando comparadas com a velocidade do som e a eficiência de conversão acústica de madeiras como Marupá, Pinus e Freijó. Logo as madeiras mais densas possuem mais capacidade de isolamento acústico. Enquanto madeiras menos densas, tem maior afinidade em absorver e transmitir o som de maneira mais clara e com baixo ruído.

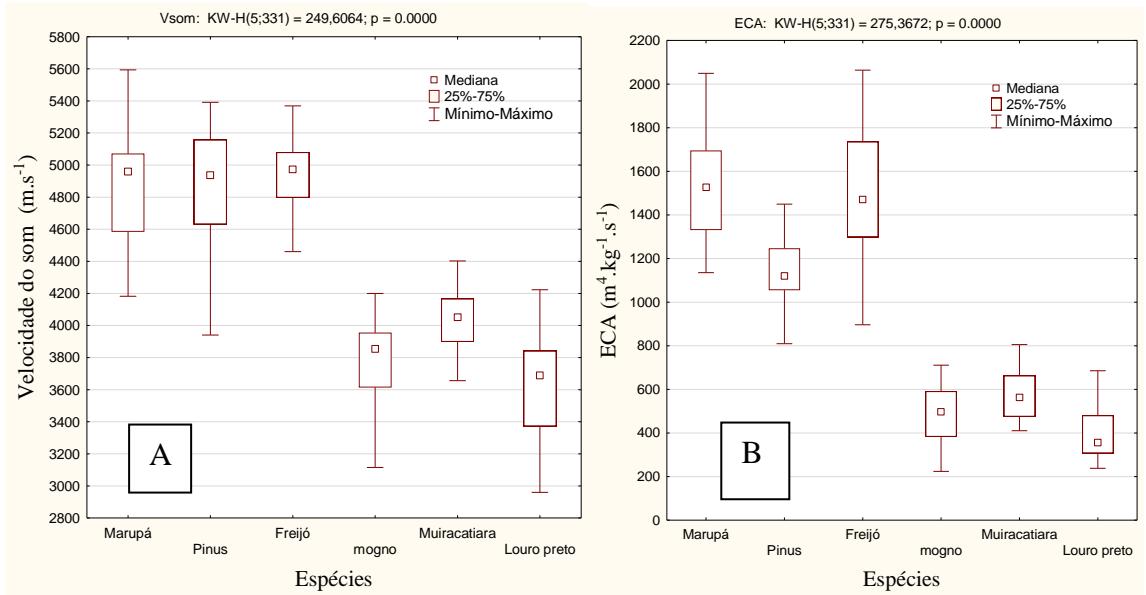


Figura 10: Mediana da velocidade do som em metros por segundo em relação às espécies (gráfico A) e sua eficiência de conversão acústica (ECA) das amostras e as espécies (gráfico B). Madeiras de Marupá, Pinus e Freijó não apresentam diferenças entre si, assim como Mogno, Muiracatiara e Louro Preto.

Pelo gráfico abaixo (Figura 11), é possível observar que o módulo dinâmico para as espécies de Muiracatiara e Freijó se destacaram em comparação a outras espécies, apesar do freijó possuir densidade média de  $0,578 \text{ g.cm}^{-3}$ , apresentou a maior média de elasticidade dinâmica média, sendo ela  $140.653 \text{ GPa.cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ , resultado esse próximo ao encontrado em madeira mais densas como por exemplo da Muiracatiara que foi encontrada com módulo de elasticidade dinâmico como de  $138.003 \text{ GPa.cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ , indicando que a madeira de freijó possui uma grande rigidez apesar de sua média densidade.

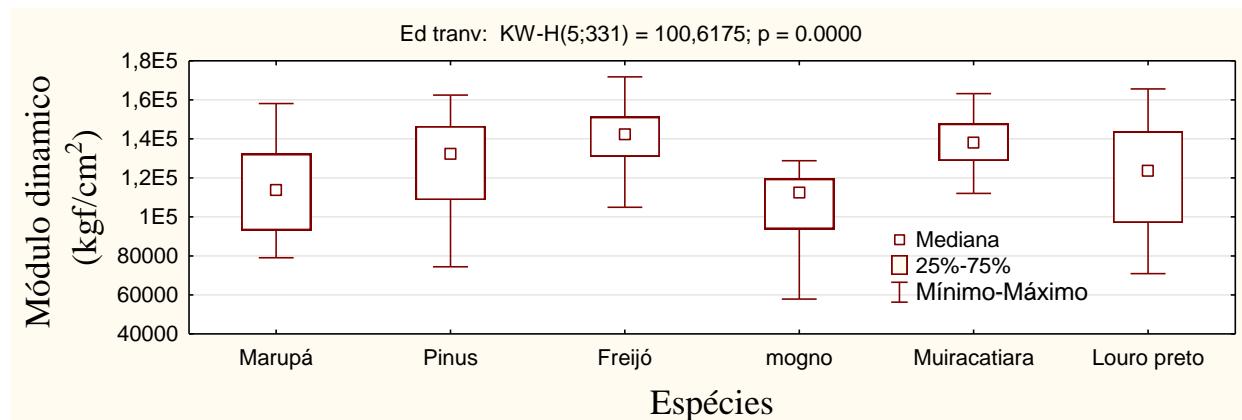


Figura 11: Mediana dos módulos dinâmicos das espécies sob o método de vibração livre-livre.

Madeiras menos densas, como Marupá, Pinus e Freijó, demonstraram alta eficiência na transformação de energia mecânica em sonora devido ao seu elevado índice de ECA, alta frequência de vibração natural e baixa atenuação acústica, tornando-as particularmente adequadas para tampos musicais, onde é desejável a transmissão eficaz do som com baixa emissão de ruídos. Por outro lado, madeiras mais densas como Mogno, Muiracatiara e Louro Preto destacaram-se por sua capacidade de isolamento acústico, evidenciada pela maior atenuação acústica e menor frequência de vibração natural, sendo mais eficazes na absorção e redução de ruídos. Além disso, Freijó mostrou uma combinação notável de rigidez e elasticidade dinâmica, apesar de sua densidade média, comparando-se favoravelmente com madeiras mais densas como Muiracatiara.

## 5. CONCLUSÃO

Aplicação de UV pode tornar a madeira mais atrativa, com maior saturação de cor, sem a necessidade de adição de outros produtos estéticos. No entanto, essa variação é diferente de espécie para espécie.

Madeiras com maior ECA (Freijó, Marupá e Pinus) são mais adequadas a produção de tampo ressonante de instrumento musical devido a sua excelente capacidade de absorção, reflexão e transmissão de som, resultando em melhor qualidade sonora e ressonância.

Espécies mais densas, produzem baixa velocidade do som e eficiência de conversão da energia mecânica em energia sonora, sendo mais indicados em aplicações que exigem mais a absorção sonora do que a transmissão. Esses insights são fundamentais para a escolha de materiais em projetos que exigem desempenho acústico específico, permitindo uma seleção informada com base nas propriedades acústicas e mecânicas de cada espécie de madeira estudada.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**A RESSONÂNCIA (UFC).** Disponível em: <<https://seara.ufc.br/pt/producoes/nossas-producoes-e-colaboracoes/secoes-especiais-de-ciencia-e-tecnologia/tintim-por-tintim/fisica/a-ressonancia/>>. Acesso em: 6 dez. 2024.

**AGARWAL, Umesh P. Raman . Imaging to investigate ultrastructure and composition of plant cell walls: distribution of lignin and cellulose in black spruce wood (Picea mariana).** *Planta An International Journal of Plant Biology*, WI, USA, ano 2006, v. 224, p. 1141–1153, 8 jun. 2006. DOI <https://doi.org/10.1007/s00425-006-0295-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00425-006-0295-z#citeas>. Acesso em: 24 ago. 2024.

**AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.** *ASTM E-1876-21: Standard test method for dynamic Young's Modulus, shear modulus and Poisson's ratio by impulse excitation of vibration*. ASTM International, West Conshohocken, PA. 2021.

**ARLETE, J.; CAMARGOS, A.; GONÇALEZ, J. C. A COLORIMETRIA APLICADA COMO INSTRUMENTO NA ELABORAÇÃO DE UMA TABELA DE CORES DE MADEIRA.** Brasil Florestal, v. 71, p. 30, set. 2001.

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

BRÉMAUD, I. et al. **Vibrational properties of tropical woods with historical uses in musical instruments. International Conference of COST Action IE0601 Wood Science for the Preservation of Cultural Heritage.** Braga, Portugal, p. 17-23, 2008.

CALVINO, V. B. **FÓRMULAS SIMPLIFICADAS BASEADAS EM MEDIÇÕES DE VIBRAÇÕES PARA ESTIMATIVA DE FREQUÊNCIAS NATURAIS DE CASCOS DE NAVIOS.** Universidade Federal do Rio de Janeiro: 2017.

CHANG, Hui-Ting; CHANG, Shang-Tzen. **Correlation between softwood discoloration induced by accelerated lightfastness testing and by indoor exposure. Polymer Degradation and Stability**, v. 72, p. 361–365, 2001. Disponível em: <<http://www.elsevier.nl/locate/polydegstab>>. Acesso em: 20/05/2024.

DAI, Zetian; XUE, Juan; WANG, Shoushan. **Effects of wood texture and color on aesthetic pleasure: two experimental studies. International Journal of Reconfigurable and Embedded Systems (IJRES)**, p. 125–134, 2022. Acesso em: 20/05/2024.

FLETCHER, N. **Materials for Musical Instruments. Acoustics** Australia, Canberra, v. 27, n. 1, p. 5- 9, 1999.

GOMES, R. M. et al. **AVALIAÇÃO DOS CONSTITUINTES QUÍMICOS DA MADEIRA APLICANDO DIFERENTES MÉTODOS DE REMOÇÃO DE EXTRATIVOS.** In: **Engenharia Florestal Desafios Limites e Potencialidade.** 2020 editora científica, 29DC. p. 195–204.

JANKOWSKY, I.; GALINA, M. **SECAGEM DE MADEIRAS.** [s.l.] ANPM, 2013.  
JESUS, D. S. de. **MELHORIA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, ACÚSTICAS, MECÂNICAS E BIOLÓGICAS DA MADEIRA PELA TÉCNICA DE ACETILAÇÃO.** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: 2024.

JÚNIOR, N. T. A. et al. Análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico do concreto através dos ensaios de resistência à compressão e velocidade de propagação de onda ultrassônica. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO CBC2018**, 60., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais do 60º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2018** [...]. [S. l.: s. n.], 2018. p. 13. Disponível em: <https://www.ufpe.br/documents/1466569/1804469/An%C3%A1lise+do+m%C3%B3dulo+de+elasticidade+est%C3%A1tico+e+din%C3%A1mico+do+concreto+atrav%C3%A9s+A9s+dos+ensaios+de+resist%C3%A1ncia+e+compress%C3%A3o+e+velocidade+de+propaga%C3%A7%C3%A3o+A7%C3%A3o+de+onda+ultrass%C3%A3o+B4nica.pdf/d00f6f1a-d218-4259-99d3-4f330ab74e8e>. Acesso em: 6 dez. 2024.<https://doi.org/10.1105/tpc.20.00858>. Disponível em: <https://academic.oup.com/plcell/article/32/12/3652/6118605>. Acesso em: 24 ago. 2024.

LAUDARES, F. A. et al. **Avaliação das propriedades acústicas de mogno africano (Khaya ivorensis) submetido a tratamento térmico em estufa e autoclave.** Matéria (Rio de Janeiro), v. 28, n. 1, 1 jan. 2023.

LIMA, C. et al. **A INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA EM LÂMINAS DE MADEIRA, DA ESPÉCIE PAU MARFIM TRATADA COM PRODUTOS QUÍMICOS, POR CÂMERA DE ENVELHECIMENTO E ESPECTROCOLORIMETRIA.** [s.l: s.n.].

Disponível em:  
<[https://www.cnf.org.pe/secretaria\\_conflat/memorias/DOCUMENTO%20MESAS/MESA%203/Clarissa%20Melo%20Lima.pdf](https://www.cnf.org.pe/secretaria_conflat/memorias/DOCUMENTO%20MESAS/MESA%203/Clarissa%20Melo%20Lima.pdf)>. Acesso em: 26 nov. 2024.

LOPES, J. Uniformidade e Estabilidade da Cor da Madeira Termorretificada de *Tectona grandis* L. f. 2012. UFRRJ, Seropédica, 2012. Disponível em: <https://rima.ufrj.br/jspui/bitstream/20.500.14407/11269/2/2012%20-20Juliana%20de%20Oliveira%20Lopes.pdf>. Acesso em: 5 set. 2024.

M O'LEARY, Brendan. **The Lure of Lignin: Deciphering High-value Lignin Formation in Seed Coats**. The Plant Cell, Perth, Australia, ano 2020, v. 32, p. 3652–3653, 2020. DOI  
MAIA, J. H.; FERREIRA, L. M. M.; CASTRO, V. G. DE. Influência dos extrativos na cor de madeiras da Caatinga. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 2, p. 1043–1048, 28 jun. 2020.

NETO, A. L. et al. **EFEITO DAS DIFERENTES MADEIRAS NO ISOLAMENTO ACÚSTICO . FLORESTA**, v. 38, n. 4, p. 673–682, 18 mar. 2008.

PEREIRA, A. FRANCO. **Madeiras brasileiras : guia de combinação e substituição**. [s.l.] Blucher, 2020.

PORTELA, M. S. **ESTUDO DAS PROPRIEDADES ACÚSTICAS DA MADEIRA AMAZÔNICA MARUPÁ PARA TAMPO DE VIOLÃO**. Orientador: Arcanjo Lenzi. 2014. 150 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/132450/332924.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 6 dez. 2024.

SILVA, E. S. et al. **Colorimetria da Madeira de Oito Espécies Nativas do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Revista Ciência da Madeira - RCM**, v. 6, n. 1, p. 31–37, 2 maio 2015. TREMATERRA, Amélia; LOMBARDI, Ilaria. **Acoustic Properties of Cellulose. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, Hyderabad, v. 225, 2017. DOI 10.1088/1757-899X/225/1/012082. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/225/1/012082>. Acesso em: 24 ago. 2024.

VANHOLME, Ruben et al. **Lignin biosynthesis and its integration into metabolism. Current Opinion in Biotechnology**, WI, USA, ano 2019, v. 56, p. 230-239, Abril 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.02.018>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958166918301435?via%3Dihub>. Acesso em: 24 ago. 2024.

WASTOWSKI, A. D. **Química da Madeira (Chemistry of Wood)**. Interciênciia, 2018.

## ANEXO

Anexo 1: Método de Kolmogorov-Sminov para teste de normalidade de dados.

Madeira	d tabelado	casos	Valores de d calculado					
			densidade	Fr	Dl	Ed	Vsom	ECA
mogno	0,1963	48	0,0977	0,1837	0,1585	0,1793	<b>0,2089</b>	0,0900
Louro preto	0,2150	40	0,1077	0,1239	0,0594	0,1284	0,1082	0,1577
Muiracatiara	0,1713	63	0,1075	0,8020	0,1536	0,6683	0,1093	0,1636
Freijó	0,1834	55	0,1077	0,1133	0,1088	0,1012	0,1178	0,8022
Pinus	0,1741	61	0,1665	0,1052	0,0842	0,1099	0,1079	0,0855
Marupá	0,1700	64	<b>0,1820</b>	<b>0,1980</b>	0,1298	0,0959	<b>0,2058</b>	0,1369

obs. Números em negrito indicam não normalidade dos dados, a 5% de significância, pelo método de Kolmogorov-Smirnov

Anexo 2 – Quadro com teste de homogeneidade de variância, pelo método de Brown-Forsythe.

Variável	SQ	GL	QM	SQ resíduo	Gl resíduo	QM resíduo	F	p
Densidade	4,27E-02	5	8,5E-03	2,4E-01	325	7,4E-04	11,58	0,000
Frequência	1,7E+04	5	3,4E+03	2,8E+05	325	8,6E+02	3,94	0,002
DL	9,7E+02	5	1,9E+02	2,7E+03	325	8,4E+00	22,99	0,000
Modulo dinâmico	5,6E+09	5	1,1E+09	4,6E+10	325	1,4E+08	7,76	0,000
Velocidade do Som	7,7E+05	5	1,5E+05	1,3E+07	325	4,2E+04	3,73	0,003
ECA	1,1E+06	5	2,3E+05	3,5E+06	325	1,1E+04	20,20	0,000

probabilidade menor que 0,05 indica variância não homogênea