



**Universidade Federal do Amazonas - UFAM**

**Faculdade de Ciências Agrárias - FCA**

**Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais e Ambientais – PPGCIFA**

**JOELMA ARAÚJO COSTA**

**CLASSIFICAÇÃO DE MADEIRAS DA AMAZÔNIA PARA COMPOSIÇÃO DE  
INSTRUMENTO MUSICAL DE CORDA POR MEIO DA TÉCNICA DE  
EXCITAÇÃO POR IMPULSO**

**Manaus**

**2017**

**JOELMA ARAÚJO COSTA**

**CLASSIFICAÇÃO DE MADEIRAS DA AMAZÔNIA PARA COMPOSIÇÃO DE  
INSTRUMENTO MUSICAL DE CORDA ATRAVÉS DA TÉCNICA DE  
EXCITAÇÃO POR IMPULSO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais, área de concentração: Manejo e Tecnologias de Produtos Florestais e Ambientais.

**Orientadora:** Dra. Claudete Catanhede do Nascimento  
**Co-orientadora:** Dra. Claudene Menezes Atayde Calderon

**Manaus  
2017**



Poder Executivo  
Ministério da Educação  
Universidade Federal do Amazonas  
Faculdade de Ciências Agrárias  
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais e Ambientais - PPGCIFA



## PARECER

Defesa nº 187

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, da Faculdade de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Amazonas, após arguir da mestranda **JOELMA ARAÚJO COSTA**, em relação ao seu trabalho de dissertação intitulada “**CLASSIFICAÇÃO DE MADEIRAS DA AMAZÔNIA POR TÉCNICAS DE EXCITAÇÃO DE IMPULSO PARA COMPOSIÇÃO DE INSTRUMENTO MUSICAL**”, é de parecer favorável à APROVAÇÃO da mestranda habilitando-a ao título de Mestre “*Magister Scientiae*” em Ciências Florestais e Ambientais, na área de concentração em **CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS (CIFA)**.

Professora Doutora Claudete Catanhede do Nascimento  
Universidade Federal do Amazonas/ PPGCIFA  
Presidente

Pesquisadora Doutora Sâmia Valéria dos Santos Barros  
IBAMA  
Primeira Examinadora

Pesquisador Doutor Celso Paulo de Azevedo  
EMBRAPA  
Segundo Examinador



Manaus, 20 de Março de 2017.

Prof. Dr. Marciel José Ferreira  
Coordenador do Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais – PPG-CIFA

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C837c Costa, Joelma Araújo  
Classificação de madeiras da Amazônia para composição de instrumento musical de corda por meio da técnica de excitação por impulso / Joelma Araújo Costa. 2017  
iii f.: il.; 31 cm.

Orientadora: Dra. Claudete Catanhede do Nascimento  
Coorientadora: Dra. Claudene Menezes Atayde Calderon  
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) -  
Universidade Federal do Amazonas.

1. madeiras alternativas. 2. tecnologia de vibração. 3.  
característica tecnológica. 4. instrumentos musicais. I. Nascimento,  
Dra. Claudete Catanhede do II. Universidade Federal do Amazonas  
III. Título

***Dedicatória***

*À Deus, meu criador.*

*À minha querida mãe, Railda.*

*Ao meu pai, Porfírio (in memória).*

*Ao meu pequenino, Arles.*

*Ao meu amado esposo Nirlan Costa.*

*Aos meus irmãos: Jardson, Marli, Rosane e Anilson.*

*Amo vocês! Amo nossa família!*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a DEUS, por mais uma conquista, por conduzir meus caminhos.  
A minha querida mãe, Railda, pelos conselhos, por cuidar do meu pequenino com todo amor e carinho.

Ao meu esposo Nirlan, pelo carinho, amor, paciência, companheirismo, apoio incondicional.

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais (PPG-CIFA), pela oportunidade de realização do mestrado.

A Professora Dra. Claudete Catanhede do Nascimento, pela valiosa orientação, confiança, amizade e apoio no decorrer deste trabalho.

Agradeço com muito carinho a dois grandes profissionais Dra. Claudene Calderon e Dr. Rafael Calderon, pela confiança e encorajamento. Admiro muito como pessoas, professores e amigos.

Aos empresários do setor madeireiro do município de Cruzeiro do Sul-AC, pelo apoio e auxílio na coleta de amostras para este trabalho.

À SEDENS/AC, em Cruzeiro do Sul, pela permissão em obter a lista das empresas madeireiras do município.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos.

Ao Laboratório de Engenharia de Artefatos de Madeira – LEAM pelo apoio na pesquisa, em especial ao Sr. Jair, Martha e Roberto.

Ao Laboratório de Anatomia da Madeira – LAM, pelo auxílio nas análises das madeiras estudadas, em especial ao Jorge Alves Freitas.

Aos professores do PPG-CIFA, em especial, Marciel Ferreira, Celso Azevedo e Nabor Pio, pelos ensinamentos que foram de grande valor para minha formação pessoal e profissional.

Aos colegas da Pós-Graduação pela convivência e auxílio em algumas etapas do trabalho, em especial a Giselle Silva pelo acolhimento em sua residência.

E a todos que de alguma forma, contribuíram na realização deste trabalho.

***Meus agradecimentos!***

## RESUMO

A tecnologia de vibração é uma técnica de avaliação das propriedades elásticas e acústicas de madeira, e pode ser utilizada para classificar madeiras que tenham características semelhantes às tradicionalmente usadas pelos *Luthiers*. O objetivo desta pesquisa foi definir faixa de variação dos parâmetros tecnológicos para classificar espécies madeireiras da Amazônia para composição de instrumentos musicais de corda. Foi realizada caracterização dos elementos xilemáticos, da densidade aparente e aplicada à técnica de excitação por impulso para módulo de elasticidade, velocidade do som, impedância sonora, coeficiente de radiação e amortecimento de madeiras tradicionais (abeto, maple, cedro e jacarandá) utilizadas na confecção de instrumentos no tampo, fundo e lateral. Foram diagnosticadas as espécies de madeiras mais comercializadas no município de Cruzeiro do Sul-AC. A partir do levantamento foram selecionadas as quatro principais espécies e realizada caracterização das propriedades da madeira da mesma forma que as tradicionais, incluindo a avaliação da densidade básica, retratibilidade e coeficiente de anisotropia. Os resultados revelaram que, as madeiras tradicionais no tampo apresentam cor clara, textura média, grã direita, baixa densidade, baixa impedância, elasticidade alta, alta velocidade do som, alta radiação sonora e baixo amortecimento. Já, o fundo e lateral apresentam cor mais escura, textura fina a média, grã direita a irregular, presença de figura, média a alta densidade, alta elasticidade, alta impedância, alto amortecimento, baixa velocidade do som e baixa radiação sonora. Concluiu-se que as espécies caroba e marupá podem ser utilizadas para o tampo de instrumentos musicais de corda. As espécies muirapiranga, tauarí e cedro para o fundo e lateral. O uso da técnica de vibração longitudinal na caracterização tecnológica das madeiras, permitiu obter os valores das variáveis tecnológica de forma rápida, precisa e com uso posterior da amostra. Possibilitando, classificar as espécies alternativas da Amazônia como madeiras com potencial para composição de instrumentos musicais de corda.

Palavras-chave: madeiras alternativas; tecnologia de vibração; característica tecnológica; instrumentos musicais.

## ABSTRACT

Vibration technology is a technique for evaluating the elastic and acoustic properties of wood and can be used to classify woods that have characteristics similar to those traditionally used by *Luthiers*. The objective of this research was to define the range of variation of technological parameters to classify Amazonian timber species for the composition of string musical instruments. Characterization of xylem elements, apparent density and applied to the impulse excitation technique for modulus of elasticity, sound velocity, sound impedance, radiation coefficient and damping of traditional wood (spruce, maple, cedar and jacaranda) used in the confection Instruments on the top, bottom and side. The most commercialized species of wood were diagnosed in the municipality of Cruzeiro do Sul-AC. From the survey the four main species were selected and the properties of the wood were characterized in the same way as the traditional ones, including the evaluation of the basic density, retratibility and coefficient of anisotropy. The results showed that the traditional woods on the top have light color, medium texture, right grain, low density, low impedance, high elasticity, high sound velocity, high sound radiation and low damping. Already, the background and lateral features darker color, fine to medium texture, right to irregular grain, presence of figure, medium to high density, high elasticity, high impedance, high cushioning, low sound velocity and low sound radiation. It was concluded that the caroba and marupá species can be used for musical string instruments. The species muirapiranga, tauari and cedar to the bottom and lateral. The use of the longitudinal vibration technique in the technological characterization of the wood allowed us to obtain the values of the technological variables quickly, accurately and with later use of the sample. Enabling, classifying the Amazonian alternative species as woods with potential for composing musical string instruments.

**Keywords:** alternative wood; vibration technology; characteristics of wood; musical instruments.



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número total de amostras por espécie tradicional e suas dimensões. ....	26
Tabela 2 - Número total de amostras por espécie alternativas e suas dimensões.....	31
Tabela 3 - Número total de corpos de prova por espécie e medições por parâmetro anatômico estudado. ....	34
Tabela 4 - Empresas instaladas no Parque Industrial Florestal do município de Cruzeiro do Sul-AC, no ano de 2015. ....	43
Tabela 5 - Lista das 10 espécies madeireiras mais comercializadas no município de Cruzeiro do Sul – AC, no ano de 2015.....	47
Tabela 6 - Ficha biométrica da madeira de <i>Acer</i> sp. ....	51
Tabela 7 - Ficha biométrica da madeira de <i>C. fissilis</i> Vell.....	54
Tabela 8 - Ficha biométrica da madeira de <i>D. nigra</i> (Vell.) Fr. Allem.....	57
Tabela 9 - Ficha biométrica da madeira de <i>J. Copaia</i> (Aubl.) D. Don.....	60
Tabela 10 - Ficha biométrica da madeira de <i>S. amara</i> Aubl. ....	63
Tabela 11 - Ficha biométrica da madeira de <i>B. rubescens</i> Taub. ....	66
Tabela 12 - Ficha biométrica da madeira de <i>C. decandra</i> Ducke. ....	69
Tabela 13 - Ficha biométrica da madeira de <i>C. odorata</i> L.....	72
Tabela 14 - Características gerais para as madeiras estudadas.....	74
Tabela 15 - Valores médios e desvio padrão dos elementos anatômicos para as espécies tradicionais e alternativas em estudo. ....	76
Tabela 16 - Valores médios e desvio padrão da densidade básica, das retratibilidades e do coeficiente de anisotropia das espécies alternativas estudadas para cada componente..	79
Tabela 17 - Valores médios da densidade básica, das retratibilidades e do coeficiente de anisotropia no sentido longitudinal, das espécies coletadas no município de Cruzeiro do Sul – Acre, em estudo.....	81
Tabela 18 - Coeficientes de correlação de Pearson, obtidos entre todas as propriedades analisadas.....	90
Tabela 19 - Matriz de autovalores iniciais para a extração dos fatores componentes....	92
Tabela 20 - Coeficientes de correlação obtidos entre a variável e o componente.....	94
Tabela 21 - Faixa de variação dos parâmetros tecnológicos para selecionar madeiras alternativas para os componentes tampo, fundo e lateral de instrumentos musicais de corda. ....	99

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O violão e seus principais componentes.....	4
Figura 2 - Corpos de prova das madeiras tradicionais.....	25
Figura 3 - Mapa de localização do local de coleta: município de Cruzeiro do Sul – Acre. .....	27
Figura 4 - Levantamento das espécies de madeiras comercializadas. (A) coleta das amostras; (B) registro do nome vulgar. ....	27
Figura 5 - Esquema de coleta de discos e tábuas e retirada das amostras. ....	28
Figura 6 - Coleta das amostras. (A) desdobramento das toras; (B) método de desdobro radial; (C) discos da base, meio e topo; (D) amostras (tábuas) para o estudo.....	29
Figura 7 - Secagem e processamento das amostras. (A) método convencional em efeito tesoura; (B) aplainamento e (C) desengrosso das amostras.. ....	30
Figura 8 - Acessórios do Equipamento.....	37
Figura 9 - Locais de medição dos corpos de prova: a) espessura (T), b) largura (W) e c) comprimento (L).....	38
Figura 10 - Linhas nodais. ....	38
Figura 11 - Ensaio pela a técnica de excitação por impulso. (A) condição de contorno referente à vibração do modo longitudinal; (B) amostra submetida ao ensaio. ....	39
Figura 12 - Tela principal do software Sonelastic. ....	39
Figura 13 - Tela do módulo de cálculo das propriedades elásticas. ....	40
Figura 14 - Tela do módulo de cálculo do amortecimento.....	40
Figura 15 - Número de espécies madeireiras por famílias botânicas comercializadas no município de Cruzeiro do Sul – AC. ....	46
Figura 16 - Divulgação dos resultados aos empresários do setor madeireiro do município de Cruzeiro do Sul-AC. ....	48
Figura 17 - Seção transversal da madeira de <i>Picea</i> sp, aumento de 10x. ....	49
Figura 18 - Seção transversal da madeira de <i>Acer</i> sp., aumento de 10x. ....	50
Figura 19 - Fotomicrografias das três seções da espécie <i>Acer</i> sp.....	52
Figura 20 - Seção transversal da madeira de <i>C. fissilis</i> , aumento de 10x.....	53
Figura 21 - Fotomicrografias das três seções da espécie <i>C. fissilis</i> .....	55
Figura 22 - Seção transversal da madeira de <i>D. nigra</i> , aumento de 10x. ....	56
Figura 23 - Fotomicrografias das três seções da espécie <i>D. nigra</i> . ....	58
Figura 24 - Seção transversal da madeira de <i>J. copaia</i> , aumento de 10x.....	59

Figura 25 - Fotomicrografias das três seções da espécie <i>J. Copaia</i> .....	61
Figura 26 - Seção transversal da madeira de <i>S. amara</i> , aumento de 10x.....	62
Figura 27 - Fotomicrografias das três seções da espécie <i>S. amara</i> .....	64
Figura 28 - Seção transversal da madeira de <i>B. rubescens</i> , aumento de 10x.....	65
Figura 29 - Fotomicrografias das três seções da espécie <i>B. rubescens</i> . .....	67
Figura 30 - Seção transversal da madeira de <i>C. decandra</i> , aumento de 10x.....	68
Figura 31 - Fotomicrografias das três seções da espécie <i>C. decandra</i> .....	70
Figura 32 - Seção transversal da madeira de <i>C. odorata</i> , aumento de 10x. ....	71
Figura 33 - Fotomicrografias das três seções da espécie <i>C. odorata</i> . ....	73
Figura 34 - Densidades aparente ( $D_a$ ) das madeiras para o tampo, fundo e lateral. ....	83
Figura 35 - Módulo de Elasticidade – MOE (GPa) das madeiras para o tampo, fundo e lateral. ....	84
Figura 36 - Velocidade de propagação do som - $V$ (m/s) das madeiras para o tampo, fundo e lateral. ....	85
Figura 37 - Impedância sonora – $Z$ ( $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot 10^{-6}$ ) das madeiras para o tampo, fundo e lateral. ....	86
Figura 38 - Coeficiente de radiação sonora - $R$ ( $\text{m}^4/\text{kg} \cdot \text{s} \cdot 10^{-6}$ ) das madeiras para o tampo, fundo e lateral. ....	86
Figura 39 - Amortecimento – $\eta$ (Ad) das madeiras para o tampo, fundo e lateral. ....	87
Figura 40 - Ordenação das espécies de acordo com as cargas fatoriais das variáveis anatômicas, físicas, mecânicas e acústicas no primeiro e segundo componente principal. ....	95
Figura 41 - Árvore hierárquica da Análise de agrupamento – Cluster.....	97

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 HIPÓTESE .....	3
3 OBJETIVOS.....	3
3.1 OBJETIVO GERAL .....	3
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
4 REVISÃO DE LITERATURA .....	4
4.1 INSTRUMENTOS MUSICAIS DE CORDA .....	4
4.2 MADEIRAS TRADICIONALMENTE UTILIZADAS NA CONFECÇÃO DE INSTRUMENTOS DE CORDA .....	5
4.3 SETOR MADEIREIRO DO ESTADO DO ACRE.....	6
4.4 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS MADEIRAS.....	7
4.5 ESTUDO ANATÔMICO DE MADEIRAS .....	8
4.5.1 Propriedades organolépticas da madeira.....	9
4.5.2 Características macro e microscópicas da madeira.....	11
4.6 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA .....	13
4.6.1 Teor de umidade.....	13
4.6.2 Densidade (massa específica).....	14
4.6.3 Estabilidade dimensional (Retratibilidade) .....	15
4.7 PROPRIEDADE MECÂNICA DA MADEIRA .....	16
4.7.1 Flexão Dinâmica: Módulo de elasticidade – MOE.....	17
4.8 PROPRIEDADES ACÚSTICAS DA MADEIRA .....	18
4.8.1 Velocidade de propagação do som.....	19
4.8.2 Impedância sonora.....	19
4.8.3 Coeficiente de radiação sonora .....	20
4.8.4 Amortecimento.....	20
4.9 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DA MADEIRA.....	21

4.9.1 Técnica de excitação por impulso .....	23
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
5.1 DEFINIÇÃO DAS ESPÉCIES DE ESTUDO E AMOSTRAGEM.....	25
5.1.1 Madeiras tradicionais .....	25
5.1.2 Madeiras da Amazônia.....	26
5.2 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA MACRO E MICROSCÓPICA DE MADEIRAS.....	31
5.2.1 Confeção de laminas histológicas .....	32
5.2.2 Confeção de lâminas com lenho macerado .....	32
5.3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS .....	35
5.3.1 Teor de Umidade.....	35
5.3.2 Densidade Básica .....	35
5.3.3 Retratabilidade .....	36
5.4 ENSAIO POR MEIO DA TÉCNICA DE EXCITAÇÃO POR IMPULSO .....	37
5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	41
5.5.1 Análise descritiva dos dados .....	41
5.5.2 Análise de variância .....	41
5.5.3 Correlação de Pearson.....	41
5.5.4 Análise de Componentes Principais (PCA) .....	42
5.5.5 Análise de Agrupamento ( <i>Cluster</i> ) .....	42
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	43
6.1 AVALIAÇÃO DE ESPÉCIES DE MADEIRAS DA AMAZÔNIA.....	43
6.1.1 Setor madeireiro do município de Cruzeiro do Sul – AC .....	43
6.1.2 Espécies comercializadas .....	45
6.2 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA MACRO E MICROSCÓPICA DAS MADEIRAS TRADICIONAIS E ALTERNATIVAS .....	49
6.2.1 Classes de variação das características anatômicas das madeiras tradicionais e alternativas da Amazônia .....	74

6.3 DENSIDADE BÁSICA, RETRATIBILIDADES E COEFICIENTE DE ANISOTROPIA DAS MADEIRAS ALTERNATIVAS DA AMAZÔNIA.....	78
6.4 AVALIAÇÃO PELA TÉCNICA DE EXCITAÇÃO POR IMPULSO PARA AS MADEIRAS TRADICIONAIS DE ALTERNATIVAS DA AMAZÔNIA.....	83
6.5 MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PEARSON .....	89
6.6 ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA).....	92
6.7 Análise de Agrupamento – <i>Cluster</i> .....	97
7 CONCLUSÕES .....	101
8 RECOMENDAÇÕES.....	102
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	103

# 1 INTRODUÇÃO

Embora existam centenas de espécies florestais no mundo, poucas foram consagradas por *Luthiers* para fabricação de instrumentos musicais ao longo dos séculos, isso decorre do forte tradicionalismo e principalmente das excelentes propriedades dessas madeiras (SOUZA, 1983).

O Brasil, apesar de possuir extensas áreas de florestas tropicais, importa mais de R\$100 milhões por ano em madeiras para fabricação de instrumentos musicais (PORTELA, 2014). Essas madeiras tradicionais possuem um alto valor econômico, devido a sua escassez e utilização nobre e, portanto, o elevado preço desta matéria-prima onera consideravelmente a produção de instrumentos (SLOOTEN & SOUZA, 1993).

As madeiras de maior preferência para a confecção de violões clássicos são: *Picea abies* (abeto europeu) das florestas da Suíça e da Alemanha, *Picea sitchensis* (spruce) da América do Norte, para o tampo; *Acer pseudoplatanus* (sycamore ou maple) e *Acer platanoides* (plátano europeu) para o fundo e laterais; o mogno (*Swietenia macrophylla*) e o cedro de Honduras (*Cedrela mexicana*) para o braço; e, o ébano (*Diospyros* sp.) para as escalas (SLOOTEN & SOUZA, 1993).

A Xiloteca do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA possui mais de 10 mil espécimes registradas. Destas, 300 espécies foram caracterizadas tecnologicamente pelas Instituições de pesquisa e Universidades, oferecendo a sociedade informações detalhadas para que fosse possível manejar e manter a floresta de forma produtiva (FREITAS & VASCONCELOS, 2010).

Em 1982 foram iniciadas algumas pesquisas com madeiras da Amazônia para identificar espécies para instrumentos musicais em substituição às importadas. Nestes, foram identificadas 50 espécies com potencial (SLOOTEN & SOUZA, 1993). Entretanto, poucas fazem parte do processo produtivo do segmento da luteria; em razão, do tradicionalismo ou falta de divulgação nesses setores.

As propriedades anatômicas e caracteres em geral (cor, grã, textura e figura), físicas (densidade e contrações), mecânicas (módulo de elasticidade, compressão e dureza), e acústicas da madeira, são consideradas na seleção de madeiras para instrumentos musicais, devido sua importância para a qualidade de som (KOLLMANN & COTÊ, 1968; SLOOTEN & SOUZA, 1993; WEGST, 2006; BUCUR, 2006a; ARAMAKI *et al.*, 2007; BRÉMAUD *et al.*, 2008; LONGUI *et al.*, 2011).

Outra característica a ser considerada é o módulo de elasticidade dinâmico que pode ser facilmente obtido por medições de frequência de ressonância (SPYCHER *et al.*, 2008). A tecnologia de vibração é uma técnica de avaliação não destrutiva utilizada como um método alternativo para medir as propriedades elásticas e acústicas de madeira, a partir das frequências naturais de vibração (SEDIK *et al.*, 2010).

O problema na fabricação de instrumentos é que as madeiras consideradas de boa qualidade são madeiras nobres, escassas na natureza e de elevado custo. Neste contexto, justifica-se a procura de madeiras alternativas da região Amazônica que possam ser usadas na confecção de instrumentos de corda no tampo, fundo e lateral, de forma a agregar valor a esta matéria-prima. Para tanto, é necessário encontrar a faixa de variação dos parâmetros que permitam a classificação de outras madeiras que tenham características semelhantes às tradicionais.



## **2 HIPÓTESE**

A tecnologia de vibração pode ser utilizada na seleção de espécies florestais da Amazônia para fabricação de instrumentos musicais de corda?

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Propor faixa de variação dos parâmetros tecnológicos para selecionar espécies madeiras da Amazônia para composição de instrumentos musicais de corda.

### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Caracterizar as madeiras de abeto, maple, cedro e jacarandá tradicionalmente utilizadas na confecção de instrumentos musicais de corda, para obter parâmetros que auxiliem na classificação de madeiras alternativas;
2. Caracterizar e testar a viabilidade de utilização de espécies de madeiras da Amazônia para composição de instrumentos musicais de corda;
3. Investigar as correlações entre a estrutura anatômica e as propriedades físicas (densidade), elásticas e acústicas da madeira;
4. Definir as características que determinam o potencial da madeira para composição de instrumentos musicais de corda.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 INSTRUMENTOS MUSICAIS DE CORDA

Os instrumentos musicais são classificados em quatro principais grupos: as cordas, os sopros, os metais e percussão (BUCUR, 2006a). Os instrumentos de corda são aqueles cujo som é produzido pela vibração de uma corda tensionada; para a produção do som as cordas podem ser friccionadas, tangidas (dedilhadas) ou percutidas (BERKLEY *et al.*, 2009).

De todos os instrumentos de música ocidental, a família das cordas é talvez o mais importante e mais estudada; esta consiste em apenas quatro instrumentos: violinos, violões, violoncelos e contrabaixos (FLETCHER, 1999).

O violão é um instrumento de cordas tangidas e de grandes variações, cujo padrão clássico possui seis cordas e um corpo oco que amplifica o som (BERKLEY *et al.*, 2009). O violão é confeccionado em sua grande parte de madeira, cujas principais componentes são:

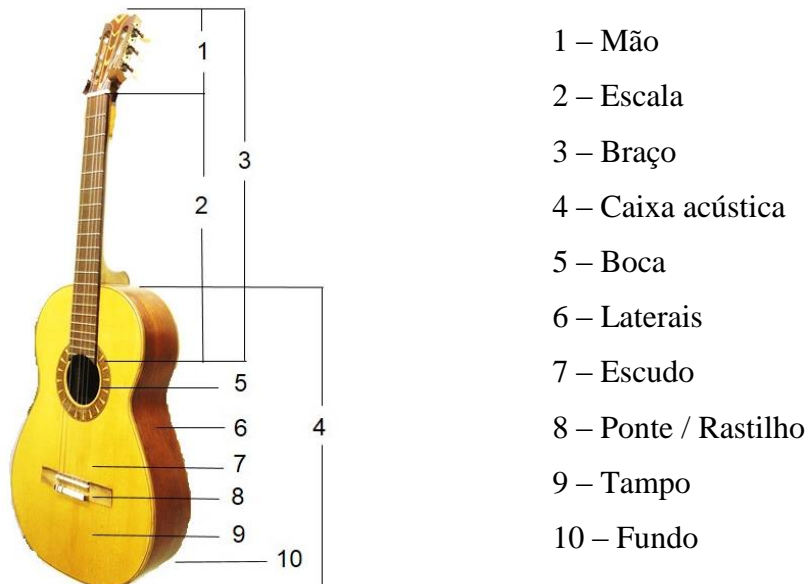


Figura 1 - O violão e seus principais componentes. Fonte: Próprio autor.

Estes se diferenciam dos demais instrumentos por serem rasas caixas de madeiras afinadas para produzir fortes sons a partir de excitações em suas cordas; as dimensões,

finuras e o volume de ar incluso são cuidadosamente regulados para alcançar este fim (TELES, 2004).

A forma da família das cordas foi bem estabelecida há 300 anos, evoluídos a partir da família anterior das violas. Os instrumentos produzidos pelos mestres italianos do século 17 em Cremona-Amati, Stradivari e outros, são usados para definir o estilo e qualidade de instrumentos modernos (FLETCHER, 1999).

Os primeiros violões de seis cordas foram construídos em 1779 por Gaetano Vinaccia na Itália. Fernando Sor foi o primeiro de uma longa linha de virtuosos espanhóis e compositores para o violão. O *Luthier* espanhol Antônio de Torres Jurado, contribuiu muito para o desenvolvimento do moderno violão clássico quando ele ampliou o corpo e introduziu um padrão em forma de leque de chaves à placa superior. (ROSSING, 2010).

Francisco Tárrega foi precursor na transcrição para violão de obras de diversos compositores, tais como Albeniz, Beethoven, Chopin e Bach, definindo grande parte do que se considera hoje como as técnicas clássicas para o padrão de execução (TEIXEIRA, 2009).

O moderno violão de seis cordas é um descendente da espanhola *vihuela* do século XVI, que tem suas raízes na antiguidade. O violão renascentista tinha quatro jogos de cordas duplas; durante o período barroco, foi adicionado um quinto jogo; no final desse período, as cordas duplas deram lugar a cordas individuais e uma sexta corda foi acrescentada (ROSSING, 2010).

Depois de um longo período de evolução na história da humanidade, a habilidade e dedicação dos *Luthiers* estabeleceram as espécies de madeira mais adequadas para cada instrumento musical (BUCUR, 2006a).

## **4.2 MADEIRAS TRADICIONALMENTE UTILIZADAS NA CONFECÇÃO DE INSTRUMENTOS DE CORDA**

Os fabricantes e artesões desses instrumentos são bastantes conservadores na escolha das madeiras, que durante séculos vem sendo utilizadas para os diferentes componentes de um instrumento (SLOOTEN & SOUZA, 1993).

As espécies tradicionais na confecção de instrumentos de corda e suas partes principais são: *Picea abies* (abeto europeu) e *Picea sitchensis* (european spruce) para o tampo harmônico; *Acer pseudoplatanus* (sycamore ou maple), *Acer platanoides* (plátano europeu) e *Thuja plicata* (cedro do Canadá) para o fundo e faixas; *Cedrela mexicana* (cedro

de Honduras) para o braço; *Diospyros* sp. (ébano) para escalas (SOUZA, 1983; SLOOTEN & SOUZA, 1993).

Entre as espécies arquetípicas, algumas são madeiras tropicais, que foram adotadas em diferentes épocas nos últimos séculos; exemplos bem conhecidos são: pau-brasil (*Caesalpinia echinata*) que começou a ser usado no final do século XVIII e depois a primeira escolha para arcos de violino; jacarandá da bahia (*Dalbergia nigra*), em seguida, *Dalbergia latifolia* que se tornou padrão para corpos do violão a partir do século XIX; e, o mogno (*Swietenia macrophylla*) para o braço (BRÉMAUD *et al.*, 2008).

A razão mais importante para a preferência do abeto na confecção do tampo e do maple para o fundo é que após a montagem do instrumento as notas musicais produzidas pelos dois componentes apresentam uma relação exata entre elas, em outras palavras, o fundo produz notas um tom acima das produzidas pelo tampo (SLOOTEN & SOUZA, 1993).

O abeto (*Picea abies*) tem atraído desde há muito tempo a atenção de muitos pesquisadores em acústica musical e mecânica estrutural da madeira, resultando em um extenso banco de dados de propriedades mecânicas e acústicas para esta espécie (PORTELA, 2014).

A comparação das propriedades das madeiras tradicionais com as de madeiras alternativas representa uma estratégia eficaz para avaliar o potencial de madeiras alternativas para o fabrico de instrumentos musicais de corda (LONGUI *et al.*, 2011).

Slooten & Souza (1993), verificaram que um considerável número de espécies da Amazônia brasileiras podem ser selecionadas como potencialmente aptas para a fabricação de instrumentos musicais.

### **4.3 SETOR MADEIREIRO DO ESTADO DO ACRE**

O setor madeireiro impulsiona de forma direta a economia de dezenas de municípios da Amazônia. No Acre, o setor é bastante representativo, o consumo de toras em 2009 foi de 422.000 m<sup>3</sup>, o que gerou uma receita bruta de 91,4 milhões de dólares (PEREIRA *et al.*, 2010).

Até o fim da década de 1990, apenas 5% da matéria-prima de origem florestal no estado era proveniente de áreas com planos de manejo florestais sustentáveis; entretanto, atualmente esta porcentagem chegou a 95%, de acordo com a Secretaria de Meio Ambiente do Acre (SEMA, 2012).

No município de Cruzeiro do Sul, o segundo maior no estado do Acre, o setor madeireiro apresenta grande importância econômica para o desenvolvimento da região. Este setor é caracterizado por microempresas, de administração familiar e a principal matéria-prima é madeira em tora. De maneira geral, são trabalhadas trinta diferentes espécies, podendo chegar a um número superior (CALDERON, 2012).

Atualmente, está instalado neste município o Parque Industrial Florestal de Cruzeiro do Sul, que trabalha com madeiras que possuem qualidade tecnológica extensamente comprovada, assim como espécies pouco conhecidas (ARAÚJO, 2016).

Segundo o Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável do Vale do Juruá – Acre (ACRE, 2011), o município consumiu 5.800 m<sup>3</sup> de madeira em tora no ano de 2009, equivalente a 4,8% do consumo estadual, representando o um grande potencial econômico do município.

Em estudo realizado no estado do Acre, Araújo & Silva (2000), constataram nos inventários florestais um total de 620 espécies florestais lenhosas com potencial ao uso para construção civil, móveis, embarcações, artesanatos, construção rústica, artefatos e outros.

Porém, de acordo com Calderon (2012), em 2009, 74% das empresas do município do Cruzeiro do Sul, concentravam sua produção na construção de móveis residenciais, e o restante em móveis de escritório e governamentais; apenas 12 empresas possuíam controle de qualidade de seus produtos, das 23 entrevistadas.

#### **4.4 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS MADEIRAS**

A madeira é um produto natural do sistema biológico das plantas, possui uma estrutura complexa, composta de produtos químicos e diferentes tipos de células que agem em conjunto para atender às necessidades de uma planta viva (WIEDENHOEFT, 2010). As paredes celulares consistem de microfibrilas de celulose embebidas numa matriz de lignina e hemicelulose, todos os quais são poliméricos, contendo pequenas quantidades de extrativos (KOLLMANN & CÔTE, 1968).

A madeira também é um material altamente higroscópico, está em constante troca de umidade com o ar que a envolve; essa troca de água provoca uma variação nas dimensões da madeira, conforme sua orientação longitudinal, radial ou tangencial (JANKOWSKY, 1979). O comportamento físico-mecânico da madeira difere em cada um destes sentidos, fenômeno conhecido como anisotropia (BURGER & RICHTER, 1991).

A direção longitudinal é definida como paralelo a grã, portanto, ao longo do comprimento do tronco de uma árvore; a direção radial é perpendicular aos anéis de crescimento; e, o eixo tangencial é perpendicular aos raios, mas tangente aos anéis de crescimento (BURGER & RICHTER, 1991).

Por ser um material de origem biológica, a madeira apresenta extrema variabilidade e propriedades específicas as quais refletem a complexidade de sua ultraestrutura e estrutura celular (MELO, 2013). Essa variação ocorre tanto dentre, como entre árvores da mesma espécie, constituindo o principal obstáculo para compreender seu uso tecnológico (BARRICHELO, 1979).

Segundo Bucur (2006b), a madeira é um dos materiais mais fascinante pela sua estrutura complexa e pelos seus usos diversificados; sua organização pode ser observada nos níveis de escala discreta, portanto, para uma compreensão abrangente sobre o comportamento da madeira é necessário uma abordagem interdisciplinar.

#### **4.5 ESTUDO ANATÔMICO DE MADEIRAS**

A anatomia da madeira é o estudo dos diversos tipos de células que constituem o lenho, suas funções, organização e peculiaridades estruturais, e tem por finalidade conhecer a madeira para um emprego correto, bem como, identificar espécies, distinguir madeiras aparentemente idênticas, prever utilizações adequadas de acordo com suas características e compreender o comportamento da madeira no que diz respeito à sua utilização (BURGER & RICHTER, 1991).

A estrutura anatômica é caracterizada pelo arranjo e pela quantidade proporcional de diferentes tipos de células, como fibras, traqueídeos, vasos, parênquima axial, raios, canais resiníferos e suas dimensões, especialmente a espessura de suas paredes (MOREIRA, 1999).

Devido à complexidade da estrutura celular das espécies madeireiras, principalmente as folhosas, torna-se fundamental a correta identificação da madeira, pois algumas espécies apresentam caracteres anatômicos distintos que a identificam, assim é necessário apenas que tais características sejam descritas e definidas (CALDERON, 2012).

Segundo Santini Junior (2013), a identificação correta das espécies de madeira é crucial e de fundamental importância para o levantamento e controle da madeira comercializada, propiciando, o reconhecimento das espécies que são negociadas pelo nome popular erroneamente aplicado.

O estudo das características anatômicas e suas correlações com as propriedades físico-mecânicas é muito importante, em termos de aproveitamento e qualidade da madeira das diferentes espécies. Esse estudo pode servir para descrever e prever as propriedades de resistência das espécies e obter entendimento do comportamento da madeira (MOREIRA, 1999).

Na identificação anatômica da madeira são utilizadas duas técnicas distintas a macroscópica e a microscópica (COPANT, 1973; IBAMA, 1991). Na identificação macroscópica são observadas as propriedades organolépticas, tais como cor, brilho, odor, grã, textura, desenho, dureza, camadas de crescimento, tipos de parênquimas, visibilidade, tamanho e disponibilidade dos poros (vasos) e raios (FREITAS & VASCONCELOS, 2010).

Já na identificação microscópica são observadas as características físico-morfológicas dos tecidos e das células constituintes do lenho como tipos de pontuações, ornamentações da parede celular, composição celular dos raios, dimensões celulares, presença de cristais e outros (FREITAS & VASCONCELOS, 2010).

A escolha das madeiras para qualquer finalidade requer o conhecimento de suas propriedades organolépticas, tecnológicas, usinagem e disponibilidade comercial (LONGUI *et al.*, 2011).

No corte de um tronco de árvores tropicais geralmente são visualizados as madeiras do cerne e do alburno. O cerne é a parte interna do tronco de cor escura com maior densidade, maior resistência mecânica e durabilidade natural quando compara à madeira do alburno que localiza-se próxima a casca.

#### **4.5.1 Propriedades organolépticas da madeira**

##### **- Cor**

A variação da cor natural da madeira é devida a impregnação de diversas substâncias orgânicas como tanino e resina, nas células e nas paredes celulares, depositadas de forma mais acentuada no cerne (BURGER & RICHTER, 1991).

Segundo Mady (2000), a cor da madeira tem grande influência na sua comercialização e pode definir o seu melhor uso. Acrescenta ainda, que entre outras características, a cor e o nível de atividade do alburno e cerne diferenciam; quando a madeira não apresenta esta diferença através da cor, possui o que se chama de cerne fisiológico.

Longui *et al.* (2011) investigaram as propriedades organolépticas de seis madeiras potenciais para instrumentos de corda, verificaram que a aceitação de outras cores representa uma das dificuldades enfrentadas pelo tradicionalismo da madeira avermelhada de *Caesalpinia echinata* (pau-brasil) para arcos.

### **- Textura**

Textura é o efeito produzido na madeira pelas dimensões, distribuição e percentagem dos elementos anatômicos constituintes do lenho; é classificada de acordo com o grau de uniformidade da madeira em textura grossa, média e fina (BURGER & RICHTER, 1991).

Madeiras que apresentam textura grossa, geralmente possuem poros grandes, visíveis a olho nu e, geralmente, não recebem bom acabamento; entretanto, as madeiras de textura fina apresentam poros pequenos, uniformemente distribuídos, possibilitando bom acabamento (MADY, 2000).

Segundo as Normas e procedimentos de estudos de anatomia de madeira (CORADIN & MUÑIZ, 1991), consideram textura grossa: madeira com poros de diâmetros acima de 300 micras; textura média: poros de diâmetro entre 100 a 300 micras; e textura fina: poros de diâmetro menor do que 100 micras.

Angyalossy *et al.* (2005), avaliando a qualidade do arco produzido com madeira de pau-brasil (*C. echinata*), constataram que arcos de boa qualidade devem apresentar grã direita e textura fina. A textura é decorrente da menor proporção de vasos com menor diâmetro, raios homogêneos e fibras com paredes espessas e/ou muito espessas.

### **- Desenho (figura)**

Desenho é um termo usado para descrever a aparência natural das faces da madeira que resulta das várias características tais como presença de cerne e alburno, cor, tipo de grã, anéis de crescimento distintos, raios diferenciados e principalmente do plano de corte da madeira (BURGER & RICHTER, 1991).

Comercialmente o termo desenho se limita a padrões altamente decorativos, principalmente resultantes da aparência de camadas incrementais durante o crescimento da árvore, irregularidades na orientação das células e distribuição de cor não uniforme (SLOOTEN & SOUZA, 1993).

De acordo com Mady (2000), o conjunto de desenhos e alterações de caráter decorativo que a madeira apresenta a torna facilmente distinta das demais, podendo acentuar consideravelmente a valorização da espécie no mercado.



## **- Grã**

O termo grã se refere a orientação geral dos elementos verticais constituintes do lenho em relação ao eixo da árvore. Em decorrência do processo de crescimento, sob as mais diversas influências, há uma grande variação natural no arranjo e direção dos tecidos axiais, que originam vários tipos de grãs: direita, irregular, espiral, entrecruzada, ondulada e diagonal (BURGER & RICHTER, 1991).

Essas variações decorrem de muitas razões, sendo a principal delas as características genéticas que controlam o crescimento e a divisão celular. Quando a madeira apresenta grã direita, facilita os processos de secagem, desdobro, acabamento superficial e aumenta a resistência mecânica (MADY, 2000). Segundo Longui *et al.* (2011), madeira com grã irregular irá mostrar uma superfície áspera após o lixamento.

De acordo com Burger & Richter (1991), a grã é direita, quando os elementos estão orientados paralelos ao eixo principal do tronco; a grã é irregular, quando ocorre variação de inclinação dos elementos quanto ao eixo longitudinal do tronco; a grã é espiral, quando os elementos estão com orientação torcida em relação ao eixo do tronco.

### **4.5.2 Características macro e microscópicas da madeira**

#### **- Elementos de vasos/poros**

Os vasos são estruturas formadas por uma junção de células perfuradas, de grande dimensão, paredes delgadas, chamadas de elementos de vasos, que se comunicam entre si através das placas de perfuração, formando longos canais que conduzem a seiva no sentido vertical (MADY, 2000).

Na seção transversal, os vasos recebem o nome de poros, e a sua distribuição, abundância, tamanho e agrupamento são características importantes para identificação de espécies e propriedades tecnológicas da madeira (BURGER & RICHTER, 1991).

Nos elementos de vaso são encontradas pontoações areoladas, cuja parede secundária forma uma projeção sobre a cavidade da pontoação, chamada de câmara da pontoação, deixando no centro uma abertura denominado de poro, ou abertura da aréola. Ocorre, assim, comunicação entre as células adjacentes (GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006).

### **- Raios (parênquima radial)**

Os raios são células parenquimáticas que prolongam-se no sentido da casca para o interior do tronco, possuem a função de alimentar o tecido neste sentido e costumam acumular e transportar muitas substâncias nutritivas, além de inclusões minerais como sílica e cristais (MADY, 2000).

Células parenquimáticas caracterizam-se por apresentar paredes relativamente finas, na maioria dos casos não lignificadas, e pontoações simples. Quando observados nas seções longitudinais radial e tangencial, os raios apresentam uma grande riqueza de detalhes e variações morfológicas (BURGER & RICHTER, 1991).

A presença e a estruturação deste tipo de elemento são características importantes para anatomia da madeira e a identificação de espécies, dependendo da forma, contribui para o valor natural da madeira (KOLLMANN & COTÊ, 1968).

### **- Parênquima axial**

É um tecido pouco lignificado, formado por moléculas de celulose que facilmente são atacados por insetos e fungos, possuem como principal função acumular substâncias nutritivas (MADY, 2000).

Células do parênquima axial ou longitudinais são encontrados em várias concentrações e padrões de distribuição, úteis na descrição da estrutura da madeira. As duas grandes categorias de parênquima em madeiras de folhosas são apotraqueal, quando são independente dos poros ou vasos, e paratraqueais, quando estão associados aos vasos (KOLLMANN & COTÊ, 1968).

De acordo com Burger & Richter (1991), a extrema abundância de parênquima axial e transversal, confere as madeiras extraordinária leveza, baixa resistência mecânica e pouca durabilidade natural.

### **- Fibras**

As fibras são células longas, de paredes celulares secundárias geralmente lignificadas, imperfuradas nas extremidades, com pontoações nas paredes. São as principais responsáveis pela capacidade de resistir a esforços mecânicos; quando as fibras apresentam paredes estreitas e lume de grande diâmetro, a madeira possui baixa resistência (MADY, 2000).

Fibras são peculiares a angiospermas, constituindo geralmente a maior percentagem de seu lenho (20-80%), com função de sustentação da árvore. Sua porção no volume total

e a espessura de suas paredes influem diretamente na massa específica, no grau de alteração volumétrica e nas propriedades mecânicas (BURGER & RICHTER,1991).

Alves *et al.* (2011), investigaram os fatores que poderiam explicar as diferentes qualidades de madeira de pau-brasil (*C. echinata*) utilizada na fabricação de arco, constataram que entre as características anatômicas, as associadas aos vasos e fibras mostrou maior correlação com a qualidade da curva, uma vez que estão relacionados com a densidade da madeira e rigidez. As melhores varas tiveram comparativamente menor frequência de vasos e maior percentual de fibras.

## **4.6 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA**

### **4.6.1 Teor de umidade**

A água na madeira pode estar presente preenchendo os espaços vazios dentro das células ou entre elas (água livre ou água de capilaridade), pode estar aderida à parede das células (água de adesão ou higroscópica) ou pode estar compondo a estrutura química do próprio tecido (água de constituição); esta última somente pode ser eliminada através da combustão do material (MADY, 2000).

Quando a madeira de uma árvore recém-abatida é exposta ao meio ambiente, inicialmente evapora-se a água livre; permanecendo na madeira toda a água higroscópica, a umidade correspondente a este estado é denominada umidade de saturação ao ar ou ponto de saturação das fibras – PSF, que em média é cerca de 30% de umidade da madeira (GALVÃO & JANKOWSKY, 1985).

Se a secagem continua, as paredes celulares perdem sua umidade e ocorre então a contração da madeira devido a aproximação das microfibrilas; resultando no aumento da resistência. Acima do PSF, mudanças no conteúdo de umidade não tem efeitos aparentes sobre a resistência da madeira (IWAKIRI, 1982).

Quando a madeira, previamente seca a 0% de umidade, é exposta ao meio ambiente, ela absorve água que está dispersa no ar em forma de vapor. A água assim absorvida corresponde à água higroscópica e o teor final de umidade alcançado pela madeira, que depende das condições do meio e da espécie vegetal considerada, é denominado umidade de equilíbrio com o ambiente. (GALVÃO & JANKOWSKY, 1985).

Segundo Kollmann & Cotê (1968) a madeira, como muitos outros materiais orgânicos, diminui de volume à medida que perde umidade abaixo do ponto de saturação

das fibras e aumenta à medida que absorve umidade. Essas alterações nas dimensões da madeira podem resultar em deformação como empenamentos e fendilamentos (GALVÃO & JANKOWSKY, 1985).

Embora a umidade não possa ser considerada como uma característica intrínseca da madeira, o seu estudo é indispensável por se tratar de um parâmetro que afeta o comportamento do material, quanto à trabalhabilidade, estabilidade dimensional, resistência mecânica e durabilidade natural (SILVA & OLIVEIRA, 2003).

O teor de umidade, dentro de um determinado intervalo, influência nas propriedades de resistência, rigidez, dureza, resistência à abrasão, usinagem, poder calorífico, condutividade térmica, rendimento, e resistência da madeira contra a decomposição (KOLLMANN & COTÊ, 1968). Assim, a determinação do teor de umidade e o conhecimento das relações madeira líquidos são de extrema importância.

De acordo com Wegst, (2006), as propriedades que são fundamentais para o desempenho acústico de uma madeira, tais como a densidade, módulo de elasticidade e retração são altamente dependentes do teor de umidade.

#### **4.6.2 Densidade (massa específica)**

A densidade ou massa específica é um dos mais importantes parâmetros para a avaliação da qualidade da madeira, devido a facilidade de determinação e estar diretamente relacionada às demais propriedades desse material, e por conseguinte às características do produto final (SOUZA et al., 1986; KOLLMANN & COTÊ, 1968).

Segundo Iwakiri (1982), a densidade de um material é definida como sendo a relação massa por unidade de volume; portanto, para um corpo de prova qualquer de madeira, o seu peso específico é obtido, dividindo o seu peso pelo volume correspondente, expressos em  $\text{g/cm}^3$  ou  $\text{kg/m}^3$ .

Kollmann & Cotê (1968), definem a densidade básica como a relação da massa da madeira a 0% de umidade, com o seu volume saturado; e a densidade aparente, como a massa por unidade de volume ao mesmo conteúdo de umidade, cujo valor padrão é de 12%.

De acordo com Burger & Richter (1991), a densidade apresenta uma variação natural de 0,13 a 1,40  $\text{g/cm}^3$ , devido à variação nas dimensões e proporções dos diversos tecidos lenhosos. Corresponde a esses valores extremos a balsa (*Ochroma lagopus*) e a muiratinga (*Brosimum guianense*), respectivamente.

A medida que o peso específico aumenta, elevam-se proporcionalmente a resistência mecânica e a durabilidade, e em sentido contrário, diminuem a permeabilidade às soluções preservantes e a trabalhabilidade (MADY, 2000).

Madeiras de baixa massa específica apresentam também dificuldades quanto a obtenção de superfícies lisas, pela ocorrência de um arranchamento das células destes tecidos frágeis, resultando numa superfície aveludada. Por outro lado, espécies com massa específica muito alta são difíceis de serem trabalhadas, por provocarem grande desgaste das ferramentas em vista de sua acentuada dureza (BURGER & RICHTER, 1991).

Na caracterização da madeira, a determinação de sua densidade e principalmente de sua variação dentro da árvore, tanto na direção radial, da medula para a casca, quanto no sentido base-topo, é fundamental como subsídio ao entendimento de sua qualidade (OLIVEIRA et al., 2005).

As variações de densidade ao longo de uma secção transversal do caule são menos pronunciadas do que são aqueles em altura, e são muito afetadas pela largura dos anéis de crescimento ou a percentagem de lenho tardio (KOLLMANN & COTÊ, 1968).

Na fabricação de instrumentos musicais, a massa específica é um dos requisitos adotados na seleção da madeira, pois, de acordo com essa propriedade, a madeira terá uso específico para confecção de cada instrumento e seus componentes (MARQUES et al., 2012).

#### **4.6.3 Estabilidade dimensional (Retratibilidade)**

Retratibilidade é o fenômeno de variação nas dimensões e no volume em função da perda ou ganho de umidade que provoca contração em uma peça de madeira, que está relacionada aos defeitos de secagem (MADY, 2000).

Todo material higroscópico, como a madeira e vários outros materiais celulósicos, apresenta contração quando o seu teor de umidade do ponto de saturação das fibras (PSF) é reduzido até à condição absolutamente seca ou anidra. A contração e a expansão higroscópica da madeira são dois dos mais importantes problemas práticos que ocorrem durante a sua utilização, como consequência da mudança do teor de umidade (OLIVEIRA & SILVA, 2003).

A madeira é dimensionalmente estável quando o conteúdo de umidade é maior do que o ponto de saturação da fibra; abaixo desse ponto ocorre alterações nas dimensões à medida que ganha ou perde umidade (GLASS & ZELINKA, 2010).

Os fatores que determinam a estabilidade dimensional são, a contração e o inchamento (dentro de um intervalo de teor de umidade de 0% até o ponto de saturação das fibras) e a taxa de absorção ou desorção de umidade (higroscopicidade). Quanto maior for o teor de extrativos na madeira menor será sua permeabilidade. Além das alterações dimensionais, a qualidade do som também depende do teor de umidade, isto sem mencionar a dependência da estrutura e da densidade da madeira (SLOOTEN & SOUZA, 1993).

Devido à característica anisotrópica, as mudanças dimensionais observadas na madeira são diferentes ao longo das três direções estruturais. Em geral, a contração na direção tangencial é, aproximadamente, duas vezes maior do que na direção radial, e, no sentido longitudinal é praticamente desprezível; a razão entre a contração tangencial e radial (relação T/R), é denominada coeficiente de anisotropia; quanto mais próximo de 1, menor será a tendência a defeitos como o fendilhamento e empenamento da madeira (OLIVEIRA & SILVA, 2003).

De acordo com Burger & Richter (1991), madeiras que possuem em abundância células com parede espessas apresentam os fenômenos de contração e inchamento pela perda ou absorção de umidade, em grau mais acentuado. A anisotropia da madeira no diz respeito a sua alteração dimensional devido à secagem, é um fato conhecido e que pode ser calculado para cada espécie.

O estudo das variações das propriedades da madeira é importante para conhecer o comportamento das variações internas, possibilitando o seu melhor uso tecnológico, com a classificação da madeira serrada com propriedades semelhantes e homogeneização de lotes para sua comercialização (VALENTE, 2013).

Portanto, o estudo das características físicas e mecânicas da madeira contribui para a diversificação do uso das espécies disponíveis e, o que é mais importante, possibilita o emprego das espécies mais adequadas a cada finalidade (MADY, 2000).

#### **4.7 PROPRIEDADE MECÂNICA DA MADEIRA**

As propriedades mecânicas de uma espécie de madeira indicam a sua capacidade para resistir a esforços e são geralmente aferidas pela sua resistência e rigidez contra as forças externas (LEITE *et al.*, 2012).

Segundo Mady (2000), a madeira apresenta resistência a uma série de esforços mecânicos, cujo grau de intensidade varia entre espécies e define sua melhor forma de utilização. Portanto, as propriedades mecânicas definem o comportamento da madeira

quando submetida a esforços de natureza mecânica; o limite dessa resistência está relacionado com a constituição, disposição e morfologia do tecido celular.

Rocha *et al.* (1988), citam que a carga aplicada a um corpo sólido induz uma força interna que tende a resistir as alterações no tamanho e na forma; esta força é conhecida como tensão, expressa em quilograma força por centímetro quadrado. As alterações de tamanho e forma são conhecidas como deformações.

Os esforços podem ser os mais variados, podem ser aplicados à madeira de forma gradual e lenta, constituindo assim um esforço de natureza estática, como a compressão, tração ou flexão; quando aplicado abruptamente a natureza é dinâmica (MADY, 2000).

A resposta do material à tensão aplicada é caracterizada por um conjunto de relações lineares entre os componentes de tensão e deformação, ou em outras palavras, o comportamento elástico do material é totalmente definido pela sua rigidez a tensão (BUCUR, 2006a).

Dentre as propriedades mecânicas, destacam-se a resistência à ação de forças externas, tais como compressão, flexão, tração, cisalhamento, fendilhamento e dureza (ABNT, 1997). Uma peça de madeira submetida à flexão é, sem dúvida, a forma mais comum de utilização e, é a propriedade mecânica que melhor se relaciona com as outras (ROCHA *et al.*, 1988).

#### **4.7.1 Flexão Dinâmica: Módulo de elasticidade – MOE**

A propriedade elástica é característica de corpos sólidos abaixo de um certo limite de esforços, acima deste limite ocorrerão deformações plásticas, até a ruptura. Um corpo sólido é chamado elástico quando a deformação produzida devido à aplicação de uma carga abaixo do limite proporcional é completamente recuperada após o relaxamento dessa carga; além do limite proporcional, as deformações plásticas sofridas pelo material são irreversíveis (KOLLMANN & COTÊ, 1968).

Os três módulos de elásticos ao longo dos eixos da madeira são, longitudinal, radial e tangencial; estes módulos são normalmente obtidos a partir de testes de compressão, entretanto, também podem ser obtidos por frequência de ressonância. As relações elásticas e as próprias constantes elásticas variam dentro e entre as espécies e com o teor de umidade e a massa específica (KRETSCHMANN, 2010).

O comportamento elástico anisotrópico de um meio deve ser associado a uma escala de observação: a anisotropia e heterogeneidade que estão relacionados a propriedade física

e ao comprimento de escala do fenômeno físico correspondente, por exemplo, o comprimento de onda para os fenômenos de propagação (BUCUR, 2006b).

O módulo de elasticidade dinâmico é determinado utilizando a frequência de ressonância tanto no modo de flexão ou de vibração longitudinal do material (ASTM 2009).

As características gerais da madeira, propriedades físicas e mecânicas das espécies de marupá (*Simarouba amara*) e freijó (*Cordia goeldiana*) para o tampo de instrumentos musicais de corda; muiacatiara (*Astronium lecointei*) e tauarí (*Couratari oblongifolia*) para o fundo e lateral, foram investigadas por Slooten & Souza (1993), ao analisarem 21 espécies de madeiras da Amazônia para a manufatura de instrumentos, e constataram que essas madeiras possuem potencial para confecção de instrumentos de alta qualidade.

#### **4.8 PROPRIEDADES ACÚSTICAS DA MADEIRA**

As propriedades acústicas da madeira referem-se à sua sensibilidade em responder sonoramente a estímulos ou vibrações energéticas mecânicas, principalmente quando é utilizada na confecção de peças de instrumentos musicais (ARAÚJO, 2002).

Os princípios de ressonância e as propriedades de radiação do som na madeira, segundo Slooten & Souza (1993), foram aplicados durante séculos na construção de instrumentos musicais em madeira, antes mesmo de serem cientificamente comprovados. Atualmente, as propriedades acústicas da madeira são conhecidas e podem ser devidamente investigadas.

Todos os fenômenos de vibrações e ondas geradas em meio elástico com uma frequência entre cerca de 16 e 20.000 Hz, que são subjetivamente percebidas são chamados de som. Portanto, se um pedaço de madeira é atingido, por um martelo, a madeira entra em vibração, na sua frequência natural de ressonância; esta vibração emite ondas sonoras para o ar circundante; assim pode-se obter o comprimento da onda, amplitude, frequência e velocidade do som (KOLLMANN & COTÊ, 1968).

Segundo Bucur (2006a) a absorção acústica e eficiência da reflexão sonora em todo o espectro sonoro estão fortemente relacionadas com a estrutura interna do material, tratamento de superfície, tipo de montagem e geometria.

As propriedades acústicas de madeira para instrumentos têm sido quase sempre estudadas em algumas madeiras arquetípicas em instrumentos musicais ocidentais (BRÉMAUD, 2012).



As propriedades acústicas consideradas para a seleção de madeiras para instrumentos musicais são a velocidade do som, a impedância sonora, o coeficiente de radiação sonora e o coeficiente de perda ou amortecimento (WEGST, 2006).

#### 4.8.1 Velocidade de propagação do som

A velocidade ( $V$ ), com a qual o som se propaga através de um material, é definida como a raiz do módulo de elasticidade ( $MOE$ ), dividido pela densidade do material ( $\rho$ ), conforme a equação 1:

$$V = \sqrt{\frac{MOE}{\rho}} \quad (1)$$

Deste modo, a velocidade do som está diretamente relacionada com o módulo de elasticidade e densidade do material, variando também com a direção da grã. O módulo de elasticidade transversal da madeira é apenas entre 1/20 a 1/10 do longitudinal. Conseqüentemente, a velocidade transversal do som é de 20 a 30% do valor da velocidade longitudinal, aproximadamente (WEGST, 2006).

A velocidade do som diminui com um aumento de temperatura ou umidade e proporcionalmente à influência dessas variáveis sobre o módulo de elasticidade e densidade. Esta propriedade diminui ligeiramente com aumento da frequência e amplitude de vibração, embora para aplicações mais comuns este efeito seja demasiado pequeno para ser significativo (KRETSCHMANN, 2010).

A madeira, apesar de possuir de 5 a 10% da densidade dos metais, tem uma velocidade de propagação sonora semelhante aos mesmos; quanto maior a velocidade de propagação sonora, melhor será a qualidade acústica do material (SOUZA 1983).

#### 4.8.2 Impedância sonora

A impedância ( $Z$ ), de um material, é definida como o produto da velocidade do som ( $V$ ), e a sua densidade ( $\rho$ ), conforme a equação 2:

$$Z = V * \rho = \sqrt{MOE * \rho} \quad (2)$$

Portanto, as impedâncias acústicas (resistência) são obtidas a partir do produto entre a densidade e a velocidade de propagação da onda de um material. Este parâmetro é importante quando a energia vibratória é transmitida de um meio para outro, o primeiro meio pode ser o instrumento musical e a segundo o ar; sendo que a partir dele é possível verificar a intensidade do som transmitido (WEGST, 2006).

#### 4.8.3 Coeficiente de radiação sonora

O coeficiente de radiação de som ( $R$ ), de um material, é definida como a razão entre a velocidade do som ( $V$ ), e a sua densidade ( $\rho$ ), conforme a equação 3:

$$R = \frac{V}{\rho} = \sqrt{\frac{MOE}{\rho^3}} \quad (3)$$

O coeficiente de radiação do som descreve quanto a vibração de um corpo é atenuado devido à radiação de som. É necessário que o material apresente um alto valor para este coeficiente, caso deseje-se que o som emitido por um instrumento seja em alto volume, ou seja, alta intensidade do som (WEGST, 2006). Segundo Souza (1983), o valor do coeficiente de radiação do som, deve ser o maior possível, para bons materiais acústicos usados em instrumentos musicais.

#### 4.8.4 Amortecimento

O Amortecimento ou coeficiente de perda ( $\eta$ ), mede o grau ao qual um material dissipa energia de vibração por atrito interno. Outras medidas de amortecimento incluem o fator de qualidade ( $Q$ ), o decremento logarítmico ( $\delta$ ), e do ângulo de perda ( $\tan\psi$ ), conforme a equação 4:

$$\eta = \frac{1}{Q} = \frac{\delta}{\pi} = \tan\psi \quad (4)$$

Quando um material sólido vibra, parte de sua energia mecânica é dissipada na forma de calor por atrito interno. O mecanismo pelo qual isso ocorre na madeira é complexo e

depende da temperatura, do teor de umidade em uma amostra e do tipo e quantidade de extrativos característicos para a espécie de madeira. O atrito interno aumenta à medida que o teor de umidade varia até zero ou até o ponto de saturação da fibra; o mínimo ocorre a cerca de 6% de umidade e na temperatura ambiente de 23 ° C (KRETSCHMANN, 2010).

Ao contrário das propriedades físicas descritas anteriormente, o fator de perda, que quantifica o amortecimento de vibrações devido ao atrito interno, é independente da densidade e do módulo de elasticidade (WEGST, 2006).

Devido à natureza complexa da madeira, existem vários mecanismos responsáveis por perdas acústicas e mecânicas de componentes feitos de madeira. A maior fonte interna de amortecimento está nas ligninas, pois a estrutura das microfibrilas de celulose são bastante cristalinas (PORTELA, 2014).

A vibração de uma placa é amortecida, parte devido a fricção interna (calor) e parte pela irradiação sonora; e, que o amortecimento devido irradiação sonora para um dado material é em função da velocidade de propagação sonora e densidade (SOUZA, 1983).

Segundo Ono & Norimoto (1983), a madeira de abeto (*Picea excelsa*, *Picea Glehnii*, *Picea sitchensis*) tradicionalmente usado na confecção de instrumentos musicais de corda, possui um alto módulo de elasticidade longitudinal e baixo valor de amortecimento, quando comparado com outras resinosas.

Em estudo Ono & Norimoto (1984), avaliando 30 espécies de madeiras utilizadas no fabrico de instrumentos, verificaram que a madeira com maior módulo de elasticidade longitudinal por massa específica e menor amortecimento é adequada para placas de som. Segundo esses autores, a anisotropia, o módulo de elasticidade e o amortecimento da madeira no sentido longitudinal radial pode ser explicada em grande parte pelo ângulo da microfibrila na camada secundária S2, independentemente das espécies de madeira (conífera ou folhosa).

#### **4.9 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DA MADEIRA**

A avaliação não destrutiva é a ciência de identificar as propriedades físicas e mecânicas de uma peça de material, sem alterar as suas capacidades de uso final e então usar essas informações para tomar decisões sobre aplicações apropriadas. Tais avaliações dependem de tecnologias de ensaios não destrutivos para fornecer informações precisas referentes às propriedades, desempenho ou condição do material em questão (ROSS, 2015).

As propriedades da madeira podem ser determinadas por vários métodos. Porém, segundo Carrasco & Azevedo Júnior (2003), em geral, esse conhecimento é obtido a partir de ensaios de natureza destrutiva que, além de onerosos e laboriosos, muitas vezes inviabilizam a utilização futura do material.

Cunha & Matos (2010), afirmam que a prática de avaliação destrutiva é feita por meio de corpos de prova amostrados e especificamente preparados para esse fim, pode introduzir variabilidade adicional nos resultados em função de fatores como amostragem inadequada ou problemas na confecção do corpo de prova.

Leite *et al.* (2012) citam que a avaliação destrutiva pelo método de teste de flexão estática é realizada em equipamento caro que exigem custos de manutenção elevados, exigindo uma média de 5 a 15 minutos por amostra, dependendo das espécies e condições de ensaio a ser utilizado. Portanto, a busca por métodos alternativos mais rápidos e seguros para determinar as propriedades mecânicas elásticas assume importância fundamental no contexto da ciência e tecnologia da madeira.

Nos últimos anos, a avaliação não destrutiva tornou-se, uma importante ferramenta na inferência de propriedades físicas e mecânicas da madeira (BALLARIN & NOGUEIRA, 2005). Pois, permite obter e analisar o maior número de informações sobre o material, objetivando não apenas maior precisão dos resultados, como também estabelecer critérios práticos de classificação e caracterização (CARRASCO & AZEVEDO JÚNIOR, 2003).

As primeiras pesquisas relativas à aplicação de ensaios não destrutivos na determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira foram realizadas na década de 1950, nos Estados Unidos, o qual detém a primazia de conhecimentos nessa área específica; todavia, países como Suíça, Romênia, Alemanha, Japão e Reino Unido, também já se destacam nesse cenário (TARGA *et al.*, 2005).

Ross (2015) relata que os esforços de pesquisa e desenvolvimento em todo o mundo estão em andamento para examinar o uso potencial de uma ampla gama de tecnologias de técnicas de ensaios não destrutivos para avaliação da madeira, materiais a base de madeira, árvores em pé, da integridade estrutural de edificações em madeira.

Várias técnicas podem ser consideradas como não destrutivas, desde o exame visual até os ensaios químicos e o uso de técnicas de vibração, propagação de ondas, emissões acústicas e raio X (GONÇALVES & BARTHOLOMEU *et al.*, 2000).

Entre as técnicas mais empregadas estão aquelas baseadas nas características acústicas da madeira, tais como: propagação de ondas de tensão, ondas de ultrassom,

vibração transversal, vibração longitudinal e, mais recentemente, espectroscopia de infravermelho próximo (SCHIMLECK *et al.*, 2001; DEL MENEZZI *et al.*; 2010 SEGUNDINHO *et al.*, 2012).

Esses métodos de ensaios não destrutivos estão se tornando cada vez mais relevantes, uma vez que são capazes de oferecer respostas rápidas e correlações lineares elevadas, e o custo dos equipamentos necessários aos ensaios vem caindo ao longo dos últimos anos (SEGUNDINHO *et al.*, 2012).

Segundo Candian & Sales (2009), em materiais homogêneos e isotrópicos, como os metais, vidros, plásticos e cerâmicos a avaliação não destrutiva permite detectar falhas surgidas em processos de fabricação. No entanto, na madeira, segundo Gonçalves & Bartholomeu *et al.* (2000), essas irregularidades ocorrem naturalmente e as investigações têm sido orientadas para avaliação da qualidade como presença de nós, ataques de microrganismos, direção das fibras, assim como determinação dos aspectos ligados à rigidez (módulo de elasticidade – MOE) e resistência (módulo de ruptura – MOR).

Segundo Bucur (2006b), os testes não destrutivos realizados para avaliação acústica possuem as seguintes vantagens: o grande volume de material pesquisado, a natureza em tempo real das técnicas e a capacidade de monitorização contínua das estruturas. No entanto, possui a desvantagem de necessidade de colocar as ondas em contato direto com as amostras, este inconveniente pode ser evitado através do desenvolvimento de transdutores sem contato.

Entre os métodos não destrutivos empregados na avaliação da madeira, destaca-se a técnica de excitação por impulso.

#### **4.9.1 Técnica de excitação por impulso**

A Técnica de Excitação por Impulso consiste na determinação dos módulos elásticos de um material a partir das frequências naturais de vibração de um corpo de prova com geometria regular, tais como barra, cilindro, disco ou anel. Essas frequências são excitadas por meio de um impacto de curta duração, seguido da captação da resposta acústica por um sensor. Um tratamento matemático é aplicado ao sinal (transformada rápida de Fourier) para a obtenção do espectro de frequências correspondente. A partir disso, são calculados os módulos elásticos dinâmicos considerando a geometria, a massa, as dimensões do corpo de prova e a frequência obtida pelo equipamento utilizado (ASTM, 2009).

De acordo com Haines *et al.* (1996), a disponibilidade de osciloscópios de armazenamento digital com capacidade de transformada rápida de Fourier, simplifica muito a análise dos testes, em particular para os métodos de ressonância. Assim, os testes dinâmicos são executados mais rapidamente, devido a utilização de equipamentos eletrônicos modernos.

Vibrações naturais são variações repetitivas não sustentadas de um fenômeno físico em torno de uma posição média chamada posição de equilíbrio. O movimento ondulante é uma transferência de energia de um ponto a outro através de propagação da onda mecânica, sem qualquer massa transferível, partículas de massa simplesmente oscilam em torno da posição de equilíbrio, enquanto a energia de vibração é propagada (BRANCHERIAU & BAILLERES, 2002).

O emprego da técnica de vibração longitudinal baseia-se no princípio da relação existente entre frequência de vibração longitudinal do material e a rigidez na flexão; a aplicação de um leve impacto na direção longitudinal em uma das extremidades da barra, gera uma onda que movimenta-se na mesma direção do modo de vibração longitudinal, sendo captada na outra extremidade (PITER *et al.*, 2004).

De acordo com Ono & Norimoto (1984), existe alta correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico e o estático, independentemente das espécies, portanto, é possível selecionar madeiras adequadas para cada componente do instrumento, utilizando o valor do módulo de elasticidade dinâmico que pode ser facilmente medido.

Em estudo Segundinho *et al.* (2012), investigaram a correlação do método dinâmico pelas frequências naturais de vibração (ressonâncias) com o método em flexão estática, para amostras de *P. oocarpa* e *Eucalyptus* sp., constataram que o método de ensaio utilizando a técnica de vibração longitudinal apresentou valores fortemente correlacionados (valores de R<sup>2</sup> próximos de 1,0); os autores afirmam que o emprego da frequência longitudinal mostrou-se confiável e prático, portanto recomendada para a determinação do módulo de elasticidade de peças estruturais de madeira.

As propriedades elásticas dinâmicas da madeira de *Copaifera langsdorffii* foram avaliadas por Leite *et al.* (2012), por meio da análise de ressonância e verificaram uma correlação linear que apresentou coeficiente de determinação de 0,88 entre o módulo de elasticidade dinâmico (Ed), determinado pela análise de ressonância e o módulo de elasticidade estático (E), determinado por meio de uma máquina universal de ensaios.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 DEFINIÇÃO DAS ESPÉCIES DE ESTUDO E AMOSTRAGEM

#### 5.1.1 Madeiras tradicionais

Foram adquiridas por meio do projeto INCT Madeiras da Amazônia financiado pela FAPEAM/CNPq, kits de quatro espécies de madeiras importadas da Itália, Canadá, Bósnia e Índia, utilizadas tradicionalmente na confecção de instrumentos musicais de corda; nas dimensões em que são comercializadas para os componentes: tampo, fundo e lateral.

As espécies obtidas foram: cedro canadense (A), maple da Bósnia (B), jacarandá indiano (C) e abeto italiano (D), ilustradas na Figura 2.

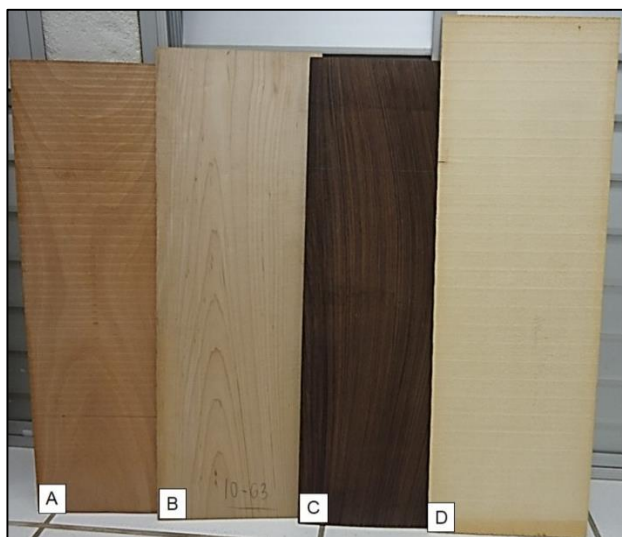


Figura 2 - Corpos de prova das madeiras tradicionais. Fonte: Próprio autor.

Após a obtenção das amostras das madeiras tradicionais foi realizado levantamento bibliográfico sobre as características tecnológicas dessas espécies. Diante da carência de informações na literatura, principalmente em termos numéricos, decidiu-se realizar a caracterização anatômica macro e microscópica, determinação da densidade aparente, módulo de elasticidade e propriedades acústicas para obter valores dos parâmetros para então avaliar espécies alternativas.

A Tabela 1 apresenta o número total de espécies tradicionais utilizadas para cada componente do instrumentos, as dimensões e o número de amostras para análise da

densidade, elasticidade e propriedades acústicas por meio da técnica de excitação por impulso.

Tabela 1 - Número total de amostras por espécie tradicional e suas respectivas dimensões.

<b>Espécie</b>	<b>Componente</b>	<b>Dimensões (mm)</b>	<b>Nº amostras</b>	<b>Total de amostras</b>
Abeto Italiano	Tampo	5 x 190 x 600	8	8
Maple da Bósnia	Fundo	4 x 190 x 600	4	8
	Lateral	3 x 100 x 900	4	
Cedro canadense	Fundo	5 x 210 x 600	4	8
	Lateral	3 x 110 x 900	4	
Jacarandá Indiano	Fundo	4 x 210 x 600	4	8
	Lateral	3 x 130 x 900	4	
<b>TOTAL</b>				<b>32</b>

\* Dimensões das amostras em mm correspondem a seguinte sequência: espessura, largura e comprimento.

### 5.1.2 Madeiras da Amazônia

Para definir as espécies de madeiras da Amazônia para o estudo, optou-se em identificar as madeiras mais comercializadas pelo setor madeireiro do município de Cruzeiro do Sul.

Inicialmente foram levantadas as empresas madeireiras que faziam parte Cooperativa dos Marceneiros e Moveleiros e as instaladas no Parque Industrial Florestal do município.

O município de Cruzeiro do Sul está localizado a oeste do Acre (Figura 3), é a segunda cidade mais populosa do estado com cerca de 78.000 habitantes e representa um dos principais centros urbanos, atendendo toda região do Alto Juruá, composta por cinco municípios: Cruzeiro do Sul, Mâncio Lima, Marechal Thaumaturgo, Porto Valter e Rodrigues Alves (IBGE, 2010).

O levantamento das empresas foi realizado por meio de visitas a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Florestal, da Indústria, do Comércio e dos Serviços Sustentáveis (SEDENS), e obtida a lista das empresas madeireiras do município.



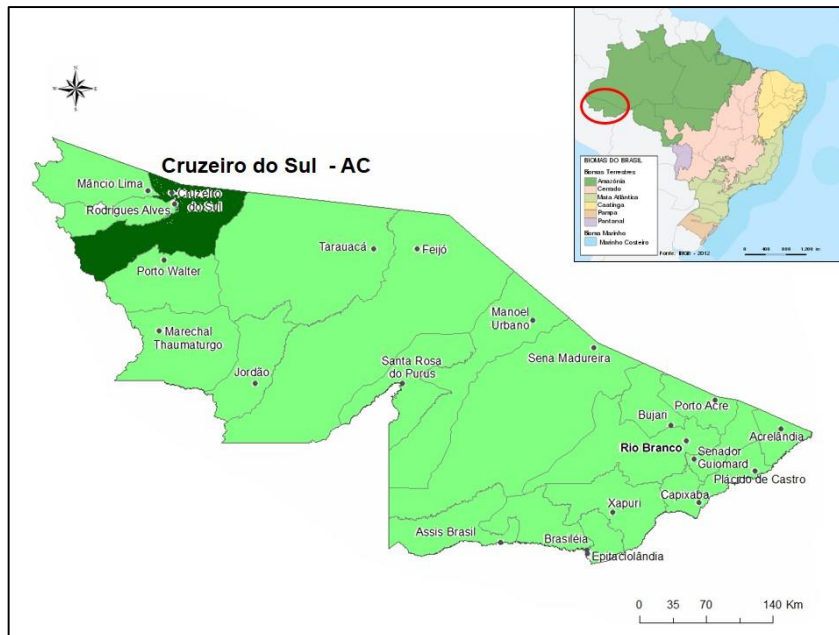


Figura 3 - Mapa de localização do local de coleta: município de Cruzeiro do Sul – Acre.  
(Fonte: adaptado de [www.guiageo-mapas.com/mapa.htm](http://www.guiageo-mapas.com/mapa.htm))

Em seguida, foram sorteadas aleatoriamente seis empresas, das 25 que estavam associadas à Cooperativa. Nestas, realizou-se visitas para coleta de informações e levantamento das espécies madeireiras comercializadas.

O levantamento das espécies consistiu na obtenção de amostras de madeiras utilizadas pelas serrarias e marcenarias/movelarias para identificação científica. Os nomes vulgares atribuídos pelo povo na comercialização das madeiras foram registrados em cada amostra (Figura 4).



Figura 4 - Levantamento das espécies de madeiras comercializadas. (A) coleta das amostras; (B) registro do nome vulgar. Fonte: Próprio autor.

As espécies coletadas nas empresas foram identificadas anatomicamente, por meio de métodos aplicados usualmente pela anatomia da madeira, avaliando o material lenhoso com auxílio de lupa conta fios 10x de aumento, comparando-as com base no material xilológico científico depositado na coleção Botânica/Xiloteca do Laboratório de Anatomia da Madeira – LAM, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, relacionando a nomenclatura científica com a denominação vulgar.

Em seguida, foram selecionadas quatro espécies para o estudo, considerando os seguintes critérios: espécies mais comercializadas pelas empresas do município, características gerais da madeira que englobam cor, textura, figura, grã e a densidade das espécies.

Após esta definição, foram realizadas visitas às indústrias para planejar a coleta do material de pesquisa em campo. A coleta foi realizada junto à atividade de exploração das empresas madeireiras do município, agendada previamente, de acordo com a disponibilidade das equipes. O número de amostras e as dimensões foram em acordo com as normas ABNT (1997); COPANT (1972a); COPANT (1973) e ASTM E1876-09.

De cada espécie foi extraída uma árvore, devido às dificuldades de coleta como a inacessibilidade dos locais, falta de infra-estrutura e dificuldades de transporte. O desdobramento das toras foi realizado no local de exploração. As amostras foram retiradas da floresta através de condução animal e caminhão para transportá-las até as serrarias. A Figura 5 ilustra o esquema de coleta dos corpos de prova em cada árvore.

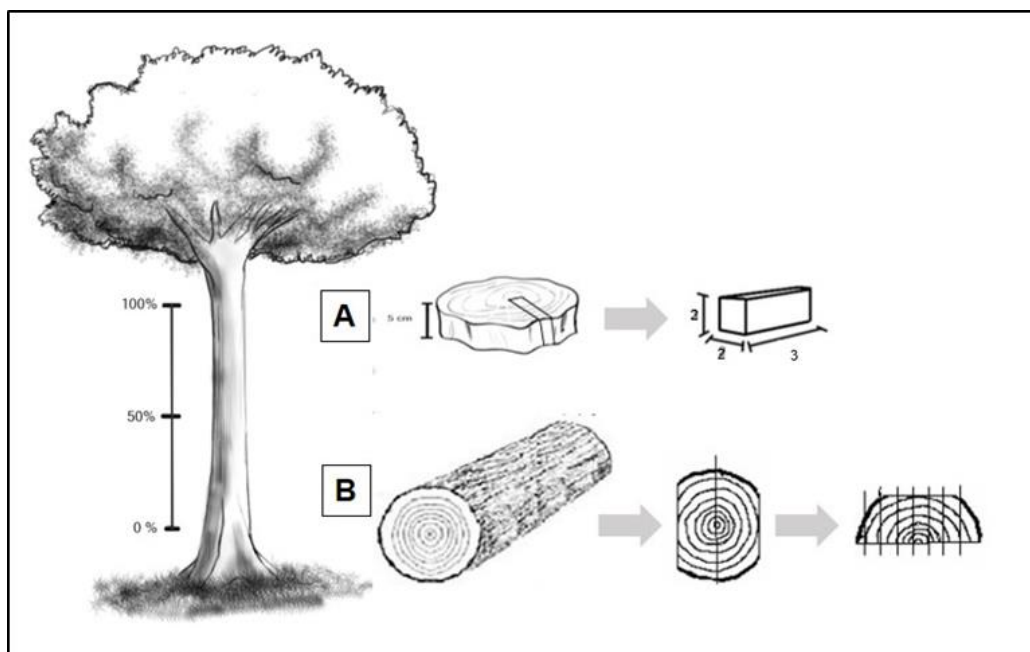


Figura 5 - Esquema de coleta de discos e tábuas e retirada das amostras. Fonte: Própria.

Foram obtidos discos com 5 cm de espessura, retirados da base, meio e topo das árvores por espécie. Dos discos foram confeccionados corpos de prova, destinados às análises anatômicas e propriedades físicas da madeira.

Também foram obtidas tábuas, desdobradas do cerne devidamente orientadas no corte radial, de acordo com instruções dos fabricantes de instrumentos musicais. As tábuas foram destinadas às análises por meio da técnica de excitação por impulso, conforme a norma ASTM E1876-09. O processo de coleta das amostras e o método de desdobro são observados na Figura 6.



Figura 6 - Coleta das amostras. (A) desdobramento das toras; (B) método de desdobro radial; (C) discos da base, meio e topo; (D) amostras (tábuas) para o estudo. Fonte: Própria.

As tábuas foram secas utilizando o método convencional, ao ar livre, por meio de empilhamento em afeito tesoura, na área de secagem das indústrias do município até atingir a umidade de equilíbrio com o meio ambiente. Após a secagem, as tábuas foram processadas utilizando o maquinário da própria empresa para redução do volume e consequente custos de transporte de Cruzeiro do Sul-AC para Manaus-AM (Figura 7).





Figura 7 - Secagem e processamento das amostras. (A) método convencional em efeito tesoura; (B) aplainamento e (C) desengrosso das amostras. Fonte: Próprio autor.

Todas as amostras (discos e tábuas) coletadas no município de Cruzeiro do Sul foram embaladas e transportados por via aérea para a cidade de Manaus, onde foram realizadas as análises no Laboratório de Engenharia de Artefatos de Madeira – LEAM e no Laboratório de Anatomia da Madeira – LAM do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA. As amostras permaneceram embaladas no LEAM durante um período de 10 meses até a realização das análises.

Analisando a lista de madeiras da Amazônia do setor produtivo, verificou-se baixa frequência de madeiras com baixa densidade; justificando a inclusão da madeira da espécie caroba (*Jacaranda copaia*) para o componente tampo de instrumentos. Os corpos de prova foram obtidos do aproveitamento de árvore naturalmente caída no *campus* do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA.

A Tabela 2 apresenta o número total de espécies alternativas da Amazônia selecionadas para cada componente, as dimensões e o número de amostras para análise da densidade aparente e módulo de elasticidade e propriedades acústicas por meio da técnica de excitação por impulso. Para classificação de cada madeira para determinado componente considerou-se a densidade das espécies e as características gerais (cor, textura, figura, grã).

Tabela 2 - Número total de amostras por espécie alternativas da Amazônia e suas respectivas dimensões.

<b>Espécies</b>	<b>Componente</b>	<b>Dimensões (mm)</b>	<b>Nº amostras</b>	<b>Total de amostras</b>
<i>Brosimum rubescens</i>	Fundo	10 x 250 x 700	5	10
	Lateral	10 x 140 x 1000	5	
<i>Cariniana decandra</i>	Fundo	10 x 250 x 700	6	13
	Lateral	10 x 140 x 1000	7	
<i>Cedrela odorata</i>	Fundo	10 x 250 x 700	8	15
	Lateral	10 x 140 x 1000	7	
<i>Simarouba amara</i>	Tampo	10 x 250 x 700	11	11
<i>Jacaranda copaia</i>	Tampo	10 x 250 x 700	7	7
<b>TOTAL</b>				<b>56</b>

\* Dimensões das amostras em mm correspondem a seguinte sequência: espessura, largura e comprimento.

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA MACRO E MICROSCÓPICA DE MADEIRAS

A caracterização das estruturas anatômica macroscópica e microscópica foram realizadas no Laboratório de Anatomia da Madeira – LAM do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, seguindo as recomendações das Normas de Procedimentos em Estudos de Anatomia de Madeira: I. Angiospermae II. Gimnospermae (CORADIN & MUÑIZ, 1991) e Comissão Pan-Americana de Normas Técnicas – COPANT (1973) e COPANT (1974), com adaptações em alguns procedimentos pelo laboratório de anatomia.

Foram utilizados corpos de prova orientados nas direções tangencial, radial e longitudinal nas dimensões 1,5 x 2,0 x 3 cm, respectivamente, demarcados e preparados nos discos obtidos da região da base da árvore de cada espécie.

Para a descrição anatômica macroscópica os corpos de prova foram polidos na superfície transversal com navalha do micrótomo para evidenciar suas características.

A análise da estrutura foi realizada com auxílio de lupa conta fios de 10 x de aumentos e através de análises de imagens, utilizando o estereoscópio equipado com

câmera digital e computador com software de análise de imagens Pixel Pro, que permitiu maior precisão nos resultados.

Foram observados tipos de parênquimas, visibilidade, tamanho e disponibilidade dos poros (vasos), raios e os caracteres gerais da madeira como cor, brilho, cheiro, grã, textura, figura, resistência ao corte manual e presença de camadas de crescimento.

Para a descrição anatômica microscópica foram confeccionadas lâminas histológicas e lâminas com lenho macerado.

### **5.2.1 Confeção de laminas histológicas**

Para facilitar a obtenção dos cortes histológicos, os corpos de prova das espécies de baixa densidade foram impregnados com polietileno; as espécies de média densidade foram imersos em solução de 1:1 de água destilada e glicerina por 24/48 horas; e, as espécies de alta densidade foram levados para ebulição para o amolecimento (4h). Em seguida, procedeu-se a retirada dos cortes histológicos com espessura variando de 16 a 20  $\mu\text{m}$ , dos três planos de estudo da madeira, obtidos em micrótomo de deslize. Os cortes histológicos foram colocados em placa de petri, separados por seção, alvejados (solução 1:1 de água destilada e água sanitária), separados os cortes para montar lâmina sem corante, desidratados (série alcoólica: 50, 70, 96 e 100%), corados com safranina (30 min), retirado o excesso de corante (série alcoólica: 50, 70, 96 e 100%) e colocados em recipiente com fixador (xilol). Após esse processo, os cortes foram colocados entre lâmina e lamínula, e montados em “Permont” (JOHANSEN,1940).

### **5.2.2 Confeção de lâminas com lenho macerado**

O procedimento consistiu da retirada de pequenas lascas de madeira dos corpos de prova de cada espécie, colocadas em um pequeno recipiente de vidro com solução macerante (Ácido Acético Glacial 50%, Peróxido de Hidrogênio 38%, água destilada 12%), conforme Johansen (1940). Estes recipientes foram vedados e colocados em estufa a 60°C, por um período de 48 horas, para dissociação dos elementos celulares, deixando as lascas esbranquiçadas. Em seguida, os elementos celulares dissociados foram lavados em água corrente até que não exalasse odor da solução macerante, desidratados (série alcoólica 50, 70, 96, 100%), corados com safranina por 30 min, retirado o excesso do corante (série alcoólica 50, 70, 96, 100%) e transferida para um recipiente contendo xilol. Após esse

processo, as células do lenho foram colocadas entre lâmina e lamínula com glicerina para análise.

As lâminas histológicas permanentes e as lâminas com as células dissociadas do lenho foram examinadas sob microscópio óptico de luz, obtivas de 2,5-6,3-16-40 e 100x. A mensuração da frequência dos poros foi efetuada em Projetor Universal UP Olympus com a objetiva de 100x.

No plano transversal nas lâminas permanentes foram mensurados a espessura da parede, diâmetro de lume e frequência do vaso. No plano tangencial foram mensurados a altura, largura, frequência do parênquima radial e diâmetro das pontoações intervasculares. No plano radial, foi observado o tipo de raio e mensurado o diâmetro das pontoações raio-vasculares. Nas lâminas com lenho macerado foram mensurados o comprimento do vaso e fibra, largura e diâmetro do lume da fibra, com 3 a 5 lâminas/lenho de cada espécie. Para o cálculo da espessura da parede da fibra (EP), foi utilizada a equação 5:

$$EP = \frac{LT - DL}{2} \quad (5)$$

Onde:

EP: Espessura da parede da fibra;

LT: Largura total da fibra;

DL: Diâmetro do lume da fibra.

Utilizaram-se três corpos de provas para confecção de laminas histológicas e três corpos de provas para confecção de lâminas com lenho macerado para caracterização anatômica macro e microscópica. Nos casos, de espécie com cerne e alburno distintos, o material foi processado separadamente. Também foi preparado um corpo de prova de cada espécie exclusivo para obtenção de macrofotografias da seção transversal.

Para a madeira de abeto não foi realizada caracterização anatômica macro e microscópica por ser uma conífera e não possui elementos de vasos e fibras no xilema secundário.

Na Tabela 3, estão descritas as características analisadas e o número de medições para cada parâmetro anatômico. De acordo com a norma utilizada apenas 25 aferições são necessárias, porém, foi realizada maior número de medições dos elementos das espécies de madeiras da Amazônia, pois estão sendo avaliadas como alternativas na confecção de instrumentos.

Tabela 3 - Número total de corpos de prova por espécie e medições por parâmetro anatômico estudado.

Espécie	Caracterização macroscópica			Caracterização microscópica											Total de medições	
	Nº amostras	FP (mm <sup>2</sup> )	FR (mm)	CF (µm)	LF (µm)	DL (µm)	EP (µm)	CV (µm)	DP (µm)	EV (µm)	PI (µm)	PR (µm)	AR (µm)	LR (cel.)		
	Número de medições															
Maple da Bósnia	3	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	325	
Cedro canadense	3	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	325	
Jacarandá indiano	3	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	325	
Muirapiranga	3	75	75	75	75	75	75	75	75	50	50	50	75	75	900	
Tauarí	3	75	75	75	75	75	75	75	75	50	50	50	75	25	850	
Cedro	3	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	25	925	
Marupá	3	75	75	75	75	75	75	75	75	50	50	50	75	25	850	
Caroba	3	75	75	75	75	75	75	75	75	50	50	50	75	25	850	
<b>TOTAL</b>	<b>24</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	<b>325</b>	<b>325</b>	<b>325</b>	<b>400</b>	<b>250</b>	<b>5350</b>

FP: Frequência de poros; FR: Frequência de raios; CF: Comprimento de Fibras; LF: Largura da Fibra; DL: Diâmetro do Lume da Fibra; EP: Espessura da Parede da Fibra; CV: Comprimento do Vaso; DP: Diâmetro do Poro; EV: Espessura da Parede do Vaso; PI: Diâmetro da Pontoação Intervascular; PR: Diâmetro da Pontoação Raio-vascular; AR: Altura dos Raios; LR: Largura dos Raios.



## 5.3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS

### 5.3.1 Teor de Umidade

O conteúdo de umidade dos corpos de prova foi verificado por meio da utilização do medidor de contato, realizando-se três medições ao longo das amostras (extremidades e meio) das espécies de estudo. O aparelho possui duas ponteiros que são posicionadas na madeira, e através de uma corrente elétrica o valor da umidade é determinado.

### 5.3.2 Densidade Básica

A determinação das propriedades físicas foi realizada com base nas normas NBR 7190 (ABNT, 1997) e COPANT (1972b) que descreve os procedimentos necessários para obtenção de cada propriedade.

Para a determinação da densidade básica, corpos de prova com dimensões 2 cm x 2 cm x 3 cm, foram demarcados e cortados nos discos do lenho da base, meio e topo das árvores. Em seguida, os corpos de prova foram imersos em água até a saturação completa, para obtenção da massa e volume saturado, com o auxílio de uma balança digital com precisão de 0,01g e um Becker com água. O volume saturado foi obtido pelo método de imersão em água, posteriormente, os corpos de prova foram levados para estufa a uma temperatura de  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , até atingirem peso constante, para obtenção do peso seco. A densidade básica foi determinada com o uso da equação 6:

$$Db = \frac{P_{sec}}{V_{sat}} \quad (6)$$

Onde,

$Db$  = densidade básica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$P_{sec}$  = peso seco (g);

$V_{sat}$  = volume saturado ( $\text{cm}^3$ ).

### 5.3.3 Retratabilidade

A retratabilidade da madeira foi determinada, realizando medições nas direções tangenciais, radial e longitudinal nos corpos de prova, nas condições saturado e seco em estufa, utilizando um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm. Para determinação das retratabilidades foram utilizadas as equações 7 e 8:

$$Rt = \frac{Dt_{sat} - Dt_{sec}}{Dt_{sat}} * 100 \quad (7)$$

Onde:

Rt= retratabilidade tangencial (%);

Dt<sub>sat</sub>= dimensão na direção tangencial, na condição saturada (mm);

Dt<sub>sec</sub>= dimensão na direção tangencial, na condição seca (mm).

$$Rr = \frac{Dr_{sat} - Dr_{sec}}{Dr_{sat}} * 100 \quad (8)$$

Onde:

Rr= retratabilidade radial (%);

Dr<sub>sat</sub>= dimensão na direção radial, na condição saturada (mm);

Dr<sub>sec</sub>= dimensão na direção radial, na condição seca (mm).

Também foram determinados os coeficientes de anisotropia pela relação entre os movimentos lineares radial e tangencial, expresso na equação 9:

$$CA = \frac{Rt}{Rr} \quad (9)$$

Onde:

CA= coeficiente de anisotropia.

Rt= retratabilidade tangencial.

Rr= retratabilidade radial.

## 5.4 ENSAIO POR MEIO DA TÉCNICA DE EXCITAÇÃO POR IMPULSO

O ensaio não destrutivo através da técnica de excitação por impulso foi realizado utilizando o equipamento da marca ATCP modelo Sonelastic versão 2.8, o qual consegue determinar as propriedades elásticas e acústicas do material analisado por meio das frequências naturais de vibração e um corpo de prova de geometria regular (barra, cilindro, disco ou anel). As amostras foram analisadas conforme a norma ASTM E1876-09.

O equipamento possui dois suportes ajustáveis (A1 e A2) para as amostras com extensor no centro (B), um captador acústico (C), um pedestal robusto (D) e um excitador manual (E) (Figura 8).

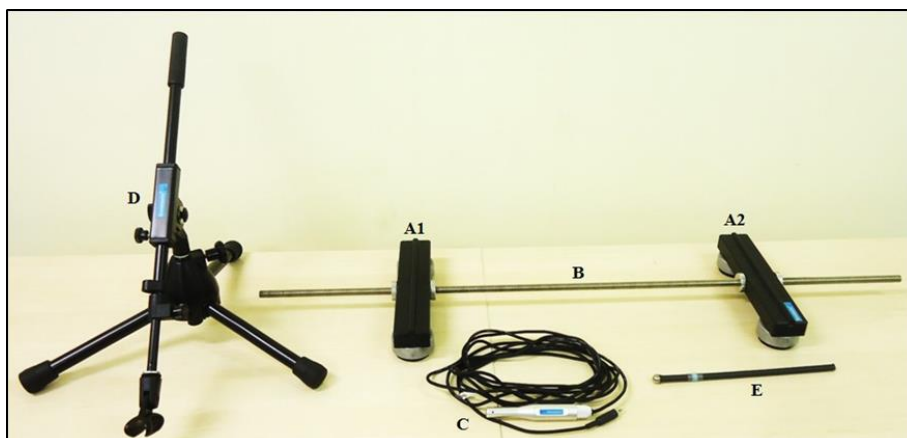


Figura 8 - Acessórios do Equipamento. Fonte: Próprio autor.

Inicialmente os corpos de prova foram pesados e medidos (comprimento, largura e espessura) para determinação da massa e volume. As medidas foram realizadas em três pontos ao longo de cada dimensão do corpo de prova para os cálculos dos desvios. A Figura 9 ilustra este procedimento.

Em seguida, os corpos de prova foram marcados com traços distantes de cada extremidade; estas posições correspondem às linhas nodais para orientar o posicionamento da amostra no suporte (Figura 10).

As linhas nodais foram determinadas utilizando a equação 10:

$$L_n = 0,224 \times L \quad (10)$$

Onde:

$L_n$  = Linha nodal (mm);

0,224 = constante fornecida pelo fabricante;

$L$  = comprimento da amostra (mm).

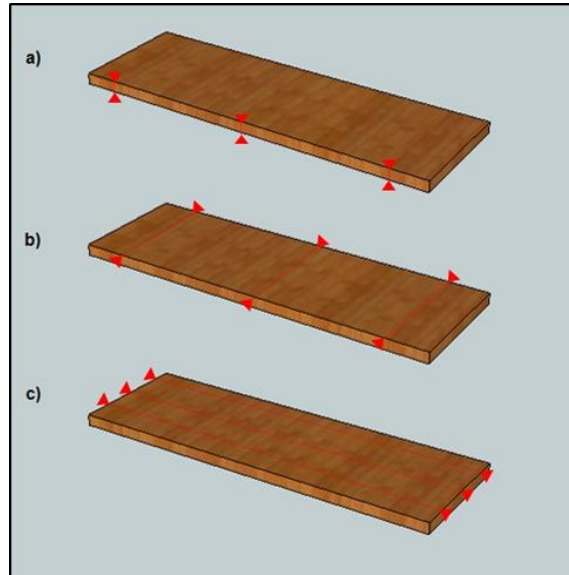


Figura 9 - Locais de medição dos corpos de prova: a) espessura (T), b) largura (W) e c) comprimento (L). Fonte: Próprio autor.

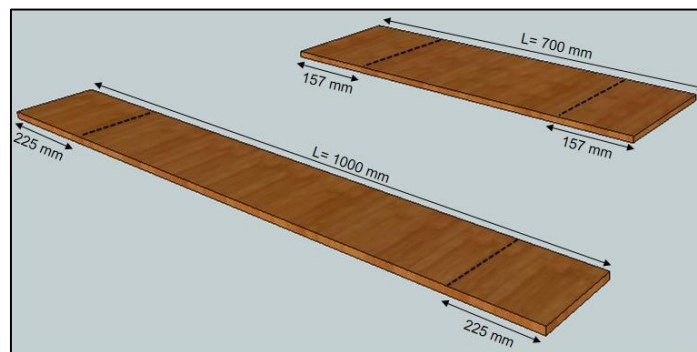


Figura 10 - Linhas nodais. Fonte: Próprio autor.

Após esses procedimentos, os corpos de prova foram caracterizados no modo de vibração longitudinal. A técnica consistiu em determinar os módulos elásticos a partir das frequências naturais de vibração do corpo de prova; estas frequências foram excitadas por meio de um impacto mecânico de curta duração, seguido da captação da resposta acústica pelo microfone na extremidade oposta da amostra. Um tratamento matemático é executado no sinal para a obtenção do espectro de frequências (Transformada Rápida de Fourier). A partir disso, foram calculados os módulos elásticos dinâmicos considerando

a geometria, a massa, as dimensões do corpo de prova e a frequências obtidas pelo equipamento.

Para a excitação do modo de vibração desejado é necessário impor determinadas condições de contorno que consistem no posicionamento da excitação e do captador acústico (Figura 11).



Figura 11 - Ensaio pela a técnica de excitação por impulso. (A) condição de contorno referente à vibração do modo longitudinal; (B) amostra submetida ao ensaio. Fonte:

Próprio autor.

A Figura 12 ilustra a tela principal do software, com os procedimentos seguidos para caracterização de uma amostra. A faixa de frequência adotada foi de 0,5 - 20 kHz e o tempo de aquisição do sinal foram de 0,683 segundos.

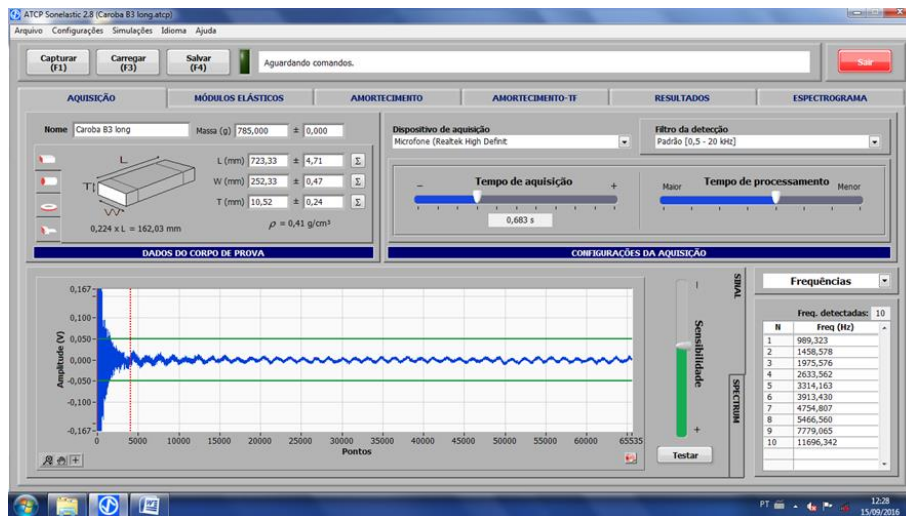


Figura 12 - Tela principal do software Sonelastic. Fonte: Próprio autor.

A Figura 13 mostra a tela do módulo elástico, com os valores do módulo de elasticidade dinâmico (GPa) e da velocidade de propagação do som (m/s) da amostra caracterizada.

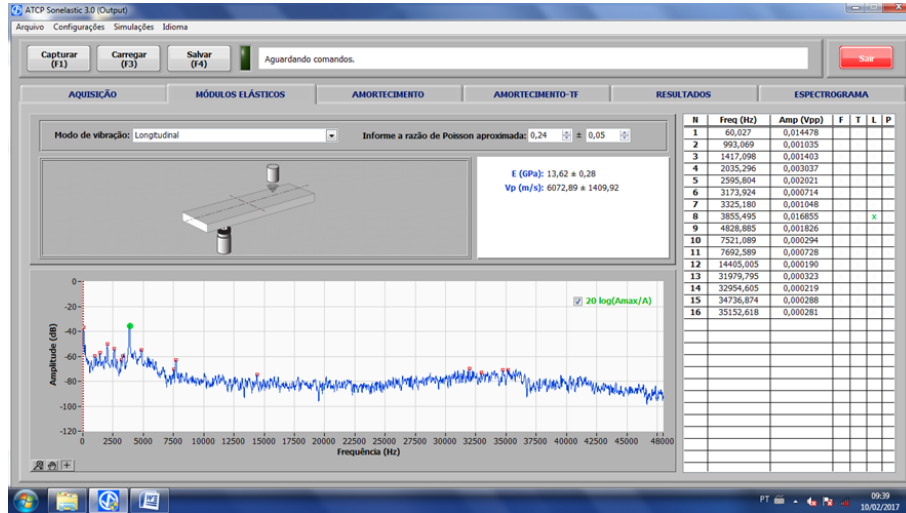


Figura 13 - Tela do módulo de cálculo das propriedades elásticas. Fonte: Próprio autor.

A Figura 14 apresenta a tela do amortecimento com a figura da amplitude em função da frequência (gráfico superior), destacando a frequência utilizada no cálculo do amortecimento (linha vertical tracejada). O Software calcula o amortecimento através da análise do decaimento do sinal a partir da frequência natural de até 20 kHz.

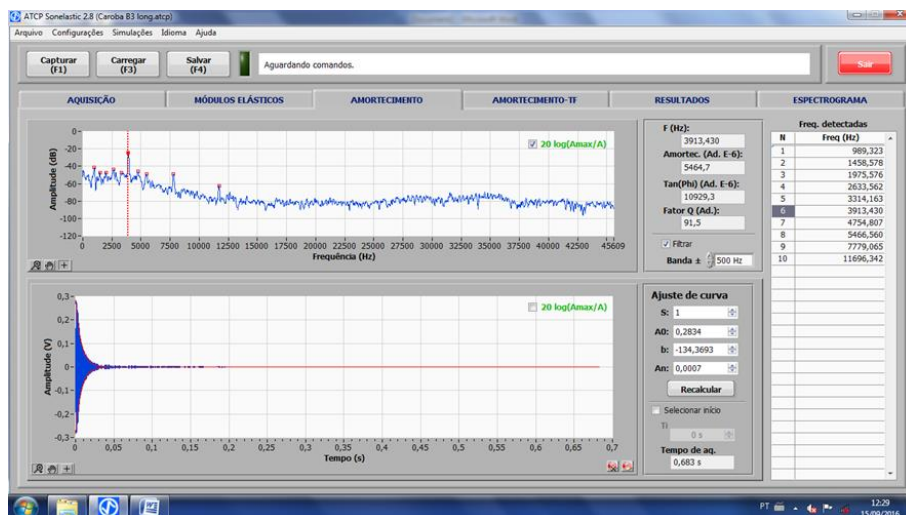


Figura 14 - Tela do módulo de cálculo do amortecimento. Fonte: Próprio autor.

Para a determinação da Impedância sonora ( $Z$ ) e do Coeficiente de radiação sonora ( $R$ ) foram utilizadas as equações 2 e 3 no item 4.8.

## **5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA**

### **5.5.1 Análise descritiva dos dados**

Foi realizada análise estatística descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação) para as características anatômicas, física (densidade a 12% de UR), mecânica (módulo de elasticidade) e propriedades acústicas das madeiras tradicionais e alternativas.

### **5.5.2 Análise de variância**

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) para as propriedades físicas (densidade básica, contração radial, tangencial e coeficiente de anisotropia) das quatro espécies de madeira coletadas em Cruzeiro do Sul – Acre, com 3 tratamentos: 0%, 50% e 100% da altura comercial da árvore e diferentes repetições.

Para verificar a normalidade dos dados foi realizado o teste Shapiro-Wilk a 5% probabilidade. Para a diferenciação entre os tratamentos, foi realizada a análise de variância ao nível de 5% de probabilidade. Para a diferenciação entre médias, foi utilizado o teste de média de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

### **5.5.3 Correlação de Pearson**

Foi realizada correlação de Pearson para avaliar a correspondência entre as 19 variáveis tecnológicas:

Características anatômicas: comprimento da fibra, largura da fibra, diâmetro do lume da fibra, espessura da parede da fibra, comprimento do vaso, diâmetro tangencial do vaso, espessura da parede do vaso, frequência do poro, altura do raio, largura do raio, frequência do raio, diâmetro da pontoação intervascular, diâmetro da pontoação raio-vascular,

Propriedade física: densidade aparente a 12% de UR;

Propriedade mecânica: módulo de elasticidade;

Propriedades acústicas: velocidade de propagação do som, impedância sonora, coeficiente de radiação sonora e amortecimento.

#### **5.5.4 Análise de Componentes Principais (PCA)**

Foi realizada a Análise por Componentes Principais (PCA) com as 19 variáveis tecnológicas, citadas acima, para verificar os fatores (componentes) a serem analisados.

A Análise por Componentes Principais, é uma técnica da análise multivariada, que analisa as inter-relações entre um grande número de variáveis de maneira a condensar a informação contida nelas em um conjunto menor de variáveis estatísticas, observando uma perda mínima da informação. Essas variáveis criadas sintetizam a maior variabilidade dos dados originais, não são correlacionadas entre si e são ordenadas segundo a proporção da variância que podem explicar (ALENCAR, 2009).

Esta técnica proporciona uma explicação conjunta da estrutura de dispersão interna (variância e covariância) de um vetor aleatório obtido por meio de combinações lineares das variáveis originais. Permite reduzir o número de variáveis, de características, de cada indivíduo a um pequeno número de índices explicativos (componentes principais). Uma PCA procura um mínimo de combinações lineares que possam ser utilizadas para explicar a dispersão de uma nuvem de pontos que, geometricamente, caracteriza a matriz de informações básicas originais (SANTOS *et al.*, 2003).

#### **5.5.5 Análise de Agrupamento (*Cluster*)**

Para identificar os grupos de espécies de madeiras segundo a similaridade que possuem sobre as características tecnológicas, foi realizada a Análise de Agrupamento (*Cluster*) por distância euclidiana entre as madeiras tradicionais e alternativas para confecção de instrumentos de corda.

O critério adotado para a construção do dendrograma foi o método da ligação completa (*Complete Linkage*). Este método forma grupos mais homogêneos que o formado por outros métodos. Quando ele é aplicado para fornecer a distância entre conjuntos de elementos, ele seleciona a distância que corresponde à maior diferença entre os elementos de grupos distintos (ALENCAR, 2009).

A semelhança (similaridade) foi calculada com base numa matriz de distâncias. Assim, a Distância Euclidiana foi utilizada como medida de proximidade, na qual os elementos com distância euclidiana mais próximas foram sendo agrupados sequencialmente até um único grupo ser formado. As espécies foram classificadas em grupos, em diferentes etapas, produzindo uma árvore hierárquica.



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 AVALIAÇÃO DE ESPÉCIES DE MADEIRAS DA AMAZÔNIA

#### 6.1.1 Setor madeireiro do município de Cruzeiro do Sul – AC

Foi possível identificar 25 empresas ativas que faziam parte da Cooperativa dos Marceneiros e Moveleiros. Destas, 17 estavam instaladas no Parque, em pleno funcionamento (Tabela 4). São microempresas, cuja administração é na maioria dos casos, familiar.

Tabela 4 - Empresas instaladas no Parque Industrial Florestal do município de Cruzeiro do Sul-AC, no ano de 2015.

EMPRESA	NOME FANTASIA
1	Móveis Araújo
2	Móveis Moura
3	Marcenaria Silva
4	Móveis Sombra
5	Moveis Batista
6	Marcenaria Arte do Juruá
7	Estrela do Juruá
8	Marcenaria Serra Dourada
9	Móveis M & E
10	Móveis Couto
11	Requinte Móveis
12	Madeira Brito
13	Madeira Cruzeiro
14	Móveis Farias
15	Móveis Kelly
16	Marcenaria Rodrigues
17	Marcenaria Nauense

Fonte: Pesquisa de Campo: Próprio autor (2015).

Segundo o presidente da Cooperativa, o Parque foi planejado com capacidade para 15 serrarias e marcenarias/movelarias, pois apenas estas faziam parte da associação e buscaram aprovação do projeto de criação do Parque junto ao Governo do Estado. Após a inauguração mais dois galpões foram construídos para instalação de novas empresas associadas, porém, não foi possível atender toda demanda.

Em 2015, oito empresas ainda ocupavam áreas para a execução de suas atividades em prédio próprio localizado fora do Parque, o que pode apontar que o mercado deste setor esteja promissor na região de estudo.

Calderon (2012), identificando e caracterizando o segmento moveleiro da região do Alto Juruá, município de Cruzeiro do Sul – AC, constatou que 25 empresas faziam parte da Associação dos Moveleiros, e estavam cadastradas no Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Estado do Acre – SEBRAE/AC, no ano de 2009. Essas empresas moveleiras, geralmente eram localizadas em fundos de quintais ou em terrenos vizinhos à residência do proprietário.

Verificou-se neste estudo, que o número de empresas associadas à Cooperativa permaneceu o mesmo até o ano de 2015. Vale ressaltar que, assim como este autor, não foram consideradas as empresas que não faziam parte da Cooperativa, o que poderia elevar este número.

Estas serrarias e marcenarias/movelarias utilizam matéria-prima oriunda de áreas manejadas, por meio de licenças expedidas pelo Instituto de Meio Ambiente do Acre – IMAC. Porém, conforme relatado pelo presidente da Cooperativa, é recente a adoção de Plano de Manejo Florestal nesse município, devido ao alto custo da instalação e execução, assim como, a escassez de recursos financeiros.

A utilização de madeira manejada pelas empresas do município foi incentivada pelo Governo do estado com a implementação do Projeto de Assentamento Florestal (PAF) do Ramal do Havaí, situado entre Rodrigues Alves – AC e Mâncio Lima – AC; cujas atividades de exploração tiveram início no de 2014. Este projeto, foi criado para assentar trabalhadores rurais que foram desabrigados de suas localidades com a criação do Parque Nacional da Serra do Divisor (PNSD).

O apoio a este setor apresenta-se como estratégia fundamental para o seu desenvolvimento e garantia de produtos competitivos e com agregação de valor dentro do próprio estado (FUNTAC, 2006). Entretanto, o grande desafio para as populações que vivem na Amazônia é conciliar o desenvolvimento econômico com a conservação dos recursos naturais (AZEVEDO, 2006).

Por outro lado, o setor florestal desempenha um papel fundamental no cenário socioeconômico do estado do Acre. No período de 1998 a 2009 registrou aumento na receita bruta, passando de R\$ 21 milhões para R\$ 182 milhões, gerando 4.641 empregos diretos e indiretos (IMAZON, 2010). Nesse contexto, o manejo florestal é a forma de

gestão florestal em busca do desenvolvimento econômico aliado à conservação dos recursos naturais.

Em estudo Silva *et al.* (2015) observaram a partir dos planos de manejo florestal submetidos ao Instituto do Meio Ambiente do Acre (IMAC) que a área e o volume de madeira licenciados apresentaram um crescimento no período de 2005 a 2012; e que foram autorizados um volume médio  $15,8 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}/\text{ano}$ . Este resultado indica o grande potencial econômico no setor de madeira serrada para a região.

Em geral, existem dois grupos distintos de empresas madeireiras no município, as que participam do mercado informal e as formais. As empresas formais, estão instaladas no Parque, utilizam madeiras manejadas e apresentam interesse em atender tanto a demanda local como externa.

### 6.1.2 Espécies comercializadas

Com a coleta e identificação científica das espécies, verificou-se que nas empresas madeireiras do município de Cruzeiro do Sul são comercializadas 35 espécies florestais lenhosas, distribuídas em 30 gêneros e 15 famílias botânicas. A lista das espécies arbóreas amostradas na área em estudo, em ordem alfabética, de nomes de família botânica encontra-se no Apêndice A.

As famílias mais representativas, em número de espécies, foram: Fabaceae (oito), Lauraceae (seis) e Caesalpiniaceae (três). As famílias, Vochysiaceae, Myristicaceae, Moraceae, Mimosaceae, Meliaceae e Lecythidaceae, apresentaram duas espécies e as demais apenas uma espécie (Figura 15). Este resultado sugere que a diversidade de espécies utilizadas pelas empresas madeireiras do município está concentrada em poucas famílias, sendo que este parece ser um comportamento comum nas indústrias do setor de madeira serrada de florestas tropicais.

Portanto, a família Fabaceae, foi a mais expressiva com oito gêneros: *Bowdichia*, *Dalbergia*, *Diploptropis*, *Hymenolobium*, *Swartzia*, *Torresea*, *Vatairea* e *Vataireopsis*, com uma espécie cada (Apêndice A).

Pesquisa realizada por Araújo (2006), citam que as famílias de maior número de espécies foram: Caesalpiniaceae, Fabaceae, Mimosaceae, Moraceae, Annonaceae, Sapotaceae, Apocynaceae, Meliaceae, Bombacaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae, Lecythidaceae e Rubiaceae. Os gêneros mais representativos foram: *Inga*, *Brosimum*,

*Ficus, Aspidosperma, Licania, Ocotea, Cariniana, Cecropia, Guarea, Ormosia, Parkia, Pourouma, Pouteria e Trichilia*, em uma floresta da região do estado do Acre.

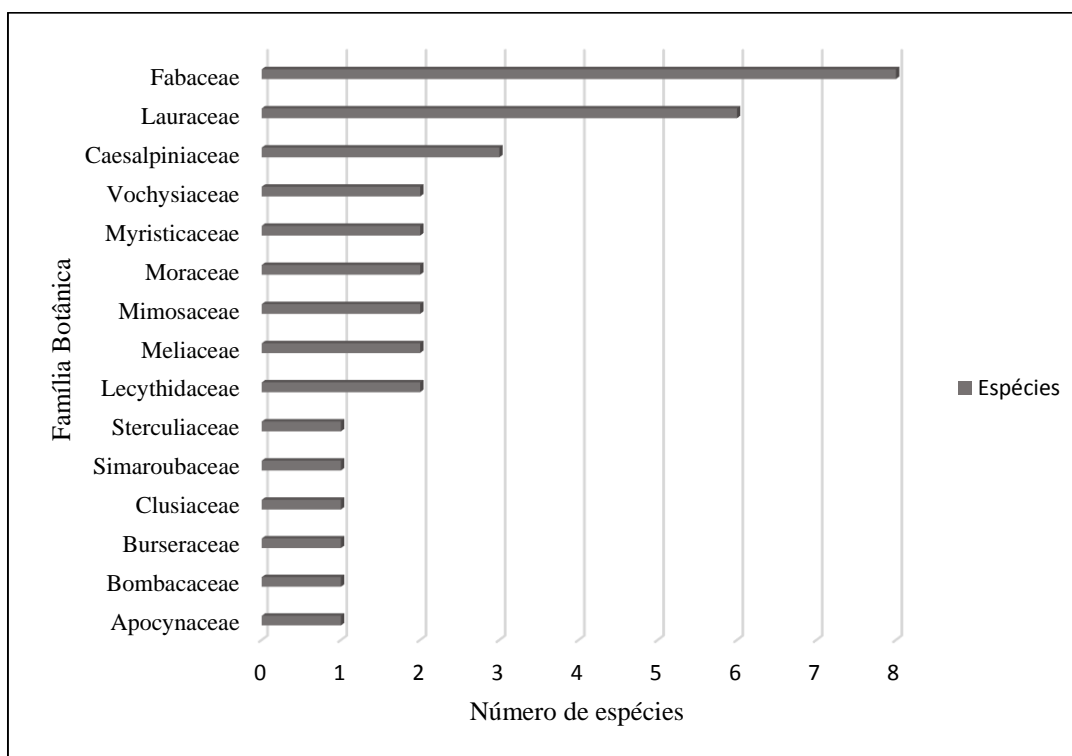


Figura 15 - Número de espécies madeireiras por famílias botânicas comercializadas no município de Cruzeiro do Sul – AC. Fonte: Próprio Autor (2015).

Na Tabela 5 estão listadas as 10 espécies madeireiras mais comercializadas pelas empresas do município de Cruzeiro do Sul, no período em análise, de acordo com informações dos proprietários, em ordem decrescente das mais utilizadas, com seus respectivos nomes de família botânica, nomes científicos e vulgares atribuídos na comercialização. Em conjunto, essas espécies representam 28% das espécies amostradas.

De acordo com Brilhante (2000), em entrevistas realizadas em 16 serrarias da capital do Acre, Rio Branco, que estavam funcionando em 1998, constatou que as doze espécies mais comercializadas eram: *Apuleia moralis* (amarelão), *Hymenolobium* sp. (angelim), *Cedrela odorata* (cedro), *Torresea acreana* (cerejeira), *Copaifera* sp. (copaíba), *Coumarouna odorata* (cumarú-cetim), *Coumarouna ferrea* (cumarú-ferro), *Tabebuia* sp. (ipê), *Hymenaea courbaril* (jatobá), *Swietenia macrophylla* (mogno), *Calycophyllum spruceanum* (mulateiro), e *Ceiba pentandra* (sumaúma), sendo que esta lista podia chegar até um número de 47 espécies utilizadas.

Tabela 5 - Lista das 10 espécies madeireiras mais comercializadas no município de Cruzeiro do Sul – AC, no ano de 2015, em ordem das mais utilizadas, e seus respectivos nomes de família botânica, nomes científicos e vulgares atribuídos na comercialização.

FAMÍLIA	NOME CIENTÍFICO	NOME VULGAR
Fabaceae	<i>Hymenolobium excelsum</i> Ducke	Angelim
Lecythidaceae	<i>Cariniana decandra</i> Ducke	Tauarí
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro-vermelho, rosa
Mimosaceae	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Cedro-água
Moraceae	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	Muirapiranga
Simaroubaceae	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Marupá
Lauraceae	<i>Ocotea myriantha</i> (Meisn.) Mez	Louro-abacate
Fabaceae	<i>Diploptropis martiusii</i> Benth.	Sucupira
Fabaceae	<i>Torresea acreana</i> Ducke	Cumarú
Apocynaceae	<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> Müll. Arg.	Amarelinho, marfim

Fonte: Pesquisa de Campo: Próprio autor (2015).

Percebe-se nesses resultados, que a comercialização concentra-se em poucas espécies, e que a preferência por algumas madeiras (*Hymenolobium* sp., *C. odorata*, e *T. acreana*) continua até o ano de 2015, o que pode aumentar o risco de extinção local dessas espécies tradicionalmente exploradas ao longo do tempo.

Em relação aos nomes vulgares atribuído na comercialização, foi possível observar que diferentes espécies são negociadas pelo mesmo nome popular como: *Virola molissima* (Myristicaceae) e *Guazuma ulmifolia* (Sterculiaceae), comercializadas como mutamba; *Cariniana decandra* (Lecythidaceae) e *Protium tenuifolium* (Burseraceae) como tauarí; *Hymenolobium excelsum* (Fabaceae) e *Vataireopsis iglesiasii* (Fabaceae), como angelim; *Aspidosperma cylindrocarpon* como amarelinho e marfim; *Ruiozterania albiflora* (Vochysiaceae) e *Licaria cannella* (Lauraceae) como cocão; *Peltogyne cattingae* (Caesalpiniaceae) e *Peltogyne subsessilis* (Caesalpiniaceae) como roxinho; *Bowdichia virgilioides* (Fabaceae) e *Vataireopsis iglesiasii* (Fabaceae) como sucupira-amarela, de acordo com o Apêndice A.

A denominação de uma espécie com diferentes nomes vulgares, ou o agrupamento de várias espécies pode ocasionar pressão quanto à exploração de um número ainda mais reduzido de espécies, o que ameaça a conservação da diversidade de espécies florestais

madeireiras e a sustentabilidade do desenvolvimento do setor que utiliza esse recurso natural como matéria-prima.

De acordo com Freitas & Vasconcelos (2010), é comum na Amazônia, assim como em outras regiões do país, a utilização de vários nomes vulgares, para designar e identificar espécies da flora, pois trata dos nomes que o povo atribui para caracterizar uma espécie, bem como, diferentes espécies que se assemelham por algum aspecto são denominadas com o mesmo nome comum, os quais variam muito de uma região para outra ou até dentro de uma mesma região.

Esses resultados foram divulgados aos empresários do setor madeireiro do município por meio de palestras e banners (Figura 16), no sentido de conscientizá-los da questão do uso sustentável, assim como da correta identificação das espécies, que torna viável a definição do uso tecnológico de cada madeira. Os banners foram distribuídos em cada empresa para que eles pudessem ter acesso aos resultados da pesquisa referente a identificação científica das espécies comercializadas pelo setor no município.



Figura 16 - Divulgação dos resultados aos empresários do setor madeireiro do município de Cruzeiro do Sul-AC. Fonte: Próprio autor.

A partir do levantamento das madeiras mais comercializadas, as características gerais (cor, textura, figura, grã) e as densidades das espécies, foram selecionadas as madeira de *Brosimum rubesens* Taub. (muirapiranga), *Cariniana decandra* Ducke (tauarí), *Cedrela odorata* L. (cedro) e *Simarouba amara* Aubl. (marupá), para testar a viabilidade de utilização dessas espécies como alternativas para composição de instrumentos musicais de corda, por meio do estudo tecnológico de madeiras.

## 6.2 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA MACRO E MICROSCÓPICA DAS MADEIRAS TRADICIONAIS E ALTERNATIVAS

A caracterização anatômica macro e microscópica das madeiras tradicionais, seguida das madeiras alternativas da Amazônia está apresentada a seguir. Para o abeto foi realizado somente avaliação dos caracteres gerais por apresenta uma estrutura mais simples que as folhosas, e não possui elementos de vasos e fibras no xilema secundário.

**Nome científico:** *Picea* sp.

**Família:** Pinaceae.

**Nome comum:** Abeto, spruce.

**Origem:** Itália.

**Componente:** Tampo (tradicional).



Figura 17 - Seção transversal da madeira de *Picea* sp, aumento de 10x. Fonte: Própria.

**Características gerais:** Madeira muito leve ( $D_a$ :  $0,37 \text{ g/cm}^3$ ); macia ao corte manual; cor amarelada; grã direita; textura média; cheiro e gosto imperceptível; brilho moderado. Lenho constituído quase que exclusivamente por traqueídes e raios; camadas de crescimento bem demarcadas pelo lenho inicial e lenho tardio; o lenho tardio apresenta células de menores lumens e paredes mais espessas, apresentando, aspecto mais escuro; canais resiníferos axiais presentes.

**Nome científico:** *Acer* sp.

**Família:** Aceraceae.

**Nome comum:** Maple, sycamore, plátano.

**Origem:** Bósnia.

**Componente:** Fundo e lateral tradicional).

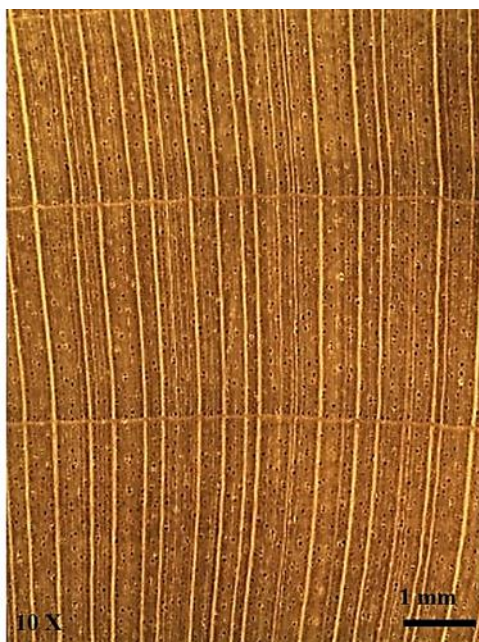


Figura 18 - Seção transversal da madeira de *Acer* sp., aumento de 10x. Fonte: Própria.

**Características gerais:** Madeira moderadamente pesada (Da: 0,66 g/cm<sup>3</sup>); macia ao corte manual; cerne branco palha rosado; cheiro e gosto imperceptível; brilho moderado; textura fina; grã direita; superfície lisa ao tato, lustrosa.

**Descrição macroscópica:** Poros visíveis apenas com lente de 10x; solitários e múltiplos; distribuição difusa; muito pequenos a pequenos; formato circular a oval. Parênquima axial visível somente sob lente de 10x; apotraqueal difuso. Raios visíveis a olho nu, nos planos transversal e tangencial; numerosos a muito numerosos; finos a largos; extremamente baixos a altos; irregulares em espaçamento; contrastado na face tangencial e radial. Camadas de crescimento visíveis sob lente de 10x; demarcadas por zonas fibrosas mais escuras.

**Descrição microscópica:** Vasos solitários em maioria e múltiplos de até 8; diâmetro muito pequenos a pequenos (40-73 µm); numerosos a numerosíssimos (16-43 por mm<sup>2</sup>);



arranjo difuso; elementos vasculares muito curtos a curtos (278-491  $\mu\text{m}$  de comprimento); espessura da parede (3-7  $\mu\text{m}$ ); placa de perfuração simples; pontoações intervasculares areoladas, opostas, circulares, abertura inclusa, diâmetros médios (8-10  $\mu\text{m}$ ); pontoações raio-vasculares semelhante a intervasculares em tamanho e forma. *Raios* homocelulares, formados exclusivamente por células procumbentes; unisseriados e multisseriados, com até 7 células de largura; numerosos a muito numerosos (6-15 por mm linear); extremamente baixos a altos (80-1067  $\mu\text{m}$  de altura); estratificação ausente. *Fibras* libriformes; muito curtas a curtas (737-1311  $\mu\text{m}$  de comprimento), estreita a média (17-30  $\mu\text{m}$  de largura), diâmetro do lume (7-20  $\mu\text{m}$ ), espessura da parede (2-6  $\mu\text{m}$ ) delgada a espessa; raramente septadas. *Canais secretores* eventualmente presente; tubos taníferos nas células radiais. *Inclusões* presentes, pequenos corpos de sílica nas fibras (Tabela 6).

Tabela 6 - Ficha biométrica da madeira de *Acer* sp.

<b>Elementos Anatômicos</b>	<b>Plano de observação</b>	<b>Unid.</b>	$\bar{x}$	s	CV%
<b>Vasos</b>					
Frequência	Transversal	Nº/mm <sup>2</sup>	30	7,27	4,11
Diâmetro tangencial	Transversal	$\mu\text{m}$	57,90	8,55	6,77
Comprimento	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	397,95	55,89	7,12
Espessura da parede	Transversal	$\mu\text{m}$	5,87	1,40	4,18
Diâm./pont. Intervascular	Tangencial	$\mu\text{m}$	9,36	0,85	11,02
Diâm./pont. Raio-vascular	Radial	$\mu\text{m}$	8,61	0,93	9,30
<b>Parênquima radial</b>					
Frequência	Tangencial	Nº/mm	10	2,07	4,78
Altura	Tangencial	$\mu\text{m}$	363,11	246,03	1,48
Largura	Tangencial	Nº/cél.	4	1,90	1,95
<b>Fibras</b>					
Comprimento	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	1041,75	128,19	8,13
Largura total	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	24,80	2,59	9,56
Diâmetro do Lume	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	13,40	2,78	4,81
Espessura da parede	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	5,70	0,89	6,41

A Figura 19 mostra as imagens microscópicas dos planos anatômicas da madeira de *Acer* sp.

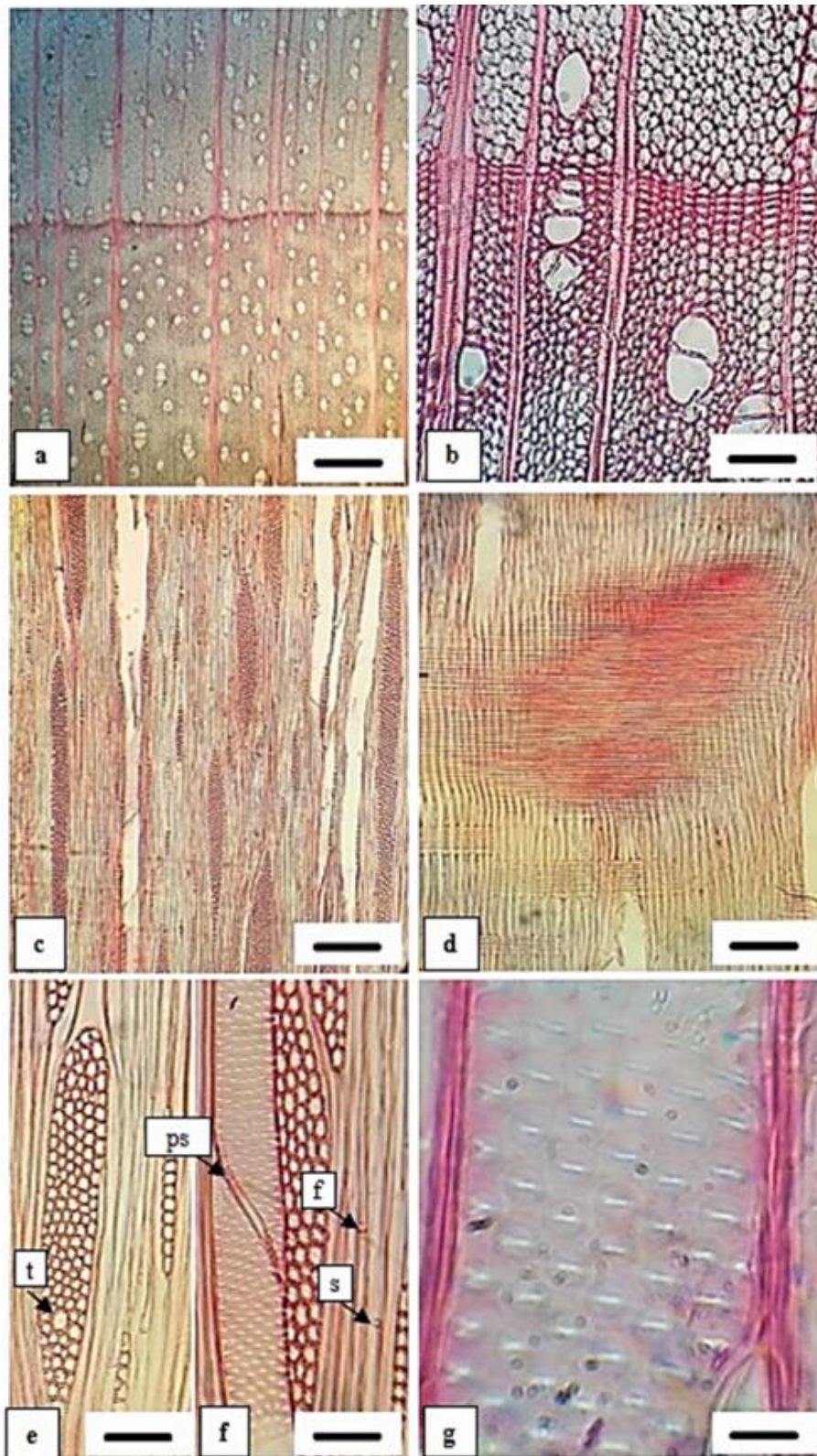


Figura 19 - Fotomicrografias das três seções da espécie *Acer* sp.: a) plano transversal (4x=500  $\mu$ m); b) plano transversal, observa-se camada de crescimento (20x=100  $\mu$ m); c) plano tangencial (10x=200  $\mu$ m); d) plano radial (10x=200  $\mu$ m); e) plano tangencial, destacando tubo tanífero presente no raio (seta) (40x=50  $\mu$ m); f) plano tangencial, destacando placa de perfuração simples (ps), fibra septada (f), pequenos corpos de sílica nas fibras (s) (40x=50  $\mu$ m); g) pontoações intervasculares (100x=20 $\mu$ m). Fonte: Próprio autor.

**Nome científico:** *Cedrela fissilis* Vell.

**Família:** Meliaceae.

**Nome comum:** Cedro canadense, cedro rosa.

**Origem:** Canadá.

**Componente:** Fundo e lateral tradicional).

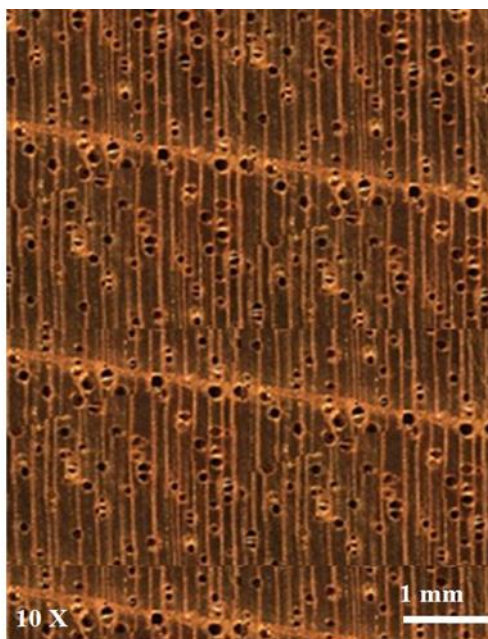


Figura 20 - Seção transversal da madeira de *C. fissilis*, aumento de 10x. Fonte: Própria.

**Características gerais:** Madeira de densidade média (Da: 0,56 g/cm<sup>3</sup>); macia ao corte manual; cerne castanho rosado escuro a castanho avermelhado; cheiro característico; gosto levemente amargo; textura média; grã direita a irregular; superfície com brilho moderado, lustrosa, moderadamente lisa ao tato.

**Descrição macroscópica:** Poros visíveis a olho nu; solitários e múltiplos; arranjo em anel semi-poroso; muito poucos a pouco numerosos; médios a grandes; formato circular a oval; eventualmente abstruídos por substância branca ou óleo-resina. Parênquima axial visível a olho nu; apotraqueal marginal em faixas regulares afastas e contrastadas; paratraqueal vasicêntrico escasso. Raios visíveis a olho nu, finos e pouco numerosos; irregulares em espaçamento; pouco contrastado na face radial; estratificação ausente. Camadas de crescimento visíveis a olho nu; demarcadas pelas faixas do parênquima marginal e pelos poros de maior diâmetro distribuídos uniformemente nos anéis de crescimento.

**Descrição microscópica:** *Vasos* solitários em maioria e múltiplos de até 4; diâmetro médio (114-262  $\mu\text{m}$ ); muito poucos a pouco numerosos (2-6 por  $\text{mm}^2$ ); dispostos em anel semi-poroso; elementos vasculares muito curtos a longos (196-557  $\mu\text{m}$  de comprimento); espessura da parede (3-6  $\mu\text{m}$ ); placa de perfuração simples; pontoações intervasculares areoladas, alternas, poligonal, abertura externa lenticular, diâmetros pequenos (5-7  $\mu\text{m}$ ); pontoações raio-vasculares semelhante a intervasculares em tamanho e forma. *Raios* heterocelulares, formados por células quadradas e procumbentes; multisseriadas com até 5 células de largura, raros unisseriados; poucos frequentes (4-8 por  $\text{mm}$  linear); baixos (160-533  $\mu\text{m}$  de altura); estratificados ausente. *Fibras* libriformes; curtas a longas (1180-1573  $\mu\text{m}$  de comprimento), estreitas a médias (15-32  $\mu\text{m}$  de largura), diâmetro do lume (10-22  $\mu\text{m}$ ), espessura da parede (2-5  $\mu\text{m}$ ) delgada; algumas septadas. *Canais secretores* traumáticos normalmente presente. *Inclusões* presentes, cristais alojados nas células dos raios e em algumas células isoladas (Tabela 7).

Tabela 7 - Ficha biométrica da madeira de *C. fissilis* Vell.

Elementos Anatômicos	Plano de observação	Unid.	$\bar{x}$	s	CV%
<b>Vasos</b>					
Frequência	Transversal	Nº/ $\text{mm}^2$	4	1,22	2,94
Diâmetro tangencial	Transversal	$\mu\text{m}$	191,44	41,71	4,59
Comprimento	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	337,63	104,95	3,22
Espessura da parede	Transversal	$\mu\text{m}$	5,03	0,93	5,39
Diâm./pont. Intervascular	Tangencial	$\mu\text{m}$	6,41	0,83	7,70
Diâm./pont. Raio-vascular	Radial	$\mu\text{m}$	5,82	0,74	7,92
<b>Parênquima radial</b>					
Frequência	Tangencial	Nº/ $\text{mm}$	6	1,36	4,23
Altura	Tangencial	$\mu\text{m}$	340,44	95,55	3,56
Largura	Tangencial	Nº/cél.	4	0,98	4,05
<b>Fibras</b>					
Comprimento	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	1387,25	113,84	12,19
Largura total	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	26,20	4,68	5,59
Diâmetro do Lume	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	17,00	3,61	4,71
Espessura da parede	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	4,60	0,78	5,87

A Figura 21 mostra as imagens microscópicas dos planos anatômicas da madeira de *C. fissilis*.



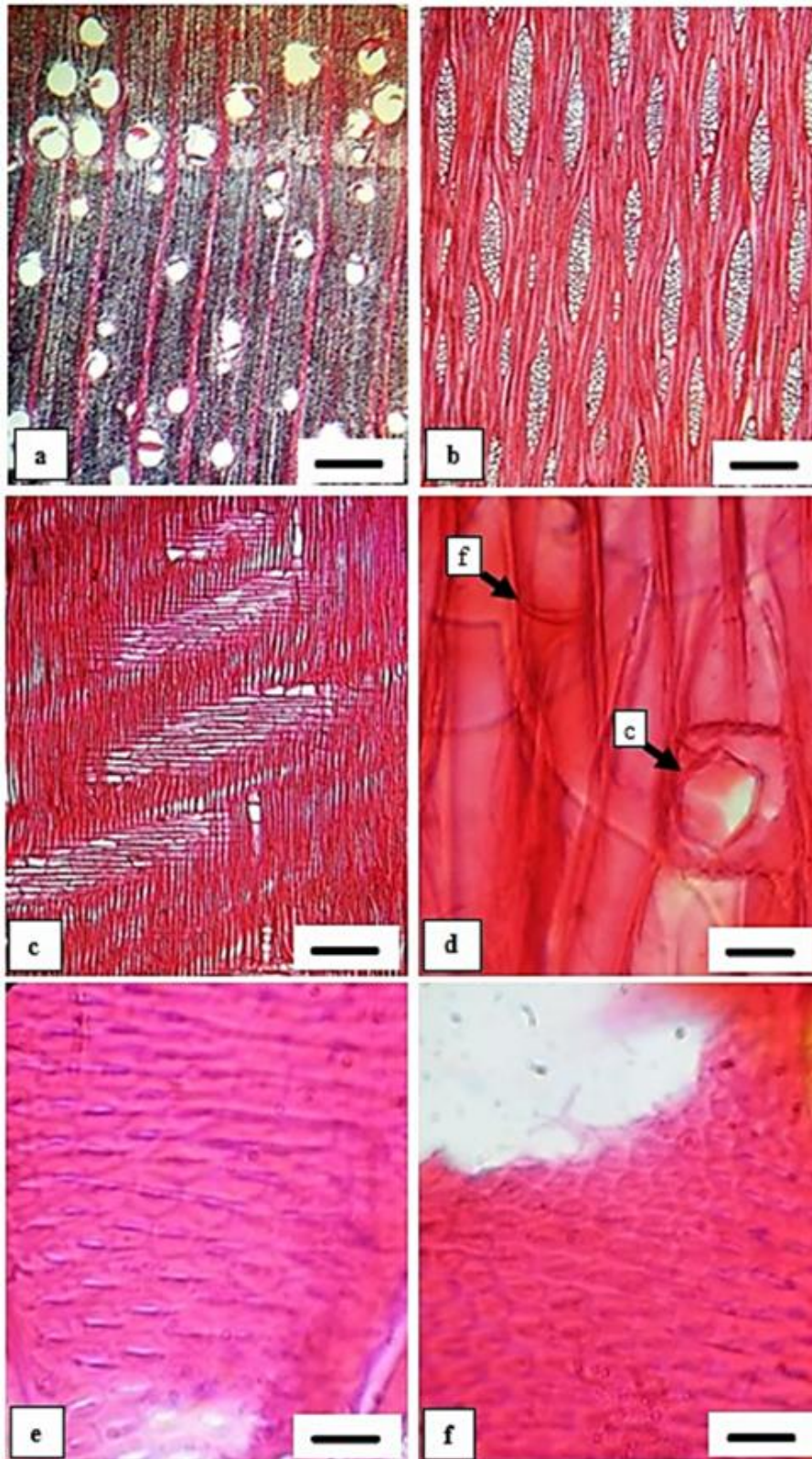


Figura 21 - Fotomicrografias das três seções da espécie *C. fissilis*: a) plano transversal (4x=500  $\mu$ m); b) plano tangencial (10x=200  $\mu$ m); c) plano radial (10x=200  $\mu$ m); d) plano radial, destacando fibra septada (f) (seta), cristal presente na célula do raio (c) (seta) (40x=50  $\mu$ m); e) pontoações intervasculares (100x=20  $\mu$ m); f) pontoações raio-vasculares (100x=20  $\mu$ m). Fonte: Próprio autor.

**Nome científico:** *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth.

**Família:** Fabaceae.

**Nome comum:** Jacarandá indiano, jacarandá da Bahia.

**Origem:** Índia.

**Componente:** Fundo e lateral tradicional).

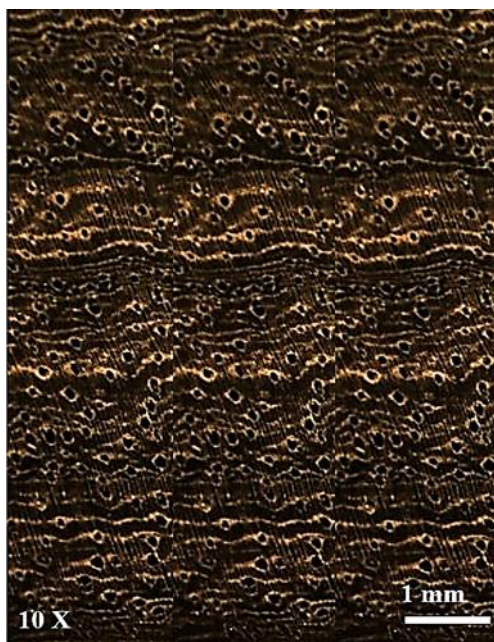


Figura 22 - Seção transversal da madeira de *D. nigra*, aumento de 10x. Fonte: Própria.

**Características gerais:** Madeira pesada (Da: 0,78 g/cm<sup>3</sup>); dura ao corte manual; cerne pardo escuro arroxeado com listras pretas; textura fina a média; grã direita a irregular; sem brilho; cheiro agradável; gosto levemente adocicado; superfície lisa ao tato e lustrosa.

**Descrição macroscópica:** Poros visíveis a olho nu; solitários e múltiplos; arranjo difuso; pouco numerosos; pequenos e médios, parcialmente abstruídos por substância alaranjada ou óleo-resina. Parênquima axial visível somente com auxílio de lente de 10x; disposição variável; em faixas finas que se condensam em mais largas e descontínuas; e ainda paratraqueal aliforme, frequentemente confluyente, envolvendo os vasos de forma irregular. Raios visíveis sob lente de 10x, finíssimos; muito numerosos; extremamente baixos; regulares em espaçamento; pouco contrastado na face radial; estratificados presente. Camadas de crescimento visíveis sob lente de 10x; demarcadas pelas faixas do parênquima marginal.

**Descrição microscópica:** *Vasos* solitários em maioria e múltiplos de até 5; diâmetro pequeno a médio (98-196  $\mu\text{m}$ ); muito poucos a numerosos (2-11 por  $\text{mm}^2$ ); distribuição difusa; elementos vasculares muito curtos a curtos (163-262  $\mu\text{m}$  de comprimento); espessura da parede (3-8  $\mu\text{m}$ ); placa de perfuração simples; pontoações intervascular areolada, alternas, guarnecidas, diâmetro médio (8-10  $\mu\text{m}$ ), contorno circular a oval; pontoações raio-vascular semelhante a intervascular em tamanho e forma. *Raios* homocelulares, formados por células procumbentes; unisseriados e bisseriados; muito frequentes (12-20 por  $\text{mm}$  linear); extremamente baixos (106-153  $\mu\text{m}$  de altura); estratificação presente. *Fibras* libriformes; muito curtas a curtas (868-1278  $\mu\text{m}$  de comprimento), estreita a média (17-30  $\mu\text{m}$  de largura), diâmetro do lume (7-15  $\mu\text{m}$ ), espessura da parede (2-7  $\mu\text{m}$ ) muito espessa; não septadas. *Canais secretores* não foram observados. *Inclusões* presentes, cristais alojados nas células do parênquima axial (Tabela 8).

Tabela 8 - Ficha biométrica da madeira de *D. nigra* (Vell.) Fr. Allem.

<b>Elementos Anatômicos</b>	<b>Plano de observação</b>	<b>Unid.</b>	$\bar{x}$	s	CV%
<b>Vasos</b>					
Frequência	Transversal	Nº/ $\text{mm}^2$	5	2,11	2,49
Diâmetro tangencial	Transversal	$\mu\text{m}$	151,44	29,27	5,17
Comprimento	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	207,83	27,88	7,45
Espessura da parede	Transversal	$\mu\text{m}$	6,12	1,91	3,21
Diâm./pont. Intervasculares	Tangencial	$\mu\text{m}$	9,36	0,90	10,39
Diâm./pont. Raio-vascular	Radial	$\mu\text{m}$	8,61	0,93	9,30
<b>Parênquima radial</b>					
Frequência	Tangencial	Nº/ $\text{mm}$	17	1,94	8,68
Altura	Tangencial	$\mu\text{m}$	129,13	12,01	10,76
Largura	Tangencial	Nº/cél.	2	0,49	3,35
<b>Fibras</b>					
Comprimento	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	1018,80	105,97	9,61
Largura total	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	22,00	2,80	7,87
Diâmetro do Lume	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	10,30	1,95	5,28
Espessura da parede	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	5,85	1,00	5,83

A Figura 23 mostra as imagens microscópicas dos planos anatômicas da madeira de *D. nigra*.



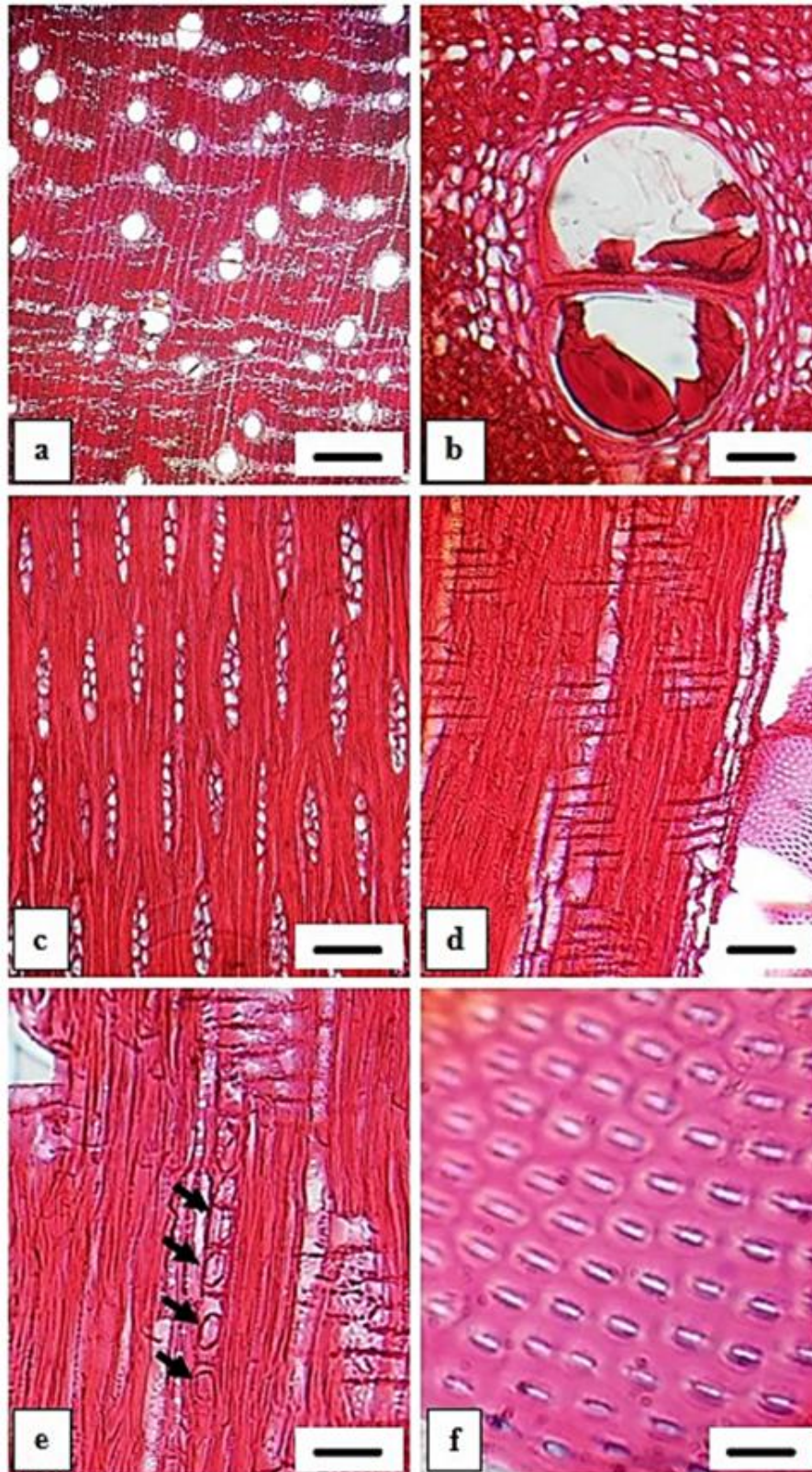


Figura 23 - Fotomicrografias das três seções da espécie *D. nigra*: a) plano transversal (4x=500  $\mu$ m); b) plano transversal destacando vaso obstruído por óleo-resina (20x=100  $\mu$ m); c) plano tangencial, raios estratificados (20x=200  $\mu$ m); d) plano radial (10x=200  $\mu$ m); e) plano radial, destacando cristais presentes nas células do parênquima axial (setas) (40x=50  $\mu$ m); f) pontoações raio-vasculares (10x=200  $\mu$ m). Fonte: Próprio autor.



**Nome científico:** *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don.

**Família:** Bignoniaceae.

**Nome comum:** Caroba, pará-pará.

**Origem:** INPA – Manaus.

**Componente:** Tampo (alternativa).

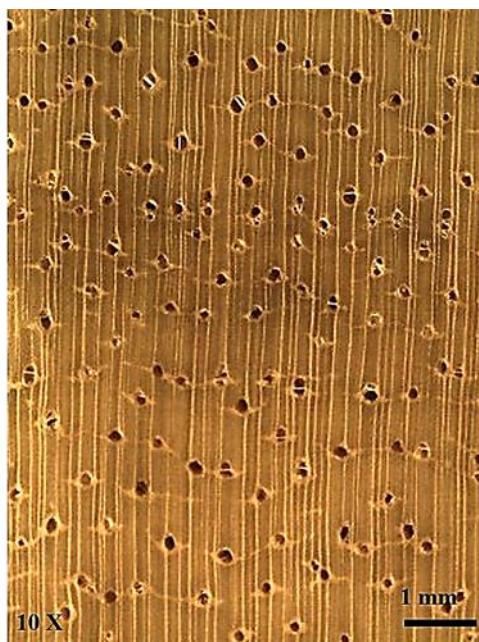


Figura 24 - Seção transversal da madeira de *J. copaia*, aumento de 10x. Fonte: Própria.

**Características gerais:** Madeira leve (Da: 0,41 g/cm<sup>3</sup>); macia ao corte manual; cerne branco palha amarelada; indistinto do alburno; textura média; grã direita; brilho moderado; cheiro e gosto imperceptível.

**Descrição macroscópica:** Poros visíveis a olho nu; solitários e múltiplos; arranjo difuso; médios a grandes; circular; frequência baixa; aparentemente desobstruídos. Parênquima axial visível a olho nu; paratraqueal aliforme estreito com extensões longas, muitas vezes confluentes. Raios visíveis a olho nu; pouco numerosos; médios a finos; baixos; irregulares em espaçamento; contrastado na face radial, estratificados ausente. Camadas de crescimento distintas sob lente de 10x, demarcadas por zonas fibrosas levemente mais escuras.

**Descrição microscópica:** Vasos solitários em maioria e múltiplos de até 5; diâmetro médio a grande (147-245 µm); muito poucos a poucos numerosos (1-9 por mm<sup>2</sup>);

distribuição difusa; elementos vasculares curtos a muito longos (327-819  $\mu\text{m}$  de comprimento); espessura da parede (3-7  $\mu\text{m}$ ); placa de perfuração simples; pontoações intervascular areolada, alternas e opostas, circular, contorno poligonal, diâmetro pequeno a médio (5-9  $\mu\text{m}$ ); abertura externa lenticular; pontoações raio-vascular semelhante a intervascular em tamanho e forma. *Raios* homocelulares, formados por células procumbentes; alguns com aspecto de células quadradas; multisseriados com 4 células de largura; poucos frequentes (5-9 por mm linear); baixos (213-733  $\mu\text{m}$  de altura); estratificação ausente. *Fibras* libriformes; muito curtas a curtas (885-1491  $\mu\text{m}$  de comprimento), estreitas a médias (22-40  $\mu\text{m}$  de largura), diâmetro do lume (15-32  $\mu\text{m}$ ), espessura da parede (2-6  $\mu\text{m}$ ) muito delgada; não septadas. *Canais secretores* não foram observados. *Inclusões* não foram observadas (Tabela 9).

Tabela 9 - Ficha biométrica da madeira de *J. Copaia* (Aubl.) D. Don.

<b>Elementos Anatômicos</b>	<b>Plano de observação</b>	<b>Unid.</b>	$\bar{x}$	s	CV%
<b>Vasos</b>					
Frequência	Transversal	N <sup>o</sup> /mm <sup>2</sup>	3	1,76	1,59
Diâmetro tangencial	Transversal	$\mu\text{m}$	200,61	29,27	6,85
Comprimento	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	613,64	126,70	4,84
Espessura da parede	Transversal	$\mu\text{m}$	4,45	1,18	3,76
Diâm./pont. Intervascular	Tangencial	$\mu\text{m}$	7,86	1,09	7,24
Diâm./pont. Raio-vascular	Radial	$\mu\text{m}$	6,82	1,09	6,28
<b>Parênquima radial</b>					
Frequência	Tangencial	N <sup>o</sup> /mm	7	1,00	7,00
Altura	Tangencial	$\mu\text{m}$	454,09	136,53	3,33
Largura	Tangencial	N <sup>o</sup> /cél.	3	0,60	5,20
<b>Fibras</b>					
Comprimento	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	1237,77	151,78	8,15
Largura total	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	30,20	4,33	6,98
Diâmetro do Lume	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	22,80	4,80	4,75
Espessura da parede	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	3,70	1,11	3,33

A Figura 25 mostra as imagens microscópicas dos planos anatômicas da madeira de *J. Copaia*.

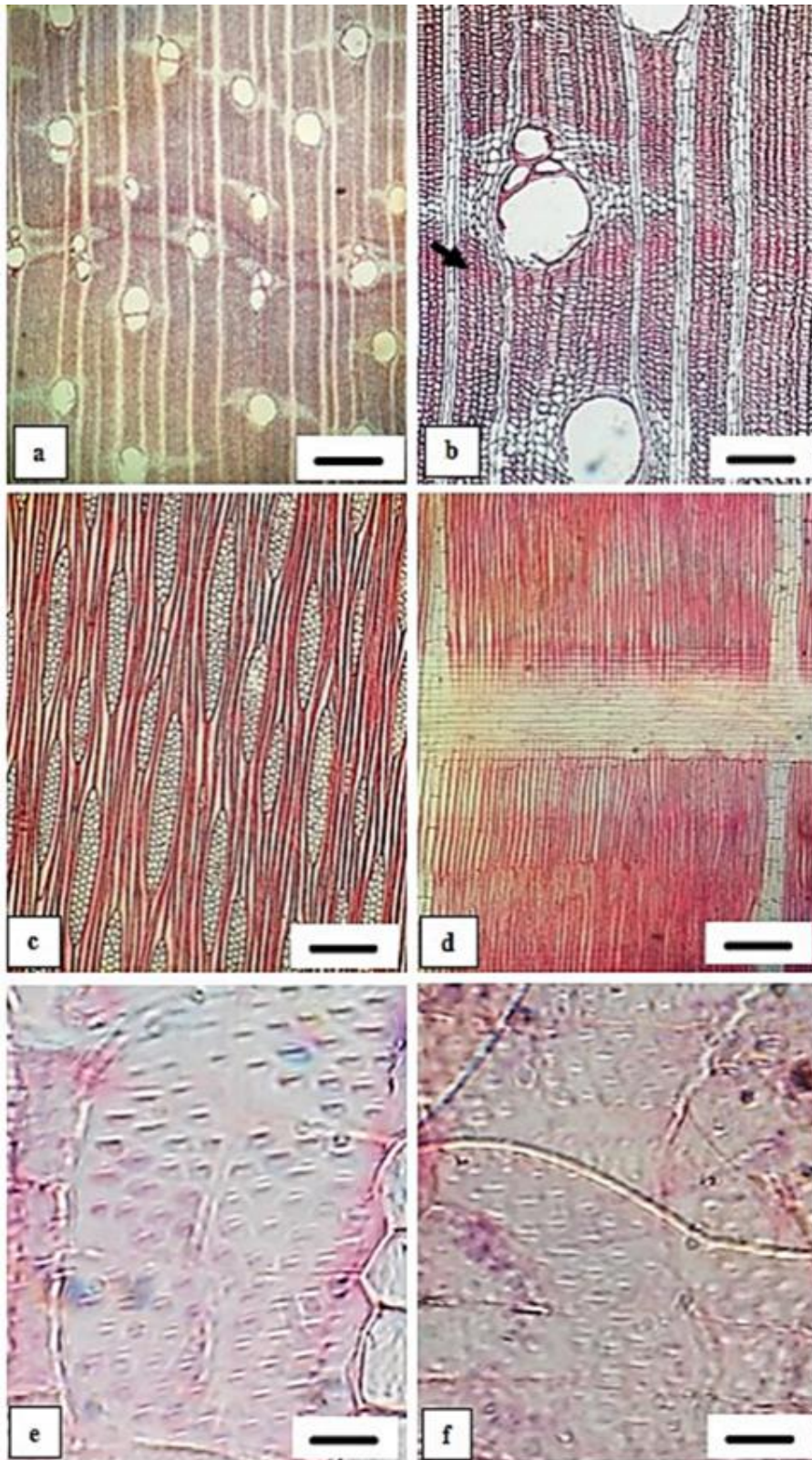


Figura 25 - Fotomicrografias das três seções da espécie *J. Copaia*: a) plano transversal (4x=500  $\mu$ m); b) plano transversal, destacando zona fibrosa (10x=200  $\mu$ m); c) plano tangencial (10x=200  $\mu$ m); d) plano radial (10x=200  $\mu$ m); e) pontoações intervasculares (100x=20 $\mu$ m); f) pontoações raio-vasculares (100x=20 $\mu$ m). Fonte: Próprio autor.



**Nome científico:** *Simarouba amara* Aubl.

**Família:** Simaroubaceae.

**Nome comum:** Marupá, caixeta.

**Origem:** Cruzeiro do Sul – Acre.

**Componente:** Tampo (alternativa).



Figura 26 - Seção transversal da madeira de *S. amara*, aumento de 10x. Fonte: Própria.

**Características gerais:** Madeira muito leve (Da: 0,37 g/cm<sup>3</sup>); macia ao corte manual; cerne indistinto do alburno, branco amarelado claro; cheiro e gosto imperceptível; brilho moderado; textura média; grã direita; superfície lisa ao tato.

**Descrição macroscópica:** Poros visíveis a olho nu; solitários e múltiplos; distribuição difusa uniforme; médios a grandes; frequência baixa; aparentemente desobstruídos. Parênquima axial visível a olho nu; paratraqueal aliforme simples e confluyente em trechos finos e longos. Raios visíveis a olho nu; pouco numerosos; finos; baixos; regulares em espaçamento; pouco contrastado na face radial. Camadas de crescimento distintas sob lente de 10x, quando presentes são demarcados por zonas fibrosas tangenciais, levemente mais escura.

**Descrição microscópica:** Vasos solitários em maioria e múltiplos de até 4; diâmetro médio a grande (114-327 µm); muito poucos a pouco numerosos (1-7 por mm<sup>2</sup>); arranjo

difuso; elementos vasculares curtos a longos (344-753  $\mu\text{m}$  de comprimento); espessura da parede (3-6  $\mu\text{m}$ ); placa de perfuração simples; pontoações intervasculares areoladas, opostas e alternas, circular, contorno poligonal, abertura externa lenticular, não guarnecida, diâmetros pequenos e médios (6-9  $\mu\text{m}$ ); pontoações raio-vasculares semelhante a intervasculares em tamanho e forma. Raios homocelulares, formados exclusivamente por células procumbentes; multisseriados predominantes, com 4 células de largura, raros unisseriados; poucos frequentes (2-6 por mm linear); baixos (196-655  $\mu\text{m}$  de altura); estratificação presente. Fibras libriformes; muito curtas a curtas (854-1520  $\mu\text{m}$  de comprimento), estreita a média (20-40  $\mu\text{m}$  de largura), diâmetro do lume (10-35  $\mu\text{m}$ ), espessura da parede (2-5  $\mu\text{m}$ ) muito delgada; não septadas. Canais secretores traumáticos normalmente presente; máculas medulares pequenas. Inclusões presentes, cristais alojados nas células do parênquima axial. Estratificação completa, abrangendo o parênquima axial, os raios, as fibras e os elementos vasculares; irregular em algumas amostras (Tabela 10).

Tabela 10 - Ficha biométrica da madeira de *S. amara* Aubl.

Elementos Anatômicos	Plano de observação	Unid.	$\bar{x}$	s	CV%
<b>Vasos</b>					
Frequência	Transversal	Nº/mm <sup>2</sup>	3	1,26	2,61
Diâmetro tangencial	Transversal	$\mu\text{m}$	222,69	39,97	5,57
Comprimento	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	520,33	128,58	4,05
Espessura da parede	Transversal	$\mu\text{m}$	4,85	1,18	4,10
Diâm./pont. Intervascular	Tangencial	$\mu\text{m}$	7,67	0,99	7,74
Diâm./pont. Raio-vascular	Radial	$\mu\text{m}$	7,41	0,99	7,47
<b>Parênquima radial</b>					
Frequência	Tangencial	Nº/mm	4	0,82	4,38
Altura	Tangencial	$\mu\text{m}$	469,85	125,41	3,75
Largura	Tangencial	Nº/cél.	3	0,90	2,98
<b>Fibras</b>					
Comprimento	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	1128,15	128,63	8,77
Largura total	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	26,13	5,50	4,75
Diâmetro do Lume	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	18,20	5,66	3,22
Espessura da parede	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	3,97	1,15	3,45

A Figura 27 mostra as imagens microscópicas dos planos anatômicas da madeira de *S. amara*.

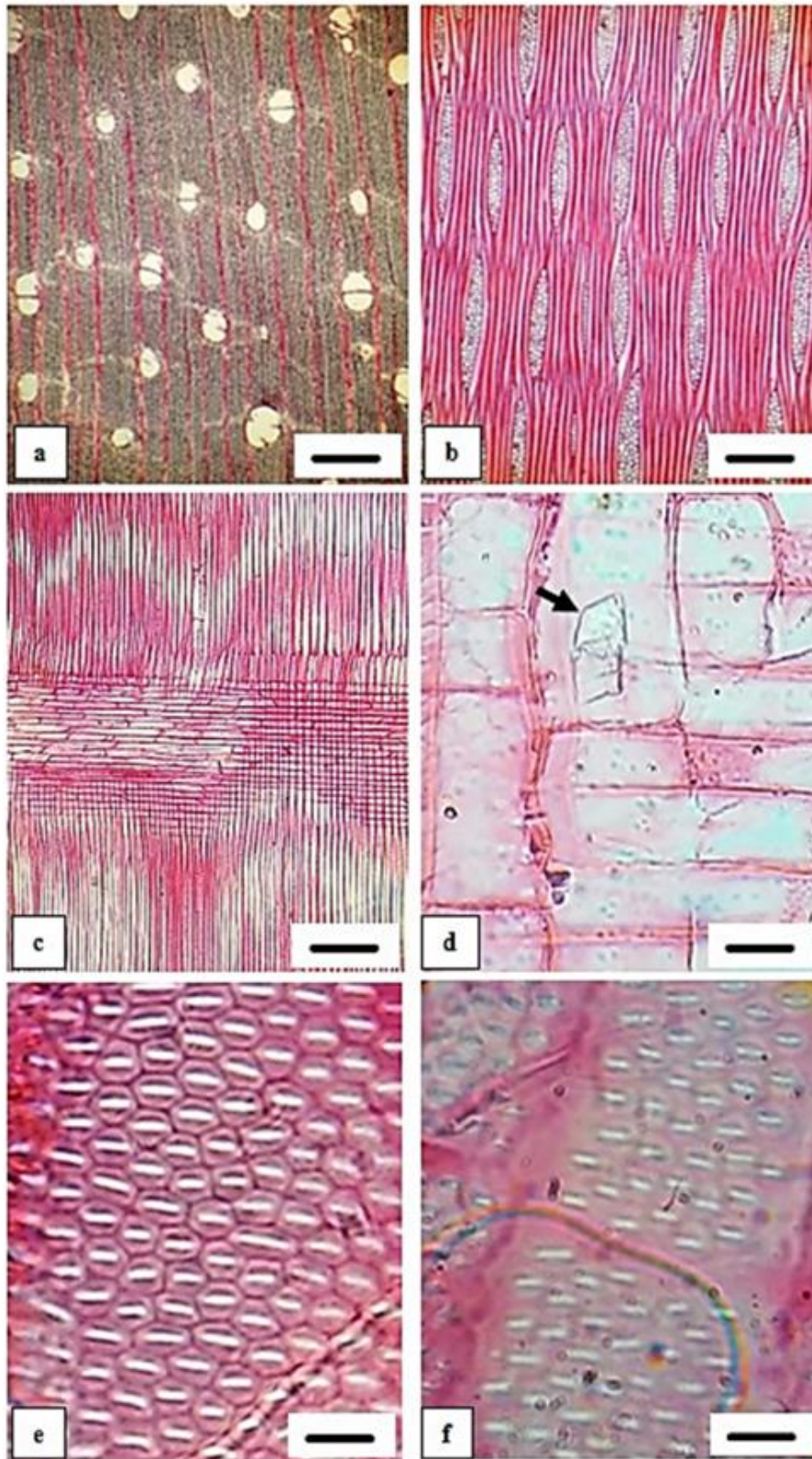


Figura 27 - Fotomicrografias das três seções da espécie *S. amara*: a) plano transversal (4x=500  $\mu$ m); b) plano tangencial, com estratificação dos raios (20x=100  $\mu$ m); c) plano radial (10x=200  $\mu$ m); d) plano radial, destacando cristais presentes nas células do parênquima axial (seta) (40x=50  $\mu$ m); e) pontoações intervasculares (100x=20  $\mu$ m); f) pontoações raio-vasculares (100x=20 $\mu$ m). Fonte: Próprio autor.

**Nome científico:** *Brosimum rubescens* Taub.

**Família:** Moraceae.

**Nome comum:** Muirapiranga, pau-rainha.

**Origem:** Cruzeiro do Sul – Acre.

**Componente:** Fundo e lateral (alternativa).



Figura 28 - Seção transversal da madeira de *B. rubescens*, aumento de 10x. Fonte: Própria.

**Características gerais:** Madeira pesada (Da: 1,16 g/cm<sup>3</sup>); dura ao corte transversal manual; cerne avermelhado escuro, brilhante; alburno creme; grã direita para pouco reversa; textura fina a média; cheiro e gosto imperceptível; superfície lisa e lustrosa.

**Descrição macroscópica:** Poros visíveis apenas com lente de 10x; solitários e múltiplos; distribuição difusa; pequenos à grandes; formato circular a oval; maioria obstruídos por tilos abundantes. Parênquima axial visível apenas com auxílio de lente de 10x; paratraqueal aliforme simples com extensões curtas e finas; raramente confluyente. Raios visíveis com auxílio de lente de 10x, nos planos transversal e tangencial; poucos; baixos; contrastados na face radial, distribuição irregular no plano tangencial. Camadas de crescimento visíveis sob lente de 10x; demarcadas por zonas fibrosas levemente mais escuras.



**Descrição microscópica:** *Vasos* solitários em sua maioria e múltiplos de até 5; diâmetro pequenos à grande (65-245  $\mu\text{m}$ ); poucos a numerosos (3-11 por  $\text{mm}^2$ ); dispostos em padrão não definido; elementos vasculares muito curtos a longos (295-655  $\mu\text{m}$  de comprimento); espessura da parede (3-7  $\mu\text{m}$ ); placa de perfuração simples; pontoações intervasculares areoladas, opostas e alternas, poligonais, diâmetros pequenos e médios (5-8  $\mu\text{m}$ ), aberturas inclusas; pontoações raio-vasculares semelhante a intervasculares em tamanho e forma. *Raios* heterocelulares, formados por células eretas e quadradas; multisseriados com 3 a 5 células na largura, unisseriados raros; alguns fusionamentos; pouco numerosos a numerosos (5-9 por  $\text{mm}$  linear); baixos (163-704  $\mu\text{m}$  de altura); estratificação ausente. *Fibras* libriformes; curtas (983-1589  $\mu\text{m}$  de comprimento), estreitas a médias (12-25  $\mu\text{m}$  de largura), diâmetro do lume (5-12  $\mu\text{m}$ ), espessura da parede (2-6  $\mu\text{m}$ ) espessa; não septadas. *Canais secretores* presentes; muito frequentes, tubos taníferos nas células radiais. Inclusões pouco frequentes, cristais alojados nas células radiais. *Tilos* presentes, obstruindo total ou parcialmente o vaso (Tabela 11).

Tabela 11 - Ficha biométrica da madeira de *B. rubescens* Taub.

Elementos Anatômicos	Plano de observação	Unid.	$\bar{x}$	s	CV%
<b>Vasos</b>					
Frequência	Transversal	Nº/ $\text{mm}^2$	6	1,95	3,31
Diâmetro tangencial	Transversal	$\mu\text{m}$	160,62	37,24	4,31
Comprimento	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	489,30	101,56	4,82
Espessura da parede	Transversal	$\mu\text{m}$	5,95	1,26	4,72
Diâm./pont. Intervascular	Tangencial	$\mu\text{m}$	6,80	1,23	5,53
Diâm./pont. Raio-vascular	Radial	$\mu\text{m}$	6,03	0,81	7,41
<b>Parênquima radial</b>					
Frequência	Tangencial	Nº/ $\text{mm}$	7	1,20	6,19
Altura	Tangencial	$\mu\text{m}$	363,20	89,57	4,05
Largura	Tangencial	Nº/cél.	3	0,93	3,49
<b>Fibras</b>					
Comprimento	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	1377,42	137,75	10,00
Largura total	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	18,07	2,71	6,66
Diâmetro do Lume	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	7,27	2,22	3,27
Espessura da parede	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	5,40	0,75	7,24

A Figura 29 mostra as imagens microscópicas dos planos anatômicas da madeira de *B. rubescens*.



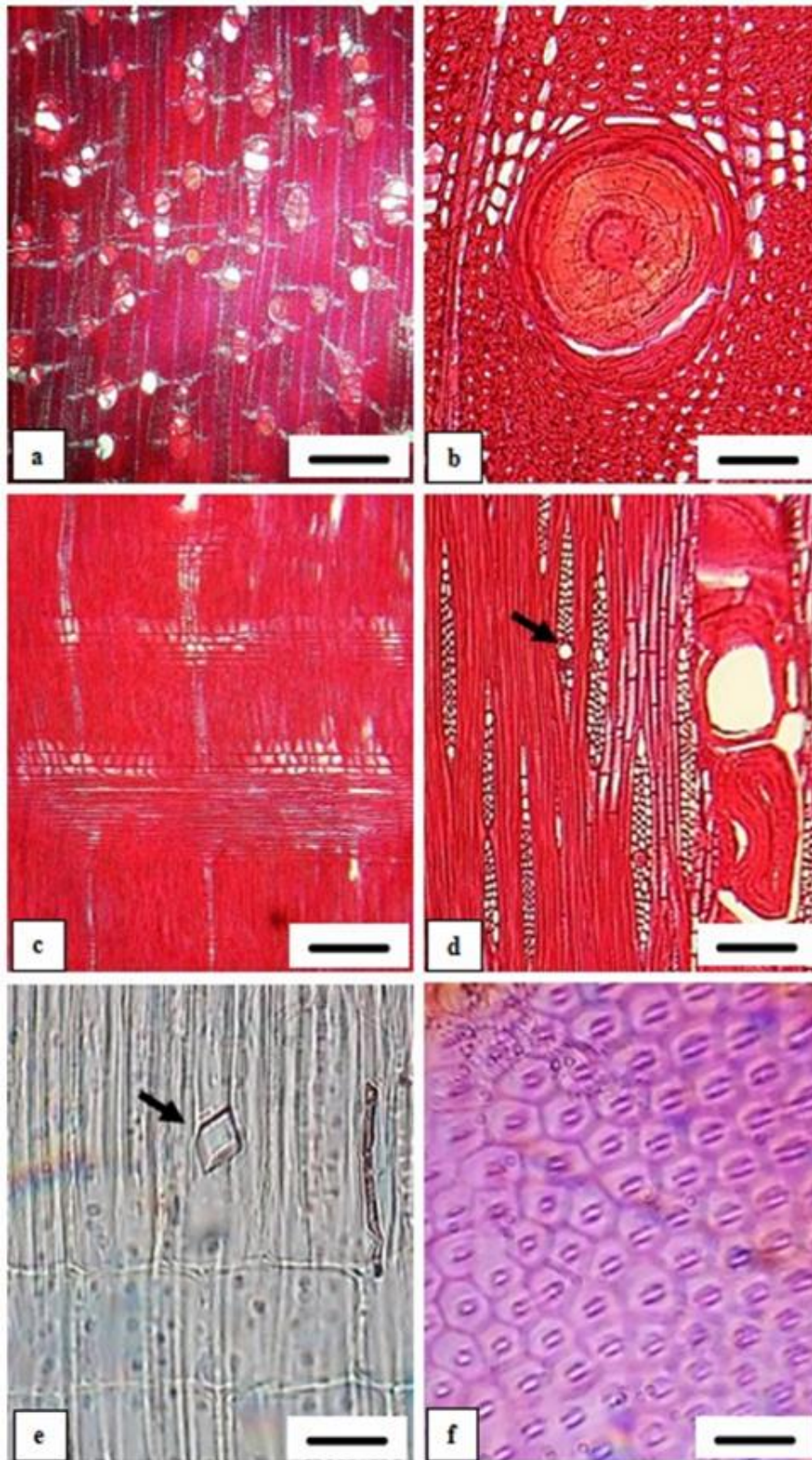


Figura 29 - Fotomicrografias das três seções da espécie *B. rubescens*: a) plano transversal (4x=500 μm); b) plano transversal, destacando vaso obstruído por tilo (20x=100 μm); c) plano radial, (10x=200 μm); d) plano tangencial, destacando tubo tanífero presente no raio (seta) (20x=100 μm); e) plano radial, destacando cristais presentes nas células radiais (seta) (40x=50 μm); f) pontoações intervasculares (100x=20μm).  
 Fonte: Próprio autor.

**Nome científico:** *Cariniana decandra* Ducke.

**Família:** Lecythidaceae.

**Nome comum:** Tauarí, tauarí-vermelho.

**Origem:** Cruzeiro do Sul – Acre.

**Componente:** Fundo e lateral (alternativa).



Figura 30 - Seção transversal da madeira de *C. decandra*, aumento de 10x. Fonte: Própria.

**Características gerais:** Madeira moderadamente pesada (Da: 0,66 g/cm<sup>3</sup>); macia ao corte transversal manual; cerne bege rosado ao bege acastanhado, pouco distinto do alburno bege claro; quando seca ao ar, a madeira muda a coloração a um castanho claro; brilho moderado; cheiro e gosto imperceptível; textura fina a média; grã direita; superfície lisa ao tato.

**Descrição macroscópica:** Poros visíveis apenas com lente de 10x; solitários e múltiplos; distribuição difusa; pequenos e médios; circulares a ligeiramente ovalados; muito poucos a numerosos; alguns obstruídos por substância esbranquiçada ou goma. Parênquima axial visível com lente de 10x; em linhas finas, aproximadas e irregulares formando retículos entre os raios. Raios visíveis com auxílio de lente de 10x, finos e numerosos a muito numerosos; baixos; irregulares em espaçamento; pouco contrastados na face radial. Camadas de crescimento visíveis sob lente de 10x; demarcadas por zonas fibrosas mais escuras e pelo afastamento das linhas de parênquima.

**Descrição microscópica:** Vasos solitários em sua maioria e múltiplos de até 6; diâmetro pequeno a médio (81-213  $\mu\text{m}$ ); muito poucos a numerosos (2-15 por  $\text{mm}^2$ ); distribuição difusa; elementos vasculares curtos a muito longos (376-835  $\mu\text{m}$  de comprimento); espessura da parede (3-9  $\mu\text{m}$ ); placa de perfuração simples; pontoações intervasculares areoladas, opostas e alternas, circulares a irregulares, contorno poligonal, diâmetros pequenos a grandes (7-12  $\mu\text{m}$ ), abertura inclusa; pontoações raio-vasculares semelhante a intervasculares em tamanho e forma. Raios homocelulares, formados por células procumbentes; raramente heterocelulares; unisseriados predominantes, raros bisseriados; numerosos a muito numerosos (6-13 por  $\text{mm}$  linear); baixos (98-524  $\mu\text{m}$  de altura); não estratificados. Fibras libriformes; curtas a longas (1229-1966  $\mu\text{m}$  de comprimento), estreita a média (17-30  $\mu\text{m}$  de largura), diâmetro do lume (7-17  $\mu\text{m}$ ), espessura da parede (3-8  $\mu\text{m}$ ) delgada a espessa; não septadas. Canais secretores presentes, depósitos de gomas nas células dos vasos; tubos taníferos nas células radiais. Inclusões presentes, muito frequentes; cristais alojados nas células dos raios e do parênquima axial; pequenos corpos de sílica nas células dos raios (Tabela 12).

Tabela 12 - Ficha biométrica da madeira de *C. decandra* Ducke.

<b>Elementos Anatômicos</b>	<b>Plano de observação</b>	<b>Unid.</b>	$\bar{x}$	s	CV%
<b>Vasos</b>					
Frequência	Transversal	Nº/ $\text{mm}^2$	5	2,39	2,06
Diâmetro tangencial	Transversal	$\mu\text{m}$	146,85	29,45	4,99
Comprimento	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	617,14	118,08	5,23
Espessura da parede	Transversal	$\mu\text{m}$	6,37	1,26	5,07
Diâm./pont. Intervascular	Tangencial	$\mu\text{m}$	10,09	1,47	6,84
Diâm./pont. Raio-vascular	Radial	$\mu\text{m}$	9,40	1,39	6,75
<b>Parênquima radial</b>					
Frequência	Tangencial	Nº/ $\text{mm}$	9	1,64	5,60
Altura	Tangencial	$\mu\text{m}$	304,42	90,22	3,37
Largura	Tangencial	Nº/cél.	1	0,28	3,90
<b>Fibras</b>					
Comprimento	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	1501,54	175,37	8,56
Largura total	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	25,63	2,94	8,73
Diâmetro do Lume	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	13,13	3,26	4,02
Espessura da parede	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	6,23	1,06	5,89

A Figura 31 mostra as imagens microscópicas dos planos anatômicas da madeira de *C. decandra*.



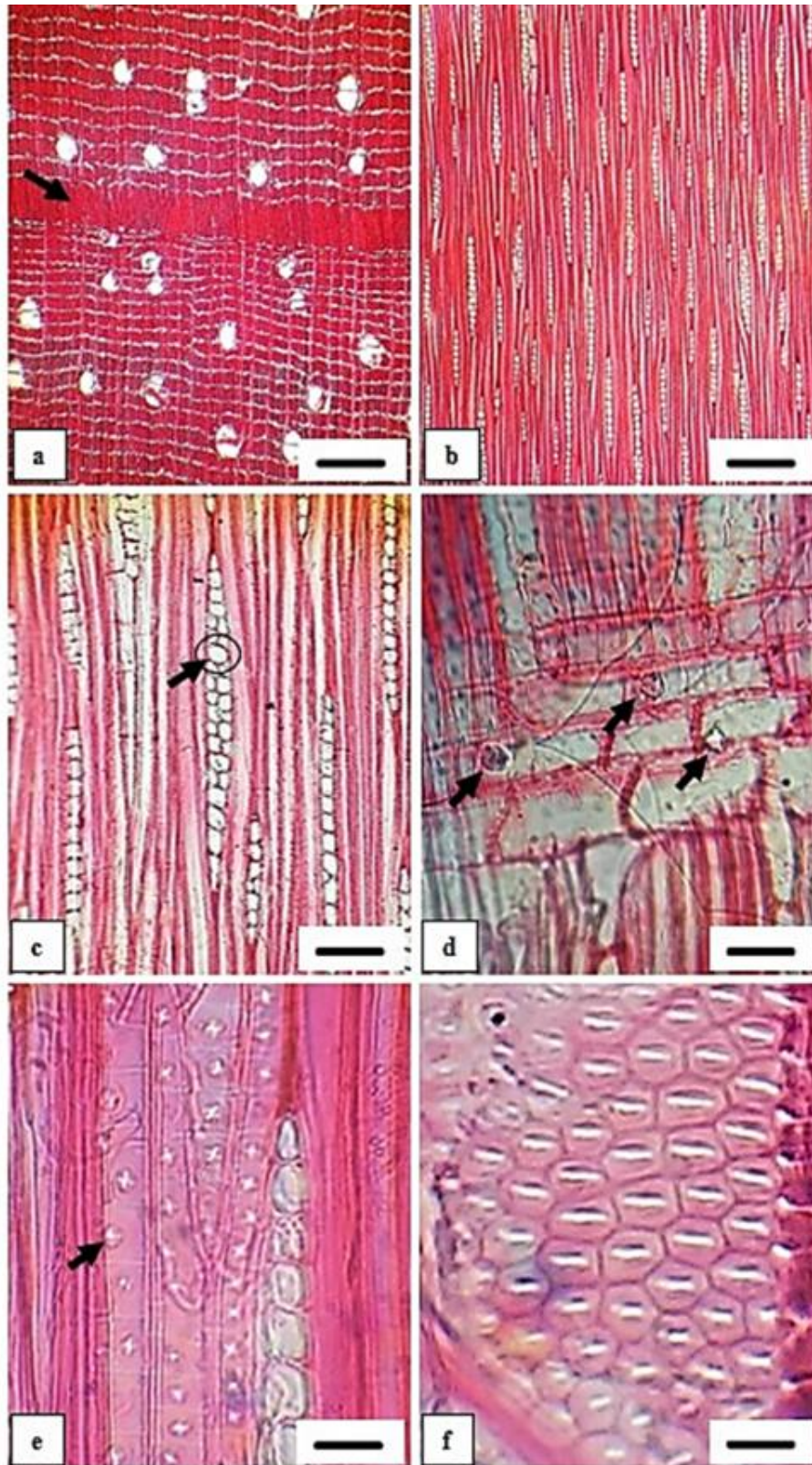


Figura 31 - Fotomicrografias das três seções da espécie *C. decandra*: a) plano transversal, destacando zonas fibrosas (seta) (4x=500  $\mu\text{m}$ ); b) plano tangencial (4x=500  $\mu\text{m}$ ); c) plano tangencial, destacando tubo tanífero presente no raio (seta) (20x=100  $\mu\text{m}$ ); d) plano radial, destacando pequenos corpos de sílica nas células radiais (seta) (20x=100  $\mu\text{m}$ ); e) plano tangencial, destacando cristais presentes nas células do parênquima axial (seta) (40x=50  $\mu\text{m}$ ); f) pontoações intervasculares (100x=20 $\mu\text{m}$ ). Fonte: Próprio autor.

**Nome científico:** *Cedrela odorata* L.

**Família:** Meliaceae.

**Nome comum:** Cedro vermelho, cedro rosa.

**Origem:** Cruzeiro do Sul – Acre.

**Componente:** Fundo e lateral (alternativa).

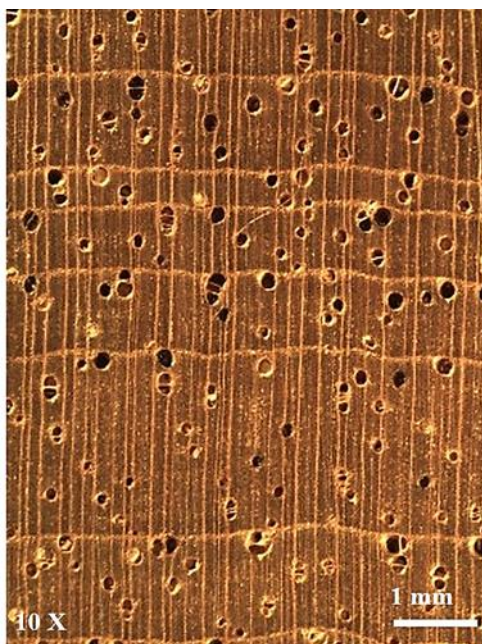


Figura 32 - Seção transversal da madeira de *C. odorata*, aumento de 10x. Fonte: Própria.

**Características gerais:** Madeira de densidade média (Da: 0,56 g/cm<sup>3</sup>); macia ao corte manual; cerne castanho rosado claro a castanho avermelhado; alburno rosa pálido; grã direita; textura fina a média; cheiro agradável bem característico; gosto levemente amargo; superfície lustrosa.

**Descrição macroscópica:** Poros visíveis a olho nu; solitários e múltiplos; muito poucos a pouco numerosos; pequenos a grandes, frequentemente distribuídos em anéis porosos; formato circular a oval; alguns obstruídos por substância esbranquiçada ou óleo-resina. Parênquima axial visível a olho nu; apotraqueal marginal em faixas regulares, afastas e contrastadas; paratraqueal vasicêntrico escasso. Raios visíveis a olho nu, finos e pouco numerosos; irregulares em espaçamento; pouco contrastado na face radial; estratificação ausente. Camadas de crescimento visíveis a olho nu; demarcadas pelas faixas do parênquima marginal e pelos poros de maior diâmetro distribuídos uniformemente nos anéis de crescimento.

**Descrição microscópica:** *Vasos* solitários em maioria e múltiplos de até 4; diâmetro pequeno a grande (98-262  $\mu\text{m}$ ); muito poucos a pouco numerosos (1-9 por  $\text{mm}^2$ ); frequentemente dispostos em anéis porosos; elementos vasculares curtos a longos (327-655  $\mu\text{m}$  de comprimento); espessura da parede (3-7  $\mu\text{m}$ ); placa de perfuração simples; pontoações intervasculares areoladas, alternas, poligonal, abertura externa lenticular, diâmetros pequenos a médios (4-9  $\mu\text{m}$ ); pontoações raio-vasculares semelhante a intervasculares em tamanho e forma. *Raios* heterocelulares, formados por células quadradas e procumbentes; multisseriadas com até 4 células de largura, trisseriadas predominantes, raros unisseriados; poucos frequentes (3-8 por  $\text{mm}$  linear); baixos (145-479  $\mu\text{m}$  de altura); estratificados ausente. *Fibras* libriformes; curtas a longas (1048-1720  $\mu\text{m}$  de comprimento), estreitas a médias (20-37  $\mu\text{m}$  de largura), diâmetro do lume (12-27  $\mu\text{m}$ ), espessura da parede (2-5  $\mu\text{m}$ ) delgada; não septadas. *Canais secretores* traumáticos normalmente presente. *Inclusões* presentes, cristais alojados nas células dos raios e do parênquima axial (Tabela 13).

Tabela 13 - Ficha biométrica da madeira de *C. odorata* L.

Elemento Anatômico	Plano de observação	Unid.	$\bar{x}$	s	CV%
<b>Vasos</b>					
Frequência	Transversal	Nº/ $\text{mm}^2$	4	1,76	2,23
Diâmetro tangencial	Transversal	$\mu\text{m}$	163,03	39,77	4,10
Comprimento	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	460,23	73,24	6,28
Espessura da parede	Transversal	$\mu\text{m}$	5,06	1,07	4,72
Diâm./pont. Intervascular	Tangencial	$\mu\text{m}$	6,45	0,95	6,77
Diâm./pont. Raio-vascular	Radial	$\mu\text{m}$	6,18	0,82	7,56
<b>Parênquima radial</b>					
Frequência	Tangencial	Nº/ $\text{mm}$	5	1,23	4,43
Altura	Tangencial	$\mu\text{m}$	324,67	76,50	4,24
Largura	Tangencial	Nº/cél.	3	0,61	4,84
<b>Fibras</b>					
Comprimento	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	1283,45	130,59	9,83
Largura total	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	27,00	3,88	6,96
Diâmetro do Lume	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	17,33	3,45	5,03
Espessura da parede	Mat. Dissociado	$\mu\text{m}$	4,83	0,63	7,70

A Figura 33 mostra as imagens microscópicas dos planos anatômicas da madeira de *C. odorata*.



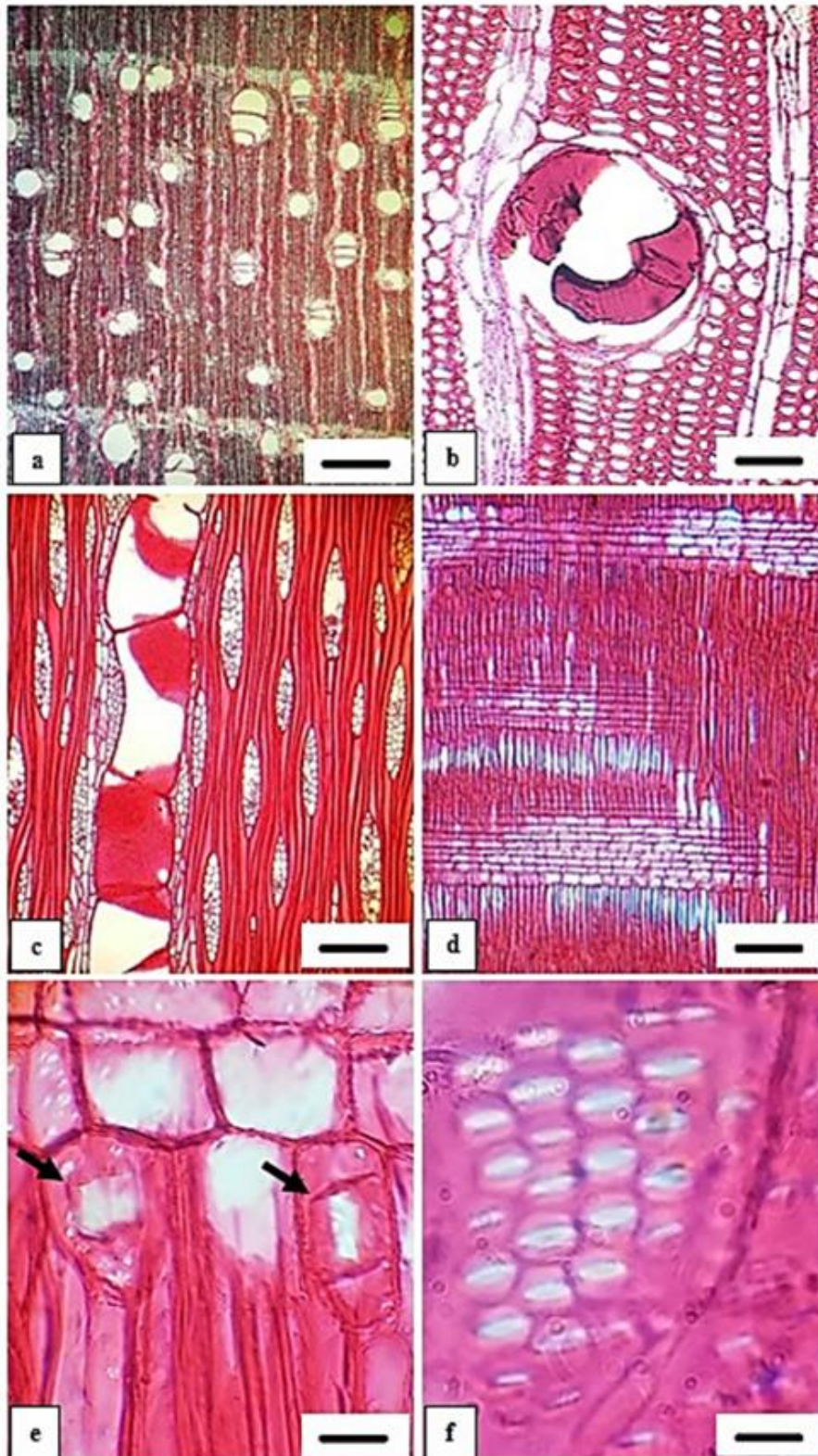


Figura 33 - Fotomicrografias das três seções da espécie *C. odorata*: a) plano transversal (4x=500  $\mu$ m); b) plano transversal, destacando vaso obstruído por óleo-resina (20x=100  $\mu$ m); c) plano tangencial (10x=200  $\mu$ m); d) plano radial (10x=200  $\mu$ m); e) plano radial, destacando cristais presentes nas células dos raios (setas) (40x=50  $\mu$ m); f) pontoações raio-vasculares (100x=20 $\mu$ m). Fonte: Próprio autor.

### 6.2.1 Classes de variação das características anatômicas das madeiras tradicionais e alternativas da Amazônia

Na Tabela 14 são apresentados os aspectos anatômicos das madeiras tradicionais e alternativas em estudo, com a classificação para os diferentes componentes do instrumento.

Tabela 14 - Características gerais para as madeiras estudadas.

Espécie	Cor (cerne)	Textura	Grã	Figura
<b>Tampo</b>				
<i>Picea</i> sp.	Branco amarelada	Média	Direita	Ausente
<i>S. amara</i>	Branco amarelada	Média	Direita	Ausente
<i>J. copaia</i>	Branco palha	Média	Direita	Ausente
<b>Fundo e Lateral</b>				
<i>Acer</i> sp.	Branco rosado	Fina	Direita	Presente
<i>C. fissilis</i>	Castanho rosado	Média	Direita a irregular	Presente
<i>D. nigra</i>	Marrom escuro	Fina a média	Direita a irregular	Presente
<i>B. rubescens</i>	Avermelhado escuro	Fina a média	Direita a reversa	Presente
<i>C. decandra</i>	Bege acastanhado	Fina a média	Direita	Presente
<i>C. odorata</i>	Castanho avermelhado	Fina a média	Direita	Presente

As madeiras para o componente tampo apresentaram coloração clara, textura média, grã direita e ausência de figura. Já, as madeiras do fundo e lateral apresentaram coloração mais escura, textura fina a média, grã direita a irregular e presença de desenho (Tabela 14). Segundo Slooten & Souza (1993), as madeiras utilizadas na confecção de instrumentos musicais devem apresentar, preferencialmente, grã-direita, no entanto, muitas espécies tropicais apresentam grã cruzada ou entrecruzada.

As espécies *S. amara* (marupá) e *B. rubescens* (muirapiranga) já vem sendo utilizadas por fabricantes de instrumentos musicais no estado do Amazonas (Artefatos com Madeiras da Amazônia para Comercialização, 2006). A madeira de *S. amara* é de baixa densidade com grã direita combinada a textura média; é fácil de serrar, aplainar e a



secagem é rápida, praticamente sem defeitos. A madeira de *J. copaia* (caroba) possui características semelhantes ao marupá, porém, apresentou um aspecto felpudo no aplainamento.

*B. rubescens* apresenta cor avermelhado escuro, brilhante e figura lustrosa, alta densidade combinada a uma textura fina a média. É modernamente fácil de serrar e aplainar. Seca com facilidade, apresentando, no entanto, uma tendência a rachar nas extremidades.

*C. decandra* é moderadamente pesada, com grã direta e textura média; apresenta facilidade para serrar e aplainar; é fácil de secar e não apresenta defeitos expressivos. Apresentou tendência a mudar de cor do bege rosado para o bege acastanhado do quando exposta a luz ou ao ar durante a secagem das amostras.

*C. odorata* é uma madeira de baixa densidade com grã direta e textura fina a média, essa combinação lhe confere facilidade para trabalhar, mostrando bons resultados na operação de serragem e aplainamento. É fácil de secar e possui excelente estabilidade dimensional.

As informações quanto a usinagem e secagem foram obtidas no desdobro das toras na área de exploração das indústrias do município de Cruzeiro do Sul – Acre, processamento utilizando o maquinário das empresas, e durante a secagem das tábuas de cada espécie amostrada. Para a madeira da caroba verificou-se essas informações durante esses mesmos processos realizado no INPA.

As espécies alternativas apresentaram características gerais de acordo com os resultados encontrados por Slooten & Souza (1993). Essas características são fundamentais, principalmente por se tratarem de madeiras avaliadas para a confecção de instrumentos musicais, onde a qualidade do acabamento superficial é um fator de grande importância.

A estrutura anatômica da madeira é parte fundamental na compreensão da qualidade final do produto. As características quantitativas dos elementos permitem ressaltar com precisão, as semelhanças entre as espécies.

A Tabela 15 apresenta os valores médios e desvio padrão dos elementos xilemáticos das espécies estudadas e classificação para os diferentes componentes do instrumento. Ressaltando que, para o abeto não foi realizada mensuração dos elementos anatômicos por ser uma madeira de conífera e não possui vasos e fibras; os valores apresentados do parênquima radial para *Picea* sp. são de acordo com Bucur (2006a).

Tabela 15 - Valores médios e desvio padrão dos elementos anatômicos para as espécies tradicionais e alternativas em estudo.

Espécie	CF ( $\mu\text{m}$ )	LF ( $\mu\text{m}$ )	DL ( $\mu\text{m}$ )	EP ( $\mu\text{m}$ )	CV ( $\mu\text{m}$ )	EV ( $\mu\text{m}$ )	DP ( $\mu\text{m}$ )	FP ( $\text{mm}^2$ )	PI ( $\mu\text{m}$ )	PR ( $\mu\text{m}$ )	AR ( $\mu\text{m}$ )	LR (cel.)	FR (mm)
<b>Tampo</b>													
<i>Picea</i> sp.*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	350	3	9
<i>S. amara</i>	1128,15 $\pm$	26,13 $\pm$	18,20 $\pm$	3,97 $\pm$	520,33 $\pm$	4,85 $\pm$	222,69 $\pm$	3,29 $\pm$	7,67 $\pm$	7,41 $\pm$	469,85 $\pm$	2,68 $\pm$	3,60 $\pm$
	128,63	5,50	5,66	1,15	128,58	1,18	39,97	1,26	0,99	0,99	125,41	0,90	0,82
<i>J. copaia</i>	1237,80 $\pm$	30,20 $\pm$	22,80 $\pm$	3,70 $\pm$	613,64 $\pm$	4,45 $\pm$	200,61 $\pm$	2,80 $\pm$	7,86 $\pm$	6,82 $\pm$	454,09 $\pm$	3,12 $\pm$	7,00 $\pm$
	151,78	4,33	4,80	1,11	126,70	1,18	29,27	1,76	1,09	1,09	136,53	0,60	1,00
<b>Fundo e lateral</b>													
<i>Acer</i> sp.	1041,75 $\pm$	24,80 $\pm$	13,40 $\pm$	5,70 $\pm$	397,95 $\pm$	5,87 $\pm$	57,90 $\pm$	29,88 $\pm$	9,36 $\pm$	8,61 $\pm$	363,11 $\pm$	3,72 $\pm$	9,88 $\pm$
	128,19	2,59	2,78	0,89	55,89	1,40	8,55	7,27	0,85	0,93	246,03	1,90	2,07
<i>C. fissilis</i>	1387,25 $\pm$	26,20 $\pm$	17,00 $\pm$	4,60 $\pm$	337,63 $\pm$	5,03 $\pm$	191,44 $\pm$	3,60 $\pm$	6,41 $\pm$	5,82 $\pm$	340,44 $\pm$	3,96 $\pm$	5,76 $\pm$
	113,84	4,68	3,61	0,78	104,95	0,93	41,71	1,22	0,83	0,74	95,55	0,98	1,36
<i>D. nigra</i>	1018,80 $\pm$	22,00 $\pm$	10,30 $\pm$	5,85 $\pm$	207,83 $\pm$	6,12 $\pm$	151,44 $\pm$	5,24 $\pm$	9,36 $\pm$	8,61 $\pm$	129,13 $\pm$	1,64 $\pm$	16,80 $\pm$
	105,97	2,80	1,95	1,00	27,88	1,91	29,27	2,11	0,90	0,93	12,01	0,49	1,94
<i>B. rubescens</i>	1377,42 $\pm$	18,07 $\pm$	7,27 $\pm$	5,40 $\pm$	489,30 $\pm$	5,95 $\pm$	160,62 $\pm$	6,44 $\pm$	6,80 $\pm$	6,03 $\pm$	363,20 $\pm$	3,24 $\pm$	7,41 $\pm$
	137,75	2,71	2,22	0,75	101,56	1,26	37,24	1,95	1,23	0,81	89,57	0,93	1,20
<i>C. decandra</i>	1501,54 $\pm$	25,63 $\pm$	13,13 $\pm$	6,23 $\pm$	617,14 $\pm$	6,64 $\pm$	146,85 $\pm$	4,92 $\pm$	10,09 $\pm$	9,40 $\pm$	304,42 $\pm$	1,12 $\pm$	9,17 $\pm$
	175,37	2,94	3,26	1,06	118,08	1,38	29,45	2,39	1,47	1,39	90,22	0,33	1,64
<i>C. odorata</i>	1283,45 $\pm$	27,00 $\pm$	17,33 $\pm$	4,83 $\pm$	460,23 $\pm$	5,06 $\pm$	163,03 $\pm$	3,92 $\pm$	6,45 $\pm$	6,18 $\pm$	324,67 $\pm$	2,96 $\pm$	5,47 $\pm$
	130,59	3,88	3,45	0,63	73,24	1,07	39,77	1,76	0,95	0,82	76,50	0,61	1,23

CF: Comprimento da Fibra; LF: Largura da Fibra; DL: Diâmetro do Lume; EP: Espessura da Parede da Fibra; CV: Comprimento do Vaso; EV: Espessura da Parede do Vaso; DP: Diâmetro Tangencial do Poro; FP: Frequência do Poro; PI: Diâmetro da Pontoação Intervascular; e PR: Diâmetro da Pontoação Raio-vascular; AR: Altura do Raio; LR: Largura do Raio; FR: Frequência do Raio. \* valores de acordo com Bucur (2006a).

De maneira a possibilitar um maior esclarecimento acerca dos resultados obtidos, buscou-se discutir separadamente as estruturas anatômicas (Tabela 15).

### **Fibras**

Nas madeiras tradicionais, observou-se que o comprimento das fibras em  $\mu\text{m}$  ocorre de muito curtas (até 900  $\mu\text{m}$ ) a curtas (901 - 1600  $\mu\text{m}$ ), com variação até longas (> 1600  $\mu\text{m}$ ) para as alternativas.

Quanto a largura total das fibras são de estreitas (< 24  $\mu\text{m}$ ) a médias (24 - 40  $\mu\text{m}$ ), com fibras mais largas e de maiores diâmetros dos lumens para o tampo. É interessante observar, que as madeiras de *D. nigra* e *B. rubescens* apresentaram fibras mais estreitas e lumens de menores diâmetros.

Em relação à espessura da parede das fibras são delgadas (lume no mínimo 3x a espessura da parede) para o tampo e espessa (lume no máximo 3x a espessura da parede) para fundo e lateral.

### **Vasos**

As espécies tradicionais apresentaram comprimentos dos elementos de vaso entre muito curtos (até 300  $\mu\text{m}$ ) a curtos (301 - 500  $\mu\text{m}$ ); para as alternativas ocorreu até longos (501 - 750  $\mu\text{m}$ ) e muito longos (751 - 1000  $\mu\text{m}$ ).

Em relação ao diâmetro tangencial dos vasos são pequenos (< 100  $\mu\text{m}$ ), médios (101 - 200  $\mu\text{m}$ ) e grandes (> 200  $\mu\text{m}$ ). Destacando a madeira de *Acer* sp. que apresentou em sua totalidade vasos muito curtos (até 300  $\mu\text{m}$ ), com diâmetros pequenos (< 100  $\mu\text{m}$ ) e de maior frequência, classificados como numerosos (> 12 por  $\text{mm}^2$ ).

Observou-se para as madeiras do tampo, a ocorrência de poros de maiores diâmetros, muito poucos frequentes (< 4 por  $\text{mm}^2$ ) a poucos frequentes (4 - 12 por  $\text{mm}^2$ ), quando comparado ao fundo e lateral.

O diâmetro tangencial das pontuações intervasculares e raio-vasculares apresentaram valores pouco conflitantes, com pontuações pequenas (4 - 7  $\mu\text{m}$ ) a médias (8 - 10  $\mu\text{m}$ ) para as madeiras do tampo; e, até grande (11 - 15  $\mu\text{m}$ ) para o fundo e lateral.

### **Raios**

Os parâmetros analisados do parênquima radial mostraram similaridades entre as espécies, quanto à altura de extremamente baixos (< 500  $\mu\text{m}$ ) a baixos (501 - 1000  $\mu\text{m}$ ), assim como na largura, apresentando raios finos (até 2 células de largura) a largos (até 7 células de largura).

A distribuição de frequência dos raios para as madeiras em estudo revelou valores entre muito poucos ( $< 2/\text{mm linear}$ ), poucos (3 -  $4/\text{mm linear}$ ), poucos numerosos (5 -  $7/\text{mm linear}$ ), numerosos (8 -  $10/\text{mm linear}$ ) a muito numerosos ( $> 10/\text{mm linear}$ ).

Cabe destacar a espécie *D. nigra* que apresentou em sua totalidade raios extremamente baixos ( $< 500 \mu\text{m}$ ), finos (até 2 células de largura) e muito numerosos ( $> 10/\text{mm}$ ). *Acer* sp. apresentou raios extremamente baixos ( $< 500 \mu\text{m}$ ) à extremamente altos ( $> 2000 \mu\text{m}$ ), com até 7 células de largura e frequência alta ( $> 10/\text{mm}$ ).

Segundo Longui *et al.* (2011) o comprimento e a direção das fibras, dimensões de vasos e raios, influenciam diretamente na qualidade de aplainar e lixar e, conseqüentemente, o acabamento da madeira. Com base no resultado desse autor, pode-se afirmar que as madeiras alternativas possuem boa qualidade em relação à usinagem, como foi discutido anteriormente.

Ao avaliar as propriedades acústicas das madeiras tradicionais, Spycher *et al.* (2008) verificaram que a madeira de abeto (*Picea abies*) de melhor qualidade de ressonância para tampo de instrumentos, apresentou alto coeficiente de radiação sonora correlacionado com a presença de células com paredes finas. Nesse estudo, observou-se a presença de elementos dos vasos com paredes finas para as madeiras do tampo.

As madeiras alternativas apresentaram parâmetros anatômicos dentro das classes de variação das tradicionais. Entretanto, tais parâmetros devem ser avaliados em conjunto com as propriedades físicas, elásticas e acústicas, para assegurar que as madeiras amazônicas produzirão instrumentos de boa qualidade.

### **6.3 DENSIDADE BÁSICA, RETRATIBILIDADES E COEFICIENTE DE ANISOTROPIA DAS MADEIRAS ALTERNATIVAS DA AMAZÔNIA**

Na Tabela 16 estão apresentados os valores de densidade básica, retratibilidades e coeficiente de anisotropia das cinco espécies alternativas da Amazônia em estudo.

A densidade básica para as espécies alternativas em estudo, variou de leve a pesada, de acordo com a classificação da densidade para madeiras tropicais estabelecida por Melo *et al.* (1990), sendo: madeira leve ( $Db \leq 0,50 \text{ g/cm}^3$ ); madeira média ( $0,50 \text{ g/cm}^3 < Db \leq 0,72 \text{ g/cm}^3$ ) e madeira pesada ( $Db > 0,72 \text{ g/cm}^3$ ).

Dessa forma, as madeiras de *J. copaia*, *S. amara* e *C. odorata* apresentaram densidades baixas, a madeira de *C. decandra* densidade média, e a madeira de e *B. rubescens* densidade alta.

Tabela 16 - Valores médios e desvio padrão da densidade básica, das retratibilidades e do coeficiente de anisotropia das espécies alternativas estudadas para cada componente.

<b>Espécie</b>	<b>Db (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Rt (%)</b>	<b>Rr (%)</b>	<b>CA</b>
<b>Tampo</b>				
<i>Jacaranda copaia</i>	0,35 ± 0,03	9,15 ± 0,96	6,54 ± 0,70	1,40 ± 0,35
<i>Simarouba amara</i>	0,34 ± 0,02	5,92 ± 0,94	3,82 ± 0,65	1,58 ± 0,31
<b>Fundo e lateral</b>				
<i>Brosimum rubescens</i>	1,05 ± 0,04	3,88 ± 0,79	2,80 ± 0,73	1,41 ± 0,20
<i>Cariniana decandra</i>	0,53 ± 0,04	7,34 ± 0,98	5,49 ± 0,85	1,35 ± 0,16
<i>Cedrela odorata</i>	0,48 ± 0,03	5,65 ± 0,82	4,03 ± 0,74	1,42 ± 0,16

Db: Densidade básica; Rt: Retratabilidade Tangencial; Rr: Retratabilidade Radial; CA: Coeficiente de Anisotropia.

A densidade é uma das principais propriedades tecnológicas para a avaliação da qualidade da madeira, pois é a que melhor se correlaciona com as outras propriedades e define o melhor uso (BURGER & RICHTER, 1991; KOLLMANN & COTÊ, 1968).

As madeiras de *J. copaia* e *S. amara* avaliadas para o tampo apresentaram densidade básica menor que as espécies para o fundo e lateral. Este resultado está de acordo com Slooten & Souza (1993), segundo esses autores a densidade básica das espécies de madeira tradicionalmente utilizadas no fabrico de instrumentos musicais é diferente para os vários componentes, ou seja, o peso específico de uma madeira para tampo de um instrumento de corda deve ser menor que o daquela usada para o fundo.

De acordo com Mady (2000) a densidade está relacionada diretamente com a anatomia da espécie, como comprimento, espessura da parede celular, ocorrência e frequência de células, conteúdo celular, presença de inclusões minerais. Glass & Zelinka (2010), salientam que madeiras que apresentam paredes de fibras muito espessas e lume reduzido tendem a apresentar massa específica alta. Já madeira com alta proporção de espaço vazio ocupado pelos vasos e parênquima, geralmente tem menor massa específica.

Neste estudo, as madeiras de *J. copaia*, *S. amara* e *C. odorata* de baixas densidades, apresentaram fibras largas com parede delgadas e elementos de vasos de médio a grande diâmetro que resulta em maior quantidade de espaços intercelulares.

*C. decandra* de densidade média apresentou fibras de parede delgada a espessa e lumens reduzidos, assim como presença de gomas nas células dos vasos, inclusões minerais na forma de cristais e pequenos corpos de sílica.

A madeira de *B. rubescens* de maior densidade básica apresentou nas análises anatômicas, fibras com paredes espessas e lumens estreitos, presença de cristais e tilos obstruindo total ou parcialmente os vasos. Portanto, esses resultados indicam que provavelmente as estruturas anatômicas influenciaram no resultado da densidade básica para as espécies estudadas.

Quanto a retratibilidade da madeira que é um parâmetro muito importante na determinação de sua utilização, as espécies apresentaram bons resultados, observados na relação entre contração tangencial e radial que é denominada de Coeficiente de Anisotropia.

Foram adotados os critérios de avaliação de Durlo & Marchiori (1992), cuja classificação do Coeficiente de Anisotropia é: madeira excelente (1,2-1,5); madeira normal (1,5-2,0) e madeira ruim ( $> 2,0$ ). Segundo esses autores, o coeficiente de anisotropia indica a propensão da madeira à empenamentos e rachaduras e quanto mais próximo de 1, melhor será a estabilidade dimensional da madeira.

As espécies *C. decandra*, *J. copaia*, *B. rubescens* e *C. odorata*, apresentaram coeficiente de anisotropia de 1,35 – 1,40 – 1,41 - 1,42, respectivamente, foram classificadas como madeiras de excelente qualidade. Já a madeira de *S. amara* apresentou CA de 1,58 foi classificada como normal. É importante observar que as espécies de *J. copaia* e *C. decandra*, apesar de apresentarem maiores valores de retratibilidade tangencial e radial, também são as que apresentam menores valores de coeficiente de anisotropia.

Os resultados dos Coeficientes de Anisotropia das espécies em estudo indicam que estas madeiras possuem uma boa estabilidade dimensional, e não deverão apresentar problemas mais graves em seus aproveitamentos como madeira serrada para confecção de instrumentos. Corroborando com Slooten & Souza (1993), que verificaram que as espécies cedro (*Cedrela odorata*), mogno (*Swietenia macrophylla*), urucú da mata (*Bixa arborea*), munguba (*Pachira* spp.), pará-pará (*Jacaranda copaia*) e marupá (*Simarouba amara*) apresentam estabilidades dimensionais melhores ou iguais às das madeiras tradicionais na fabricação de instrumentos musicais de corda.

A avaliação da variação dimensional da madeira permitiu o uso racional da matéria-prima com maior estabilidade, possibilitando a seleção de madeiras mais estáveis. Kollmann & Cotê (1968), afirmam que quanto mais alta a densidade da madeira, maior é a sua contração ou expansão.

Na Tabela 17 são apresentados os valores médios das propriedades físicas no sentido longitudinal, das quatro espécies alternativas da Amazônia coletadas no município de Cruzeiro do Sul. Essa avaliação foi realizada para verificar a viabilidade de utilização de madeira em qualquer posição do tronco da árvore para quaisquer finalidade de uso. A espécie caroba (*J. copaia*) não foi analisada nesse aspecto devido ao não acesso à todo o fuste da árvore naturalmente caída no campus do INPA – AM.

Tabela 17 - Valores médios da densidade básica, das retratibilidades e do coeficiente de anisotropia no sentido longitudinal, das espécies coletadas no município de Cruzeiro do Sul – Acre, em estudo.

	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.				<i>Cariniana decandra</i> Ducke			
	Db (g/cm <sup>3</sup> )	Rt (%)	Rr (%)	CA	Db (g/cm <sup>3</sup> )	Rt (%)	Rr (%)	CA
0%	1,07 ±	4,01 ±	2,98 ±	1,37 ±	0,53 ±	7,35 ±	5,62 ±	1,33 ±
	0,04	0,93	0,84	0,20	0,05	0,80	0,73	0,21
50%	1,06 ±	3,84 ±	2,67 ±	1,46 ±	0,52 ±	7,75 ±	5,80 ±	1,35 ±
	0,03	0,79	0,67	0,16	0,03	1,09	1,00	0,10
100%	1,03*	3,67 ±	2,63 ±	1,43 ±	0,54 ±	7,12*	5,18*	1,38 ±
	± 0,02	0,33	0,52	0,25	0,04	± 1,08	± 0,81	0,13
	<i>Cedrela odorata</i> L.				<i>Simarouba amara</i> Aubl.			
	Db (g/cm <sup>3</sup> )	Rt (%)	Rr (%)	CA	Db (g/cm <sup>3</sup> )	Rt (%)	Rr (%)	CA
0%	0,50 ±	5,87 ±	4,27 ±	1,41 ±	0,33 ±	5,85 ±	3,73 ±	1,58 ±
	0,03	1,21	1,07	0,20	0,03	0,99	0,58	0,25
50%	0,49 ±	5,56 ±	3,94 ±	1,42 ±	0,34 ±	5,59 ±	3,76 ±	1,55 ±
	0,03	0,59	0,50	0,12	0,02	1,79	0,64	0,44
100%	0,47*	5,53 ±	3,89 ±	1,44 ±	0,35*	6,29 ±	3,97 ±	1,61 ±
	± 0,03	0,36	0,44	0,21	± 0,03	0,92	0,75	0,22

Db: Densidade básica; Rt: Retratibilidade Tangencial; Rr: Retratibilidade Radial; CA: Coeficiente de Anisotropia. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média.

\*dentro de uma mesma coluna por espécie, diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05).

Pelos resultados da análise de variância, houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade para a densidade básica em relação ao sentido longitudinal para as espécies *B. rubescens*, *C. ododrata* e *S. amara* (Tabela 17).

As variações na densidade da madeira são segundo Kollmann & Coté (1968), devidas às diferenças na estrutura anatômica e a presença de constituintes estranhos; assim como, as tendências hereditárias, influências fisiológicas e mecânicas, e fatores de ambiente como solo, calor, precipitações e vento.

Com relação ao comportamento da variação da densidade básica, observou-se aumento decrescente da base para o topo, para as espécies *B. rubescens* e *C. odorata* apresentando diferença significativa na posição 100% da altura comercial, pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). A madeira de *C. decandra* apresentou densidade de forma decrescente até o meio do tronco e, a partir daí, crescente até o topo, porém, de forma não significativa. Já, a espécie *S. amara* apresentou aumento crescente da densidade básica no sentido base-topo, diferindo significativamente no topo. Esses modelos de variação estão de acordo com os apresentados por Panshin & Zeeuw (1980) para espécies florestais tropicais.

Para as retratibilidades e os coeficientes de anisotropia (CA), não observou-se um padrão característico de variação; com exceção das espécies *C. decandra* e *C. odorata*, que apresentaram valores de CA crescentes no sentido base-topo, não diferindo estatisticamente.

Os coeficientes de anisotropia não apresentaram diferenças significativas no sentido longitudinal para as quatro as espécies avaliadas, pelos resultados da análise de variância. Indicando que estas madeiras possuem uma boa qualidade e são dimensionalmente estáveis ao longo do tronco da árvore, possibilitando o seleção de madeiras mais estáveis para composição de instrumento musical em qualquer posição do fuste comercial.

A investigação da variação dimensional da madeira, segundo Galvão & Jankowsky (1985), possibilita o seu uso inteligente na construção de produtos dotados de maior estabilidade; assim como, o desdobro de toras pode ser também feito com melhor técnica, resultando em material mais estável.

De maneira geral, os valores médios das propriedades físicas e os coeficientes de variação, apresentados para estas espécies estão dentro dos valores encontrados na literatura para madeiras da Amazônia (LOUREIRO, 1968; IBDF, 1981; IBDF, 1988; MAINIERI & CHIMELO, 1989; INPA, 1991; LOUREIRO, 1997).



## 6.4 AVALIAÇÃO PELA TÉCNICA DE EXCITAÇÃO POR IMPULSO PARA AS MADEIRAS TRADICIONAIS DE ALTERNATIVAS DA AMAZÔNIA

Os resultados das análises não destrutivas, realizadas utilizando a técnica de excitação por impulso no sentido longitudinal com o equipamento Soneslastic, para as espécies de madeiras tradicionais e alternativas da Amazônia em estudo serão apresentados nesse tópico. A Figura 34 mostra os valores médios da densidade aparente para as madeiras estudadas para cada componente.

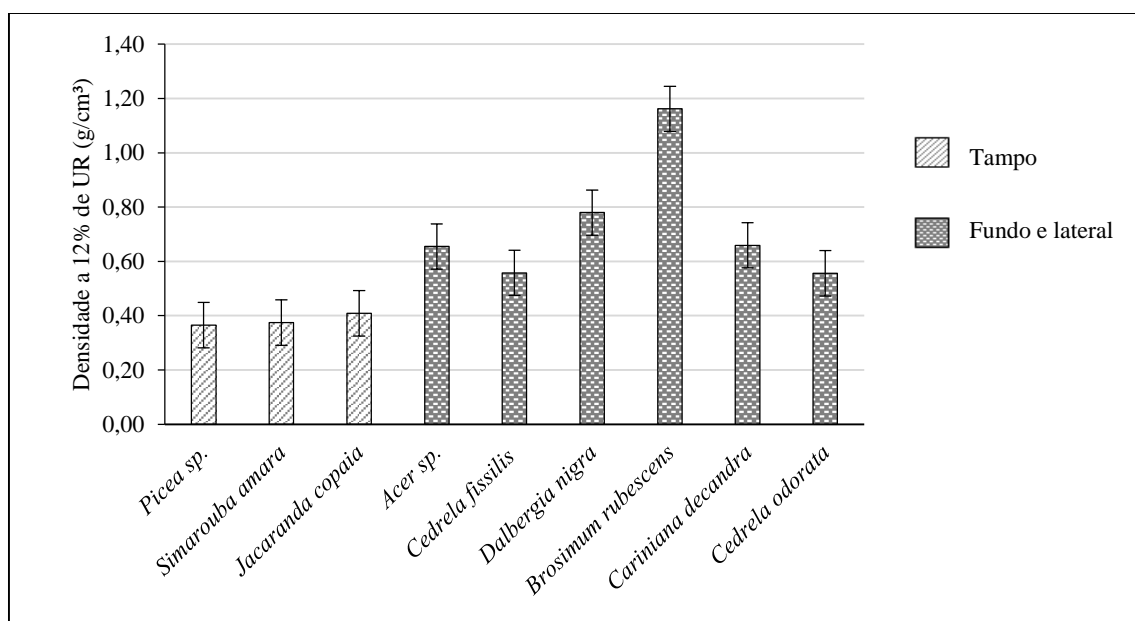


Figura 34 - Densidades aparente (Da) das madeiras para o tampo, fundo e lateral.

As madeiras de *Picea sp.*, *S. amara* e *J. copaia*, do tampo apresentaram menor densidade, quando comparada as do fundo e lateral (Figura 34). Esses resultados estão de acordo com Slooten & Souza (1993), aonde relatam que a densidade das espécies tradicionalmente utilizadas no fabrico de instrumentos musicais é diferente para os vários componentes; por exemplo, o peso de uma madeira para tampo de um instrumento de corda deve ser menor que o daquela usada para o fundo e lateral.

De acordo com Wegst (2006), o desempenho acústico (volume, qualidade e timbre) depende principalmente da densidade, módulo de elasticidade e amortecimento do material. As principais variáveis utilizadas na seleção de materiais para instrumentos são a velocidade de propagação do som no material, a impedância sonora, o coeficiente de radiação do som e o amortecimento.

A Figura 35 apresenta os valores médios do módulo de elasticidade no sentido longitudinal para as madeiras alternativas e tradicionais para cada componente.

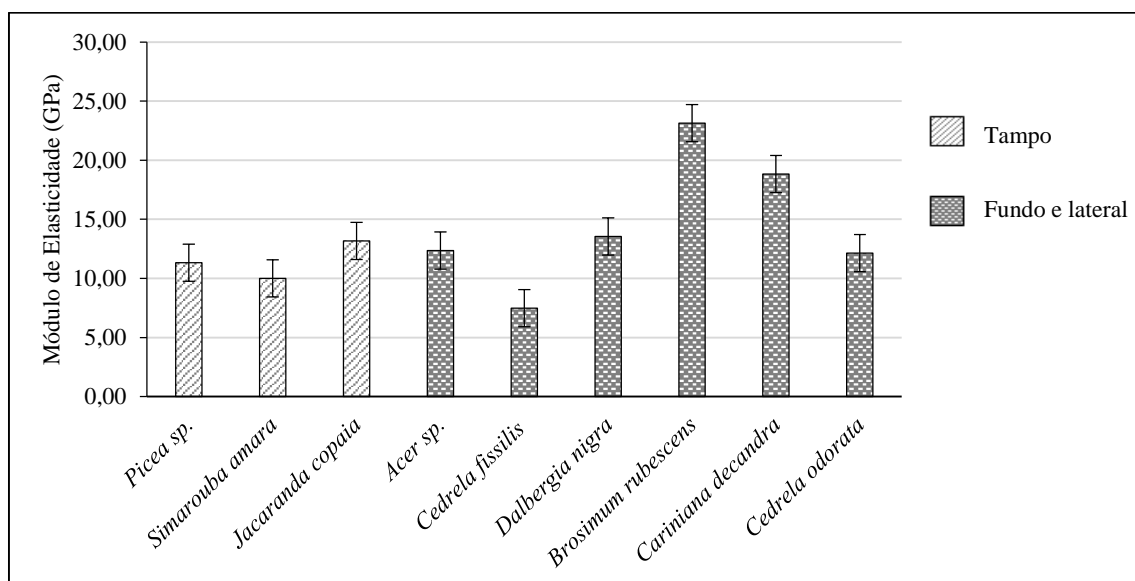


Figura 35 - Módulo de Elasticidade – MOE (GPa) das madeiras para o tampo, fundo e lateral.

O módulo de elasticidade das espécies do tampo, fundo e lateral é considerado alto. Entretanto, os maiores valores foram observados para as madeiras de *B. rubescens* e *C. decandra* do fundo e lateral (Figura 35). Indicando que são mais resistentes à deformação por flexão. Estes valores são imprescindíveis, principalmente quando se trata do componente lateral que é submetido à flexão para receber a forma do instrumento.

Segundo Alves *et al.* (2011), o módulo de elasticidade influencia a propagação e dissipação de energia na madeira. Espécies com um alto MOE perde menos energia vibratória quando o instrumento está sendo tocado, sendo esta propriedade muito importante na seleção de madeiras para instrumentos musicais.

A Figura 36 apresenta os valores médios da velocidade de propagação do som para as madeiras alternativas e tradicionais para cada componente.

A velocidade com que o som se propaga no interior do material está diretamente relacionada com o módulo de elasticidade e a densidade, e varia com a direção da grã da madeira (WEGST, 2006). Quanto maior for esse parâmetro, melhor será a qualidade acústica do material (SOUZA 1983).

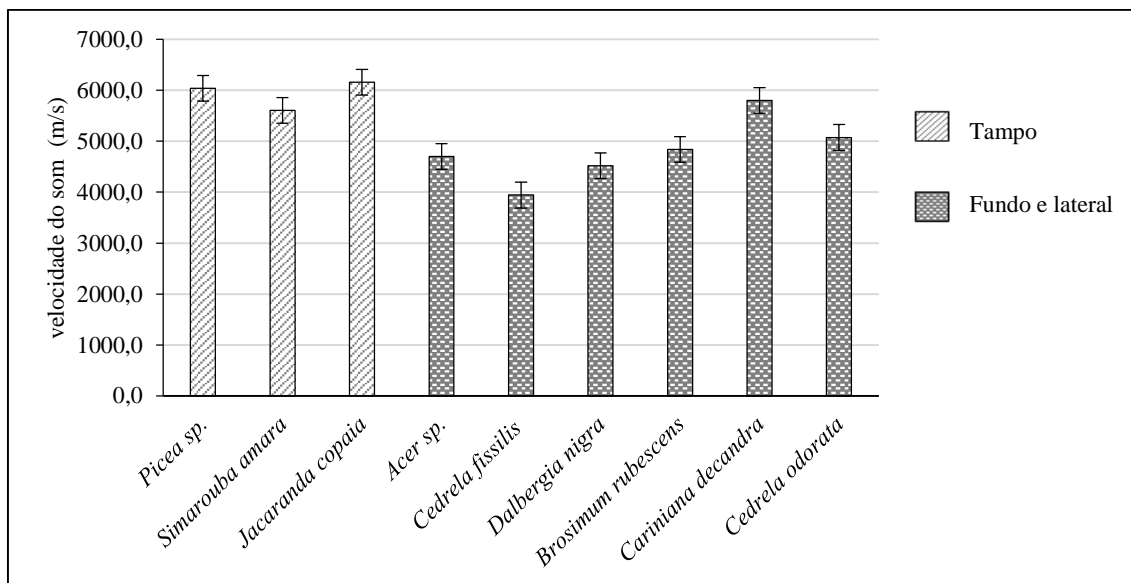


Figura 36 - Velocidade de propagação do som - V (m/s) das madeiras para o tampo, fundo e lateral.

Os maiores valores de velocidade de propagação sonora foram observados para as madeiras do tampo que apresentaram baixa densidade, com módulo de elasticidade relativamente alto e grã direita. Por outro lado, as madeiras de alta densidade, com módulo de elasticidade alto e grã direita a irregular apresentaram tendência à baixa velocidade de propagação do som (Figura 36). Este resultado indica que o som se propaga mais rapidamente nas madeiras do tampo, produzindo melhor qualidade acústica.

É interessante, observar que a espécie *C. decandra* que possui densidade média, módulo de elasticidade alto e grã direita, apresentou alto valor para velocidade do som.

De acordo com Spycher *et al.* (2008) a madeira de Sycamore (*Acer pseudoplatanus*) possui uma elevada velocidade de propagação do som correlacionada com a presença de raios largos. Neste estudo, constatou-se para a espécie *Acer sp.* raios com até 7 células de largura; entretanto, a velocidade de propagação do som dessa espécie foi menor do que a madeira de *C. decandra* que apresentou raios finos com até 2 células de largura.

A Figura 37 apresenta os valores médios da impedância sonora para as madeiras alternativas e tradicionais para cada componente.

A impedância é importante quando a energia vibracional é transmitida de um meio para outro. Por meio dessa propriedade é possível verificar a intensidade do som transmitido do instrumento para o ar (WEGST, 2006).

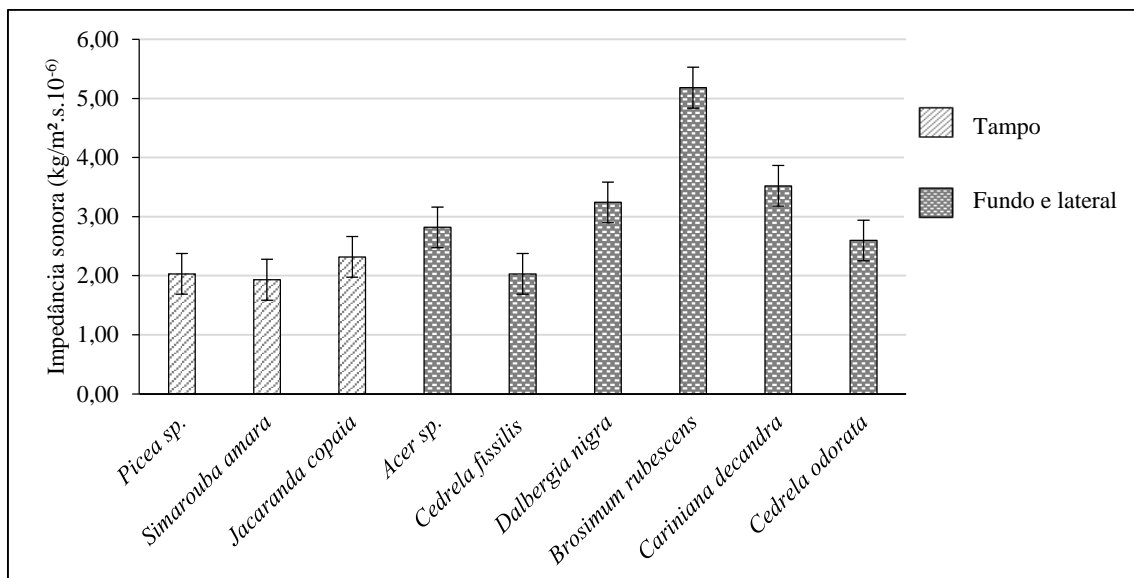


Figura 37 - Impedância sonora – Z (kg/m<sup>2</sup>.s.10<sup>-6</sup>) das madeiras para o tampo, fundo e lateral.

As espécies do tampo apresentaram baixa impedância sonora, quando comparada às madeiras do fundo e lateral (Figura 37). Indicando que as madeiras do tampo impedem menos a passagem sonora e transmitem o som do instrumento para o ar em maior a intensidade do que o fundo e lateral.

A Figura 38 apresenta os valores médios do coeficiente de radiação sonora das madeiras alternativas e tradicionais para cada componente.

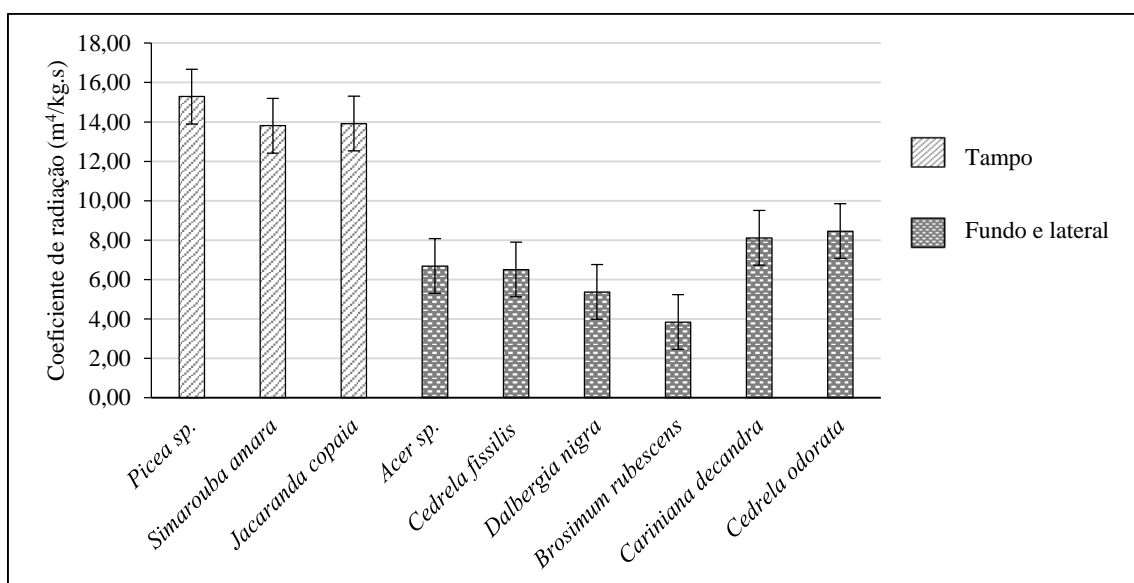


Figura 38 - Coeficiente de radiação sonora - R (m<sup>4</sup>/kg.s.10<sup>-6</sup>) das madeiras para o tampo, fundo e lateral.

O coeficiente de radiação sonora descreve o quanto de energia vibratória será convertido em som; portanto, é necessário que o material apresente um alto valor para este coeficiente, caso deseje-se que o som emitido seja em alto volume (intensidade) (BUCUR, 2006a).

As madeiras do tampo apresentaram valores excepcionalmente altos para o coeficiente de radiação sonora (Figura 38). Este resultado revela que as madeiras do tampo convertem maior quantidade de energia vibratória em som e emite esse som em maior volume.

A Figura 39 apresenta os valores médios do amortecimento das madeiras alternativas e tradicionais para cada componente.

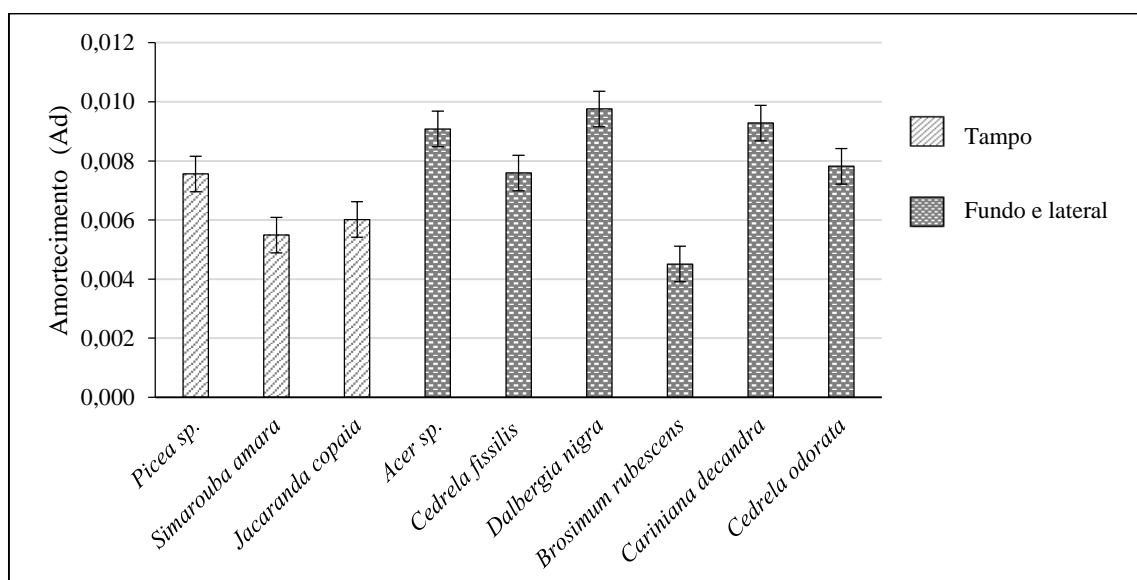


Figura 39 - Amortecimento –  $\eta$  (Ad) das madeiras para o tampo, fundo e lateral.

O amortecimento mede o grau ao qual um material dissipa energia de vibração por atrito interno, ou seja, o quão rápido será o decaimento da amplitude de vibração de um corpo após sua excitação mecânica (TEIXEIRA, 2014).

Os valores de amortecimento foram maiores para as espécies *Acer* sp., *D. nigra* e *C. decandra* do fundo e lateral. As madeiras do tampo apresentaram baixo valor para esse parâmetro (Figura 39). Indicando que o tampo perde menos energia por atrito interno.

O menor valor de amortecimento foi observado para a madeira de *B. rubescens*, cujas características anatômicas observadas nas análises macro e microscópicas foram: vasos de pequeno a grande diâmetro, fibras de paredes espessas, raios com poucas células

de largura (média 3), presença de óleo-resina no lume das células, principalmente nos vasos e presença de inclusões minerais na forma de cristais.

Importante experimento realizado por Hayasida *et al.* (2008), avaliando o cerne da madeira de *B. rubescens*, verificaram grande quantidade de extrativos, cujo teor foi de 20% para 298 g de serragem. Talvez seja uma das explicações para superioridade do maior valor do módulo de elasticidade e impedância, menor valor do coeficiente de radiação e amortecimento encontrados para essa espécie em relação às madeiras estudadas.

Em estudo Matsunaga & Minato (1998), verificaram que a presença de extrativos no pau-brasil (*C. echinata*), afeta as propriedades vibracionais da madeira. Segundo esses autores, a madeira de *C. echinata* apresenta baixo valor de decaimento vibracional devido à presença de tais extrativos, absorvendo menos energia vibracional quando a corda do instrumento é friccionada.

De acordo com Portela (2014), a maior fonte interna de amortecimento está nas ligninas, devido à estrutura das microfibrilas de celulose serem cristalinas. Esses resultados sugerem que a madeira de *B. rubescens* possui baixo decaimento da amplitude de vibração, devido ao alto teor de extrativos e a presença de cristais na madeira.

Analisando essas propriedades em conjunto observa-se que cada componente do instrumento desempenha um papel e apresentam uma relação certa, corroborando com Slooten & Souza (1993), aonde afirmam que o tampo e fundo/lateral devem ter uma relação exata entre eles, ou seja, o fundo e lateral deveram produzir notas um tom acima das produzidas pelo tampo.

De maneira geral, verificou-se que as madeiras do tampo apresentaram baixa densidade, alta velocidade de propagação do som, baixa impedância sonora, alto coeficiente de radiação do som e baixo valor de amortecimento; quando comparado as madeiras do fundo e lateral que apresentaram densidade de média a alta, baixa velocidade de propagação do som, alta impedância sonora, baixo coeficiente de radiação do som e alto valor de amortecimento.

Wegst (2006), investigando as propriedades acústicas de madeiras tradicionais da confecção de instrumentos musicais, constatou que o abeto (*Picea* sp.) escolha preferida para o tampo de instrumentos de corda tem baixa densidade, valor relativamente elevado do módulo de elasticidade; alta velocidade do som e alto coeficiente de radiação. As espécies tropicais que são favoritas para o fundo e lateral possuem alta densidade, alto

módulo de elasticidade, média a alta velocidade do som e baixo coeficiente de radiação; quanto ao coeficiente de perda foi baixo para todas.

Portela (2014), caracterizando madeiras tradicionais e alternativas para instrumentos musicais, verificou que o abeto apresentou maiores valores do fator de qualidade das ressonâncias, não diferindo do cedro e do marupá, indicando que essas madeiras possuem baixo valor do amortecimento; no entanto, o marupá apresentou um maior equilíbrio entre os fatores de qualidade, quando comparado ao cedro, mostrando que tem grande potencial para ser uma alternativa aos materiais de referência na construção de instrumentos musicais de qualidade.

Em estudo Flores (2015), avaliando as propriedades acústicas das madeiras brasileiras com potencial para uso em violões de alta qualidade e comparando-as com espécies tradicionais consagradas por músicos e *Luthiers*, concluiu que o marupá (*Simarouba amara*) foi a espécie que mais se aproximou do abeto para o tempo harmônico, quanto ao módulo de elasticidade e cisalhamento, impedância e coeficiente de radiação sonora. A andiroba (*Carapa guianensis*) foi à madeira mais similar ao jacarandá para o fundo e laterais do instrumento, quanto a densidade, velocidade do som, módulo de elasticidade e cisalhamento, impedância sonora e amortecimento.

## 6.5 MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

Na Tabela 18 estão apresentados os resultados do teste de correlação de Pearson, entre as propriedades anatômicas: Comprimento da Fibra (CF); Largura da Fibra (LF); Diâmetro do Lume da Fibra (DL); Espessura da Parede da Fibra (EP); Comprimento do Vaso (CV); Diâmetro Tangencial do Vaso (DV); Espessura da Parede do Vaso (EV); Frequência do Poro (FP); Altura do Raio (AR); Largura do Raio (LR); Frequência do Raio (FR); Diâmetro da Pontoação Intervascular (PI); Diâmetro da Pontoação Raiovascular (PR); propriedade física: Densidade aparente a 12% de UR (Da:); propriedade mecânica: Módulo de Elasticidade (MOE); e, propriedades acústicas: Velocidade de propagação do som (V); Impedância sonora (Z); Coeficiente de radiação sonora (R) e Amortecimento ( $\eta$ ).

Tabela 18 - Coeficientes de correlação de Pearson, obtidos entre todas as propriedades analisadas.

	CF	LF	DL	EP	CV	DV	EV	FP	AR	LR	FR	PI	PR	Da	MOE	V	Z	R	η
CF	1																		
LF	0,009 (0,982)	1																	
DL	-0,028 (0,947)	0,953** (0,0003)	1																
EP	0,091 (0,830)	-0,582 (0,130)	-0,802* (0,017)	1															
CV	0,523 (0,183)	0,395 (0,333)	0,400 (0,326)	-0,298 (0,474)	1														
DV	0,271 (0,516)	0,287 (0,491)	0,477 (0,232)	-0,713* (0,047)	0,263 (0,529)	1													
EV	0,151 (0,721)	-0,630 (0,094)	-0,827* (0,011)	0,972** (0,0001)	-0,178 (0,673)	-0,602 (0,115)	1												
FP	-0,452 (0,261)	-0,143 (0,735)	-0,251 (0,549)	0,391 (0,339)	-0,198 (0,638)	-0,891** (0,003)	0,302 (0,467)	1											
AR	0,160 (0,705)	0,436 (0,280)	0,588 (0,126)	-0,716* (0,046)	0,710* (0,049)	0,347 (0,400)	-0,635 (0,091)	0,005 (0,991)	1										
LR	-0,096 (0,821)	0,098 (0,818)	0,254 (0,544)	-0,484 (0,225)	-0,121 (0,775)	-0,057 (0,894)	-0,575 (0,136)	0,336 (0,415)	0,495 (0,213)	1									
FR	-0,416 (0,305)	-0,391 (0,339)	-0,535 (0,172)	0,664 (0,073)	-0,588 (0,126)	-0,484 (0,224)	0,625 (0,098)	0,236 (0,574)	-0,850** (0,008)	-0,488 (0,220)	1								
PI	-0,258 (0,536)	-0,023 (0,957)	-0,245 (0,558)	0,609 (0,108)	0,014 (0,974)	-0,518 (0,188)	0,653 (0,079)	0,403 (0,323)	-0,371 (0,365)	-0,654 (0,078)	0,656 (0,077)	1							
PR	-0,274 (0,512)	-0,013 (0,976)	-0,240 (0,567)	0,6163 (0,104)	-0,002 (0,996)	-0,498 (0,208)	0,657 (0,077)	0,388 (0,343)	-0,375 (0,360)	-0,690 (0,058)	0,601 (0,115)	0,984** (0,00001)	1						
Da	0,189 (0,654)	-0,926** (0,001)	-0,912** (0,002)	0,621 (0,101)	-0,246 (0,557)	-0,367 (0,371)	0,645 (0,084)	0,142 (0,738)	-0,426 (0,292)	-0,061 (0,887)	0,395 (0,333)	0,003 (0,995)	-0,052 (0,903)	1					
MOE	0,392 (0,337)	-0,631 (0,094)	-0,656 (0,077)	0,514 (0,193)	0,344 (0,404)	-0,221 (0,599)	0,6166 (0,104)	-0,016 (0,971)	-0,135 (0,750)	-0,375 (0,360)	0,2238 (0,595)	0,2193 (0,601)	0,1594 (0,707)	0,782* (0,022)	1				
V	0,1418 (0,739)	0,471 (0,239)	0,460 (0,251)	-0,308 (0,458)	0,852** (0,007)	0,2948 (0,480)	-0,187 (0,657)	-0,248 (0,553)	0,5012 (0,206)	-0,407 (0,317)	-0,265 (0,526)	0,271 (0,516)	0,257 (0,538)	-0,386 (0,344)	0,257 (0,539)	1			
Z	0,2972 (0,475)	-0,831* (0,011)	-0,836** (0,009)	0,601 (0,116)	0,043 (0,919)	-0,313 (0,451)	0,6651 (0,072)	0,0692 (0,870)	-0,299 (0,48)	-0,226 (0,589)	0,326 (0,431)	0,109 (0,796)	0,051 (0,904)	0,947** (0,0001)	0,941** (0,0005)	-0,076 (0,858)	1		
R	-0,128 (0,762)	0,784* (0,021)	0,859** (0,006)	-0,758* (0,029)	0,582 (0,130)	0,549 (0,159)	-0,684 (0,061)	-0,285 (0,494)	0,675 (0,066)	-0,026 (0,951)	-0,503 (0,204)	-0,032 (0,939)	-0,009 (0,983)	-0,838** (0,009)	-0,412 (0,311)	0,746* (0,034)	-0,666 (0,072)	1	
η	-0,213 (0,613)	0,113 (0,790)	-0,158 (0,708)	0,646 (0,083)	-0,446 (0,268)	-0,579 (0,132)	0,527 (0,180)	0,348 (0,398)	-0,711* (0,048)	-0,420 (0,300)	0,661 (0,074)	0,655 (0,078)	0,682 (0,062)	-0,101 (0,810)	-0,212 (0,614)	-0,265 (0,526)	-0,169 (0,689)	-0,313 (0,450)	1

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ ). Valores entre parênteses corresponde a significância (bilateral).



Houve correlação significativa entre as propriedades anatômicas, física, mecânica e propriedades acústicas. A Densidade aparente ( $D_a$ ) apresentou correlação negativa e significativa com as características anatômicas largura da fibra (LF) e diâmetro do lume das fibras (DL), indicando que com um aumento da densidade, corresponde a fibras de menores larguras e menores diâmetros dos lumens.

O módulo de elasticidade (MOE) mostrou-se correlacionado e foi positivo e significativo com densidade aparente ( $D_a$ ), mostrando que quanto maior a densidade, maior é a resistência da madeira à deformação por flexão.

A velocidade de propagação do som ( $V$ ) se correlacionou com o comprimento do vaso (CV), sugerindo que quanto rápido o som se propaga maiores são os comprimentos dos elementos de vasos.

A impedância sonora ( $Z$ ) apresentou correlação significativa e negativa com a largura da fibra (LF) e o diâmetro do lume das fibra (DL), indicando que madeiras que possuem maior impedância sonora, apresentam menores largura e diâmetros do lumens das fibras. A impedância também mostrou-se correlacionada, positivamente com a densidade aparente e o módulo de elasticidade, sugerindo que a maior intensidade do som transmitido do instrumento para o ar é obtido com madeiras de maior densidade e maior módulo de elasticidade.

O coeficiente de radiação sonora ( $R$ ) apresentou correlação positiva e significativa com a largura da fibra (LF), diâmetro do lume da fibra (DL) e a velocidade de propagação do som ( $V$ ); indicando que quanto mais alto o volume (intensidade) do som emitido por um instrumento, maior é a largura e o diâmetro do lume da fibra e mais rápida é a propagação do som no interior da madeira. O coeficiente de radiação do som ( $R$ ) também correlacionou-se com a espessura da parede da fibra (EP) e a densidade aparente ( $D_a$ ), correlação negativa, sugerindo que quanto maior o coeficiente de radiação, menor é a espessura da parede da fibra e a menor é a densidade da madeira.

Amortecimento ( $\eta$ ) apresentou correlação negativa e significativa com a altura dos raios (AR), indicando que quanto maior o amortecimento menor é a altura dos raios, ou seja, maiores graus de dissipação de energia de vibração por atrito interno ocorrem em madeiras com raios mais baixos.

Em estudo Spycher *et al.* (2008), verificaram alta correlação entre o coeficiente de radiação do som na direção axial e a espessura da parede da célula; e, alta correlação entre a velocidade de propagação do som na direção radial e a largura dos raios, em madeiras tradicionais na fabricação de instrumentos musicais de corda.

## 6.6 ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)

Foi possível identificar o número de fatores (componentes) a serem avaliados utilizando a análise de componentes principais (Tabela 19).

Para explicar a variância total, apenas 15 fatores foram necessários. Segundo o critério de Kaiser, apenas os componentes cujo autovalor total forem maiores que 1 (um) devem ser selecionados para a análise (em destaque na Tabela 19).

Com base neste critério, foram selecionados 5 componentes que conseguem explicar 97,21% da variância total dos dados originais. O primeiro componente explica 44,21%, o segundo 20,69%, o terceiro 16,97%, o quarto 9,72% e o quinto 5,61% da variância total.

Tabela 19 - Matriz de autovalores iniciais para a extração dos fatores componentes.

Componente Principal	Autovalor	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
1	8,3998	44,2095	44,2095
2	3,9328	20,6989	64,9084
3	3,2250	16,9736	81,8820
4	1,8468	9,7199	91,6019
5	1,0664	5,6126	97,2145
6	0,3819	2,0100	99,2246
7	0,1473	0,7752	99,9998
8	0,0000	0,0000	99,9998
9	0,0000	0,0001	99,9998
10	0,0000	0,0001	99,9999
11	0,0000	0,0000	99,9999
12	0,0000	0,0000	99,9999
13	0,0000	0,0001	99,9999
14	0,0000	0,0000	99,9999
15	0,0000	0,0001	100,000
16	0,0000	0,0000	100,000
17	0,0000	0,0000	100,000
18	0,0000	0,0000	100,000
19	0,0000	0,0000	100,000

Na Tabela 20 são apresentadas os coeficientes de correlação entre as variáveis e os componentes analisados e suas respectivas variâncias. Os coeficientes de cada variável

foram calculados pelos valores dos autovetores da matriz de cargas fatoriais e o autovalor do componente principal.

A correlação de cada variável indica a associação linear entre as variável X e o componente Y. Quanto maior a correlação, maior é a carga fatorial da variável na composição do componente, ou seja, indicam que uma grande quantia de variância numa variável foi extraída pela solução fatorial.

Observou-se que as 19 variáveis apresentaram “elevada” correlação em um determinado componente, o que significa terem sido bem representadas pelos fatores comuns obtidos.

Em outras palavras, todas as 19 variáveis contribuíram na composição de cada um dos 5 componentes principais. Entretanto, cada componente foi influenciado por um grupo de variáveis. Assim, cada variável apresentou maior ou menor influência sobre cada um dos 5 componentes. A maior correlação apresentada por cada uma das 19 variáveis estão em destaque na Tabela 20.

As variáveis estão em ordem decrescente de valor de suas correlações, isto é, as variáveis cuja maior carga fatorial se concentrava no componente 1, em seguida, as variáveis cuja maior carga fatorial se referia ao componente 2, e assim por diante.

O componente 1, capaz de explicar 44,21% da variação encontrada, recebeu a maior carga fatorial de 10 das 19 variáveis estudadas. As variáveis que mais contribuíram, positiva ou negativa, na composição do componente 1, em ordem decrescente do valor de contribuição e seus respectivos coeficientes de correlações, foram: espessura da parede da fibra ( $r = 0,95$ ), espessura da parede do vaso ( $r = 0,93$ ), diâmetro do lume da fibra ( $r = -0,90$ ), coeficiente de radiação do som ( $r = -0,83$ ), frequência do raio ( $r = 0,78$ ), densidade aparente ( $r = 0,76$ ), impedância sonora ( $r = 0,70$ ), largura da fibra ( $r = -0,75$ ), altura do raio ( $r = -0,77$ ), e diâmetro tangencial do poro ( $r = -0,68$ ).

O componente 2, capaz de explicar 20,69% da variação, recebeu a maior carga fatorial de 3 das 19 variáveis estudadas. As variáveis que mais contribuíram foram: amortecimento ( $r = 0,73$ ), diâmetro dos pontoações raio-vascular ( $r = 0,72$ ) e diâmetro dos pontoações raio-vascular ( $r = 0,69$ ).

O componente 3, capaz de explicar 16,97% da variação, recebeu a maior carga fatorial de 4 das 19 variáveis. Teve maior contribuição das variáveis: velocidade de propagação do som ( $r = -0,84$ ), comprimento do vaso ( $r = -0,80$ ), módulo de elasticidade ( $r = -0,61$ ) e largura do raio ( $r = 0,66$ ).

Tabela 20 - Coeficientes de correlação obtidos entre a variável e o componente.

Variável	Componente Principal				
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Espessura da parede da fibra	0,95	0,11	-0,13	0,03	-0,25
Espessura da parede do vaso	0,93	0,05	-0,29	0,01	-0,17
Diâmetro do lume da fibra	-0,90	0,36	-0,02	-0,01	-0,11
Coefficiente de radiação do som	-0,83	0,36	-0,34	0,03	0,22
Frequência do raio	0,78	0,39	0,08	-0,24	0,27
Densidade aparente	0,76	-0,63	-0,01	0,06	0,11
Impedância sonora	0,70	-0,60	-0,32	0,11	0,12
Largura da fibra	-0,75	0,55	-0,09	0,01	-0,27
Altura do raio	-0,77	-0,21	-0,22	0,52	0,04
Diâmetro tangencial do poro	-0,68	-0,28	-0,17	-0,60	0,17
Amortecimento	0,53	0,73	0,14	-0,15	-0,35
Diâmetro dos pontoações raio-vascular	0,52	0,72	-0,40	0,10	0,07
Diâmetro dos pontoações intervascular	0,54	0,69	-0,42	0,13	0,10
Velocidade de propagação do som	-0,41	0,19	-0,84	0,13	0,20
Comprimento do vaso	-0,46	-0,14	-0,80	0,32	-0,16
Módulo de elasticidade	0,55	-0,51	-0,61	0,14	0,11
Largura do raio	-0,40	-0,35	0,66	0,50	0,16
Frequência do poro	0,39	0,31	0,29	0,82	-0,01
Comprimento da fibra	-0,07	-0,51	-0,46	-0,17	-0,69
Autovalor	8,3998	3,9328	3,225	1,8468	1,0664
Variância explicada (%)	44,2095	20,6989	16,9736	9,7199	5,6126
Variância acumulada (%)	44,2095	64,9084	81,882	91,6019	97,2145

O componente 4 explica 9,72% da variação dos dados, recebeu a maior carga fatorial de apenas uma variável, a frequência do poro ( $r = 0,82$ ), caracterizando-se unicamente por esta variável.

O componente 5 explica 5,61% da variação dos dados, recebeu a maior carga fatorial de apenas uma variável, a comprimento da fibra ( $r = -0,69$ ), isto é, o tamanho da fibra da madeira foi uma importante fonte de variação dos dados para este componente.

A Figura 40 mostra a ordenação das espécies de acordo com as cargas fatoriais (correlação) das variáveis anatômicas, físicas, mecânicas e acústicas no primeiro (eixo 1) e segundo (eixo 2) componente principal, responsáveis por 64,91% da explicação da variação total. As variáveis foram: comprimento da fibra (CF); largura da fibra (LF); diâmetro do lume da fibra (DL); espessura da parede da fibra (EP); comprimento do vaso (CV); diâmetro tangencial do vaso (DV); espessura da parede do vaso (EV); frequência do poro (FP); altura do raio (AR); largura do raio (LR); frequência do raio (FR); diâmetro

da pontoação intervascular (PI); diâmetro da pontoação raio-vascular (PR); densidade aparente a 12% de UR (Da:); módulo de elasticidade (MOE); velocidade de propagação do som (V); impedância sonora (Z); coeficiente de radiação sonora (R) e amortecimento ( $\eta$ ).

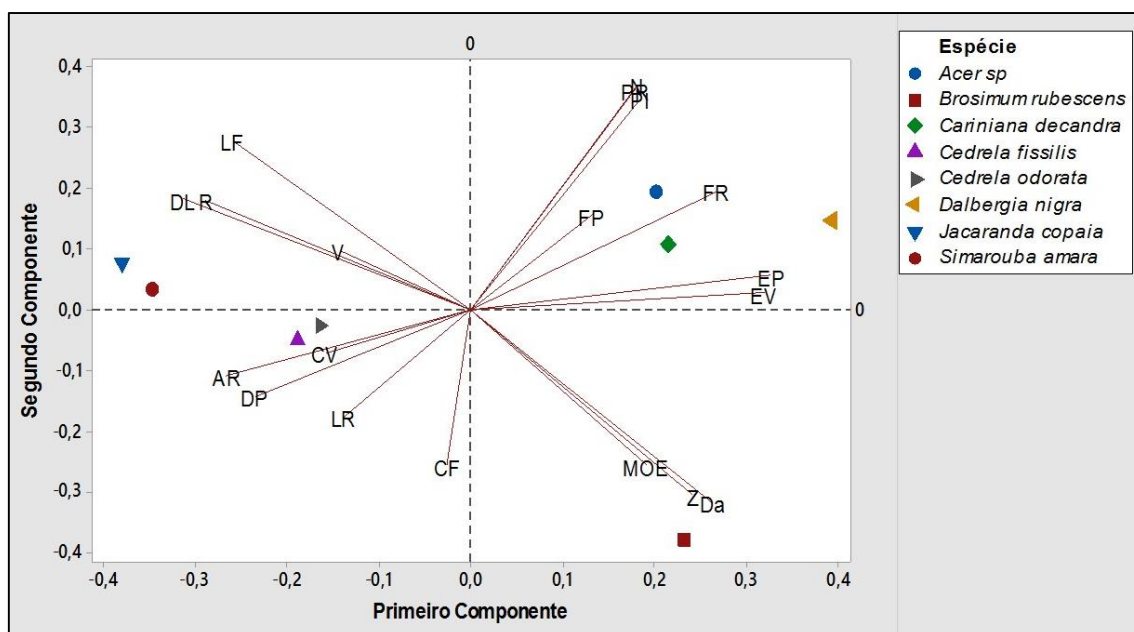


Figura 40 - Ordenação das espécies de acordo com as cargas fatoriais das variáveis anatômicas, físicas, mecânicas e acústicas no primeiro e segundo componente principal.

O eixo 1 contribuiu com 44,21% da variabilidade e as características que mais se correlacionaram, foram: espessura da parede da fibra (EP), espessura da parede do vaso (EV), diâmetro do lume da fibra (DL), coeficiente de radiação do som (R), frequência do raio (FR), densidade aparente (Da), impedância sonora (z), largura da fibra (LF), altura do raio (AR), e diâmetro tangencial do poro (DP).

O eixo 2 contribuiu com 20,69% da variabilidade e as características com maiores coeficientes de correlação foram: amortecimento ( $\eta$ ), diâmetro dos pontoações raio-vascular (DI) e diâmetro dos pontoações raio-vascular (PR).

Observou-se na Figura 40 que as espécies *Jacaranda copaia* e *Simarouba amara* apresentaram maior proximidade, ordenadas pelas características dos componentes, estas madeiras apresentaram maior largura e diâmetro do lume da fibra, maior coeficiente de radiação e maior velocidade de propagação do som.

As espécies *Acer sp.*, *Cariniana decandra* e *Dalbergia nigra* apresentaram maior proximidade, ordenadas pelas características dos componentes, estas madeiras

apresentaram maior diâmetro da pontoação intervascular e raio-vascular, maior frequência do poro e raio, maior espessura da parede da fibra e vaso, maior valor de amortecimento.

As espécies *Cedrela odorata* e *cedrela fissilis* apresentaram maior proximidade, ordenadas pelas características dos componentes, estas madeiras apresentaram valores altos para as variáveis: comprimento do vaso e da fibra, altura e largura do raio e diâmetro do poro. *Brosimum rubescens* ficou mais distantes das demais espécies, apresentou maiores valores da densidade, módulo de elasticidade e impedância sonora. Estes resultados indicam que essas variáveis influenciam na proximidade dessas espécies.

De maneira geral, as variáveis apresentaram correlações bastante altas, acima de 61%. Isto equivale a dizer que a qualidade da madeira utilizada para instrumentos musicais, está ligada às propriedades anatômicas, física, mecânicas e acústicas.

Entre essas variáveis, a densidade aparente, o módulo de elasticidade, velocidade de propagação do som, impedância sonora, coeficiente de radiação do som e amortecimento que apresentaram grande influência, são de fácil obtenção.

Estas podem ser obtidas por métodos não destrutivos como a técnica de excitação por impulso, que é um método que oferece respostas rápidas, precisão nos resultados, permiti analisar um grande volume de material, e o custo dos equipamentos para os ensaios vem reduzindo nos últimos anos.

Portanto, a seleção de espécies para confecção de instrumentos musicais de corda pode ser realizada pela determinação dessas propriedades que apresentaram elevada correlação com a componente principal.

A densidade da madeira é muito importante para a avaliação da qualidade da madeira, devido a facilidade de determinação e estar diretamente relacionada com as outras propriedades (SOUZA et al., 1986; KOLLMANN & COTÊ, 1968). Mady (2000) enfatiza a relação da densidade com a anatomia da espécie, como comprimento, espessura da parede celular, ocorrência e frequência de células, conteúdo celular, presença de inclusões minerais. De acordo com Slooten & Souza (1993), a densidade das espécies utilizadas no tampo de instrumentos musicais de corda é menor do que a usada para o fundo e lateral. Wegst (2006), reporta que o desempenho acústico do instrumento depende principalmente da densidade, módulo de elasticidade e amortecimento do material.

## 6.7 Análise de Agrupamento – Cluster

A Análise de agrupamento resultou em uma árvore hierárquica com diversas possibilidades de agrupamento, variando em função da distância euclidiana entre as variáveis considerada (Figura 41).

A árvore hierárquica começa com alguns grupos e termina com um só grupo que inclui todas as espécies. Segundo Possoli (1984), quando as unidades observadas vão sendo combinadas em grupos, cada vez mais o detalhe inicial é perdido. Portanto, o ponto principal é a escolha de uma linha de corte que indique um conjunto significativo de grupos; assim, o programa fornece a percentagem de perda de informação para cada etapa de agrupamento. Colocados em uma figura estes valores, um possível corte é quando a curva cresce mais rapidamente, havendo um "salto" maior entre estes valores.

Na análise do dendrograma foi traçada uma linha de corte na posição 1200 que corresponde a distância entre os elementos dos diferentes grupos, destacando “2” grupos distintos. A escolha da linha de corte foi subjetiva mesmo utilizando o critério acima.

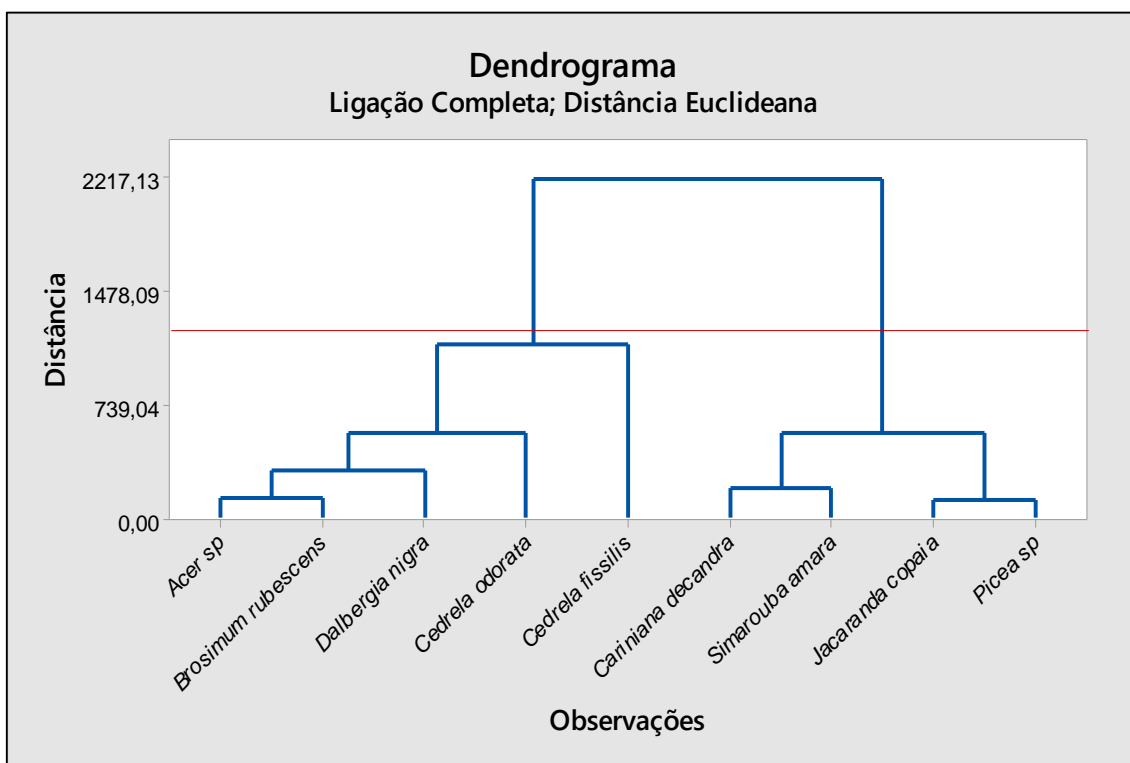


Figura 41 - Árvore hierárquica da Análise de agrupamento – Cluster.



Os grupos formados são mais homogêneos, ou seja, elementos mais similares, que estão em uma menor distância; revelando ao mesmo tempo maior distância entre elementos de grupos distintos.

O Grupo 1, denominado de “Fundo e Lateral”, foi formado pelas espécies *Acer* sp., *Brosimum rubescens*, *Dalbergia. nigra*, *Cedrela odorata* e *Cedrela fissilis*. As espécies *B. rubescens* e *C. odorata* alternativas para o componente fundo e lateral, apresentaram maior semelhança com as espécies *Acer* sp., *D. Nigra* e *C. fissilis* tradicionalmente utilizadas na confecção de instrumentos musicais de corda no fundo e lateral.

O Grupo 2, denominado de “Tampo”, foi formado pelas espécies *Cariniana decandra*, *Simarouba amara*, *Jacaranda copaia* e *Picea* sp. As espécies *S. amara* e *J. copaia* alternativas, apresentaram alta similaridade com a espécie *Picea* sp. tradicional no tampo de instrumentos.

Apesar da espécie *Cariniana decandra* ter formado grupo com as espécies do componente tampo, foi removida para o grupo das espécies do componente fundo e lateral de instrumentos, por ter apresentado maior parte das características analisadas similares as madeira do grupo “Fundo e Lateral”, maior detalhe pode ser observado no item 6.4.

Tabela 21 apresenta a faixa de variação dos parâmetros analisados para selecionar madeiras alternativas para os componentes tampo, fundo e lateral de instrumentos musicais de corda.

Os resultados obtidos nesta pesquisa mostram a viabilidade da utilização das espécies arbóreas marupá (*S. amara*), cedro (*C. odorata*), tauarí (*C. decandra*) e muirapiranga (*B. rubescens*) comercializadas no município de Cruzeiro do Sul-AC e da madeira proveniente de árvores caídas naturalmente no *campus* do INPA, caroba (*J. copaia*), para a produção de instrumentos musicais de cordas, considerando suas características tecnológicas, quando comparadas com as madeiras tradicionais, que são utilizadas na fabricação do tampo, fundo e lateral dos instrumentos.

Tabela 21 - Faixa de variação dos parâmetros tecnológicos para selecionar madeiras alternativas para os componentes tampo, fundo e lateral de instrumentos musicais de corda.

Grupo	Da (g/cm <sup>3</sup> )	MOE (GPa)	V (m/s)	Z (kg/m <sup>2</sup> .s) 10 <sup>-6</sup>	R (m <sup>4</sup> /kg.s)	η (Ad)	CF (μm)	LF (μm)	DL (μm)	EP (μm)	CV (μm)	EV (μm)	DP (μm)	FP (μm)	AR (μm)	LR (μm)	FR (μm)	PI (μm)	PR (μm)	Espécie
1 Fundo e Lateral	0,72	15	4922	3	7	0,008	1328	24	13	5	470	6	151	7	317	3	8	8	7	<i>Acer sp.</i>
	±0,21	±5	±664	±1	±2	±0,004	±209	±5	±5	±1	±147	±1	±46	±8	±122	±1	±3	±2	±2	<i>B. rubescens</i>
	(88)	(88)	(88)	(88)	(88)	(88)	(300)	(300)	(300)	(300)	(300)	(250)	(300)	(300)	(300)	(200)	(300)	(250)	(250)	<i>D. nigra,</i> <i>C. odorata</i>
2 Tampo	0,38	11	5888	2	14	0,006	1156	27	19	3	544	5	217	3	466	3	4	8	7	<i>C. fissilis</i>
	±0,02	±2	±302	±0,2	±1	±0,003	±142	±6	±6	±1	±134	±1	±39	±1	±128	±1	±2	±1	±1	<i>C. decandra</i>
	(88)	(88)	(88)	(88)	(88)	(88)	(150)	(150)	(150)	(150)	(150)	(100)	(150)	(150)	(150)	(50)	(150)	(100)	(100)	<i>Picea sp.</i> <i>S. amara</i> <i>J.copaia</i>

Da: Densidade a 12% de UR; MOE: Módulo de Elasticidade; V: Velocidade de propagação do som; Z: Impedância sonora; R: Coeficiente de radiação sonora; η: Amortecimento.; FP: Frequência de poros; FR: Frequência de raios; CF: Comprimento de Fibras; LF: Largura da Fibra; DL: Diâmetro do Lume da Fibra; EP: Espessura da Parede da Fibra; CV: Comprimento do Vaso; DP: Diâmetro do Poro; EV: Espessura da Parede do Vaso; PI: Diâmetro da Pontoação Intervascular; PR: Diâmetro da Pontoação Raio-vascular; AR: Altura dos Raios; LR: Largura dos Raios.

Valores entre parênteses abaixo do desvio padrão médio correspondem ao número de medições realizadas para cada variável.

As madeiras tradicionais possuem um alto valor econômico, devido à escassez e utilização nobre, que onera a produção de instrumentos. Em relação ao preço dessas madeiras no mercado internacional é bastante elevado. As espécies que foram obtidas para avaliação, possuíam os seguintes valores do kit que correspondem a duas tábuas: abeto italiano (R\$ 135,00 = 0,0120m<sup>3</sup>), maple da Bósnia (R\$ 200,00 = 0,0188m<sup>3</sup>), jacarandá indiano (R\$ 340,00 = 0,0135m<sup>3</sup>) e cedro canadense (R\$ 125,00 = 0,0179m<sup>3</sup>), no qual o câmbio utilizado foi de R\$ 2,337.

O valor do metro cúbico, correspondia: abeto italiano (R\$ 11.250,00 m<sup>3</sup>), maple da Bósnia (R\$ 10.638,00 m<sup>3</sup>), jacarandá indiano (R\$ 25.185,00 m<sup>3</sup>), cedro canadense (R\$ 6.980,00 m<sup>3</sup>). Assim, observar-se o alto valor agregado a essas madeiras.

Atualmente o metro cúbico de espécies de madeiras da Amazônia, de origem legal e certificada, varia de R\$ 1.600,00 a R\$ 3.800,00, na região de Manaus-AM. Mesmo considerando que a madeira importada (kits) possui corte radial, está seca e aplainada, ainda assim, o valor agregado à madeira é imenso, sendo provavelmente o mercado de maior valorização do recurso madeireiro.

A comercialização de madeiras da Amazônia, com qualidade adequada para a fabricação de instrumentos musicais de corda, na forma de kits, seria uma opção para valorizar tais espécies, pois agrega muito valor a peças relativamente pequenas de madeira, possibilitando a inclusão uma nova linha no segmento da indústria da madeira na região, gerando novos empregos e conseqüentemente, renda para as famílias, impostos fiscais e aumento da receita bruta.

A fabricação local destes kits geraria diversos benefícios diretos e indiretos, como absorção da mão de obra local, subsídios para a redução da venda de madeira bruta, que tem pouco valor agregado e possibilitaria a inserção da comunidade em um mercado mundial de produtos de altíssimo potencial e alta valorização da matéria-prima.

## 7 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos nesse estudo para caracterização tecnológica de espécies tradicionalmente utilizadas na confecção de instrumentos musicais de corda, podem-se extrair as seguintes conclusões:

As espécies *Jacaranda copaia* (caroba) e *Simarouba amara* (marupá) podem ser utilizadas para o componente tampo de instrumentos musicais de corda.

As espécies *Brosimum rubesens* (muirapiranga), *Cariniana decandra* (tauari) e *Cedrela odorata* (cedro) podem ser utilizadas para o componente fundo e lateral de instrumentos musicais de corda.

O coeficiente de anisotropia das espécies *Brosimum rubesens* (muirapiranga), *Cariniana decandra* (tauari), *Cedrela odorata* (cedro), *Jacaranda copaia* (caroba) e *Simarouba amara* (marupá) alternativas da Amazônia, permitiu classificá-las como excelente a normal, indicando a boa qualidade dessas madeiras para o uso na confecção de instrumentos musicais de corda.

O uso da técnica de vibração longitudinal na caracterização tecnológica das madeiras, permitiu avaliar as variáveis tecnológicas de forma rápida, precisa e com uso posterior da amostra. Possibilitando, classificar as espécies alternativas da Amazônia como madeiras com potencial para composição de instrumentos musicais de corda.

## 8 RECOMENDAÇÕES

A técnica de avaliação não destrutiva empregadas neste trabalho, pode ser utilizada pelos empresários do setor madeireiro para aproveitamento de mais espécies; assim como, os fabricantes de instrumentos podem classificar novas madeiras da Amazônia para compor instrumentos. O ensaio deve ser feito em local fechado isento de ruídos.

Sugere-se analisar outras espécies florestais, para os diferentes componentes de instrumentos musicais, considerando, a diversidade de madeiras na Amazônia brasileira.

O fortalecimento da relação entre o setor madeireiro, Universidades e Instituições de pesquisa, pode possibilitar o melhor desenvolvimento da indústria de madeira serrada.

Indica-se também um estudo mais específico sobre extrativos de espécie de madeiras da Amazônia e sua influência nas propriedades acústicas.

Recomenda-se a confecção de um instrumento musical de corda, por exemplo, violão ou ukulelê, com as madeiras classificadas para os diferentes componentes, e testar a qualidade estrutural e sonora pela avaliação por músicos e *Luthiers*.

Sugere-se a inserção de uma linha de produção de madeira serrada para formar kits de madeiras para fabricação de instrumentos para comercialização no mercado internacional.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projetos de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro: 107p. 1997.

ACRE - GOVERNO DO ESTADO DO ACRE. Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável do Vale do Juruá – Acre. AC, 2011.

ALENCAR, B. J. **A análise multivariada no tratamento da informação espacial: uma abordagem matemático-computacional em análise de agrupamentos e análise de componentes principais.** Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Tratamento da Informação Espacial. Belo Horizonte, 2009. 200f.

ALVES, E. S.; LONGUI, E. L.; AMANO, E. Pernambuco wood (*Caesalpinia echinata*) used in the manufacture of bows for string instruments. **IAWA Journal**, Vol. 29 (3), 2008.

ANGYALOSSY, V.; AMANO, E.; ALVES, E. S. Madeiras utilizadas na fabricação de arcos para instrumentos de corda: aspectos anatômicos. **Acta bot. bras.** 19(4): 819-834. 2005.

ARAMAKI M, BAILLÈRES H, BRANCHERIAU L, KRONLAND-MARTINET R, YSTAD S. Sound quality assessment of wood for xylophone bars. **Journal of the Acoustical Society of America.** 121:2407-2421, 2007.

ARAÚJO, H. J. B. **Agrupamento das espécies madeireiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do projeto de colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas.** 157 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

ARAÚJO, H. J. B. Inventário florestal a 100% em pequenas áreas sob manejo florestal madeireiro. **Acta Amazonica.** VOL. 36(4) : 447 – 464. 2006.

ARAÚJO, H. J. B.; SILVA, I. G. Lista de espécies florestais do Acre: ocorrência com base em Inventários florestais. **Documentos n° 48**, janeiro, ISSN 0104-9046. Embrapa Acre. 2000.

ARAÚJO, J. A; NASCIMENTO; C. C.; CALDERON, C. M. A; CALDERON, R. A. Identificação anatômica de madeiras como ferramenta auxiliar da sustentabilidade dos recursos florestais madeireiros. **IV Seminário Internacional de Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia.** AMAZÔNIA 2030/ANPAS. Manaus. 2016.

ARTEFATOS COM MADEIRAS DA AMAZÔNIA PARA COMERCIALIZAÇÃO. **Relatório Técnico**. PAPPE/FAPEAM/INPA, 2006, 89p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E1876-09: Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration, 2009.

AZAMBUJA, S., **Estudo e Implementação da Análise de Agrupamento em Ambientes Virtuais de Aprendizagem**. Dissertação (Mestrado em Informática). UFRJ. Rio de Janeiro, RJ. 2005.

AZEVEDO C. P. **Dinâmica de florestas submetidas a manejo na Amazônia ocidental: experimentação e simulação**. Tese. Curitiba: Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná; 2006.

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

BARRICHELO, L. E. G. **Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea* Mor. Var. *hondurensis* Barr. e Golf. para a produção de celulose Kraft**. Tese (Livre docente). Universidade Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba – SP, 99p. 1979.

BERKLEY. **Manual Ilustrado dos Instrumentos Musicais**. Traduzido por Denis Koishi e Danica Zugic. São Paulo: Irmãos Vitale. Tradução de: The illustrated musical instruments handbook, 2009.

BRANCHERIAU, L.; BAILLÈRES, H. Natural vibration analysis of clear wooden beams: a theoretical review. **Wood Science and Technology**, 347–365, Springer-Verlag, 2002.

BRANCHERIAU, L.; BAILLÈRES, H.; DÉTIENNE, P. GRIL, J.; KRONLAND, R. Key signal and wood anatomy parameters related to the acoustic quality of wood for xylophone-type percussion instruments. **J Wood Sci**, 2006.

BRANCHERIAU, L.; BAILLÈRES, H.; DÉTIENNE, P.; GRIL, J.; KRONLAND, R. Key signal and wood anatomy parameters related to the acoustic quality of wood for xylophone-type percussion instruments. **J Wood Sci**, 2006.

BRÉMAUD, I. Acoustical properties of wood in string instruments soundboards and tuned idiophones: Biological and cultural diversity. **Journal of the Acoustical Society of America, Acoustical Society of America**, 131 (1), pp.807-818. 2012.

BRÉMAUD, I.; CABROLIER, P.; MINATO, K.; GÉRARD, J.; THIBAUT, B. Vibrational properties of tropical woods with historical uses in musical instruments. **International conference on Wood Science for Preservation of Cultural Heritage: Mechanical and Biological Factors**, Braga, Portugal, 2008.

BRILHANTE, S. H. C. **Recurso madeireiro do Estado do Acre: Quanto e como é explorado**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Acre, Rio Branco: UFAC/PROPEG, 2000.

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

BUCUR, V. Acoustics of wood. **The Thirteenth International congresso on Soud and Vibration**, Vienna, Austria, 2006b.

BURGER, L. M. & RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo, 153p. 1991.  
CALDERON, C. M. A. **O segmento moveleiro na região do Alto Juruá – AC: Perfil e uso de tecnologias alternativas para a caracterização das principais espécies madeireiras**. Tese (doutorado), Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Brasília – DF, 2012.

CANDIAN, M.; SALES, A. Aplicação das técnicas não destrutivas de ultra-som, vibração transversal e ondas de tensão para avaliação de madeira. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 83-98, out./dez. 2009.

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

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

COPANT - COMISSÃO PAN-AMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Descrição macroscópica, microscópica e geral da madeira**. vol. 30, COPANT, Colombia. 19pp. 1973.

COPANT: COMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Description de características generales macroscópicas de las maderas Angiospermas Dicotiledoneas**: 30:1-019.1974.

COPANT: COMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Maderas: acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos y mecânicos**. Caracas: COPANT; 459, 1972a.



COPANT: COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Maderas: método de determinación de la contracción**. Caracas: COPANT; 462, 1972b.

CORADIN, V.T.R.; MUÑIZ, G.I.B. **Normas e procedimentos de estudos de anatomia de madeira**: I. Angiospermae II. Gimnospermae. Brasília: IBAMA, 19p. (LPF – Série Técnica n° 15), 1991.

CUNHA, A.B.; MATOS, J.L.M. Determinação do módulo de elasticidade em madeira laminada colada por meio de ensaio não destrutivo (“stress wave timer”). **R. Árvore**, Viçosa-MG, v. 34, n. 2, p. 345-354. 2010.

DEL MENEZZI, C.H.S.; SILVEIRA, R.R.; 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. **Acta Amazonica**, v.40 (2):325-332, 2010.

DURLO, M.A.; MARCHIORI, J.N.C. **Tecnologia da Madeira: retratibilidade**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, (Série Técnica 10). 33p. 1992.

FLETCHER, N. H. The nonlinear physics of musical instruments. **Rep. Prog. Phys.** 62 723–764. Printed in the UK. Australia. 1999.

FLORES, A. L. L. **Análise de diferentes madeiras brasileiras em substituição às espécies tradicionais no violão clássico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

FREITAS, J. A.; VASCONCELOS, F. J. **Identificação prática de madeiras comerciais da Amazônia: método macroscópico de comparação**. Manaus: CNPq. CTAmazônia, 2010. 54p.

FUNTAC: FUNDAÇÃO DE TECNOLOGIA DO ESTADO DO ACRE. **Diagnóstico de espécies florestais utilizadas pelo setor produtivo madeireiro e moveleiro do estado do Acre**. Rio Branco: FUNTAC, AC, 2006. 25p.

GALVÃO, A. P. M. & JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. Departamento de Difusão de Tecnologia, Brasília – São Paulo: Nobel, 111p. 1985.

GLASS; ZELINKA. Moisture Relations and Physical Properties of Wood. IN: **WOOD HANDBOOK: wood as an engineering material**. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison, Wisconsin, USA. 2010. 508 p.

GLÓRIA, B. A.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia Vegetal**. 2 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006.

GONÇALVES, R.; BARTHOLOMEU, A. Avaliação do desempenho de ensaio não destrutivo em vigas de madeira de *Eucalyptus citriodora* e *Pinus elliottii*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.269-274, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB. 2000.

HAINES D. W.; LEBAN J. M.; HERBE C. Determination of Young's modulus for spruce, fir and isotropic materials by the resonance flexure method with comparisons to static flexure and other dynamic methods. **Wood Science and Technology**. Springer-Verlag. 1996.

HAYASIDA, W.; SOUSA, A. S.; LIMA, M. P.; NASCIMENTO, C. C.; FERREIRA, A. G. Proposta de aproveitamento em resíduos de pau-rainha (*Brosimum rubescens*) descartados pelo setor madeireiro. **Acta Amazônica**. vol. 38(4): 749 – 752. 2008.

IBDF. INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia: características e utilização**. Volume II: Estação Experimental de Curuá-Uma (Lisboa *et al.*). IBDF/DPq-LPF. Brasília. 1988. 236p.

IBDF: INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia: características e utilização**. Floresta Nacional do Tapajós. Brasília: IBDF, 1981. v.1. 113p.

IBGE: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resultados do Censo 2010: População por município, Acre. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas\\_pdf/total\\_populacao\\_acre.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/total_populacao_acre.pdf)> Acesso: 17 de fevereiro de 2017.

IMAZON: INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA. **A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados**. Belém, PA, 2010.

INPA: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA. **Catálogo de madeiras da Amazônia: características tecnológicas**. Área da Hidrelétrica de Balbina. Manaus: INPA, 1991. 163p.

IWAKIRI, S. Classificação de madeiras tropicais através do método mecânico não destrutivo. **Dissertação** (mestrado), Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR. 1982.

JANKOWSKY, I. P. **Influência da densidade básica e do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba – SP, 99p. 1979.

JOHANSEN, D.A. 1940. **Plant microtechnique**. New York, MacGraw-Hill Book Company.

KOLLMANN, F.R.; COTÉ, W.A. **Principles of wood science and technology**. Berlin, Springer-Verlag. 1968, 592p.

KRETSCHMANN, D. E. Mechanical Properties of Wood. IN: **Wood handbook – Wood as an engineering material**. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010, 508p.

LEITE, E. R. S.; HEIN, P. R. G.; SOUZA, T. M.; RABELO, G. F. Estimation of the dynamic elastic properties of wood from *Copaifera langsdorffii* Desf using resonance analysis. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 41-47, 2012.

LONGUI, E. L.; LOMBARDI, D. R.; ALVES, E. S. Six potential woods for bows of stringed instruments: organoleptic properties, machining and commercial availability. **Rev. Inst. Flor.** v. 23 n. 2 p. 203-216, 2011.

LOUREIRO, A. A.; FREITAS, J. A.; FREITAS, C. A. A. **Essências Madeireiras da Amazônia**. Volume 3. Manaus: MCT/INPA-CPPF, 1997. 103p.

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. F. **Catálogo de madeiras da Amazônia**. Superintencia de desenvolvimento da Amazonia – SUDAM, vol 1, Belém, 1968.

MADY, F. T. M. **Conhecendo a madeira**. Informações sobre 90 espécies comerciais. Programa de desenvolvimento empresarial e tecnológico – SEBRAE/AM. 1ª ed. Manaus. 2000. 212p.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Materiais. (Publicação IPT; nº 1791). Ed.2, São Paulo. 1989.

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-MG, v.36, n.2, p.373-380, 2012.

MATSUNAGA, M. & MINATO, K. Physical and mechanical properties required for violin bow materials II: Comparison of the processing properties and durability between pernambuco and substitutable species. **Journal of Wood Science** **44**: 142-146. 1998.

MELO, J.E.; CORADIN, V.T.R.; MENDES, J.C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: **CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO**, 6., 1990,

Campos do Jordão. Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, v.3, p.695-699. 1990.

MELO, L. E. L. **Influência da estrutura anatômica no consumo de energia específica de corte da madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia***. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia da madeira). Universidade Federal de Lavras – UFLA, 93p. 2013.

MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 107 f. 1999.

OLIVEIRA, F.G.R.; SALES, A. Efeito da densidade e do teor de umidade na velocidade ultra-sônica da madeira. **Minerva**, 2(1): 25-31, 2005.

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

ONO, T.; NORIMOTO, M. On physical criteria for the selection of wood for soundboards of musical instruments. **Rheologica Acta**. 23:652-656, 1984.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. de **Textbook of wood technology**. New York. Mc. Graw-hill. Company, 705p. 1980.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. **Fatos florestais da Amazônia 2010**. Belém, PA : Imazon. 124p. 2010.

PITER, J. C.; ZERBINO, R. L.; BLAß, H. J. Effectiveness of fundamental resonant frequency for determining the elastic properties of Argentinean *Eucalyptus grandis* in structural sizes. **Holz Roh Werkst**, 62:88–92, 2004.

PIELOU, E.C. 1984. The interpretation of ecological data; a primer on classification and ordination. **New York**, Wiley.

PORTELA, M. S. **Estudo das propriedades acústicas da madeira Amazônica marupá para tampo de violão**. Tese (Doutor em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 154f. 2014.

ROCHA, J.S.; DE PAULA, E.V.C.M.; SIQUEIRA, M.L. Flexão estática em amostras pequenas livres de defeitos. **Acta Amazonica**, 18(1-2): 147-162. 1988.

ROSS, R. J. **Nondestructive evaluation of wood**. Second edition. General Technical Report FPL-GTR-238. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2015, 169 p.

ROSSING, T.D. **The Science of String Instruments**. Springer Science Business, New York, USA, 2010. 466p.

SANTINI JUNIOR, L. **Descrição macroscópica e microscópica da madeira aplicada na identificação das principais espécies comercializadas no Estado de São Paulo – Programas “São Paulo Amigo da Amazônia” e “Cadmadeira”**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia dos Produtos Florestais). Universidade Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba- SP, 272p. 2013.

SCHIMLECK, L. R.; EVANS, R.; ILIC, J. Estimation of *Eucalyptus delegatensis* wood properties by Near Infrared Spectroscopy. **Canadian Journal of Forest Research**, New Westminster, v. 31, p. 1671-1675, 2001.

SEDIK, Y.; HAMDAN, S.; JUSOH, I. HASAN, M. Acoustic Properties of Selected Tropical Wood Species. **J Nondestruct Eval**. 29: 38–42. 2010.

SEGUNDINHO, P. G. A.; COSSOLINO, L. C.; ALVES, A. H.; CALIL JUNIOR, P. C. Aplicação do método de ensaio das frequências naturais de vibração para obtenção do módulo de elasticidade de peças estruturais de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.6, p.1155-1161, 2012.

SEMA. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. **O Acre: no caminho da sustentabilidade**. Rio Branco, AC, 2012.

SILVA, F.A.P.R.C.; ROBERT, R.C.G.; SANTOS, A.S.; MENDONÇA, S.D. Quantificação e avaliação das principais espécies florestais licenciadas no estado do Acre de 2005 a 2012. **Floresta e Ambiente**, 22(4):567-574. 2015.

SILVA, J. C. & OLIVEIRA J. T. S. Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de *eucalyptus saligna* Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.233-239, 2003.

SLOOTEN, H. J. van der; SOUZA, M. R. **Avaliação das espécies madeireiras da Amazônia selecionadas para a manufatura de instrumentos musicais**. Manaus: INPA, 1993. 141 p.

SOUZA, M. R. **Classificação de madeiras para instrumentos musicais**. Brasília: IBDF, 1983.

SPYCHER, M.; SCHWARZE, F. W. M. R.; STEIGER, R. Assessment of resonance wood quality by comparing its physical and histological properties. **Wood Sci Technol**. 42:325–342, 2008.

TARGA, L.A.; BALLARIN, A.W.; BIAGGIONI, M.A.M. Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com o uso de método não-destrutivo de vibração transversal. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 291-299, maio/ago. 2005.

TEIXEIRA, M. **O processo de transcrição para violão de sete cordas dos movimentos opcionais das Suítes para violoncelo de Bach.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em música. UFPR. Curitiba. 2009.

TEIXEIRA, P. S.; SILVA, A. J.; FEITEIRA, J. F. S. Avaliação e comparação de características de amortecimento de sinais gerados de diferentes violões. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, n. 26, p. 17-30, dez. 2014.

TELES, R. F. Avaliação de madeiras amazônicas para utilização em instrumentos musicais – Madeiras para violões. **Relatório final de projeto PIBIC.** Brasília: UnB. 2004.

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

WEGST, U. G. K. Wood for sound. **American Journal of Botany**, Saint Louis, v. 93, p. 1439-1448, 2006.

WIEDENHOEFT, A. Structure and Function of Wood. **IN: Wood handbook – Wood as an engineering material.** General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010, 508p.

## APÊNDICE

Apêndice A. Lista das espécies madeireiras comercializadas no município de Cruzeiro do Sul – AC, no ano de 2015, em ordem alfabética de família, e seus respectivos nomes vulgares atribuídos na comercialização.

FAMÍLIA	NOME CIENTÍFICO	NOME VULGAR
Apocynaceae	<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> Müll. Arg.	Amarelinho, marfim
Bombacaceae	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Sumaúma
Bursaceae	<i>Protium tenuifolium</i> (Engl.) Engl.	Tauarí
Caesalpiniaceae	<i>Peltogyne catinae</i> Ducke	Roxinho
	<i>Peltogyne subsessilis</i> W. A. Rodr.	Roxinho
	<i>Apuleia molaris</i> Spruce ex Benth.	Miratoá
Clusiaceae	<i>Moronobea coccinea</i> Aubl.	Bacurí
Fabaceae	<i>Dalbergia spruceana</i> Benth.	Jacarandá
	<i>Diploptropis martiusii</i> Benth.	Sucupira
	<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth.	Sucupira-amarela
	<i>Vataireopsis iglesiasii</i> Ducke	Sucupira-amarela, angelim
	<i>Hymenolobium excelsum</i> Ducke	Angelim
	<i>Swartzia ulei</i> Harms.	Violeta
	<i>Torresea acreana</i> Ducke	Cumarú
	<i>Vatairea guianensis</i> Aubl.	Amargoso

**Continua.....**

**Apêndice A. Continuação**

FAMÍLIA	NOME CIENTÍFICO	NOME VULGAR
Lauraceae	<i>Licaria cannella</i> (Meisn.) Kosterm.	Cocão, louro-chumbo
	<i>Licaria brasiliensis</i> (Nees.) Kosterm.	Louro-roxo
	<i>Aniba hostmanniana</i> (Nees.) Mez.	Louro-amarelo
	<i>Ocotea myriantha</i> (Meisn.) Mez	Louro-abacate
	<i>Licaria aritu</i> Ducke	Louro-preto
Lecythidaceae	<i>Licaria mahuba</i> (A. Samp.) Kosterm.	Maúba
	<i>Cariniana decandra</i> Ducke	Tauarí
Meliaceae	<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.	Couremboque
	<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro-vermelho, cedro-rosa
Mimosaceae	<i>Swietenia macrophylla</i> King.	Mogno, aguano
	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Cedro-água
Moraceae	<i>Inga paraensis</i> Ducke	Louro-gibóia
	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	Guariúba
Myristicaceae	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	Muirapiranga
	<i>Virola mollissima</i> (Poepp. ex A. DC.) Warb.	Mutamba
Simaroubaceae	<i>Virola surinamensis</i> (Rol. ex Rottb.) Warb.	Melancieira
	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Marupá
Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Mutamba
Vochysiaceae	<i>Ruizterania albiflora</i> (Warm.) Marc.-Berti	Cocão
	<i>Qualea acuminata</i> Spruce ex Warm.	Milho-cozido

Fonte: Pesquisa de Campo: Próprio autor (2015).