



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

**FRANCISCO FABRIS**

**MADEIRAS NATIVAS COM POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO  
DE INSTRUMENTOS MUSICAIS DE CORDA: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Prof. Dr. ALEXANDRE MIGUEL DO NASCIMENTO  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
NOVEMBRO – 2017



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

**FRANCISCO FABRIS**

**MADEIRAS NATIVAS COM POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO  
DE INSTRUMENTOS MUSICAIS DE CORDA: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

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

Prof. Dr. ALEXANDRE MIGUEL DO NASCIMENTO  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
NOVEMBRO – 2017

**MADEIRAS NATIVAS COM POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO  
DE INSTRUMENTOS MUSICAIS DE CORDA: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

**FRANCISCO FABRIS**

Monografia aprovada em 27 de novembro de 2017.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Alexandre Miguel do Nascimento – UFRRJ  
Orientador

---

Prof. Francisco Antonio Lopes Laudares – UFRRJ  
Membro

---

Amanda Arantes Junqueira – UFRRJ  
Membro

## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha  
avó Maria do Carmo Fonseca  
Barbosa.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado sabedoria e perseverança nessa minha jornada, além de proteção e saúde.

Aos meus pais Léa Mota Barbosa Fabris e Jorge Fabris e a meus irmãos Paulo Fabris e Juliano Fabris por estarem sempre ao meu lado, sem eles não seria o que sou.

Às minhas avós Maria do Carmo Fonseca Barbosa e Neide Rosa Deeke Fabris por todo amor que me deram a vida toda.

Ao meu tio Gilberto Fabris por me ensinar o caminho da música.

Ao professor Alexandre Miguel do Nascimento, pela orientação, paciência e pelo incentivo para a realização dessa monografia.

Aos membros da banca, professor Francisco Antonio Lopes Laudares e Amanda Arantes Junqueira pela contribuição valiosa nesse trabalho.

Aos grandes amigos: Renato Marques Sanches, Fabio Ponciano da Silva, Amanda Arantes Junqueira, Antônio Crivela, Filipe Ozorio, Lucas Carvalho, Renato Nazário, Mario Jander, Camila Santos, Jéssica Sousa, Rafael Eloy, Jeferson Henrique, Carlos Ney Ortúzar, toda a galera que já fez parte do alojamento M5 516 e a todos os amigos que fiz ao longo desses anos na UFRRJ.

E um agradecimento especial à Julia Ayres por alegrar cada dia mais os meus dias e por toda a ajuda na realização dessa monografia.

## RESUMO

Os instrumentos musicais são objetos que produzem música através dos sons característicos de cada um deles. Podem-se produzir sons e conseqüentemente música dos mais diversos objetos que se possa imaginar, porém, nem sempre esses objetos emitem um som tão agradável ou com características específicas para o que se deseja. Sendo assim, ao longo da história a humanidade foi criando e desenvolvendo diferentes instrumentos musicais com os mais diversos materiais, a fim de, controlar as características dos sons produzidos (timbre, altura, duração e intensidade) para obter o melhor resultado possível para cada uma dessas características. Um dos instrumentos de grande importância para nossa cultura popular é o violão, que é composto quase que por completo de madeira. A madeira é muito utilizada para construção de instrumentos musicais, pois pode apresentar grandes variações de ressonâncias dependendo da espécie usada. O Brasil possui uma grande variedade de espécies florestais, uma das maiores do mundo, e mesmo com toda essa variedade ele ainda não é considerado um grande produtor e exportador de instrumentos musicais. Isso acontece, pois, tanto os Luthiers (profissional que trabalha com a construção e manutenção de instrumentos musicais) quanto os músicos que adquirem esses instrumentos ainda são muito conservadores, e utilizam as mesmas espécies há muitos séculos. As madeiras que mais se destacam e que são preferência quase que unânime entre músicos e Luthiers são: os abetos europeus, o jacarandá da Bahia, o mogno, o ébano e o cedro, pois são espécies que possuem excelentes propriedades físicas e mecânicas. Este trabalho teve como objetivo, conhecer através da literatura os avanços relacionados às espécies alternativas com potencial para construção de instrumentos musicais de corda e também conhecer as novas técnicas e avanços tecnológicos do melhoramento físico da madeira. Os resultados revelam que existem muitas espécies com potencial para serem utilizadas como alternativas às espécies já consagradas por músicos e Luthiers, porém, ainda são necessários novos estudos, com a construção de instrumentos musicais com diferentes combinações de espécies para os componentes estruturais dos mesmos.

**Palavras-chave:** Madeiras alternativas; Instrumentos musicais; Melhoramento físico.

## ABSTRACT

Musical instruments are objects that create music through different characteristic sounds of each of them. We can produce sounds from the most diverse objects that we can imagine and with that, we can produce music; however, sometimes these objects cannot emit a good sound or a sound with specific characteristics for what we want. Thus, throughout history, humanity has been creating and developing different musical instruments with the most diverse materials, in order to control the characteristics of the sounds produced (timbre, sound time, duration and intensity) to obtain the best possible result for each one characteristic. One of the instruments that is popular in our culture is the guitar. It is composed almost entirely of wood. Wood is widely used for the construction of musical instruments, because it can present many variations of resonances depending on the species used. Brazil has a large variety of forest species and even with all this variety of species, Brazil is still not considered a major producer and exporter of musical instruments. That is because, both Luthiers and musicians whom acquire these instruments are still very conservative, and they have used the same species for many centuries. Woods that most stand out and are almost unanimous preference among musicians and luthiers are: European spruces, rosewood (jacaranda), mahogany, ebony and cedar, because they are species that have excellent physical and mechanical properties. This work aimed to know through the literature the advances related to alternative species with potential for construction of string musical instruments and to know new techniques and technological advances of physical improvement of wood. The results showed that there are many species with potential for being used as alternative woods to make musical instruments by musicians and luthiers. New studies are still necessary to figure out how instruments made with a combination of different woods can interfere in the structural components of them.

**Keywords:** Wood; Construction of musical instruments; forest species.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xii</b>
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Origem do violão.....	3
2.3. Características Gerais das Madeiras.....	12
2.4. Propriedades Organolépticas da Madeira.....	13
2.5. Propriedades Físicas da Madeira.....	14
2.6. Propriedade Mecânica da Madeira.....	17
2.7. Propriedades Acústicas da Madeira .....	18
2.8. O Som.....	19
2.9. Características Desejáveis das Madeiras para Construção de Instrumentos Musicais de Cordas. ....	20
2.10. Propriedades de Usinabilidade da Madeira .....	21
2.11. Partes Estruturais do Violão .....	22
2.12. Madeiras Tradicionalmente Utilizadas para Construção de Violões.....	28
2.13. Características Gerais das Espécies Tradicionalmente Utilizadas para Confecção de Violões.....	29
2.13.1. Abeto europeu ( <i>Picea abies</i> ).....	29
2.13.2. Abeto sitka ( <i>Picea sitchensis</i> ).....	30
2.13.3. Cedro do Canadá ( <i>Thuja Plicata</i> ) .....	30
2.13.4. Jacarandá da Bahia ( <i>Dalbergia Nigra</i> ) .....	30
2.13.5. Mogno ( <i>Swietenia macrophylla</i> ) .....	31
2.13.6. Ébano africano ( <i>Diospyrus spp.</i> ) .....	31
2.14. Técnicas de Melhoramento Físico da Madeira.....	31



2.14.2.	Efeito da secagem nas propriedades acústicas da madeira .....	33
3.	Metodologia .....	34
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
4.1.	Dissertação de Mário Rabelo de Souza- 1983 “Classificação de madeiras para instrumentos musicais” .....	34
4.2.	Relatório de Ricardo Faustino Teles - 2005: “Avaliação de madeiras amazônicas para utilização em instrumentos musicais” .....	41
4.3.	Dissertação de Maria Angelica Soares - 2014“Produção de um violão clássico em madeira de teca ( <i>tectona grandis</i> )” .....	48
4.4.	Dissertação de Andre Luis Lima Flores – 2015 “Análise de diferentes madeiras brasileiras em substituição às espécies tradicionais no violão clássico” .....	54
4.5.	Dissertação de Joelma Araújo Costa -2017 “Classificação de madeiras da Amazônia para composição de instrumento musical de corda através da técnica de excitação por impulso” .....	60
4.6.	Espécies selecionadas por diferentes autores para a confecção de instrumentos musicais de corda em ordem cronológica de publicação. ....	69
5.	CONCLUSÕES .....	71
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	72

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mulheres tocando flauta dupla, alaúde primitivo e harpa. Afresco encontrado em Tebas, Egito entre 1422 a 1411 a.C.....	3
Figura 2- Alaúde primitivo do Egito antigo. ....	4
Figura 3- Imagem ilustrativa de uma khetara-grega.....	5
Figura 4-Cítara romana.....	5
Figura 5-Alaúde árabe.....	5
Figura 6-Guitarra mourisca e guitarra latina.....	6
Figura 7-Viola portuguesa.....	7
Figura 8- Vihuela.....	7
Figura 9-Visão explodida de um violão: 1 fundo, 2 laterais, 3 tampo, 4 cavalete, 5 rastilho, 6 pestana, 7 mão, 8 braço, 9 escala, 10 salto e 11 boca.....	22
Figura 10-Tampo harmônico de um violão.....	23
Figura 11-Linha do tempo com representações dos principais leques harmônicos de violão iniciando com o leque criado por Francisco Sanguineo em 1759 até os anos 1980 com o leque de Michael Kasha criado pela luthière Gila Eban. ....	24
Figura 12-Cavalete de um violão de seis cordas (Imagem à esquerda). À direita, rastilho feito de osso preso em uma fenda que há no cavalete. ....	25
Figura 13- Fundo e lateral de Pau ferro de um violão de seis cordas.....	26
Figura 14- A imagem à esquerda representa o braço e a mão de um violão de seis cordas vistas de costas e na imagem à direita representa a mão de um violão vista de cima, podendo ver os detalhes das tarraxas.. ....	26
Figura 15- Escala de um violão com os trastes.....	27
Figura 16- Capotraste de um violão de seis cordas. ....	27
Figura 17-Dependência do amortecimento da radiação sonora na resistência à onda sonora para diferentes espécies de madeira e outros materiais .....	36
Figura 18- Gráfico de comparação direta entre as propriedades das madeiras classificadas para tampo de instrumentos de corda. Densidade básica (PE), módulos de ruptura (MOR) e de elasticidade em flexão (MOE), dureza Janka (DUR), compressão paralela às fibras (CPP), cisalhamento(CIS) e coeficiente de retratibilidade linear (Ct/Cr). Legenda das espécies: (96)	

Morototó; (106) Sorva; (168) Sitka spruce; (21) Faveira tamboril; (41) Murupá; (26) Castanha de arara .....	38
Figura 19- Gráfico de comparação direta entre as propriedades das madeiras classificadas para fundo de instrumentos de corda. Densidade básica (PE), módulos de ruptura (MOR) e de elasticidade em flexão (MOE), dureza Janka (DUR), compressão paralela às fibras (CPP), cisalhamento(CIS) e coeficiente de retratibilidade linear (Ct/Cr) Legenda das espécies: (11) andiroba; (172)European maple; (44) Tachi preto folha grande; (156) Jacareúba; (8) Amapá doce.....	38
Figura 20-Medidas das chapas de madeira.....	41
Figura 21-Esquema do equipamento utilizado.....	42
Figura 22- Esquematização do leque harmônico tradicional com as Barras Harmônicas (BH, BH1, BH2 e BH3) e Travessões (T1 e T2). .....	49
Figura 23-Disposição das barras, travessões e reforços. Fonte: (SOARES, 2014).....	50
Figura 24-Vista lateral (a) e vista frontal (b) dos leques finalizados.....	51
Figura 25- Fundo do violão com travessões.....	51
Figura 26-Dimensões das laterais.....	52
Figura 27-Lâminas laterais, após lixamento e definição das dimensões.....	52
Figura 28- Braço e mão do instrumento.....	52
Figura 29- Escala em madeira de Jatobá sendo colocados os trastes.....	53
Figura 30- Violão feito em madeira de (Teca) finalizado.....	53
Figura 31-Laterais com travessas e reforços e tampos harmônicos e fundos .....	56
Figura 32- Gráfico radar 01: Comparação das madeiras do tampo harmônico.....	58
Figura 33-Gráfico radar 02: Comparação das madeiras da caixa acústica do violão.....	60
Figura 34- Grafico com Densidades aparente ( $D_a$ ) das madeiras para o tampo, fundo e lateral .....	64
Figura 35-Módulo de Elasticidade – MOE (GPa) das madeiras para o tampo, fundo e lateral. ....	65
Figura 36-Velocidade de propagação do som - V (m/s) das madeiras para o tampo, fundo e lateral. ....	66
Figura 37-Impedância sonora – Z ( $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot 10^{-6}$ ) das madeiras para o tampo, fundo e lateral. ....	67

Figura 38- Gráfico do Coeficiente de radiação sonora - R ( $m^4/kg.s.10^{-6}$ ) das madeiras para o tampo, fundo e lateral. ....67

Figura 39- Gráfico do Amortecimento –  $\eta$  (Ad) das madeiras para o tampo, fundo e lateral. 68

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Espécies selecionadas por Souza (1983), como sendo boas para tampo harmônico e fundo de instrumentos musicais de corda pelo método acústico.....	37
Tabela 2- Espécies classificadas para tampo harmônico e fundo.....	39
Tabela 3 - Espécies classificadas pelo método estatístico para tampo harmônico e fundo.....	39
Tabela 4-Espécies classificadas pelos métodos: acústico, método de comparação direta e método estatístico, para instrumentos de corda para os componentes (tampo harmônico e fundo). .....	41
Tabela 5- Madeiras selecionadas para uso em violões.....	43
Tabela 6- Espécies selecionadas para uso em violões com seus respectivos nomes científicos e família.....	44
Tabela 7- Propriedades físicas e mecânicas das espécies selecionadas.....	45
Tabela 8 -Resultados de tração, resistência ao impacto e trabalhabilidade das espécies selecionadas.....	46
Tabela 9 - Propriedades acústicas das espécies selecionadas.....	47
Tabela 10- Dimensões dos componentes harmônicos do tampo.....	50
Tabela 11-Tabela de aproximação com o abeto para tampo harmônico. ....	58
Tabela 12 - Tabela de aproximação com o Jacarandá.....	59
Tabela 13 - Espécies alternativas da Amazônia e seus respectivos componentes.....	61
Tabela 14 - Aspectos anatômicos das madeiras tradicionais e alternativas em estudo, com a classificação para os diferentes componentes do instrumento. ....	62
Tabela 15 - Densidade básica, retratibilidade e coeficiente de anisotropia das madeiras alternativas da Amazônia.....	63
Tabela 16 - Espécies selecionadas para confecção de tampo harmônico para instrumentos de corda por diferentes autores dispostos em ordem cronológica de publicação.....	70
Tabela 17 - Espécies selecionadas para confecção de fundo e lateral para instrumentos de corda por diferentes autores dispostos em ordem cronológica de publicação.....	70
Tabela 18- Espécies selecionadas para confecção de braço e escala para instrumentos de corda por diferentes autores dispostos em ordem cronológica de publicação.....	71

## 1. INTRODUÇÃO

Mesmo com tanta variedade de espécies florestais no mundo, pouquíssimas espécies foram consagradas por *Luthiers* para fabricação de instrumentos musicais ao longo dos séculos, e isso ocorre não somente pelo forte conservadorismo desses profissionais, mas também pela preferência dos músicos que adquirem esses instrumentos, já que essas espécies apresentam excelentes propriedades físicas e acústicas (SOUZA, 1983).

Só no Brasil já foram catalogadas cerca de 7.800 espécies arbóreas até o presente momento, esse número nos coloca no topo de maior biodiversidade florestal do mundo (FAO, 2005). O Brasil importa mais de 100 milhões de reais em madeiras por ano para fabricação de instrumentos musicais, ainda assim, 75% do total de instrumentos de corda vendidos no país são importados (PORTELA, 2014).

Dos instrumentos musicais de corda que exerceram grande importância na nossa cultura popular se destacam o violão e a viola caipira. Esses dois instrumentos foram os mais utilizados para o acompanhamento da nossa música popular entre o fim do século XIX e início do XX (TINHORÃO, 1972).

O violão é um instrumento de cordas composto de três partes principais, corpo, braço e mão, todas feitas em madeira (SOARES, 2014). A viola caipira também é constituída destas três partes principais, diferindo-se do violão pelos tipos de madeiras e forma de construção do instrumento, tal como formato do corpo e número de cordas. A viola tem hoje no Brasil mais de vinte afinações diferentes (VILELA, 2005). Existem violões de diversos estilos e cores no mercado, mas o mais comum é com o corpo em formato de número oito (SOARES, 2014).

Na escolha das madeiras a serem utilizadas para a fabricação de um instrumento musical devem ser atentadas algumas características que serão de suma importância para a qualidade final do instrumento, como: propriedades físicas, propriedades mecânicas, propriedades anatômicas e propriedades acústicas (SOARES, 2014).

Além de todas essas características já citadas, devem ser levadas em consideração também a disponibilidade dessas espécies na natureza e seu preço comercial. As madeiras que apresentam características mais desejáveis para a construção de um instrumento musical são normalmente as de crescimento mais lento, isso fez com que muita dessas espécies entrasse para lista de ameaçadas de extinção devido à exploração desordenada e à falta de interesse de

plântio comercial (FLORES, 2015). Neste contexto, justifica-se a procura de espécies alternativas que tenham características semelhantes às tradicionais (COSTA, 2017).

Segundo Borges (2009), a ação do homem sobre o meio ambiente vem desde os primórdios de sua existência, os recursos naturais sempre foram utilizados como fonte de vida, devido sua necessidade de subsistência. A legislação ambiental começou a ser criada com o objetivo disciplinatório ao uso dos recursos naturais, como: as florestas, a água, o solo, o ar e os animais e partir daí, começaram a surgir instrumentos legais de determinados setores, como o de recursos florestais e hídricos (BORGES, 2009).

Ao longo dos séculos XVI, XVII e XVIII ocorreu a expansão da indústria naval, e a partir daí as árvores além de passarem à ser consideradas como patrimônio nacional começaram a ser usadas também como instrumento de manobra de política externa (CABRAL, 2008).

Se levarmos em consideração a importância econômica, social, ambiental e cultural que circundam um instrumento musical, vemos que são poucos os estudos realizados para busca de espécies alternativas e o melhoramento físico das espécies já conhecidas para a construção do mesmo. Soares (2014) ressalta que ainda são encontrados poucos trabalhos científicos voltados para o estudo das características da madeira para a produção de instrumentos musicais.

Em 1982 começou a ser realizado um trabalho de classificação de madeiras de espécies Amazônicas em substituição às importadas para a construção de instrumentos musicais de corda e posteriormente outros trabalhos foram realizados com diversas outras espécies nativas pelo Laboratório de Produtos Florestais, do Serviço Florestal Brasileiro, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (SOUZA *et al.*, 2008). Mas ainda hoje, devido ao forte tradicionalismo e a pouca divulgação essas espécies ainda não são muito utilizadas (COSTA, 2017).

O presente trabalho busca conhecer e discutir o que há de novo na literatura sobre novas espécies florestais com potencial para o uso em instrumentos musicais de corda, tal como as técnicas de melhoramento físico da madeira.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Origem do violão

O violão é um instrumento musical que pertence à família dos cordofones, ou seja, dos instrumentos de cordas dedilhadas ou pinçadas, podendo ter variações tanto no número de cordas quanto na maneira (técnicas) de toca-lo, sua origem não é muito clara, mas, á foram encontrados por arqueólogos placas de barro com figuras de instrumentos musicais muito similares ao violão atual, na Babilônia antiga, Egito, Roma e Grécia, datadas de 1900-1800 a.C (Figura 1) (FRAZÃO, 2011). Na Europa, o primeiro instrumento de cordas dedilhadas aparece, aproximadamente, em 300 d.C. e tinha um longo braço acoplado a uma caixa acústica arredondada ou retangular (Figura 2)(NOGUEIRA,1991).



Figura 1- Mulheres tocando flauta dupla, alaúde primitivo e harpa. Afresco encontrado em Tebas, Egito entre 1422 a 1411 a.C. Fonte: (MÚSICA VIOLÃO, 2014).





**Figura 2-** Alaúde primitivo do Egito antigo. Fonte: (FASCÍNIO EGITO, 2017).

No final do século XIV, foram encontradas descrições de um instrumento precursor do violão em igrejas da Espanha, França e Inglaterra, esse instrumento apresentava suaves curvaturas nas laterais e havia algumas diferenças claras: a guitarra latina conhecida também como fidícula era derivada da khetara grega, possuía o corpo com a forma semelhante ao número 8 e com o fundo plano e era tocada com os dedos, já a guitarra mourisca, derivada do alaúde árabe, apresentava um corpo ovalado e era tocada com um plectro (palheta) (CANO, 2015).

Em 1929 o violonista e musicólogo discípulo de Tárrega Emílio Pujol, realizou uma pesquisa e sistematizou suas conclusões em uma de suas conferências publicada como “La guitarra y su História” (BESCHIZZA, 2017). Assim foram levantadas duas hipóteses para sua origem:

- ❖ A primeira afirma que o violão é derivado da *Khetara Grega* (Figura 3) e da *Cítara romana* ou *Fidícula* (Figura 4). Entre os séculos XIII e XIV, esse instrumento evolui para se tornar a *Guitarra Latina* (Figura 6) (BESCHIZZA, 2017).
- ❖ A segunda hipótese diz que o violão veio do Alaúde Árabe (Figura 5), conhecido também como Oud, chegando à Península Ibérica pelas invasões muçulmanas no início do século VIII e então nos séculos XIII e XIV, começa a ser conhecido como *Guitarra Moura* (Figura 6) (BESCHIZZA, 2017).



Figura 3- Imagem ilustrativa de uma khetara-grega. Fonte: (PINHEIRO, 2017).



Figura 4-Cítara romana. Fonte: (DAREZZO, 2015).



Figura 5-Alaúde árabe. Fonte: (ALZEI, 2015).



**Guitarra mourisca**

**Guitarra latina**

Figura 6-Guitarra mourisca e guitarra latina. Fonte: (A SENHORA DO MONTE, 2017).

Apesar de possuir a vantagem de ser um instrumento mais portátil e de ser moldar melhor ao corpo do instrumentista, com a chegada da guitarra pelo mediterrâneo (principalmente a que tinha um modelo de corpo reto, “acinturado” e ainda mais ergonômico) o alaúde foi sendo superado pelos dois extremos, a guitarra era um instrumento mais fácil de tocar, com melhor ergonomia, mais rápida e fácil de ser construída e mais barata (PEREIRA et al., 2012)

Em alguns países, de língua não portuguesa, o violão é conhecido como Guitar, em inglês; Guitare, em Frances; Gitarre, em alemão; Chitarra, em italiano e Guitarra, em espanhol; denominações derivadas do árabe qitara, por sua vez tomado do grego kithara ou kethara (TABORDA, 2010).

Esse termo surgiu com os portugueses que possuíam um instrumento muito semelhante ao Violão, que seria atualmente equivalente à nossa Viola Caipira, conhecida como Viola portuguesa e que teve origem no século XVI, da vihuela (Figura 8). Existiam três tipos diferentes de vihuela: vihuela de arco, friccionada com arco; vihuela de peñola, pulsada com um plectro; e a vihuela de mano, tocada com os dedos; todas elas possuíam a caixa acústica no formato do número 8 e seis cordas duplas, a vihuela de mano foi a que teve maior popularidade na Espanha do século XVI espalhando-se por vários países da Europa (DUDEQUE, 1994).

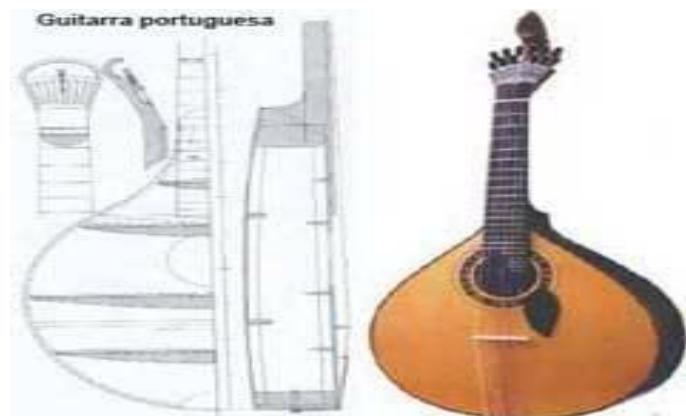


Figura 7-Viola portuguesa. Fonte: (A SENHORA DO MONTE, 2017).

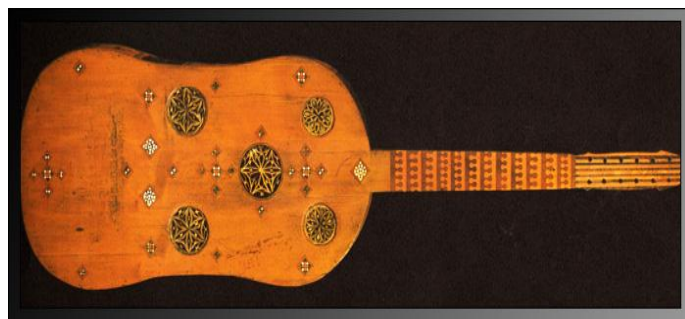


Figura 8- Vihuela. Fonte: (BARBER, 2017).

Logo que os portugueses se depararam com a “guitarra”, notaram que havia muitas semelhanças com a sua viola, sendo apenas um pouco maior. Então passaram a chama-la no aumentativo, ou seja, de “Viola” passou a ser chamado de Violão (COSTA, 2015). A vihuela e a guitarra diferenciavam-se pelo número de cordas, pelas técnicas ao executar os sons no instrumento (em uma, sons mais ponteados e na outra mais rasgueados), pelas classes sociais a que se destinavam e pelo repertório, a guitarra tornou-se confidente das emoções da plebe, já a vihuela foi instrumento palaciano, de onde surgiram composições de obras enriquecedoras para a música instrumental daquele período (TABORDA, 2011).

Nesse mesmo período existia também a vihuela de quatro ordens, conhecida por *guitarra* na Espanha, *chitarra* de sete corde ou *chitarrino* na Itália, *guiterre* ou *guiterne* na França e *gittern* na Inglaterra, este instrumento possuía dimensões um pouco menores que a vihuela, com a mesma afinação, porém, excluindo a primeira e sexta ordem (WADE, 2001). Wade (2001) referem-se ainda à guitarra de cinco ordens, que ficou conhecida como guitarra barroca durante o século XVII.

Já na transição do século XVIII para o XIX, além da guitarra de seis ordens duplas, também foi observado por Dudeque, (1994) a existência de uma guitarra com seis cordas unitárias, que era conhecido como Guitarra francesa, instrumento tal, que em Portugal passou a ser chamado de violão como já mencionado no início.

O padrão do violão que conhecemos hoje foi definido pelas transformações realizadas pelo luthier espanhol Antonio de Torres Jurado (1817-1892), destacando-se o desenho de nova silhueta, aumento do tampo e de sua superfície vibrante, posição de leques harmônicos e aplicação do sistema dos harmônicos em distribuição e aumento do número de trastes que antes era apenas doze e passou a ter 19, aumento do tamanho das cordas de 648 mm para 650 mm, mudanças do cavalete agregando o rastilho que facilitou a transmissão da vibração das cordas para tampo (GOMES et al., 2004).

### **2.1.1. Chegada ao Brasil**

No Brasil, a viola de cinco cordas duplas, precursor do violão foi introduzida pelos jesuítas portugueses, que a utilizavam na catequese (DUDEQUE, 1994). A origem da viola assim como a do violão é difícil de ser definida, até onde se sabe essa história começa com a chegada dos mouros à Península Ibérica, esses povos trouxeram instrumentos como, por exemplo, o rebab, que originou os instrumentos de arco, e o oud, que deu origem aos instrumentos de cordas dedilhadas onde as notas podem ser modificadas ao longo de um braço (VILELA, 2005).

No início do século XVI, quase todas as formas de expressão musical de caráter urbano cantadas no Brasil eram acompanhadas pela viola. A viola marca significativamente, e quase indissociável, a cultura brasileira, por encontrar-se presente em quase todas as manifestações registradas no país desde o século XVI (ZANON, 2006).

Os cânticos europeus trazidos ao Brasil foram se misturando aos elementos da cultura negra e indígena com o passar dos anos. A modinha portuguesa, o lundu africano e o cateretê indígena, convergiram-se, em uma música popular. A viola e o violão foram os instrumentos mais utilizados para o acompanhamento dessa música, o momento de formação e consolidação dos gêneros primordiais de música urbana popular brasileira situa-se entre o fim do século XIX e início do XX, entre estes, os tangos brasileiros, o maxixe e o choro (TINHORÃO, 1972).

Não se tem registros do uso do violão como instrumento solista até meados do século XVIII, pois não existia um ambiente propício ao seu desenvolvimento, não havia violonistas com esta disposição, nem professores, métodos ou publicações que facilitassem a difusão desse estudo nessa colônia portuguesa (CANO, 2015).

Segundo Tinhorão (1972; 1998), no governo de D. Pedro II, em 1857, foi criada a Academia de Música e Ópera Nacional, idealizada pelo espanhol José Amat, que propunha criar condições mais adequadas para o desenvolvimento de uma música essencialmente brasileira.

Com o custo mais acessível que os outros instrumentos, o violão esteve presente nas camadas sociais menos favorecidas e foi predominantemente usado na música popular, por isso ganhou uma reputação muito ruim na época e foi discriminado por alguns setores da sociedade que o associaram à boêmia e à ociosidade (CANO, 2015). Apesar disso, em algum momento, foi despertado o interesse do Estado aristocrata para incentivar um estudo mais refinado do instrumento neste período (TINHORÃO, 1998).

Até a primeira metade do século XIX ainda havia certa confusão entre a viola e o violão, mas, a partir daí, foi ficando mais evidente a diferença entre a viola, que era um instrumento eminentemente sertanejo, que aparecia com maior frequência no interior do país e recebe até nos dias atuais o nome de viola caipira; e o violão, que era conhecido também como guitarra francesa, que teve sua construção definitiva nesse período e tornou-se um instrumento quase que efetivamente urbano muito usado nas modinhas para acompanhar o canto e na música instrumental, na qual se juntou à outros instrumentos para formar os grupos de choro (TINHORÃO, 1972; 1998).

No final do século XIX, ocorrem as primeiras apresentações de violão solo em público, em alguns centros da elite musical do Rio de Janeiro, onde tocavam o engenheiro Clementino Lisboa, o desembargador Itabaiana e os professores Ernani Figueiredo e Alfredo Imenes. Somente em 1904 foram realizados os primeiros concertos de violão solo propriamente no país, que foram dados pelo cubano Gil Orozco, pelo português Alberto Baltar em 1906, pelo espanhol Manuel Gomes em 1911 e pelo brasileiro Francisco Pistorezi em 1914. Só então começaram a surgir uma atividade solista mais vigorosa, mesmo assim, o violão ainda sofria forte preconceito e era alvo de duras críticas por parte da imprensa (CANO, 2015).

Segundo Antunes (2002), nas primeiras décadas do século XX, três grandes nomes de importância no Brasil se destacaram e influenciaram os caminhos do violão no país: o brasileiro, Américo Jacomino muito conhecido como “Canhoto”; o virtuoso paraguaio Agustín Barrios e a espanhola Josefina Robledo, que trazia para o país o que havia de mais avançado em termos de técnica violonística. A partir de 1916, após muitas apresentações realizadas por esses três solistas, o violão ganhou notoriedade do público e respeito da imprensa, e começou a ser aceito pela crítica como instrumento de concerto (ANTUNES, 2002).

Posteriormente, começaram a se destacar outros nomes numa vertente mais popular, como é o caso de Joaquim Santos; João Teixeira Guimarães, conhecido também como “João Pernambuco”; Aníbal Augusto o “Garoto”; Dilermando Reis e Baden Powell (ANTUNES, 2002).

Dentre os grandes nomes brasileiros tivemos também Heitor Villa-Lobos (1887-1959), que produziu uma obra revolucionária para o violão, com destaque nacional e internacional. A partir de então, seguiu-se uma linhagem de compositores que escreveram grandes obras para o instrumento, como Francisco Mignone; Radamés Gnattali; César Guerra-Peixe; Lina Pires de Campos; Mozart Camargo Guarnieri; Carlos Alberto Pinto Fonseca; Marlos Nobre; Ricardo Tacuchian; Jorge Antunes; Márcio Côrtes; Edino Krieger; Nestor de Holanda Cavalcanti; Paulo Bellinati; Marco Pereira; Sérgio Assad; Paulo Porto Alegre; Francisco Araújo; Artur Campela; Giacomo Bartoloni e Almeida Prado (CANO, 2015).

Outros compositores que deixaram mais de cem composições escritas além de revisões e transcrições e entre seus alunos estão Antônio Rebello Abreu (1902-1965), Antonio Carlos Barbosa Lima e Henrique Pinto (GLOEDEN, 2002).

Henrique Pinto teve um papel fundamental no ensino do violão no Brasil, atuou principalmente em São Paulo, sendo um dos principais difusores do ensino de violão no país. Escreveu diversos métodos, e é responsável pela formação de grandes violonistas brasileiros, dentre eles, Angela Muner, Giacomo Bartoloni, Edelson Gloeden, Everton Gloeden e Paulo Porto Alegre, Antônio Rebello Abreu atuou em grande parte, no Rio de Janeiro e teve como alunos, Jodacil Damasceno, Turíbio Santos, Sérgio Rebello Abreu e Eduardo Rebello Abreu (DUDEQUE, 1994).

Jodacil realizou transcrições e escreveu métodos de grande importância no ensino de violão solo, já Turíbio veio a se tornar um dos principais pesquisadores da obra violonística

de Villa-Lobos e também realizou importantes transcrições, além de elaborar muitas obras didáticas, posteriormente, se dedicou à lutheria de violões e se tornou uma referência no assunto (CANO, 2015).

## **2.2. Históricos do Uso da Madeira para Construção de Instrumentos Musicais**

Auxiliar do homem há milhares de anos, a madeira começou a ser utilizada para fabricação dos primeiros instrumentos musicais há mais de 10.000 anos atrás. Para a construção de um instrumento musical de qualidade, é indispensável um vasto conhecimento das propriedades deste material, o luthier como é conhecido o mestre artífice de instrumentos musicais, escolhe as madeiras que lhe parecem mais adequadas para a utilização que pretende lhe dar (BESSA, 2000).

Um dos maiores desafios de um luthier é conseguir extrair ao máximo o potencial de uma madeira no sistema mecânico vibracional (SMV) do instrumento. Desde a antiguidade a classificação da qualidade da madeira na luteria é feita de formas empíricas de audição e flexão da madeira e também visualmente, outros fatores como número de anéis de crescimento, uniformidade dos anéis e variação de cor também são levados em consideração na seleção das madeiras (FLORES, 2015).

Como se exige muito do trabalho manual, muitas das técnicas de construção de instrumentos musicais se baseiam na experimentação, sendo assim, muitos dos segredos de construção e entalhe, têm sido transmitidos de geração em geração nas famílias tradicionais que conseguiram dar continuidade a esse ofício (FLORES, 2015).

O processo de fabricação de um violão é longo e difícil, assim como acontece com a fabricação de quase todos os instrumentos de cordas. Em vários países, ainda existem luthiers que constroem violões por processos totalmente artesanais, no entanto, com o aumento da procura destes instrumentos surgiram fábricas semi-mecanizadas em que os métodos utilizados se encontram entre o puro artesanato e a fabricação em série, e que produzem instrumentos com qualidade satisfatória e de preço mais acessível. A construção de um violão não é totalmente padronizada, sendo assim, são feitos violões em vários tamanhos, formas e com diferentes materiais (BESSA, 2000).

Devido á crescente industrialização do processo de fabricação de instrumentos musicais populares, muitos luthiers passaram a dedicar grande parte de seus serviços à



restauração ou pequenos ajustes e manutenção desses instrumentos, com isso muitas técnicas foram esquecidas e algumas ferramentas de uso artesanal deixaram de serem utilizadas (FLORES, 2015).

Desde que os primeiros luthiers chegaram ao Brasil no início do século XX, a lutheria foi evoluindo gradativamente, Tranquilo Giannini e Romeu Di Giorgio deram origem às duas maiores fábricas de violão do país, mas antes de montarem suas indústrias eles faziam seus instrumentos de maneira artesanal (PINTO, 2008).

### **2.3. Características Gerais das Madeiras**

A madeira possui uma estrutura complexa, composta de diferentes tipos de células e de produtos químicos que agem conjuntamente para atender às necessidades de uma planta (WIEDENHOEFT, 2010). A madeira por ser um material altamente higroscópico, está em constante troca de umidade com o ar; provocando uma variação nas suas dimensões, conforme sua orientação longitudinal, radial ou tangencial (JANKOWSKY, 1979). Esse comportamento da madeira difere em cada um destes sentidos, esse fenômeno é conhecido como anisotropia (BURGE; RICHTER, 1991).

Por ser um material de origem biológica, a madeira tem grande variabilidade em sua estrutura e propriedades específicas que refletem sua complexidade (MELO, 2013).

Existem vários estudos para identificação dos fatores que podem afetar as propriedades físico-mecânicas da madeira e os que podem ser inerentes a ela própria, como também a influencia do ambiente onde a árvore se desenvolve (LOBÃO et al., 2004).

As propriedades mecânicas da madeira dependem de vários fatores como: densidade básica, porcentagem de madeira juvenil, largura dos anéis, ângulo das microfibrilas, inclinação, grã, quantidade de extrativos, teor de umidade, intensidade ao ataque de insetos, tipo e da localização e quantidade de nós, dentre outros fatores (EVANS et al., 2000). O ambiente, bem como sua manipulação, também pode afetar as características e a qualidade da madeira. Podem ser significativamente diferentes as propriedades físico-mecânicas da madeira de árvores plantadas em um ambiente exótico, daquelas cultivadas em um ambiente nativo (SHIMOYAMA, 1990).

O processo de fabricação de um instrumento musical ainda é bastante conservador e para cada parte da estrutura de um instrumento se exige que haja combinações características específicas que englobam cor, textura, figura e grã (SLOOTEN; SOUZA, 1993).

## **2.4. Propriedades Organolépticas da Madeira**

### **2.4.1. Cor**

A cor é um atributo muito importante na estética de um instrumento musical, e constitui um dos principais critérios de aceitação ou de rejeição do mesmo, ela se associa à superfície e ao desenho da madeira, por isso, deve ser levada em consideração no planejamento, visando atender aos diversos usos desse material (LOPES et al., 2005).

### **2.4.2. Textura**

A textura da madeira é o efeito produzido por sua dimensão, distribuição e elementos anatômicos constituintes do lenho; sua classificação depende do grau de uniformidade da madeira, podendo apresentar textura grossa, média ou fina (BURGER; RICHTER, 1991).

Geralmente madeiras de textura grossa possuem poros grandes, visíveis a olho nu, tornando o acabamento mais difícil, já as madeiras de textura fina apresentam poros pequenos, uniformes e bem distribuídos, possibilitando um acabamento de melhor qualidade (MADY, 2000). Considera-se com textura grossa madeiras 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 (CORADIN; MUÑIZ, 1991).

### **2.4.3. Figura (desenho)**

A figura é descrita como a aparência natural das faces da madeira, o que resulta da presença de algumas características como: cerne e alborno, cor, tipo de grã, anéis de crescimento, raios diferenciados e o plano de corte da madeira (BURGER; RICHTER, 1991). Os desenhos e as alterações de caráter decorativos apresentados na madeira à torna facilmente distinta das demais, e isso pode levar a um aumento considerável na valorização da espécie no mercado (MADY, 2000).

#### **2.4.4. Grã**

Grã é o termo utilizado para se referir à orientação geral dos elementos verticais contidos no lenho da árvore. Durante o crescimento da árvore há uma grande variação natural no arranjo e direção dos tecidos axiais, isso faz com que originem vários tipos de grãs: direita, irregular, espiral, entrecruzada, ondulada e diagonal, se os elementos estiverem orientados paralelos ao eixo principal do tronco a grã é considerada direita; a grã é irregular, quando ocorre variação de inclinação dos elementos quanto ao eixo longitudinal do tronco; já a grã espiral, é quando os elementos estão com orientação torcida em relação ao eixo do tronco (BURGER; RICHTER, 1991).

As madeiras que apresentam grã direita tornam os processos de secagem, desdobro e acabamentos superficiais mais fáceis, além de aumentar sua resistência mecânica, já as madeiras com grã irregular ficam com uma superfície mais áspera após o lixamento (LONGUI et al., 2011).

### **2.5. Propriedades Físicas da Madeira**

#### **2.5.1. Teor de umidade**

O teor de umidade da madeira é um fator muito importante na hora de se construir um instrumento musical, se a madeira não estiver seca da maneira adequada, podem acarretar diversos problemas como: micro deslocamento dos trastes, oxidação em alguma parte metálica do instrumento, “craquelamento” do verniz ou abaulamento do tampo, aparecimento de trincas na madeira, enfraquecimento das juntas coladas (trastes, braços, escalas, tampo e fundo), soltura do cavalete (pela tração contínua das cordas) e até mesmo problemas na acústica do instrumento.

Segundo Kollmann e Cotê (1968) ocorre uma diminuição do volume da madeira conforme ela perde umidade abaixo do ponto de saturação das fibras e aumenta à medida que absorve umidade. Essas variações de umidade na madeira alteram suas dimensões e podem resultar em deformação como empenamentos e fendilhamentos (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Segundo Kollmann e Cotê (1968), o teor de umidade da madeira influencia nas propriedades de resistência, rigidez, dureza, resistência à abrasão, usinagem, poder calorífico, condutividade térmica, rendimento, e resistência da madeira contra a decomposição.

Algumas propriedades são fundamentais para o desempenho acústico de uma madeira, como: densidade, módulo de elasticidade e retração, e essas propriedades são altamente dependentes do teor de umidade (WEGST, 2006).

Um teor de umidade considerado adequado para construção de um instrumento musical é de aproximadamente 6%, a secagem constitui uma etapa muito importante do processamento, pois, se for realizada de maneira adequada, acarretará na melhoria de algumas propriedades da madeira, garantindo qualidade do produto final (REMADE, 2009).

A água na madeira pode estar compondo sua estrutura (água de constituição) nesse caso pode ser eliminada somente através da combustão do material; pode estar preenchendo os espaços vazios das células, tanto dentro como entre uma célula e outra (água livre ou água de capilaridade); e pode estar aderida à parede das células (água de adesão ou higroscópica) (MADY, 2000).

Uma madeira retirada de uma árvore recém abatida e exposta ao meio ambiente tem o processo de secagem iniciado pela água livre ou de capilaridade; permanecendo ainda a água higroscópica ou de adesão, este estado é denominado de umidade de saturação ao ar ou ponto de saturação das fibras – PSF, que é por volta de 30% de umidade da madeira (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Após esse ponto de saturação das fibras, se a secagem continua, ocorre uma perda da umidade das paredes celulares e a madeira se contrai devido à aproximação das microfibrilas; aumentando sua resistência. Segundo Iwakiri (1982), acima do PSF, mudanças de umidade não têm efeitos significativos sobre a resistência da madeira.

Quando a madeira, completamente seca (0% de umidade), é colocada ao ar livre, começa a absorver a umidade do ar. Essa umidade corresponde à água higroscópica e o teor de umidade alcançado por essa madeira, que depende da espécie vegetal considerada, é denominado de umidade de equilíbrio com o ambiente (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

### **2.5.2. Densidade (massa específica)**

Segundo Iwakiri (1982) a densidade da madeira é definida como sendo a relação massa por unidade de volume; ou seja, quando se divide o seu peso pelo volume correspondente obtém-se seu peso específico, expressos em  $\text{g/cm}^3$  ou  $\text{kg/m}^3$ .

A densidade é uma propriedade importante na construção de um instrumento musical, e tem uma relação direta com outras características da madeira. Se a madeira for pouco densa

absorverá demais o som, e se for muito densa poderá vibrar demasiadamente. Na produção das diferentes partes dos instrumentos musicais devem-se observar a densidade básica de cada espécie. Por exemplo, o peso específico de uma madeira para o tampo deve ser menor do que aquela usada para o fundo/ lateral (SOARES, 2014).

De acordo com Burger e Richter (1991), a variação natural da densidade da madeira é de 0,13 a 1,40 g/cm<sup>3</sup>, de acordo com as dimensões e proporções dos diferentes tecidos lenhosos. A resistência mecânica e a durabilidade aumentam proporcionalmente à medida que o peso específico aumenta, e diminuem a permeabilidade às soluções preservantes e a trabalhabilidade (MADY, 2000).

Madeiras de baixa densidade apresentam dificuldades na obtenção de superfícies lisas, devido a um arranchamento das células, deixando a superfície aveludada. Já as madeiras com densidade muito alta são difíceis de serem trabalhadas, e provocam um maior desgaste das ferramentas (BURGER, RICHTER, 1991).

No processo de construção de instrumentos musicais, a densidade é um dos requisitos adotados para selecionar as madeiras adequadas para cada finalidade (MARQUES et al., 2012).

### **2.5.3. Estabilidade dimensional (Retratibilidade)**

A retratibilidade é o fenômeno relacionado à variação dimensional que ocorre na madeira, em função da troca de umidade do material com o ar ambiente, até o ponto de equilíbrio higroscópico (PORTO, 2010).

Este é um fator muito importante, e deve ser levado em conta ao se construir um instrumento musical, pois um instrumento de qualidade requer uma boa precisão para que o som saia adequado e não prejudique sua afinação. A contração e a expansão higroscópica da madeira são dois problemas muito indesejados que ocorrem durante a sua utilização (SILVA; OLIVEIRA, 2003).

Quando a umidade da madeira é maior do que o ponto de saturação das fibras ela é dimensionalmente estável; abaixo desse ponto ocorre variação em suas dimensões à medida que ganha ou perde umidade (GLASS; ZELINKA, 2010).

As mudanças dimensionais na madeira podem ser observadas ao longo das três direções estruturais diferentes. Normalmente, na direção tangencial a contração é, aproximadamente, duas vezes maior do que na direção radial, e, no sentido longitudinal é praticamente desprezível; essa razão é denominada coeficiente de anisotropia; quanto mais

próximo de 1 (relação T/R), menor será a incidência de defeitos como o fendilhamento e empenamento da madeira (OLIVEIRA; SILVA, 2003).

Ao escolher as espécies a serem utilizadas para a fabricação de um instrumento musical de madeira, não se deve focar a atenção somente na adequação do instrumento para desempenho, também se deve dar uma atenção especial para o fato de que geralmente esses instrumentos são fabricados sob condições climáticas diferentes do local onde serão utilizados (SLOOTEN; SOUZA, 1993).

Portanto, o estudo da variação das propriedades da madeira é muito importante para se conhecer o seu comportamento, e com isso possibilitar o melhor uso tecnológico para esse material (VALENTE, 2013).

## **2.6. Propriedade Mecânica da Madeira**

As propriedades mecânicas da madeira são geralmente aferidas pela sua resistência e rigidez contra as forças externas, e essa propriedade varia de espécie para espécie (LEITE et al., 2012). Dentre essas propriedades, destacam-se a resistência à compressão, flexão, tração, cisalhamento, fendilhamento e dureza (ABNT, 1997).

A flexão é, sem dúvida, a forma mais comum em quem que uma peça de madeira é submetida e é a propriedade mecânica que melhor se relaciona com as outras (ROCHA et al., 1988).

Uma madeira para estar apta para a construção de determinadas partes de um instrumento musical deve apresentar resistência a grandes tensões (como as exercidas pelas cordas, de aproximadamente 40kgf), caso isso não aconteça poderá resultar em deformações, como empenamento do braço do instrumento na forma de um arco (SOARES, 2014). Além de dificultar a execução musical no instrumento, ainda poderá acarretar num instrumento desafinado (COUTO, 2006).

### **2.6.1. Flexão dinâmica: Módulo de elasticidade – MOE**

O MOE é uma medida da rigidez limite de deformação elástica do material (MORA et al., 2009). Um corpo sólido é chamado elástico quando após à aplicação de uma carga abaixo do limite proporcional, a deformação produzida é completamente recuperada após o

relaxamento dessa carga; além desse limite, as deformações plásticas sofridas são irreversíveis (KOLLMANN; COTÊ, 1968).

Existem três módulos de elasticidade ao longo dos eixos da madeira, longitudinal, radial e tangencial; estes módulos são obtidos a partir de testes de compressão, ou por frequência de ressonância (COSTA, 2017). Essas relações elásticas e as constantes elásticas variam dentro e entre as espécies e também com o teor de umidade e a massa específica do material (KRETSCHMANN, 2010).

## **2.7. Propriedades Acústicas da Madeira**

Estando na base de grande parte dos estudos das ciências biológicas, da terra, engenharia e arte, a acústica consiste hoje numa teoria científica que permite a análise dos mais diversos problemas da sociedade contemporânea, relativo à produção, propagação ou recepção do som (JUNIOR; CARVALHO, 2011).

Embora sua base científica seja fundada na teoria clássica das vibrações mecânicas, seu desenvolvimento histórico dividiu-se em varias vertentes das experiências sonoras do homem, de um lado, como ser psicoacústico interagindo com o mundo do som por meio da audição e do tato e, de outro, como ser social, na busca da sonoridade presente na música e na fala, e também no desenvolvimento das tecnologias acústicas aplicada à engenharia, arquitetura, medicina e oceanografia, dentre outras (JUNIOR; CARVALHO, 2011).

A propriedade acústica é um dos fatores mais importantes na escolha da madeira que irá constituir o corpo de um instrumento musical, o tampo de um violão, por exemplo, é a peça que transmite a vibração das cordas, então esta peça deverá ser feita com madeiras que tenham uma excelente velocidade de propagação sonora (SOARES, 2014). Slooten e Souza (1993) salientam que a madeira que compõe o fundo do instrumento, esteja um tom acima das notas produzidas pela madeira do tampo.

Algumas madeiras têm a capacidade de absorver melhor o som, enquanto outras de refleti-lo com mais facilidade, isso resulta em uma maior ou menor sustentação do som produzido, um timbre diferenciado para o grave ou para o agudo e um som mais estridente ou aveludado (COUTO, 2006).

A absorção acústica da madeira e sua eficiência de reflexão sonora se relacionam fortemente em todo espectro sonoro, com a estrutura interna do material, tratamento de superfície, tipo de montagem e geometria (BUCUR, 2006).

Durante séculos foram aplicados na construção de instrumentos musicais os princípios de ressonância e das propriedades de radiação do som na madeira de maneira empírica. Hoje essas propriedades acústicas da madeira são mais conhecidas e podem ser bem mais estudadas (SLOOTEN, 1993).

## **2.8. O Som**

O som além de se comportar como uma onda, ou um conjunto delas, possui também algumas outras características intrínsecas conhecidas como qualidades fisiológicas do som (intensidade, altura e timbre), essas características são importantes para podermos distinguir um som de outro (COUTO, 2006). O mesmo autor ainda diz que a intensidade sonora se trata da amplitude das oscilações de pressão no ar ou em algum outro meio, ou seja, é o volume do som. Já a altura é frequência de oscilações, quanto maior for a frequência de oscilações (por unidade de tempo) mais agudo (alto) é o som e quanto menor for essa frequência mais grave (baixo).

O som de um violão ou de algum outro instrumento melódico ou harmônico é formado pela junção de várias ondas sonora de frequências diferentes. Sons de frequências bem definidas e suas diferentes intensidades e durabilidades, nos permite diferenciar os mais diversos tipos sons que nos rodeiam, como por exemplo, permitem diferenciar os sons de um violão de cordas de aço de um de cordas de nylon, ou, dois violões com mesmo encordoamento, mas feitos com madeiras ou formatos diferentes (COUTO, 2006).

Essa diferenciação fica ainda mais clara em instrumentos musicais completamente diferentes, como uma flauta e um bandolim, um contrabaixo de um trombone etc. O conjunto dessas características é definido como timbre. Oliveira (2004) diz que “cada tipo de instrumento musical tem uma espécie de ‘assinatura’: um conjunto de características sonoras associadas que têm uma descrição matemática extremamente precisa, embora possam parecer subjetivas”.

O desempenho acústico (volume, qualidade e timbre) de um instrumento musical depende de três fatores principais: densidade, módulo de Young e amortecimento do material



(FLORES, 2015). As principais variáveis que devem ser utilizadas para seleção de madeiras para instrumentos são: velocidade de propagação do som no material, Impedância, coeficiente de radiação sonora e amortecimento (WEGST, 2006).

### **2.8.1. Velocidade de propagação do som, impedância acústica, coeficiente de radiação e amortecimento**

Segundo Flores (2015) a velocidade de propagação sonora no interior da madeira é um importante parâmetro acústico e pode variar acordo com diversas propriedades como: a espécie, o tipo de corte, teor de umidade e principalmente, pela presença de nós. A umidade pode afetar a velocidade de propagação do som de duas maneiras: na densidade da madeira e no efeito intrínseco da rigidez (FLORES, 2015). Oliveira (2005) ainda ressalta que a água livre da madeira aumenta a atenuação das ondas sonoras, resultando assim uma diminuição da velocidade do som nas direções longitudinal, radial e tangencial.

A impedância acústica é importante para verificar a intensidade do som transmitido do instrumento para o ar. O coeficiente de radiação mostra o quanto da energia vibratória é convertido em som, ou seja, para que um instrumento musical tem um volume (intensidade) alto, o coeficiente de radiação deve ser alto. Já o amortecimento indica a velocidade do decaimento da amplitude de vibração de um determinado material após sua excitação mecânica (FLORES, 2015).

## **2.9. Características Desejáveis das Madeiras para Construção de Instrumentos Musicais de Cordas.**

Segundo Souza (1983) as propriedades ideais para as madeiras utilizadas em instrumentos musicais de corda para o componente tampo harmônico: Baixo peso específico, alto módulo de elasticidade, grã direita, boa trabalhabilidade, boa estabilidade dimensional, boa para colagem e bom acabamento final. Para o componente fundo: Não muito pesada, sem restrições quanto às propriedades mecânicas, boa trabalhabilidade, boa para colagem, bom acabamento e boa estabilidade dimensional.

O mesmo autor ressalta que apesar do fundo não exigir madeiras com propriedades muito especiais, a frequência natural de vibração já levando em consideração as dimensões do

mesmo, deverá estar entre meio e um tom acima, em relação à frequência natural de vibração do tampo.

As madeiras que possuem grã direita conseguem um melhor acabamento final e a escolha de madeiras passa por esse critério já que essa característica tem grande interferência no processo de construção de instrumentos musicais.

Segundo o Instituto de Matemática Pura e Aplicada - IMPA (2017), grã é termo utilizado para indicar a direção ou paralelismo axial dos elementos constitutivos das madeiras em relação ao eixo do tronco.

Na grã-direita – Ocorre facilmente o fendilhamento provocado ao longo do plano radial e a superfície seccionada se apresenta paralela ao eixo longitudinal e no mesmo plano de corte.

Normalmente, madeiras mais dura (densas) refletem melhor o som e proporcionam uma projeção sonora maior para o instrumento, têm maior sustain (capacidade de um instrumento em prolongar uma nota uma vez que essa tenha sido emitida), ataque mais potente, porém possuem um menor volume, já madeiras mais macia (menos densas) absorvem mais o som, produz mais volume, porém geram menos ataque e menos sustain. São bastante utilizadas, pois são mais simples de serem cortadas, trabalhadas e esculpidas, geram um menor custo de produção diminuindo o custo final do instrumento (DAREZZO, 2015).

## **2.10. Propriedades de Usinabilidade da Madeira**

As diferentes espécies de madeiras variam muito de comportamento ao serem trabalhadas com as mais diversificadas ferramentas de corte, com isso é necessário utilizar de métodos sistemáticos para a adequação em cada um dos diferentes usos onde se deseja uma boa qualidade do acabamento superficial (SLOOTEN; SOUZA, 1993). É necessário entender a trabalhabilidade da madeira de maneira correta, para isso devem-se conhecer suas propriedades e também os parâmetros de usinagem e suas interações (SILVA et al., 2005).

Apesar das indústrias exigirem um alto padrão na qualidade do acabamento superficial dos instrumentos musicais, as propriedades de usinabilidade da madeira não é o principal critério como seria em outros tipos de indústrias no ramo da madeira, pois nas indústrias de instrumentos musicais existem outros fatores mais importantes para a qualidade final do produto (SLOOTEN; SOUZA, 1993).

## 2.11. Partes Estruturais do Violão

O violão é um instrumento composto estruturalmente por diversas peças de madeira conectadas entre si, e algumas peças de outros materiais como aço, plástico, osso etc. Além das cordas que podem ser de aço ou de nylon. O instrumento é constituído basicamente em três partes: corpo, braço e mão (GARCIA, 2011).

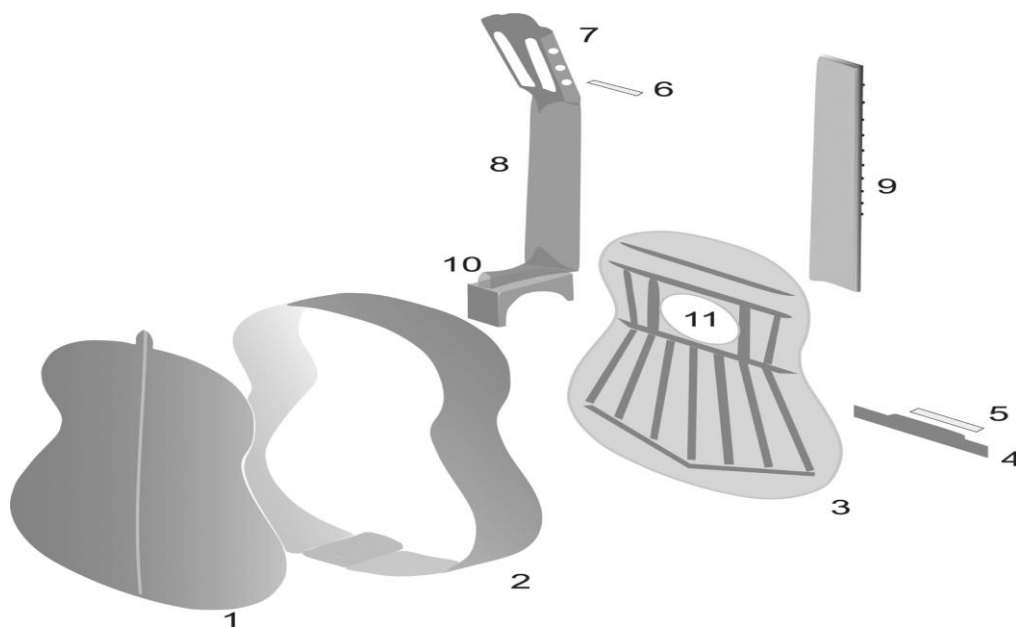


Figura 9-Visão explodida de um violão: 1 fundo, 2 laterais, 3 tampo, 4 cavalete, 5 rastilho, 6 pestana, 7 mão, 8 braço, 9 escala, 10 salto e 11 boca. Fonte: (ZACZÉSKI et al., 2017)

### 2.11.1. Caixa acústica (corpo)

O corpo é constituído pelo tampo, fundo e lateral, ele é principal parte da sonoridade do instrumento, pois através da ressonância provocada pela vibração das cordas passando pelo cavalete até o tampo que ocorrerá o movimento do ar contido na caixa acústica (GARCIA, 2011).

A sonoridade da caixa acústica se caracteriza pelos materiais utilizados na sua construção e também pela forma como foram moldados cada uma de suas partes. A maior

parte do som produzido pelo instrumento é proveniente do tampo, logo as laterais e o fundo são responsáveis por refletir a vibração, fazendo com que a caixa acústica toda vibre (FLORES, 2015).

### **2.11.2. Tampo harmônico**

O tampo harmônico (Figura 10) é a peça principal do instrumento e exige certas características na sua elaboração, as madeiras devem possuir leveza, resistência e certa flexibilidade, tais virtudes irão proporcionar uma boa resposta sonora e evitando esforços inúteis para o instrumentista (BARCELÓ, 1995).

Barceló (1995) ressalta ainda que o fato do tampo oscilar com facilidade trará uma redução no seu tempo de reação projetando um som alongado, com isso, há um maior controle da mão direita para uma gama maior de dinâmica durante a execução do instrumento, inclusive pode haver uma redução nos ruídos produzidos durante a pulsação, pois a perda é quase nula entre o ataque e a emissão do som. Todos estes fatores dão mais conforto ao instrumentista, deixando mais natural a comunicação das suas intenções musicais.



Figura10-Tampo harmônico de um violão.  
Fonte: (ARIAS GUITAR, 2017).

### 2.11.3. Leque harmônico

O leque harmônico está localizado na parte interna do tampo e tem a função de disciplinar sua vibração, além de servir como reforço para o tampo para que o mesmo não afunde com a pressão das cordas sobre o cavalete (SOARES, 2014). Na figura 11 podem ser observadas algumas representações dos principais leques harmônicos de violão ao longo da história.

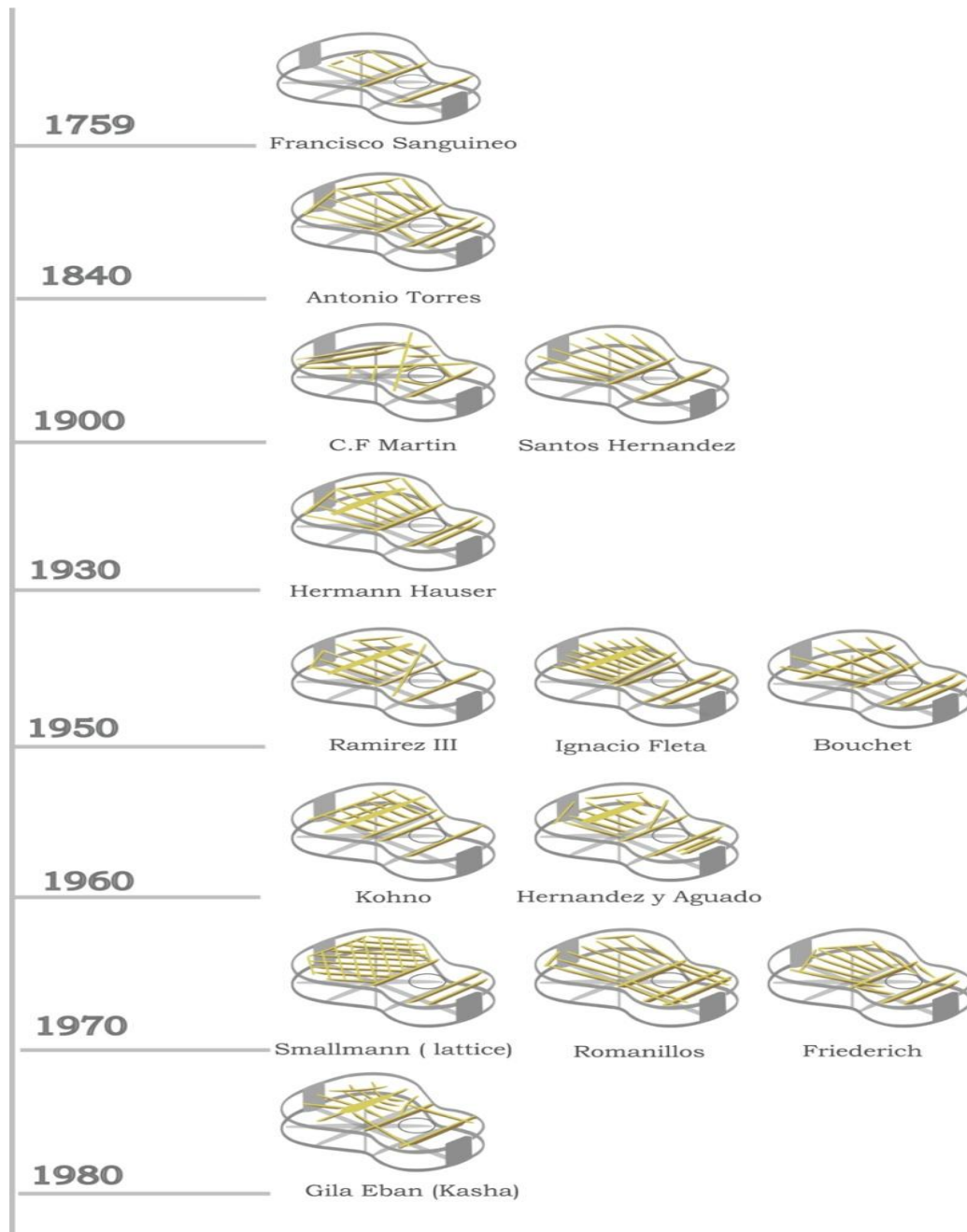


Figura 11-Linha do tempo com representações dos principais leques harmônicos de violão iniciando com o leque criado por Francisco Sanguineo em 1759 até os anos 1980 com o leque de Michael Kasha criado pela luthière Gila Eban. Fonte: (ZACZÉSKI et al., 2017).

#### 2.11.4. Cavalete e rastilho

O cavalete é a peça do instrumento que segura as cordas em uma de suas extremidades, suportando uma tensão de aproximadamente 40 kgf, e também tem a função de transmitir, através do rastilho (peça geralmente feita de osso, responsável pelo apoio das cordas e também regula a altura da ação das cordas), a vibração das cordas para o tampo e para o resto do corpo (GOMES et al., 2004). A utilização do rastilho permite um ganho de volume sonoro, transmitindo vibrações para o tampo com maior eficiência. Nas guitarras barrocas, desprovidas de rastilho, muito da energia vibrante das cordas é absorvida pelo cavalete, sem gerar grande influência no tampo (PEREIRA et al., 2012).



Figura 12-Cavalete de um violão de seis cordas (Imagem à esquerda). Fonte: (ARIAS GUITAR, 2017). À direita, rastilho feito de osso preso em uma fenda que há no cavalete. Fonte: (BORDÕES E PRIMAS, 2013).

#### 2.11.5. Lateral e fundo do violão

A lateral liga o tampo ao fundo do instrumento e é também onde se fixa o braço, geralmente as laterais e o fundo são feitos com madeiras da mesma espécie. O fundo do violão por sua vez reflete o som produzido pelo tampo (GOMES et al., 2004).



Figura 13- Fundo e lateral de Pau ferro de um violão de seis cordas. Fonte: (ARIAS GUITAR, 2017).

### 2.11.6. Braço e mão

O Braço do violão requer uma madeira de media densidade e é onde se localiza a escala do instrumento. A mão do violão é a extremidade do braço onde se localiza as tarraxas usadas para a afinação das cordas (GOMES et al., 2004).



Figura 14- A imagem à esquerda representa o braço e a mão de um violão de seis cordas vistas de costas e na imagem à direita representa a mão de um violão vista de cima, podendo ver os detalhes das tarraxas. Fonte: (DOMINUS LUTHIER, 2017).

### 2.11.7. Escala e trastes

A escala é a parte onde se define os tons do instrumento através dos trastes, a madeira que compõe a escala deve ser bem densa para que não haja desgaste ao longo do tempo. É considerada uma peça-chave para todo o processo de confecção do violão. A escala real do violão vai da pestana até o rastilho do cavalete (GOMES et al., 2004; GARCIA, 2011).

Os trastes são pequenas peças de metal, distribuídos em intervalos pela escala mediante cálculos matemáticos. As cordas do instrumento quando tocadas soltas produzem cada uma individualmente uma nota fundamental, quando o músico desejar tocar outras notas ele divide com os dedos a corda em partes menores, soando assim outra frequência do som (SOARES, 2014).



Figura 15- Escala de um violão com os trastes. Fonte: (IRMÃOS CARVALHO, 2013).

### 2.11.8. Capotraste (pestana)

O capotraste ou pestana é uma peça feita de polímeros sintéticos, marfim, osso ou madrepérola localizada no início da escala, e tem a função de sustentar e determinar a altura das cordas e a distância entre uma corda e outra (SOARES, 2014).



Figura 16- Capotraste de um violão de seis cordas. Fonte: (BORDÕES E PRIMAS, 2013).



## 2.12. Madeiras Tradicionalmente Utilizadas para Construção de Violões

A escolha das madeiras para confecção de violões é bastante difícil, tanto os luthiers como as fabricas de instrumentos ainda são muito conservadores, com isso uma gama muito pequena de espécies vem sendo utilizadas durante séculos para confecção das diferentes partes do instrumento (SLOOTEN; SOUZA, 1993). As madeiras mais comumente utilizadas para confecção de violões são:

### 2.12.1. Para tampo harmônico:

- Abeto europeu (*Picea abies*)
- Abeto sitka (*Picea sitchensis*)
- Cedro do Canadá (*Thuja plicata*)
- Sequóia\* (*Sequoia sempervirens*)

\*uso menos comum

### 2.12.2. Para barras e leques harmônicos:

- Abeto Europeu (*Picea abies*)

### 2.12.3. Para fudo e laterais:

- Jacarandá da Bahia (*Dalbergia nigra*)

### 2.12.4. Para braço e culatra:

- Mogno (*Swietenia macrophylla*)

### 2.12.5. Para escala:

- Ébano (*Diospyrus spp.*)

OBS.: Recentemente observa-se, devido à escassez de muitas espécies tradicionalmente utilizadas em instrumentos musicais de corda, o uso (para fundos e laterais) do Jacarandá Indiano (*Dalbergia Latifolia*); Jacarandá Mineiro (*Machaerium Villosum*); Pau Marfim (*Balfourodendrum Riedelianum*); Pau Ferro (*Machaerium scleroxylon*); Macacaúba (*Platymiscium spp.*); Maple (*Acer spp.*); Imbuia (*Ocotea Porosa*); Cipreste Espanhol (*Cupressus Sempervirens*); Cedro rosa (*Cedrella spp.*); Marupá (*Simarouba Amara*); Braúna (*Melanoxilon Brauna*); Freijó (*Cordia Goeldiana*) e outras espécies do gênero *Dalbergia sp.* Além dessas, outras espécies também são citadas para o componente tampo harmônico como:

outras espécies de Abeto (Abeto engelman (*Picea engelmannii*), Abeto andirondack (*Picea rubens*), Abeto italiano (*Picea excelsa*) , Abeto japonês (*Abies mayriana* ; *Abies sachalinensis*)) e o Cedro Vermelho.

Para violões de corda de aço utiliza-se para os componentes (fundo e lateral) madeira das espécies ovankgol (*Guibourtia ehie*), sapele (*Entandrophragma cylindricum*), blackwood (*Dalbergia melanoxylon*) e mogno africano (*Khaya senegalensis*). Devido à experiência desses profissionais, muitos deles têm preferências por determinadas madeiras por já conhecerem sua sonoridade e seus comportamentos (BRITO, 2014).

### **2.13. Características Gerais das Espécies Tradicionalmente Utilizadas para Confecção de Violões.**

#### **2.13.1. Abeto europeu (*Picea abies*)**

O Abeto europeu (*Picea abies*) é quase a escolha unânime para tampos harmônico devido sua qualidade superior, porém outras madeiras podem ter um desempenho similar dependendo das técnicas empregadas pelo luthier ao construir o instrumento e da musicalidade e da virtuosidade do músico que irá toca-lo (FLORES, 2015).

Essa espécie possui densidade aparente de 450 kg/m<sup>3</sup> a 12% de umidade, coeficiente de contração volumétrica de 0.44%, resistência a flexão estática de 710 kg/cm<sup>2</sup>, módulo de elasticidade de 110.000 kg/cm<sup>2</sup>, resistência a compressão de 450 Kg/cm<sup>2</sup>. Fácil de serrar, fácil secar, fácil de aplainar, tende a rachar com pregos e parafusos. Possui alburno de cor branca amarelada e cerne amarelo rosado, possui grã direita e podem apresentar alguns defeitos como pequenos nós (REMADE, 2017)

Segundo Souza (2009), algumas publicações mais antigas se referem à *Picea excelsa* como madeira apropriada para instrumentos musicais, porém, em publicações mais recentes consideram a *Picea excelsa* como uma subespécie de *Picea abies* algumas publicações mais antigas se referem à *Picea excelsa* como madeira apropriada para instrumentos musicais, porém, em publicações mais recentes consideram a *Picea excelsa* como uma subespécie de *Picea abies*, ou seja, *Picea abies* (L.) H.Karst. subsp. *Abies* , já alguns botânicos a classificam como uma variedade da *Picea abies*, ou seja, *Picea abies* v. *excelsa* .

### **2.13.2. Abeto sitka (*Picea sitchensis*)**

Este abeto é mais comumente usado para violões de corda de aço por ser uma madeira muito resistente, para ser usado em violões clássicos deve ser trabalhado bem fino para não destacar muito os agudos. É muito boa também para as estruturas internas do tampo por possuir uma grã fina, regular e por sua elasticidade, a coloração é mais rosada que a dos outros abetos (CORDEIRO, 2017).

### **2.13.3. Cedro do Canadá (*Thuja Plicata*)**

Esta conífera é uma madeira excelente para tampos harmônicos, com densidade média de  $0,35\text{g/cm}^3$ , considerada bastante frágil e que marca com facilidade, porém produz um grande volume e o som se abre quase imediatamente, a gama de timbres são menos complexos que os dos abetos, mas os instrumentos feitos com essa madeira são de muita qualidade, sua coloração é bem mais escura e avermelhada (CORDEIRO, 2017).

O cedro do Canadá apesar do nome, não tem relação nenhuma com os gêneros *Cedrela* (cedro brasileiro) e *Cedrus* (cedro do Líbano). É uma conífera que cresce nas regiões frias do Noroeste da América do Norte. Apesar de ser uma madeira de muito boa qualidade, há alguns violonistas que detestam o som dessa espécie, mas isso vai muito do gosto de cada instrumentista, e de todas as espécies para tampo é considerada a mais estável dimensionalmente (CORDEIRO, 2017).

### **2.13.4. Jacarandá da Bahia (*Dalbergia Nigra*)**

O jacarandá da Bahia é a rainha das madeiras para lutheria e é a madeira preferida por luthiers do mundo todo para laterais e fundos, sua beleza é muito apreciada e considerada incomparável pela grande variedade de cores e figura, geralmente é avermelhada e com listras negras, sua densidade média é de  $0,87\text{g/m}^3$ , é muito vibrante e sonora, produz um som profundo com timbre muito rico e com uma sustentação excelente, apesar de ser muito dura é considerada boa de trabalhar (CORDEIRO, 2017). O mesmo autor ressalta ainda que essa espécie por ser exclusivamente brasileira suas reservas estão praticamente extintas, pois foram muito exploradas comercialmente desde a época do descobrimento do Brasil e por hoje ser muito difícil de ser encontrada em quantidade suficiente para lutheria é extremamente cara para se obter (CORDEIRO, 2017).

### **2.13.5. Mogno (*Swietenia macrophylla*)**

Esta espécie é muito versátil para construção de instrumentos de corda, geralmente é utilizada para braços, mas também funciona muito bem para fundos e laterais e até mesmo para tampos. Devido sua grã interlaçada é reconhecida como uma das espécies mais estáveis do mundo possui um aspecto visual muito bonito e ainda é fácil de ser trabalhada, sua cor é avermelhada e tem grande variedade de figuras, sua densidade média é de 0,50g/cm<sup>3</sup>.

Assim como o jacarandá da Bahia devido a sua exploração indiscriminada também esta na lista de ameaçadas de extinção (CORDEIRO, 2017). Recentemente, o aumento da demanda da madeira dessa espécie, os problemas ambientais decorrentes do extrativismo desordenado e o crescimento do valor comercial da mesma, acarretaram num aumento significativo em seu cultivo (TUCCI et al., 2009).

### **2.13.6. Ébano africano (*Diospyrus spp.*)**

Essa é outra espécie de madeira que anda beirando a extinção. Devido a isso está cada vez mais rara e cara. Sempre foi a madeira mais usada para a confecção das escalas por ser muito dura e resistente ao desgaste mecânico. Porém possui as desvantagens de não ser muito instável e ter tendência a rachar, sua densidade é de aproximadamente 1,10 gm/cm<sup>3</sup>. Por possuir uma coloração bem negra e exótica acaba criando um contraste muito bonito com o prateado dos trastes. Essa espécie vem sendo utilizada há milênios e considerada uma das mais nobres do mundo (CORDEIRO, 2017).

## **2.14. Técnicas de Melhoramento Físico da Madeira**

### **2.14.1. Alteração da cor na madeira**

Como já vimos anteriormente, a cor é um atributo muito importante na estética de um instrumento musical, mas como a qualidade de um instrumento musical depende de um conjunto de outros fatores, muitas vezes algumas espécies podem apresentar uma gama de qualidades desejáveis para determinadas partes do instrumento, porém a cor não é a mais adequada para garantir uma boa aceitação do instrumento no mercado.

Alguns fatores podem alterar a cor da madeira como: temperatura, teor de umidade, degradações, reações fotoquímicas de algum de seus elementos químicos, anatomia, idade e

fatores ecológicos (GONÇALEZ, 1993). Sabendo disso, é possível utilizar destes conhecimentos tanto para tentar controlar ou evitar mudanças indesejáveis da cor de determinadas madeiras, assim como para utiliza-los de maneira consciente para alterar a cor quando for conveniente.

Os processos de secagem e os tratamentos térmicos podem alterar a cor da madeira (FILORES, 2015). Esses impactos são minimizados pelas indústrias diminuindo-se a temperatura de secagem nas estufas, isso acarreta num aumento no tempo de secagem em torno de 30 a 40%, aumentando os custos da operação (STENUDD, 2004).

Segundo Stenudd (2004), durante processo de secagem a alteração da cor se inicia quando o teor de umidade da madeira atinge valores inferiores ao ponto de saturação das fibras e termina assim que o teor de umidade atinge em torno de 18 a 20%. Numa avaliação realizada por esse mesmo autor foi constatado que a alteração da cor da madeira durante o processo de secagem em estufa é influenciada tanto pelo tempo quanto pela temperatura de secagem. O mesmo autor ainda relata que quando a madeira é exposta a uma alta temperatura por um período de tempo prolongado na fase crítica de teor de umidade (PSF até 15%) sua claridade é reduzida e sua cor se torna mais saturada e avermelhada.

Os autores Rappold e Smith (2004) salientam que há uma maior influência na alteração da cor da madeira pelo programa de secagem utilizado do que a idade ou a estação do ano em que a árvore foi abatida. Já foi encontrada também uma relação indireta entre a diminuição do matiz e do brilho com a perda de massa em amostras de *Picea abies* submetidas a tratamentos térmicos (PATZELT et al., 2003). Sendo assim a medição da cor pode ser usada para controlar as propriedades da madeira em relação à estabilidade dimensional, já que esta propriedade está relacionada à perda de massa (PATZELT et al., 2003).

As interações químicas da madeira que estão relacionadas à sua cor ocorrem entre suas enzimas e seus extrativos fenólicos, os principais extrativos responsáveis por essa mudança de cor são: flavonóides, quinonas, lignanas e taninos (RAPOLD; SMITH, 2004).

O método aplicado na secagem é de suma importância para a prevenção das deformações causadas pelas tensões de crescimento, ou seja, a madeira deve secar sob controle para evitar o endurecimento e o colapso, esses defeitos ocorrem geralmente durante os primeiros estágios do processo de secagem.

### **2.14.2. Efeito da secagem nas propriedades acústicas da madeira**

Além das propriedades tecnológicas que uma determinada madeira deve apresentar para cada componente de um instrumento musical, de maneira geral o seu teor de umidade deve estar entre 6% e 8% (MARQUES et.al., 2003).

A secagem sem dúvida é uma das mais importantes etapas do processamento da madeira, visto que quando uma madeira é submetida a um processo de secagem realizado de forma adequada, ocorre uma melhoria de suas propriedades, isso garante não só a qualidade da matéria-prima, mas também a do produto final (MARQUES et.al., 2003).

Marques et.al. (2003) ainda ressalta que quando uma madeira é seca de maneira apropriada, ela se torna menos susceptível a movimentos dimensionais em outras palavras ela se torna mais estável, logo essa madeira apresentará menos empenos, rachaduras ou qualquer outra alteração. Segundo Martins (1988), um processo de secagem adequado da madeira também proporcionará uma pequena melhora em suas propriedades mecânicas (flexão estática, compressão, dureza e cisalhamento) e também das propriedades de isolamento elétrico e acústico.

Mesmo sendo um processo muito demorado o método preferido dos profissionais que constroem instrumentos musicais é o da secagem ao ar livre (MIMS, 2001). Muitas das vezes a madeira fica secando ao ar livre de 6 a 8 anos em ambiente climatizado antes de sua utilização (MARQUES et.al., 2003).

A secagem da madeira ao ar livre quando feita corretamente significa além de reduzir a tendência a empenamentos, proporciona uma melhora das propriedades acústicas do instrumento (GILBERT, 1999). O mesmo autor ainda relata que o produtor de guitarras Martin Guitars, divide o processo de secagem em duas etapas: na primeira etapa, a madeira é seca em estufa já na segunda etapa a madeira é colocada ao ar livre, para criar de forma artificial, os efeitos da longa secagem natural.

Ainda a controversas entre os autores sobre esse assunto, segundo Woodweb (2000), as propriedades acústicas da madeira não são influenciadas pela taxa de secagem, mas sim pelo tempo em que a madeira irá permanecer na secagem natural, pois esse tempo pode contribuir para a liberação das tensões provocadas pelo processo de secagem, tenha sido ele rápido ou lento. Marques et.al. (2003), salienta que quanto mais rápida for o processo de secagem, maior será o tempo necessário para liberar essas tensões. Wengert (1998) ainda

ressalta que as melhorias acústicas conferidas pela secagem ao ar livre, não são igualmente obtidas por outros processos de secagem, mesmo quando conduzidos a baixas temperaturas.

Apesar de todos os problemas da secagem da madeira de forma artificial, a secagem natural, demanda de muito tempo e pode não proporcionar à madeira o teor de umidade final desejado (MARQUES et.al., 2003). Então em termo de ganho de tempo a secagem artificial convencional é mais vantajosa, porém seus eventuais efeitos sobre as propriedades acústicas da madeira ainda necessitam de mais estudos (MARQUES et.al., 2003).

### **3. METODOLOGIA**

Para realização deste estudo utilizou-se o montante de 5 trabalhos científicos dispostos em ordem cronológica de publicação, que apesar de alguns deles apresentarem objetivos um pouco distintos, possuíam muitos pontos em comum, ou seja, o conhecimento de espécies alternativas para construção de instrumentos musicais de corda, e a partir daí, conhecer e discutir cronologicamente os avanços e descobertas relacionados a esse assunto. Os referentes trabalhos foram adquiridos por meio do site de busca Google Acadêmico de forma assistemática e sem limitação de tempo, foram selecionados somente trabalhos com espécies nativas.

### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **4.1. Dissertação de Mário Rabelo de Souza- 1983 “Classificação de madeiras para instrumentos musicais”**

Neste trabalho realizado por Sousa (1983), foi feito um estudo com 100 espécies da região amazônica para identificar madeiras substitutas para as espécies importadas de diferentes continentes. Foram aplicados três diferentes métodos (método acústico, método de comparação direta e método estatístico), para a classificação das espécies em questão, visando maior precisão na seleção. Dois destes métodos foram propostos por Kollmann, F.F.P. (1968) e Cailles, F. (1976), os quais fazem uso da física acústica denominada “Análise da

Componente Principal”, respectivamente, e finalmente o terceiro consistiu em um método prático.

O método acústico utilizado neste estudo foi proposto por Kollman (1968) a partir da seguinte observação: A madeira possui velocidade de propagação sonora muito semelhante à dos metais em geral, com isso se definiu um parâmetro chamado de resistência à onda sonora(W), quanto menor essa resistência melhor será a qualidade acústica do material (SOUZA, 1983).

A resistência à propagação sonora pode ser obtida pela seguinte formula:

$$W = \varrho \cdot v = \varrho \sqrt{\frac{E}{\varrho}} = \sqrt{\varrho E}$$

Onde:

W = resistência à propagação sonora

$\varrho$  = densidade

v = velocidade de propagação sonora

E = módulo de elasticidade

Foi observado também que ocorria um amortecimento da vibração em uma placa, em parte esse amortecimento era devido á fricção interna (calor) e também pela irradiação sonora e que esse amortecimento pela irradiação sonora para determinado material ocorria em função da velocidade de propagação sonora e da densidade na seguinte razão:

$$R = \frac{v}{\varrho} = \frac{1}{\varrho} = \sqrt{\frac{E}{\varrho}}$$

Onde: R= resistência à radiação sonora

Um bom material acústico para confecção de instrumentos musicais a resistência à radiação sonora deve ser a maior possível. Então, plotando-se um gráfico R x W pode-se classificar as diferentes espécies estudadas acusticamente.



Na Figura 17 pode ser observado um gráfico R x W exemplificando essa relação.

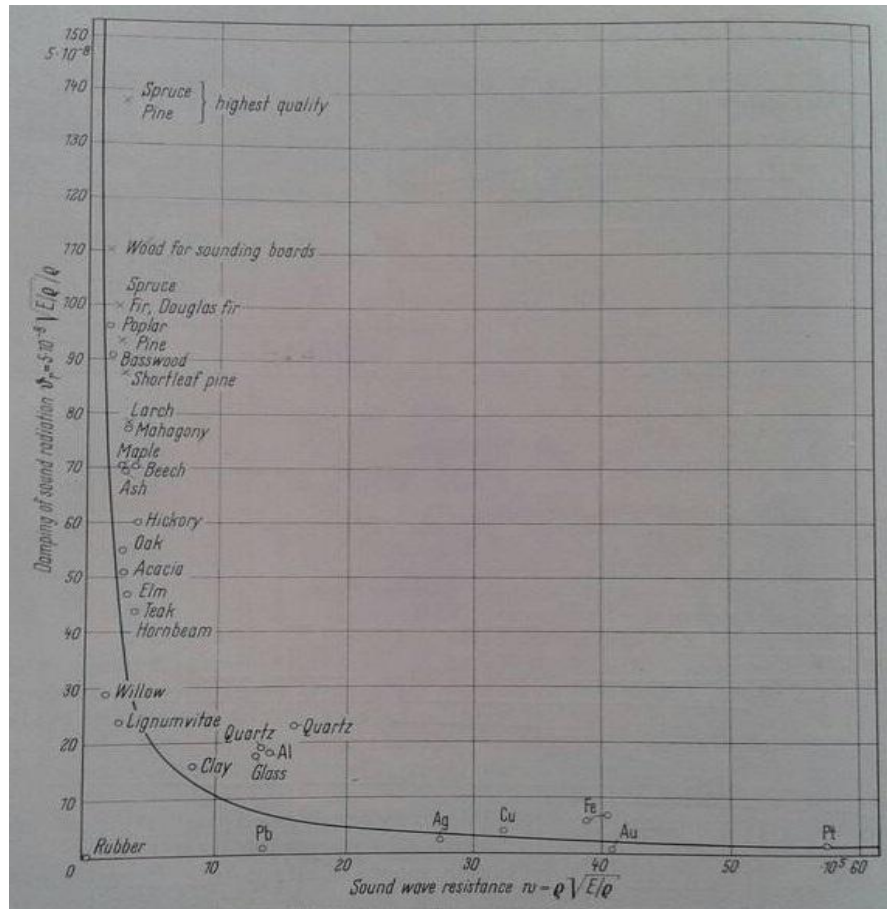


Figura 17-Dependência do amortecimento da radiação sonora na resistência à onda sonora para diferentes espécies de madeira e outros materiais. Fonte: Horig (1929); Apud (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968)

Na Tabela 1 podem-se observar algumas das espécies classificadas pelo autor como sendo boas para tampo harmônico e fundo pelo método acústico.

**Tabela 1-** Espécies selecionadas por Souza (1983), como sendo boas para tampo harmônico e fundo de instrumentos musicais de corda pelo método acústico.

TAMPO HARMÔNICO		FUNDO	
NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO	NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO
Sitka spruce	<i>Picea sitchensis</i>	European maple	<i>Acer platanoides</i>
E. Canadian spruce	<i>Picea glauca</i>	Sycamore	<i>Acer pseudoplatanus</i>
European spruce	<i>Picea abies</i>	Sugar maple	<i>Acer saccharum</i>
Marupá	<i>Simaruba amara</i>	Rock mapple	<i>Acer nigrum</i>
Sorva	<i>Couma macrocarpa</i>	Louro inhamuí	<i>Ocotea bracellensis</i>
Castanha de arara	<i>Joannesia heveoides</i>	Tachi preto folha grande	<i>Tachigalia myrmecophylla</i>
Taperebá	<i>Spondias lutea</i>	Muiratinga	<i>Maquira sclerophylla</i>
Fava orelha de negro	<i>Enterolobium maximum</i>	Amapá doce	<i>Brosimum potabile</i>
Paricá g. da terra firme	<i>Parkia multijuga</i>	Guariúba	<i>Clarisia racemosa</i>
Fava arara tucupi	<i>Parkia paraensis</i>	Breu	<i>Protium heptaphyllum</i>
Morototó	<i>Didymopanax morototoni</i>	Andiroba	<i>Carapa guianensis</i>
Urucu da mata	<i>Urucu da mata</i>	Mogno	<i>Swietenia macrophylla</i>
Pará - Pará	<i>jacaranda copaia</i>	jacareúba	<i>Calophyllum brasiliense</i>
cajú- açú	<i>Anacardium apruceanum</i>	-----	-----
Faveira tamboril	<i>Enterolobium maximum</i>	-----	-----

Fonte: (Souza, 1983)

Para o método de comparação direta como o próprio nome já diz, foi utilizada uma comparação direta, para isso todas as propriedades possíveis que foram mensuradas foram utilizadas na classificação, em um quadro de dupla entrada, onde na vertical temos as propriedades descritas em ordem decrescente de prioridade e na horizontal a magnitude das propriedades, onde se estabeleceu um padrão para cada diferente uso, baseado nas espécies já consagradas (SOUZA, 1983).

Nas figuras 18 e 19 temos os gráficos para as duas aplicações mais críticas segundo Souza (1983), que são o tampo harmônico e o fundo dos instrumentos de corda.

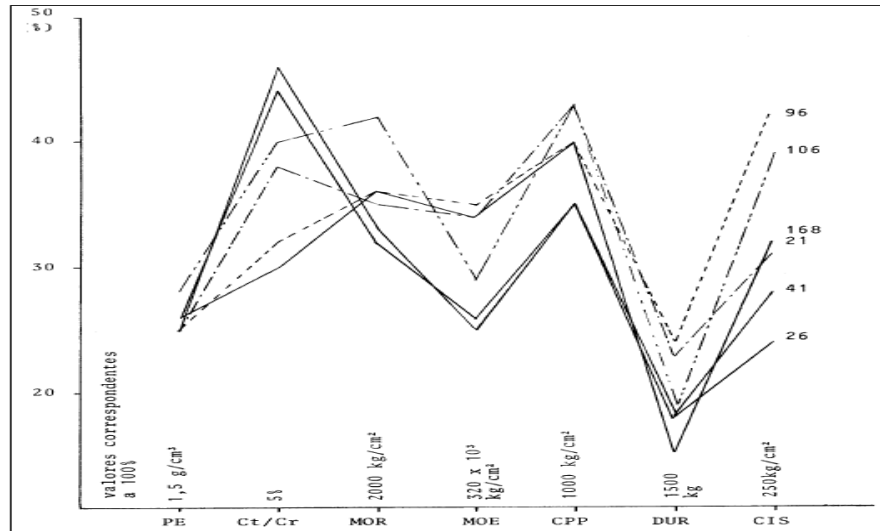


Figura 18- Gráfico de comparação direta entre as propriedades das madeiras classificadas para tampo de instrumentos de corda. Densidade básica (PE), módulos de ruptura (MOR) e de elasticidade em flexão (MOE), dureza Janka (DUR), compressão paralela às fibras (CPP), cisalhamento(CIS) e coeficiente de retratibilidade linear (Ct/Cr). Legenda das espécies: (96) Morototó; (106) Sorva; (168) Sitka spruce; (21) Faveira tamboril; (41) Murupá; (26) Castanha de arara. Fonte: (SOUSA, 1983).

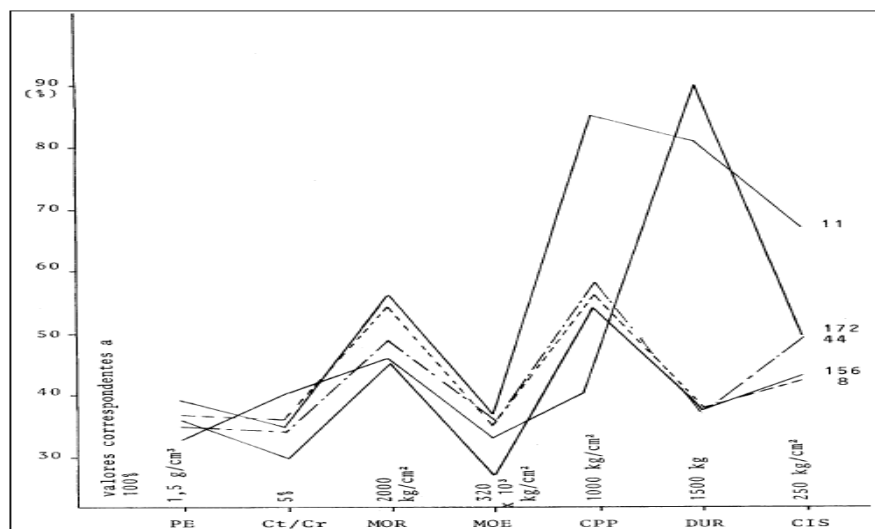


Figura 19- Gráfico de comparação direta entre as propriedades das madeiras classificadas para fundo de instrumentos de corda. Densidade básica (PE), módulos de ruptura (MOR) e de elasticidade em flexão (MOE), dureza Janka (DUR), compressão paralela às fibras (CPP), cisalhamento(CIS) e coeficiente de retratibilidade linear (Ct/Cr) Legenda das espécies: (11) andiroba; (172)European maple; (44) Tachi preto folha grande; (156) Jacareúba; (8) Amapá doce. Fonte: (SOUSA, 1983).

Na Tabela 2 podemos observar as espécies classificadas pelo método de comparação direta para instrumentos de corda para os componentes (tampo harmônico e fundo).

**Tabela 2-** Espécies classificadas para tampo harmônico e fundo.

TAMPO HARMÔNICO		FUNDO	
NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO	NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO
Sitka spruce	<i>Picea abies</i>	European maple	<i>Acerplatanoides</i>
Morototó	<i>Didymopanax morototoni</i>	Tachi pretofolha grande	<i>Tachigalia mymercophylla</i>
Sorva	<i>Couma macrocarpa</i>	Andiroba	<i>Carapa guianensis</i>
Faveira tamboril	<i>Enterolobium maximum</i>	Amapá doce	<i>Brosimum potabile</i>
Castanha de arara	<i>Joannesia heveoides</i>	Jacareúba	-----
Marupá	<i>Simaruba amara</i>	-----	-----

Fonte: (Souza, 1983)

O método estatístico foi desenvolvido por Cailliez (1976) e por ser mais complexo e melhor elaborado, compara mais precisamente as espécies, foi utilizado a análise estatística denominada de “Análise das componentes principais”, assim, tanto as grandezas mensuráveis quanto as não mensuráveis (cor, brilho, grã, etc.) podem ser analisadas (SOUZA, 1983). Para este método foram utilizadas as seguintes propriedades: densidade básica (PE), módulos de ruptura (MOR) e de elasticidade em flexão (MOE), dureza Janka (DUR), compressão paralela às fibras (CPP), cisalhamento (CIS) e coeficiente de retratibilidade linear (Ct/Cr).

Na Tabela 3 podemos observar as espécies classificadas pelo método estatístico para instrumentos de corda para os componentes (tampo harmônico e fundo).

**Tabela 3 -** Espécies classificadas pelo método estatístico para tampo harmônico e fundo.

TAMPO HARMÔNICO		FUNDO	
NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO	NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO
Eastern canadian spruce	<i>Picea glauca</i>	Sugar maple	<i>Acer saccharum</i>
European spruce	<i>Picea abies</i>	European maple	<i>Acer platanoides</i>
Sitka spruce	<i>Picea sitchensis</i>	Louro canela	<i>Ocoteaneesiana</i>
Mogno	<i>Swetenia macrophyla</i>	Abiurana	<i>Pouteria hirta</i>
Freijó	<i>Cordia spp.</i>	Açoita cavalo	<i>Lueheopsis rosea</i>
Copaiba	<i>Copaifera spp.</i>	Louro canela	<i>Ocotea sp.</i>
Morototó	<i>Didymopanax morototoni</i>	Tachi vermelho	<i>Sclerolobium aff. Crysophyllum</i>
Cedro	<i>Cedrela spp.</i>	Breu preto	<i>Protium cf sagotianum</i>
Breu sucubura; breu preto	<i>Trattinickia burselifolia</i>	Mururi	<i>Byrsonima cf. stipulacea</i>

(Continua)

**Tabela 3** - Espécies classificadas pelo método estatístico para tampo harmônico e fundo. (Continuação)

TAMPO HARMÔNICO		FUNDO	
NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO	NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO
Breu	<i>Trattinickia cf. burserifolia</i>	Mandioqueira lisa	<i>Qualea albiflora</i>
Tauari	<i>Couratari oblongifolia</i>	Tachi pitomba	<i>Sclerobium sp</i>
Freijó	<i>Coerdia goeldiana</i>	Anani	<i>Symphonia globurifera</i>
Marupá	<i>Simaruba amara</i>	Maruré Tachi vermelho	<i>Brosimum acutifolium</i>
Tauari	<i>Curatari guianensis</i>	Louro inhamuí	<i>Ocotea bracellense</i>
Sorva	<i>Couma macrocarpa</i>	Tauarí	<i>Couratari guianensis</i>
Freijó	<i>Cordia bicolor</i>	Amapa doce	<i>Brosimum potabile</i>
Faveira tamboril	<i>Enterolobium maximum</i>	Tachi preto folha grande	<i>Tachigalia mymercophylla</i>
Castanha de arara	<i>Joamesia heveoides</i>	Andiroba	<i>Carapa guianensis</i>
Cajú-açu	<i>Anacardium spruceanum</i>	Envira branca	<i>Xilopia nitida</i>
-----	-----	Envira preta	<i>Onychopetalum sp</i>
-----	-----	Shellbark hickory	<i>Clarya glabra</i>
-----	-----	Amapá doce	<i>Brosimum parinarioides</i>
-----	-----	Abiu branco	<i>Syzyopsis oppositifolia</i>
-----	-----	Pau marfim	<i>Balforodendron rhiedelianum</i>
-----	-----	Mandioqueira escamosa	<i>Qualea paraensis</i>
-----	-----	Angelim da mata	<i>Hymenolobium cf. modestum</i>
-----	-----	Faveira folha fina	<i>Piptadenia communis</i>
-----	-----	Glicia	<i>Glycydedron amazonicum</i>
-----	-----	Jacareúba	<i>Calophyllum brasiliense</i>

Fonte: (Souza, 1983)

Ao analisarmos as os resultados das classificações realizadas por Souza (1983), podemos notar que mesmo com tantas espécies consideradas aptas para tampo harmônico e fundo de instrumentos de corda em cada método separadamente, apenas 9 espécies foram classificadas por todos os métodos simultaneamente.

Na tabela 4 estão as espécies classificadas pelos três métodos estudados e algumas características complementares importantes.

**Tabela 4-**Espécies classificadas pelos métodos: acústico, método de comparação direta e método estatístico, para instrumentos de corda para os componentes (tampo harmônico e fundo).

NOME POPULAR	APLICAÇÃO	GRÃ	TEXTURA	DENS. BÁSICA (g/cm <sup>3</sup> )
Morototó	Tampo	Direita	Média	0,39
Sorva	Tampo	Direita	Média	0,38
Ferreira tamboriu	Tampo	Cruzada reversa	Média	0,42
Castanha de arara	Tampo	Direita	Média	0,39
Marupá	Tampo	Direita	Média	0,38
Tachi preto	Fundo	Cruzada Irreg.	Média	0,56
Andiroba	Fundo	Direita	Média	0,59
Amapá doce	Fundo	Cruzada reversa	Média	0,57
Jacareúba	Fundo	Irregular	Média	0,54

Fonte: (Souza, 1983)

Pode-se observar pelos resultados que pelo menos 9 dessas espécies de madeiras nativas brasileiras são potencialmente aptas para a fabricação de instrumentos musicais de corda, porém ainda é necessário realizar testes práticos, com a construção e teste de instrumentos acabados.

#### **4.2. Relatório de Ricardo Faustino Teles - 2005: “Avaliação de madeiras amazônicas para utilização em instrumentos musicais”**

O objetivo deste trabalho realizado por Teles (2005) foi estudar e avaliar acusticamente 59 espécies florestais para a utilização em instrumentos musicais. Foram analisadas a partir de publicações anteriores as características (propriedades físicas e acústicas) dos instrumentos e das madeiras utilizadas e também através das páginas dos principais fabricantes mundiais, catálogos e informações obtidas através de contatos diretos com fabricantes nacionais.

As madeiras estudadas foram listadas e publicadas no banco de dados do LPF. As dimensões das madeiras compradas para o experimento eram de 30 cm de comprimento por 0,3 cm de espessura e 2 cm largura (Figura 20) e foram secas a ar e acondicionadas a 12%.

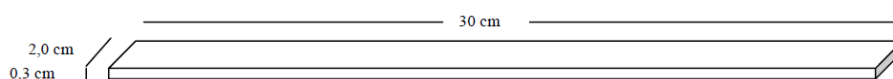


Figura 20-Medidas das chapas de madeira. Fonte: (TELES, 2005).

Para os testes acústicos foi utilizado o método de vibração forçada para se determinar a frequência natural de vibração (fr) e o decaimento logarítmico (DL) de 49 espécies de madeiras, proposto por Heramom (1968), estes testes foram realizados no Laboratório de Produtos Florestais (LPF).

O aparelho usado para a realização do teste acústico era composto de um sensor e um excitador eletromagnético (Figura 21), em cada uma das extremidades da madeira. O aparelho emitia uma onda sonora senoidal em forma de sinal progressivo em um intervalo de 120 a 240 Hz durante um intervalo de 150 segundos, com amplitude constante e uma variação na frequência de 0,01 Hz, a qual era gerada com o auxílio do software Cool Edit Pro II e recebia a vibração transmitida através das amostras de madeiras (TELES, 2005).

O teste era bem simples, o sinal emitido pelo excitador fazia com que as amostras de madeira vibrassem a uma frequência progressiva, e quando essa frequência se igualava à frequência de ressonância natural da madeira, a amostra entrava em ressonância. Assim o detector captava a ressonância da amostra e gerava um gráfico com o pico de ressonância característico de cada amostra (TELES, 2005).

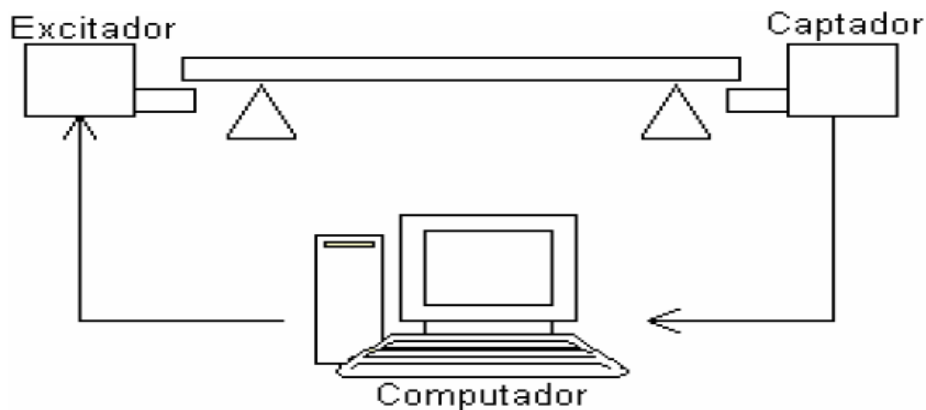


Figura 21-Esquema do equipamento utilizado. Fonte: (TELES, 2005).

Para seleção das espécies, os critérios adotados por Teles (2015) foram os seguintes: Para o tempo as madeiras selecionadas possuíam características semelhantes ao do “spruce” (*Picea abies*). Foram selecionadas madeiras de cores claras, textura de média a fina e grã direita. A variação da massa específica foi de 0,40 a 0,55 g/cm<sup>3</sup>, o decaimento logarítmico foi abaixo de 0,027, a frequência acima de 150 Hz e a velocidade de propagação sonora entre 4000 e 5200 m/s (TELES, 2005).

Para o fundo e lateral foram selecionadas madeiras com características semelhantes ao jacarandá-da-Bahia (*Dalbergia nigra*) e ao “meple” (*Acer SP*). As madeiras possuíam cores que iam do vermelho ao marrom escuro, com massa específica variando de 0,53 a 0,92 g/cm<sup>3</sup>, decaimento logarítmico abaixo de 0,027, velocidade de propagação sonora entre 3700 a 4800 m/s, grã direita ou ondulada, textura média a fina. Foram selecionadas espécies fora desse critério de seleção por apresentarem excelentes propriedades acústicas para a dada finalidade. No caso do mogno, andiroba, cuiarana, faieira e tanimbuca, foram selecionadas por apresentarem características acústicas promissoras, embora apresentem grã irregular. A faieira foi mantida, embora apresentasse textura grossa, por possuir raios largos e, com isso, garantindo uma estética considerável ao instrumento (TELES, 2005).

Para o braço do instrumento foram selecionadas espécies que apresentaram boa estabilidade dimensional, massa específica variando entre 0,50 a 0,79 g/cm<sup>3</sup>, MOE variando entre 99000 e 153000 Kgf/cm<sup>2</sup> e grã direita. Já para a escala foram selecionadas madeiras com MOE acima de 140000 Kgf/cm<sup>2</sup>, e massa específica acima de 0,63 g/cm<sup>3</sup> e preferencialmente madeiras de cor escura. Ressalvam-se as espécies cumaru e tanimbuca por apresentarem grã irregular, e as espécies envira-preta, grumixava, macacúba e miracatiara por apresentarem excelentes características de trabalhabilidade e por todas possuírem propriedades acústica e mecânicas próximas ao ébano (*Diospyros spp*) (TELES, 2005).

Na tabela 5 podem-se observar as espécies selecionadas para o uso em violões para os componentes (tampo harmônico, fundo, lateral braço e escala).

**Tabela 5-** Madeiras selecionadas para uso em violões.

<b>Tampo Harmônico</b>	<b>Fundo e Lateral</b>	<b>Braço</b>	<b>Escala</b>
Amapá	Andiroba*	Andiroba	Cumaru
Marupá	Cuiarana *	Cedro	Envira preta
Munguba-gr-terra- firme	Copaíba	Grumixava	Gombeira
Pará- Pará	Faeira*	Jequitibá-cedro	Grumixava*
Morototó	Gombeira	Copaíba	Ipê
Tauari- amarelo	Grumixava	Lour-vermelho	Jacarandá

(Continua)



**Tabela 5-** Madeiras selecionadas para uso em violões. (Continuação)

<b>Tampo Harmônico</b>	<b>Fundo e Lateral</b>	<b>Braço</b>	<b>Escala</b>
Tauari-branco	Jacarandá	Macacaúba	Macacaúba
Urucuúba-da-terra-firme	Jequitibá- cedro	Mogno	Maçaranduba
Freijó verdadeiro	Macacaúba	Muiracatiara	Muiracatiara*
-----	Mogno*	Mururé	Mururé
-----	Muiracatiara	-----	Tanibuca*
-----	Mururé	-----	-----
-----	Tanibuca*	-----	-----

Fonte: (TELES, 2005).

Obs. As espécies com asterisco referem-se a madeiras que foram ressalvas.

Na tabela 6 podem-se observar as espécies selecionadas por Teles (2005), com seus respectivos nomes científicos e família para o uso em violões para os componentes (tampo harmônico, fundo, lateral braço e escala).

**Tabela 6-** Espécies selecionadas para uso em violões com seus respectivos nomes científicos e família.

<b>Nome comum</b>	<b>Nome científico</b>	<b>Família</b>
Amapá	<i>Crysohyllum sp.</i>	<i>Sapotaceae</i>
Andiroba*	<i>Carapa guianensis Aubl.</i>	<i>Meliaceae</i>
Cedro	<i>Cedrela odorata L.</i>	<i>Meliaceae</i>
Copaíba	<i>Copaifera reticulata ducke</i>	<i>Caesalpinioideae</i>
Cuiarana/Mirindiba*	<i>Buchenavia grandis Ducke</i>	<i>Combretaceae</i>
Cumaru	<i>Dipteryx polyphyla Huber</i>	<i>Papilionoideae</i>
Envira preta	<i>Onychopetalum amazonicum R.E.Fr</i>	<i>Annonaceae</i>
Faeira*	<i>Poupala 44mazôni Aubl.</i>	<i>Proteaceae</i>
Freijó verdadeiro	<i>Cordia goeldiana huber</i>	<i>Boraginaceae</i>
Gombeira	<i>Swartzia leptopetala Benth.</i>	<i>Papilionoideae</i>
Grumixava	<i>Micropholis venulosa (Mart. E Eichler) Pierre</i>	<i>Sapotaceae</i>
Ipê	<i>Tabebuia serratifolia (Vahl) Nichols</i>	<i>Bignoniaceae</i>
Jacarandá	<i>Dalbergia spruceana Benth.</i>	<i>Papilionoideae</i>
Jequitibá- cedro	<i>Allantoma lineata (Mart. Ex O. Berg) Miers</i>	<i>Lecythidaceae</i>
Lour-vermelho	<i>Ocotea rubra Mez.</i>	<i>Lauraceae</i>
Macacaúba	<i>Platymiscium ulei Herms</i>	<i>Pilionoideae</i>
Maçaranduba	<i>Manikara huberi (Ducke) Chevalier</i>	<i>Sapotaceae</i>
Marupá	<i>Simarouba amara Aubl</i>	<i>Simaroubaceae</i>
Mogno*	<i>Swietenia macrophylla king</i>	<i>Meliaceae</i>
Morototó	<i>Schefflera morototoni (Aubl.) Decne. E Planch</i>	<i>Araliaceae</i>

(Continua)

**Tabela 6-** Espécies selecionadas para uso em violões com seus respectivos nomes científicos e família. (Continuação)

Nome comum	Nome científico	Família
Muiracatiara	<i>Astronium lecontei</i> Ducke	Anacardiaceae
Munguba-gr-terra- firme	<i>Eriotheca longipedicellata</i> (ducke) A.Robyns	Bombacaceae
Mururé	<i>Brosimum acutifolium</i> Huber	Moraceae
Pará- Pará	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.)Pers.	Bignoniaceae
Tanibuca*	<i>Ternialia mazônica</i> (J.F.Gmel) Exell	Combretaceae
Tuari- amarelo	<i>Couratarioblongifolia</i> Ducke e R. Knuth	Lecythidaceae
Tuari-branco	<i>Couratariguiensis</i> Aubl.	Moraceae
Urucuúba-da-terra-firme	<i>Virola cf. michelli</i>	Myristicaceae

Fonte: (TELES, 2005).

Na Tabela 7 podem ser observados os resultados obtidos por Teles (2005) das propriedades físicas e mecânicas das espécies selecionadas.

**Tabela 7-** Propriedades físicas e mecânicas das espécies selecionadas.

Nome comum	Propriedades físicas					Propriedades mecânicas kgf.cm <sup>-2</sup>			
	Massa Esp. g.cm <sup>-3</sup>	Contração (%)				Flexão Estática		Dureza	
		Rad.	Tang.	Vol.	T/R	MOR	MOE	Par.	Trans.
Andiroba*	0,59	4,4	8,1	12,6	1,8	1.093	120.000	841	640
Cedro	0,53	4,0	6,2	11,6	1,6	768	99.000	762	623
Copaíba	0,62	4,1	8,2	12,5	2,0	1.179	123.000	867	664
Cuiarana/Mirindiba*	0,72	4,7	7,4	12,2	1,6	976	107.000	1.352	1.094
Cumaru	0,83	6,0	7,0	13,1	1,2	1.485	148.000	1.188	1.233
Envira preta	0,64	3,9	8,7	12,7	2,2	1.265	140.000	822	695
Faieira*	0,77	6,3	12,3	18,0	2,0	1.614	-	976	984
Freijó verdadeiro	0,48	4,1	6,6	10,6	1,6	932	142.000	608	452
Gombeira	0,83	5,8	10,5	17,1	1,8	-	-	-	-
Grumixava	0,67	4,7	9,7	14,0	2,1	-	142.000	1.018	780
Ipê	0,89	4,7	6,3	10,1	1,3	1.726	131.000	1.480	1.406
Jacarandá	0,92	4,2	8,1	12,7	1,9	1.193	-	-	-
Jequitibá- cedro	0,53	3,0	5,7	9,8	1,9	1.171	130.000	504	523
lour-vermelho	0,55	3,2	7,9	11,2	2,5	794	109.000	342	343
Macacaúba	0,74	2,6	4,7	6,6	1,8	1.039	106.000	911	914
Maçaranduba	0,89	6,7	9,4	15,0	1,4	1.729	142.000	1.532	1.464
Marupá	0,38	2,6	5,9	8,8	2,3	664	82.000	439	267
Mogno*	0,52	2,9	4,7	7,2	1,6	562	66.000	435	517
Morototó	0,41	6,7	9,1	15,7	1,4	725	113.000	489	3.558
Muiracatiara	0,79	4,6	7,6	11,9	1,7	1.391	153.000	891	978
Munguba-gr-terra- firme	0,45	4,5	9,8	14,9	2,2	895	106.000	630	469
Mururé	0,57	5,0	9,1	14,1	1,8	1.402	145.000	1.463	1.377
Pará- Pará	0,31	5,4	8,2	13,9	1,5	562	89.000	336	192

(Continua)

**Tabela 7-** Propriedades físicas e mecânicas das espécies selecionadas. (Continuação)

Tanibuca*	0,80	5,2	7,8	12,8	1,5	1.489	143.000	1.166	1.014
Tauari- amarelo	0,50	4,2	6,6	10,9	1,6	847	111.000	589	469
Tauari-branco	0,52	3,6	4,1	10,4	1,1	1.061	117.000	665	516
Urucuúba-da-terra-firme	0,50	4,6	8,3	13,7	1,8	972	121.000	472	671

MOR- módulo de ruptura; MOE- módulo de elasticidade; PAR- paralela; TRANS- transversal.  
Fonte: (TELES, 2005).

Na tabela 8 podem ser observados os resultados de trabalhabilidade obtido por Teles (2005) para as espécies selecionadas.

**Tabela 8** -Resultados de tração, resistência ao impacto e trabalhabilidade das espécies selecionadas.

TRABALHABILIDADE						
NOME COMUM	TRAÇÃO PERPEND. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	RESISTÊNCIA AO IMPACTO (mm)	TESTES			
			PLAINA	TORNO	BROCA	SERRA
Amapá	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Andiroba*	41	1566	Regular/bom	Bom	Bom	Regular
Cedro	29	813,5	Bom	Bom	Bom	-----
Copaiba	44	1507,7	Regular/bom	Bom	Bom	Regular
Cuirana	-----	1980,1	Excelente	Excelente	-----	-----
Cumarú	-----	3013	Difícil	-----	Fácil	-----
Envira preta	24	1773,8	Fácil	-----	-----	Fácil
Faeira*	63	2083	Fácil/regular	Regular/bom	Regular/bom	-----
Freijó verdadeiro	31	1264,7	Fácil/bom	-----	-----	Fácil
Gombeira	-----	-----	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Grumixava	40	1603	-----	Fácil/excelente	Fácil/excelente	-----
Ipê	39	3430,6	Fácil/bom	Fácil/excelente	Fácil/excelente	-----
Jacarandá	-----	-----	Excelente	Excelente	Excelente	-----
Jequitibá- cedro	31	1312,3	Bom	Excelente	bom	-----
Louro-vermelho	30	1233,6	Fácil/bom	Fácil/bom	Fácil/bom	Regular
Macacaúba	-----	-----	Excelente	Excelente	Excelente	-----
Maçaranduba	51	2819,9	Fácil	Fácil/excelente	Fácil/excelente	-----
Marupá	28	741	Fácil/excelente	Ruim	Fácil/excelente	Fácil/excelente
Mogno*	61	741	Fácil/excelente	Ruim	Fácil/excelente	Fácil/excelente
Morototó	39	529,1	Excelente	-----	Regular	-----
Muiracatiara	105,3	2273,2	Excelente	-----	Regular	-----
Munguba-gr-terra firme	36	857,7	Fácil/excelente	-----	-----	Fácil
Mururé	42	1531,4	Regular/excelente	Bom	Excelente	-----
Pará- Pará	29	367,8	Fácil	-----	Difícil	Fácil
Tanibuca*	53	2400,6	Fácil/ruim	Fácil/bom	Fácil/bom	Fácil
Tauari- amarelo	38	1189,1	Fácil/bom	-----	Fácil/excelente	Fácil
Tauari-branco	42	1341,8	Fácil	-----	-----	Fácil
Urucuúba-da-terra-firme	49	1019,6	Fácil/bom	Fácil/bom	Fácil/bom	Fácil

Fonte: SLOOTEN e SOUZA (1993);IBDF (1988); MANIER E CHIMERO (1989). Apud (TELES, 2005).

A Tabela 9 apresenta resultados dos testes acústicos das espécies selecionadas por Teles (2005) com seus respectivos valores médios.

**Tabela 9** - Propriedades acústicas das espécies selecionadas.

<b>NOME COMUM</b>	<b>VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO- C (M/S)</b>	<b>FREQUÊNCIA NATURAL DE VIBRAÇÃO- Fr (Hz)</b>	<b>DECAIMENTO LOGARITÍMICO (DL)</b>
Amapá	-----	169,2	0,029
Andiroba*	4510	174,1	0,025
Cedro	4322	149,0	0,029
Copaíba	4454	196,4	0,026
Cuiarana/Mirindiba*	3855	188,3	0,020
Cumaru	4223	158,5	0,020
Envira preta	4677	193,2	0,024
Faeira*	4740	188,5	0,024
Freijó verdadeiro	4655	193,6	0,019
Gombeira	-----	200,0	0,016
Grumixava	4604	190,1	0,018
Ipê	3837	175,0	0,017
Jacarandá	-----	183,6	0,016
Jequitibá- cedro	4953	-----	-----
lour-vermelho	4452	152,0	0,033
Macacaúba	3785	163,6	0,021
Maçaranduba	3994	169,8	0,025
Marupá	4645	167,9	0,027
Mogno*	3563	166,6	0,027
Morototó	5250	207,3	0,026
Muiracatiara	4401	172,6	0,016
Munguba-gr-terra- firme	4853	175,1	0,026
Mururé	4652	194,3	0,024
Pará- Pará	5358	198,7	0,029
Tanibuca*	4228	160,8	0,024
Tuari- amarelo	4712	176,3	0,027
Tuari-branco	4743	206,0	0,024
Urucuúba-da-terra-firme	4919	185,0	0,026

Fonte: (TELES, 2005).

Os resultados obtidos nesse trabalho se mostraram satisfatórios e se aproximaram muito aos obtidos por SOUZA (1983); SLOOTEN e SOUZA (1983). Foi observado que mesmo dentro de uma mesma espécie ocorreram variações acústicas sendo que a característica que mais variou dentro de uma mesma espécie foi o decaimento logarítmico.

Muitos fatores podem ter levado à esse resultado, como a diferença de posição de corte das tabuas e até mesmo características fenotípicas de cada indivíduo (TELES, 2005).

Para as amostras com corte tangencial na análise de frequência e decaimento logarítmico, foi observado que não há diferença significativa entre os valores encontrados comparados aos das amostras com corte radial. Já as amostras com corte tangencial apresentaram defeitos de processamento e apresentaram empenamentos dificultando assim a realização dos testes acústicos (TELES, 2005).

#### **4.3. Dissertação de Maria Angelica Soares - 2014“Produção de um violão clássico em madeira de teca (*tectona grandis*)”**

Neste trabalho a autora visou identificar uma nova espécie que tivesse características desejáveis para produção de um violão clássico em substituição as madeiras tradicionalmente utilizadas por luthiers, no caso, a madeira estudada foi a Teca (*Tectona grandis* L.) já que se trata de uma espécie muito valorizada e procurada e que apresenta excelentes características como alta durabilidade, boa estabilidade dimensional, resistência mecânica e média densidade (TONINI *et al.*, 2009).

Segundo Soares (2014), a madeira da Teca apresenta coloração castanho-amarelada no cerne, atingindo também tonalidades mais escuras de marrom, ela apresenta também a presença de extrativos similares a um látex o que lhe proporciona um brilho dourado. Além desses atributos esses extrativos lhe confere um aspecto lustroso, e isso facilita também a trabalhabilidade da madeira quando serrada, aplainada, lixada, perfurada, pregada e parafusada, pois fica “mais lubrificada” quando processada (SOARES, 2014).

A madeira de “teca” apresenta valores de densidade básica entre 0,53 a 0,62g/cm<sup>3</sup> e excelentes propriedades físico-mecânicas, como resistência à tração, à flexão e ao empenamento (FOELKEL, 2013).

A *Tectona grandis* é tida como de alta qualidade e se destaca por sua resistência, durabilidade e beleza, por isso vem sendo altamente utilizada na produção de móveis, esquadrias de alto padrão, embarcações e decoração, e já conquistou o mercado brasileiro por suas características invejáveis como grande porte e rusticidade além da qualidade de sua madeira considerada nobre e de elevado valor comercial (SOARES, 2014).

Este trabalho teve como objetivo geral estudar se a madeira de Teca (*Tectona grandis*) era viável para confecção de instrumentos musicais, e como objetivo específico analisar o potencial de uma espécie diferente das comumente usadas por luthiers na confecção de violões, avaliar o processo de produção e a sonoridade de um violão clássico utilizando a madeira de *Tectona grandis*.

Os materiais e os métodos utilizados para a realização deste trabalho foi proveniente de arvores de *Tectona grandis* com 18 anos aproximadamente e para a obtenção e preparo das laminas para o tampo e para o fundo foram seguidas as informações dos manuais de lutheria de Garcia (2011) e de Gomes, Lage e Mourão (2014). A geometria do tampo e fundo da caixa do violão foi definida com base na planta Guitare Classique Dans Le style, de Santos Hernandes.

Segundo Soares (2014), o tampo do violão é composto de sete barras harmônicas, dois reforços na boca e dois travessões, cada um destes componentes pode ser produzidos com madeira de espécies diferentes ou então com madeiras da mesma espécie. No caso deste trabalho o autor utilizou também da madeira de Teca. A Figura 22 demonstra a esquematização do leque harmônico adotada no presente trabalho:

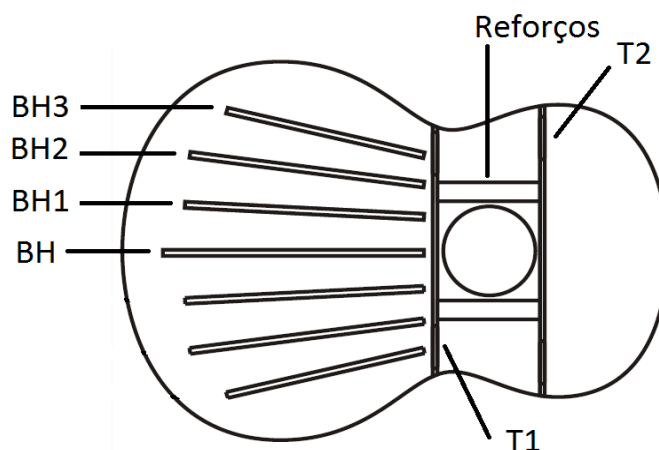


Figura 22- Esquematização do leque harmônico tradicional com as Barras Harmônicas (BH, BH1, BH2 e BH3) e Travessões (T1 e T2). Fonte: (GOMES et.al., 2004). Apud (SOARES, 2014)

Para este trabalho as medidas utilizadas para todos os componentes foram baseadas na planta de Santos Hernandez e estão detalhadas na Tabela 10.

**Tabela 10-** Dimensões dos componentes harmônicos do tampo.

Peça	Quantidade	Comprim. (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)
BH(Central)	1	23,2	7,0	3,5
BH1	2	23,9	7,0	3,5
BH1	2	22,7	7,0	3,5
BH1	2	17,8	7,0	3,5
T1	1	223	8,0	17,0
T2	1	257	8,0	17,0
Reforço	2	95,0	20,0	2,0

Fonte: (GARCIA, 2011) Apud (SOARES, 2014).

A Figura 23 apresenta como os componentes do tampo ficaram dispostos:



Figura 23-Disposição das barras, travessões e reforços. Fonte: (SOARES, 2014).

Para obter a forma desejada dos leques harmônicos, eles foram esculpidos de maneira para que tivessem uma forma final com as pontas chanfradas, apresentada na Figura 24. Para a colagem dos mesmos utilizou-se adesivo instantâneo à base de Cianoacrilato líquido (SOARES, 2014).

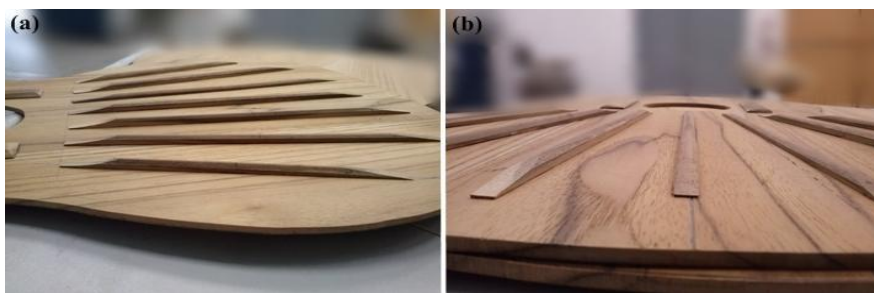


Figura 24-Vista lateral (a) e vista frontal (b) dos leques finalizados. Fonte: (SOARES, 2014).

Para compor o fundo do violão, foram colados três travessões de madeira de Teca, com as seguintes dimensões: 17 mm de largura, 8 mm de espessura, com comprimentos de 26,4; 22,1 e 35 cm respectivamente, dispostos conforme apresentado na Figura 25.



Figura 25- Fundo do violão com travessões. Fonte: (SOARES, 2014).

De acordo com Soares (2014), a lâmina usada para compor as laterais do violão foi utilizando o mesmo processo realizado para obter as lâminas para o tampo e o fundo do instrumento, porém não foi necessário fazer a colagem lateral das mesmas.

As dimensões reais das laterais foram desenhadas e posteriormente cortadas segundo as instruções dos manuais de lutheria consultadas para este trabalho, essas dimensões estão apresentadas na Figura 26, resultando no aspecto apresentado na Figura 27.



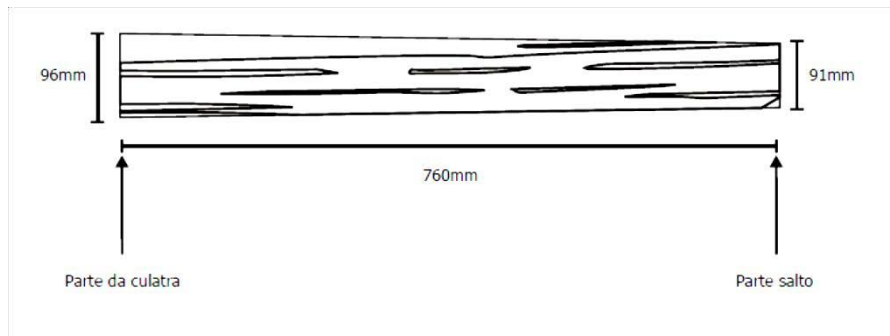


Figura 26- Dimensões das laterais. Fonte: Adaptado de GOMES et al, (2004); Apud. (SOARES, 2014).



Figura 27-Lâminas laterais, após lixamento e definição das dimensões. Fonte: (SOARES, 2014).

A mão e o braço do instrumento também foram feitos utilizando a espécie *Tectonag grandis*, a mão foi confeccionada seguindo as informações do manual de lutheria de Gomes et al, (2004)(SOARES, 2014)(Figura 28).



Figura 28- Braço e mão do instrumento. Fonte: (SOARES, 2014).

A escala deste instrumento foi feita utilizando uma peça de madeira de Jatobá (*Hymenaeae courbaril*) cortada nas dimensões de 500 mm x 74mm x 8mm. Como pode ser visto na figura 29.



Figura 29- Escala em madeira de Jatobá sendo colocados os trastes. Fonte: (SOARES, 2014).

A Figura 30 mostra o instrumento finalizado.



Figura 30- Violão feito em madeira de (Teca) finalizado. Fonte: (SOARES, 2014).

Após ser construído, o instrumento foi avaliado por dois músicos e dois professores de música, que identificaram alguns problemas como: notas trastejando, braço com grande espessura e peso final do instrumento maior do que o convencional para violões (SOARES, 2014).

Algumas medidas que poderiam ser realizadas para corrigir tais problemas seriam ajustar a altura dos trastes na escala diminuir a espessura do braço e com isso também diminuir parte do peso. Além de algumas outras sugestões que foram dadas pelos músicos como a colocação de um tensor no braço para evitar empenamentos e também diminuir a espessura do tampo e do fundo para melhorar a sonoridade (SOARES, 2014).

Uma das questões mais importantes que foi levantada foi a de estudar melhor a madeira de Teca para usa-la em partes específicas do instrumento, visto que cada parte de um violão normalmente é composta de uma madeira específica (SOARES, 2014).

A parte sonora do instrumento foi bastante satisfatória, os músicos se mostraram impressionados e afirmaram que a sonoridade deste violão apresentou maior qualidade do que violões feitos em fábricas (SOARES, 2014).

A madeira de Teca (*Tectona grandis*) foi considerada de boa trabalhabilidade e apresentou grande resistência durante o processo de fabricação do instrumento. Além de possuir um belo desenho, deixando o acabamento final do instrumento com uma estética muito bonita (SOARES, 2014).

#### **4.4. Dissertação de Andre Luis Lima Flores – 2015 “Análise de diferentes madeiras brasileiras em substituição às espécies tradicionais no violão clássico”**

Nesta dissertação Flores (2015) abordou um conteúdo histórico assim como outros temas na área da Química, Física, Engenharia mecânica, Botânica, Luteria, Acústica e Música, relacionando-as com a madeira e seu comportamento nos instrumentos musicais.

Para se conseguir avaliar quantitativamente violões construídos com madeiras de várias espécies diferentes e levando em consideração a interdisciplinaridade da pesquisa, foi necessário desenvolver uma metodologia apropriada para tal.

Flores (2015) salienta que a quantificação e qualificação de madeiras para instrumentos musicais considerados bons pelo método comparativo foi um dos principais desafios deste trabalho.

Para cada parte do instrumento foi utilizado uma espécie de madeira considerada como padrão de qualidade, já que se trata de espécies tradicionalmente utilizadas há séculos e por serem bastante apreciadas por músicos e luthiers.

Para o tampo harmônico do violão foi discutido o comportamento das espécies brasileiras *Araucária angustifolia* (Araucária) e *Simarouba amara* (Marupá) comparando-as com a espécie *Picea abies* (Abeto) que é a madeira mais comumente utilizada para essa finalidade.

Para o fundo e lateral da caixa acústica as espécies *Carapa guianensis* (Andiroba) e *Genipa americana* (Jenipapo) foram comparadas com a espécie *Dalbergia nigra* (Jacarandá).

Para se comparar as combinações dos diferentes violões construído neste estudo, foi utilizado como padrão de comparação um violão com o abeto no tampo e o jacarandá da Bahia na lateral e no fundo, combinação considerada ideal pela maioria dos luthiers e músicos.

Para a caracterização do comportamento das partes da caixa acústica do violão Flores (2015) utilizou de informações empíricas de dados da literatura e de entrevistas, onde muitos luthiers afirmam que mais da metade do som produzido pela caixa acústica advém do tampo harmônico.

No ano de 1862 Antônio Jurado Torres realizou um experimento construindo um violão com o tampo de abeto e laterais e fundo de papel marchê, para tentar provar que o protagonista do timbre dos instrumentos era realmente o tampo harmônico.

Para este estudo Flores (2015) substituiu o Abeto no tampo por outras espécies nativas do Brasil como a Araucária e Marupá, já para o fundo do instrumento foi utilizada a Andiroba e Jenipapo no lugar do Jacarandá.

Outro material que também foi utilizado foi um compensado flexível de 3 mm com as duas faces de (virola), esse material vem sendo um dos mais utilizados em fábricas de instrumentos musicais pelo seu baixo custo e facilidade de manuseio. Apesar de o compensado ser um material com amortecimento e eficiência diferente da madeira maciça (fatores estes que limita a reflexão e a propagação das ondas sonoras para fora do instrumento através da boca) ele vem sendo muito utilizado pelas indústrias de instrumentos musicais, pois, por outro lado, o compensado não tem tanta variação causada pela diferença de umidade e com o clima, além de ser um material padronizado que pode definir o estilo de uma marca (FLORES, 2015).

Devido à complexidade do estudo da caixa acústica, a compreensão desta pesquisa pode ser mais bem compreendida dividindo as espécies de madeira para cada parte da caixa acústica do instrumento.

Para o tampo foram utilizadas madeiras com densidade baixa e para o fundo e para as laterais madeiras mais densa. Espécies de madeira analisadas neste trabalho:

❖ **Para o tampo:** Abeto/ Spruce (*Pices abies* )

Marupá (*Simarouba amara*)

Araucária (*Araucaria angustifolia*)

❖ **Para o fundo e lateral:** Jacarandá da Bahia (*Dalbergia*)

Andiroba (*Carapa guianensis*)

Jenipapo (*Genipa americana*)

Para se conseguir eliminar ao máximo as variáveis existentes no complexo sistema mecânico vibracional do violão, as madeiras do tampo harmônico e do fundo da caixa acústica do violão foram investigadas sem a presença do braço e utilizando apenas uma lateral para manter o volume de ar dentro da caixa acústica constante e foi utilizada apenas uma lateral com as travessas e reforços no formato do violão clássico do luthier Antônio Torres.

A Figura 31 mostra as madeiras do tampo e fundo do violão e a lateral usada como gabarito.



Figura 31-Laterais com travessas e reforços e tamos harmônicos e fundos Fonte: (FLORES, 2015).

A umidade das madeiras foi determinada por meio de uma estufa de secagem Heraeus de acordo com a norma Copant 460 e a densidade das madeiras foram obtidas utilizando uma balança de precisão adventurer ohaus (FLORES, 2015).

Para a técnica de excitação por impulso foram utilizados dois equipamentos para medição das propriedades da madeira por impulso o equipamento Sonelastic tinha por objetivo obter as propriedades elásticas e acústicas das diferentes espécies de madeira e o equipamento Stress Wave Timer medir a velocidade de propagação da onda (FLORES, 2015).

Para a análise química e morfológica foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura (MEV) marca TESCAN VEGA3 LMU, do centro de microscopia da UFPR com resolução de 3 nm que permite magnificações de até 300kX, com pressão controlada entre 3 a 500 Pa e o equipamento possui um sistema de análise química tipo EDS (OXIFORD) com software AZ Tech (Advanced) com detetor tipo SDD de 80 mm (FLORES, 2015).

A análise modal fornece um conjunto de parâmetros caracterizando o modo do comportamento dinâmico de uma determinada estrutura e é obtida através da Função Resposta em Frequência - FRF, aplicando a transformada discreta de Fourier no sinal de resposta, para se observar as características de um sinal em um determinado domínio, ou modificando o domínio, que pode ser no domínio do tempo ou da frequência e através da análise de Fourier da pra se identificar os harmônicos presentes numa onda sonora, comparar sons e identificar padrões desejáveis ou indesejáveis, de qualquer fonte sonora (FLORES, 2015).

No método de malha acústica foram realizadas medições no tampo e no fundo com marcações com distanciamento de 20 mm entre os pontos de medição, totalizando 336 pontos na malha acústica do tampo harmônico e 352 pontos na malha acústica do fundo. Os sinais de vibração obtidos de uma força pré-determinada são utilizados para obter as FRFs, e em seguida os modos naturais, frequências naturais e amortecimento para cada frequência do conjunto de madeiras pesquisadas (FLORES, 2015).

Na Tabela 11 podem ser observados os resultados obtidos por Flores (2015) para a análise da madeira do tampo da caixa acústica do violão.

**Tabela 11**-Tabela de aproximação com o abeto para tempo harmônico.

Espécie	Abeto	Araucária	Marupá	Compensado
Modulo de elasticidade	0	6,675	1,225	4,005
Módulo de cisalhamento	0	0,305	1,225	0,235
Amortecimento	0	0,000169	0,0005705	0,0026425
Impedância	0	1.151.289,82	101.442,09	331.762,64
Coef. De rad. sonora	0	3,45	1,08	4,021
Umidade	0	0,12	0,58	-----
Densidade	0	0,20	0,01	0,06
V. do som sentido Paralelo às fibras	0	243,06	349,87	1313,87
V. do som sentido Perpendicular às fibras	0	228.193,2	523.776,4	734.446,7

Fonte: (FLORES, 2015).

Os resultados obtidos por Flores (2015) mostram que a madeira de (Marupá) foi a que mais se aproximou a espécie abeto considerada como padrão de qualidade para músicos, os valores das propriedades/características da araucária foram também bastante similares como pode ser observado no Gráfico Radar 1 (Figura 32). O compensado mostrou resultados mais distantes aos do abeto, do marupá e da araucária tanto na análise modal quanto nos ensaios de excitação por impulso (FLORES, 2015).

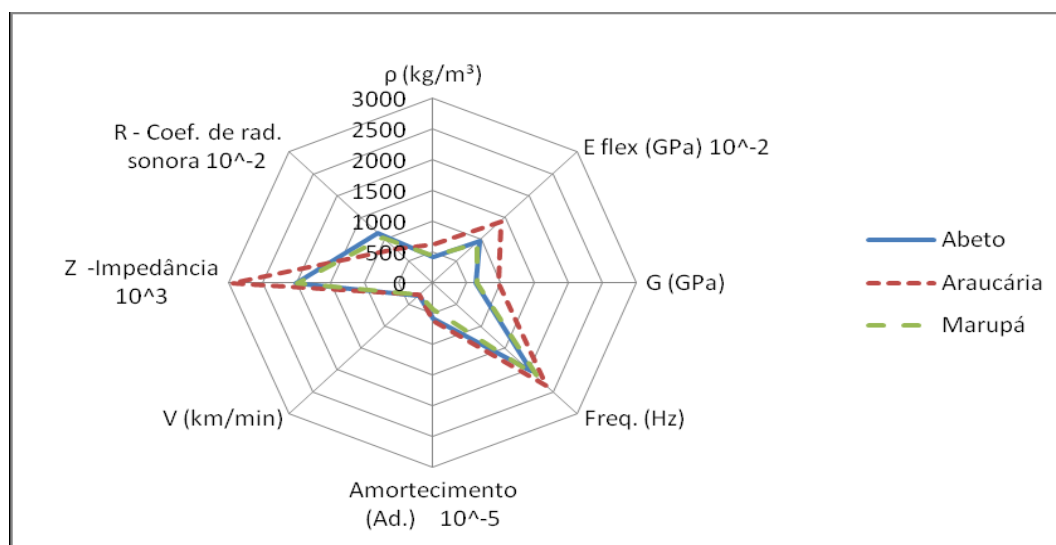


Figura 32- Gráfico radar 01: Comparação das madeiras do tempo harmônico. Fonte: (FLORES, 2015).

Na análise de madeiras no sistema mecânico vibracional da caixa acústica do violão foi avaliado o tampo de violões confeccionados com madeiras de jacarandá, andiroba, jenipapo e compensado. No estudo foi realizada uma comparação com o jacarandá, já que se trata de uma madeira considerada ideal para a caixa acústica do violão e quase uma unanimidade entre os luthiers que um violão deve ser feito com madeiras de abeto no tampo harmônico e jacarandá da Bahia nas faixas laterais e no fundo para obter uma excelente qualidade.

Ao se observar a Tabela 12 pode-se notar que todas as características ou propriedades das madeiras estudadas se tornaram adimensionais e como o jacarandá é a referência, todas as propriedades têm o valor igual zero. Então quanto mais próximo de zero for a propriedade ou característica das madeiras comparadas, mais próxima será das características do jacarandá.

A Tabela 12 mostra o resultado desta diferença absoluta das propriedades mensuradas (densidade, teor de umidade, velocidade de propagação da onda, módulo elástico, módulo de cisalhamento, amortecimento, impedância sonora e coeficiente de radiação sonora) para o jacarandá, andiroba, jenipapo e compensado.

**Tabela 12** - Tabela de aproximação com o Jacarandá.

<b>Espécie</b>	<b>Jacarandá</b>	<b>Andiroba</b>	<b>Jenipapo</b>	<b>Compensado</b>
<b>Módulo de elasticidade</b>	0	1,165	8,05	8,93
<b>Módulo de cisalhamento</b>	0	0,805	0,395	1,225
<b>Amortecimento</b>	0	0,001633	0,00531	0,005198
<b>Impedância</b>	0	473.299,04	1.142.367,1	1.786.317,42
<b>Coef. De rad. sonora</b>	0	1,69	1,42	2,42
<b>Umidade</b>	0	1	5	
<b>Densidade</b>	0	0,11	0,12	0,34
<b>V. do som sentido Paralelo às fibras</b>	0	301,18	1281,36	644,70
<b>V. do som sentido Perpendicular às fibras</b>	0	109.193,0	170.922,9	774.391,5

Fonte: (FLORES, 2015)



Na Figura 33 temos o Gráfico Radar 02 mostra que a espécie que mais se aproximou do jacarandá considerada como padrão de qualidade foi a madeira de andiroba.

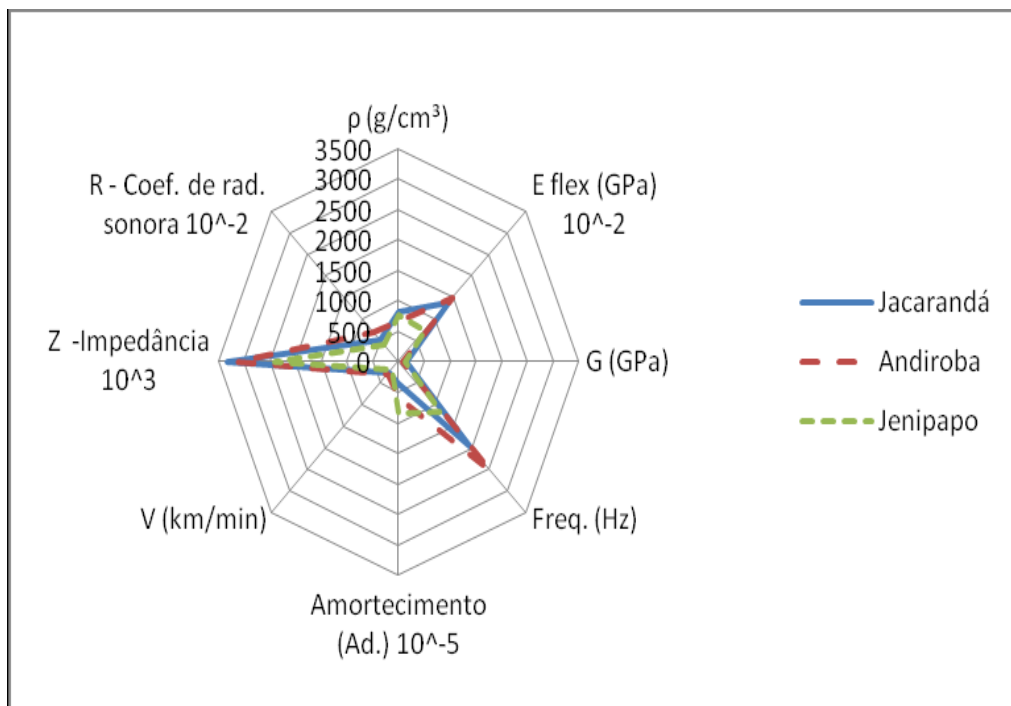


Figura 33-Gráfico radar 02: Comparação das madeiras da caixa acústica do violão.

Flores (2015) diante dos resultados obtidos por meio dos experimentos e análises realizadas por ele neste trabalho identificou pelo método comparativo as madeiras que mais se aproximam do comportamento e das propriedades de madeiras nobres e tradicionais na utilização em violões. Para uso em tampos, o marupá (*Simarouba amara*) foi o que mais se aproximou do abeto, já para uso em fundos e para laterais a andiroba (*carapa guianensis*) foi a madeira mais similar ao jacarandá.

#### 4.5. Dissertação de Joelma Araújo Costa -2017 “Classificação de madeiras da Amazônia para composição de instrumento musical de corda através da técnica de excitação por impulso”

Neste estudo realizado por Costa (2017) teve como objetivo geral propor faixa de variação dos parâmetros tecnológicos para selecionar espécies madeireiras da Amazônia para

composição de instrumentos musicais de corda e como objetivos específicos 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; Caracterizar e testar a viabilidade de utilização de espécies de madeiras da Amazônia para composição de instrumentos musicais de corda; Investigar a correlações entre a estrutura anatômica e as propriedades físicas (densidade), elásticas e acústicas da madeira; Definir as características que determinam o potencial da madeira para composição de instrumentos musicais de corda.

A metodologia adotada por Costa (2017) foi a de realizar um levantamento bibliográfico sobre as principais características tecnológicas das espécies tradicionalmente utilizadas na confecção de instrumentos musicais para os componentes: tampo, fundo e laterais. Como não foi possível encontrar na literatura as informações necessárias a autora do estudo decidiu realizar a caracterização anatômica macro e microscópica tal como determinação da densidade aparente, módulo de elasticidade e propriedades acústicas e a partir daí obter os valores necessários para então avaliar espécies alternativas.

Costa (2017) optou em identificar as madeiras mais comercializadas no município de Cruzeiro do Sul para se definir as espécies alternativas para o estudo.

Foram selecionadas quatro espécies para esse estudo, os critérios adotados foram os seguintes: espécies mais comercializadas pelas empresas do município, características gerais da madeira (cor, textura, figura, grã e a densidade das espécies).

A Tabela 13 apresenta as espécies selecionadas para cada componente deste estudo, para análise da densidade aparente, módulo de elasticidade e propriedades acústicas por meio da técnica de excitação por impulso. Na classificação de cada espécie considerou-se a densidade e as características gerais como: cor, textura, figura e grã.

**Tabela 13** - Espécies alternativas da Amazônia e seus respectivos componentes.

<b>Nome popular</b>	<b>Nome científico</b>	<b>Componente</b>
Conduru-de-sangue	<i>Brosimum rubescens</i>	Fundo/Lateral
Jequitibá	<i>Cariniana decandra</i>	Fundo/Lateral
Cedro-cheiroso	<i>Cedrela odorata</i>	Fundo/Lateral
Marupá	<i>Simarouba amara</i>	Tampo
Caroba	<i>Jacaranda copaia</i>	Tampo

Fonte: (COSTA, 2017)

A caracterização anatômica das madeiras tradicionais e alternativas tiveram os seguintes resultados apresentados na Tabela 14:

**Tabela 14** - Aspectos anatômicos das madeiras tradicionais e alternativas em estudo, com a classificação para os diferentes componentes do instrumento.

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

Fonte: (COSTA, 2017)

As espécies estudadas para o tampo apresentaram coloração clara, textura média, grã direita e ausência de figura e as espécies para fundo e lateral apresentaram coloração mais escura, textura fina a média, grã direita a irregular e presença de desenho (figura) (Tabela 15).

Segundo Costa (2017) a madeira de *S. amara* apresentou baixa densidade com grã direita combinada a textura média mostrou-se também fácil de serrar, aplainar e uma secagem é rápida, praticamente sem defeitos já a espécie *J. copaia* (caroba) possui características semelhantes ao (marupá), porém, apresentou um aspecto felpudo no aplainamento. A espécie *B. rubescens* apresentou cor avermelhado escuro, brilhante e figura lustrosa, alta densidade combinada a uma textura fina a média mostrou-se modernamente fácil de serrar e aplainar, secagem rápida, porém, uma tendência a rachar nas extremidades. A espécie *C. decandra* mostrou-se moderadamente pesada, com grã direta e textura média; fácil para serrar e aplainar; e secagem rápida e não apresentou defeitos expressivos. Apresentou também mudanças de cor do bege rosado para o bege acastanhado quando é exposta a luz ou ao ar durante o processo de secagem.

A espécie *C. odorata* apresentou baixa densidade com grã direita e textura fina a média, fácil trabalhabilidade, e bons resultados quanto a serragem e aplainamento, secagem rápida e excelente estabilidade dimensional.

Quanto à densidade básica, retratibilidade e coeficiente de anisotropia das madeiras alternativas da Amazônia podem ser observados os resultados na Tabela 15.

**Tabela 15** - Densidade básica, retratibilidade e coeficiente de anisotropia das madeiras alternativas da Amazônia.

<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: Retrabilidade Tangencial; Rr: Retrabilidade Radial; CA: Coeficiente de Anisotropia. Fonte: (COSTA, 2017)

Segundo a autora as madeiras de *J. copaia* e *S. amara* avaliadas nesse estudo para o uso em tampos apresentaram densidade básica menor que as espécies para o fundo e lateral, resultado do qual está de acordo com Slooten e Souza (1993), segundo esses autores o peso específico tampo deve ser menor que o do fundo do instrumento.

Quanto a retratibilidade as espécies apresentaram bons resultados. Foram adotados os critérios de avaliação de Durlo e Marchiori (1992), na qual, a classificação do Coeficiente de Anisotropia é: madeira excelente (1,2-1,5); madeira normal (1,5-2,0) e madeira ruim (> 2,0). O coeficiente de anisotropia indica a propensão da madeira à empenamentos e rachaduras, logo, quanto mais próximo de 1 for o valor obtido, melhor será a estabilidade dimensional da madeira (COSTA, 2017).

Para as espécies *C. decandra*, *J. copaia*, *B. rubescens* e *C. odorata*, foram obtidos valores de coeficiente de anisotropia de 1,35 – 1,40 – 1,41 - 1,42, respectivamente, isso às classificam como sendo madeiras de excelente qualidade. Já para a espécie *S. amara* que apresentou CA de 1,58 foi classificada como normal (COSTA, 2017).

Costa (2017) concluiu que os resultados dos Coeficientes de Anisotropia das espécies estudadas indicaram que estas possuem boa estabilidade dimensional, e isso significa que não deverão apresentar problemas muito graves quando usadas para confecção de instrumentos musicais.

A autora ainda afirma que estes resultados corroboram com os estudos de Slooten e 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 iguais ou até mesmo melhores que às das madeiras tradicionalmente utilizadas na fabricação de instrumentos musicais de corda.

Quanto à avaliação pela técnica de excitação por impulso para as madeiras tradicionais de alternativas da Amazônia os resultados das análises não destrutivas no sentido longitudinal com o equipamento Soneslastic são mostrados na Figura 34.

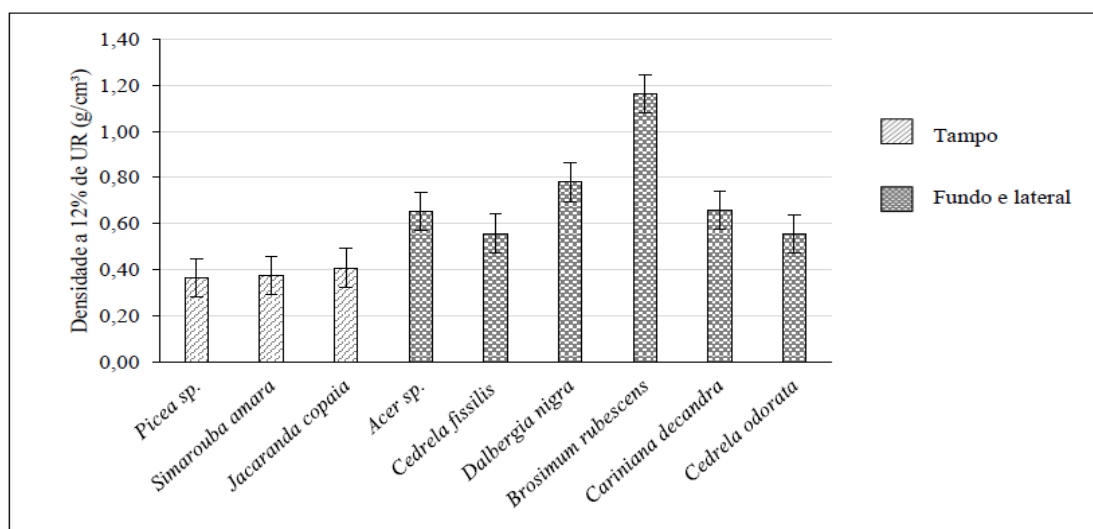


Figura 34- Gráfico com Densidades aparente (Da) das madeiras para o tampo, fundo e lateral. Fonte: (COSTA, 2017)

Através dos resultados obtidos pela autora observa-se que as espécies *Picea sp.*, *S. amara* e *J. copaia*, para tampo apresentaram densidade menor comparadas com as espécies para o fundo e lateral (Figura 34). A autora ainda salienta que esses resultados estão de acordo com Slooten e Souza (1993), aonde dizem a densidade de uma madeira utilizada para tampo de um instrumento de corda deve ser menor que a usada para o fundo e lateral.

De acordo com Wegst (2006), os parâmetros acústicos do instrumento (volume, qualidade e timbre) são dependentes 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.

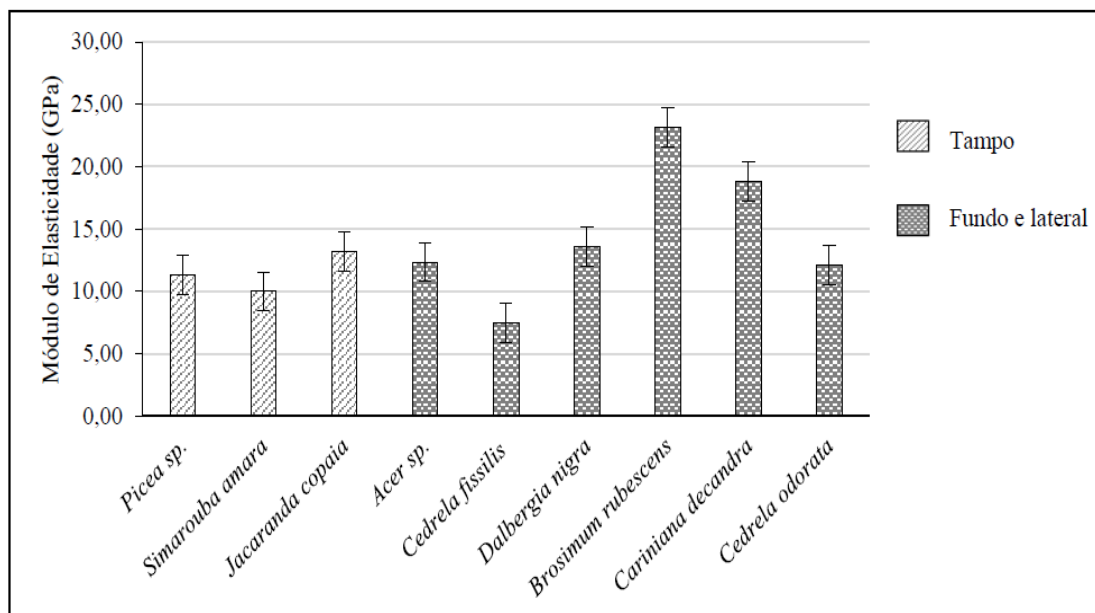


Figura 35-Módulo de Elasticidade – MOE (GPa) das madeiras para o tampo, fundo e lateral. Fonte: (COSTA, 2017).

Segundo a autora o módulo de elasticidade das espécies analisadas para tampo, fundo e lateral são considerados alto. Porém, para as espécies *B. rubescens* e *C. decandra* do fundo e lateral os valores foram ainda mais altos (Figura 35). E isso indica que são mais resistentes à deformação por flexão. Quando se trata do componente lateral esses valores são imprescindíveis, pois são submetidos à flexão para receber a forma do instrumento (COSTA, 2017).

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

A velocidade de propagação do som no interior da madeira 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 essa velocidade, melhor será a qualidade acústica do instrumento (SOUZA 1983).

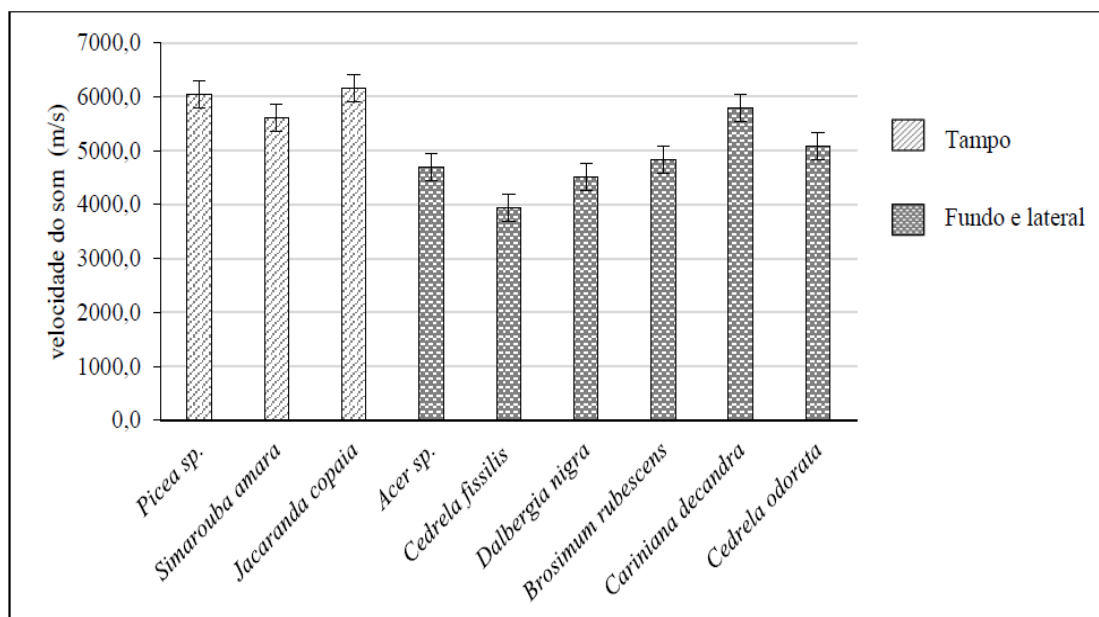


Figura 36-Velocidade de propagação do som - V (m/s) das madeiras para o tampo, fundo e lateral. Fonte: (COSTA, 2017)

Os maiores valores de velocidade de propagação sonora observados pela autora foram para as espécies do tampo onde apresentaram baixa densidade, módulo de elasticidade relativamente alto e grã direita. Já as madeiras de densidade alta, módulo de elasticidade alto e grã direita a irregular mostraram uma tendência à baixa velocidade de propagação do som (Figura 36). Isso significa que o som se propaga com maior velocidade nas madeiras do tampo, produzindo melhor qualidade acústica.

A autora atenta para espécie *C. decandra* que apesar de possuir densidade média, módulo de elasticidade alto e grã direita, apresentou alto valor para velocidade do som.

Segundo Wegst (2006), a impedância é importante para verificar a intensidade do som transmitido do instrumento para o ar.

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

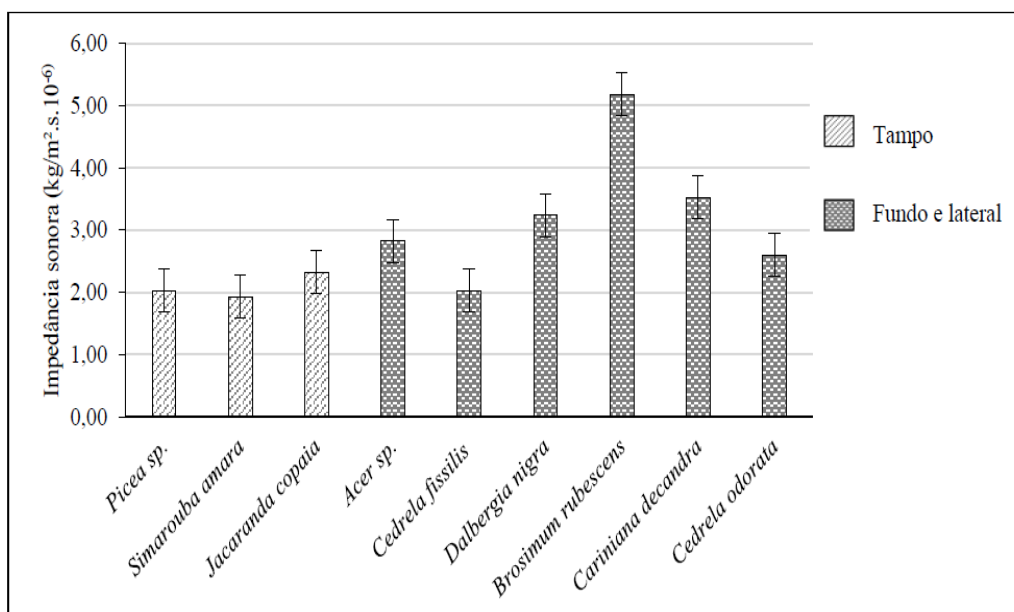


Figura 37-Impedância sonora – Z (kg/m<sup>2</sup>.s.10<sup>-6</sup>) das madeiras para o tampo, fundo e lateral.

Fonte: (COSTA, 2017)

Pode-se notar que as espécies do tampo apresentaram valores de impedância sonora baixos, se comparadas às espécies do fundo e lateral (Figura 37). Isso indica que as espécies do tampo impedem com menor intensidade a passagem sonora sendo assim transmitem o som do instrumento para o ar com maior 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.

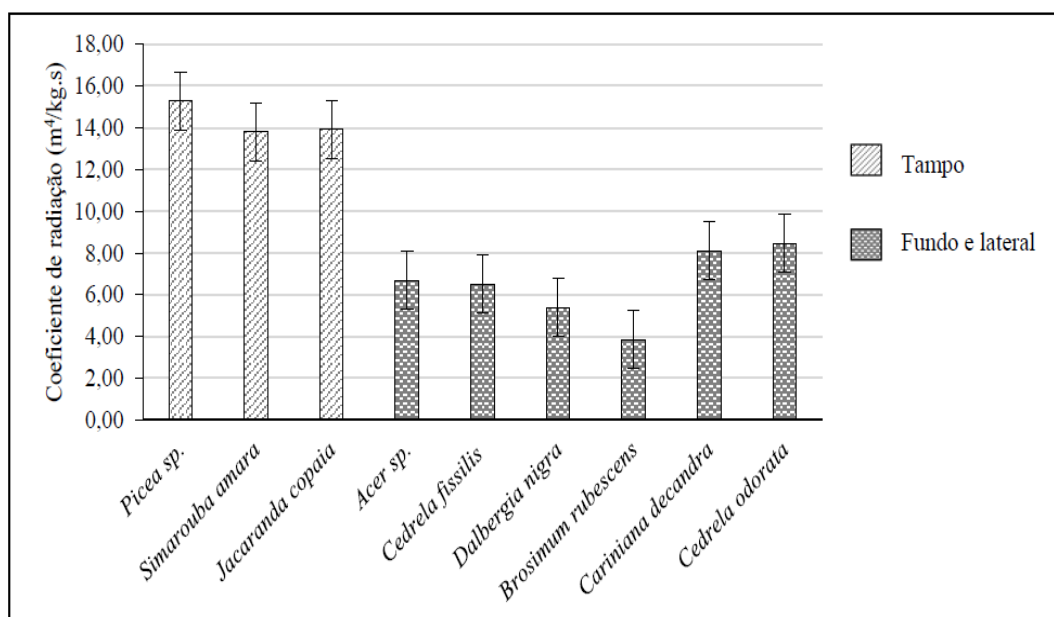


Figura 38- Gráfico do Coeficiente de radiação sonora - R (m<sup>4</sup>/kg.s.10<sup>-6</sup>) das madeiras para o tampo, fundo e lateral. Fonte: (COSTA, 2017)



Segundo a autora as madeiras do tampo apresentaram valores altíssimos para o coeficiente de radiação sonora (Figura 38) mostrando assim que, as espécies analisadas para o tampo convertem maior quantidade de energia vibratória em som e emite esse som com maior volume.

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

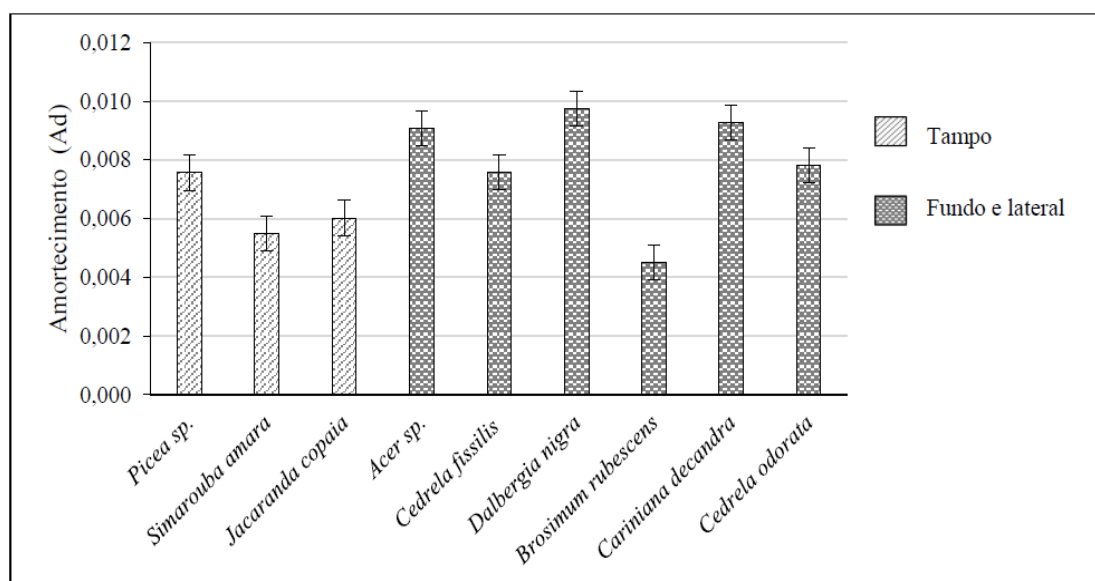


Figura 39- Gráfico do Amortecimento –  $\eta$  (Ad) das madeiras para o tampo, fundo e lateral. Fonte: (COSTA, 2017)

Segundo Teixeira (2014), o amortecimento mede o quanto um material dissipa a energia de vibração por atrito interno, em outras palavras, mostra a velocidade de decaimento da amplitude de vibração de um material após sua excitação mecânica.

Para as espécies *Acer sp.*, *D. nigra* e *C. decandra* do fundo e lateral s valores de amortecimento foram altos já as espécies do tampo apresentaram valores mais baixos para esse parâmetro (Figura 39). Esses resultados indicam que o tampo tem menor perda de energia por atrito interno (COSTA, 2017).

A espécie *B. rubescens* apresentou o menor valor de amortecimento, suas características anatômicas das 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 (COSTA, 2017).

Segundo Matsunaga e Minato (1998), o baixo valor de decaimento vibracional da espécie *C. echinata* ocorre devido à presença de seus extrativos, absorvendo menos energia vibracional quando a corda do instrumento é friccionada. Já segundo Portela (2014), a maior causa do amortecimento são as ligninas, pois as microfibrilas de celulose apresentam estruturas cristalinas. Sendo assim, os resultados obtidos indicam que a espécie *B. rubescens* possui baixo decaimento da amplitude de vibração, e isso ocorre devido ao seu alto teor de extrativos e a presença de cristais na madeira (COSTA, 2017).

Costa (2017) concluiu através de suas análises que as espécies Caroba (*Jacaranda copaia*) e Marupá (*Simarouba amara*) possuem características apropriadas para serem utilizadas para confecção do componente tampo e as espécies Muirapiranga (*Brosimum rubesens*), Tauarí (*Cariniana decandra*) e Cedro (*Cedrela odorata*) possuem características apropriadas para serem utilizadas para o componente fundo e lateral de instrumentos musicais de corda.

O coeficiente de anisotropia obtido para as espécies alternativas da Amazônia classificou-as como excelente a normal, significando que possuem a boa qualidade para o uso na confecção de instrumentos musicais de corda, nos testes de vibração longitudinal na caracterização tecnológica das madeiras, permitiu classifica-las como espécie com potencial para composição de instrumentos musicais de corda (COSTA, 2017).

#### **4.6. Espécies selecionadas por diferentes autores para a confecção de instrumentos musicais de corda em ordem cronológica de publicação.**

Nas Tabelas 16, 17 e 18 podem ser observadas as espécies selecionadas por diferentes autores para a confecção de instrumentos musicais de corda para os componentes (tampo harmônico, fundo, lateral, braço e escala) em ordem cronológica de publicação de seus respectivos trabalhos.

**Tabela 16** - Espécies selecionadas para confecção de tampo harmônico para instrumentos de corda por diferentes autores dispostos em ordem cronológica de publicação.

<b>Tampo harmônico</b>				
<b>Sousa (1983)</b>	<b>Teles (2005)</b>	<b>Soares (2014)</b>	<b>Flores (2015)</b>	<b>Costa (2017)</b>
Marupá	Marupá	Teca	Marupá	Marupá
Morototó	Morototó	-----	-----	Caroba
Ferreira tamboriu	Urucuúba-da-terra-firme	-----	-----	-----
Castanha de arara	Pará- Pará	-----	-----	-----
Sorva	Munguba-gr-terra- firme	-----	-----	-----
-----	Amapá	-----	-----	-----
-----	Tauari- amarelo	-----	-----	-----
-----	Tauari-branco	-----	-----	-----
-----	Freijó verdadeiro	-----	-----	-----

Fonte: Próprio autor

**Tabela 17** - Espécies selecionadas para confecção de fundo e lateral para instrumentos de corda por diferentes autores dispostos em ordem cronológica de publicação.

<b>Fundo e lateral</b>				
<b>Sousa (1983)</b>	<b>Teles (2005)</b>	<b>Soares (2014)</b>	<b>Flores (2015)</b>	<b>Costa (2017)</b>
Andiroba	Andiroba	Teca	Andiroba	Muirapiranga
Tachi preto	Cuiarana	-----	-----	Tauarí
Amapá doce	Copaíba	-----	-----	Cedro
Jacareúba	Faeira	-----	-----	-----
-----	Gombeira	-----	-----	-----
-----	Grumixava	-----	-----	-----
-----	Jacarandá	-----	-----	-----
-----	Jequitibá-cedro	-----	-----	-----
-----	Macacaúba	-----	-----	-----
-----	Mogno	-----	-----	-----
-----	Muiracatiara	-----	-----	-----
-----	Mururé	-----	-----	-----
-----	Tanibuca	-----	-----	-----

Fonte: Próprio autor

**Tabela 18-** Espécies selecionadas para confecção de braço e escala para instrumentos de corda por diferentes autores dispostos em ordem cronológica de publicação.

<b>Braço</b>		<b>Escala</b>	
<b>Teles (2005)</b>	<b>Soares (2014)</b>	<b>Teles (2005)</b>	<b>Soares (2014)</b>
Grumixava	Teca	Grumixava	Jatobá
Macacaúba	-----	Macacaúba	-----
Muiracatiara	-----	Muiracatiara	-----
Mururé	-----	Mururé	-----
Copaíba	-----	Ipê	-----
Louro-vermelho	-----	Gombeira	-----
Cedro	-----	Envira preta	-----
Mogno	-----	Jacarandá	-----
Andiroba	-----	Cumarú	-----
Jequitibá-cedro	-----	Maçaranduba	-----
-----	-----	Tanibuca	-----

Fonte: Próprio autor

Observa-se pelas Tabelas 16,17 e 18 que foram selecionadas por diferentes autores muitas espécies consideradas com potencial para serem alternativas às espécies já consagradas pelos músicos e luthiers para a construção dos diferentes componentes de instrumentos de corda. Algumas espécies como o Marupá, Morototó, Andiroba, Grumixava, Macacaúba, Muiracatiara e Mururé foram selecionadas por mais de um autor em trabalhos diferentes, fortalecendo ainda mais seus potenciais para confecção de instrumentos de qualidade.

## 5. CONCLUSÕES

Ao analisar e comparar os resultados obtidos pelos diferentes autores que estudaram madeiras de espécies tradicionais e madeiras de espécies alternativas para construção de instrumentos musicais de corda pode-se concluir que existem muitas espécies nativas com potencial para serem utilizadas como alternativas às espécies já consagradas por músicos e Luthiers, porém, não tiveram muitos avanços quanto às metodologias adotadas por esses autores, quase todos os trabalhos encontrados tiveram metodologias e resultados muito parecidos, sendo assim, ainda são necessários novos estudos com a construção de instrumentos musicais com diferentes combinações das espécies nativas para os componentes estruturais dos mesmos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A SENHORA DO MONTE. **História da guitarra portuguesa**. Disponível em: <<http://asenhoradomonte.com/2012/08/23/historia-guitarra-portuguesa/>>. Acesso em: 12 out. 2017.

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

ALZEI. **Kalila dança e cultura árabe**. Disponível em: <<https://grupokaliladv.wordpress.com/para-estudo/curiosidade-sobre-os-instrumentos-musicais/>>. Acesso em: 15 out. 2017

ANTUNES, G. U. **Américo Jacomino Canhoto e o Início da Arte Solística do Violão Solo no Brasil**. 2002. Dissertação (Mestrado em Musicologia) – ECA, USP, São Paulo, 2002.

ARIAS, Guitar. **Arias Classical and Flamenco Guitars**. Disponível em: <<http://www.classicalguitarra.com/guitars.html>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

BARBER; HARRIS. **Lutes e guitars**. Disponível em: <<http://www.lutesandguitars.co.uk/htm/cat12.htm>>. Acesso em: 04 set. 2017.

BARCELÓ, R. **Um instrumento em evolução**. La digitación guitarrística. Real Musical. Madrid, 1995. p. 7

BESCHIZZA, C. **Caverna do lenhador**. Disponível em: <<https://cavernadolenhador.wordpress.com/origem-evolucao-e-desenvolvimento-do-violao/>>. Acesso em: 04 set. 2017.

BESSA, F. M. S. **Caracterização Anatômica, Física, Química e Acústica de Madeiras de Várias Espécies para a Construção de Instrumentos Musicais- Uma Aplicação à Viola Dedilhada**. Tese. Lisboa, 2000. 171p. Doutorado em engenharia de materiais lenhosos – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de LISBOA, 2000.

BORDÕES E PRIMAS. **Um site sobre violão, violão e violão**. Disponível em: <<http://bordoeseprimas.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 07 set. 2017.

BORGES, L. A. C; DE REZENDE, J. L. P; PEREIRA, J. A. A. Evolução da legislação ambiental no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 2, n. 3, p. 447-466, 2009.

BRITO, E. **Música com Arte**. Disponível em: <<http://www.ebluthier.com.br/>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

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

BURGER, L. M. ; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo, 153p. 1991.

CABRAL, Diogo. Floresta, política e trabalho: a exploração das madeiras-de-lei no Recôncavo da Guanabara (1760-1820). **Revista Brasileira de História**, v. 28, n. 55, 2008.

CAILLIEZ, F.; PAGES J. P. **Introduction a l'analyse des donnes**. Paris: SMASH, 1976

CANO, J. A. S. **O VIOLÃO SOLO EM BELÉM DO PARÁ: uma história a partir da sistematização do ensino no Instituto Estadual Carlos Gomes**. 2015. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Música, Univeridade Federal do Pará, Belém do Pará, 2015

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 nº 15), 1991.

CORDEIRO, E. **Tampo harmônico**. Disponível em: <<http://www.eduardocordeiro.com.br/tampo.html>>. Acesso em: 07 out. 2017.

COSTA, R. V. **O violão de sete cordas nos Programas de Pós-Graduação do Brasil**. Anais do SIMPOM, v. 3, n. 3, 2015.

COSTA, J.A. **CLASSIFICAÇÃO DE MADEIRAS DA AMAZÔNIA PARA COMPOSIÇÃO DE INSTRUMENTO MUSICAL DE CORDA ATRAVÉS DA TÉCNICA DE EXCITAÇÃO POR IMPULSO**. 2017. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

COUTO, A. L. M. **FÍSICA DO VIOLÃO: Análise Qualitativa do Som de Violões**. 2006. 27 f. TCC (Graduação) - Curso de Física, Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2006.

DAREZZO. **Curso de violão online**. Disponível em: <[violaoparainiciantes.com/curso-de-musica-a-origem-do-violao/#sthash.XNNH2SQP.rZ6vt7B.dpbs](http://violaoparainiciantes.com/curso-de-musica-a-origem-do-violao/#sthash.XNNH2SQP.rZ6vt7B.dpbs)>. Acesso em: 18 nov. 2017

DOMINUS, L. **Instrumentos**. Disponível em: <<http://www.dominusluthier.com.br/instrumentos/>>. Acesso em: 17 set. 2017.

DUDEQUE, N. E. **História do violão**. Curitiba: Editora da UFPR, 1994.

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

FAO. **Food and Agruculture Organization of the United Nations**. 2005. Disponível em: <<http://www.fao.org/home/en/>>. Acesso em: 12 out. 2017.

- FASCÍNIO, E. **Blogspot**. Disponível em: <<http://www.fascinioegito.sh06.com/instrume.htm>>. Acesso em: 07 out. 2017.
- FOELKEL, C. **4 Espécies de Importância Florestal para a Ibero - América: Teca - Tectona grandis**. Disponível em: <[http://www.celsofoelkel.com.br/pinus/PinusLetter40\\_Tectona\\_grandis.pdf](http://www.celsofoelkel.com.br/pinus/PinusLetter40_Tectona_grandis.pdf)>. Acesso em: 01 out. 2017.
- FRAZÃO, A. **Adelino fração e o violão**. Disponível em: <<http://adelinofrazae.blogspot.com.br/2011/11/adelinofrazae-possibilidades-do.html>>. Acesso em: 28 ago. 2017.
- GALVÃO, A. P. M. e JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. Departamento de Difusão de Tecnologia, Brasília – São Paulo: Nobel, 111p. 1985.
- GARCIA, J.N. **Manual de fabricação de violão de eucalipto**. Piracicaba, 2011. (Não Publicado).
- 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.
- GLOEDEN, Edelton. **As 12 Valsas Brasileiras em forma de estudos para violão de Francisco Mignone: um ciclo revisitado**. Tese apresentada ao Depto. De Artes Plásticas da ECA/USP, São Paulo, 2002.
- GOMES, L.; LAGE, R.; MOURÃO, A. **Manual de Lutheria: curso básico**. Manaus: UNICEF, 2004.
- GONÇALEZ, J. C. **Caracterisation Technologique de quatre espèces peu connues de la forêt Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques**. Nancy, France: ENGREF, 1993. Thèse de Doctorat. 446 p.
- IMPA. **Instituto de Matemática Pura e aplicada**. Disponível em: <<https://impa.br/>>. Acesso em: 30 out. 2017.
- IRMÃOS, C. **Blogspot**. Disponível em: <<http://www.irmaoscarvalho.com.br/projeto.htm>>. Acesso em: 13 out. 2017.
- 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.

JÚNIOR, N.M. F, CARVALHO, W. L.P, **O ENSINO DE ACÚSTICA NOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA RECOMENDADOS PELO PNLEM: ANÁLISE DAS LIGAÇÕES ENTRE A FÍSICA E O MUNDO DO SOM E DA MÚSICA**. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=481549214010>> ISSN 1518-1634> Acesso em: 10 ago 2017

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

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.

LOBÃO, M. S.; DELLA LUCIA, R. M.; MOREIRA, M. S. S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.6, p. 889-894, 2004.

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.

LOPES SELVATI DE OLIVEIRA MORI, Cláudia et al. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v. 11, n. 2, 2005.

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.

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. Mécaniques . Nancy, France: ENGREF, 1993. Thèse de Doctorat. 446 p.

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.

MIMS, T. Music from the trees. **Alabama's TREASURED Forests**, Alabama, v. 20, n. 2, p. 22-23, jan. 2001. Disponível em: <[http://www.forestry.state.al.us/publicatin/TF\\_publications/forest\\_products\\_articles\\_index.>](http://www.forestry.state.al.us/publicatin/TF_publications/forest_products_articles_index.>). Acesso em: 22 out. 2017.



MORA, C. R.; SCHIMLECK, L. R.; F ISIK, F.; MAHON JR., J. M.; CLARK III, A.; AND DANIELS, R. F. Relationships between acoustic variables and different measures of stiffness in standing *Pinus taeda* trees. **Canadian Journal of Forest Research, Ottawa**, v. 39, n. 8, p. 1421-1429, 2009.

MÚSICA, Violão. **Um pouco sobre música outro pouco sobre violão**. Disponível em: <<http://violandil.blogspot.com.br/2014/03/breve-historico-do-violao-origem.html>>. Acesso em: 06 out. 2017.

NOGUEIRA, E. F. **A evolução do violão na história da música**. São Paulo: s.e., 1991.

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.

PATZELT, M.; EMSENHUBER, G.; STINGL, R. Colour measurement as means of quality control of thermally treated wood. In: **European Conference on Wood Modification**. 2003. p. 213 – 218

PINTO, Henrique. **O violão no Brasil**. Disponível em: <<http://www.grupos.com.br/blog/finaleforumbr/permalink/23135.html>>. Acesso em: 11 out. 2017.

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.

PORTO, A. L. G. **Questões de preservação de bens culturais: a madeira como objeto de estudo**. 2010. 235 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000479501&fd=y>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

RAPPOLD , P.M.; SMITH, W.B. An investigation of the relationships between harvest season, log age, and drying schedule on the coloration of hard maple lumber. **Forest Products Journal** . Dez. 2004. v.54. n.12. p.178 – 184.

REMADE. **Revista da Madeira**. 2009. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=1391&subject=Instrumentos Musicais&title=Efeito da secagem nas propriedades acusticas](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1391&subject=Instrumentos Musicais&title=Efeito da secagem nas propriedades acusticas)>. Acesso em: 07 out. 2017.

REMADE. **Revista da Madeira**. 2017. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/madeiras-exoticas/1367/madeiras-espanholas-e-exoticas/abeto>>. Acesso em: 07 out. 2017.

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.

SHIMOYAMA, V.R. **Variáveis da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em Eucalyptus sp.** 1990. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

SILVA, José Reinaldo Moreira da et al. Influência da morfologia das fibras na usinabilidade da madeira de Eucalyptus grandis Hill ex. **Maiden**. 2005.

SILVA CASTRO, José de; OLIVEIRA SILVA, José Tarcísio da. Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de Eucalyptus saligna Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, 2003.

SLOOTEN, H. J. van der; SOUZA, M. R. de. **Avaliação das espécies madeireiras da Amazônia selecionadas para manufatura de instrumentos musicais**. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 1993.

SOARES, Maria Angelica. **PRODUÇÃO DE UM VIOLÃO CLÁSSICO EM MADEIRA DE TECA ( Tectona grandis )**. 2014. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Industrial Madeireira., Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Itapeva, 2014, Itapeva - Sp, 2014

SOUZA, M.R. et al. **O som das árvores brasileiras**, Brasília: 2008. Disponível em:<[http://www.mundoflorestal.com.br/mediawiki/index.php/Madeiras\\_Para\\_Instrumentos\\_Musicais](http://www.mundoflorestal.com.br/mediawiki/index.php/Madeiras_Para_Instrumentos_Musicais)>. Acesso em 08 nov. 2017.

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

SOUZA, Maria Helena de. **Madeiras utilizadas para a fabricação de instrumentos musicais**. 2009. Disponível em: <<http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/madeira-instrumentos-musicais111-segurar.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2017.

STENUDD, S. Color Response in silver birch during kiln-drying. **Forest Products Journal** . Jun. 2004. v.54. n.6. p.31 – 36.

TABORDA, Marcia. **Violão e Identidade Nacional: Rio de Janeiro 1830-1930**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2011. Tectona grandis. 2013. Disponível em: <[http://www.celsofoelkel.com.br/pinus/PinusLetter40\\_Tectona\\_grandis.pdf](http://www.celsofoelkel.com.br/pinus/PinusLetter40_Tectona_grandis.pdf)>. Acesso em: 25 out. 2017.

TELES, R. F. Avaliação de madeiras amazônicas para utilização em instrumentos musicais. **Relatório de projeto PIBIC, IBAMA/CNPq**. Brasília, 2004.

TINHORÃO, J. R. **História social da música popular brasileira**. São Paulo: 34,1998.

TINHORÃO, José R. **Música popular de índios, negros e mestiços**. 1972.

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.

VILELA, Ivan. Na toada da viola. **Revista USP**, n. 64, p. 76-85, 2005.

WADE, G. **A concise history of the classical guitars**. Pacific: Mel bay publications, 2001.

Disponível em:

<[https://books.google.com.br/books?id=ytfJvpplLqQC&dq=+History+of+the+classic+guitar+&lr=&hl=pt-BR&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.br/books?id=ytfJvpplLqQC&dq=+History+of+the+classic+guitar+&lr=&hl=pt-BR&source=gbs_navlinks_s)>. Acesso em: 20 mar. 2017.

WENGERT, G. Drying wood formusical instruments. Montrose, PA: **Woodweb**, 1998.

Disponível em:

<[http://www.woodweb.com/knowledge\\_base/Drying\\_wood\\_for\\_musical\\_instruments.html](http://www.woodweb.com/knowledge_base/Drying_wood_for_musical_instruments.html)>. Acesso em: 22 set. 2017.

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.

WOODWEB. **Lumber drying for musical instruments**. Montrose, PA, 2000. Disponível em:

<[http://www.woodweb.com/knowledge\\_base/Lumber\\_drying\\_for\\_musical\\_instruments.html](http://www.woodweb.com/knowledge_base/Lumber_drying_for_musical_instruments.html)>. Acesso em: 12 set. 2017.

ZACZÉSKI, Monicky E. et al. Violão: aspectos acústicos, estruturais e históricos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 40, n. 1, 2017.

ZANON, F. **Violão com Fábio Zanon**:O violão no Pará. Disponível em:

<<http://vcfz.blogspot.com.br/2008/03/115-bembem-waldemar-henrique-t-teixeira.html>>.

Acesso em: 13 abr. 2011.