

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

IGOR MOTTINHA FOMIN

A MADEIRA DE IPÊ (*Handroanthus* spp.) PARA ARCOS DE VIOLINO:  
PROPRIEDADES E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉCNICO

CURITIBA

2017

IGOR MOTTINHA FOMIN

A MADEIRA DE IPÊ (*Handroanthus* spp.) PARA ARCOS DE VIOLINO:  
PROPRIEDADES E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉCNICO

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos.

Coorientador: Prof. Dr. Thiago Corrêa de Freitas.

Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Silvana Nisgoski.

CURITIBA

2017

F672 FOMIN, Igor Mottinha

A madeira de ipê (*Handroanthus spp.*) para arcos de violino: propriedades e avaliação de desempenho técnico/ Igor Mottinha Fomin; orientador, Jorge Luis Monteiro de Matos; coorientador, Thiago Corrêa de Freitas; coorientadora, Silvana Nisgoski. -- Curitiba, 2017.

87p.: il., color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

Inclui referências.

1. Arco para violino. 2. Arco de Ipê. 3. *Handroanthus spp.* 4. Luteria. I. Matos, Jorge Luis Monteiro de. II. Freitas, Thiago Corrêa de III. Nisgoski, Silvana. IV. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. V. Título.

CDD 787.219



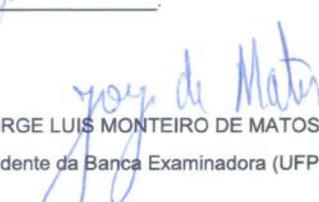
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
Setor CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA FLORESTAL

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **IGOR MOTTINHA FOMIN** intitulada: **A MADEIRA DE IPÊ (Handroanthus spp.) PARA ARCOS DE VIOLINO:**

**PROPRIEDADES E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉCNICO**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO.

Curitiba, 24 de Fevereiro de 2017.

  
JORGE LUIS MONTEIRO DE MATOS  
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

  
JUÁREZ BERGMANN FILHO  
Avaliador Externo (UFPR)

  
GRACIELA INES BOLZON DE MUNIZ  
Avaliador Interno (UFPR)



Aos que tanto me amam, e que, com suas alegrias e sofrimentos me apoiaram: mulher e filho, mãe e irmãos. Também aos docentes pesquisadores, construtores de arcos e aos músicos.

DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a

Deus; à minha mãe, Rosana de Souza Mottinha Fomin por sempre ter incentivado a contemplação do Belo; ao meu falecido pai, Helcio Paes Fomin por ter me ensinado o que eu precisava para exercer um ofício; à minha esposa Josielly de Mello Fomin, pela alegria e dedicação; ao meu filho, Levi, com o qual aprendo tanto; a meus irmãos Romer, Sandor e Isabel pela convivência apoio e estima; ao meu orientador Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos, por todo apoio e esforço dedicado para orientar um navio na exploração de um oceano desconhecido, pelos ensinamentos e trocas de experiências vividas; ao meu coorientador Prof. Dr. Thiago Corrêa de Freitas, que não hesitou em prestar auxílios a cada etapa do desenvolvimento deste trabalho e, ainda por cima, conseguiu me convencer a editar o texto no software livre L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X; à minha coorientadora Prof<sup>a</sup>. Dra. Silvana Nisgoski por além de me orientar, também viabilizar as análises anatômicas das amostras deste trabalho; aos professores da Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná; aos profissionais do Setor de Educação Profissional e Tecnológica da Universidade Federal do Paraná, de maneira especial aos docentes do Curso Superior de Tecnologia em Luteria, sob a direção de Luiz Antônio Passos Cardoso pelo afastamento de 86 dias concedido no período de escrita desta dissertação; à Rosangela Duarte e à Bruna Maciel Veiga pela gentileza em ajudarem com o fornecimento de madeira para a pesquisa; ao Lucas Guilherme Schafhauser e ao Nicolás Ezequiel Garros que me ajudaram no processamento dos arcos; ao Ramiro Faria Franca e Felipe Zatt Schardosin que tanto me ajudaram no processamento das amostras em laboratório; à Prof<sup>a</sup>. Dra. Graciela Inéz Bolzon de Muñiz; ao Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid; ao Prof. Dr. Juarez Bergmann Filho; ao Prof. Dr. Guilherme Sasaki; à Mariuci Torres dos Santos, laboratorista do Laboratório de Tecnologia da Madeira (LTM) - UFPR, por sua gentileza e prestatividade; de igual forma à Eliane Lopes da Silva, laboratorista do Laboratório de Anatomia e qualidade da madeira (LANAQM) - UFPR; a todos os violinistas que se dispuseram a participar das avaliações dos arcos para a viabilização desta pesquisa; e agradeço à banca examinadora pelas sugestões de correções e melhorias do trabalho.

*O arco, essa varinha mágica, pela qual o grande artista toca ao mesmo tempo nosso coração e nossa imaginação.*

François-Joseph Fétis

## RESUMO

Historicamente a madeira de pau-brasil (*Paubrasilia echinata*) tem sido a mais utilizada para confecção de arcos profissionais para violino. Ao longo dos séculos, ela ficou conhecida como a melhor madeira para este fim. Entretanto, por ter sido indiscriminadamente explorada para outras finalidades, é atualmente uma espécie ameaçada de extinção. Alguns pesquisadores, tentando encontrar madeiras alternativas para arcos de instrumentos de corda, apontaram que o ipê (*Handroanthus* spp.) tem as características desejáveis para a confecção de arcos de violino. Apesar disso, essa madeira não é tão valorizada para arcos na prática. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi o de ampliar a potencialidade da madeira de ipê para arcos de violino através de um teste sensorial feito por violinistas profissionais. Para a realização dessa pesquisa amostras de madeira de ipê foram selecionadas e analisadas anatômica, física e mecanicamente. Posteriormente, foram construídos 5 arcos de violino baseados na técnica construtiva de F. X. Tourte. Em seguida, estes arcos foram avaliados por 16 violinistas profissionais através de um teste sensorial às cegas, no qual manifestaram sua satisfação ou insatisfação a respeito de determinados critérios. Os violinistas avaliadores também foram entrevistados e declararam quais arcos seriam preferidos ou desprezados por eles a partir da impressão de seu desempenho técnico. Concluiu-se que a madeira de ipê apresenta os requisitos necessários para a produção de arcos profissionais para violino e que os arcos de ipê foram bem aceitos entre violinistas profissionais quando eliminado o fator sensorial visual. Também foi possível concluir que os arcos melhor avaliados na pesquisa foram feitos das amostras de madeiras com valores relativamente menores de densidade, com maior velocidade de propagação sonora e maiores valores de módulo de elasticidade. Além disso, foi possível estimar a qualidade potencial para arcos nas amostras de madeiras através de método não destrutivo. Sobre os arcos preferidos pelos músicos, foi possível inferir que um dos arcos se destacou na preferência dos instrumentistas mesmo este não tendo as melhores avaliações atribuídas pelos próprios violinistas em critérios gerais. Este arco também apresentou a menor variância entre as médias das notas obtidas em cada critério avaliado. Não foi possível identificar tendências de preferência por arcos com alguma característica anatômica especificamente relacionada à dimensão e à disposição de células de vasos e de parênquima.

**Palavras-chave:** Arco para violino, arco de ipê, ipê, *Handroanthus* spp.

## ABSTRACT

Historically, pernambuco wood (*Paubrasilia echinata*) has been the most used material for making professional violin bows. Over the centuries, it is known as the best wood for this purpose. However, because it has been indiscriminately exploited for other purposes, it is now an endangered wood specie. Some researchers in an attempt to find alternative woods for bow making have pointed out that ipê (*Handroanthus* spp.) may have the desirable features for making violin bows. Despite this, ipê wood isn't much appreciated for bows in practice. Therefor, the objective of this research was to increase the potentiality of ipê wood for violin bows through a sensory evaluation done by professional violinists. In order to carry out this research, ipê wood samples were selected and were anatomically, physically and mechanically analyzed. Afterwards, 5 violin bows were made based on the constructive technique of F. X. Tourte. These bows were then evaluated by 16 professional violinists through a blind test, in which they expressed their satisfaction or dissatisfaction with certain criteria. The evaluating violinists were also interviewed and stated which bows would be preferred or dismissed by them from the impression of their technical performance. It was concluded that ipê wood has the features required for the production of professional violin bows and that ipê bows were well accepted among professional violinists when keeping out the visual sensory factor. It was also possible to conclude that best evaluated bows in the research were made from wood samples which had relatively lower values of density, with higher speed of sound propagation and higher modulus of elasticity values. In addition, it was possible to estimate the potential quality for bows in the wood samples through non-destructive method. Concerning musicians preferences, it was possible to infer that one of the five bows stood out even though this one did not have the best means in the evaluation made by the violinists themselves in general criteria. This bow also presented the least variance between the mean data obtained in every criteria evaluated. It was not possible to identify preference tendencies for bows with some anatomical feature specifically related to size and arrangement of vessel and parenchyma cells.

**Keywords:** Violin bow, ipê bow, ipê wood, *Handroanthus* spp.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ilustração da forma do arco de violino moderno. . . . .	27
Figura 2 – Detalhes da ilustração do arco: Ponta. . . . .	28
Figura 3 – Detalhes da ilustração do arco: Talão. . . . .	29
Figura 4 – Forma da vareta bruta para confecção de arco. . . . .	33
Figura 5 – Detalhe da extremidade da vareta bruta: região da ponta. . . . .	34
Figura 6 – Detalhe da extremidade da vareta: região do talão. . . . .	34
Figura 7 – Seleção das tábuas com corte radial. . . . .	37
Figura 8 – Análise preliminar com lupa. . . . .	37
Figura 9 – Tábua de ipê e detalhamento dos cortes realizados. . . . .	38
Figura 10 – Gabarito e desenho de referência para o corte da ponta do arco. . . . .	42
Figura 11 – Aplainamento dos arcos. . . . .	43
Figura 12 – Ponta do arco com dispositivo simulador de tensão. . . . .	43
Figura 13 – Talão do arco com dispositivo simulador de tensão. . . . .	44
Figura 14 – Dispositivo simulador de tensão: visualização da curvatura. . . . .	44
Figura 15 – Dispositivo simulador de tensão: visualização do alinhamento. . . . .	44
Figura 16 – Corte dos encaixes da ponta. . . . .	45
Figura 17 – Gabarito da crina. . . . .	45
Figura 18 – Posicionamento de medidas de curvatura e espessura nos arcos. . . . .	47
Figura 19 – Espessuras dos arcos construídos com as amostras de ipê. . . . .	48
Figura 20 – Característica visual dos arcos de ipê finalizados. . . . .	48
Figura 21 – Violino utilizado. . . . .	52
Figura 22 – Perfil do violino utilizado. . . . .	52
Figura 23 – Diâmetro de vasos. . . . .	57
Figura 24 – Frequência de vasos por mm <sup>2</sup> . . . . .	58
Figura 25 – Frequência de raios por mm. . . . .	58
Figura 26 – Altura de raios. . . . .	59
Figura 27 – Largura de raios. . . . .	59
Figura 28 – Microfotografia das amostras de ipê. . . . .	60
Figura 29 – Médias dos valores atribuídos aos arcos em ordem decrescente. . . . .	65
Figura 30 – Média geral dos arcos avaliados em ordem decrescente. . . . .	65
Figura 31 – Satisfações e insatisfações em relação ao total de avaliações. . . . .	66
Figura 32 – Média ponderada pelos diferentes níveis de satisfação. . . . .	67
Figura 33 – Notas atribuídas aos arcos para o critério <i>peso</i> . . . . .	68
Figura 34 – Notas atribuídas aos arcos para o critério <i>distribuição do peso</i> . . . . .	68
Figura 35 – Notas atribuídas aos arcos para o critério <i>firmeza e flexibilidade</i> . . . . .	69
Figura 36 – Notas atribuídas aos arcos para o critério <i>facilidade de controle</i> . . . . .	70

Figura 37 – Notas atribuídas aos arcos para o critério <i>resposta sonora</i> . . . . .	70
Figura 38 – Frequência de preferências e rejeições referidas a cada arco. . . . .	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diâmetro dos arcos, em milímetros, a cada intervalo. . . . .	46
Tabela 2 – Característica física e geométrica dos arcos. . . . .	49
Tabela 3 – Definições dos critérios usados nos questionários. . . . .	49
Tabela 4 – Escala usada para a coleta de dados. . . . .	50
Tabela 5 – Dados anatômicos quantitativos e qualitativos das amostras de ipê. . .	56
Tabela 6 – Comparação anatômica de dados quantitativos de ipê e pau-brasil. . .	61
Tabela 7 – Propriedades das amostras de ipê: A, B, C, D e E. . . . .	62
Tabela 8 – Velocidade de propagação sonora obtida com o aparelho <i>Lucchimeter</i> . .	63
Tabela 9 – Propriedades estimadas por método não destrutivo. . . . .	64
Tabela 10 – Índice de desempenho estimado por método destrutivo e não destrutivo.	64
Tabela 11 – Percentual do tipo de impressão obtida nas avaliações dos arcos. . . . .	66
Tabela 12 – Peso atribuído aos graus de satisfação. . . . .	67
Tabela 13 – Motivo e frequência do registro de insatisfação por arco. . . . .	72
Tabela 14 – Materiais utilizados em arcos já testados pelos violinistas participantes.	73
Tabela 15 – Motivo da escolha dos arcos como 1 <sup>a</sup> preferência. . . . .	73
Tabela 16 – Motivos de rejeição dos arcos. . . . .	74

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO . . . . .	19
1.1	Objetivo geral . . . . .	20
1.2	Objetivos específicos . . . . .	20
2	REVISÃO DE LITERATURA . . . . .	21
2.1	Histórico do pau-brasil . . . . .	21
2.2	O potencial do ipê . . . . .	23
2.3	O arco de violino . . . . .	24
2.3.1	Versão moderna do arco de violino . . . . .	25
2.3.2	Madeiras e materiais usados na construção de arcos . . . . .	30
2.4	CrITÉRIOS para seleção de madeiras de arcos de violino . . . . .	31
2.5	Método de construção de arcos de violino . . . . .	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS . . . . .	37
3.1	Seleção da madeira . . . . .	37
3.2	Análise anatômica da madeira . . . . .	38
3.2.1	Preparação das amostras . . . . .	39
3.3	Análises das propriedades físicas da madeira . . . . .	39
3.3.1	Determinação do teor de umidade da madeira . . . . .	39
3.3.2	Determinação da massa específica aparente da madeira . . . . .	39
3.3.3	Análise das propriedades acústicas da madeira . . . . .	40
3.3.3.1	Equipamentos usados para avaliação da velocidade de propagação sonora . . . . .	40
3.4	Análise das propriedades mecânicas da madeira . . . . .	41
3.5	Construção dos arcos . . . . .	41
3.5.1	Experiência prática na construção de arcos . . . . .	41
3.5.2	Método de construção usado . . . . .	42
3.5.3	Característica e dimensionamento dos arcos . . . . .	45
3.6	Avaliação sensorial dos arcos de violino . . . . .	49
3.6.1	CrITÉRIOS para avaliação sensorial dos arcos . . . . .	49
3.6.2	Seleção dos participantes para análise sensorial . . . . .	50
3.6.3	Apresentação da metodologia e instrução aos avaliadores . . . . .	51
3.6.4	Violino utilizado para realização dos testes com os arcos . . . . .	52
3.6.5	Configuração dos arcos no momento da avaliação . . . . .	52
3.7	Análises estatísticas realizadas . . . . .	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .	55

4.1	Seleção da madeira de ipê para arcos . . . . .	55
4.2	Identificação das amostras . . . . .	55
4.2.1	Análises estatísticas de elementos de vaso e parênquima . . . . .	57
4.3	Propriedades físicas e mecânicas da madeira de ipê . . . . .	62
4.3.1	Densidade . . . . .	62
4.3.2	Módulo de elasticidade . . . . .	62
4.3.3	Módulo de ruptura . . . . .	62
4.3.4	Medições com <i>Lucchimeter</i> . . . . .	63
4.3.5	Medidor de Ondas de Tensão - <i>Stress Wave Timer</i> (SWT) . . . . .	63
4.3.6	Índice de desempenho - <i>Performance Index</i> (PI) . . . . .	64
4.4	Resultados da avaliação sensorial dos arcos . . . . .	65
4.4.1	Avaliação geral dos arcos de ipê . . . . .	65
4.4.2	Análise estatística . . . . .	67
4.4.2.1	Peso . . . . .	67
4.4.2.2	Distribuição do peso . . . . .	68
4.4.2.3	Firmeza e Flexibilidade . . . . .	69
4.4.2.4	Facilidade de controle . . . . .	69
4.4.2.5	Resposta sonora . . . . .	70
4.4.3	Preferência dos violinistas . . . . .	71
4.4.4	Fatores relacionados aos casos de insatisfação na avaliação dos arcos . . . . .	71
4.4.5	Entrevista . . . . .	72
4.5	Propriedades e avaliação da qualidade dos arcos de ipê . . . . .	74
5	CONCLUSÕES . . . . .	77
	REFERÊNCIAS . . . . .	79
	ANEXOS . . . . .	84

# 1 INTRODUÇÃO

Desde o séc. XVIII, orquestras têm desempenhado um importante papel social, artístico e até mesmo civilizador em nossa sociedade. Isso foi um fenômeno histórico observado em várias cidades que constituíram orquestras em decorrência do desenvolvimento econômico local. Desde o surgimento das primeiras formações orquestrais no séc. XVII, o violino exerce importante papel dentro delas, sendo que no séc. XX houve aumento expressivo do número de orquestras no mundo (LAWSON, 2003). Hoje o violino permanece com presença numerosa em relação ao total de instrumentos musicais de uma orquestra e para cada violino há um arco sendo usado durante a execução de uma obra musical. O arco tem fundamental importância, pois ele permite a produção contínua de som ao mesmo tempo em que é possível variar sua intensidade e duração (DONOSO et al., 2008). Com ele o músico realiza acentuações e articulações, que permitem produzir sonoridades específicas em instrumentos de corda (SALLES, 1998). Isso, segundo Beament (1997), teria mantido o violino em posição de destaque ao longo de séculos.

Segundo Huber (1995), a existência do violino está relacionada à música para a qual ele foi criado e isto inclui seu arco. Também a prática musical envolvendo esse instrumento depende de apreciadores que de alguma forma sustentam essa relação, preservando a cultura musical erudita. Segundo o autor, essas relações são fatores que proporcionam um mercado de instrumentos musicais de dimensão mundial e conseqüentemente de seus arcos. Para o autor, o mercado do violino reage também a fatores não diretamente associados às artes ou música, como força política e econômica por exemplo. Ele afirma que houve aumento expressivo do valor dos arcos de violino nos últimos 50 anos e que dois fatores contribuíram para esse aumento: a diminuição da disponibilidade de matéria-prima de boa qualidade, que segundo ele é o fator menos relevante, mas, principalmente, o que teria incentivado essa valorização, foi a adoção da música europeia pelo mundo não europeu. Isso teria criado grande demanda por arcos, especialmente pelo mercado asiático.

Atualmente a maioria dos arcos profissionais são feitos de pau-brasil (*Caesalpineia echinata*) (ANGYALOSSY et al., 2005), cujo nome científico foi recentemente alterado para *Paubrasilia echinata* (GAGNON et al., 2016). Embora essa espécie esteja com restrições comerciais internacionais e protegida por lei em virtude do risco de extinção (BRASIL, 1992; BRASIL, 2014), sua demanda mundial para produção de arcos é estimada em 200 metros cúbicos anuais (CITES, 2007).

Desde a década de 1980, o projeto *Avaliação de madeiras amazônicas para a utilização em instrumentos musicais* (SOUZA, 2015), coordenado pelo pesquisador Mário Rabelo de Souza, deu origem a diversos estudos e publicações sob a perspectiva de que

madeiras menos conhecidas podem ter qualidade equivalente ou superior em relação às madeiras tradicionalmente empregadas para este nobre fim. Além das pesquisas resultantes desse projeto terem proporcionado agregação de valor aos produtos provenientes de floresta tropical, também trouxeram novos conhecimentos para os construtores a respeito das espécies de árvores que fornecem madeira com potencial para serem usadas na Luteria<sup>1</sup>. Paralelamente, alguns pesquisadores, tanto brasileiros quanto estrangeiros, se dispuseram a estudar a madeira dos arcos dos instrumentos de corda para compreender melhor quais são as principais características que conferem qualidade à madeira de pau-brasil para arcos e também se elas poderiam ser encontradas em outras espécies. Algumas madeiras alternativas já foram testadas, mas arcos feitos dessas madeiras não são valorizados na prática (MATSUNAGA, 1999).

De acordo com Longui et al. (2010b), o ipê (*Handroanthus* spp.) pode ser uma alternativa viável para a construção de arcos. Porém, ainda que materiais alternativos ao pau-brasil tenham características semelhantes, eles precisam ser aceitos pela comunidade de músicos e para isso, tanto Wegst (2006) quanto Longui et al. (2014), sugerem que a utilização desses materiais deve ser realizada por construtores e pelos músicos. Em virtude disso, originou-se a motivação para a realização desta pesquisa, que visa aplicar os conhecimentos sobre o potencial da madeira de ipê para arcos na prática. Isso está associado ao fato do próprio autor ser um construtor de arcos que tendo experimentado a madeira de ipê, acredita que ela possa ser mais apreciada se for constatado que seu desempenho é realmente satisfatório no âmbito dos instrumentistas profissionais.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Ampliar a potencialidade da madeira de ipê como alternativa para a produção de arcos profissionais para violino.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a viabilidade de utilização da madeira de ipê na construção de arcos de violino e sua aceitação na prática instrumental profissional através de teste cego;
- Verificar as principais características anatômicas, físicas e mecânicas das amostras de ipê e compará-las com a avaliação de qualidade de funcionamento dos arcos produzidos.

---

<sup>1</sup> Luteria: termo que designa a atividade profissional de manufatura de instrumentos musicais de corda, mas, que para alguns autores também inclui atividade com instrumentos de sopro em madeira e o cravo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 HISTÓRICO DO PAU-BRASIL

Alguns fatores podem ter favorecido a exploração do pau-brasil no séc. XVI. Um deles foi o fato de que, no Renascimento, o mercado têxtil estava estimulado devido ao maior interesse por roupas coloridas. Nessa mesma época, num documento atribuído a Américo Vespúcio, resultante de uma suposta viagem dele às Américas, acontecida entre 1501 e 1502, há a seguinte afirmação: "Nesta costa não vimos coisa de proveito, exceto uma infinidade de árvores de pau-brasil". (BUENO, 2006). Isso indica que os europeus conheciam a árvore do pau-brasil antes mesmo dela ter originado o nome do país Brasil (BEAMENT, 1997). Este fato é explicado pela utilização do corante extraído de uma espécie semelhante usada para tingir tecidos.

A madeira destinada à tinturaria era fragmentada para facilitar a obtenção de corante através de processos químicos e, segundo Bueno (2002) e Bernardino (1939), desde o séc. XI a Europa estava familiarizada com o "pau de tinta", entretanto, de uma espécie diferente daquela encontrada no Brasil, a *Caesalpinia sappan*. Nativa no sul da Ásia, essa madeira foi conhecida no Oriente pelos europeus após a entrada dos Cruzados na Palestina. Comercializadas na Europa de modo geral, as lascas de madeira para tingimento eram conhecidas pelos termos *brésil*, *brezill*, que querem dizer "coisa fragmentada", ou "aos pedaços". A origem destes termos pode ser mais antiga do que se imagina, pois segundo Roquero (2002), os fenícios, cujo termo em grego (*phóinikos*) significa "púrpura", eram conhecidos por serem comerciantes internacionais e por fornecerem vestes suntuosas de cor púrpura. Eles obtinham suas matérias primas com o povo Celta e estes chamavam um mineral usado em processos de tingimento de *breazail* que significa: "vermelhão".

No séc. XVI, com as crescentes oportunidades de negócios proporcionadas pelas grandes navegações, a coroa portuguesa fez uma concessão de exploração do Novo Mundo - as Américas - mediante pagamento de uma porcentagem dos rendimentos obtidos. Não houve interesse da parte da coroa por aquelas terras, pois até então, pouco se sabia sobre a região. Isso fez com que o Brasil fosse deixado à disposição da iniciativa privada nas primeiras duas décadas de 1500. Nesse período, na Europa de modo geral, principalmente na Itália, era crescente o interesse por roupas e acessórios de cores distintas. Um pequeno exemplo disso foi a cor púrpura, que antes era comum aos reis e autoridades eclesiais e depois tornou-se parte do vestuário de pessoas com maior poder aquisitivo durante o Renascimento. Isso fez com que a indústria têxtil ficasse muito interessada nas viagens de qualquer um que pudesse trazer, dentre outras mercadorias, o pau-brasil para ser usado como matéria-prima para a indústria do mobiliário e, principalmente, como tinta na

indústria têxtil. Em virtude desses acontecimentos o pau-brasil foi objeto do primeiro ciclo econômico da história do Brasil. Em 1525, após o término de um dos contratos de exploração do pau-brasil, a coroa portuguesa decidiu criar um monopólio para a exploração da madeira, mas o interesse de outros países como França, Holanda, Espanha e Inglaterra em conseguir o pau-brasil permaneceu, especialmente pelo fato de Portugal não ter uma indústria têxtil desenvolvida (MANZANO, 2002). Por trás desse monopólio havia razões econômicas pelas quais foram concedidas permissões de exploração, cuja parte era devida à coroa portuguesa. Há relatos citados na obra de Bueno (2002) de que um ano de trabalho de exploração do pau-brasil poderia render o equivalente a 175 quilos de ouro, dos quais 36 eram despesas com a viagem e 14 destinados ao pagamento para a coroa, gerando um lucro líquido de 126 quilos de ouro (MANZANO, 2002).

Por fim, muitos foram os casos de descaminho, contrabando e exploração indiscriminada. Por cerca de 350 anos o pau-brasil foi extraído do Brasil durante um período em que era considerado propriedade da coroa portuguesa e depois do Brasil Império. Existiam leis que previam punição severa a quem extraísse o pau-brasil sem autorização e, se constatado delito, dependendo da quantidade de madeira apreendida, a pena podia ser a morte.

Em 1826 o pau-brasil chegou a ser usado como garantia para pagar dívidas do Brasil com a Inglaterra. Entretanto, após a possibilidade da utilização de outras formas de tingimento, o pau-brasil deixou de ser interessante (BUENO, 2006). Essa madeira que era triturada para se fazer tingimentos também era considerada excelente para marcenaria fina segundo Bernardino (1939) e ao longo do séculos, seu emprego na confecção de arcos para instrumentos de corda foi muito bem aceito, tanto por construtores quanto por músicos. Segundo Boyden (2002), os músicos do séc. XVI devem ter usado arcos feitos a partir das melhores madeiras e materiais disponíveis.

Em 1920 o pau-brasil foi considerado extinto, mas logo, por intermédio de um estudante de agronomia, João Vasconcelos Sobrinho, e de um professor de botânica, Bento Pickel, foram encontradas várias árvores dessa espécie em São Lourenço da Mata-PE numa estação ecológica da Tapacurá a cerca de 60 km do Recife, desconsiderando a extinção. Em 1961, o presidente do Brasil, Jânio Quadros, apresentou projeto de lei que pretendia instituir o pau-brasil como árvore nacional e a flor do ipê como símbolo nacional. Embora o projeto tenha sido arquivado, Janio Quadros declarou a flor do ipê símbolo nacional (MARCONDES, 2005).

Posteriormente, em 1978 o pau-brasil foi declarado árvore nacional, tendo seu dia de comemoração instituído (3 de maio). Além disso, foi incentivada pelo presidente Ernesto Geisel a implantação de viveiros de mudas através do Ministério da Agricultura brasileiro visando sua distribuição e conservação para finalidades cívicas (BRASIL, 1978). Em 1992, o pau-brasil foi inserido na Lista Oficial de Espécies da Fauna e Flora Ameaçadas

de Extinção (BRASIL, 1992). Em 2007, o pau-brasil foi incluído também ao apêndice II da CITES<sup>1</sup>, tendo sua comercialização internacional restrita (CITES, 2007).

## 2.2 O POTENCIAL DO IPÊ

Segundo Longui et al. (2010b), madeiras do gênero *Handroanthus*, sinonímia *Tabebuia*, popularmente conhecido por ipê, pau-d'arco, *lapacho*, ipê-amarelo, ipê-una, piúna, etc., podem apresentar propriedades físicas, acústicas e mecânicas similares ou superiores ao pau-brasil (*Paubrasilia echinata*).

A madeira de ipê é usada para a confecção de assoalhos segundo Maineri e Chimento (1989), é empregada em marcenaria, construções pesadas e estruturas externas, em mobiliário de alta qualidade, artigos de esporte e brinquedos e instrumentos musicais ou parte deles (ANDRADE, 2015, p. 43). Pode ser encontrada em madeiras sendo comparativamente mais acessível do que o pau-brasil. Segundo informativo CEPEA (2014), o preço do metro cúbico da tora de ipê no estado do Pará custava em torno de R\$ 550,00 em 2014 e a prancha vendida em Campinas-SP tinha seu preço próximo a R\$ 3900,00 por metro cúbico. Se comparado ao preço do pau-brasil destinado para a confecção de arcos esse valor pode ser considerado muito acessível, pois segundo catálogo de uma empresa alemã no segmento específico de acessórios para construtores de arcos, uma vareta com aproximadamente 150 g, material suficiente para fazer um arco, tinha seu preço variando entre 30 Euros para as de baixa qualidade e 290 Euros para as de melhor qualidade<sup>2</sup> (PAULUS, 2006). De acordo com o site *Pernambuco Wood*, varetas de pau-brasil com medições de velocidade de propagação sonora de 5.000 m/s a 5.800 m/s, são vendidas entre U\$ 60,00 e U\$ 300,00 em Nova York, EUA (RAPOSO, 2007).

Em análise de mercado realizada entre as regiões do estado do Pará e as cidades de Baurú, Sorocaba e Campinas no estado de São Paulo, Barbosa et al. (2014) constataram que há um mercado favorável a investimentos de iniciativa privada na atividade de produção e comercialização de madeira serrada de ipê (*Tabebuia serratifolia*) sinônimo de *Handroanthus serratifolius*.

Longui et al. (2010a) analisaram seis tipos de madeiras: ipê (*Handroanthus* spp.), itaúba (*Mezilaurus itauba*), jatobá (*Hymenaea* spp.), cumarú (*Dipteryx* spp.), sucupira (*Diploptropis* spp.) e muiracatiara (*Astronium lecointei*) comparando-as com pau-brasil (*Paubrasilia echinata*). Dentre elas, as madeiras de ipê e cumarú foram as que apresentaram o maior número de similaridades ao pau-brasil. No entanto, devido à variações no tamanho de elementos estruturais da madeira, na prática, os autores concluíram que somente o ipê apresentou resultados promissores.

<sup>1</sup> Abreviação de: *Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*.

<sup>2</sup> Como critério de qualidade neste catálogo foi usada a velocidade de propagação sonora obtida com o aparelho *Lucchimeter* variando de 5000 m/s a 5800 m/s para os valores ora descritos.

Em outro estudo feito por Longui et al. (2010b) que comparou o potencial da madeira de ipê (*Tabebuia* spp.) e da maçaranduba (*Manilkara* spp.) para a confecção de arcos, foi concluído que o ipê apresenta propriedades potencialmente melhores do que as encontradas em maçaranduba, em comparação às propriedades presentes na madeira de pau-brasil (*Paubrasilia echinata*). Entre os dois gêneros analisados destacam-se no ipê valores maiores de módulo de elasticidade e módulo de ruptura, maior velocidade de propagação sonora e apenas as medidas de densidade foram maiores para maçaranduba, porém os autores afirmam que somente alta densidade não garante boa qualidade em madeiras para arcos.

### 2.3 O ARCO DE VIOLINO

Segundo Lehmann (2006) o arco é uma vareta curvada feita em madeira de pau-brasil, em que são esticadas crinas recobertas com fina camada de breu, usado para vibrar as cordas de instrumentos musicais friccionados (violino, viola, violoncelo, contrabaixo, etc.). O arco do séc. XVI, segundo Boyden (2002), era uma haste de madeira convexa para fora, algumas vezes podia ser quase reta. Era tensionada por um feixe de fios de rabo de cavalo presos em suas extremidades, semelhante a um arco para atirar flechas. O arco desse período não apresentava padrão estabelecido em relação ao comprimento, forma e estética, podendo variar bastante nessas características dependendo do tipo de música para a qual ele era usado. Através de pinturas da época estima-se que alguns arcos teriam o comprimento aproximado de 380 mm e arcos mais longos teriam em torno de 630 mm. Além disso, a crina aparentava ser fixa em ambas as extremidades dos arcos, não permitindo ajustes de tensão. De acordo com Fétiis (1864), a arte de tocar instrumentos de corda no séc. XVII estava em constante aperfeiçoamento, por isso, houve necessidade de diferentes níveis de tensão na crina dos arcos conforme o tipo de música tocada. Gradativamente, algumas ações foram tomadas em relação aos arcos desse período: procuraram-se madeiras mais apropriadas a essa finalidade; houve a redução da sua convexidade e também, através de sua configuração geométrica, buscou-se harmonizar a resistência à flexão e a elasticidade da madeira nos arcos. Além disso, alguns sistemas de dispositivos com parafusos tornaram-se conhecidos e utilizados no final do séc. XVII, permitindo regular com facilidade a tensão desejada para a crina. Segundo Boyden (2002), todas essas modificações estavam relacionadas às necessidades musicais surgidas na época.

François Xavier Tourte (1747-1835), relojoeiro e exímio conhecedor de materiais, juntamente com Giovanni Battista Viotti (1755-1824), violinista, são tidos como responsáveis pela consolidação do arco moderno tal qual é conhecido hoje, cuja principal diferença é a curva inversa em relação ao arco antigo (SAINT-GEORGE, 1922). Tourte e Viotti teriam desenvolvido uma configuração que se tornou padrão para arcos de violino e que

contribuiu com o desempenho da técnica musical da época. Este modelo tornou-se também referência para as gerações posteriores de *archetiers*<sup>3</sup>. Segundo Dourado (1999), não só a forma do arco desenvolvida por Tourte, mas também a madeira que ele utilizou naquele momento, o pau-brasil (*Paubrasilia echinata*), continuam sendo utilizadas hoje. Do ponto de vista técnico musical é considerado que Tourte teria conseguido, no seu modelo de arco com pau-brasil, reunir alguns aspectos fundamentais para os músicos contemporâneos dele, como: "...leveza, resistência e elasticidade necessárias para a execução da crescente variedade de golpes de arco exigidos pela variação do gosto musical."(STOWELL, 1990, p. 19).

Em um tratado do séc. XVII, segundo François Lesure<sup>4</sup> (1955, citado por BOYDEN, 2002) consta a indicação de que a madeira pau-brasil já era usada para este fim um século e meio antes de Tourte: "Arcos... de pau-brasil, ébano e outras madeiras sólidas, são melhores e mais desejados..."(BOYDEN, 2002, p. 110). Fato é que pau-brasil tornou-se um material tradicionalmente empregado na construção de arcos e o modelo desenvolvido por Tourte possibilitou o enriquecimento da técnica de arco para as novas tendências musicais surgidas na época, sendo que desde o séc. XVIII, o pau-brasil (*Paubrasilia echinata*) é conhecido, por causa de suas características, como o material ideal para construção de arcos para instrumentos de corda de acordo com Bernardino (1939).

### 2.3.1 Versão moderna do arco de violino

De maneira sucinta o arco de violino moderno é formado por uma haste de madeira inteiriça, curvada, com comprimento médio aproximado de 726 a 736 mm (sem botão), como ilustrado na Figura 1, onde estão representadas suas dimensões aproximadas e partes principais. O arco possui uma ponta, cujos detalhes são mostrados na Figura 2, onde a crina é fixada. No lado oposto à ponta do arco há um componente chamado talão, detalhado na Figura 3, que geralmente é feito de madeira de ébano (*Diospyros ebenum*) onde a outra extremidade da crina é fixada. Essa peça é movida por um sistema de parafusos conectados à haste da madeira do arco permitindo assim regular a tensão da crina através de um botão, que é a cabeça de um parafuso (Figura 3). Também há uma guarnição, ou *fasciatura*, que faz parte do arco e consiste num enrolamento de material resistente, geralmente fio metálico, seda, ou outros materiais, com uma pequena tira de couro colada, ligeiramente sobreposta no enrolamento frente ao talão (Figura 1 e 3). Essa guarnição tem função de proteger o arco do desgaste provocado pelo uso ao longo do tempo e também pode ser usada para equilibrar a sua distribuição de massa (SAINT-GEORGE, 1922).

<sup>3</sup> Termo em Francês que significa: artesão que cria e constrói arcos novos ou restaura arcos antigos.

<sup>4</sup> François Lesure, *Le Traité des Instruments de Musique de Pierre Trichet, Annales musicologiques, Vol. III, 1955, Paris.*

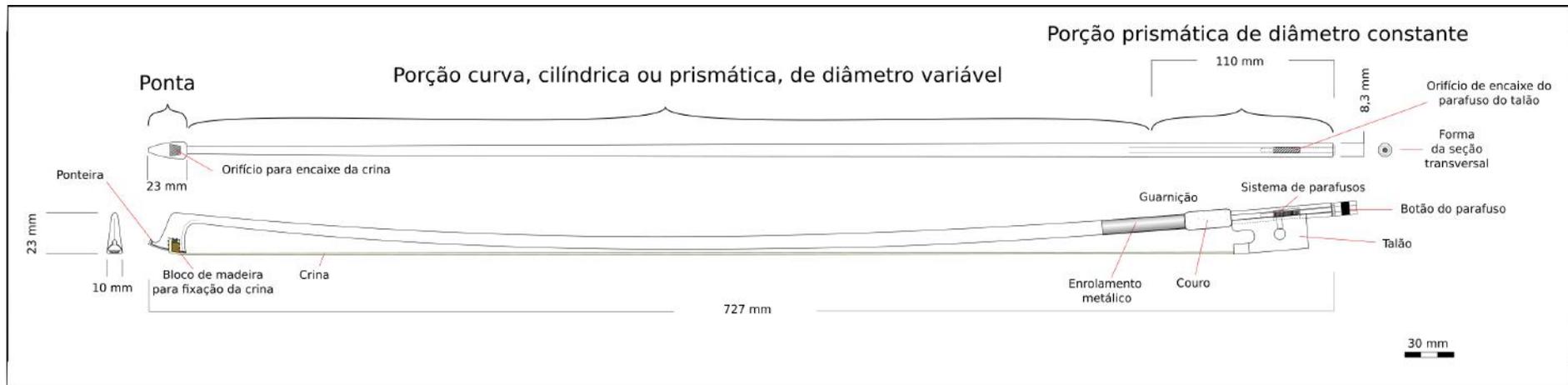
A haste do arco pode ser dividida em três partes principais segundo Saint-George (1922):

1. Uma ponta, ou cabeça, com cerca de 22 a 25 mm de comprimento (Figura 2);
2. Um segmento de haste curva, que pode ter forma cilíndrica ou prismática, de diâmetro variável ao longo do comprimento, com cerca de 595 mm (Figura 1);
3. Outro segmento de haste de forma cilíndrica ou prismática, com aproximadamente 110 mm de comprimento e 8 mm de diâmetro constante, localizado na extremidade oposta à ponta (Figura 3).

A partir dessa porção cilíndrica ou prismática (110 mm) a espessura decresce até a cabeça para o diâmetro de 5,0 mm. Isso representa a diferença de 3,0 mm entre o diâmetro das extremidades. Supondo que essa porção seja dividida em 10 pontos, o diâmetro decai 0,3 mm por segmento. O comprimento total do arco de violino estabelecido por Tourte é de 740 mm a 750 mm e o centro de gravidade a partir do talão deveria ser 190 mm à sua frente. (SAINT-GEORGE, 1922, p. 43).

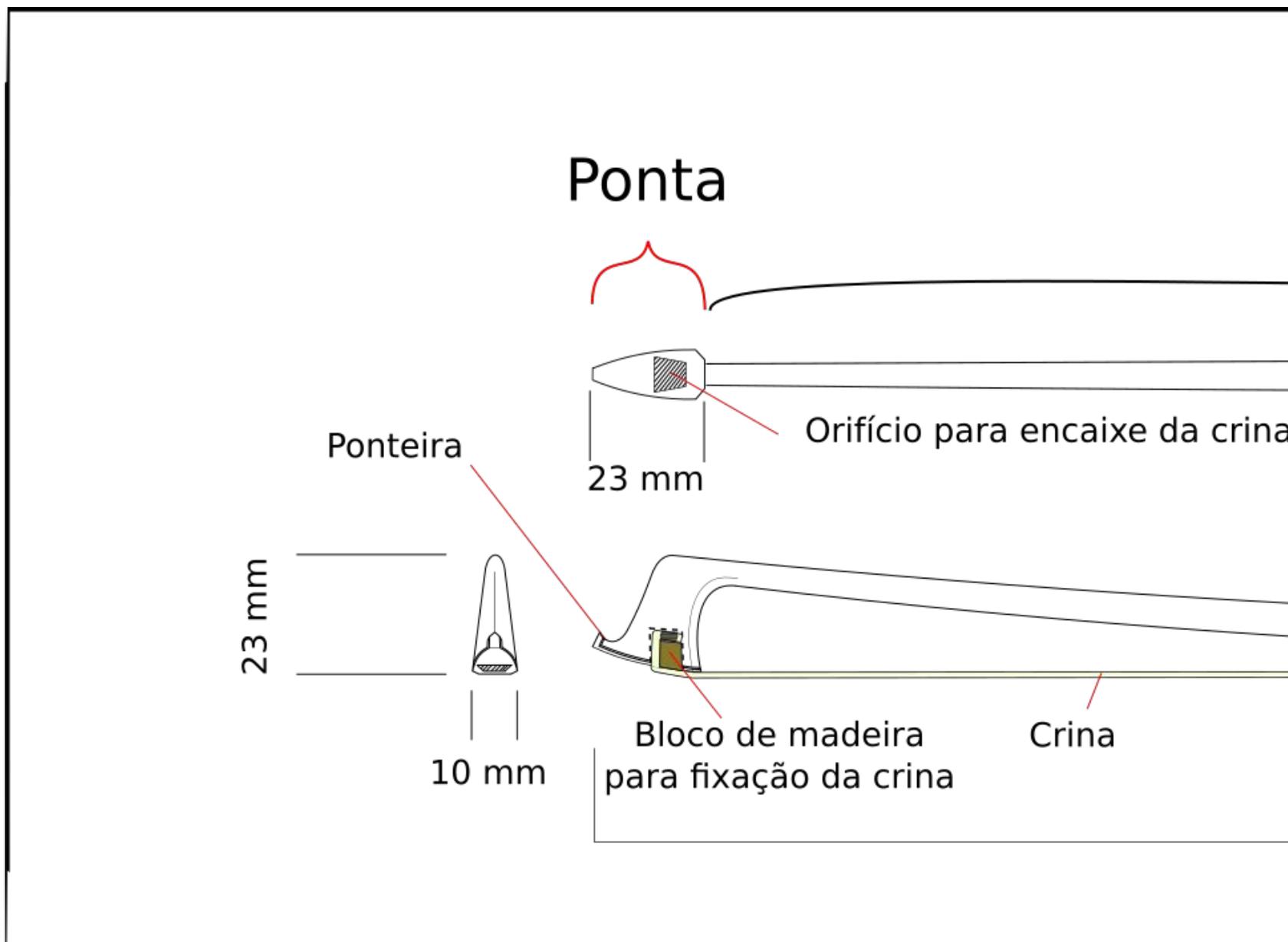
De acordo com Huber (1995), apesar de existirem diferenças entre as dimensões dos arcos modernos, elas se restringem a uma pequena amplitude de variação. Por exemplo, um arco de violino com 58g pode ser considerado muito "leve" por violinistas e com 62g, muito "pesado". A sensação de equilíbrio nas mãos e a distribuição do peso do arco ao longo do comprimento são de grande importância para o músico. Segundo o autor, a largura, o afunilamento e a tensão uniforme da fita de crina que faz contato com as cordas do instrumento, também são relevantes para o músico. Entretanto, os fatores determinantes para a qualidade de funcionamento do arco são a elasticidade da madeira e a distribuição da rigidez e tensão ao longo do seu comprimento (HUBER, 1995).

**Figura 1** – Ilustração da forma do arco de violino moderno baseada no modelo Tourte.



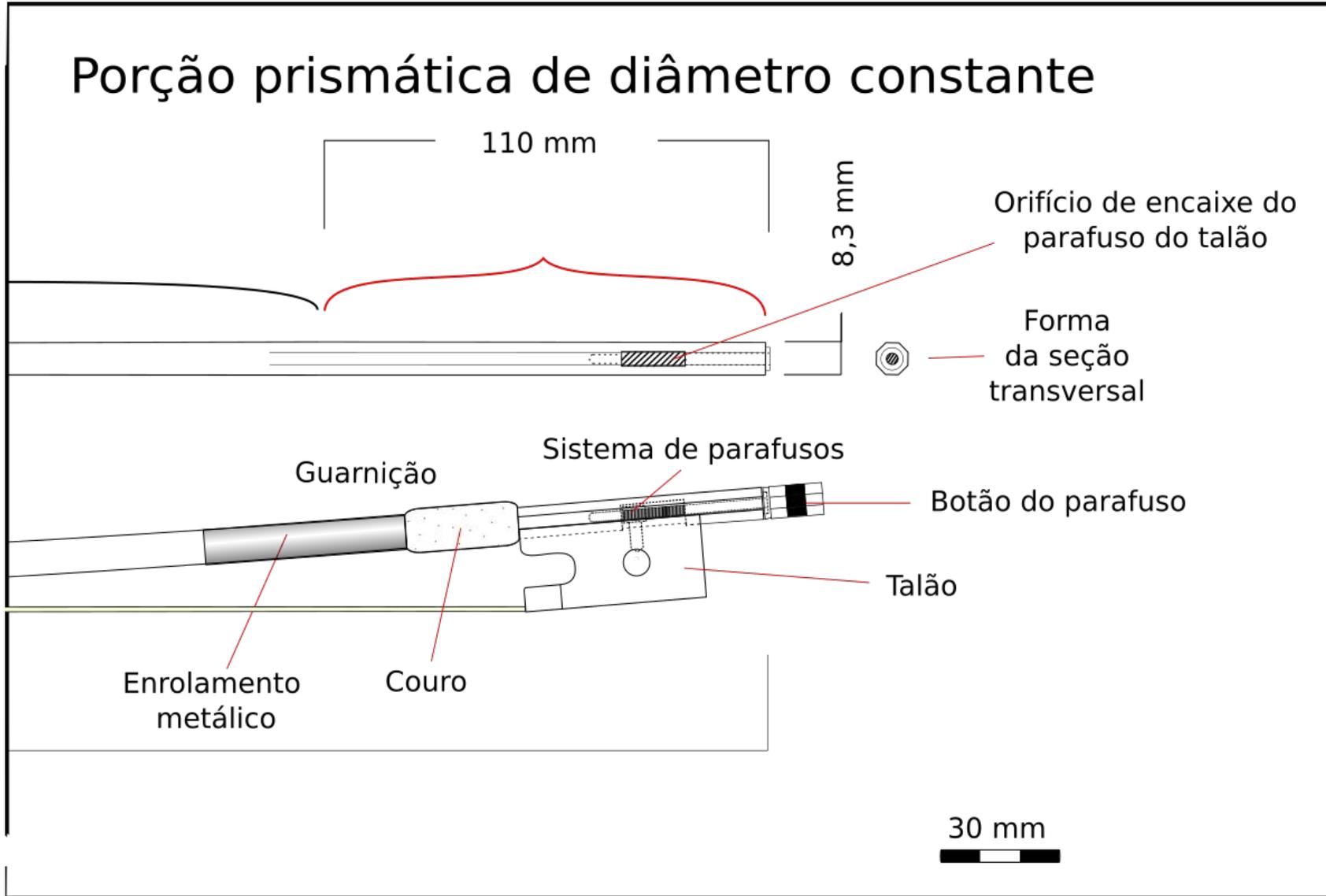
FONTE: O autor (2016) baseado em Saint-George (1922).

Figura 2 – Detalhes da ilustração do arco: Ponta.



FONTE: O autor (2016) baseado em Saint-George (1922).

Figura 3 – Detalhes da ilustração do arco: Talão.



FONTE: O autor (2016) baseado em Saint-George (1922).

### 2.3.2 Madeiras e materiais usados na construção de arcos

De acordo com Beament (1997), alguns arcos antigos eram feitos de pau-cobra (*Brosimum guianense*) e acredita-se que essa era a espécie mais usada antes do advento do arco moderno (BOYDEN, 2002). Algumas espécies de madeiras usadas pelos europeus na confecção de arcos eram conhecidas como: *brazilwood*, *brazilette*, *Brasileinholtz*, *brésil*, *etc.* Estes são termos genéricos que antigamente podiam se referir à espécie *Caesalpinia sappan* conhecida na Europa em virtude do uso para tingimento (BERNARDINO, 1939) e que até 2016 era do mesmo gênero do pau-brasil (*Caesalpinia echinata*). Entretanto, o termo em língua estrangeira que pela literatura está mais associado à madeira de pau-brasil (*Paubrasilia echinata*) é uma tradução de: "Madeira de Pernambuco" (*Pernambuco Wood*, *Fernambuk*, *Pernambukholtz*, *Le Bois de Pernambouc etc.*) como utilizado por Schimleck et al. (2009), Planta (1980) e Lehmann (2006).

Essas madeiras parecidas com o verdadeiro pau-brasil foram muito usadas na fabricação de arcos baratos especialmente na Alemanha e França no final do séc. XVIII e início do séc. XIX, mas não apresentavam firmeza e flexibilidade extraordinárias se comparados ao pau-brasil (*Paubrasilia echinata*) (SAINT-GEORGE, 1922).

Atualmente arcos produzidos em larga escala com baixo custo continuam tendo sua madeira denominada *brazilwood* de acordo com Beament (1997), mas geralmente se refere à maçaranduba (*Manilkara spp.*) (PLANTA, 1980).

De acordo com o Décimo Quarto Encontro da Conferência das Partes na cidade de Haia - Holanda:

Atualmente a maioria dos arcos profissionais são feitos de pau-brasil. Não há dados suficientes sobre a quantidade de espécies de madeiras brasileiras que são exportadas do Brasil para a construção de arcos. A quantidade utilizada pelos archetiers brasileiros também é desconhecida e os comerciantes de madeira relutam em divulgar informações sobre isso, mesmo assim a demanda mundial é estimada em 200 m<sup>3</sup> anuais, embora provavelmente seja maior, pois uma quantidade considerável de madeira é perdida no processo de fabricação do arco. (CITES, 2007, p. 5).

Segundo Carvalho (1994), o pau-brasil apresenta crescimento muito lento e irregular, levando décadas para chegar ao ponto ideal de corte para construção de arcos. No entanto, essa madeira continua sendo utilizada para a confecção de arcos no mundo todo (CITES, 2007). Por essa razão medidas para a conservação produtiva e uso sustentável já estão em execução no Brasil como o projeto Pau-brasil (VALERI, 2006) e outros com apoio internacional como *The International Pernambuco Conservation Initiative* (IPCI).

Em virtude das restrições em relação ao pau-brasil, alguns pesquisadores têm dedicado tempo à procura de espécies similares a fim de comparar suas características e analisar a viabilidade de sua utilização como arcos para instrumentos musicais. Algumas

madeiras já foram estudadas, apesar disso, ainda são poucas espécies que apresentaram características semelhantes à *Paubrasilia echinata* e que, além disso, também apresentam viabilidade técnica. Entre essas está a madeira de ipê (*Handroanthus* spp.) estudada por Longui et al. (2010b).

Materiais além de madeira já foram utilizados como tubos de aço, alumínio, fibra de vidro e fibra de carbono por exemplo, (BEAMENT, 1997); (KOLNEDER, 1998); (SAINT-GEORGE, 1922). Em estudo realizado por Caussé et al. (2001), músicos foram convidados a testar vários arcos de violino feitos em fibra de carbono e, a partir de um arco de pau-brasil, eles expressaram dissimilaridades entre os arcos. O resultados indicaram que os feitos de material sintético se distanciam na avaliação dos músicos em critérios mais subjetivos como o tipo de som produzido pelo arco, e, apesar de serem tecnicamente eficientes, não foi possível associar propriedades físicas ou mecânicas às preferências dos músicos neste estudo.

## 2.4 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE MADEIRAS DE ARCOS DE VIOLINO

Segundo Burger e Richter (1991), dentro da madeira de uma mesma espécie é normal que aconteçam variações de propriedades, por isso, prever se ela será adequada para a produção de um arco de qualidade é uma tarefa desafiadora e de grande importância para qualquer construtor de arcos. Angyalossy et al. (2005) apontaram que embora o pau-brasil reúna as propriedades adequadas para a confecção de arcos, diferentes amostras resultam em produtos de qualidades distintas. Para eles a seleção inicial de madeira para tal finalidade deve ocorrer buscando satisfazer os seguintes critérios:

- Orientação direita;
- Textura fina;
- Ausência de deformações;
- Firmeza adequada.

Ainda, critérios de seleção baseados em propriedades físicas foram destacados por diferentes pesquisadores. Para Schimleck et al. (2009) a caracterização da qualidade do pau-brasil feita pelos construtores de arcos está relacionada à densidade e à resistência à flexão, embora outros fatores podem estar associados à qualidade potencial do pau-brasil para arcos. Segundo esse estudo, a estimativa de qualidade feita por análise de velocidade de propagação sonora por método não destrutivo apresentou eficiência para estimar qualidade potencial da madeira. Já a quantidade de extrativos esteve inversamente relacionada à qualidade das madeiras, pois as amostras com maior quantidade de extrativos não foram bem avaliadas neste estudo.

Matsunaga (1999) percebeu que a resistência ao cisalhamento é uma propriedade importante para madeira de arcos, pois, apesar de não estar diretamente relacionada com qualidade de funcionamento, ajuda a prevenir a ruptura da ponta do arco. Segundo Follmann (1978), o ângulo aceitável de inclinação dos anéis de crescimento de uma madeira para arcos é de aproximadamente 15 graus em relação a orientação radial.

Em estudos realizados por Alves et al. (2008) com a madeira de pau-brasil classificada por *archetiers* em níveis de qualidade potencial para confecção de arcos, amostras foram analisadas anatômica, física e quimicamente. Posteriormente os dados coletados foram submetidos à análise de componentes principais (PCA) e foi possível concluir que amostras classificadas como melhores tinham as seguintes características:

- Valores de módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática acima de 180.000 kgf/cm<sup>2</sup> (17.650 MPa);
- Valores de módulo de ruptura (MOR) à flexão estática acima de 2000 kgf/cm<sup>2</sup> (196 MPa);
- Velocidade de propagação sonora estimada por ondas de tensão acima de 4300 m/s;
- Velocidade de propagação sonora estimada por ondas de ultrassom acima de 5300 m/s;
- Menor frequência de vasos e de raios;
- Maior percentagem de fibras.

De acordo com Wegst (2006) citada por Longui et al. (2012) é possível estabelecer um "índice e desempenho" (*Performance Index*) para as madeiras usadas em arcos de instrumentos de cordas através da equação:

$$PI = \frac{\sqrt{MOE}}{\rho}. \quad (2.1)$$

Onde:

$MOE$  = Módulo de elasticidade (máxima tensão que o material suporta sem sofrer deformação permanente);

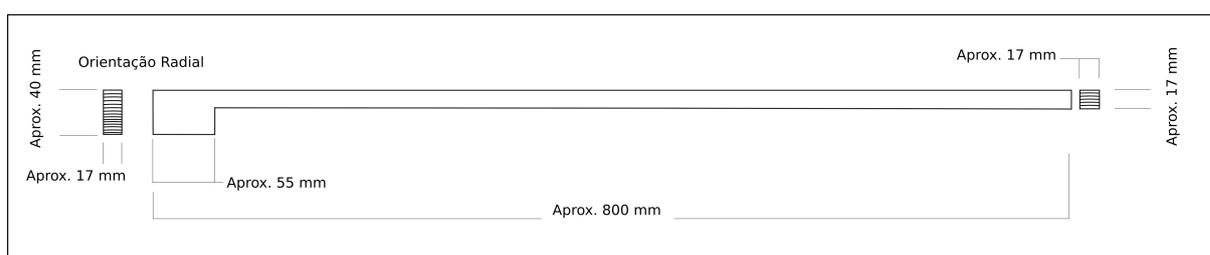
$\rho$  = Densidade (massa por unidade de volume).

Em palavras este índice é proporcional ao módulo de elasticidade por unidade de massa distribuída no volume. Amostras com valores mais altos de  $PI$  têm maior resistência à flexão por unidade de densidade, o que indicaria maior potencial de qualidade da madeira para a confecção de arcos de violino.

## 2.5 MÉTODO DE CONSTRUÇÃO DE ARCOS DE VIOLINO

De acordo com Kolneder (1998), para se construir um arco, sua madeira deve ter sido cortada no sentido do alinhamento das fibras. Este corte geralmente confere a forma de vareta à madeira com uma das extremidades contendo sobra de material que é destinada à confecção da ponta do arco (Figura 4). Deve ter orientação radial (Figura 5 e 6) além de ter sido armazenada adequadamente para estabilização por alguns anos. A partir disso, primeiramente a madeira é aplainada, em seguida a localização e a forma da ponta do arco é cortada e esculpida com o auxílio de gabaritos. Uma pequena lâmina de madeira de ébano com aproximadamente 0,5 mm de espessura é colada na base da ponta do arco e sobre ela uma outra lâmina de marfim<sup>5</sup>, com o objetivo de proteger essa parte frágil do arco depois de pronto. Posteriormente é realizada a tarefa de alcançar uma distribuição ótima da massa ao longo do arco através do desbaste da madeira (KOLNEDER, 1998). Ao final do processo de conformação do arco seu peso é de aproximadamente 35g distribuídos em cerca de 730 mm de comprimento.

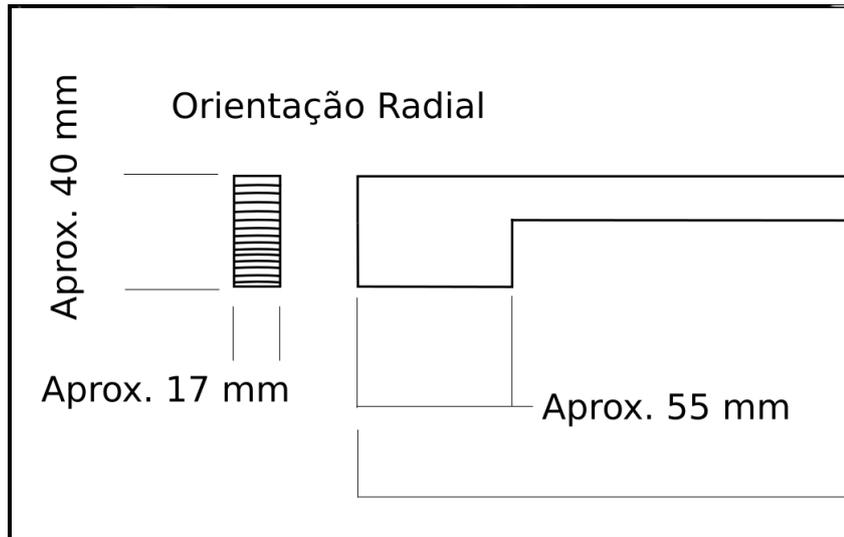
**Figura 4** – Forma da vareta bruta para confecção de arco.



FONTE: O autor (2016).

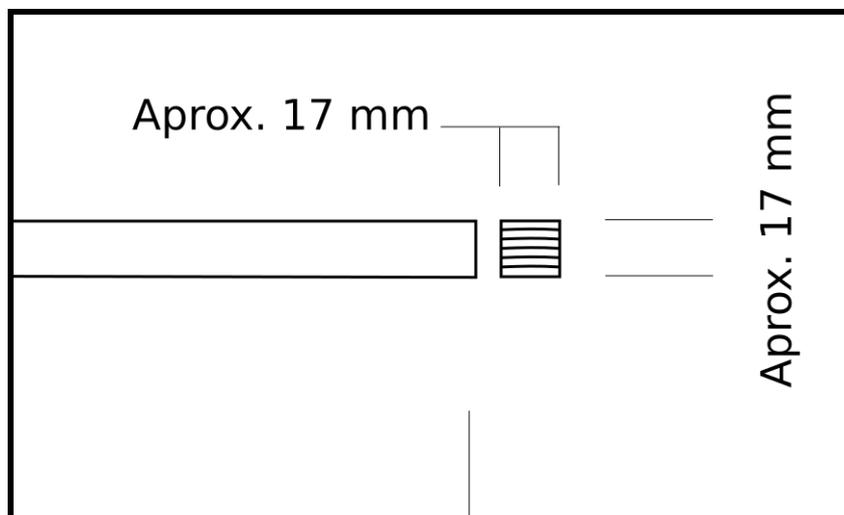
<sup>5</sup> Atualmente substituído por outros materiais, pois o comércio internacional de marfim foi banido em acordo realizado pela CITES em 1989.

**Figura 5** – Detalhe da extremidade da vareta bruta destinada à confecção da ponta do arco.



FONTE: O autor (2016).

**Figura 6** – Detalhe da outra extremidade da vareta bruta para confecção de arcos.



FONTE: O autor (2016).

Segundo Saint-George (1922), a haste do arco costuma ser aplainada em forma octogonal. O autor afirma que definir se o arco terá a seção transversal circular ou octogonal no início do trabalho é muito importante, pois segundo Planta (1980), um octógono comparado a uma circunferência de mesmo diâmetro tem módulo de resistência maior. Além disso, o volume de um octógono é em torno de 5% maior em relação a um cilindro de mesmo diâmetro.

Após definir de maneira aproximada o perfil do arco, o *archetier* molda a madeira aquecendo-a sobre uma chama suave, geralmente usando uma lamparina à álcool. Através desse processo, mesmo sendo conferida a forma curva à madeira do arco, as fibras se mantêm intactas ao longo de seu comprimento e sua resiliência natural também é preservada (STOWELL, 1990).

O talão é adaptado na haste do arco de maneira que possa exercer sua função de tensionar a crina. Para isso é necessário abrir um canal onde o parafuso do talão se encaixa no arco e furar a madeira para que o parafuso do botão se conecte ao sistema.

O método de construção de um arco pode variar muito de *archetier* para *archetier*, mas alguns processos estão sempre presentes independentemente de quem o constrói. Matsunaga (1999) afirma que é muito difícil construir arcos uniformemente, pois densidade e módulo de elasticidade são muito variáveis na madeira mesmo se tratando de uma mesma espécie, o que pode fazer com que um arco precise ser deixado mais grosso ou mais fino, de acordo com os objetivos do construtor em relação ao arco. No entanto, o autor salienta que existe preferência por arcos mais delgados.

Cortar, plainar e curvar a madeira sob calor, são meios conhecidos e utilizados pelos *archetiers* para chegarem ao seu ideal de qualidade, mas saber como usar esses meios para plasmar uma madeira aproveitando suas propriedades da melhor forma, é uma habilidade que se desenvolve com experiências ao longo do tempo. Alguns autores resumem o que consideram habilidades elementares para o construtor de arcos:

Sensibilidade manual para perceber facilmente os diferentes graus de elasticidade encontrados não só entre varetas, mas muitas vezes na mesma peça de madeira. (SAINT-GEORGE, 1922, p. 51)

A habilidade de um *archetier* resume-se em selecionar a madeira e sentir sua elasticidade natural ao mesmo tempo em que se define o diâmetro apropriado para o bom funcionamento do arco. (BEAMENT, 1997, p. 158)

Ambos os autores assumem que perceber diferenças sutis de elasticidade no material usado é um requisito elementar para confeccionar um bom arco. Através dessas percepções costumam ser avaliadas simultaneamente, de forma empírica, a resistência à flexão de cada peça, para que, durante a remoção de material, a espessura, massa, rigidez e flexibilidade sejam relativamente equilibradas durante a confecção de um arco para violino.



## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 SELEÇÃO DA MADEIRA

O material utilizado na construção dos arcos deste estudo foi adquirido em madeiras localizadas na região metropolitana de Curitiba, em empresas fornecedoras de peças de madeira usinadas para a confecção de deques e assoalhos.

A pré-seleção da madeira de ipê obedeceu aos seguintes critérios:

- Análise visual das extremidades das tábuas para verificação da orientação do anel de crescimento, objetivando tábuas com corte radial (Figura 7);
- Análise visual do alinhamento das fibras procurando obter madeiras com grã direita e textura fina;
- Análise visual para evitar nós, rachaduras ou outros defeitos na madeira;
- Análise com auxílio de lupa (Figura 8); para visualizar a porosidade da madeira, buscando menor presença de vasos por área e vasos pequenos;
- Análise sensitiva da massa das tábuas buscando obter madeiras com densidade superior a  $1000 \text{ kg/m}^3$ ;
- Análise da capacidade de propagação do som com o medidor ultrassônico *Lucchi-meter*, buscando medições acima de  $5000 \text{ m/s}$ .

**Figura 7** – Seleção das tábuas com corte radial.



FONTE: O autor (2016).

**Figura 8** – Análise preliminar com lupa.



FONTE: O autor (2016).

Para realizar a seleção foram levados à madeireira os seguintes equipamentos: Aparelho *Lucchimeter*, plaina pequena, lupa com capacidade de aumento de 10 vezes, lanterna, trena, além de alguns equipamentos de proteção individual.

O principal objetivo da seleção do material foi, não só, escolher tábuas de ipê, mas também, selecionar madeiras adequadas para a confecção de arcos segundo referências usadas para a seleção de pau-brasil, de acordo com trabalhos de Alves et al. (2008) e Angyalossy et al. (2005). Nas madeireiras foi necessário verificar várias pilhas para encontrar tábuas que se adequassem aos pré-requisitos mínimos necessários para construção de arcos segundo Alves et al. (2008). Por fim foram obtidas 9 peças de madeira.

Depois da pré-seleção das madeiras, cada tábua passou por uma seleção visual mais criteriosa para a verificação de possíveis defeitos na madeira. Para isso, foram evitadas ao máximo rachaduras, nós, tortuosidades na grã, etc. Foi utilizada uma luminária para facilitar a visualização dos elementos da madeira. Houve também uma segunda medição da velocidade de propagação sonora com o aparelho *Lucchimeter* para confirmar se as medidas estavam dentro do mínimo necessário (5.000 m/s) recomendado pelas referências consultadas.

A partir dessas análises, das 9 peças selecionadas nas madeireiras foram escolhidas 5 amostras de madeira, que foram identificados com as letras A, B, C, D e E. Essa denominação nada tem a ver com a qualidade da madeira, mas serviu apenas para identificar as amostras. Para a confecção dos arcos foi destinado 1 metro linear de cada tábua e para as análises laboratoriais foram destinados outros 70 cm do mesmo segmento de tábua (Figura 9).

**Figura 9** – Tábua de ipê e detalhamento dos cortes realizados.



LEGENDA: 1-Porção destinada à análise; 2-porção destinada à confecção dos arcos. FONTE: O autor (2015).

### 3.2 ANÁLISE ANATÔMICA DA MADEIRA

As amostras foram processadas no Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira-UFPR, onde foram confeccionadas as lâminas histológicas em secção transversal, radial e tangencial, que depois foram analisadas em microscópio. Foram feitas análises qualitativas e quantitativas das características das amostras de ipê de acordo com IAWA (1989b), para obter medições de: frequência de vasos por  $\text{mm}^2$ , frequência de raios por mm, largura de raios, altura de raios e diâmetro de vasos.

### 3.2.1 Preparação das amostras

As amostras foram colocadas num copo Erlenmeyer com água em ebulição por vários dias sobre uma placa de aquecimento até que fosse possível realizar o corte das lâminas de madeira (15–20  $\mu\text{m}$ ) utilizando um micrótomo de deslize manual da marca *Reichert*. Após o corte, as lâminas foram descoloridas em solução de hipoclorito de sódio, lavadas, tingidas em solução de azul de astra e safranina, nesta ordem, separadamente e lavadas entre cada tingimento. Em seguida foram desidratadas em série etanólica e acetato de butila, para serem montadas em lâminas permanentes com resina sintética Entellan<sup>®</sup>.

## 3.3 ANÁLISES DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

### 3.3.1 Determinação do teor de umidade da madeira

A determinação do teor de umidade (TU) das amostras foi realizada através de secagem em estufa sendo deixadas por 48 horas a 103 °C e calculado em relação à base seca por:

$$TU = \frac{Pu - Ps}{Ps} \times 100 \quad (3.1)$$

Onde:

Pu = é o peso úmido;

Ps = é o peso seco.

### 3.3.2 Determinação da massa específica aparente da madeira

A massa específica aparente ( $\rho$ ) foi obtida por imersão em água por método de balança hidrostática dada por:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.2)$$

Onde:

$m$  = massa da amostra a 12% de umidade;

$V$  = volume de água deslocado.

### 3.3.3 Análise das propriedades acústicas da madeira

#### 3.3.3.1 Equipamentos usados para avaliação da velocidade de propagação sonora

##### *Lucchimeter*

O aparelho (*Lucchimeter*), é um medidor ultrassônico de velocidade de propagação sonora usado para estimar propriedades acústicas em madeiras para instrumentos musicais, (MCLENNAN, 1990). Este foi regulado de acordo com as instruções do fabricante para ajustar a configuração inicial. Esse processo, chamado de "*set zero*" consiste em posicionar os transdutores diretamente um contra o outro para simular distância zero, pressionar um botão chamado "*Lucchi*" e a partir disso o tempo e a velocidade mostrados no painel devem ser também zero. A partir desses ajustes as medições foram realizadas posicionando os transdutores nas extremidades dos corpos de prova, objetivando registrar a maior medida de velocidade possível, ou o menor tempo, de maneira estável.

A fim de manter um padrão de referência, todas as análises foram realizadas com 38% da potência do dispositivo e com fator de correção igual a zero. Foram usados corpos de prova de tamanho padrão com comprimento de 300 mm e seção de 20 mm x 20 mm.

##### Medidor de ondas de tensão (*Stress Wave Timer*)

As medições com o aparelho *Stress Wave Timer* (SWT) fornecem a medida do tempo que uma onda de impacto leva para atravessar um corpo de prova.

Para a realização dos ensaios não foram necessárias medidas de regulagem além da firme fixação dos transdutores no ponto marcado com o comprimento definido para os corpos de prova. O comprimento usado para cálculo foi de 280 mm e seção de 20 mm x 20 mm. Diferente do dispositivo *Lucchimeter* que já fornece uma estimativa de velocidade, essa medição teve o objetivo de registrar somente o tempo que a onda de impacto leva para percorrer a extensão do corpo de prova, sendo registrado o menor valor cronometrado obtido de cada amostra.

Com esses dados é possível estimar o módulo de elasticidade dinâmico ( $MOE_{din}$ ) das amostras pela equação:

$$MOE_{din} = V^2 \times \rho \times \frac{1}{g} \quad (3.3)$$

Onde:

$MOE_{din}$  = Módulo de elasticidade dinâmico (MPa);

$V$  = Velocidade de propagação da onda acústica (m/s);

$\rho$  = Massa específica do material (kg/m<sup>3</sup>);

$g$  = Aceleração da gravidade = 9,80665 (m/s<sup>2</sup>).

### 3.4 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

Ensaio de flexão estática foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Madeira - UFPR, em Máquina Universal de Ensaio Emic (DL-30 – 300.000 N) seguindo a norma COPANT-555 (1972). Para isso foram cortados 2 corpos de prova (20 mm x 20 mm x 300 mm) para cada amostra de madeira. Essa quantidade de corpos de prova foi escolhida objetivando uma análise qualitativa e não estatística. Antes da realização dos ensaios de flexão as amostras foram acondicionadas em câmara climática a 20 °C e 65% de umidade relativa do ar. Após a verificação da estabilização da umidade nos corpos de prova, foram realizados os ensaios a partir do momento em que a variação do peso das amostras foi inferior a 1%.

O objetivo das análises mecânicas foi obter os valores de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) das amostras, através dos ensaios de flexão estática e verificar se essas propriedades estavam acima de um valor mínimo encontrado na madeira de pau-brasil (*Paubrasilia echinata*) para a confecção de arcos, que é de 17.650 MPa para MOE e 196 MPa para MOR, segundo estudos realizados por Alves et al. (2008).

### 3.5 CONSTRUÇÃO DOS ARCOS

Os arcos usados nesta pesquisa foram construídos de maneira padronizada pelo autor seguindo forma e medidas usadas normalmente para arcos de violino modernos construídos em pau-brasil e baseados no modelo de Tourte.

#### 3.5.1 Experiência prática na construção de arcos

Não seria possível realizar a construção dos arcos dessa pesquisa pelo autor se previamente não houvesse o conhecimento necessário para construí-los. Cabe explicar que esse conhecimento foi adquirido em 20 anos como construtor de arcos na cidade de Curitiba-PR. A experiência prática foi obtida por intermédio de seu pai, Helcio Fomin (1959-2006), que foi um *luthier e archetier* da escola de Luigi Bertelli em Tatuí-SP, radicado em Curitiba-PR (DOURADO, 1999, p. 45). Posteriormente, este autor teve a oportunidade de trocar experiências e aprender com alguns *archetiers* reconhecidos internacionalmente no I Encontro Internacional de Archetaria, realizado em 2013 na cidade de João Neiva-ES. Entre os *archetiers* ministrantes do evento estavam: Mitsuaki Sasano (Japão), Eric Granchamp (França) e Josef Gabriel (Alemanha). Entre os organizadores e *archetiers* participantes estavam: Renato Casara (Organizador), José Carlos Rosonni, Manoel Francisco, Pierre Peloux, Carlos Brasil e Igor Fomin.

### 3.5.2 Método de construção usado

Com a secção de madeira designada para confecção dos arcos foi feita novamente identificação visual de elementos que poderiam prejudicar a confecção dos mesmos. Nesta etapa foram identificadas fissuras em algumas áreas superficiais nas tábuas que tiveram de ser deixadas de fora dos segmentos destinados à construção do arcos.

Além de identificar defeitos na madeira foi preciso observar o sentido da fibra para que o arco fosse feito com o melhor alinhamento possível. Um desenho prévio foi feito nas tábuas com um gabarito (Figura 10) que simula a ponta de um arco para auxiliar na visualização do posicionamento de cada peça em relação aos elementos axiais da madeira (KOLNEDER, 1998).

**Figura 10** – Gabarito e desenho de referência para o corte da ponta do arco.



FONTE: O autor (2015).

Cada desenho foi feito posicionando primeiro a ponta do arco de acordo com o alinhamento da fibra e depois o segmento restante que compõe o arco seguindo o mesmo critério de alinhamento. Depois de marcada a linha de perfil do arco, as madeiras foram cortadas com uma serra de fita. Após esse procedimento foi necessário limpar a superfície para visualização dos elementos da madeira que, para isso, foi aplainada até que fossem removidas as marcas deixadas pela serra. Em seguida foi desenhada novamente a linha de referência em sentido longitudinal para efetuar o corte do excesso lateral, buscando obter uma haste quadrada.

A partir desse momento o arco pode ser aplainado (Figura 11). As plainas usadas para isso são de uso manual e possuem lâmina com ângulo de ataque quase perpendicular ao plano da madeira. Isso foi usado para obter bom acabamento na superfície em função da dureza do material. Ao aplainar o arco o objetivo foi reduzir gradativamente a espessura ao longo do comprimento no sentido da base para a ponta. Foram adotadas medidas de espessuras padrão, que serão mostradas na sequência. Entretanto, na tentativa de padronizar os 5 arcos, alguns tiveram suas espessuras adaptadas em função da densidade da madeira para que pudessem permanecer dentro da faixa de 58 g a 62 g.

**Figura 11** – Aplainamento dos arcos.

FONTE: O autor (2016).

Alguns construtores de arcos se utilizam de um dispositivo simulador de tensão<sup>1</sup> para auxiliar nesse processo (Figura 12 e 13), possibilitando estimar se essas características estão sendo harmonizadas corretamente em relação à forma dada à madeira do arco.

**Figura 12** – Ponta do arco com dispositivo simulador de tensão.

FONTE: O autor (2016).

Esse dispositivo é um cabo de aço que foi fixado nas extremidades do arco permitindo tensioná-lo, simulando um arco com crina, para verificar se a espessura deveria ser mantida ou diminuída, ou se a curvatura do arco precisaria ser aumentada, diminuída ou alinhada. (Figuras 14 e 15).

<sup>1</sup> Dispositivo usado pelo archetier Mitsuoaki Sasano, na construção de um arco para violino durante a realização do 1º Encontro Internacional de Archetaria em 2013 na cidade de João Neiva-ES.

**Figura 13** – Talão do arco com dispositivo simulador de tensão.



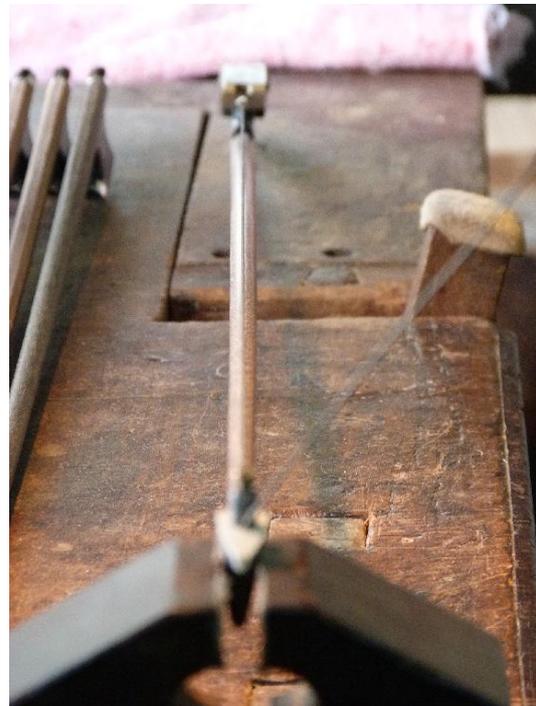
FONTE: O autor (2016).

**Figura 14** – Visualização da curvatura do arco através do dispositivo simulador de tensão.



FONTE: O autor (2016).

**Figura 15** – Visualização do alinhamento do arco através do dispositivo simulador de tensão.



FONTE: O autor (2016).

A curvatura do arco foi feita pelo processo de aquecimento da madeira através do calor da chama de uma lamparina à álcool. Nesse processo, foi preciso movimentar constantemente o arco sobre a chama para aquecê-lo até que a temperatura do material permitisse sua deformação plástica. Neste momento foi possível moldá-lo manualmente no formato desejado. O perfil dessa curvatura foi feito baseado no modelo encontrado nos arcos de Tourte segundo Saint-George (1922) que está ilustrado na Figura 18.

Uma balança de precisão e um paquímetro foram usados constantemente para controlar a massa e as espessuras das madeiras enquanto eram trabalhadas (Tabela 1 e 2). Depois que as varetas tiveram sua configuração definida, foram feitas cavidades na

ponta para o encaixe da crina (Figura 16). Foi escavado o canal do parafuso do talão e a extremidade do arco foi furada para encaixar o parafuso do botão. Em seguida foram realizados os processos de acabamento através de lixamento, aplicação de corante<sup>2</sup> e aplicação de goma laca.

Após a determinação da posição do talão, foi confeccionada a guarnição do arco, com fio de níquel com 0,25 mm de diâmetro e uma tira de couro. Por fim, a crina foi instalada nos arcos à temperatura e umidade ambientes e em todos os arcos no mesmo dia. Para padronizar a quantidade de crina colocada em cada arco, foi usado um gabarito (Figura 17). Ao se preencher com crina o orifício especificado no gabarito, a quantidade de crina foi determinada pela medida de seu diâmetro (3,2 mm). A massa de crina em cada arco foi de aproximadamente 5,5 g.

**Figura 16** – Corte dos encaixes da ponta.



FONTE: O autor (2016).

**Figura 17** – Gabarito da crina.



FONTE: O autor (2016).

### 3.5.3 Característica e dimensionamento dos arcos

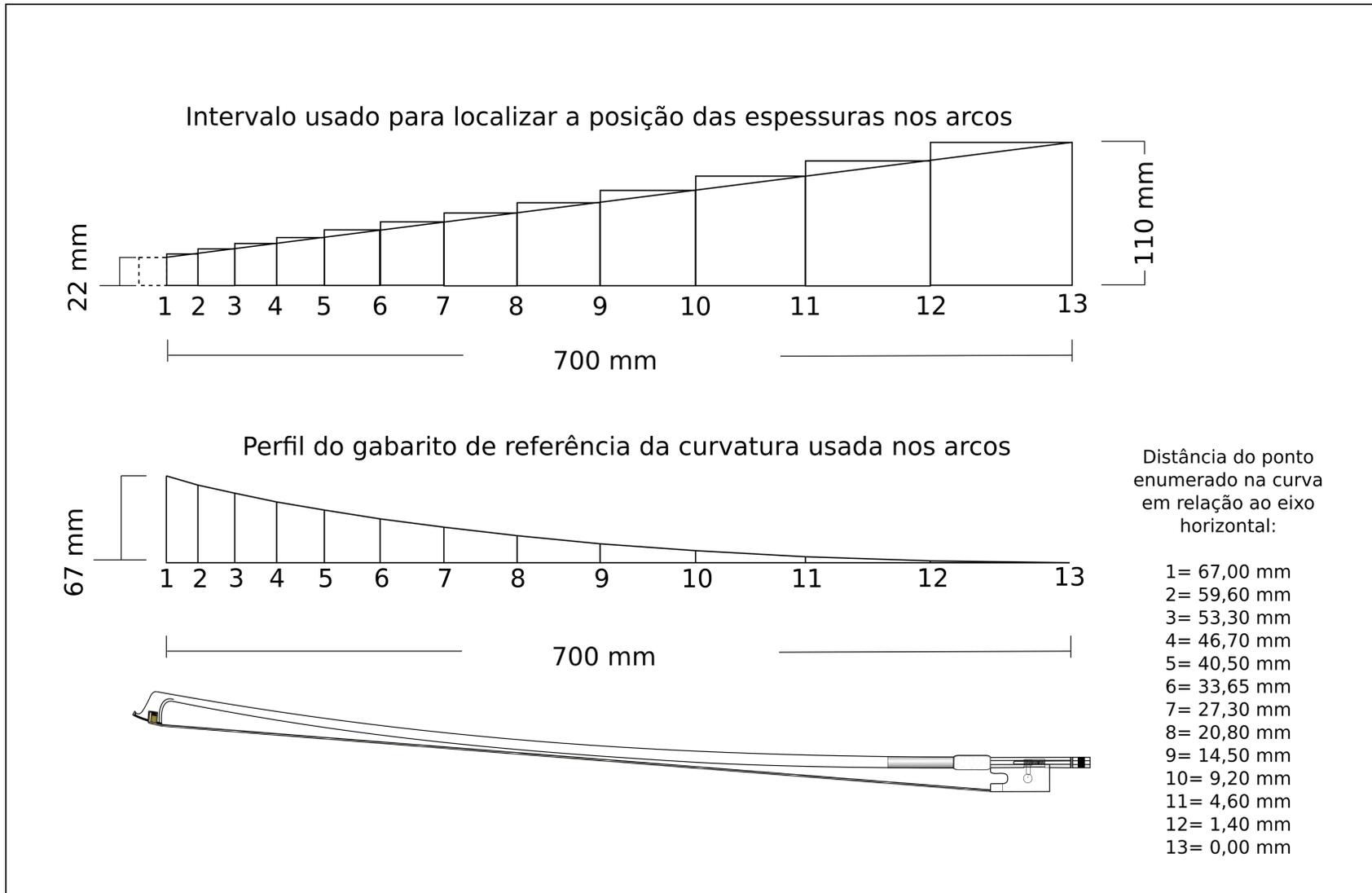
A Tabela: 1 mostra as espessuras dos arcos em cada intervalo e a medida de referência usada na construção dos arcos, ilustradas nas Figuras 18 e 19.

<sup>2</sup> O corante aplicado foi safranina diluída em álcool a 3%, e o motivo de sua aplicação está descrito na página 52.

**Tabela 1** – Diâmetro dos arcos, em milímetros, a cada intervalo.

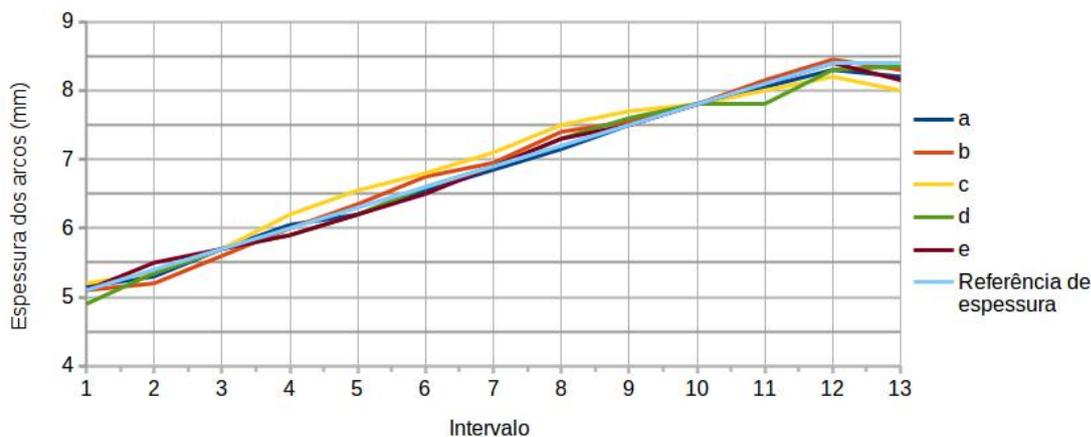
Amostra	Intervalo												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A	5,15	5,30	5,70	6,05	6,20	6,55	6,85	7,15	7,50	7,80	8,05	8,30	8,20
B	5,10	5,20	5,60	6,00	6,35	6,75	6,95	7,20	7,55	7,80	8,15	8,45	8,30
C	5,20	5,35	5,70	6,20	6,55	6,80	7,10	7,40	7,70	7,80	8,00	8,20	8,00
D	4,90	5,35	5,70	5,90	6,20	6,60	6,90	7,30	7,60	7,80	7,80	8,30	8,35
E	5,10	5,50	5,70	5,90	6,20	6,50	6,90	7,30	7,50	7,80	8,10	8,40	8,15
Referência	5,10	5,40	5,70	6,00	6,30	6,60	6,90	7,20	7,50	7,80	8,10	8,40	8,40
Amplitude	0,30	0,30	0,10	0,30	0,35	0,30	0,25	0,35	0,20	0,00	0,35	0,25	0,35
Variância	0,013	0,011	0,002	0,015	0,023	0,016	0,009	0,017	0,007	0,000	0,018	0,009	0,018
Desvio Padrão	0,11	0,10	0,04	0,12	0,15	0,12	0,09	0,09	0,08	0,00	0,13	0,09	0,13

Figura 18 – Posicionamento de medidas de curvatura e espessura nos arcos.



FONTE: O autor (2016) baseado em Saint-George (1922).

**Figura 19** – Espessuras dos arcos construídos com as amostras de ipê. Medidas de referência baseadas em Saint-George (1922).



Baseando-se na afirmação de Matsunaga (1999) de que existe naturalmente grande variação de módulo de elasticidade e densidade entre madeiras de uma mesma espécie, foi necessário interpretar empiricamente essas propriedades e decidir o que poderia ser feito com elas. Por isso, com a certeza de que não seria possível construir arcos idênticos, foi almejado obter a maior semelhança possível entre os artefatos usando como referência valores médios considerados pela literatura como "adequados" para medidas de espessura, peso, comprimento, centro de massa, e curvatura para arcos de violino.

Através do gráfico das espessuras obtidas (Figura 19) é possível observar que, apesar de variarem, elas seguiram um perfil próximo das espessuras de referência usadas nesse método construtivo.

Na da Figura 20, é possível visualizar os arcos construídos com ipê da maneira como foram utilizados durante o processo de avaliação de desempenho técnico.

**Figura 20** – Característica visual dos arcos de ipê finalizados.



FONTE: O autor (2016).

**Tabela 2** – Característica física e geométrica dos arcos.

Amostra	Massa (g)	Centro de massa (mm)	Comprimento sem botão (mm)	Comprimento total (mm)
A	61,6	185	727	741,5
B	60,6	183	727	741,5
C	59,4	187	727	741,5
D	60,9	184	727	741,5
E	59,6	183	727	741,5

NOTA: O centro de massa foi medido a partir do ponto de transição entre a crina e o talão dos arcos.

### 3.6 AVALIAÇÃO SENSORIAL DOS ARCOS DE VIOLINO

A avaliação dos arcos feita pelos violinistas aconteceu de forma individual e o teste teve duração aproximada de 1 hora e 30 minutos. Nesse tempo estiveram compreendidas as etapas: apresentação do termo de aceite e esclarecimentos sobre a pesquisa, instruções específicas sobre o método adotado, o teste cego e a entrevista após o teste.

#### 3.6.1 Critérios para avaliação sensorial dos arcos

Segundo Caussé et al. (2001), algumas características como: massa, equilíbrio, firmeza, facilidade de controle e reposta sonora, são relevantes para o músico no momento de avaliar a qualidade do funcionamento de um arco. De acordo com Gough (2011), o termo "firmeza" é usado por músicos para descrever resistência à flexão e neste trabalho convencionou-se que "peso" é o termo mais inteligível para se referir à massa. Baseado nisso, foi elaborado um questionário para coletar dados a partir da impressão dos instrumentistas ao experimentarem os artefatos às cegas. Os critérios adotados estão na Tabela 3.

**Tabela 3** – Definições dos critérios usados nos questionários.

CRITÉRIOS	SIGNIFICADO
Peso do arco	Se o peso do arco como um todo é adequado
Distribuição do peso	Se o peso está distribuído adequadamente por sua extensão
Rigidez e flexibilidade	Se o arco apresenta harmonia entre rigidez e flexibilidade
Facilidade para controlar o arco	Se o arco obedece às intenções de articulação do músico
Resposta sonora	Se o som produzido pelo arco é subjetivamente satisfatório

A mensuração da qualidade dos arcos em cada critério foi realizada através de um teste sensorial às cegas com a utilização de uma escala do tipo Likert de 1 a 6 (ROBSON, 1993), conforme a Tabela 4, sem posição central, utilizando diferencial semântico

relacionado a graus de satisfação percebidos pelos músicos em cada critério, objetivando uma análise qualitativa (PEREIRA, 2004).

**Tabela 4** – Escala usada para a coleta de dados.

INSATISFAÇÃO			SATISFAÇÃO		
Total	Moderada	Pequena	Pequena	Moderada	Total
1	2	3	4	5	6

Os critérios e quantidade de indicadores foram adotados com o intuito de facilitar tanto a interpretação do que estava sendo avaliado por parte dos músicos quanto à interpretação dos dados por parte do pesquisador. Segundo Dalmoro e Vieira (2013), a rapidez de interpretação das questões é maior quando o número de indicadores é menor, no entanto escalas com 3 indicadores demonstraram serem menos precisas sobre a opinião em relação a escalas com 5 ou 7 indicadores. Além disso, não foi adotada posição central pois segundo Collings (2006, citado por Dalmoro e Vieira, 2013), o ponto neutro pode gerar ambivalência e indiferença do respondente, destoando da sua verdadeira opinião.

O conjunto de materiais utilizados na pesquisa sensorial constitui-se de um termo de aceitação, instruções padronizadas a serem seguidas pelos violinistas, formulário de dados para registro das inferências obtidas de cada violinista e formulário de dados da entrevista. Os modelos destes documentos encontram-se nos Anexos 1, 2, 3 e 4 deste trabalho.

### 3.6.2 Seleção dos participantes para análise sensorial dos arcos de violino

A seleção dos músicos para este estudo foi realizada por amostragem intencional não probabilística (MARCONI; LAKATOS, 1990). Para isso só participaram dos testes violinistas profissionais. No total foram 16 músicos que tinham de 14 a 42 anos de experiência prática. Dividindo o total de participantes em três, o 1º terço deles tinha de 14 a 19 anos de prática, o 2º terço tinha de 20 a 29 anos de prática e o 3º terço tinha de 30 a 42 anos de experiência prática.

Os violinistas avaliadores exerceram, ou exercem alguma atividade profissional nas seguintes instituições:

- Orquestra Sinfônica do Paraná-PR;
- Camerata Antiqua de Curitiba-PR;
- Orquestra Sinfônica Brasileira-RJ;
- Universidade Federal do Paraná-PR;

- Orquestra de Câmara da Pontifícia Universidade Católica do Paraná-PR;
- Camerata Florianópolis-SC;
- Universidade do Estado de Santa Catarina-SC;
- Orquestra Sinfônica de Pelotas-RS
- *Virginia Symphony Orchestra*-EUA

Todos os participantes atualmente desenvolvem atividades nas cidades de Curitiba-PR e Florianópolis-SC como instrumentistas profissionais.

### 3.6.3 Apresentação da metodologia e instrução aos avaliadores

Apresentou-se um termo de aceite e um protocolo aos participantes nos quais constavam as informações acerca dos objetivos da pesquisa, dos benefícios esperados e a forma pela qual os dados deveriam ser obtidos (Anexo 1 e 2). Omitiu-se, porém, dos participantes o conhecimento de qual madeira foi usada para construir os arcos, pois, de acordo com Wegst (2006), materiais para instrumentos musicais não são escolhidos somente pelo aspecto acústico-mecânico, mas também pelo visual e isso poderia ser um elemento causador de parcialidade nas opiniões dos avaliadores.

Nenhum dos participantes pôde visualizar os arcos antes da pesquisa ser concluída. Para isso, cada violinista participante usou um protetor facial para vendar os olhos. Cada músico experimentou os cinco arcos feitos de ipê livremente sem ter uma melodia ou golpes de arco pré-determinados pelo pesquisador de maneira similar ao trabalho de Fritz et al. (2014). Além disso, eles também puderam ajustar livremente a tensão da crina no momento do teste. Os arcos foram dispostos para o músico sempre na mesma ordem de forma que, aquele que fora identificado como o primeiro a ser experimentado, sempre foi o primeiro, o segundo foi sempre o segundo e assim sucessivamente, para que o músico pudesse organizar mentalmente suas percepções e memorizá-las. Antes dos testes começarem foi solicitado ao músico que memorizasse suas preferências para que ao final da avaliação indicasse, dentre os cinco arcos, quais seriam os dois arcos preferidos por eles, caso pudessem escolher algum para si. Também foi pedido para que indicassem um arco que seria rejeitado por eles dentre os cinco.

O teste prático foi realizado em duas etapas. Na primeira o violinista simplesmente tocou com os arcos para conhecê-los e ao final desta, os instrumentistas escutaram os significados dos termos adotados para os critérios sob os quais deveriam ser atribuídas as notas para os arcos, representando o grau de satisfação obtido pelo instrumentista ao utilizá-los. Na segunda etapa iniciou-se a coleta de dados e posteriormente foi feita uma pequena entrevista para obter dados complementares à pesquisa, como: tempo de prática

violínica, local de atuação profissional, etc., de acordo com formulários elaborados para esta pesquisa (Anexo 3 e 4).

### 3.6.4 Violino utilizado para realização dos testes com os arcos

Para a realização do teste com violinistas foi utilizado um violino modelo Stradivari, construído pelo próprio autor (Figuras 21 e 22). O violino foi feito com a madeira de Abeto (*Picea abies*) no tampo e Grumixava (*Micropholis gardnerianum*) no braço, laterais e fundo. As cordas utilizadas foram da marca Pirastro<sup>®</sup>, modelo Tônica<sup>®</sup>, de tensão média. O mesmo instrumento foi disponibilizado pelo autor para todos os participantes da pesquisa com a mesma configuração, objetivando padronizar os testes.

**Figura 21** – Violino utilizado.



FONTE: O autor (2016).

**Figura 22** – Perfil do violino utilizado.



FONTE: O autor (2016).

### 3.6.5 Configuração dos arcos no momento da avaliação

Durante o processo de construção os arcos foram tingidos com safranina diluída em álcool a 3% antes da aplicação de goma laca, conferindo um aspecto avermelhado às

madeiras dos arcos, semelhante a tonalidade da madeira de pau-brasil. Esse procedimento seria útil caso fosse dispensado o uso de uma venda durante os testes, mas, após a confirmação da viabilidade do uso de um protetor facial sobre os olhos em teste preliminar, o tingimento dos arcos passou a ser desnecessário, embora tenha servido para conferir ao ipê coloração semelhante à do pau-brasil. A crina utilizada nos arcos foi crina originária da Mongólia com 863 mm de comprimento (34 polegadas). O breu (resina para crina de arco) usado foi da marca Hill<sup>®</sup>, tipo escuro.

### 3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS REALIZADAS

Para avaliação dos resultados obtidos com a determinação das propriedades anatómicas, foram realizadas análises de variância (ANOVA), com testes de comparação múltiplas pelo método de Tukey de diferença honestamente significativa (*HSD - Honestly Significant Difference*). Para os casos dos dados nos quais foram constatadas anormalidades de distribuição, foram realizadas análises não paramétricas pelo método de comparação das medianas de Kruskal-Wallis. Os mesmos métodos foram adotados para a análise estatística dos resultados das avaliações sensoriais dos arcos construídos.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 SELEÇÃO DA MADEIRA DE IPÊ PARA ARCOS

As propriedades e características sugeridas na literatura como critérios de seleção de madeiras de pau-brasil, com qualidade potencial para arcos de violino, segundo Angyalossy et al. (2005) e Alves et al. (2008), serviram de maneira análoga para selecionar as madeiras de ipê. No entanto, isso não fez do processo de seleção da madeira uma tarefa simples ou fácil. Em proporção à quantidade de madeira analisada nas madeireiras, devido ao grau de especificidade requerido, poucas tábuas apresentaram as características mínimas recomendadas pela literatura, pois, de algumas pilhas analisadas foram encontradas apenas 9 peças aparentemente adequadas para confecção de arcos de violino. Isso aponta para uma questão sobre qual proporção de tábuas que determinada quantidade de madeira de ipê teria as características desejáveis para a confecção de arcos. Segundo Planta (1980), a partir de determinada quantidade de pau-brasil poderiam ser aproveitados cerca de 8 % a 10 % para construção de arcos.

A maior dificuldade ao selecionar madeira para arcos foi encontrar tábuas com o corte em sentido radial e, além disso, que tivessem bom alinhamento da grã, o que para Angyalossy et al. (2005) é uma condição preliminar para obter madeiras de boa qualidade para arcos. Isto é causado pela utilização de cortes sucessivos paralelos entre si durante o desdobro de madeiras segundo Murara (2005), resultando em pequena quantidade de tábuas radiais e grande parte tangenciais. Também a dimensão das peças, no caso de tábuas para deque e assoalhos com espessura nominal de 20 mm, impossibilitou a adaptação do corte à disposição radial dos anéis de crescimento da madeira, fazendo com que algumas tábuas tivessem de ser excluídas da seleção, mesmo apresentando outras características desejáveis.

### 4.2 IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS

Após análise anatômica todas as amostras foram identificadas como sendo do gênero: *Handroanthus*, de sinônimo: *Tabebuia*, conhecido pelo nome de ipê, pertencente à família *Bignoniaceae*. Devido ao desconhecimento da origem das amostras não se pode afirmar com certeza de que espécie provém a madeira, no entanto, as amostras apresentaram características anatômicas muito semelhantes à espécie *Handroanthus serratifolius* de acordo com dados da IAWA (1989a). Segundo Andrade (2015) esta espécie ocorre nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Bahia, Espírito Santo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná, Rio Grande do Sul, Rondônia e São Paulo.

**Tabela 5** – Dados anatômicos quantitativos e qualitativos das amostras de ipê.

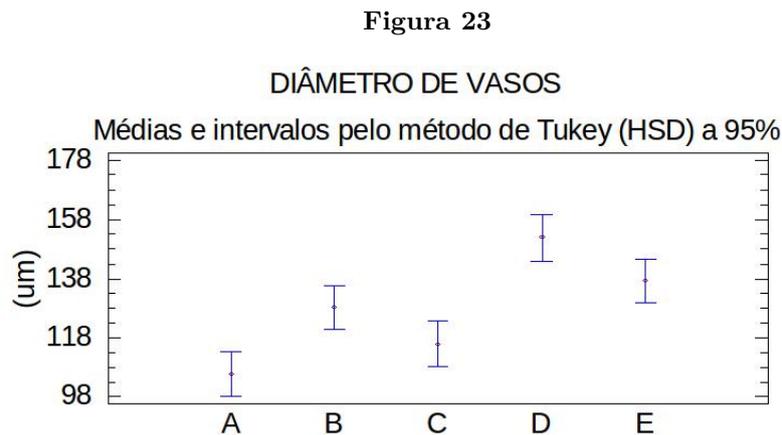
Família/gênero	Vasos		Parênquima Axial				Raios			
	Diâmetro ( $\mu\text{m} \pm \sigma$ )	Frequência (vasos/ $\text{mm}^2 \pm \sigma$ )	Aliforme	Confluente	Faixas	Marginal	Frequência (raios/mm)	Altura ( $\mu\text{m} \pm \sigma$ )	Largura ( $\mu\text{m} \pm \sigma$ )	Estratificação
BIGNONIACEAE										
<i>Handroanthus</i> spp.										
A	105,69 $\pm$ 14,83	12,63 $\pm$ 1,80	-	-	-	+	8,76	173,68 $\pm$ 32,81	28,56 $\pm$ 5,07	sim
B	124,85 $\pm$ 34,11	11,53 $\pm$ 1,99	$\pm$	$\pm$	-	+	9,16	174,32 $\pm$ 14,61	27,91 $\pm$ 7,50	sim
C	116,02 $\pm$ 20,62	11,86 $\pm$ 2,78	+	+	$\pm$	+	7,20	164,16 $\pm$ 21,21	28,17 $\pm$ 6,12	sim
D	148,03 $\pm$ 26,26	9,66 $\pm$ 1,78	+	$\pm$	-	+	7,03	239,87 $\pm$ 33,31	35,31 $\pm$ 8,04	sim
E	137,31 $\pm$ 15,28	12,16 $\pm$ 2,00	-	$\pm$	-	+	7,40	174,27 $\pm$ 21,03	28,81 $\pm$ 4,76	irregular

LEGENDA:  $\sigma$  = desvio padrão; - = ausente;  $\pm$  = não predominate; + = presente.

As amostras apresentaram configuração dos elementos microscópicos semelhantes entre elas (Tabela 5), no entanto, tamanho e disposição de vasos e parênquima<sup>1</sup> apresentaram diferenças em alguns aspectos observados.

#### 4.2.1 Análises estatísticas de elementos de vaso e parênquima

Em relação ao diâmetro de vasos, as menores medidas foram observadas na amostra A e as maiores na amostra D (Figura 23).

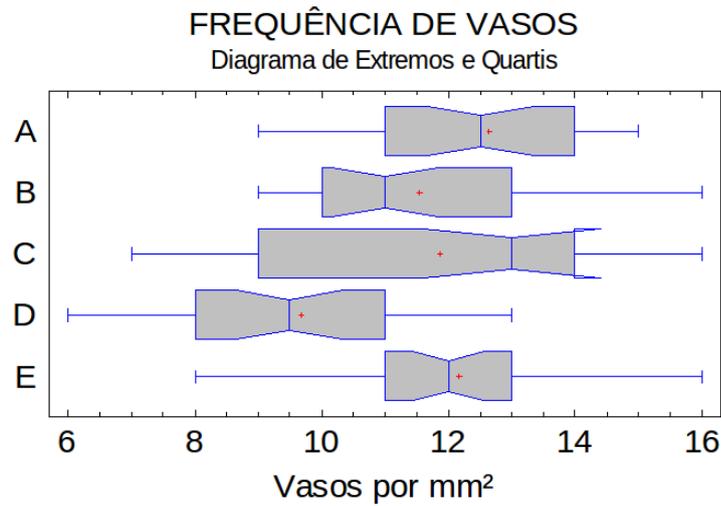


Em análise estatística foram formados quatro grupos homogêneos com diferenças significativas entre as médias: A-C, C-B, B-E e E-D.

Em relação à frequência de vasos por milímetro quadrado a amostra D apresentou a menor média enquanto as amostras A, B, C e E não apresentaram diferença estatística significativa pelo método de Tukey, mas em análise não paramétrica de Kruskal-Wallis, as medianas são significativamente diferentes (Figura 24).

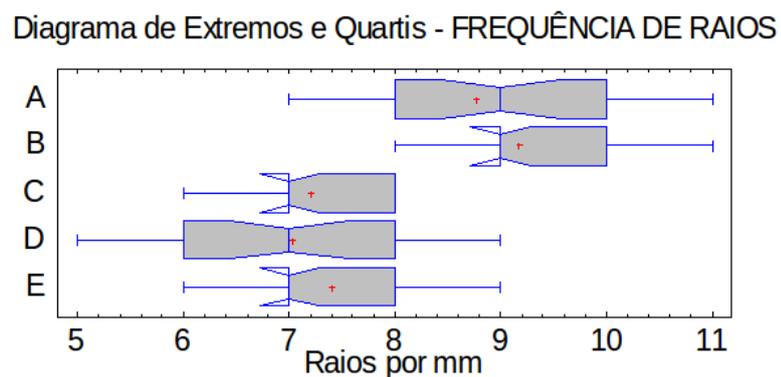
<sup>1</sup> Parênquima são estrutura presentes nas árvores que têm função de armazenar nutrientes. Diferentes espécies contém tipos variados de parênquima e por isso são considerados elementos chave para identificação de madeiras (BURGER; RICHTER, 1991) (IAWA, 1989b).

Figura 24



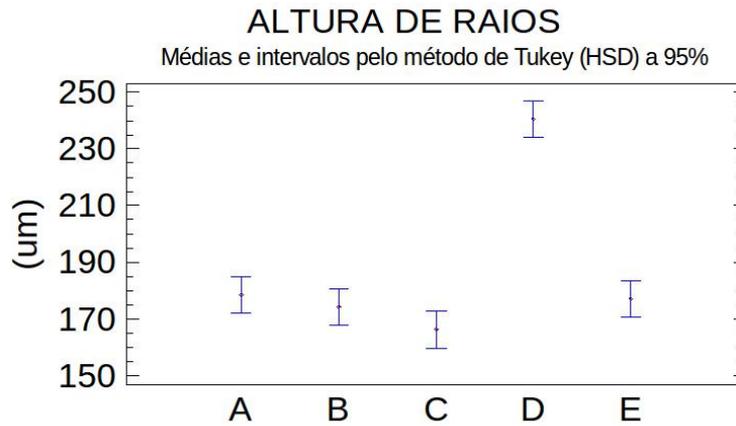
Em relação à frequência de raios por milímetro as amostras A e B apresentaram as maiores médias que se diferenciam estatisticamente pelo método de Tukey das amostras C, D, e E, cujas médias foram menores. Na comparação de medianas o método de Kruskal-Wallis apresenta a mesma diferença entre os grupos (A, B) e (C, D, e E) (Figura 25).

Figura 25



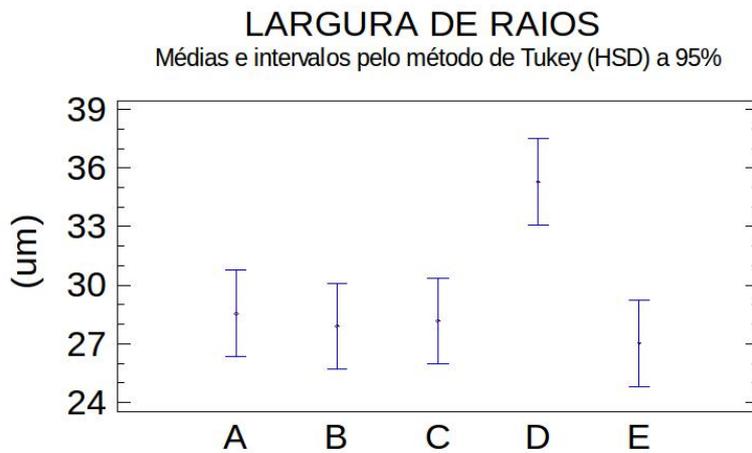
A medida da altura dos raios em teste de comparações múltiplas indica que as amostras A, B, C e E não apresentam diferença significativa entre si, mas são diferentes em relação à amostra D, sendo que esta foi a que apresentou a maior medida de altura de raios (Figura 26).

Figura 26



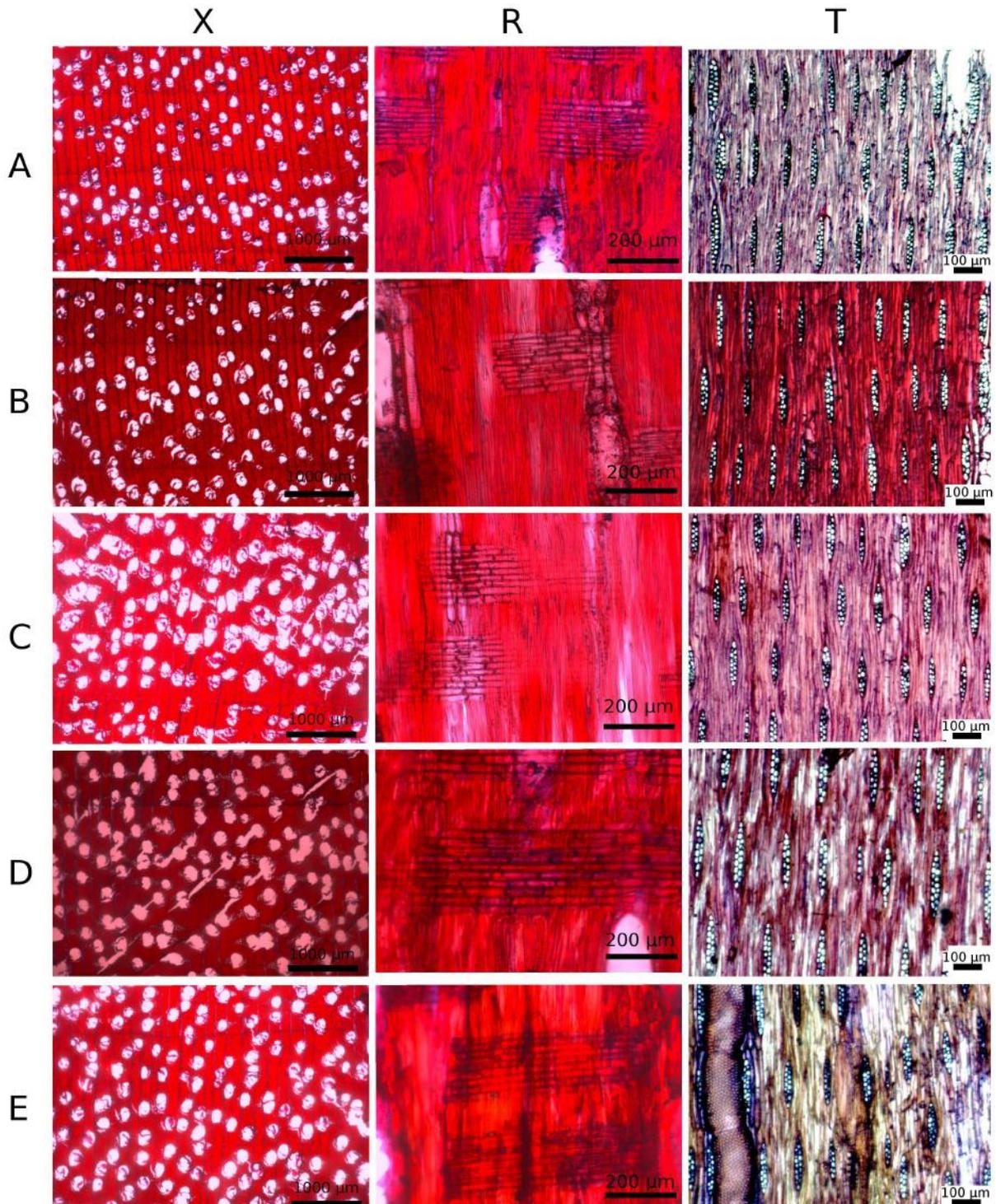
A largura de raios também apresentou a maior medida na amostra D com diferença significativa em relação às amostras A, B, C e E. As amostras A, B, C e E não apresentaram diferença estatística entre si nas medidas de largura de raios (Figura 27).

Figura 27



Foram identificadas diferenças estatísticas entre as características anatômicas observadas nas amostras no que se refere à forma como vasos e parênquima estão dispostos na madeira. Tudo parece estar de acordo com o que foi indicado por Alves et al. (2008) de que as madeiras com bom potencial para arco contém menores quantidade de vasos e parênquima. Porém, em virtude da variação dessas características e da pequena quantidade de amostras deste trabalho, não é possível associar nenhuma delas às preferências dos músicos. No entanto, as amostras com menor frequência de raios coincidiram com aquelas nas quais foram verificados os maiores valores de módulo de ruptura (MOR) nos ensaios de flexão estática, pois maior quantidade de parênquima confere às madeiras baixa resistência mecânica (BURGER; RICHTER, 1991).

Figura 28 – Microfotografia das amostras de ipê.



LEGENDA: Cortes transversal (X), radial (R) e tangencial (T). FONTE: O autor (2016).

NOTA: Imagens obtidas através de microscópio pelo qual foi possível observar as características anatômicas das cinco amostras de ipê.

**Tabela 6** – Comparação anatômica de dados quantitativos de ipê e pau-brasil.

Família/gênero	Vasos		Parênquima Axial				Raios			
	Diâmetro ( $\mu\text{m} \pm \sigma$ )	Frequência (vasos/ $\text{mm}^2 \pm \sigma$ )	Aliforme	Confluente	Faixas	Marginal	Frequência (raios/ $\text{mm}$ )	Altura ( $\mu\text{m} \pm \sigma$ )	Largura ( $\mu\text{m} \pm \sigma$ )	Estratificação
BIGNONIACEAE										
<i>Handroanthus</i> spp.										
A	105,69 $\pm$ 14,83	12,63 $\pm$ 1,80	-	-	-	+	8,76	173,68 $\pm$ 32,81	28,56 $\pm$ 5,07	sim
B	124,85 $\pm$ 34,11	11,53 $\pm$ 1,99	$\pm$	$\pm$	-	+	9,16	174,32 $\pm$ 14,61	27,91 $\pm$ 7,50	sim
C	116,02 $\pm$ 20,62	11,86 $\pm$ 2,78	+	+	$\pm$	+	7,20	164,16 $\pm$ 21,21	28,17 $\pm$ 6,12	sim
D	148,03 $\pm$ 26,26	9,66 $\pm$ 1,78	+	$\pm$	-	+	7,03	239,87 $\pm$ 33,31	35,31 $\pm$ 8,04	sim
E	137,31 $\pm$ 15,28	12,16 $\pm$ 2,00	-	$\pm$	-	+	7,40	174,27 $\pm$ 21,03	28,81 $\pm$ 4,76	irregular
Dados de vasos e parênquima para comparação com valores médios obtidos de amostras de pau-brasil.										
LEGUMINOSAE										
<i>Paubrasilia echinata</i>										
Ilhéus <sup>1</sup>	74,20 $\pm$ 15,10	12,00 $\pm$ 3,20	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	8,20	192,10 $\pm$ 43,50	21,20 $\pm$ 5,30	<i>n/a</i>
Mogi Guaçu <sup>1</sup>	56,20 $\pm$ 10,40	16,60 $\pm$ 3,20	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	9,10	194,50 $\pm$ 38,90	19,90 $\pm$ 4,30	<i>n/a</i>
1ª Classe <sup>2</sup>	108,50 $\pm$ 20,00	13,10 $\pm$ 4,90	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	10,20	229,80 $\pm$ 49,40	18,70 $\pm$ 4,60	<i>n/a</i>
2ª Classe <sup>2</sup>	105,40 $\pm$ 16,30	14,20 $\pm$ 4,40	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	10,60	250,90 $\pm$ 64,60	18,70 $\pm$ 4,20	<i>n/a</i>
3ª Classe <sup>2</sup>	108,30 $\pm$ 17,90	16,70 $\pm$ 5,10	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	11,30	230,30 $\pm$ 65,80	20,30 $\pm$ 5,40	<i>n/a</i>
4ª Classe <sup>2</sup>	108,50 $\pm$ 17,20	18,00 $\pm$ 5,60	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	11,60	250,80 $\pm$ 57,20	20,00 $\pm$ 4,80	<i>n/a</i>

LEGENDA: - = ausente;  $\pm$  = não predominate; + = presente; *n/a*= não aplicável;  $\sigma$  = desvio padrão. 1: FONTE: (AMANO, 2007) médias de valores para 5 amostras vindas de Ilhéus-BA e 5 amostras de Mogi Guaçu-SP. 2: FONTE: (ALVES et al., 2008) dados anatômicos de pau-brasil classificado por qualidade potencial para arcos.

O diâmetro médio dos elementos de vaso do ipê em comparação ao pau-brasil foram maiores, mas menos frequentes (Tabela 6). As medidas de raios encontradas nas amostras de ipê tiveram menor frequência e menor altura de raios, mas a largura foi maior do que as encontradas no pau-brasil, usando como referência os trabalhos de Alves et al. (2008) e Amano (2007). Os dados corroboram as inferências de Longui et al. (2010b).

### 4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE IPÊ UTILIZADA NA CONFECÇÃO DOS ARCOS

Após ensaio mecânico, cada amostra apresentou as propriedades descritas na Tabela 7.

**Tabela 7** – Propriedades das amostras de ipê: A, B, C, D e E.

Amostra	Densidade ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	MOE (MPa)	MOR (MPa)	Umidade (%)
A	1.169	18.210	196	13
B	1.032	18.768	202	14
C	1.019	18.392	214	11
D	1.167	21.147	230	11
E	1.100	20.922	219	12

#### 4.3.1 Densidade

A amostra A foi a que apresentou a maior densidade e a amostra C foi a que apresentou a menor em relação às outras amostras. Isso pode estar associado à maior quantidade de parênquima axial na amostra C, pois segundo Wiedenhoeft (2010), densidade é relativa não só à espessura da parede celular, mas também à quantidade de espaços vazios nas células de vaso e parênquima. Através da Figura 28 é possível observar maior porosidade na amostra C comparando as cinco amostras.

#### 4.3.2 Módulo de elasticidade

Os valores de MOE estavam dentro do mínimo considerado adequado à confecção de arcos com a espécie *Paubrasilia echinata* (17.650 MPa para MOE) recomendados por Alves et al. (2008). A ordem das amostras, do maior para o menor valor de MOE, foi: D, E, B, C e A (Tabela 7).

#### 4.3.3 Módulo de ruptura

O valor de MOR para A e B foram os mais baixos e para C, D e E foram mais altos, mas ambos os valores estavam dentro de mínimo recomendado (196 MPa para MOR)

(ALVES et al., 2008). Isso pode estar associado à característica anatômica das amostras referente à frequência de raios por mm. Comparando todas as amostras houve dois grupos homogêneos nesse critério: amostras A e B, que contêm mais raios por milímetro; e as amostras C, D e E que contêm menos raios por milímetro e coincidentemente apresentam o mesmo agrupamento de valores para MOR na Tabela 7. A ordem das amostras pelo valor de MOR, do maior para o menor foi: D, E, C, B e A.

#### 4.3.4 Medições com *Lucchimeter*

As medições das amostras de madeiras que foram selecionadas para esta pesquisa tiveram variação de 5.145 m/s a 5.616 m/s de velocidade de propagação sonora com o medidor ultrassônico e seguiram a ordem B, D, C, E e A, da maior para a menor medida (Tabela 8). A madeira das amostras A e E estão um pouco abaixo de um limite mínimo de valores encontrados em madeiras classificadas como de alto potencial para arcos de pau-brasil, que foi de 5.300 m/s em estudos realizados por Alves et al. (2008). As madeiras das amostras C e D estão no limite de 5.300 m/s e a madeira B está acima desse limite.

**Tabela 8** – Velocidade de propagação sonora obtida com o aparelho *Lucchimeter*.

Amostra	Lucchimeter (m/s)
A	5.145
B	5.616
C	5.290
D	5.300
E	5.221

#### 4.3.5 Medidor de Ondas de Tensão - *Stress Wave Timer* (SWT)

Com os dados obtidos das amostras pelo medidor de ondas de tensão, foi possível calcular a velocidade de propagação sonora, estimar o módulo de elasticidade dinâmico e através de método não destrutivo estimar o índice de desempenho (*PI*) (Tabela 9).

**Tabela 9** – Propriedades estimadas por método não destrutivo.

Amostra	Tempo (ms)	Velocidade (m/s)	MOE <sub>din</sub> (MPa)	PI*
				$\frac{\sqrt{MOE_{din}}}{\rho}$
A	68	4118	20.211	0,121
B	61	4590	22.172	0,144
C	56	5000	25.977	0,158
D	64	4375	22.777	0,129
E	64	4375	21.469	0,133

LEGENDA: \*PI = Índice de desempenho, do Inglês *Performance Index*.

#### 4.3.6 Índice de desempenho - *Performance Index* (PI)

Através do valor do MOE dos ensaios destrutivos de flexão estática e da densidade das amostras, foi calculado o valor de *PI*. Também, através da velocidade de propagação sonora obtida, tanto pelo medidor de ondas de tensão (SWT) quanto pelo medidor ultrassônico *Lucchimeter*, estimou-se o valor do MOE<sub>din</sub>. Calculando esses dados junto com os valores de densidade, foi estimado o valor de *PI* por método não destrutivo.

**Tabela 10** – Índice de desempenho estimado por método destrutivo e não destrutivo.

		Método			
Destrutivo		Não destrutivo			
Amostra	PI	Amostra	PI (SWT)	Amostra	PI (Lucchimeter)
	$(\frac{\sqrt{MOE}}{\rho})$		$(\frac{\sqrt{MOE_{din}}}{\rho})$		$(\frac{\sqrt{MOE_{din}}}{\rho})$
C	0,133	C	0,158	B	0,174
B	0,132	B	0,144	C	0,165
E	0,131	E	0,133	D	0,155
D	0,124	D	0,129	E	0,155
A	0,115	A	0,121	A	0,150

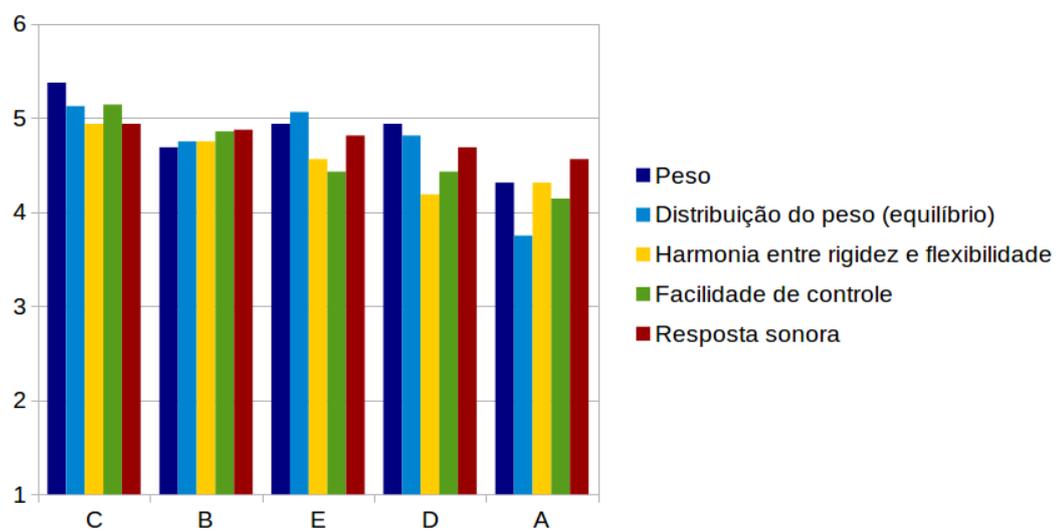
Ordenando os índices de desempenho obtidos por ensaio de flexão estática e os índices obtidos pelo medidor de ondas de tensão (SWT), a ordenamento foi idêntico conforme Tabela 10. No entanto, os valores de *PI* obtidos através do medidor *Lucchimeter* apresentaram ordem diferente do índice de *PI* obtido através dos ensaios de flexão estática das amostras, pois os valores de velocidade obtidos com os dois aparelhos foram diferentes.

#### 4.4 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO SENSORIAL DOS ARCOS

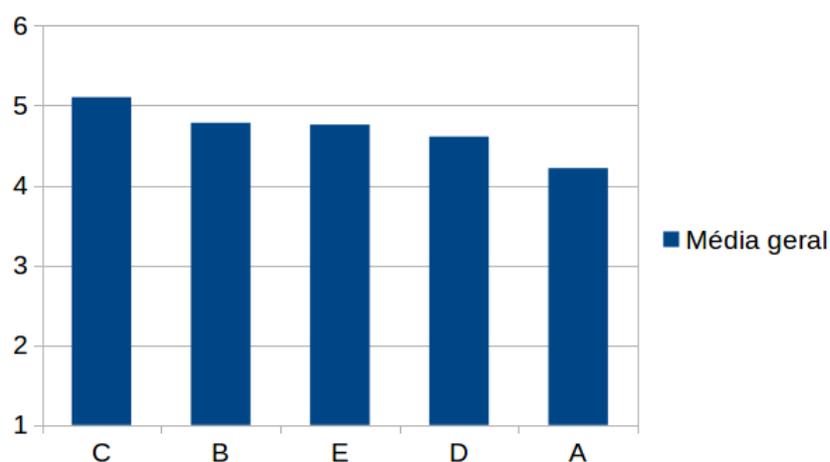
##### 4.4.1 Avaliação geral dos arcos de ipê

A média das notas para cada critério (Figura 29.) e a média geral (Figura 30.) indicaram que o arco feito com a amostra C obteve a melhor média na avaliação feita pelos músicos sobre os critérios estabelecidos, e que o arco feito com a amostra A teve a pior avaliação, embora todos os arcos, na média, estejam com avaliações acima de 4 e um deles acima de 5 numa escala de 1 a 6.

**Figura 29** – Médias dos valores atribuídos aos arcos, com cada critério isolado, em ordem decrescente.



**Figura 30** – Média geral dos arcos avaliados em ordem decrescente.

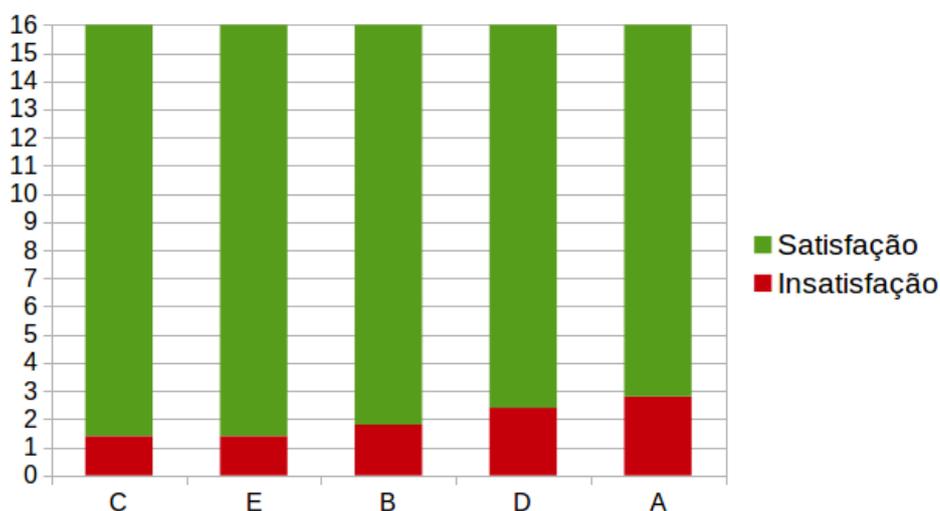


A maioria dos músicos manifestou algum nível de satisfação em relação ao funcionamento dos arcos numa primeira impressão às cegas. De acordo com a Tabela 11 é possível observar um elevado percentual de manifestações positivas sobre as características avaliadas nos testes com os arcos.

**Tabela 11** – Percentual do tipo de impressão obtida nas avaliações dos arcos.

Impressão	Arco				
	A	B	C	D	E
Satisfação	82,5%	88,75%	91,25%	85%	91,25%
Insatisfação	17,5%	11,25%	8,75%	15%	8,75%

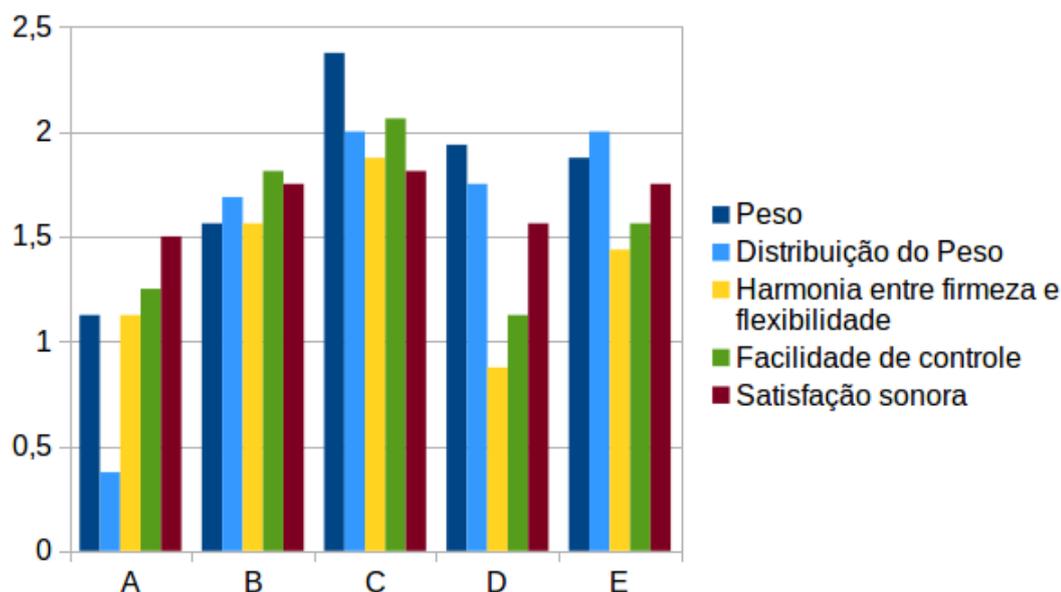
Se representada graficamente a proporção de satisfações em relação às insatisfações atribuídas aos arcos pelos músicos teremos o ilustrado na Figura 31.

**Figura 31** – Proporção de satisfações em ordem decrescente, com insatisfações em relação ao total de avaliações.

Para visualizar com mais clareza o impacto causado pelos diferentes níveis de satisfação ou insatisfação, através dos dados das avaliações foi calculada a média ponderada. Isso consistiu em atribuir valores positivos para satisfação e negativos para insatisfação de acordo com a Tabela 12. Desta forma foi evidenciado com qual intensidade os graus de satisfação atribuídos pelos avaliadores interferiram nos resultados (Figura 32).

**Tabela 12** – Peso atribuído aos graus de satisfação.

Impressão Grau	INSATISFAÇÃO			SATISFAÇÃO		
	Total	Moderada	Pequena	Pequena	Moderada	Total
Nota	1	2	3	4	5	6
Peso	-3	-2	-1	1	2	3

**Figura 32** – Média ponderada pelos diferentes níveis de satisfação por critério em cada arco.

NOTA: Numa escala de  $-3$  a  $+3$  onde:  $-3$  quer dizer totalmente insatisfeito; e  $+3$  que dizer totalmente satisfeito, indicadores distanciados do eixo X representam maior índice de satisfação e indicadores próximos ao eixo X representam maior índice de insatisfação para determinado critério. Não há valores negativos pois, em todos os casos, a frequência de satisfações é superior às de insatisfações.

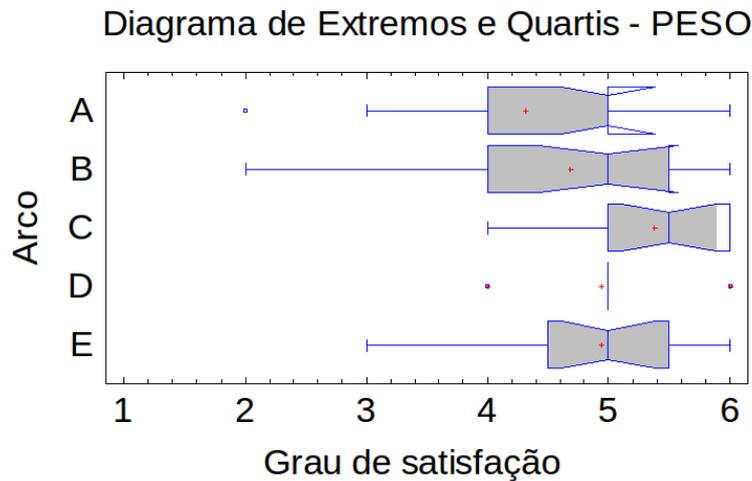
Observando a variância entre as médias dos critérios na Figura 32, o ordenamento das amostras, da menor variância para a maior, é apresentado na sequência: B, C, E, A e D.

#### 4.4.2 Análise estatística

##### 4.4.2.1 Peso

Análises realizadas com os dados relativos ao critério *peso dos arcos* mostraram que existe diferença estatística significativa, apenas para as notas atribuídas ao arco feito da amostra C em relação aos outros, como mostrado na Figura 33. Isso significa que houve tendência de atribuir notas mais altas para arco mais leve dentre os cinco arcos, o qual tinha 59,4g.

**Figura 33** – Notas atribuídas aos arcos para o critério *peso*.

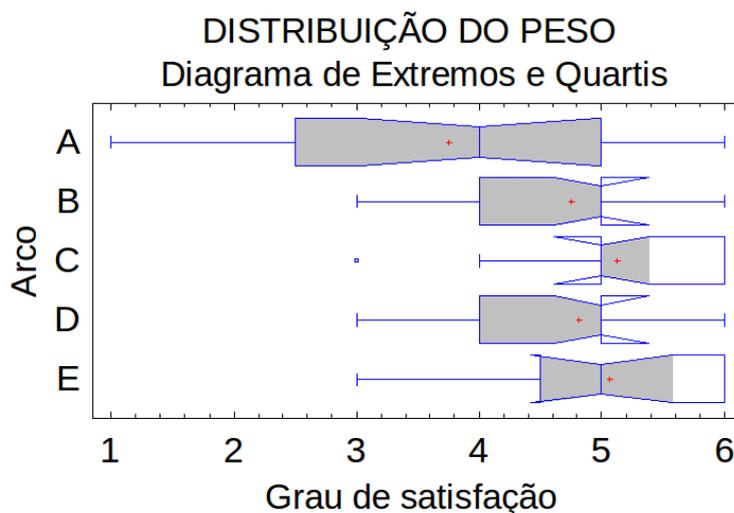


NOTA: Notas atribuídas à arcos feitos com a madeira de ipê, submetidos à avaliação de violinistas profissionais, em teste cego, numa escala de 1 a 6, onde 1 significa: totalmente insatisfeito e 6 significa: totalmente satisfeito.

#### 4.4.2.2 Distribuição do peso

No critério *distribuição do peso*, o arco feito da amostra A teve a pior avaliação entre os arcos e se diferencia estatisticamente dos demais (Figura 34). Coincidentemente, o arco da amostra A é o arco mais pesado e os arcos C e E, cujas notas tendem à direita do gráfico e representam os mais bem avaliados, são os mais leves com 59,4g e 59,6g respectivamente.

**Figura 34** – Notas atribuídas aos arcos para o critério *distribuição do peso*.

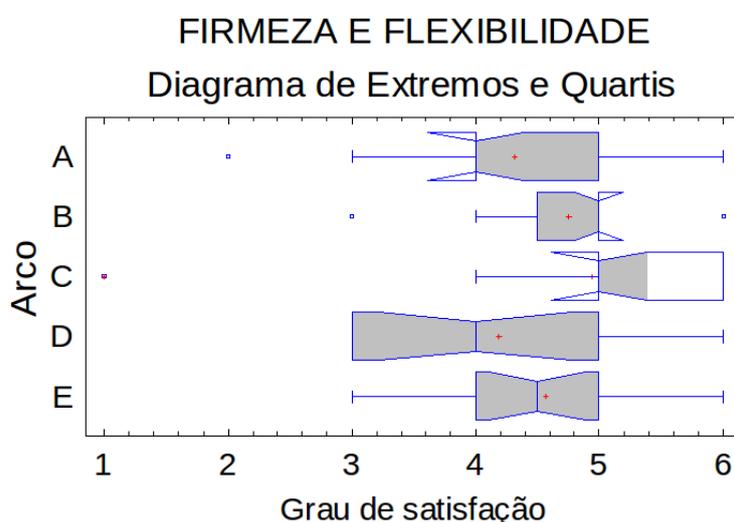


NOTA: Notas atribuídas à arcos feitos com a madeira de ipê, submetidos à avaliação de violinistas profissionais, em teste cego, numa escala de 1 a 6, onde 1 significa totalmente insatisfeito e 6 significa totalmente satisfeito.

#### 4.4.2.3 Firmeza e Flexibilidade

As percepções sobre a combinação entre *firmeza e flexibilidade* nos arcos apresenta diferenças em análises não paramétricas e através da Figura 35 é possível observar que o arco da amostra D foi o que obteve a menor mediana e a menor média de notas atribuídas pelos avaliadores. Os arcos feitos das amostras C e B respectivamente obtiveram os melhores resultados nesse critério. A ordem apresentada nesse critério foi: C, B, E, A e D.

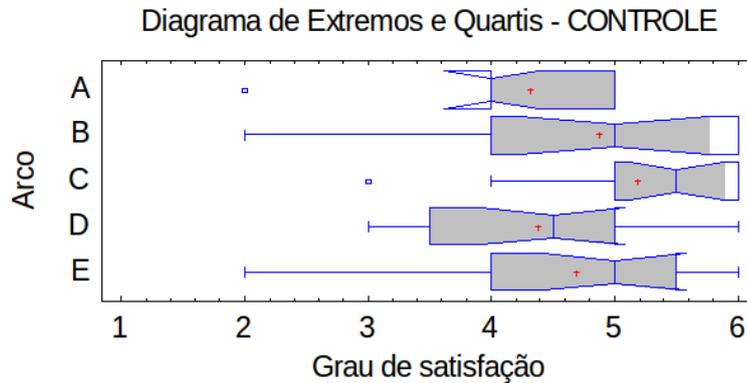
**Figura 35** – Notas atribuídas aos arcos para o critério *firmeza e flexibilidade*.



NOTA: Notas atribuídas à arcos feitos com a madeira de ipê, submetidos à avaliação de violinistas profissionais, em teste cego, numa escala de 1 a 6, onde 1 significa totalmente insatisfeito e 6 significa totalmente satisfeito.

#### 4.4.2.4 Facilidade de controle

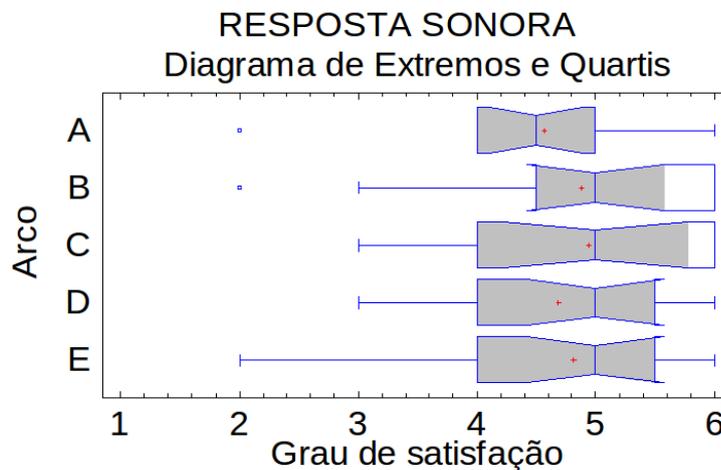
A avaliação do critério *facilidade de controle* (Figura 36) seguiu ordem semelhante para as notas atribuídas aos arcos sob o critério *firmeza e flexibilidade* (Figura 35), Isso denota uma interação proporcional entre esses dois critérios. C e B obtiveram os melhores resultados respectivamente, sendo que a amostra C teve tendência de receber notas entre 5 e 6, enquanto B apresentou tendência de receber notas entre 4 e 5. A ordem dos arcos que se apresentou nesse critério foi C, B, E, D e A.

**Figura 36** – Notas atribuídas aos arcos para o critério *facilidade de controle*.

NOTA: Notas atribuídas à arcos feitos com a madeira de ipê, submetidos à avaliação de violinistas profissionais, em teste cego, numa escala de 1 a 6, onde 1 significa totalmente insatisfeito e 6 significa totalmente satisfeito.

#### 4.4.2.5 Resposta sonora

As notas atribuídas aos arcos sob o critério de *resposta sonora*, não apresentaram médias significativamente diferentes pelo método de Tukey. Em análises não paramétricas, comparando-se as medianas, a amostra A obteve grau de satisfação ligeiramente menor em relação aos outros arcos (Figura 37).

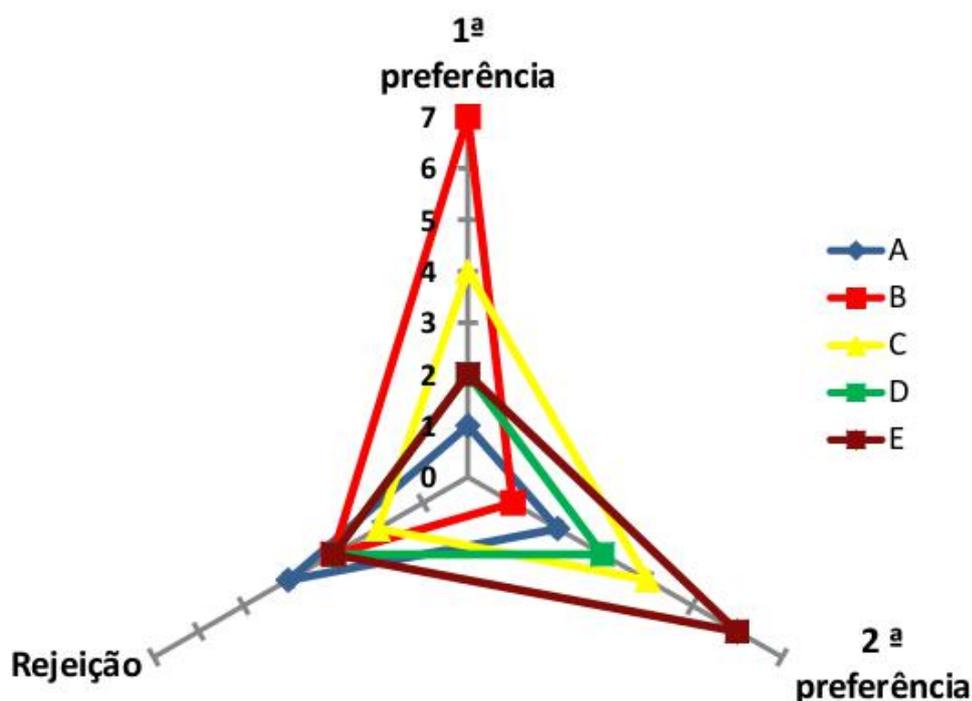
**Figura 37** – Notas atribuídas aos arcos para o critério *resposta sonora*.

NOTA: Notas atribuídas à arcos feitos com a madeira de ipê, submetidos à avaliação de violinistas profissionais, em teste cego, numa escala de 1 a 6, onde 1 significa totalmente insatisfeito e 6 significa totalmente satisfeito.

### 4.4.3 Preferência dos violinistas

Sobre a preferência dos violinistas os resultados mostram que, apesar das maiores notas em critérios separados terem sido atribuídas ao arco da amostra C, o arco feito da amostra B foi o que apresentou a maior preferência de acordo com a Figura 38. A ordem de preferência ocorrida foi: B, C, E, D, A, do mais preferido para o menos preferido. Organizando os dados das avaliações do arco mais rejeitado para o menos rejeitado obteve-se: arco A com a maior rejeição; arcos B, E e D com a mesma frequência de rejeição e C com a menor rejeição. Neste quesito um dos músicos afirmou que não rejeitaria arco algum, mas que conseguiria tocar com todos apesar de suas particularidades. O arco feito da amostra A foi, não só o menos preferido, como também o mais rejeitado.

**Figura 38** – Frequência de preferências e rejeições referidas a cada arco.



NOTA: Frequência com que cada arco foi escolhido como 1ª ou 2ª preferência, combinada com sua frequência de rejeição, a partir da impressão de desempenho obtida pelos músicos em avaliação sensorial às cegas.

### 4.4.4 Fatores relacionados aos casos de insatisfação na avaliação dos arcos

Foi acordado com os avaliadores antes da realização dos testes que as notas 1, 2 e 3 expressariam algum grau de insatisfação em relação aos critérios adotados nesta pesquisa. Além disso, quando o quesito apresentado era relativo ao peso e à harmonia entre firmeza e flexibilidade do arco, foi solicitado ao avaliador dos arcos, que em caso de

insatisfação justificasse o motivo aparente. Com isso tentou-se identificar a causa de sua insatisfação que podia ser em decorrência da falta ou do excesso de peso; ou do excesso de flexibilidade ou rigidez.

**Tabela 13** – Motivo e frequência do registro de insatisfação por arco.

Insatisfação	A	B	C	D	E
Por falta de peso	0	0	0	0	0
Por excesso de peso	3	2	0	0	1
Por excesso de flexibilidade	2	3	0	4	2
Por excesso de rigidez	1	0	1	1	0
Pela distribuição inadequada de massa	6	1	2	1	1
Pela dificuldade de controlar	1	1	2	4	2
Pela qualidade sonora	1	2	2	2	1

De acordo com os dados da Tabela 13, com exceção do arco A, poucos avaliadores manifestaram insatisfação sobre os arcos em proporção ao total de 16 participantes. Chama atenção o fato de nenhum músico manifestar insatisfação em relação à falta de massa dos arcos, pois os casos de insatisfação relativos ao critério *peso dos arcos* foram devidos à sensação de excesso de massa. Durante os testes, atribuições de insatisfação devidas à percepção de peso excessivo aconteceu 6 vezes ao todo e para três arcos com pesos totalmente diferentes: 3 vezes para o arco A com 61,6g, 2 vezes para o arco B com 60,6g e uma vez para o arco E com 59,6g. Os arcos feitos das amostras C e E foram os que obtiveram o menor número de atribuições de insatisfação.

#### 4.4.5 Entrevista

Durante entrevista, dos 16 violinistas participantes 15 deles afirmaram que utilizariam alguns dos arcos profissionalmente. Todos afirmaram estarem acostumados a tocar com arcos de pau-brasil e apenas um dos participantes disse que, naquele momento, o seu arco principal não era de pau-brasil e que estava usando temporariamente um arco de fibra de carbono. Nove participantes afirmaram que possuem e utilizam profissionalmente mais de um arco. Ao serem questionados se já haviam experimentado arcos feitos de outros materiais, do total de 16 violinistas, 15 afirmaram já ter experimentado outros materiais que estão relacionados na Tabela 14.

**Tabela 14** – Materiais utilizados em arcos já testados pelos violinistas participantes.

Material	Frequência
Fibra de carbono	14
Pau-cobra	6
Ipê	4
Maçaranduba	3

Observando as afirmações dos violinistas sobre os motivos que os levaram a escolher os arcos de sua preferência é possível perceber algumas coincidências, embora haja muita divergência de opiniões a respeito de um mesmo arco. No grupo dos arcos de 1ª preferência (Tabela 15), grande parte das escolhas estiveram relacionadas à aspectos sonoros. Os arcos apontados como 2ª preferência pelos violinistas tiveram o motivo de sua escolha bastante variado, pois em geral houve algum aspecto menos agradável em relação ao arco da primeira escolha. Porém, as afirmações muitas vezes denotavam que o arco escolhido como 2ª preferência era de alguma forma similar ao escolhido como 1ª preferência. No grupo dos arcos que seriam rejeitados pelos músicos (Tabela 16), os motivos foram bastante relacionados à dificuldade de controlar o arco e o aspecto sonoro teve menor impacto a partir das afirmações dos participantes em comparação aos arcos preferidos.

**Tabela 15** – Motivo da escolha dos arcos como 1ª preferência.

Arco	Motivo
A	Peso e som bons.
B	Pelo som, estabilidade e peso adequado; Rigidez, resposta, peso adequado; Resposta; Sonoridade; Boa impressão geral; Som e controle; Conjunto, timbre e resposta.
C	Apesar de ser leve, responde bem; Resposta e pelo conjunto; Som, timbre encorpado, agrada no geral; Facilidade de controlar e resposta sonora.
D	Facilidade de controle; Facilidade de controlar.
E	Controle, estabilidade e som; Controle, peso adequado.

NOTA: Expressões verbalizadas pelos avaliadores sobre o porquê da escolha dos arcos como 1ª preferência.

**Tabela 16** – Motivos de rejeição dos arcos.

Arco	Motivo
A	Pesado; Não obedece e é pesado; Pesado, dificuldade de controlar; Mole e pesado.
B	Difícil de controlar; Dificuldade de controle; Som não agrada.
C	Muito rígido; Dificuldade de controle.
D	Dificuldade de controle, peso e equilíbrio bons mas não tem a tensão correspondente. Dificuldade para controlar; Dificuldade de controlar e resposta sonora ruim.
E	Difícil de controlar; Dificuldade de controle; Difícil de controlar.
	Não rejeitaria nenhum arco.

NOTA: Expressões verbalizadas pelos avaliadores sobre porquê rejeitariam algum arco entre os cinco.

#### 4.5 PROPRIEDADES E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS ARCOS DE IPÊ

A qualidade de desempenho dos arcos construídos com a madeira de ipê nesta pesquisa, até certo nível, foi determinada pelas propriedades do material empregado e da forma como sua configuração foi definida, em acordo com afirmações de Wegst (2006), pois, os arcos para os quais foram atribuídos os maiores graus de satisfação, também foram os que registraram a maior qualidade potencial através de ensaios laboratoriais. No entanto, depois de certo nível, devido às diferentes opiniões de instrumentistas sobre um mesmo arco, o conceito de qualidade dependeu exclusivamente da interpretação particular do violinista, porque, em alguns casos, um arco considerado bastante satisfatório por alguns violinistas também foi considerado insatisfatório por outros. Ademais, sobre a qualidade da produção sonora avaliada pelos músicos durante o teste com os arcos, não se pode ignorar a importância e a complexidade das interações acústicas entre arco e violino realizadas através do seu manuseio pelo violinista (GOUGH, 2012). No presente caso a preferência de qualidade sonora expressada por músicos foi maior para o arco da amostra B, que coincidiu com o valor mais alto de velocidade de propagação sonora medida pelo aparelho *Lucchimeter*. No entanto, o medidor de ondas de tensão (SWT) registrou a maior velocidade de propagação sonora para o arco da amostra C, cujas médias das notas atribuídas pelos músicos, em todos os critérios, foram as maiores. Analisando os dados das Figuras 29 e 32, o arco feito da amostra B obteve a menor variância entre as médias das notas para todos os critérios e isso pode ser uma das razões pelas quais este arco obteve a

1ª preferência pela maioria dos músicos, como se este possuísse a melhor equalização entre os critérios analisados. Devido à pequena quantidade de dados obtidos, não é possível identificar uma relação estatística significativa entre as notas para o critério de *resposta sonora* e os valores das medições de *Lucchimeter* ou de SWT das amostras. Contudo, embora ambos os métodos tenham sido eficazes para identificar madeiras com potencial para construção de arcos, o índice de desempenho (*PI*) estimado pelo aparelho *Stress Wave Timer* foi mais preciso ao classificar as amostras, pois, não só os valores obtidos através de ensaios de flexão estática, mas também a média das notas atribuídas aos arcos foram ordenadas de forma idêntica à classificação obtida por este aparelho.

Observando o comportamento dos dados de: *firmeza e flexibilidade* (Figura 35), *facilidade de controle* (Figura 36) e a média ponderada (Figura 32), o arco feito da amostra D apresenta resultados desproporcionais em relação aos outros arcos, possivelmente pela falta de espessura na conformação da haste do arco durante o processo construtivo, pois, o índice de desempenho estimado para a madeira e as observações de alguns avaliadores, denotam que a amostra D poderia alcançar um resultado melhor como arco do que a amostra A se sua resistência à flexão fosse maior. Isso seria possível de se conseguir caso o diâmetro do arco D fosse ligeiramente maior, porém haveria aumento de massa. Do ponto de vista da construção de arcos, tudo reforça o que afirma Beament (1997) sobre sentir a flexibilidade da madeira e a partir dessa percepção definir o diâmetro apropriado do arco ao longo de sua extensão.

Tratando-se da avaliação prévia da qualidade da madeira feita pelo construtor de arcos, grande atenção deve ser dada à densidade da madeira, que é uma propriedade que tem grande influência na qualidade potencial de madeiras para arcos (SCHIMLECK et al., 2009), (LONGUI et al., 2012) e pode ser medida sem grandes dificuldades através do método de balança hidrostática. Usando como exemplo o caso da amostra D, mesmo que dela tenham sido obtidos os maiores valores de MOE e MOR, e que o peso do arco feito com ela (60,9g) tenha sido considerado adequado pela maioria dos músicos (Figura 33), sua alta densidade ( $1.167 \text{ kg/m}^3$ ) resultou no 2º menor índice de desempenho (*PI*) entre as cinco amostras. Como as espessuras do arco feito com essa amostra foram ajustadas para ficarem dentro da faixa de massa de 58g a 62g, a perda de resistência à flexão foi notável nas avaliações realizadas pelos violinistas. Foram 4 indicações de insatisfação em relação ao excesso de flexibilidade e também 4 indicações motivadas pela dificuldade para controlar o arco da amostra D de acordo com a Tabela 13. Atenção especial deve ser dada ao fato de que, hipoteticamente, se o mesmo valor de MOE estivesse presente em madeiras com densidades diferentes, a madeira menos densa teria um índice de desempenho maior. Isso significa que, para fazer arcos com madeiras mais densas, elas também teriam que ser mais resistentes à flexão para compensar a perda de resistência devido ao desbaste na tentativa de ajustar seu peso. Também é importante levar em consideração que se uma madeira tiver densidade muito abaixo de  $1000 \text{ kg/m}^3$ , com valores relativamente

altos de MOE e um arco for feito com ela, ele pode ficar abaixo de uma faixa de massa considerada adequada pelos músicos. Neste sentido, se for deixado material a mais no arco com o objetivo de compensar sua massa em função da densidade, isso poderá torná-lo excessivamente rígido e resultar num arco tecnicamente ruim.

Arcos feitos de madeira de ipê com densidade entre  $1.019 \text{ kg/m}^3$  e  $1.100 \text{ kg/m}^3$  associada a valores de MOE relativamente altos (de  $18.392 \text{ MPa}$  a  $20.922 \text{ MPa}$ ) através de ensaios de flexão estática foram melhor avaliados na prática através deste estudo (amostras B, C e E), pois as médias das avaliações feitas pelos músicos seguiram a mesma ordem de qualidade potencial estimada pelo *PI* das amostras por método destrutivo.

Através do método adotado nesta pesquisa, arcos feitos das amostras A e D, cujos valores de densidade aparente foram os mais altos, obtiveram as menores médias das notas atribuídas pelos músicos. Ao que tudo indica, seria possível construir um arco para violino a partir da amostra D que obteria desempenho técnico um pouco melhor desde que fosse deixado com um pouco mais de massa. Para a amostra A confirmou-se que as propriedades presentes nessa peça estão abaixo de um limite mínimo necessário para se obter um arco de desempenho técnico expressivamente satisfatório no meio profissional.

## 5 CONCLUSÕES

A madeira de ipê se mostrou tecnicamente apta para produção de arcos de violino profissionais em teste prático instrumental, excluindo-se o fator sensorial visual, através da avaliação de desempenho técnico feita por violinistas profissionais. Da maneira como os arcos foram construídos e na região onde foram testados, houve preferência pelos arcos feitos das amostras de madeiras relativamente menos densas e com maior índice de desempenho ( $PI$ ) estimado. Este índice de desempenho, que estima elasticidade por unidade de massa distribuída no volume, ordenou as amostras de ipê de forma idêntica, tanto com os dados obtidos por método destrutivo em ensaio de flexão estática, quanto por método não destrutivo com o aparelho medidor de ondas de tensão (SWT). A ordem do índice de desempenho ( $PI$ ) coincidiu com a ordem de atribuições de notas feitas por violinistas para a qualidade de desempenho dos arcos de ipê na prática instrumental. Confirmou-se que o valor de  $PI$  obtido pelo aparelho *Stress Wave Timer* é um bom meio para indicar qualidade potencial de madeiras para construção de arcos. O arco feito da amostra com maior valor de velocidade de propagação sonora, obtida através do aparelho *Lucchimeter*, destacou-se na preferência particular da maioria dos músicos, mesmo não obtendo as melhores avaliações em critérios gerais pelos próprios violinistas. Este arco também obteve a menor variância entre as médias das notas de todos os critérios avaliados. Entre as propriedades físicas, os principais fatores que interferiram na avaliação dos músicos foram: a densidade aparente da madeira, a velocidade de propagação sonora e o módulo de elasticidade. Através das características anatômicas analisadas, a dimensão e a disposição de elementos de vaso e parênquima, isoladamente, não contribuíram para identificar tendências de qualidade potencial da madeira de ipê para arcos.



## REFERÊNCIAS

- ALVES, E. S.; LONGUI, E. L.; AMANO, E. Pernambuco wood (*Caesalpinea echinata*) used in the manufacture of bows for string instruments. *Iawa Journal*, v. 29, n. 03, p. 323–335, 2008.
- AMANO, E. *Pau-brasil, madeira e casca; formação, desenvolvimento e estrutura*. 101 p. Doutorado em Ciências Biológicas — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- ANDRADE, V. H. F. *Modelos de crescimento para Hymenaea courbaril L. e Handroanthus serratifolius (Vahl) S.O. Grose em floresta de terra firme utilizando análise de anéis de crescimento*. 73 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) — UFPR, Curitiba, 2015.
- ANGYALOSSY, V.; AMANO, E.; ALVES, E. S. Madeiras utilizadas na fabricação de arcos de instrumentos de corda: aspectos anatômicos. *Acta Botânica Brasílica*, v. 19, n. 4, p. 819–834, 2005.
- BARBOSA, H. F.; REGO, L. J. S.; PIERO, M. E.; NOCE, R.; OLIVEIRA, J. M. de; GAMA, J. R. V. Risk-return and difference of ipe wood price in Pará and São Paulo markets. *Cerne*, Lavras, v. 20, n. 1, p. 69–72, jan/mar 2014.
- BEAMENT, J. *The violin explained components mechanism and sound*. New York: Oxford University Press, 1997.
- BERNARDINO, J. *O Pau-brasil na História Nacional*. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1939.
- BOYDEN, D. D. *The History of violin playing from its origins to 1761*. New York: Oxford University Press, 2002.
- BRASIL. *Lei nº 6.607, 7 de dezembro de 1978. Declara o Pau-Brasil árvore nacional, institui o Dia do Pau-Brasil, e dá outras providências*. 1978. Brasília, Diário Oficial da União.
- BRASIL. *Portaria N. 006/92-n, de 15 de janeiro de 1992. Lista Oficial de Espécies de Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção*. 1992. Brasília, Diário Oficial da União.
- BRASIL. *Portaria do Ministério do Meio Ambiente nº 443 de dezembro de 2014. Sobre reconhecimento como espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção aquelas constantes da "Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção"*. 2014. Brasília, Diário Oficial da União.
- BUENO, E. *Pau-brasil*. São Paulo: Axis Mundi, 2002.
- BUENO, E. *Naufragos, traficantes e degredados, as primeiras expedições ao Brasil. 1500-1531*. 2. ed. São Paulo: Objetiva, 2006.
- BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. *Anatomia da madeira*. São Paulo: Nobel, 1991.
- CARVALHO, P. *Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira*. Colombo: Embrapa-CNPQ, 1994.

- CAUSSÉ, R.; MAIGRET, J.; C.DICHTEL; J.BENSOAM. Study of violin bow quality. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MUSICAL ACOUSTICS. Perugia, Itália, 2001.
- CEPEA. informativo, *CEPEA - Setor Florestal Nº 149 maio de 2014*. Piracicaba-SP: Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA-ESALQ/USP) – Economia Florestal, 2014.
- CITES. Consideration of proposal for amendment of appendices 1 and 2. Fourteenth meeting of the Conference of the Parties. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, Haia, June 2007.
- COLLINGS, D. *Selecting a Questionnaire Response Scale for Student Feedback Surveys: A Comparison of Psychometric Properties and Student Preferences Among Three Alternatives*. Murdoch: Murdoch University, 2006. (Murdoch University theses: Master of Arts in Social Research and Evaluation, MA).
- COPANT-555. *Métodos de Ensayo de flexión estática*. 1972. Comissão panamericana de normas técnicas.
- DALMORO, M.; VIEIRA, K. M. Dilemas na construção de escalas tipo Likert: o número de itens e a disposição influenciam nos resultados? *Revista Gestão Organizacional*, v. 6, n. Edição Especial, p. 161–174, 2013.
- DONOSO, J. P.; TANNÚS, A.; GUIMARÃES, F.; FREITAS, T. C. A física do violino. *Revista Brasileira do Ensino de Física*, v. 30, n. 2, p. 2305, 2008.
- DOURADO, H. A. *O arco dos instrumentos de corda*. 2ª. ed. São Paulo: Edicon, 1999.
- FÉTIS, F. *Notice of Anthony Stadivari, The Celebrated Violin-Maker Known By The Name of Stradivarius*. London: Robert Cocks and CO., 1864. <<http://imslp.org/wiki/Special:ReverseLookup/92307>> acessado em: janeiro de 2017.
- FOLLMANN, E. V. *Some southamerican exotical hardwoods used in the industry of musical instruments*. 1978. 13 p. Dabahia Industria de Artesanatos LTDA.
- FRITZ, C.; CURTIN, J.; POITEVINEAU, J.; BORSARELLO, H.; WOLLMAN, I.; TAO, F.-C.; GHASAROSSIAN, T. Soloist evaluations of six old italian and six new violins. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Washington, v. 111, n. 20, p. 7224–7229, April 2014.
- GAGNON, E.; BRUNEAU, A.; HUGHES, C. E.; QUEIROZ, L. P. de; LEWIS, G. P. A new generic system for the pantropical caesalpinia group (*Leguminosae*). *Phyto Keys*, n. 71, p. 1–160, 2016.
- GOUGH, C. E. The violin bow: Taper, camber and flexibility. *Acoustical Society of America*, v. 130, n. 6, p. 4152–4163, december 2011.
- GOUGH, C. E. Violin bow vibrations. *Acoustical Society of America*, v. 131, n. 5, p. 4152–4163, may 2012.
- HUBER, J. *Der Geigenmarkt: ein Führer zum Instrumentenkauf*. Frankfurt am Main: E. Bochinsky, 1995. (Fachbuchreihe Das Musikinstrument ; Bd. 59).

- IAWA. *Iside Wood*. 1989. Site: <<http://insidewood.lib.ncsu.edu/description?3>> Acesso em: julho de 2016.
- IAWA. *List of microscopic features for hardwood identification*. 1989. IAWA Bulletin. V. 10, p. 234-329.
- KOLNEDER, W. *The Amadeus Book of the Violin; Construction, History and Music*. Portland: Amadeus Press, 1998.
- LAWSON, C. *The Cambridge Companion to The Orchestra*. New York: Cambridge University Press, 2003.
- LEHMANN, E. *Dictionnaire de la Lutherie et de l'archèterie*. Belgique: Les Amis de la Musique, 2006.
- LONGUI, E. L.; BRÉMAUD, I.; JÚNIOR, F. G. da S.; LOMBARDI, D. R.; ALVES, E. S. Relationship among extrativives, lignin and holocellulose contents with performance index of seven wood species used for bows of string instruments. *IAWA Journal*, v. 33 (2), p. 141–149, 2012.
- LONGUI, E. L.; LIMA, I. L. de; LOMBARDI, D. R.; GARCIA, J. N.; ALVES, E. S. Woods with physical, mechanical and acoustic properties similar to those of *Caesalpinea echinata* have high potential as alternative woods for bow makers. *Cerne*, Lavras, v. 20, n. 3, p. 369–376, 2014.
- LONGUI, E. L.; LOMBARDI, D. R.; ALVES, E. S. Potential brazilian wood species for bows of string instruments. *Holzforschung*, Berlin, v. 64, p. 511–520, 2010.
- LONGUI, E. L.; YOJO, T.; LOMBARDI, D. R.; ALVES, E. S. The potential of ipê (*Tabebuia* spp.) and maçaranduba (*Manilkara* spp.) woods in the manufacture of bows for string instruments. *Iawa Journal*, v. 31, n. 2, p. 149–160, 2010.
- MAINERI, C.; CHIMELO, J. P. *Ficha de características das madeiras brasileiras*. 2ª. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas -IPT, 1989.
- MANZANO, N. A madeira e as moedas. In: BUENO, E. *Pau-brasil*. São Paulo: Axis Mundi, 2002. p. 215–247.
- MARCONDES, S. *Brasil, amor à primeira vista!: viagem ambiental no Brasil do século XVI ao XXI*. São Paulo: Editora Peirópolis, 2005.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Técnicas de pesquisa*. 2ª. ed. São Paulo: Atlas, 1990.
- MATSUNAGA, M. *Aptitude of pernambuco (Guilandina echinata Spreng.) as a violin bow and role of its extractives on the vibrational property*. 97 p. Dissertação (Mestrado) — Kyoto University, Kyoto, Jan. 1999.
- MCLENNAN, J. E. *An evaluation of the Giovanni Lucchi Elasticity Tester*. 1990. 38 p. Journal Australian Association of Musical Instrument Makers.
- MURARA, M. I. J. *Desdobro de toras de pinus utilizando diagramas de corte para diferentes classes diamétricas*. 77 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

- PAULUS, W. Price List, *Walter Paulus GmbH - Bow Parts*. Höttenbach: [s.n.], 2006. 25 p. Catalog.
- PEREIRA, J. *Análise de Dados Qualitativos: Estratégias Metodológicas para Ciências da Saúde*. 1ª reimpressão. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.
- PLANTA, B. *Elemente zur Wahl eines Geigen-bogens*. Frankfurt am Main: Verlag das Musikinstrument, 1980.
- RAPOSO, M. *Pernambuco Wood - CITES certified Pernambuco wood for bows of the violin family*. 2007. Site. <<http://www.pernambucowood.com/contents/en-ca/d2.html>> Acesso em: outubro de 2016.
- ROBSON, C. *Real World Research*. Oxford: Wiley, 1993.
- ROQUERO, A. Moda e tecnologia. In: BUENO, E. *Pau-brasil*. São Paulo: Axis Mundi, 2002. p. 185–213.
- SAINT-GEORGE, H. *The bow, its history, manufacture and use*. London: Project Gutenberg, 1922.
- SALLES, M. I. *Arcadas e Golpes de Arco*. Brasília: Thesaurus, 1998.
- SCHIMLECK, L. R.; ESPEY, C.; MORA, C. R.; EVANS, R.; TAYLOR, A.; MUÑIZ, G. Characterization of the wood quality of pernambuco (*Caesalpineae echinata* lam) by measurements of density, extratives content, microfibril angle, stiffness, color, and nir spectroscopy. *Holzforschung*, v. 63, p. 457–463, 2009.
- SOUZA, M. R. de. *Madeiras para Instrumentos Musicais*. 2015. Site. <[http://www.mundoflorestal.com.br/mediawiki/index.php?title=P%C3%A1gina\\_principal](http://www.mundoflorestal.com.br/mediawiki/index.php?title=P%C3%A1gina_principal)> Acesso em: setembro de 2016.
- STOWELL, R. *Violin Technique and Performance Practice in the Late Eighteenth and Early Nineteenth Centuries*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. (Cambridge Musical Texts and Monographs).
- VALERI, S. V. *Programa Pau-brasil*. 2006. Pró-Reitoria de Extensão Universitária/Unesp. <<http://www.fcav.unesp.br/#!/extensao/pau-brasil/>> acesso em: Outubro de 2016.
- WEGST, U. G. K. Wood for sound. *American Journal of Botany*, v. 93, n. 10, p. 1439–1448, October 2006.
- WIEDENHOEFT, A. *Wood handbook: wood as an engineering material: Chapter 3, Structure and Function of Wood*. Madison, 2010.



## ANEXOS

### ANEXO 1

#### TERMO DE ACEITE

Eu, \_\_\_\_\_ RG: \_\_\_\_\_

Concordo em participar de livre e espontânea vontade da pesquisa proposta pelo pesquisador Igor Mottinha Fomin, RG. 72259092, e declaro estar ciente de que:

1. Esta pesquisa tem por objetivo testar o desempenho de arcos para violino a partir da primeira impressão de violinistas profissionais ao experimentarem os artefatos às cegas.
2. Apesar da realização dessa pesquisa depender da participação de violinistas, os testes são somente sobre as características dos arcos.
3. Os resultados dos testes coletados a partir desta pesquisa serão usados para inferências numa dissertação de mestrado na área de Engenharia Florestal e poderão ser publicados em periódicos e/ou outros meios. No entanto, as identidades e quaisquer informações pessoais dos experimentadores não serão divulgadas.
4. Os benefícios esperados desta pesquisa são relativos à compreensão de características das madeiras usadas na construção de arcos para violino.
5. Não há valores a receber ou a pagar pela participação nesta pesquisa.
6. Para realização do teste cego o experimentador deverá ser vendado. Para isso será utilizado um protetor facial descartável, atóxico e antialérgico sobre os olhos que em teste preliminar demonstrou fácil adaptação, segurança e higiene.
7. Para que a pesquisa possa ser realizada com menor subjetividade na interpretação das qualidades dos arcos, será usado um único violino disponibilizado pelo pesquisador.
8. O experimentador deverá atribuir uma nota para critérios estabelecidos num questionário que melhor corresponda com a sensação percebida no momento da experimentação de cada arco.
9. Caso o experimentador não se adapte aos acessórios disponíveis no violino (queixeira e espaleira), poderá usar, se assim o quiser, os seus acessórios de costume, caso estejam disponíveis.
10. O experimentador poderá tocar o violino para acostumar-se buscando conforto na execução antes da realização do teste com os arcos.
11. O experimentador poderá tocar livremente com os arcos da maneira que desejar para melhor perceber as características a serem avaliadas.
12. O experimentador poderá aplicar breu nos arcos durante os testes se assim desejar.
13. Não será permitido usar outro breu além daquele disponibilizado pelo pesquisador para evitar variações nas percepções.

Data:

Assinatura \_\_\_\_\_

## ANEXO 2

**INSTRUÇÕES**

O questionário a ser aplicado por mim servirá para coletar dados que representem qualidades percebidas nos arcos a partir da sua percepção como violinista, não se preocupe sobre as notas atribuídas, pois elas serão anotadas por mim e poderemos conversar sobre elas no momento do teste.

As respostas para a maioria das questões deve começar com uma impressão positiva ou negativa, depois você deve dizer se sua satisfação ou insatisfação foi Total, Moderada ou Pequena

Insatisfação			Satisfação		
Total	Moderada	Pequena	Pequena	Moderada	Total
1	2	3	4	5	6

Há duas questões complementares em que os marcadores indicarão a sensação percebida sobre peso e rigidez no caso de insatisfação. Nestes casos, os marcadores seguirão as seguintes descrições.

<b>Estou insatisfeito porque o arco é:</b>	
<b>Leve</b>	<b>Pesado</b>
<b>Flexível</b>	<b>Rígido</b>

**Realização dos testes:**

Os arcos serão disponibilizados sempre na mesma ordem para facilitar a sua análise. Serão duas etapas. Na primeira você terá o tempo aproximado de 2 minutos para conhecer os arcos e na segunda o tempo que quiser para obtermos as respostas do questionário que irei apresentar no início da segunda etapa.

Sugiro que no primeiro momento experimente e vá ordenando mentalmente os arcos que mais te agradaram. Ao final, quando já estiver tirando conclusões, toque com cada arco respondendo às questões da pesquisa.

Supondo que algum desses arcos pudesse ficar com você, gostaria que você ordenasse qual seria sua primeira preferência sua segunda preferência e um que você rejeitaria entre os cinco.

Durante a realização dos testes você pode deixar os arcos tensionados e também ajustar a qualquer momento a tensão da crina da forma mais adequada à sua técnica.

Para a correta interpretação do marcador imagine que sua satisfação ao tocar com um arco possa ser dívida entre satisfeito e insatisfeito e para cada uma destas sensações derivam três níveis de intensidade.



## ANEXO 4

**DADOS DO EXPERIMENTADOR**

Experimentador Nº \_\_\_\_

**SOBRE OS ARCOS EXPERIMENTADOS:**

6- Você tocaria profissionalmente com algum desses arcos?

Sim  Não 

Se você pudesse escolher um arco desses para ficar com você:

7- Qual seria o seu preferido?

|A|B|C|D|E| Por que?

8- Qual seria o segundo arco preferido?

|A|B|C|D|E| Por que?

9- Qual seria o arco menos preferido?

|A|B|C|D|E| Por que?

**ENTREVISTA**

Há quanto tempo você pratica violino: \_\_\_\_\_.

Você atua ou atuou profissionalmente em alguma orquestra? Se sim, qual?

\_\_\_\_\_  
Você é professor de violino?\_\_\_\_\_  
Você costuma usar mais de um arco sua atuação profissional?\_\_\_\_\_  
Você costuma tocar com arcos feitos de pau-brasil? \_\_\_\_\_.

Seu arco principal é feito de qual material? \_\_\_\_\_.

Você já experimentou arcos feitos de outros materiais? \_\_\_\_\_.

Saberia dizer quais? \_\_\_\_\_.

Se fossemos comparar o arco que você mais usa com o arco preferido por você nesta pesquisa, numa escala de semelhança de um a seis, onde 1 significa totalmente diferente e 6 totalmente semelhante você daria qual indicação?

Diferença			Semelhança		
Muita	Moderada	Pouca	Pouca	Moderada	Muita
1	2	3	4	5	6