

Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal

AVALIAÇÃO DE MADEIRAS BRASILEIRAS PARA UTILIZAÇÃO EM GUITARRAS ELÉTRICAS

Aluno: Gustavo de Amorim Fernandes
Matricula: 98/18791

Orientador: Mário Rabelo de Souza – PhD, LPF/IBAMA
Co-orientador: Ailton Teixeira do Vale – PhD, EFL/UnB

Trabalho Final de Curso apresentado ao
Departamento de Engenharia Florestal
como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Florestal

BRASÍLIA, 2004

Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal

AVALIAÇÃO DE MADEIRAS BRASILEIRAS PARA UTILIZAÇÃO EM GUITARRAS ELÉTRICAS

Aluno: Gustavo de Amorim Fernandes
Matrícula: 98/18791

Menção: _____

Banca examinadora

Mario Rabelo de Souza, PhD.
Orientador

Ailton Teixeira do Vale, PhD.
Co-orientador

Joaquim Carlos Gonzalez, PhD.
Membro da banca

Brasília, 01/07/2004.

Dedico este trabalho aos meus pais,
que sempre me apoiaram em todos
os projetos da minha vida.

META

Garantir a sustentabilidade da floresta tropical através do uso nobre da madeira e do alto valor econômico do produto florestal guitarra elétrica.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos a toda a minha família e a Fernanda por estar sempre ao meu lado.

Ao Artur e ao Juninho pela assistência técnica e a Renata pelas aulas de música.

Ao meu orientador Mário Rabelo por todo o apoio à pesquisa e ao exemplo de profissional e grande ser humano que demonstrou ser.

Ao Ricardo pela grande satisfação de termos trabalhados juntos neste projeto.

Ao José Arlete pela identificação das madeiras e a todos do IBAMA/LPF pela convivência e apoio à pesquisa.

Ao Eduardo Élleres pelo ensino de intervalos, amizade e toda sua didática musical.

Ao Guilherme, Felipe, Pablo, Deco, Pedro, Marcelo e Michel pela convivência musical.

Ao Henrique, Conrado, Pablo, Metafórico, Marcelinho, Júlio, Mauricinho, Rodolfo e Eduzinho pelas aulas de guitarra.

Ao Fabinho, Silvio, Francisco e Henrique pelo apoio nas mais diversas situações.

Agradeço a todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Florestal da UnB, pelo excelente curso propiciado. E a todos os meus colegas de Engenharia Florestal.

E se por algum motivo eu tenha esquecido de alguém, considere-se agradecido.

SUMÁRIO

RESUMO.....	09
ABSTRACT.....	10
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1. Madeiras para instrumentos musicais.....	13
2.2. Partes da guitarra.....	14
Tipos de corpo.....	15
Tipos de braço.....	16
Tipos de encaixe braço-corpo.....	17
Tipos de Ponte.....	17
Tipos de angulação do “headstock”.....	17
Tipos de captadores.....	18
2.3. Madeiras tradicionalmente utilizadas por fabricantes.....	18
2.4. Análise de mercado.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1. Pré-seleção.....	22
3.2. Seleção.....	22
3.3. Teste acústico.....	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1. Teste acústico.....	26
4.2. Seleção das madeiras.....	33
4.2.1. Corpo.....	33
4.2.2. Braço.....	34
4.2.3. Escala escura.....	35
4.2.4 Escala clara.....	35
5. CONCLUSÕES.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
ANEXOS.....	39

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Madeiras utilizadas pelas principais marcas de guitarras importadas e nacionais.....	19
TABELA 2 - Características das madeiras tradicionalmente utilizadas para fabricação de guitarras elétricas.....	20
TABELA 3 - Características acústicas das madeiras tradicionalmente utilizadas....	28
TABELA 4 - Características acústicas das madeiras pré-selecionadas.....	28
TABELA 5 - Características físicas e mecânicas das madeiras pré-selecionadas...	30
TABELA 6 - Características anatômicas das madeiras pré-selecionadas.....	31
TABELA 7 - Características de trabalhabilidade e secagem das madeiras pré-selecionadas.....	32
TABELA 8 – Espécies sugeridas para fabricação de guitarras elétricas.....	33

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 Partes da guitarra.....	14
FIGURA 2 Detalhes do braço da guitarra.....	15
FIGURA 3 Tipos de corpo.....	16
FIGURA 4 Curva de frequência.....	24
FIGURA 5 Diagrama do equipamento utilizado para o teste acústico.....	24
FIGURA 6 Pico de ressonância da Macacaúba.....	26
FIGURA 7 Análise de frequência do Mogno.....	27
FIGURA 8 Densidade (g/cm^3) X velocidade de propagação sonora (m/s).....	29

RESUMO

Os componentes da guitarra formados de madeira tem um importante papel no timbre final do instrumento. Porém, as madeiras utilizadas para a sua fabricação são, em sua maioria, provenientes de poucas espécies importadas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi de avaliar o potencial das espécies nacionais estudadas pelo LPF (Laboratório de Produtos Florestais) para fabricação de guitarras em substituição às espécies importadas, visando assim a diminuição do custo de produção.

As espécies de madeiras estudadas foram pré-selecionadas de acordo com suas características anatômicas, propriedades físicas e mecânicas e comparadas com as espécies tradicionalmente utilizadas pelos principais fabricantes. Foram pré-selecionadas aproximadamente 30 espécies e analisadas suas propriedades acústicas de acordo com o método da vibração forçada, onde foi determinado a frequência natural de vibração (f_r) e o decaimento logaritmo (DL) de cada espécie.

Seguindo os mesmos critérios utilizados para a pré-seleção das madeiras associado às propriedades acústicas testadas mais as características exigidas para cada parte do instrumento, selecionou-se as espécies para guitarra elétrica de acordo com suas partes (corpo, braço e escala).

A seleção não é um critério definitivo para a escolha de uma espécie para a fabricação do instrumento musical, e sim um indicativo de suas potencialidades.

ABSTRACT

The components of the guitar that are made of wood play an important role in the instrument's tonal quality. But, the woods used in its creation are, in its majority, imported species. So, the objective of this work was to evaluate the potential of the national species studied by the LPF (The Laboratory for Forest Products) for building guitars, substituting the imported woods and diminishing the cost of production.

The species that were studied were pre-selected according to their anatomical characteristics, physical and mechanical responses and compared to the species traditionally used by the main manufacturers. Thirty species were pre-selected and had their acoustic characteristic analyzed according to the method of "forced vibration", where the natural frequency of vibration and the logarithmical decay of each species was measured.

Following the same criteria used for the pre-selection of the species associated to the acoustic properties tested plus the characteristics needed for each part of the instrument, the species to assemble the electric guitar were organized according to each of its parts (body, neck and scale).

The selection isn't a definite guide for the choice of one species for building a musical instrument, but an indicator of its potential.

1. INTRODUÇÃO

Apesar da sonoridade da guitarra ser altamente influenciada por componentes elétricos como captadores e amplificadores, os seus componentes formados de madeira têm um importante papel no timbre final do instrumento, não tendo outro substituto à altura até hoje.

Um som musical não se constitui apenas de uma nota. Juntamente com o som principal soam sons secundários, chamados harmônicos. O timbre é resultado da intensidade e da qualidade dos harmônicos que acompanham o som fundamental. Uma determinada nota musical tem sempre a mesma frequência, qualquer que seja o instrumento ou voz que a produz, o que difere os timbres é a presença e intensidade de seus harmônicos. Nem todos os instrumentos geram a série harmônica completa, podendo, por exemplo, apresentar apenas os harmônicos ímpares (MED, 1996).

Todo corpo possui uma frequência natural de vibração. Este corpo, quando percebe um som, gerado por uma fonte qualquer, na mesma frequência da sua frequência natural, entra em ressonância e vibra.

Nas guitarras, as partes de madeira possuem sua frequência natural de vibração e quando recebem o estímulo produzido pela vibração das cordas entram em ressonância, seja em função do som fundamental ou de seus harmônicos. Esta ressonância possui uma velocidade de decaimento, sendo esta uma importante característica no som do instrumento, pois é esta que define o tempo em que o som se sustentará.

A madeira, apesar de possuir de 5 a 10% da densidade dos metais, tem uma velocidade de propagação sonora semelhante aos mesmos.

Os princípios de ressonância e propriedades de radiação do som na madeira foram aplicados durante séculos na construção de instrumentos musicais em madeira, antes mesmo de serem cientificamente comprovados (SLOOTEN & SOUZA, 1993).

Porém, as madeiras utilizadas para a fabricação de instrumentos musicais são provenientes de poucas espécies importadas, devido ao forte tradicionalismo e, principalmente, às excelentes propriedades físicas e

mecânicas das já utilizadas para fabricação de instrumentos musicais (SOUZA, 1983).

Portanto, o Brasil, apesar de possuir uma das mais vastas florestas tropicais do mundo, utiliza-se destas madeiras importadas para a fabricação de instrumentos musicais. Estas possuem alto valor econômico, devido a sua escassez e de sua utilização nobre. O elevado preço desta matéria prima onera consideravelmente o instrumento musical com ela fabricado (SOUZA, 1983).

No entanto, a procura de madeiras brasileiras para guitarra vem aumentando, devido ao avanço nos preços das madeiras importadas cotadas em dólar, bem como ao aumento da demanda interna por instrumentos musicais.

O objetivo deste trabalho é avaliar o potencial das espécies nacionais estudadas pelo LPF (Laboratório de Produtos Florestais) para fabricação de guitarras em substituição às espécies importadas, visando assim a diminuição do custo de produção.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MADEIRAS PARA INSTRUMENTOS MUSICAIS

As madeiras para instrumentos musicais tradicionalmente foram selecionadas por “luthiers” de acordo com critérios anatômicos como grã direita, textura fina, baixa densidade e aspectos visuais. Pranchas com estruturas regulares é uma exigência básica e um critério geral para os “luthiers”, porém, a regularidade das estruturas da madeira para guitarras não são tão exigentes como para instrumentos de orquestras (BUCUR, 1995).

Os “luthiers” desenvolveram habilidades e procedimentos para verificar e analisar suficientemente bem as propriedades físicas das madeiras sem equipamentos caros nem sofisticados (MULLER, 1986). Os resultados provenientes de testes e métodos científicos podem contribuir na escolha das madeiras, contudo a habilidade dos construtores é o que contribui para o objeto artístico que é o instrumento musical.

O comportamento do instrumento musical é influenciado tanto pelo seu desenho e dimensões como pelas propriedades das madeiras usadas na sua construção (WOODHOUSE, 1993 a, b; 1994). O maior aspecto na arte dos “luthiers” é a habilidade de produzir instrumentos musicais com uma qualidade tonal pré-determinada. A variabilidade das madeiras usadas na sua construção tem um importante papel na qualidade tonal do instrumento. Critérios mais objetivos para seleção da matéria-prima poderiam auxiliar “luthiers” na sua escolha (RICHARDSON 1988).

O comportamento acústico da madeira sob vibração está relacionado com a elasticidade do material paralelo ou perpendicular às fibras, sob tração ou flexão e relacionado com a fricção interna causada pela dissipação da energia proveniente da vibração (BUCUR, 1995). Madeiras com altos valores de velocidade de propagação sonora paralela às fibras geralmente são madeiras de baixa densidade (BARDUCCI & PASQUALINI, 1948; HAINES, 1979).

Os principais parâmetros para escolha de uma madeira de qualidade são: a densidade do material, a velocidade de propagação sonora e o decaimento logarítmico (BUCUR, 1995).

O decaimento logarítmico seria uma forma de expressão do amortecimento em um sistema ressonante. A amplitude das vibrações de um sistema ressonante amortecido, excitado por uma fonte senoidal, decai de forma logarítmica com o tempo ao se interromper a excitação (I.P.T, 1985). Portanto, quanto menor o valor do decaimento logarítmico, por mais tempo o som se sustentará após a interrupção da fonte.

SCHELLENG (1982) descreveu os mais importantes parâmetros acústicos das madeiras usadas para violinos, usando pequenas amostras, através do método frequência de ressonância.

2.2 PARTES DA GUITARRA

As guitarras são divididas em corpo, braço, escala, “headstock”, tirante, ponte, trastes, tarraxas, captadores, parte elétrica e cordas.

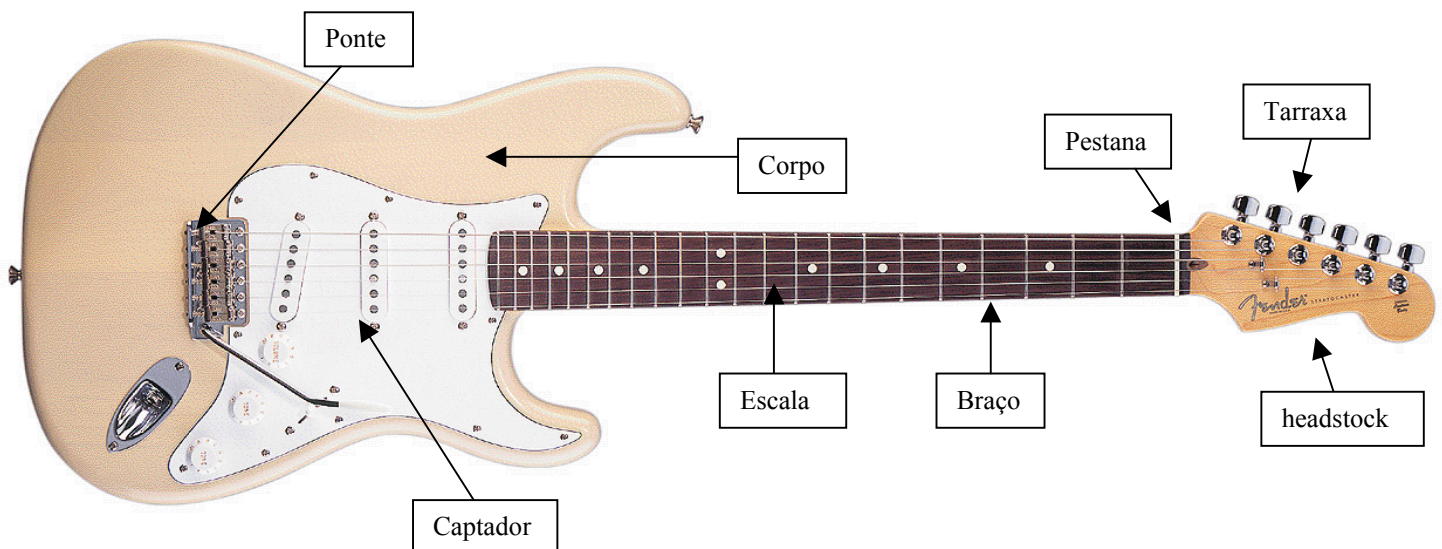


Figura 1 Partes da Guitarra

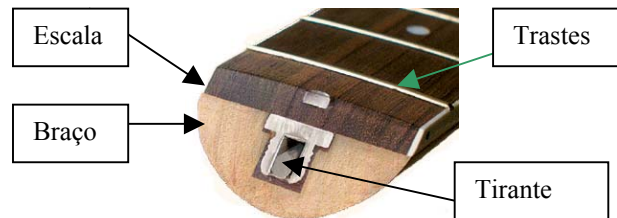


Figura 2 Detalhes do braço da guitarra

Tipos de corpo:

- Sólido: Feito de madeira sólida, sem câmaras internas;
- Semi-sólido: A construção é iniciada com o corpo sólido e terminada com partes escavadas, coladas no final do processo;
- Semi-acústico: Sua concepção parte da estrutura acústica. O corpo em geral é mais fino do que nas guitarras acústicas. As semi-acústicas podem ser feitas com tampo sólidos ou laminados. O timbre mistura o brilho do acústico com o peso do sólido;
- Acústico: Essas guitarras são mais espessas do que as semi-acústicas (mais largas). Podem ter o tampo laminado ou sólido. A sonoridade, em geral, é mais grave e encorpada.



Sólido



Semi-sólido



Semi-acústico



Acústico

Figura 3 Tipos de corpo

Tipos de braço

- Peça única: quando braço e escala são a mesma madeira;
- Duas peças com escala colada: constitui-se duas peças de madeira, podendo ser de espécies diferentes.

Tipos de encaixe braço-corpo:

- Braço colado: sistema antigo, surgido na China, em que o corpo do instrumento tem um encaixe onde o braço é colado. Esse princípio é adotado na construção de violões e em grande parte de guitarras da marca Gibson e Paul Reed Smith (PRS);
- Braço parafusado: Construção onde o braço é encaixado e fixado ao corpo com parafusos. Esta é uma característica predominante nas guitarras da marca Fender, Ibanez, ESP, Fernandes, Jackson, Washburn entre outras;
- Braço integral: O braço, de peça única ou dividido em tiras longarinas, vai do “headstock” até a parte central do corpo. O restante do corpo é colado nas laterais da peça. Usado em guitarras da marca Carvin;

Tipos de Ponte:

- Fixa (Hardtail): Fixação plena no corpo da guitarra;
- Com Sistema de alavanca: Os parafusos da base ficam presos na guitarra, a ponte geralmente fica em contato com a madeira do corpo;
- Com sistema de alavanca de dupla trava tipo Floyd Rose: A base fica flutuante, apoiada em dois pivôs. No “headstock” possui uma trava para as cordas.

Tipos de angulação do “headstock”

- Estilo Gibson (Tiltback): “headstock” angulado que exerce pressão maior sobre a pestana, melhorando a sustentação;

- Estilo Jackson ou guitarras que utilizam ponte tipo Floyd Rose: “headstock” bastante angulado, mas a trava do sistema Floyd Rose , que se encontra na região da pestana, cancela boa parte da tensão das cordas;
- Estilo Fender (Flat): pouca angulação e baixa pressão nas pestanas.

Tipos de captadores

- Single-coil (captadores simples): São captadores de uma única bobina, possuem como característica principal uma sonoridade mais aguda e estalada, com bastante brilho. O ruído peculiar do single-coil é decorrente da capacidade da bobina em captar não somente a vibração das cordas, mas também ruídos de interferência de radiação eletromagnética.
- Humbucker (captadores duplos): Captadores com duas bobinas. Ambas são ligadas invertidas ou fora de fase, uma bobina cancela o ruído captado pela outra . Este ruído é chamado de hum (HO, 2002).

2.3 MADEIRAS TRADICIONALMENTE UTILIZADAS POR FABRICANTES

As espécies de madeiras para fabricação de guitarras elétricas foram divididas de acordo com as partes do instrumento (corpo, braço e escala) em que são utilizadas por algumas das principais marcas importadas e nacionais (Tabela 1).

As marcas importadas pesquisadas foram: Fender, Gibson, Ibanez, Epiphone, Yamaha, Music Man e PRS. E as nacionais foram Giannini, Tagima e Dolphin.

O Spruce somente é utilizado como tampo do corpo de guitarras acústicas e semi-acústicas, não sendo encontrado, portanto, em guitarras de corpo sólido e semi-sólido. O Maple normalmente é encontrado como um acabamento em poucas guitarras de corpo sólido e na maioria das guitarras de corpo semi-sólido. Este acabamento consiste em um tampo de fina espessura

colado no corpo do instrumento, destacando assim principalmente os desenhos do Maple. Uma combinação bastante comum é o corpo feito de Mogno com este acabamento em Maple.

Para os corpos de guitarras acústicas e semi-acústicas, o Maple é utilizado como laterais e fundo. Alguns modelos utilizam o Maple também como tampo no lugar do Spruce.

A escala de Maple foi encontrada somente em guitarras de corpo sólido, sendo que muitas vezes, o braço e a escala são uma peça única. Para outros tipos de corpo somente são utilizadas escalas de cores escuras.

Tabela 1. Madeiras utilizadas pelas principais marcas de guitarras importadas e nacionais

Corpo	Braço	Escala
Agathis	Maple	Ébano
Alder	Mogno	Jacarandá (Rosewood)
Ash	Cedro	Maple
Basswood	Walnut	
Maple		
Mogno		
Poplar		
Spruce		

Os nomes científicos das espécies encontram-se na Tabela 2

Para algumas espécies importadas somente foram encontrados dados na literatura de densidade com peso seco a 0% e volume seco a 12% (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1987). Já para as demais, a densidade foi a aparente, com 12% de teor de umidade (Tabela 2).

Tabela 2. Características das madeiras tradicionalmente utilizadas para fabricação de guitarras elétricas

Nome comum	Nome científico	Densidade aparente 12% (g/cm ³)	MOE (x1000) (kgf/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)	Dureza Janka transv (kgf)
Agathis	<i>Agathis borneensis</i>	0,48	...	503	148
Alder, Red	<i>Alnus rubra</i>	*0,41	96	533	200
Ash, white	<i>Fraxinus americana</i>	*0,60	143	1230	599
Basswood	<i>Tilia americana</i>	*0,37	120	713	186
Cedro, Spanish	<i>Cedrela odorata</i>	0,46	99	768	623
Ébano	<i>Diospyros mespiliformis</i>	0,84	158	1139	887
Jacarandá (Rosewood)	<i>dalbergia sp.</i>	1,02	131	1192	...
Maple, Sugar	<i>Acer saccharinum</i>	*0,63	150	1295	658
Mogno	<i>Swietenia macrophylla</i>	0,55	66	562	435
Poplar, Aspen Quaking	<i>Populus tremuloides</i>	*0,38	97	689	159
Spruce	<i>Picea abies</i>	0,41	110	721	...
Walnut, Black	<i>Juglans nigra</i>	*0,55	138	1197	459

*densidade = Peso seco 0% / Volume seco 12% (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1987)

MOE – módulo de elasticidade na flexão estática

MOR – módulo de ruptura na flexão estática

2.4 ANÁLISE DE MERCADO

No Brasil, o faturamento do setor música em 2002 foi estimado em R\$ 318 milhões, com crescimento de 6% em relação ao ano anterior. Este setor possuía cerca de 4 mil postos de trabalho nos anos 2001 e 2000.

Em 2002 as importações do setor musical foram em torno de 29,3 milhões de dólares e as exportações em torno de 9,2 milhões de dólares.

Para a micro empresa Hootz, os instrumentos mais caros são guitarra e o baixo, que por terem componentes importados, saem em torno de R\$ 2,2 mil cada.

Além da importação de instrumentos musicais, deve-se ressaltar que 84,2% das empresas desta indústria importam até 20% dos insumos utilizados na fabricação de seus produtos. Na indústria brasileira em geral, na de pequeno porte, em especial, 79% delas importam até 20% dos insumos utilizados (ANAFIM, 2003).

A indústria brasileira de instrumentos musicais, com exportações de 153,5 milhões de dólares, ocupa no ranking “Product Performance Index” elaborado pelo “International Trade Centre” UNCTAD/WTO, a 26ª posição no “static indicator” e a 49ª no “dynamic indicator” entre 184 países analisados. No cálculo do “current index” são considerados as exportações líquidas, as exportações *per capita*, a participação percentual no mercado mundial, diversificação de produtos e mercados. Enquanto no cálculo do “change index” são considerados as mudanças nas participações percentuais no mercado, a cobertura das exportações/importações, as diversificações de produtos e mercados e a correlação com a dinâmica da demanda internacional.

Em relação à balança comercial, a corrente de comércio de instrumentos musicais nos últimos anos vem declinando em razão da diminuição das importações que passaram de 67 milhões de dólares em 1996 para 33,9 milhões de dólares em 2001. As importações no triênio 1996-1998 foram em média 25 vezes o valor das exportações, e no último triênio 1999-2001 reduziram-se a 6,4 vezes.

O déficit comercial, que no triênio 1996-1998 foi de 55,9 milhões de dólares, declina em valores correntes para 24,6 milhões em 2001. A corrente de comércio também apresenta uma redução, de quase 50% no período 1996-2001. O déficit comercial no triênio 1996-1998 era de 92,2% do valor da corrente de comércio, e no último triênio, 1999-2001 foi de 72,6%. Isto significa que o país está não só importando menos, mas principalmente exportando mais (ANAFIM, 2003).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 PRÉ-SELEÇÃO

As espécies de madeiras estudadas foram pré-selecionadas de acordo com suas características anatômicas (cor, grã, textura e figura); propriedades físicas (densidade da madeira e contração) e propriedades mecânicas (módulo de ruptura e elasticidade na flexão estática), comparando-se com as espécies importadas (SOUZA, 1982). Todas as madeiras utilizadas são cerne, tendo em vista que não se utiliza alburno para a confecção de instrumentos musicais.

Entre mais de 200 espécies estudadas pelo LPF (Laboratório de Produtos Florestais), foram pré-selecionadas cerca de 30 espécies. Procurou-se priorizar madeiras com textura de média a fina, grã direita, densidade básica entre 0,36 a 1,02 g/cm³, MOR entre 555 a 1271 kgf/cm², MOE entre 66.000 a 191.000 kgf/cm² na flexão estática e dureza Janka transversal entre 143 a 1.377 kgf.

3.2 SELEÇÃO

Para a seleção das madeiras, comparou-se as características das espécies tradicionalmente utilizadas (Tabela 2) com as pré-selecionadas de acordo com as exigências para cada parte do instrumento (corpo, braço e escala). Como não existe um critério padrão como exigência, este foi estabelecido de acordo com os parâmetros encontrados nas madeiras tradicionalmente utilizadas.

Na comparação, foram analisadas as mesmas propriedades da pré-seleção (propriedades anatômicas, físicas e mecânicas), mais as propriedades acústicas testadas neste projeto, definindo assim uma seleção mais apurada.

3.3 TESTE ACÚSTICO

Antes da seleção, foram analisadas as propriedades acústicas das amostras. Estas foram obtidas de acordo com o método da vibração forçada, onde foi determinado a frequência natural de vibração (f_r) e o decaimento logaritmo (DL) de cada espécie.

De acordo com HEARMON (1968):
$$DL = \frac{\pi}{\sqrt{3}} \times \frac{\Delta f}{f_r}$$

Onde f_r é a frequência de ressonância e Δf é o diferencial da frequência entre dois pontos diretamente opostos, acima e abaixo do ponto de ressonância, no qual a amplitude de vibração cai para a metade do valor do ponto de pico de ressonância com frequência de meia amplitude f e f' (Figura 4).

O teste foi realizado através de um aparelho, controlado por um computador, o qual excitou a madeira em um dos lados da amostra e captando-se a vibração transmitida em sua outra extremidade (Figura 5). As amostras constituem-se de pequenas régua de 30 x 2 x 0,3 cm de dimensão. Foi utilizado um computador PC Duron com processador de 1,4 GHz e 128 MB de memória RAM. O software Cool Edit Pro 2.0 gera um sinal senoidal puro, que varia de 100 Hz a 300 Hz em 150 segundos mantendo sempre a mesma amplitude, com 16 bits de definição. Este sinal é lido pelo próprio software após ser transmitido ao longo da amostra de madeira, portanto o sinal representa o somatório da amplitude do sinal enviado mais a amplitude da ressonância da amostra. Este sinal possui um pico onde é determinada a frequência natural de ressonância da madeira.

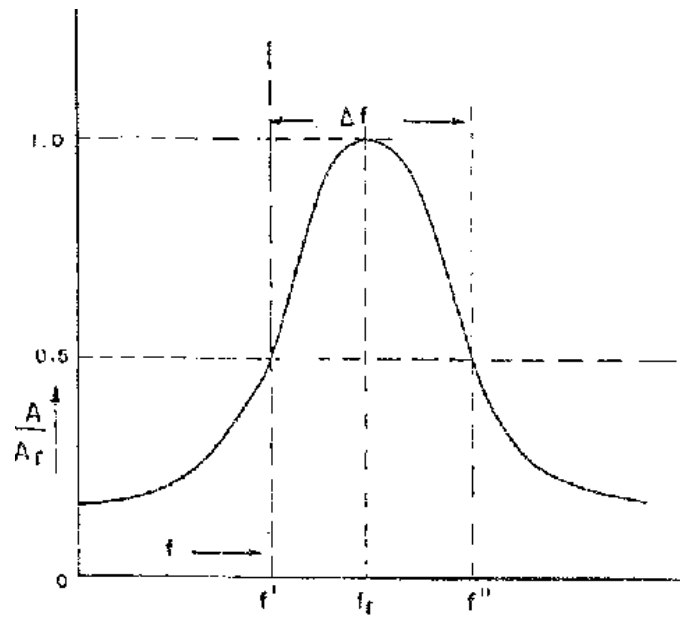


Figura 4 Curva de frequência

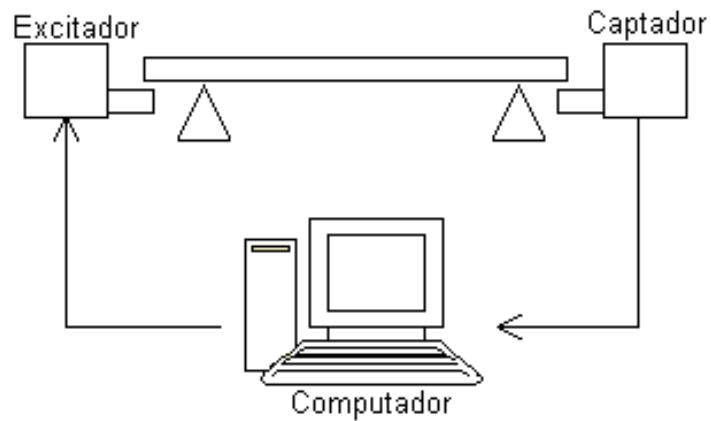


Figura 5 Diagrama do equipamento utilizado para o teste acústico

As amostras, antes do teste acústico, foram acondicionadas em estufa com umidade e temperatura controladas, atingindo assim o teor de umidade de equilíbrio de 12%.

A velocidade de propagação sonora foi determinada pela equação

$$C = \sqrt{\frac{MOE}{da}}$$

Onde:

C = velocidade de propagação sonora;

MOE = módulo de elasticidade na flexão estática;

da = densidade aparente a 12% de teor de umidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TESTE ACÚSTICO

O método de vibração forçada realizado no software Cool Edit Pro 2.0 foi satisfatório, com resultados bem próximos dos encontrados por SLOOTEN & SOUZA (1993).

Como exemplo temos o pico de ressonância da Macacaúba da qual se obteve um decaimento logarítmico (DL) em torno de 0,021 (Figura 6). O DL quanto menor, melhor é a resposta acústica da madeira em termos de sustentabilidade do som.

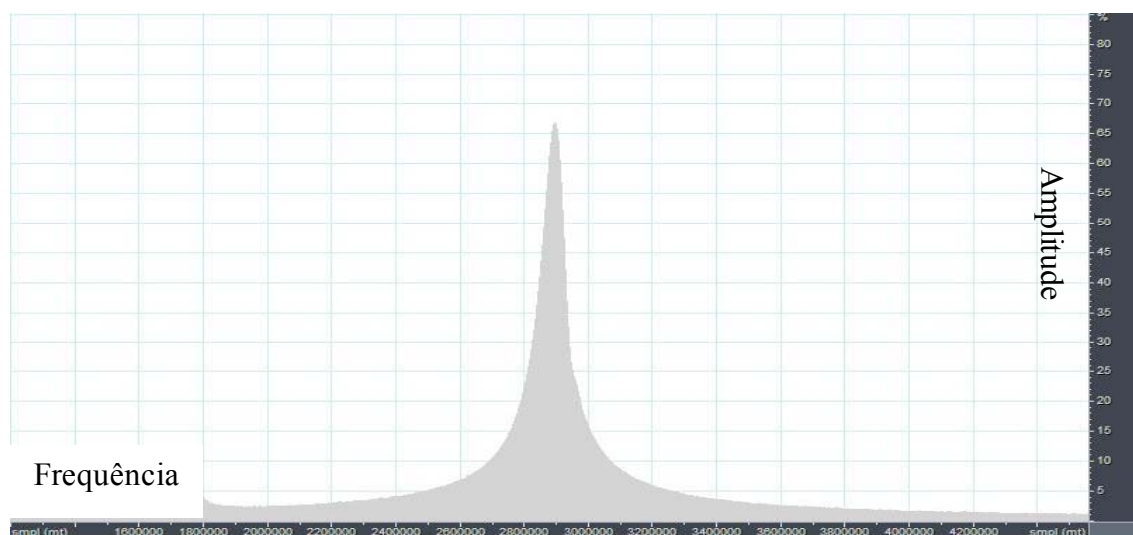


Figura 6 Pico de ressonância da Macacaúba

A proporção da amplitude entre o som fundamental em relação à amplitude dos seus harmônicos define o valor do decaimento logarítmico. Quanto maior for esta diferença, mais acentuada será a curva de ressonância e maior será o valor do DL.

A análise de frequência do Mogno realizada pelo software Cool Edit Pro 2.0, mostrou uma pequena diferença entre o som fundamental e seus harmônicos, mostrando uma curva pouco acentuada e com grande número de

harmônicos (Figura 7). Lembrando que o pico de maior amplitude representa o som fundamental.

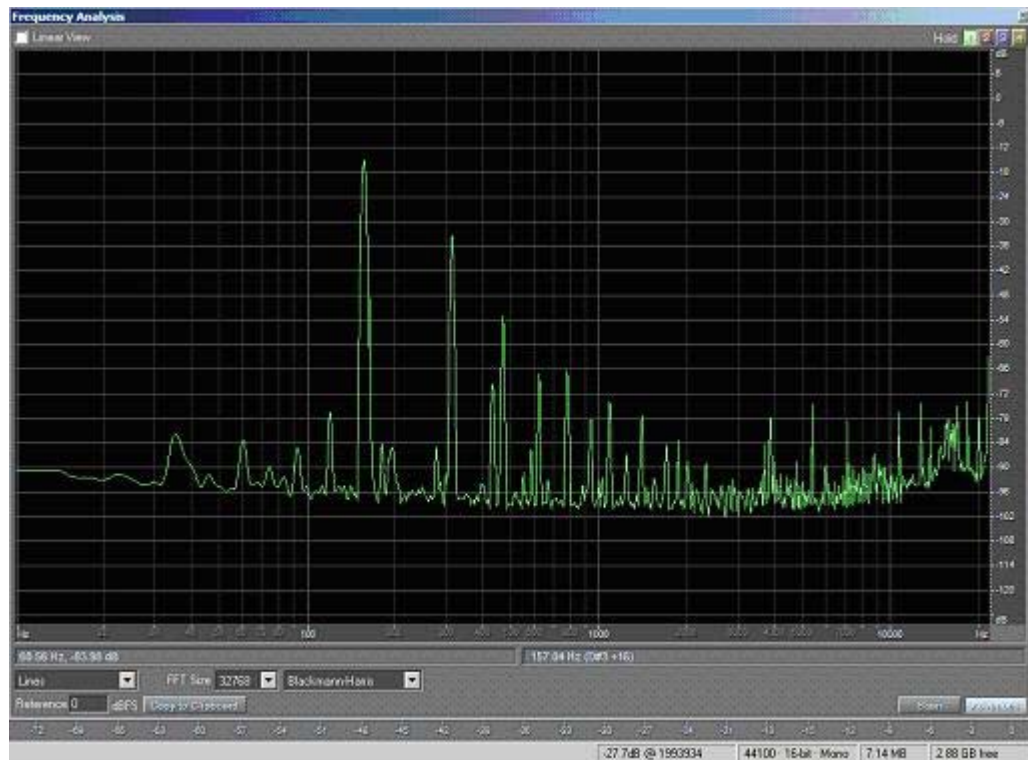


Figura 7 Análise de frequência do Mogno

Os decaimentos logarítmicos (DL) das amostras variaram entre 0,016 a 0,034, sendo a média 0,025 e o desvio padrão igual a 0,004.

Os resultados do teste acústico (DL e fr) e o resultado do cálculo da velocidade de propagação sonora para as espécies tradicionais e para as pré-selecionadas se encontram nas Tabelas 3 e 4 respectivamente.

Tabela 3 Características acústicas das madeiras tradicionalmente utilizadas

Espécie	C (m/s)	Fr (Hz)	DL
Basswood	5687	...	...
Poplar, Aspen Quaking	5052	...	...
Alder, Red	4836	...	...
Spruce	5180	185,27	0,027
Cedro, Spanish	4639	148,96	0,029
Agathis	...	...	...
Mogno	3464	166,57	0,027
Walnut, Black	5004	...	...
Ash, White	4875	...	...
Maple, Sugar	4880	150,43	0,030
Ébano	4333	...	...
Jacarandá (Rosewood)	3590	183,60	0,016

... Valores não determinados por falta de amostras

Tabela 4 Características acústicas das madeiras pré-selecionadas

Espécie	C m/s	Fr (Hz)	DL
Açoita-cavalo	5053,30	159,82	0,031
Amapá doce	4042,57	186,45	0,026
Andiroba	4087,94	174,14	0,025
Cedro	4616,53	148,96	0,029
Cerejeira	3827,74	177,15	0,024
Copaíba	3964,97	196,37	0,026
Envira preta	4925,31	193,18	0,024
Faveira folha fina	4373,72	167,26	0,026
Freijó	4232,62	156,46	0,028
Freijó verdadeiro	4426,30	193,55	0,019
Grapiá	3762,55	173,39	0,034
Grumixava	5741,28	151,62	0,034
Guariúba/ Oiticica amarela	4317,61	169,14	0,018
Jacarandá	3578,51	183,60	0,016
Macacauba	4316,14	163,55	0,021
Marupá	4103,50	167,91	0,027
Mogno	3456,73	166,57	0,027
Morototó	4498,40	207,26	0,026
Muiracatiara rajada	4362,53	174,57	0,023
Munguba gr terra firme	4191,16	175,11	0,026
Mururé	4668,67	194,32	0,024
Pará-Pará	4568,41	198,65	0,029
Pinho do Paraná	4533,68	195,98	0,021
Tauari-amarelo	4493,50	176,26	0,022
Tauari-branco	4300,03	206,03	0,024
Tauari-rosa	4370,70	182,70	0,026
Taxi preto folha grande	4261,80	176,25	0,026
Ucuúba-da-terra-firme	4472,60	184,97	0,026
Urucu da mata	4596,64	173,15	0,027

As madeiras de alta densidade apresentaram uma leve tendência a baixa velocidade de propagação sonora (Figura 8), resultados já comprovados por BARDUCCI & PASQUALINI (1948) e HAINES (1979).

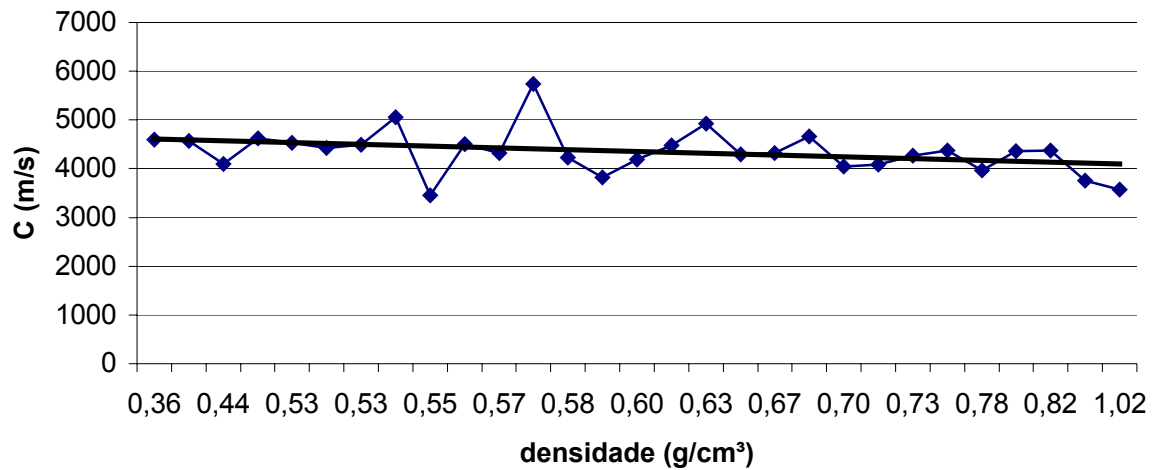


Figura 8 Densidade (g/cm³) X velocidade de propagação sonora (m/s)

Temos como exemplos de madeiras com média densidade e baixa velocidade de propagação o Marupá, que já vem sendo utilizado por fabricantes nacionais e o Mogno, que é uma espécie tradicionalmente utilizada, (Tabela 4 e 5).

Tabela 5 Características físicas e mecânicas das madeiras pré-selecionadas

Espécie	Densidade aparente 12% (g/cm³)	MOE (x1000) (kgf/cm²)	MOR (kgf/cm²)	Dureza Janka transv (kgf)
Açoita-cavalo	0,54	138	1271	817
Amapá doce	0,70	115	1043	567
Andiroba	0,72	120	1093	640
Cedro	0,46	99	768	623
Cerejeira	0,60	88	785	399
Copaíba	0,78	123	1179	664
Envira preta	0,63	153	1252	571
Faveira folha fina	0,82	157	1498	979
Freijó	0,58	104	823	343
Freijó verdadeiro	0,53	104	932	452
Grapiá	0,91	129	1272	845
Grumixava	0,58	191	850	...
Guariúba/ Oiticica amarela	0,67	124	1110	624
Jacarandá	1,02	131	1192	...
Macacauba	0,57	106	1039	911
Marupá	0,44	74	653	143
Mogno	0,55	66	562	435
Morototó	0,56	113	725	358
Muiracatiara rajada	0,80	153	1391	979
Munguba gr terra firme	0,60	106	895	469
Mururé	0,67	145	1402	1377
Pará-Pará	0,43	89	562	192
Pinho do Paraná	0,53	109	609	...
Tauari-amarelo	0,53	108	905	380
Tauari-branco	0,63	117	1061	516
Tauari-rosa	0,76	146	1367	710
Taxi preto folha grande	0,73	132	1332	803
Ucuúba-da-terra-firme	0,60	121	972	472
Urucu da mata	0,36	77	555	198

Banco de dados do LPF <<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira>>

Tabela 6 Características anatômicas das madeiras pré-selecionadas

Espécie	Aspectos Anatômicos	
	Grã	Cor (cerne)
Açoita-cavalo	cruzada reversa	marrom amarelado claro
Amapá doce	cruzada reversa	marrom avermelhado escuro
Andiroba	direita	marrom
Cedro	direita	rosa
Cerejeira	direita	amarelo pálido
Copaíba	direita	marrom avermelhado escuro
Envira preta	direita	amarelo pálido
Faveira folha fina	cruzada irregular	marrom amarelado claro
Freijó	direita	marrom
Freijó verdadeiro	direita a cruzada reversa	marrom aczentado claro
Gapiá	reversa	amarelo
Grumixava	ondulada	bege-claro a rosado
Guariúba/ Oiticica amarela	cruzada reversa	amarelo
Jacarandá	direita a ondulada	marrom escuro
Macacauba	direita a ondulada	marrom fraco
Marupá	direita	branco amarelado
Mogno	entrecruzada	vermelho
Morototó	direita	branca
Muiracatiara rajada	ondulada	rosa pálido a vermelho
Munguba gr terra firme	direita a cruzada reversa	marrom avermelhado
Mururé	direita	marrom-forte
Pará-Pará	direita	branco a branco amarelado
Pinho do Paraná	direita	branco-amarelado
Tuari-amarelo	direita	branco
Tuari-branco	direita	branco amarelado
Tuari-rosa	direita	marrom amarelado claro
Taxi preto folha grande	cruzada irregular	marrom dourado
Ucuúba-da-terra-firme	direita	marrom
Urucu da mata	direita	marrom rosado claro

Banco de dados do LPF <<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira>>

Tabela 7 Características de trabalhabilidade e secagem das madeiras pré-selecionadas

Espécie	Secagem	Trabalhabilidade	
	Defeitos	Serragem	Aplain.
Açoita-cavalo	rachaduras e canoamento	difícil	difícil
Amapá doce	torcedura e endurecimento	média	médio
Andiroba	médio	bom	bom
Cedro	encanoamento e torcimento	bom	bom
Cerejeira	rachaduras de topo	...	...
Copaíba	rachaduras, torcedura	média	médio
Envira preta	rachaduras, torcedura	fácil	fácil
Faveira folha fina	rachaduras, torcedura	regular	regular
Freijó	leves rachaduras	fácil	fácil
Freijó verdadeiro	rachaduras e acanoamento	fácil	fácil
Grapiá	arqueamento e torcimento	excelente	excelente
Grumixava	...	...	...
Guariúba/ Oiticica amarela	rachaduras e torcimentos	fácil	regular
Jacarandá	...	fácil	fácil
Macacauba	...	excelente	excelente
Marupá	nenhum	fácil	fácil
Mogno	nenhum	regular	regular
Morototó	...	regular	excelente
Muiracatiara rajada	nenhum	fácil	fácil
Munguba gr terra firme	rachaduras e acanoamento	fácil	fácil
Mururé	encurvamentos médios	excelente	excelente
Pará-Pará	torcedura e endurecimento	fácil	fácil
Pinho do Paraná	nenhum	excelente	excelente
Tauari-amarelo	nenhum	fácil	fácil
Tauari-branco	tendência a rachaduras	fácil	fácil
Tauari-rosa	nenhum	média	médio
Taxi preto folha grande	rachaduras e endurecimentos	média	difícil
Ucuúba-da-terra-firme	rachaduras ao topo	bom	bom
Urucu da mata	rachadura e acanoamento	fácil	médio

Banco de dados do LPF <<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira>>

Vale ressaltar que existem inúmeras características que podem definir o timbre de uma madeira, até mesmo, variações dentro da mesma árvore.

4.2 SELEÇÃO DAS MADEIRAS

Seguindo os mesmos critérios utilizados para a pré-seleção das madeiras associado às propriedades acústicas testadas mais as características exigidas para cada parte do instrumento, selecionou-se as espécies para guitarra elétrica (Tabela 8).

A seleção não é um critério definitivo para a escolha de uma espécie para a fabricação do instrumento musical, e sim um indicativo de suas potencialidades.

Tabela 8 Espécies sugeridas para fabricação de guitarras elétricas

Corpo	Braço	Escala escura	Escala clara
Açoita-cavalo	Açoita-cavalo	Andiroba	Açoita-cavalo
Cedro	Cedro	Copaíba	Amapá doce
Cerejeira	Cerejeira	Faveira folha fina	Cerejeira
Envira preta	Envira preta	Jacarandá	Envira preta
Freijó	Freijó	Macacauba	Grapiá
Freijó verdadeiro	Freijó verdadeiro	Mururé	Grumixava
Macacauba	Grumixava		Tuari-amarelo
Marupá	Macacauba		Tuari-branco
Mogno	Mogno		
Morototó	Morototó		
Munguba gr terra firme	Munguba gr terra firme		
Pará-Pará	Pinho do Paraná		
Pinho do Paraná	Tuari-amarelo		
Tuari-amarelo	Tuari-branco		
Tuari-branco	Ucuúba-da-terra-firme		
Ucuúba-da-terra-firme			
Urucu da mata			

4.2.1 CORPO

As madeiras para corpos de guitarra foram selecionadas primeiramente de acordo com sua densidade, variando entre 0,37 a 0,63 g/cm³. O segundo fator levado em consideração foi a velocidade de propagação que variou de 3456 a 5053 m/s. O terceiro critério foi o DL, madeiras que apresentaram DL alto e densidade mais elevada foram excluídas.

Em seguida avaliou-se os critérios anatômicos, priorizando madeiras com grã regular. A textura não foi avaliada, pois na pré-seleção havia sido incluídas somente madeiras com texturas de média a fina e a cor também não foi fator de exclusão, pois muitas marcas pintam completamente as guitarras, diferente do que ocorre em instrumentos acústicos.

Das madeiras selecionadas para corpo, destacaram-se: o Marupá, que por ser uma madeira leve, já vem sendo utilizada por fabricantes de instrumentos musicais; o Tauari-amarelo, que apesar de ter uma densidade um pouco maior que a do Alder, suas outras características se assemelharam ao mesmo; o Pará-Pará pode ser uma excelente substituta para o Alder; o Pinho-do-Paraná possui excelentes qualidades, bem como um baixo DL; o Morototó apresentou-se muito semelhante ao Mogno e o Urucu-da-mata, sendo uma madeira leve, pode substituir o Basswood e ser uma boa alternativa para guitarras que necessitem de um som mais grave.

4.2.2 BRAÇO

Para braço, as densidades das madeiras ficaram entre 0,46 a 0,63 g/cm³, MOE entre 66 000 a 153 000 kgf/cm² e dureza entre 343 a 817 kgf. A velocidade de propagação ficou entre 3456 a 5053 m/s.

Também priorizou-se espécies com grã regular. Espécies que apresentaram defeitos de secagem como torcedura ou apresentaram problemas em sua estabilidade dimensional foram excluídas, tendo em vista que a estabilidade dimensional é um fator muito importante para braços de instrumentos de corda em geral.

Destacaram-se as seguintes espécies para braço: o Morototó como já foi citado, mostra-se muito parecido com o Mogno; a Ucuúba-da-terra-firme tem um excelente potencial para confecção de braços e o Tauari-branco mostrou-se muito semelhante ao Maple, podendo ser utilizado como substituto ao mesmo.

4.2.3 ESCALA ESCURA

O principal fator de escolha de espécies para escala foi a cor, tendo em vista que esta não pode ser pintada como ocorre nos braços e corpos de algumas guitarras. As escalas podem ser escuras como o Jacarandá ou o Ébano ou claras como o Maple.

Para escalas escuras a densidade das espécies variou entre 0,57 a 1,02 g/cm³. Outro fator importante para escalas escuras é a dureza, sendo que esta ficou entre 664 a 1377 kgf. A velocidade de propagação variou entre 3585 a 4374 m/s. Também se priorizou madeiras com grã regular, com boa estabilidade dimensional e de excelente a médio aplainamento como propriedade de trabalhabilidade.

As espécies que mais se destacaram para escalas escuras foram o Mururé que possui uma cor marrom-forte, uma dureza bem elevada, além de possuir grã direita e um baixo DL, suas propriedades de trabalhabilidade são classificadas como excelentes. Outra que se destacou foi a Andiroba, que possui uma cor marrom bem característica, grã direita e uma alta densidade.

4.2.4 ESCALA CLARA

Já para escalas claras procurou-se espécies que se assemelhassem ao Maple, sendo esta junto ao Pau-Marfim as únicas espécies utilizadas para este feito. Porém, como para escalas escuras são utilizadas espécies com dureza, densidade e MOE mais elevados que os do Maple, não se excluiu as madeiras com estas características das escalas claras.

A espécie que mais se destacou foi o Tauari-branco, com características bem próximas ao Maple, além de possuir grã direita e baixo DL.

5. CONCLUSÕES

- O método de vibração forçada realizado no software Cool Edit Pro 2.0 foi satisfatório, com resultados bem próximos dos encontrados por SLOOTEN & SOUZA (1993);
- O decaimento logaritmo pode ser definido em função da proporção das amplitudes entre o som fundamental em relação a seus harmônicos;
- As madeiras brasileiras podem produzir guitarras de qualidade, podendo ter características semelhantes ou até superiores às tradicionalmente utilizadas. Porém, existem inúmeras características que podem definir o timbre de uma madeira, até mesmo, variações dentro da mesma árvore;
- A seleção não é um critério definitivo para a escolha de uma espécie para a fabricação do instrumento musical, e sim um indicativo de suas potencialidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAFIM. **Projeto do Programa setorial integrado da industria de instrumentos musicais do Brasil**. Blumenal, SC. 2003.

BARDUCCI, I. and PASQUALINI, G. **Misura dell' atrito interno e delle costanti elastiche del legno**. Nuovo Cimento. 416-466.1948.

BUCUR, Voichita. **Acoutics of Wood**. CRC Press. 1995.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook: Wood as na Engineering Material**. Agric Handb. 72. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture; rev 1987. 466p.

HAINES, D. **On musical instruments wood**. Catgut Acoust. Soc. Newslett. N° 24, 25-28. 1979.

HEARMON, R. F. S. **The assessment of wood proprieties by vibration and high frequency acoustic waves**. U.K: Forest Research Laboratory. 1968. 49-52p.

HO, H. **Guitar Player em português**, N° 70. São Paulo, SP: Trama, 2002.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A – IPT. **Madeiras Brasileiras para instrumentos de música**. São Paulo, SP: Relatório final n° 22.770. 1985.

LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS – LPF. **Banco De Dados De Madeiras Brasileiras**. Disponível em:
<<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira>>. Acesso em: dez. 2003.

MED, B. **Teoria da Música**. 4° ed. Brasília, DF: Musimed, 1996.

MULLER, H. A. **How the violin makers choose the wood and what the procedure means from a physical point of view** (abstract). J. Catgut. Acoust. Soc. Ser. N° 46, 41, and also the manuscriptum of the talk at Catgut Acoustical Symposium, July 20-23, Hartford, CT. 1986.

RICHARDSON, B. E. **Vibrations of stringed musical instruments**. Univ. Wales Rev. N° 3, 13-20. 1988.

SCHELLENG, J. C. **Wood for violins**. Acoust. Soc. Newslett. N° 37, 8-19. 1982.

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

SOUZA, M. R. **Madeiras para instrumentos musicais: classificação preliminar**. Brasília: IBDF/DE/LPF, 1982.

SOUZA, M. R. **Classificação de madeiras para instrumentos musicais**. Brasília: IBDF/DE/LPF, 1983. 21p.

WOODHOUSE, J. **On the playability of violins: Reflexion function**: Acustica. 78, 125-135. **Minimum bow force and transients**: Acustica. 78, 137-153. 1993 a.

WOODHOUSE, J. **Idealised models of a bowed string**: Acustica. 79, 233-25. 1993 b.

WOODHOUSE, J. **On the stability of bowed string motion**: Acustica. In press. 1994.

ANEXOS DE TABELAS

TABELA 1 - Lista das espécies pré-selecionadas..... 36

TABELA 2 - Lista das espécies tradicionais..... 37

Tabela 1 Lista das espécies pré-selecionadas

Nome comum	Nome científico
Açoita-cavalo	<i>Lueheopsis duckeana</i> Burret
Amapá doce	<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke
Andiroba	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.
Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.
Cerejeira	<i>Amburana acreana</i> (Ducke) A.C.Sm.
Copaíba	<i>Copaifera reticulata</i> Ducke
Envira preta	<i>Onychopetalum amazonicum</i> R.E.Fr
Faveira folha fina	<i>Piptadenia</i> sp.
Freijó	<i>Cordia</i> sp.
Freijó verdadeiro	<i>Cordia goeldiana</i> Huber
Grapiá	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.
Grumixava	<i>Micropholis</i> sp.
Guariúba/ Oiticica amarela	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.
Jacarandá	<i>Dalbergia spruceana</i> Benth.
Macacauba	<i>Platymiscium</i> sp.
Marupá	<i>Simarouba amara</i> Aubl.
Mogno	<i>Swietenia macrophylla</i> King
Morototó	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch
Muiracatiara rajada	<i>Astronium lecointei</i> Ducke
Munguba gr terra firme	<i>Bombax longipedicellatum</i>
Mururé	<i>Brosimum acutifolium</i> Huber
Pará-Pará	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don
Pinho do Paraná	<i>Araucaria angustifolia</i> (Bert.) Kuntze
Taxi preto folha grande	<i>Tachigali myrmecophila</i> Ducke
Tuari-amarelo	<i>Couratari oblongifolia</i> Ducke & R.Knuth
Tuari-branco	<i>Couratari guianensis</i> Aubl
Tuari-rosa	<i>Couratari stellata</i> A.C.Sm.
Ucuúba-da-terra-firme	<i>Virola</i> sp.
Urucu da mata	<i>Bixa arborea</i> Huber

Tabela 2 Lista das espécies tradicionais

Nome comum	Nome científico
Agathis	<i>Agathis borneensis</i>
Alder, Red	<i>Alnus rubra</i>
Ash, white	<i>Fraxinus americana</i>
Basswood	<i>Tilia americana</i>
Cedro, Spanish	<i>Cedrela odorata</i>
Ébano	<i>Diospyros mespiliformis</i>
Jacarandá (Rosewood)	<i>dalbergia sp.</i>
Maple, Sugar	<i>Acer saccharinum</i>
Mogno	<i>Swietenia macrophylla</i>
Poplar, Aspen Quaking	<i>Populus tremuloides</i>
Spruce	<i>Picea abies</i>
Walnut, Black	<i>Juglans nigra</i>