

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Efeito de produtos de acabamento nas propriedades acústicas de madeiras da Amazônia

Aluno: Lucas Bichara de Lima

Orientador: Ricardo Faustino Teles

Brasília, 2015

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Efeito de produtos de acabamento nas propriedades acústicas de madeiras da Amazônia

Aluno: Lucas Bichara de Lima

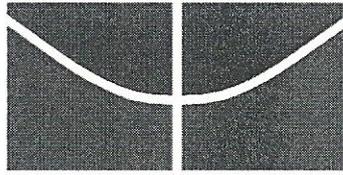
Matrícula: 10/0015794

Orientador: Ricardo Faustino Teles – PhD, IFB

Co-orientador: Alexandre Florian da Costa – PhD, EFL/UnB

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

Brasília, Dezembro de 2015



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**EFEITO DE PRODUTOS DE ACABAMENTO NAS PROPRIEDADES ACÚSTICAS DE
MADEIRAS DA AMAZÔNIA**

Estudante: Lucas Bichara de Lima

Orientador: Ricardo Faustino Teles

Menção: SS

Dr. Ricardo Faustino Teles
Instituto Federal de Brasília – IFB
Orientador

Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Coorientador

Prof. Dr. Joaquim Carlos Gonzalez
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Membro da Banca

Brasília – DF, Dezembro de 2015

Dedico este trabalho aos meus pais
e meus avós, por tudo que sou hoje
e pelo incentivo na música
e na Engenharia Florestal.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais pela oportunidade de um ensino de qualidade, formação de valores e de boa conduta moral.

Ao meus avós que sempre me acolheram com carinho e devoção, me mostrando a beleza cultural desse país, bem como a riqueza musical.

Ao meu avô Luiz Roberto, com todas suas frases célebres e que ainda não foram tomadas notas, mas que irão perpetuar como as trapalhadas do Major Bichara, dito na época pelo rei do Baião.

Agradeço à toda família pelo incentivo, energia e grande força motivadora de seguir em frente, comemorando cada conquista obtida.

Ao meu vizinho e primeiro professor de música, João do Violão, pelo começo de toda uma jornada que me levou até aqui.

Ao professor de gaita e grande músico, Pablo Fagundes, pela transmissão do conhecimento sobre o instrumento e motivação da idealização desse projeto durante a graduação.

Ao Mário Rabello, por toda ajuda do IBAMA/LPF e pela primeira tentativa de concretizar esse projeto, além de fornecer o equipamento necessário.

Aos meus orientadores por me ajudarem nessa pesquisa, de forma prestativa.

Aos amigos e colegas que fiz pela UnB, por tornarem agradável a vivência e por perpetuar momentos de amizade, com destaque à Matheus Lothar, Renan Alves, Mariana, D2, Codo, Igor, Jamaica, Pedrin, Carrijo, PF, Socó, Luizinho, pelas sábias palavras, quando calouro.

Ao Jorge Heine pela parceria musical, amizade e auxílio em alguns parâmetros desse projeto.

Ao grupo Joelho de Frango por todos momentos bons, horas de ensaios e shows e entenderem a ausência devido à pesquisa.

Aos professores do Departamento, Ildeu, Rosana, Reuber, Manoel Cláudio, Zé Roberto, Humberto, Florian, Alcides e Aílton e aos funcionários, Itamar, Paula, Juraci.

Aos amigos do condomínio pela amizade e apoio, Vilas, Digras, Sororó, Raíre, Corno, Ferd, Brubs, Ricardinho.

vAos intercambistas da colina e amigos de viagem, pela mistura cultural e musical.

E a todas as pessoas que me ajudaram direta, ou indiretamente a chegar até aqui.

"Ligue-se no som das torneiras que roncam, na descarga dos banheiros com os latidos dos cachorros, no vento que bate na janela, nos grilos, nos sapos, no tom dos motores dos carros... Tudo é som!"

Hermeto Pascoal

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	1
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
3.1 Características das Madeiras Utilizadas	3
3.2 Propriedades Físicas da Madeira	4
3.3 Tratamentos da Madeira	5
3.4 Acústica da madeira	5
3.5 Efeito da Propagação de Ondas de Tensão na Densidade Aparente	7
3.6 Características Acústicas	8
3.7 Velocidade do Som na Madeira (c)	9
3.8 Impedância Característica (Z)	9
3.9 Coeficiente de Radiação do Som (K)	9
3.10 Coeficiente de Perda (η)	10
3.11 Característica de Impedância	11
3.12 Coeficiente de Radiação	12
4. MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1 Material Lenhoso	13
4.2 Tratamentos com Produtos de Acabamento	13
4.3 Teste Acústico	14
4.4 Velocidade de Propagação Sonora	16
4.5 Análise Estatística	17
5. Resultados e Discussões	18
5.1 Propriedades Acústicas	18

5.2 Análise da Impregnação dos Tratamentos.....	19
6. CONCLUSÕES.....	27

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Análise descritiva das propriedades acústicas para as espécies: Gombeira, Taxi preto, Cuiarana, Breu-amescla e Amapá doce, observando as faces radial e tangencial.

TABELA 2 -Correlação de Pearson para massa, frequência de ressonância, velocidade de propagação sonora (C) e decaimento logarítmico (DL).

TABELA 3 - Dados obtidos x Dados de Souza, 2007 para os tratamentos, analisando a frequência de ressonância, decaimento logarítmico (DL) e velocidade propagação sonora (C).

ANEXO I - Análise de variância (ANOVA) das propriedades acústicas para as 5 espécies, considerando as faces radial e tangencial, submetidas a teste de Tukey.

TABELA 4 -Análise de variância das propriedades acústicas para as faces radial e tangencial da Gombeira.

TABELA 5 -Análise de variância das propriedades acústicas para as faces radial e tangencial do Breu-amescla

TABELA 6 -Análise de variância das propriedades acústicas para as faces radial e tangencial do Taxi preto.

TABELA 7 -Análise de variância das propriedades acústicas para as faces radial e tangencial da Cuiarana.

TABELA 8 -. Análise de variância das propriedades acústicas para a face radial do Amapá doce.

ANEXO II - Correlação de Pearson para as propriedades acústicas, considerando as faces radial e tangencial.

TABELA 9 - Correlação de Pearson das propriedades acústicas entre as faces radial e tangencial para a Gombeira.

TABELA 10 - Correlação de Pearson das propriedades acústicas entre as faces radial e tangencial para o Breu-amescla.

TABELA 11 - Correlação de Pearson das propriedades acústicas entre as faces radial e tangencial para o Taxi preto.

TABELA 12 - Correlação de Pearson das propriedades acústicas entre as faces radial e tangencial para a Cuiarana

TABELA 13 - Correlação de Pearson das propriedades acústicas para o Amapá doce.

TABELA 14 - Correlação de Pearson entre as faces Radial e Transversal

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 (A,B,C,D,E) Face radial das madeiras: Taxi preto (A), Gombeira (B), Cuiarana(C), Amapá doce (D) e Breu-amescla (E).

FIGURA 2 Análise da madeira e do bambu como materiais para instrumentos musicais, em um gráfico da velocidade do som x densidade.

FIGURA 3 Gráfico do módulo de elasticidade paralelo às fibras x densidade de madeiras para instrumentos musicais.

FIGURA 4 Corpos de prova de espécies de madeira tropical.

FIGURA 5 Anteparo de vibração forçada para os testes acústicos.

FIGURA 6 Testes acústicos.

FIGURA 7 Aparelho de medição da velocidade de propagação de ondas de tensão.

FIGURA 8 (A,B) Exemplo de curva com o pico de ressonância para a Gombeira sem tratamento (A) e com segunda demão de verniz (B).

FIGURA 9 (C,D) Exemplo de curva com o pico de ressonância para a espécie Breu-amescla sem tratamento (C) e com aplicação da segunda demão de verniz (D).

FIGURA 10 Análise de frequência para a espécies Gombeira sem tratamento (A) e com segunda demão de verniz (B) e Breu-amescla sem tratamento (C) e com segunda demão de verniz (D).

FIGURA 11 (A,B,C,D,E,F) Amostras de Gombeira, com aplicação de seladora em uma aproximação de 20x (A) e 43x (B), e aplicação da 2ª demão de verniz na face lateral, em aproximação de 200x (C) e 500x (D) e 500x (E) e 1000x (F) da face de aplicação do produto.

FIGURA 12 (A,B,C,D,E,F) Amostras de Breu-amescla, com aplicação de seladora e aproximação de 20x (A) e 100x (B), e aplicação da 2ª demão de verniz, com zoom de 100x (C), 400x (D), 500x (E) e 1000x (F).

Figura 12 Decaimento Natural (DL) analisado por espécies: Gombeira, Breu-amescla, Taxi preto, Cuiarana e Amapá doce, com aplicação de diferentes tratamentos.

Figura 13 Frequência natural de ressonância (fr) em Hz, analisada para as espécies: Gombeira, Breu-amescla, Taxi preto, Cuiarana e Amapá doce, com aplicação de diferentes tratamentos.

Figura 14 Velocidade de propagação do som (C), em m/s, analisada para as espécies Gombeira, Breu-amescla, Taxi preto, Cuiarana e Amapá doce, com aplicação de diferentes tratamentos.

RESUMO

Dentre as centenas de espécies florestais madeireiras, apenas poucas são realmente utilizadas para instrumentos musicais, devido principalmente ao forte tradicionalismo, que sempre foi contra a iniciação de projetos científicos na área, e ao excelente desempenho das propriedades físicas e mecânicas das já conhecidas para fabricação de instrumentos musicais. O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar o efeito do tratamento superficial com produtos de acabamentos comerciais nas propriedades acústicas de madeiras tropicais. Para tanto, foram as espécies florestais amazônicas Breu-amescla (*Trattinnickia burserifolia*) (Mart), Taxi preto (*Tachigali myrmecophila*) (Ducke), Cuiarana (*Terminalia labrescens*) (Mart), Gombeira (*Swartzia laurifolia*) (Benth), Amapá doce (*Brosimum parinarioides*) (Ducke). Estas foram doadas pelo Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro e produzidas amostras nas dimensões de 300 x 20 x 3 mm (comprimento, largura e espessura), tendo estas faces orientações tangenciais e radiais. Foram analisados os seguintes tratamentos: a madeira em seu estado natural; aplicação de 2 demãos de seladora diluída em thinner na mesma proporção; uma aplicação de verniz comercial poliuretânico e uma segunda demão do produto, totalizando 4 tratamentos. A avaliação acústica foi realizada por meio do método da vibração forçada com metodologia proposta por Hearmon (1965) e com os pressupostos da norma ASTM E1875, sendo avaliadas a frequência de ressonância, o decaimento logarítmico, velocidade de propagação sonora. Foi observado ainda o ganho de massa com a aplicação dos produtos de acabamento para cada espécie. Os resultados indicaram que as faces radial e tangencial apresentaram frequências naturais distintas, e a partir disto, estas foram analisadas separadamente. Embora tenha ocorrido ganho de massa em cada tratamento, este não foi suficiente para alterar as propriedades acústicas de forma significativa para cada espécie estudada. Entretanto, ao analisar o conjunto geral de madeiras, por meio da correlação de Pearson observou-se que a frequência e a velocidade de propagação sofreram influências diretas da aplicação dos produtos, de forma negativa e positiva respectivamente para cada propriedade. Complementarmente, as madeiras foram avaliadas por meio de imagens de microscopia eletrônica de varredura, as quais demonstraram a boa impregnação superficial dos produtos de acabamento.

Palavras-chave: madeira amazônica, frequência, decaimento logarítmico, acústica, velocidade, som, massa específica, produtos de acabamento.

ABSTRACT

Among the hundreds of timber forest species, only a few are actually used for musical instruments, mainly due to the strong traditionalism, which has always been against the initiation of scientific projects in the area, and the excellent performance of the physical and mechanical properties of the already known for manufacturing musical instruments. This study aimed to evaluate the effect of surface treatment products for commercial finishes on the acoustic properties of tropical wood. So, were the Amazonian forest species Breu-Amescla (*Trattinnickia burserifolia*) (Mart), Taxi Preto (*Tachigali myrmecophila*) (Ducke), Cuiarana (*Terminalia labrescens*) (Mart), Gombeira (*Swartzia laurifolia*) (Benth), Amapá doce (*Brosimum parinarioides*) (Ducke). These were donated by the Forest Products Laboratory of the Brazilian Forest Service, and samples were produced in the dimensions of 300 x 20 x 3 mm (length, width and thickness), and these faces oriented by tangential and radial directions. The treatments were analyzed as: the wood in its natural state; application of 2 coats of sealer diluted in thinner at the same rate; an application commercial polyurethane varnish and a second coat of product, totaling 4 treatments. The acoustic analysis was performed using the method of forced vibration with the methodology proposed by Hearmon (1965) and with the assumptions of ASTM E1875 and evaluated the frequency of resonance, the logarithmic decay sound propagation speed. It was also observed mass gain with the application of finishes for each species. The results indicated that the radial and tangential faces presented different natural frequencies, and from this, these were separately analyzed. Although weight gain occurred in each treatment, this was not sufficient to alter the acoustic properties significantly for each species studied. However, when analyzing the overall set of woods, through the Pearson correlation it was observed that the frequency and velocity suffered direct influences from the application of products, negatively and positively respectively for each property. In addition, the woods were evaluated using scanning electron microscopy images, which showed a good surface impregnation of finishing products

Keywords: Amazon timber, frequency, logarithmic decrement, acoustic, speed, specific mass, finishing products.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material natural, de importante função estrutural, com amplo uso pelo homem, devido às suas propriedades físicas e mecânicas, bem como seu baixo preço e por ser um recurso renovável, quando bem manejado. No entanto, ela está sujeita a alterações dimensionais, devido à umidade, o que de certa forma reduz o seu uso potencial. Um grande esforço vem sendo feito para modificar e melhorar as propriedades da madeira, com modificações físicas e químicas (KOCAEFE et al, 2015).

A aplicação de produtos de acabamentos comerciais pode alterar o aspecto natural da madeira (GONÇALEZ et al, 2010).

O Verniz é uma película de acabamento quase transparente, usada geralmente em madeira, automóveis, ou outros materiais e confere proteção, profundidade e brilho. Há outros efeitos benéficos, como o aumento da durabilidade da madeira, prolongando a vida útil da peça em até quatro vezes. Em sua composição geral, há óleo secante, resinas e um solvente, como por exemplo aguarrás, ou derivados do petróleo, como poliuretano ou epóxi. Diferentemente das tintas, o verniz não possui pigmentação para enaltecer a textura ou a cor natural. É bastante utilizado como a última camada sobre a pintura, para proteção e efeito de profundidade. Esse produto é líquido e deve ser aplicado com pincel ou pulverizador e forma uma película ao secar em contato com o ar.

Através da impregnação da seladora e verniz, que foram os tratamentos adotados nesse trabalho, busca-se estabilizar a madeira, analisando as faces radial e tangencial. Tal característica é adquirida por duas formas: bloqueando o lúmen da célula, o que reduz a absorção de água, ou aumentando e inchando as fibras da estrutura da parede celular. A deposição de materiais insolúveis à água dentro da parede celular é eficiente, ao manter a estrutura da madeira em um estado inchado (KOCAEFE et al, 2015).

Apesar do acabamento em madeiras para instrumentos musicais ser uma técnica antiga, alguns "luthiers", fabricantes de instrumentos de corda, que os constroem de forma artesanal, não o utilizam pois acreditam que o verniz "abafa" o som da madeira em seu estado natural.

2. OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar o efeito do tratamento superficial com produtos de acabamentos comerciais nas propriedades acústicas de cinco espécies de madeiras tropicais da Amazônia.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um dos grandes desafios mundiais nos dias de hoje estão voltados para o crescimento sustentável, através de políticas ambientais e econômicas que coloquem em prática o conceito de desenvolvimento sustentável. A sustentabilidade da região amazônica e principalmente da indústria madeireira encontra-se comprometida pela tradicional característica de destruição das florestas em que se baseia. Em outras regiões, como Sul e Sudeste há outros problemas, como a insuficiência dos plantios, que causa escassez de madeira. Deve-se portanto estimular o uso racional de recursos florestais para que a indústria de madeira serrada possa continuar a crescer (PEREZ, 2006).

O Brasil tem vantagens na produção da madeira mais barata do mundo graças às vantagens naturais e aos intensivos esforços em silvicultura. Considerando esses benefícios e a não exigência de um desenvolvimento tecnológico avançado das indústrias madeireiras, não é preciso muito para tornar o País uma grande referência mundial nesse segmento, como já vem ocorrendo com o setor de celulose (ALMEIRA, 2010).

O PIB do setor de base florestal brasileiro vem aumentando, passando de US\$ 20 bilhões para US\$ 44,6 bilhões no período de 2003 a 2007, representando um crescimento de 123% (SBS, 2008).

O Brasil é o país que mais explora madeira tropical no mundo, mas sua participação no mercado internacional de madeira serrada é inexpressiva (SOUZA et al, 2007). As árvores mais utilizadas no Brasil dentre as coníferas são a araucária e o pinus; e de não coníferas, ou folhosas, o mogno, cedro e eucalipto (PEREZ, 2006)

No Brasil, conhece-se diversas espécies florestais, pesquisadas e testadas pelo Laboratório de Produtos Florestais - LPF, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA e Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. O uso de novas espécies com potencial tecnológico equivalente ou semelhante às utilizadas atualmente vem sendo uma alternativa para reduzir a pressão por demanda das madeiras utilizadas, muitas já ameaçadas de extinção, incluídas na Convenção sobre Comércio Internacional de Espécies Ameaçadas da Flora e Fauna Silvestres de Extinção- CITES e IBAMA e tendo seu comércio, quando não proibido, limitado a uma série de restrições (SOUZA et al, 2007).

O aumento do custo de produção e a utilização dos recursos naturais de forma não sustentável é causada principalmente devido a utilização em massa de poucas espécies. A busca por novas espécies substitutas como novas matérias-primas favorece o mercado e reduz a escassez de madeira, tornando mais barato a fabricação de instrumentos musicais nacionais (SOUZA et al, 2007).

Há atualmente poucos trabalhos relacionados à utilização de madeiras brasileiras para a utilização de instrumentos musicais, sendo o IPT e LPF pioneiros nessa área de pesquisa. Este último já possui hoje cerca de 300 espécies estudadas à qualificação para instrumentos musicais (SOUZA et al, 2007).

Os principais motivos de se utilizar poucas espécies de madeira para instrumentos musicais dentre as centenas já conhecidas em estudos realizados por SOUZA et al (2007), FAGUNDES (2003), FERNANDES (2004) apud TELES (2004) se deve ao fato de haver

ainda um forte tradicionalismo, que sempre foi contra qualquer intervenção científica na área e, também devido às excelentes propriedades físicas e mecânicas das já utilizadas para fabricação de instrumentos musicais.

As características analisadas para instrumentos musicais são: propriedades físicas (densidade e contrações), mecânicas (módulos de elasticidade e ruptura) e caracteres gerais das madeiras (textura, grã e figura) (SOUZA et al, 2007).

3.1 Características das Madeiras Utilizadas

As 5 espécies de madeiras adotadas foram: Breu-amescla (*Trattinnickia burserifolia*) (Mart), Taxi preto (*Tachigali myrmecophila*) (Ducke), Cuiarana (*Terminalia labrescens*) (Mart), Gombeira (*Swartzia laurifolia*) (Benth), Amapá doce (*Brosimum parinarioides*) (Ducke).

O Taxi preto, (*Tachigali myrmecophila*), (Figura 1A) possui cerne e alborno distintos pela cor, cerne amarelado a castanho-amarelado-claro; cheiro e gosto imperceptíveis; densidade média; grã reversa; textura média. (IPT,1983)

A Gombeira (Figura 1B) possui o cerne e o alborno distintos pela cor, cerne amarronzado bem escuro, enegrecido. Pode ocorrer alteração acentuada de cor devido à oxidação, tendendo ao preto. Limites dos anéis de crescimento indistintos. Madeira sem brilho nas superfícies longitudinais, cheiro imperceptível, dura ao corte transversal manual, grã entrecruzada ou reversa, textura média, figura presente, de aspecto fibroso, causada pelo contraste entre fibra e parênquima axial. Massa específica básica alta (acima de 0,72 g/cm³) (Luchtemberg, 2013).

A Cuiarana (*Terminalia labrescens*) (Figura 1C) possui cerne e alborno distintos pela cor, cerne castanho-amarelado ao castanho-oliva, as vezes com estrias avermelhadas; cheiro e gosto indistintos; densidade alta; grã direita; textura fina (IPT,1989a; IPT,1989b; IPT,1983).

O Amapá doce (*Brosimum parinarioides*) (Figura 1D) possui cerne e alborno indistintos pela cor, bege-amarelado levemente rosado; superfície levemente lustrosa; cheiro e gosto imperceptíveis; densidade média; macia ao corte; grã irregular a reversa; textura média (IPT,1989a).

O Breu-amescla (Figura 1E) apresenta cerne e alborno pouco distintos pela cor, cerne bege-rosado ou bege-amarelado; cheiro e gosto imperceptíveis; densidade baixa; moderadamente dura; grã direita ou irregular; textura média; superfície irregularmente lustrosa; camadas de crescimento pouco distintas, delimitadas por zonas fibrosas ligeiramente mais escuras (IPT, 1983)

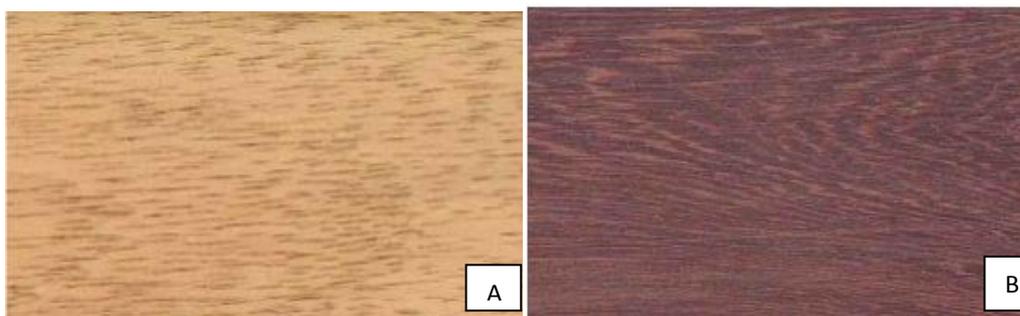




Figura 1: Face radial das madeiras: Taxi preto (A), Gombeira (B), Cuiarana (C), Amapá doce (D) e Breu-amescla (E). Fontes: SOUZA, 2007 (A,B,C,D) e Luchtemberg, 2013(E)

3.2 Propriedades Físicas da Madeira

As principais propriedades físicas na construção de instrumentos musicais são: densidade básica, contração (linear, volumétrica, tangencial e radial) e o teor de umidade inicial (SOUZA, 2007).

A densidade básica é a relação entre o peso absolutamente seco da madeira, em g/cm^3 , ou kg/m^3 , até mesmo t/m^3 , quando em estado de completa saturação de água. A densidade é uma importante propriedade que diferencia as espécies de madeiras, diferentes árvores de uma dada espécie e diferentes regiões de uma mesma árvores. Mostra também a relação com as dimensões das fibras, particularmente espessura da parede, volume dos vasos e parênquimas, proporção entre madeira primaveril e outonal e arranjo dos elementos anatômicos (FOELKEL et al, 1971).

Na fabricação de instrumentos musicais, a densidade básica das madeiras deve ser diferente para cada componente, por exemplo, o peso específico do tampo do violão deve ser inferior ao usado no fundo ou nas laterais (SOUZA, et al, 2007, apud SLOOTEN e SOUZA, 1993).

A massa específica aparente, ou densidade básica é um indicativo de defesa à xilofagia, devido à impregnação do cerne da madeira com resinas, óleos, cristais e outros extrativos. As madeiras de mais alta densidade em geral são mais resistentes mecanicamente e à umidade (FLORES, 2015 apud GONZAGA, 2006).

A contração está voltada à redução das dimensões longitudinal, tangencial e radial de uma peça de madeira devido à secagem, quando a umidade da madeira atinge valores abaixo do

ponto de saturação das fibras (PSF), sendo que geralmente, quanto menor a contração, mais estável é a madeira quanto às suas dimensões (SOUZA, et al, 2007, apud MARQUES & MARTINS, 2002).

O teor de umidade inicial é a quantidade de água que uma peça de madeira contém, expressa como porcentagem do seu peso seco em estufa. Esta é uma propriedade importante, pois o período de secagem é influenciado por este fator, sendo que altos teores de umidade inicial estão relacionados diretamente com a densidade da madeira de uma forma inversa, ou seja, quanto maior o peso específico, menor o teor de umidade inicial. Geralmente, madeiras de baixa densidade e portanto com altos teores de umidade inicial, são fáceis de secar e não apresentam defeitos graves (SOUZA, et al, 2007).

3.3 Tratamentos da Madeira

A função dos tratamentos da madeira para os instrumentos musicais têm a função de preservação, manutenção e estética (SOUZA et al, 2007).

Alguns métodos de estabilização da madeira são: hidrofobização da superfície, a fim de se vedar a entrada e saída de água; tratamentos de impregnação com agentes espessantes, como resinas e ceras, para manter a madeira em um estado inchado, e diminuir as mudanças dimensionais causadas pela umidade; tratamentos químicos com diferentes compostos químicos, para reduzir a higroscopicidade da madeira, e o tratamento térmico a altas temperaturas, que modifica a estrutura da madeira, reduzindo a acessibilidade do grupo hidroxil, e diminuindo a capacidade de absorção de água (KOCAEFE et al, 2015).

A passagem da resina para as camadas da parede celular depende de propriedades da resina e de características da madeira, como peso molecular e concentração da resina, umidade e teor de extrativos da madeira. A primeira característica é o fator mais importante para se saber onde a resina está sendo depositada nas estruturas da madeira, como no lúmen da célula, ou no interior da parede celular. Resinas com alto peso molecular têm capacidade de bloquear a troca de umidade e passagem de água para a parede celular, ao se depositar no lúmen da célula da madeira. Dessa forma, há a inibição de mudanças dimensionais da madeira a curto prazo, enquanto que resinas de baixo peso molecular exercem efeito de incremento volumétrico ao migrarem para as substâncias das paredes celulares, contribuindo significativamente para a estabilização dimensional da madeira. Outro efeito que ocorre à parte é a reação dos grupos hidroxil de celulose e lignina dentro das substâncias da parede celular, formando uma malha coesa, capaz de reduzir a absorção de água e fornecer estabilidade dimensional (KOCAEFE et al, 2015).

3.4 Acústica da madeira

Os princípios de ressonância e as propriedades de radiação do som na madeira foram aplicados durante séculos em instrumentos musicais. Antes mesmo de serem cientificamente comprovados, os princípios de ressonância e as propriedades de radiação do som na madeira já eram aplicados para instrumentos musicais (SOUZA, et al, 2007, apud SLOOTEN e SOUZA, 1993).

Hoje, essas propriedades já são conhecidas e sabe-se que os fatores de influência no comportamento de um corpo de madeira sob vibração são a elasticidade do material paralelo ou perpendicular às fibras, submetido a um esforço de tração ou flexão, e a fricção interna causada pela dissipação da energia proveniente da vibração (SOUZA, et al, 2007, apud BUCUR, 1995). As madeiras de baixa densidade costumam apresentar altos valores de velocidade de propagação do som em uma disposição paralela às fibras. (SOUZA, et al, 2007, apud BARDUCCI & PASQUALINI, 1948; HAINES, 1979). Os parâmetros mais importantes na escolha de uma madeira com boas condições para instrumentos musicais são: a densidade do material, a velocidade de propagação do som e o decaimento logarítmico (SOUZA, 2007 apud BUCUR 1995).

O som é produzido pela propagação de ondas sonoras, advindas da vibração de um corpo que vibra, definido como um fenômeno acústico. Essa vibração causa variações na pressão ou na densidade do meio ao seu redor e sensibiliza o ouvido (NETO, 2007 apud OKUNO et al., 1986). A propagação do som ocorre em meios dotados de forças internas, com capacidade de produzir no homem uma sensação auditiva, tal como o meio elástico, que quando deformado, consegue retornar ao estado inicial logo que a causa deformadora é interrompida (NETO, 2007 apud FERNANDES, 2002 e ABNT-NBR 12.179, 1992).

O som, segundo NETO, (2007) é caracterizado por três parâmetros, apresentados abaixo, como: altura, intensidade e timbre.

- A altura diz respeito à frequência e classifica o som como grave, médio ou agudo. O som do violoncelo por exemplo é considerado como grave, enquanto que o cavaquinho é agudo. A voz humana está localizada numa faixa de frequência média;
- Intensidade do som é o fluxo de energia que passa por unidade de área. A distância entre a fonte sonora até onde é medida influencia na intensidade. Tal parâmetro equivale ao volume do som. Quanto mais próximo de uma televisão por exemplo, mais forte é o som;
- Timbre é o que permite diferenciar a fonte emissora do som, quando emitido pela mesma altura e intensidade por duas fontes distintas. Por exemplo, através dessa característica, é possível saber quais instrumentos há em uma orquestra, ou banda, antes mesmo de se aproximar, ou então com os olhos vendados.

Outras propriedades acústicas importantes, são a velocidade de propagação, frequência de ressonância (fr) e decaimento logarítmico (DL). O primeiro é de suma importância na acústica de instrumentos musicais pois fornece a relação entre MOE e densidade básica da madeira. Fornece uma idéia da resistência da madeira à passagem da onda sonora. Na prática, instrumentos que desejem solos com notas de curta duração devem possuir alta velocidade de propagação. A frequência de ressonância indica a faixa de atuação do material, já que todos materiais possuem um grau de vibração natural, que será indicado para um determinado uso. As dimensões devem ser padronizadas, pois a frequência varia conforme a alteração da peça. O decaimento logarítmico indica como a onda sonora é amortecida ao passar pela madeira, indicando quanto tempo o som se sustentará. Quanto menor esse valor (abaixo de 0,020), mais tempo a onda sonora se sustentará, no entanto, valores acima de 0,030 serão mais passageiros (SOUZA, 2007).

O som, ao encontrar barreiras, sofre alterações, que estão relacionadas ao tipo de material constituinte da superfície. Ocorrem a absorção, transmissão e reflexão como os principais movimentos do som ao se deparar com qualquer superfície. O primeiro ocorre especialmente em superfícies mais macias e porosas; o segundo ocorre quando a onda sonora transmite-se através da superfície de um lado para outro do material, por meio da ressonância; e a reflexão ocorre quando a onda sonora incide na superfície e muda a direção devido à convexidade ou concavidade da superfície ou, ainda, quando a onda apresenta um determinado ângulo de incidência (NETO, 2007).

Dependendo do material que intercepta a onda sonora absorvida, transmitida e refletida, bem como qual a frequência incidente, a quantidade de energia sonora sofre alterações. (NETO, 2007 apud FERNANDES, 2002).

O ouvido humano percebe sons que variam de 20 a 20.000 Hz, que estão contidos no limiar de audibilidade. A intensidade do som possui uma escala de referência conhecida como decibel (dB). Essa denominação surgiu como submúltiplo do bel, que inicialmente foi criado para cálculo da perda de potência em cabos telefônicos, até que foi observado que a variação de 1 dB era a mínima variação audível da potência sonora. Para NETO (2007), um decibel equivale a 10 vezes o logaritmo da razão entre a intensidade do som medido e a intensidade do limiar auditivo dadas na mesma frequência. O nível de intensidade sonora, medido em decibels, é descrito por Weber-Fechner:

$$NIS = 10 * \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

em que NIS = Nível de intensidade sonora; I = Estímulo sonoro, em W/m² e I₀ = Valor mínimo do estímulo, igual a 10⁻¹² W/m².

Há uma certa particularidade quanto à escala logarítmica. Para cada aumento de 3 dB, dobra-se a energia sonora anterior.

3.5 Efeito da Propagação de Ondas de Tensão na Densidade Aparente

Segundo Oliveira e Sales (2005), pesquisas entre a densidade das madeiras e a velocidade de propagação de ondas acusam diferentes resultados, aumentando, ou diminuindo com o aumento da densidade. Essa velocidade de propagação é afetada pela espécie da madeira e da direção da medição. Geralmente, a partir de um teor de umidade constante para as amostras, o acréscimo na densidade provoca maior velocidade na propagação de ondas de tensão em quaisquer tipos de corte. Entretanto, a estrutura anatômica gera maior relação com a propagação de ondas que a densidade, considerando o comprimento de traqueídes e fibras, fato que explica o porquê de algumas coníferas terem maior velocidade, mesmo com densidades inferiores.

Segundo a fórmula da velocidade de propagação, esta é inversamente proporcional à raiz quadrada da densidade, porém, o que realmente ocorre é que o aumento da densidade advém da deposição de celulose no interior da parede celular, aumentando também a rigidez da madeira, que compensa o ganho em densidade, aumentando-se assim a velocidade (OLIVEIRA & SALES, 2005 apud CARRASCO & AZEVEDO JUNIOR, 2003).

A velocidade de propagação da onda sonora pode variar de acordo com diversas propriedades nos materiais. Em polímeros e metais, ela varia de acordo com a composição química dos seus constituintes. Na madeira, essa propriedade varia de acordo com a espécie, o tipo de corte, teor de umidade e principalmente, pela presença de nós (FLORES, 2015).

Na Figura 2, está apresentado o potencial de uso para madeira e bambu de acordo com a densidade e a velocidade de propagação do som, em uma escala logarítmica (WEGST, 2008). É possível analisar duas outras propriedades acústicas: coeficiente de radiação do som e característica de impedância.

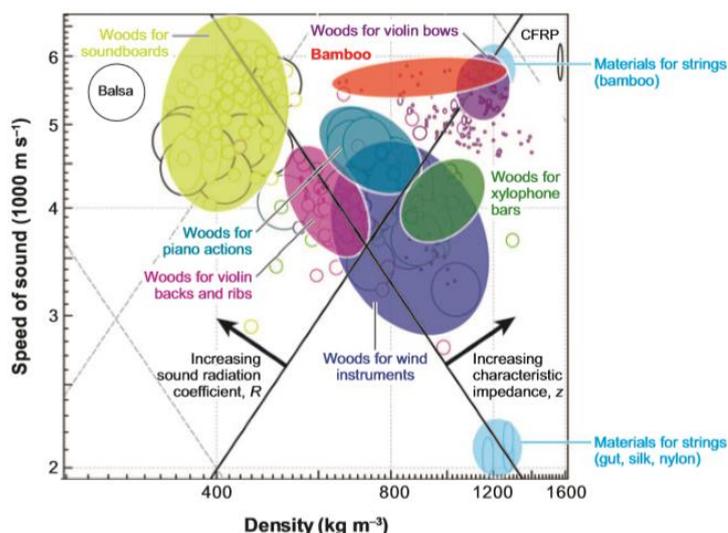


Figura 2. Análise da madeira e do bambu como materiais para instrumentos musicais, em um gráfico da velocidade do som x densidade (Fonte: WEGST, 2008).

3.6 Características Acústicas

Uma característica da madeira que a torna única em relação aos materiais usados pelo homem é que ela é um material ortotrópico, com propriedades únicas e independentes nas direções de corte e nos três eixos, longitudinal, radial e tangencial. O primeiro eixo é definido como paralelo às fibras, ou grã, assim, ao longo do comprimento do tronco de uma árvore; o segundo é perpendicular aos anéis de crescimento, e o tangencial é perpendicular à grã, mas tangente aos anéis de crescimento (WEGST, 2006).

A anisotropia é uma característica da madeira que pode ser analisada pelas propriedades acústicas, de acordo com as relações anatômicas. Os valores de resistência à propagação da onda sonora e de resistência à irradiação sonora podem ser determinados a partir de métodos acústicos, como ultra-som e propagação de ondas de tensão, embasados no módulo de elasticidade dinâmico da madeira (NETO, 2007).

Muitas propriedades físicas e mecânicas da madeira são correlacionadas com a densidade, sendo esta, quando analisada com o módulo de elasticidade paralelo às fibras, determinam a maior parte das propriedades acústicas de um material. As características acústicas mais importantes da madeira para instrumentos musicais são: velocidade do som que percorre o material, característica de impedância, coeficiente de radiação do som e o coeficiente de

perda. Abaixo há um gráfico entre módulo de elasticidade e densidade da madeira, demonstrando a correlação quase linear (Figura 3, WEGST, 2008)

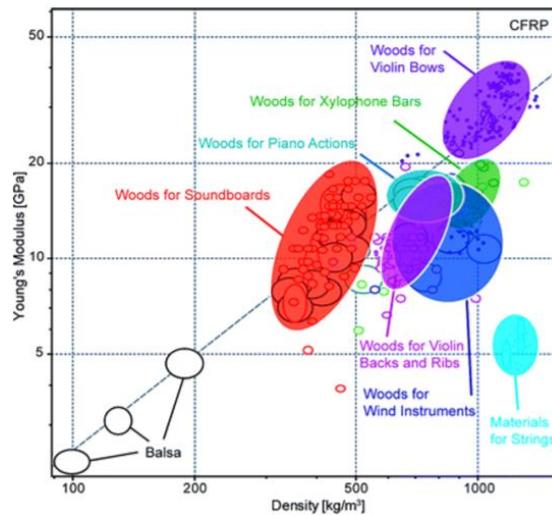


Figura 3. Gráfico do módulo de elasticidade paralelo às fibras x densidade de madeiras para instrumentos musicais (fonte: WEGST, 2006)

3.7 Velocidade do Som na Madeira (c)

A velocidade do som é descrita diretamente pelo módulo de elasticidade e densidade. É independente para espécies diferentes de madeira, mas varia com a grã. Geralmente, a velocidade do som decresce com o aumento do teor de umidade ou temperatura, de forma proporcional à influência destes sobre o módulo de elasticidade e densidade. Ela decresce suavemente com o aumento da frequência e com a amplitude de vibração (WEGST 2006, com citações de WOOD HANDBOOK, 1999). A velocidade, "c" com a qual o som atravessa o material, é definida como a raiz do módulo de elasticidade do material, "E", dividido pela densidade do material, ρ .

$$c = \sqrt{\left(\frac{E}{\rho}\right)}$$

3.8 Impedância Característica (Z)

A impedância do material, z é definida como o produto da velocidade do som do material c, pela densidade, ρ .

$$z = c * \rho = \sqrt{(E * \rho)}$$

3.9 Coeficiente de Radiação do Som (K)

O coeficiente de radiação do som, R, (ou K, dependendo do autor) descreve o quanto a vibração do som de um corpo é amortecida graças ao som irradiado, além de fornecer uma estimativa do fluxo de energia (volume) irradiado por instrumentos musicais. É dado pela razão da velocidade do som do material c, pela densidade, ρ .

$$R = c / \rho = \sqrt{\left(\frac{E}{\rho^3}\right)}$$

3.10 Coeficiente de Perda (η)

O coeficiente de perda, " η ", mede o decaimento com o qual o material dissipa sua energia vibracional por fricção interna. Essa propriedade depende da quantidade de extrativos, como um fator intrínseco da espécie de madeira e da temperatura e teor de umidade. Não há dependência da densidade e do módulo de elasticidade para o cálculo do coeficiente de perda. (SENRA, 2013). Outras medidas de amortecimento de energia incluem o fator de qualidade, "Q", o decaimento logarítmico, " δ " e o ângulo de perda, " ψ ". Para a excitação próxima da ressonância e pequeno damping, essas quantidades são relatadas de acordo com WEGST (2006), com citações de NEWLAND, 1989.

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

O volume, ou intensidade do som depende do quadrado da amplitude da vibração. A afinação do som de um instrumento musical é determinada pelo espectro de frequências que ele irradia e transmite para o ar. Cada corpo, ou instrumento, tem seu próprio conjunto de frequências, definidos pelo tamanho do corpo vibratório, do material que é feito e também da tensão, no caso de instrumentos de cordas.

O timbre e a qualidade do som que um corpo produz depende da presença de frequências próprias, também conhecidas como sobretons, ou harmônicos superiores, bem como de suas forças relativas. Quais sobretons são excitados depende do que causa a vibração do corpo, se é atingido por um bastão duro ou suave, ou se a vibração é causada por uma corda dedilhada, ou friccionada. Os harmônicos também dependem do formato do corpo e do material com que o corpo é feito (WEGST 2006).

Segundo SOUZA (2007), todo corpo possui uma frequência natural de vibração, e quando recebe um som, emitido por qualquer fonte sonora com mesmo valor para sua frequência natural, ele entra em ressonância e então vibra. Um fato interessante é que a madeira, apesar de possuir uma densidade de 5 a 10%, tem um comportamento semelhante para a velocidade de propagação dos metais.

Para se atingir a frequência natural de vibração (fr) e poder calcular o decaimento logarítmico, o método mais utilizado é o de vibração forçada. Segundo Hearmon (1968), esse método consiste na suspensão das amostras de madeira por um fio ou linha nos seus pontos nodais, sendo que nas extremidades destas, há chapas de metal fixadas, que serão aproximadas de dois transdutores. Um destes envia uma corrente alternada para permitir a vibração da madeira, enquanto que o outro recebe a resposta vibratória. Através da oscilação da

frequência da onda emitida pelo primeiro transdutor, é identificado um pico de vibração, que equivale à frequência natural de ressonância, ou de vibração da madeira.

$$DL = \frac{\pi * \Delta f}{\sqrt{3} * fr}$$

em que DL = decaimento logarítmico;

fr = frequência de ressonância, em Hz;

Δf = diferencial da frequência entre os pontos opostos, antes e depois do ponto de ressonância, no qual a amplitude de vibração cai para metade, com a frequência de "meia-amplitude", em Hz

O decaimento logarítmico mostra como é o amortecimento do pico de amplitude, se a ascensão e a queda se dão de maneira mais suavizada, ou brusca no sistema ressonante. De acordo com SOUZA(2007) apud I.P.T (2005), tal amortecimento se dá de forma logarítmica com o cessar da excitação, e dessa forma, quanto menor o valor para o decaimento, mais tempo o som permanecerá suspenso após a interrupção da fonte vibratória.

3.11 Característica de Impedância

Assim como a velocidade do som, essa propriedade é diretamente relacionada ao módulo de elasticidade e densidade do material. Essa característica é importante ao passo que a energia vibratória é transmitida de um meio com impedância $z1$ para outro com impedância $z2$. O primeiro meio poderia ser uma corda e o segundo o tampo de um violão. A razão entre a intensidade do som refletida, "Ir", pela intensidade incidente, "Io", pode ser expressada como uma função da impedância dos dois meios:

$$Ir/Io = \left(\frac{z2 - z1}{z2 + z1} \right)^2$$

Enquanto que a razão entre a intensidade sonora transmitida, "It" pela intensidade incidente é:

$$It/Io = \frac{4z2 * z1}{(z2 + z1)^2}$$

Dessas equações, percebe-se que a intensidade transmitida vai pra zero se há uma grande diferença entre $z1$ e $z2$, dessa forma, $z1 \ll z2$, ou $z2 \ll z1$ (WEGST 2006 apud FLETCHER & ROSSING, 1991).

A impedância do tampo é proporcional não apenas da característica de impedância do material que é feito, mas também ao quadrado da espessura do tampo. Como resultado, os tampos de grande espessura, como de pianos, por exemplo, tem impedância maior do que de tampos para instrumentos de corda. Para se alcançar um som de alta qualidade, a impedância dos tampos e das cordas deve ser controlada com cuidado. Além do que, a corda deve transmitir energia vibratória suficiente para o tampo, para fazer as cordas vibrarem de forma audível, enquanto a energia não deve ser transmitida nem de forma muito rápida, ou com grande esforço, causando apenas um baque sonoro.

3.12 Coeficiente de Radiação

O coeficiente de radiação do som descreve o quanto a vibração de um corpo é amortecido devido à radiação do som. Para xilofones e tampos de instrumentos, um coeficiente de radiação do som maior é mais indicado para que se tenha um som mais alto. É necessário maximizar a amplitude da resposta vibratória do tampo para uma dada força, dada através da seguinte equação, de acordo com WEGST, (2006):

$$Y = \frac{1}{4h^2} * \frac{3*(1-\nu^2)}{E*\rho},$$

no qual h é a espessura do tampo, ou da barra, e ν é a razão de Poisson do material que é feito.

Caso se queira maximizar a amplitude média ou a altura média de um violino por exemplo, para uma dada densidade modal e dimensões de tampos pré-determinadas, deve-se maximizar a combinação das propriedades dos materiais, definido como o coeficiente de radiação do som, R :

$$R = \sqrt{\frac{E}{\rho^3}}$$

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Material Lenhoso

As espécies de madeira amazônicas escolhidas nesse trabalho foram pré-selecionadas com base nas características físicas e mecânicas já estudadas e publicadas no banco de dados do IBAMA/LPF. Dentre estas, foram escolhidas madeiras que representassem os grupos de espécies de baixa, média e alta densidade, sendo estas: Gombeira, Breu-amescla, Taxi preto, Cuiarana e Amapá doce

- Breu-amescla (*Trattinnickia burserifolia*) (Mart) - Baixa densidade (0,55g/cm³);
- Taxi preto (*Tachigali myrmecophila*) (Ducke) - Baixa densidade (0,61 g/cm³);
- Amapá doce (*Brosimum parinarioides*) (Ducke) - Média densidade (0,74 g/cm³);
- Cuiarana (*Terminalia labrescens*) (Mart) - Alta densidade (1,02 g/cm³);
- Gombeira (*Swartzia laurifolia*) (Benth) - Alta densidade (1,2 g/cm³).

4.2 Tratamentos com Produtos de Acabamento

Os tratamentos foram realizados com as amostras secas, a 12% de umidade. Não foi feita a secagem em estufa, para aproximar às condições reais com a intenção de evitar possíveis danos causados pela secagem.

A composição dos produtos comerciais segundo os fabricantes possuía:

Seladora Sparlack 5203144: Resinas alquídicas modificadas, nitrocelulose, solventes do tipo hidrocarbonetos aromáticos, ésteres, álcoois, ésteres glicólicos, além de aditivos.

Thinner Sayerlack Professional DN. 4288QT: Álcool etílico, Acetato de etila, Etilbenzeno, Xileno, 1,2,4-trimetilbenzeno, Etiltolueno, 1,3,5-trimetilbenzeno, 1,2,3-trimetilbenzeno, Tolueno, Butilglicol, Acetonido de glicerol e contém Benzeno (CAS:71-43-2) numa concentração menor que 0,1% atendendo a Portaria interministerial nr 775.

Poliulack verniz marítimo Sayerlack brilhante SB. 2300. 00QT: Polímero alquídico modificado, óleos vegetais, hidrocarbonetos alifáticos, agentes tensoativos, secantes organometálicos e máximo 0,1% em volume de benzeno.

As amostras foram avaliadas nas seguintes condições:

- 1- Testemunha: amostras sem tratamento;
- 2- Tratamento 1: aplicação da solução de 1:1 com produto seladora comercial. A aplicação do produto foi feita com pincel. As superfícies das amostras foram lixadas com lixa grã 180 antes do uso do produto. Após a aplicação do produto, as amostras foram lixadas com lixa grã 220, removidos os resíduos e então foi realizada uma segunda aplicação do produto. As amostras foram deixadas posteriormente para secar por 24h em uma câmara de secagem;
- 3- Tratamentos 2 e 3: aplicação de verniz poliuretânico comercial. Foram realizadas duas aplicações do produto, sendo avaliados os efeitos do produto com uma (T2) e duas

(T3) demãos de aplicação. Para a primeira demão, os corpos-de-prova foram lixados com uma lixa grã 320 e deixados para secar por 24h. Para a segunda demão foi utilizada a lixa grã 380 e deixadas posteriormente para secar por 24h em uma câmara de secagem.

4.3 Teste Acústico

Os testes acústicos foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Madeira na UnB no departamento de Engenharia Florestal - EFL, e foi adotado o método de vibração forçada, proposto por Hearmon (1965), afim de se determinar a frequência natural de vibração (f_r) e o decaimento logarítmico (DL) das madeiras, pela seguinte fórmula:

$$DL = \frac{\pi * \Delta f}{\sqrt{3} * f_r}$$

em que DL = decaimento logarítmico;

f_r = frequência de ressonância, em Hz;

Δf = diferencial da frequência entre os pontos opostos, antes e depois do ponto de ressonância, no qual a amplitude de vibração cai para metade, com a frequência de "meia-amplitude", em Hz

Os corpos-de-prova possuíam 300 x 20 x 3 mm, no qual foram colados em apenas uma face, em suas extremidades, chapas de metal ferroso. A aplicação da seladora e do verniz foram feitas apenas na face oposta às chapas do metal, para que não houvesse interferência das resinas na captação das frequências induzidas pelo teste acústico.

Os corpos-de-prova foram doados pelo Laboratório de Produtos Florestais - LPF (IBAMA), com quantidade variável entre cada espécie, totalizando 43 amostras. Não foi escolhida uma quantidade exata pois havia amostras tangenciais, radiais e algumas com as duas orientações. Para o Amapá doce, só havia faces radiais. Foram analisadas 7 amostras de Breu-amescla; 6 amostras de Cuiarana; 7 amostras de Taxi preto; 5 amostras de Amapá doce e 18 amostras de Gombeira, mostradas da esquerda para a direita na Figura 4.



Figura 4. Corpos de prova de espécies de madeira tropical da Amazônia.

Foi utilizado um anteparo de madeira maciça (Figura 5), composto por um sensor e um excitador, ambos eletromagnéticos, sendo que cada um ficou disposto em uma extremidade do anteparo. Tais transdutores eletromagnéticos foram construídos a partir de telefones antigos, no qual foram desmontados e adaptados para a metodologia proposta por Hearmon (1965). Estes ficaram a uma distância fixa de 28 cm com duas estruturas suportes de fio de barbante à 10 cm das extremidades posicionados para suportar os corpos-de-prova em seus pontos nodais. Nas amostras de madeira foram aderidas as chapas de metal, de massa desprezível, que ficaram direcionadas aos transdutores, para a captação e transmissão da onda sonora.



Figura 5. Anteparo de madeira proposto para teste de vibração forçada proposto por Hearmon (1965).

O software para a captação das ondas utilizado foi o Cool Edit Pro 2, por ser um programa de áudio profissional e facilitar a observação das ondas sonoras senoidais geradas. Uma onda senoidal principal foi gerada com frequência ascendente e constante com início em 100 Hz e final 300 Hz por um período de 3 minutos, com amplitude constante e variação de até 0,01

Hz, 16 bits de definição e 44.100 pontos por segundo. Esta foi emitida por um dos transdutor eletromagnético e captada pelo outro, idêntico ao primeiro, percorrendo todo o corpo-de-prova. O volume de captação e altura relativa dos transdutores foram fixados para todas as amostras. Todo o sistema foi controlado pelo computador e as ondas geradas arquivadas no software utilizado. A Figura 6 ilustra o esquema empregado.

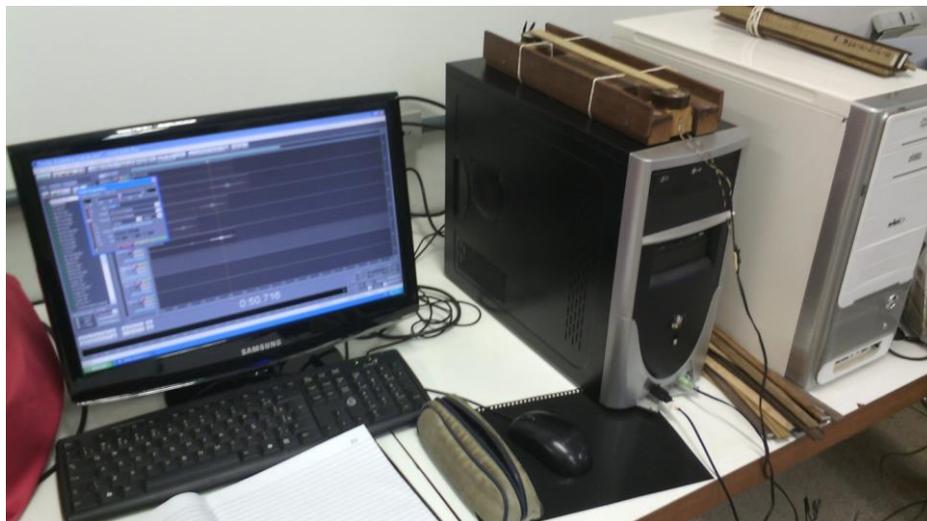


Figura 6. Testes acústicos no Software Cool Edit Pro 2.

O princípio do teste baseia-se em emitir uma frequência próxima à de vibração natural da madeira, a qual entra em ressonância. Após a emissão da onda, o software grava o pico de ressonância e gera o gráfico com ondas senoidais para cada amostra.

Os corpos-de-prova deviam ficar o mais próximo possível dos transdutores, evitando-se que eles se encostassem, para que houvesse a melhor captação da onda emitida pelo computador e assim houvesse a ressonância.

O software empregado possibilita ainda a análise de Fourier, por meio do processo "Fast-Fourier"- FFT, o qual identifica os picos dos harmônicos e suas frequências, indicando sempre a frequência fundamental e as suas complementares. Essa análise possibilita a avaliação do timbre.

4.4 Velocidade de Propagação Sonora

Para a avaliação da velocidade de propagação sonora foi empregado o equipamento stress wave timer, modelo 239A, produzido pela empresa Metriguard. Este equipamento apura o tempo de propagação de uma onda de tensão entre duas extremidades, passando pelo comprimento das amostras. Com a utilização de um conjunto de grampos, um pêndulo e uma esfera, a excitação da onda de tensão é gerada por meio do impacto do pêndulo e indicado o tempo transcorrido para a propagação da onda ao longo da amostra. Para o presente estudo, os grampos foram fixados a uma distância de 300mm em todas as amostras. A Figura 7 apresenta o equipamento empregado.

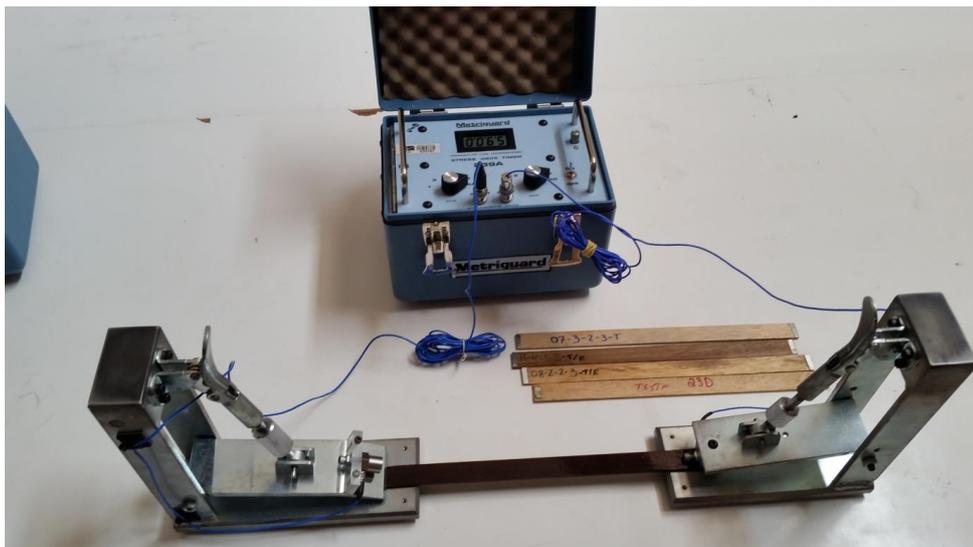


Figura 7. Aparelho de medição da velocidade de propagação de ondas de tensão.

4.5 Análise Estatística

O efeito da impregnação dos produtos de acabamento nas madeiras estudadas foram avaliados por meio de uma análise estatística descritiva e análise de variância (ANOVA). Posteriormente, as médias dos tratamentos foram analisadas por meio de teste de Tukey a 5% de significância.

5. Resultados e Discussões

5.1 Propriedades Acústicas

As Figuras 8 e 9 abaixo mostram o comportamento de uma onda com a curva característica da frequência fundamental da madeira.

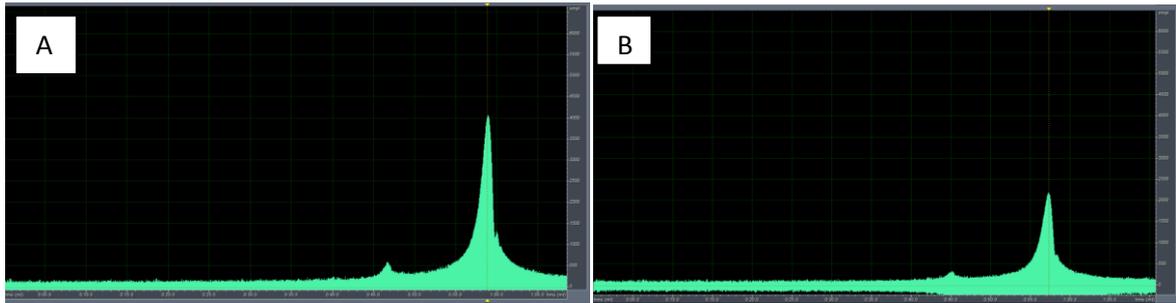


Figura 8. Exemplo de curva com o pico de ressonância para a Gombeira sem tratamento (A) e com segunda demão de verniz (B).

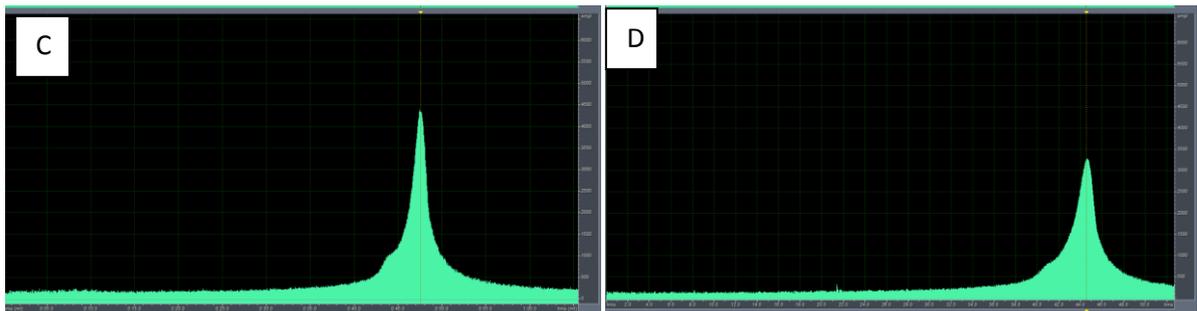
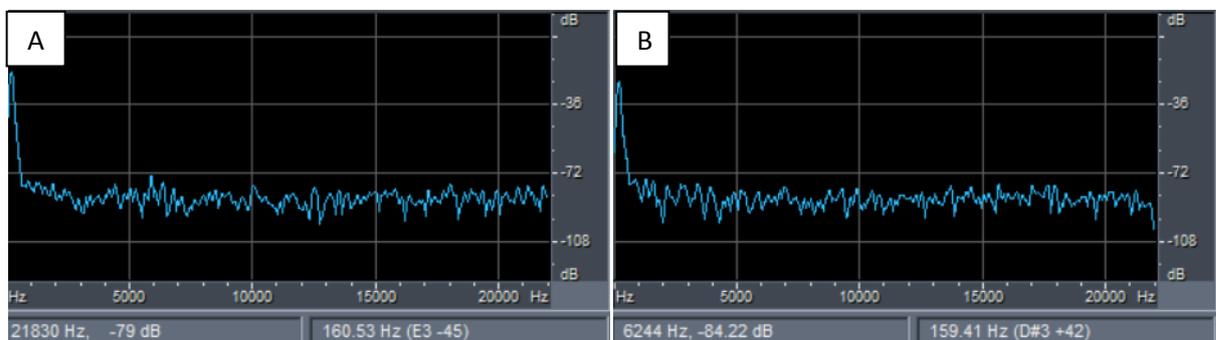


Figura 9. Exemplo de curva com o pico de ressonância para a espécie Breu-amescla sem tratamento (C) e com aplicação da segunda demão de verniz (D).

A figura 10 (A,B,C,D) abaixo mostra a análise de frequência para as espécies Gombeira sem tratamento (A) e com segunda demão (B) e Breu-amescla sem tratamento (C) e com segunda demão (D).



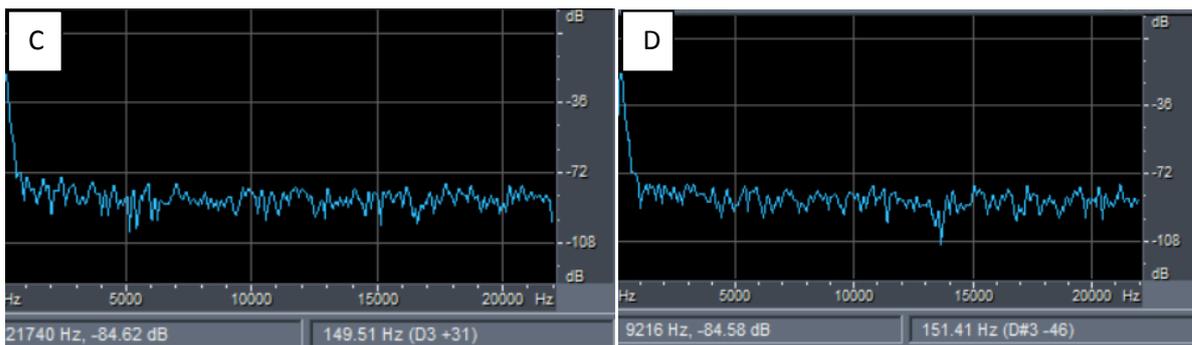
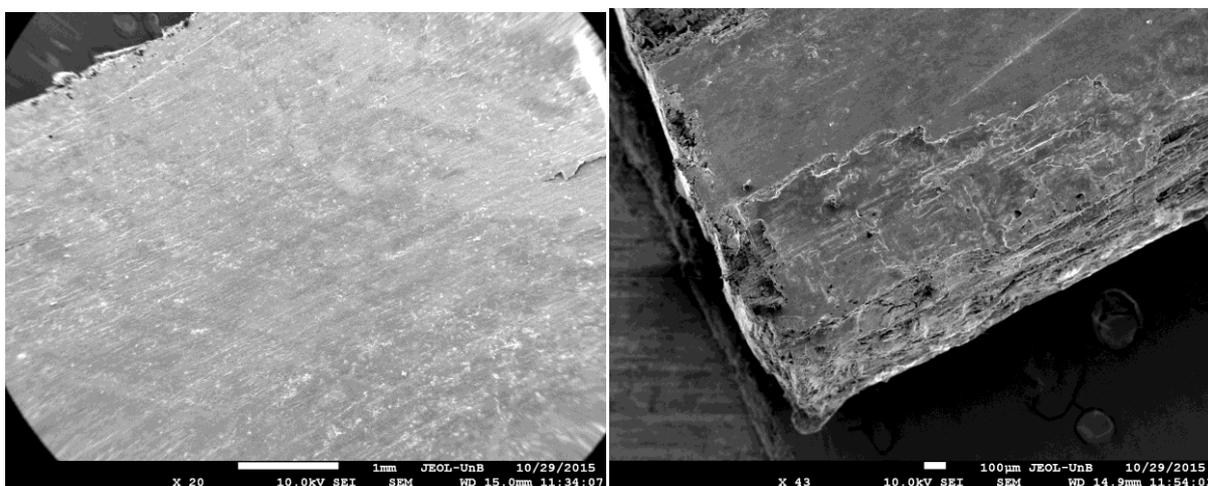


Figura 10. Análise de frequência para a espécie Gombeira sem tratamento (A) e com segunda demão de verniz (B) e Breu-amescla sem tratamento (C) e com segunda demão de verniz (D).

Através da figura 9 (A,B,C,D), percebe-se que houve diferença na amplitude da frequência de ressonância, como uma redução na captação da intensidade sonora ocasionada pela perda de energia vibracional, apesar de que a frequência se manteve próxima, como mostra na figura 10 (A,B,C,D).

5.2 Análise da Impregnação dos Tratamentos

Foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura (MEV), do centro de microscopia do Instituto de Biologia da UnB - IB. Este equipamento atinge uma resolução de 3 nm e ampliação de imagem de até 10 kV, com pressão controlada entre 3 a 500 Pa, software AZ Tech (Advanced), com detector tipo SDD de 80 mm². A impregnação do verniz foi analisada para as espécies Gombeira e Breu-amescla, que eram as madeiras com maior e menor densidade, respectivamente. Os tratamentos analisados foram seladora e segunda demão de verniz. Era necessário manter as amostras à vácuo por aproximadamente 3h antes de poder utilizar o MEV. As figuras 11 (A,B,C,D,E,F) e 12 (A,B,C,D,E,F) abaixo mostram o grau de impregnação dos produtos.



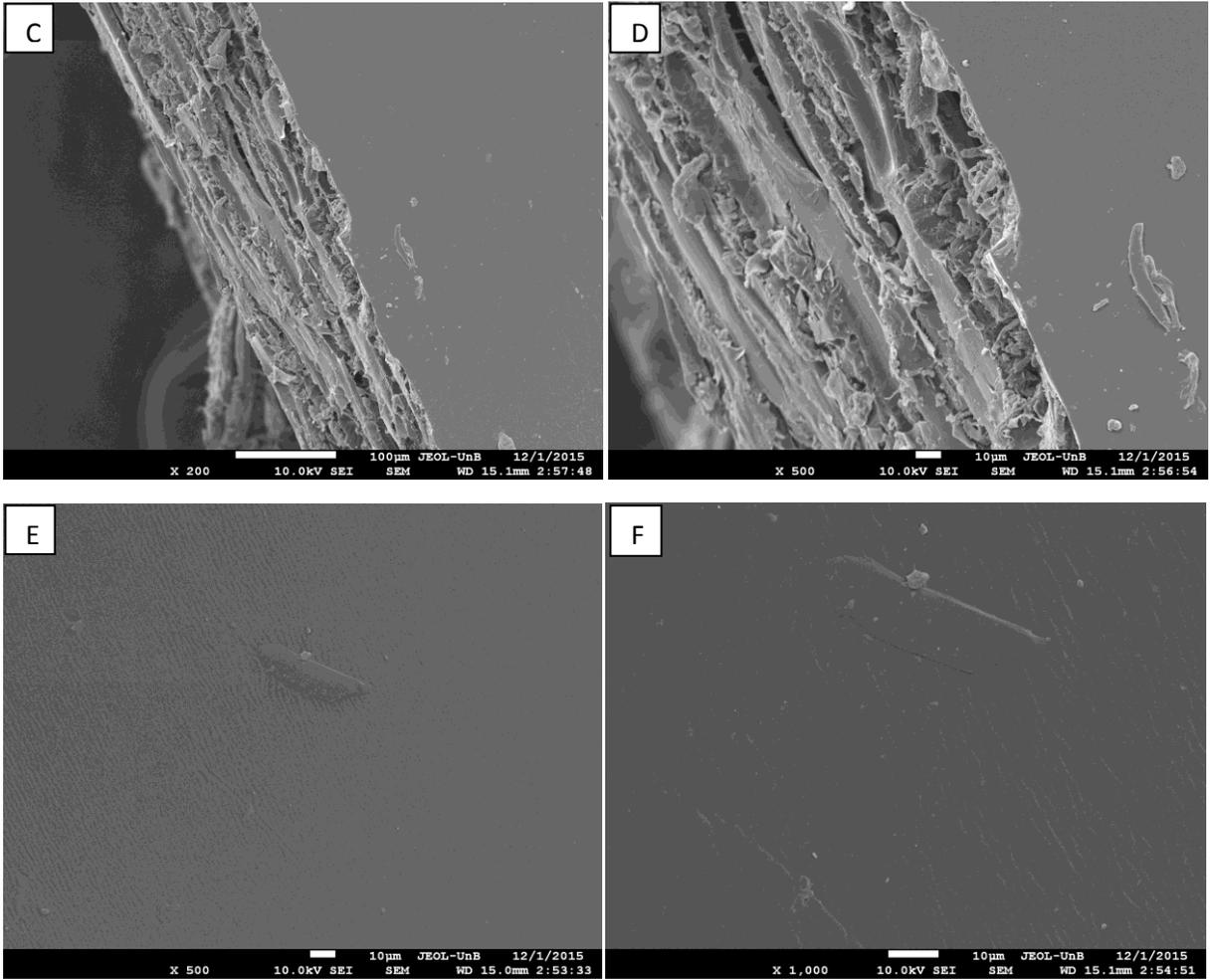
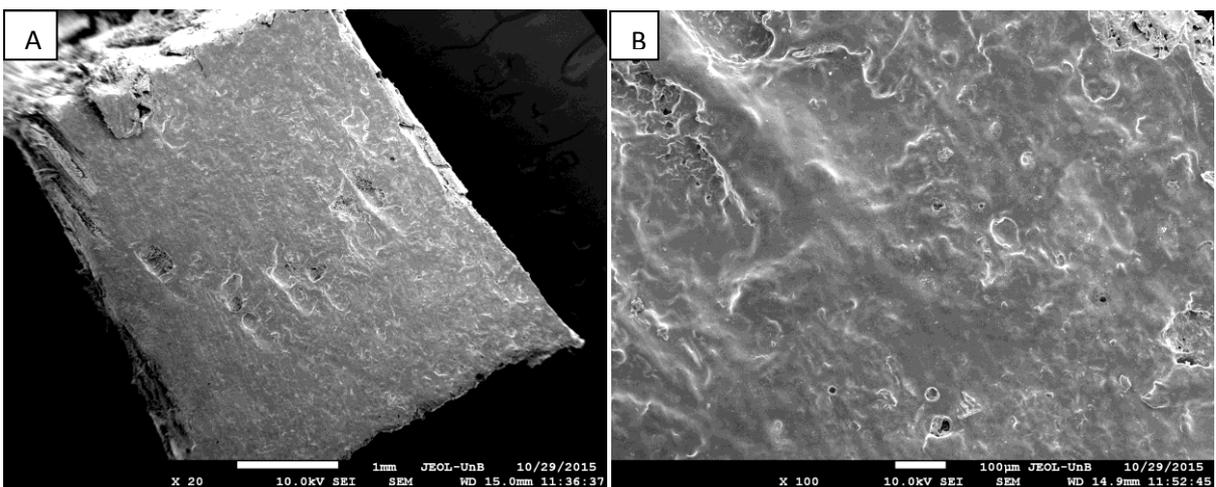


Figura 11. Amostras de Gombeira, com aplicação de seladora em uma aproximação de 20x (A) e 43x (B), e aplicação da 2ª demão de verniz na face lateral, em aproximação de 200x (C) e 500x (D) e 500x (E) e 1000x (F) da face de aplicação do produto.



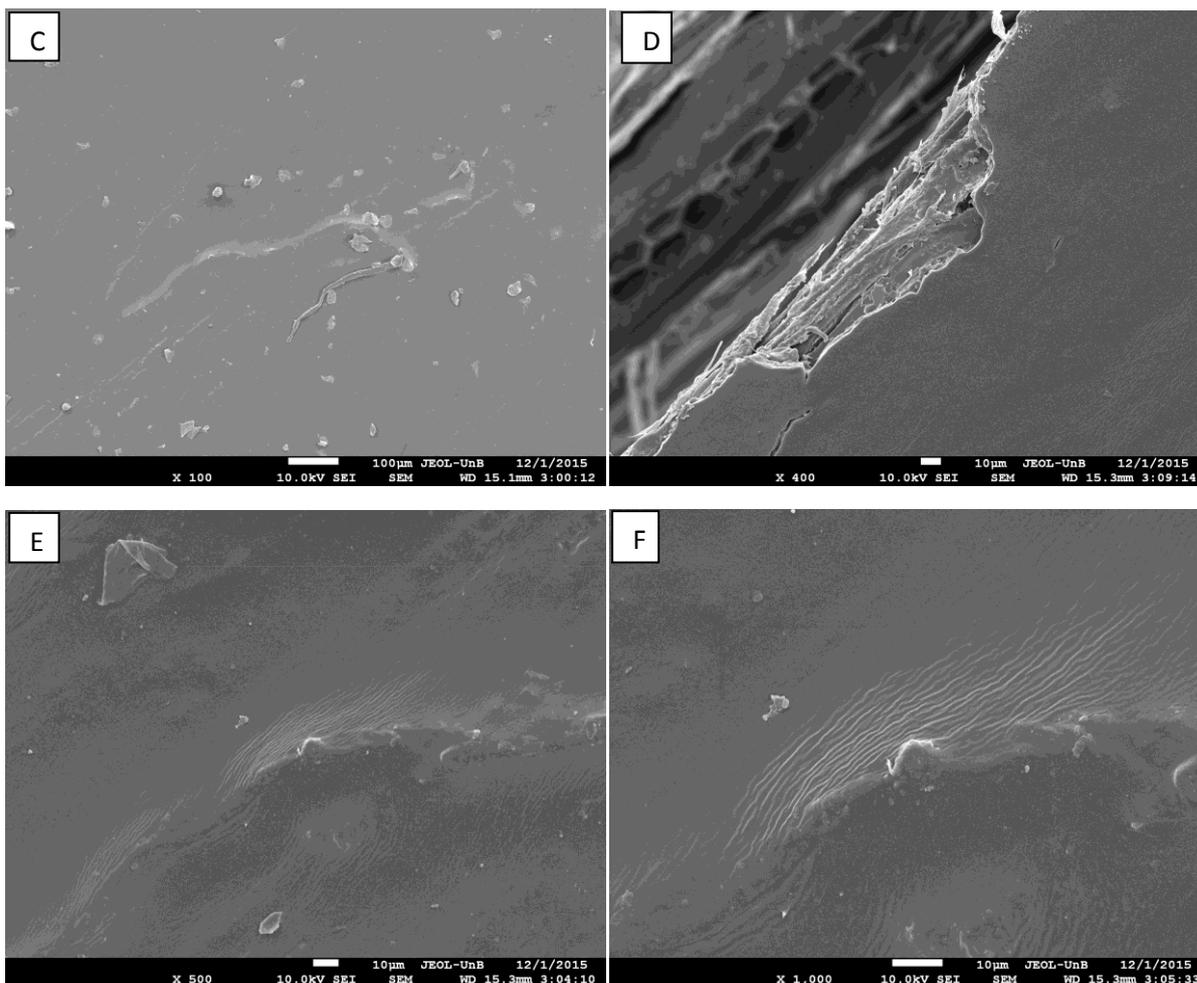


Figura 12. Amostras de Breu-amescla, com aplicação de seladora e aproximação de 20x (A) e 100x (B), e aplicação da 2ª demão de verniz, com zoom de 100x (C), 400x (D), 500x (E) e 1000x (F).

A superfície mais clara nas imagens mostra a fina camada superficial dos produtos de acabamento. Percebe-se que com a segunda demão, a impregnação do verniz, aplicado com pincel obteve bons resultados de homogeneização do produto.

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise descritiva das propriedades acústicas das madeiras estudadas, sem separação dos tratamentos de acabamento. As Tabelas 4 a 8 do Anexo I apresentam os resultados das ANOVA's e do teste de Tukey.

Tabela 1. Análise descritiva das propriedades acústicas para as espécies: Gombeira, Taxi preto, Cuiarana, Breu-amescla e Amapá doce, observando as faces radial e tangencial.

Espécie	Propriedade	Face	N	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Gombeira	DL	Radial	64	0,016	0,019	0,005	0,148
		Tangencial	8	0,014	0,003	0,010	0,020
	Frequência (Hz)*	Radial	64	152,5	3,7	147,0	160,0
		Tangencial	8	156,6	2,3	154,0	159,0

	C (m/s)	Radial	64	4457,8	183,4	3917,0	4830,0
		Tangencial	8	4476,8	132,5	4298,0	4623,0
Taxi preto	DL	Radial	12	0,010	0,004	0,005	0,018
		Tangencial	16	0,022	0,032	0,007	0,142
	Frequência (Hz)*	Radial	12	171,1	9,1	160,0	181,0
		Tangencial	16	152,1	5,9	145,0	162,0
	C (m/s)	Radial	12	4936,2	127,7	4780,0	5197,0
		Tangencial	16	4919,5	131,1	4632,0	5147,0
Cuiarana	DL	Radial	12	0,012	0,005	0,008	0,027
		Tangencial	12	0,013	0,003	0,008	0,019
	Frequência (Hz)*	Radial	12	141,9	15,6	120,0	153,0
		Tangencial	12	155,5	2,0	152,0	157,0
	C (m/s)	Radial	12	4541,4	170,7	4375,0	4812,0
		Tangencial	12	4667,5	146,1	4382,0	4858,0
Breu-amescla	DL	Radial	12	0,015	0,005	0,004	0,022
		Tangencial	16	0,013	0,004	0,007	0,020
	Frequência (Hz)*	Radial	12	163,2	35,8	114,0	191,0
		Tangencial	16	142,4	19,7	109,0	160,0
	C (m/s)	Radial	12	4999,6	537,4	4177,0	5469,0
		Tangencial	16	4692,3	521,6	3886,0	5362,0
Amapá doce	DL	Radial	20	0,0304	0,04661	0,007	0,167
	Frequência (Hz)		20	181,8	10,7	161	194
	C (m/s)		20	4775,8	184,7	4462	5258

* Apresenta diferença significativa ao nível de 5% de significância pela ANOVA.

É possível observar que apenas para a frequência ocorreu diferença significativa entre as faces radial e tangencial. Entretanto, não foi observado nenhum padrão quanto a qual dessas apresentou maior ou menor valor da propriedade. A madeira de Amapá doce possuía apenas amostras com orientação na direção radial. A partir desse resultado, as análises posteriores foram separadas em função da orientação das madeiras.

As Figuras 13, 14 e 15 apresentam os resultados separados por espécie, tratamento e propriedade acústica.

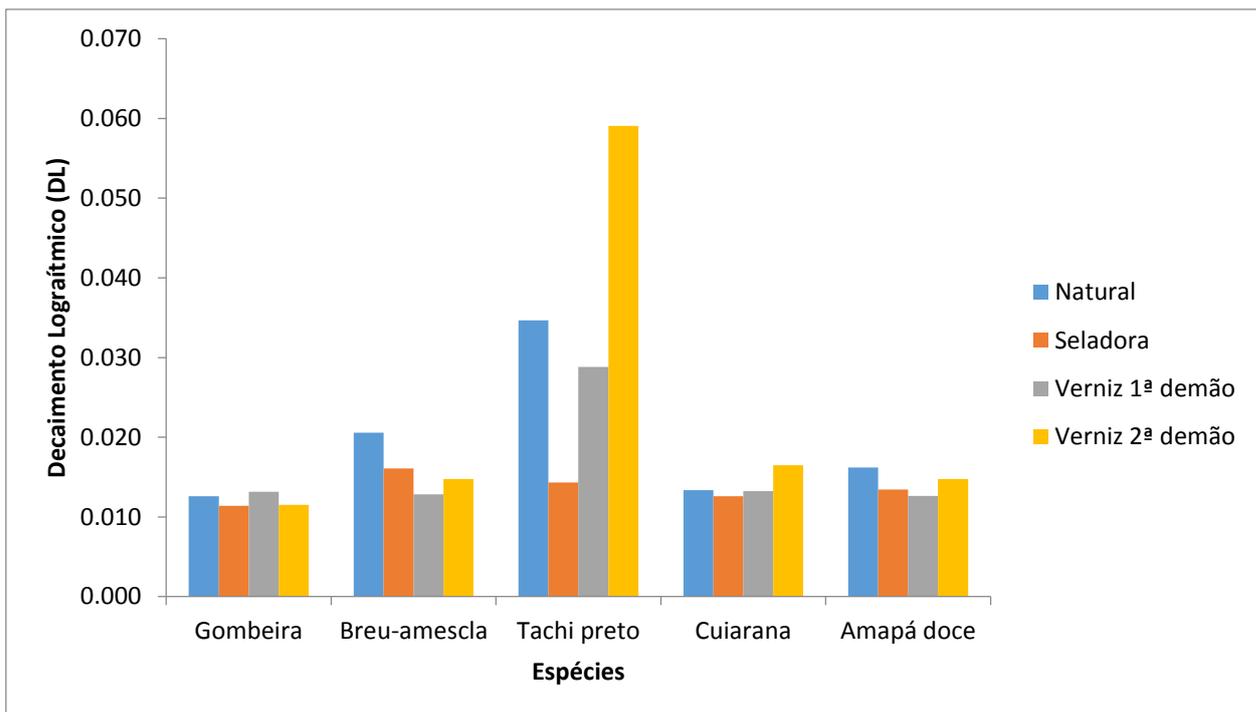


Figura 13: Decaimento Natural (DL) analisado por espécies: Gombeira, Breu-amescla, Taxi preto, Cuiarana e Amapá doce, com aplicação de diferentes tratamentos.

É possível perceber que para o Taxi preto, houve um grande acréscimo no DL da segunda demão (170%), entretanto, as demais espécies se mantiveram significativamente constantes, com valores abaixo de 0,020. Esse resultado pode ter ocorrido devido a diferenças nas características fenotípicas de cada indivíduo.

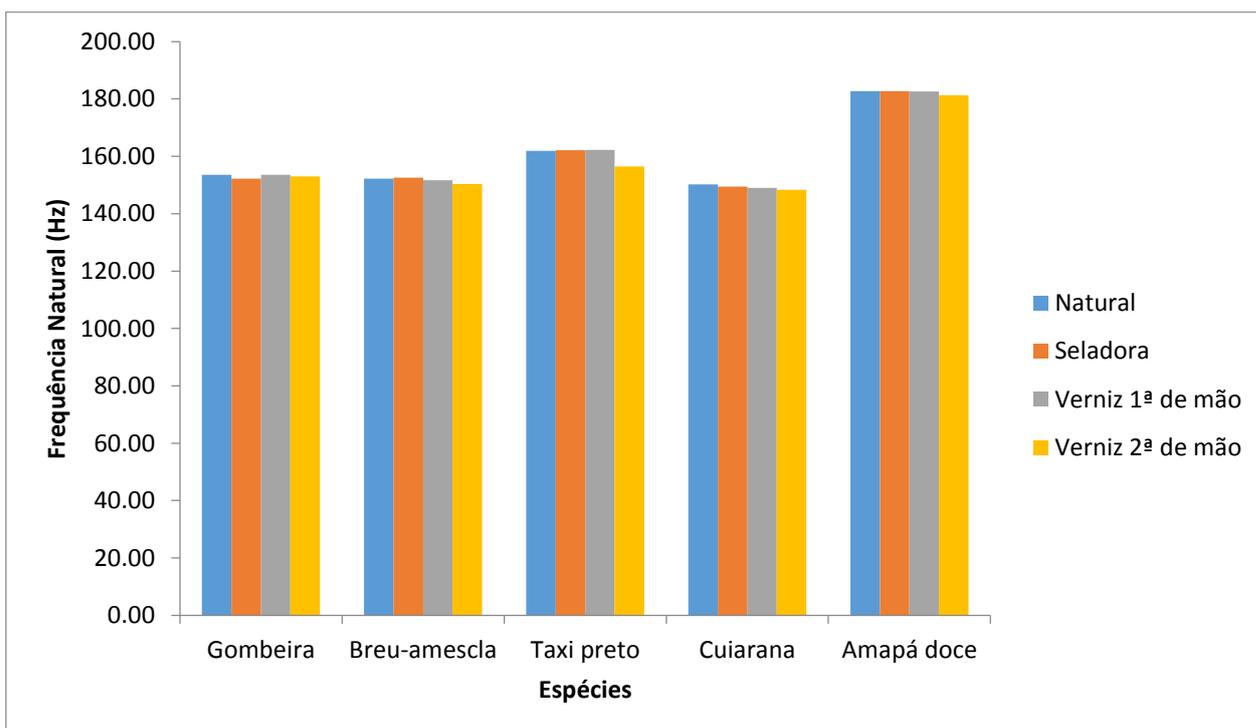


Figura 14: Frequência natural de ressonância (fr) em Hz, analisada para as espécies: Gombeira, Breu-amescla, Taxi preto, Cuiarana e Amapá doce, com aplicação de diferentes tratamentos.

Através do gráfico com o resultados da frequência de ressonância (Figura 13) é possível perceber que as espécies demonstraram um comportamento constante na medida em que os tratamentos foram aplicados, sem grandes variações significativas.

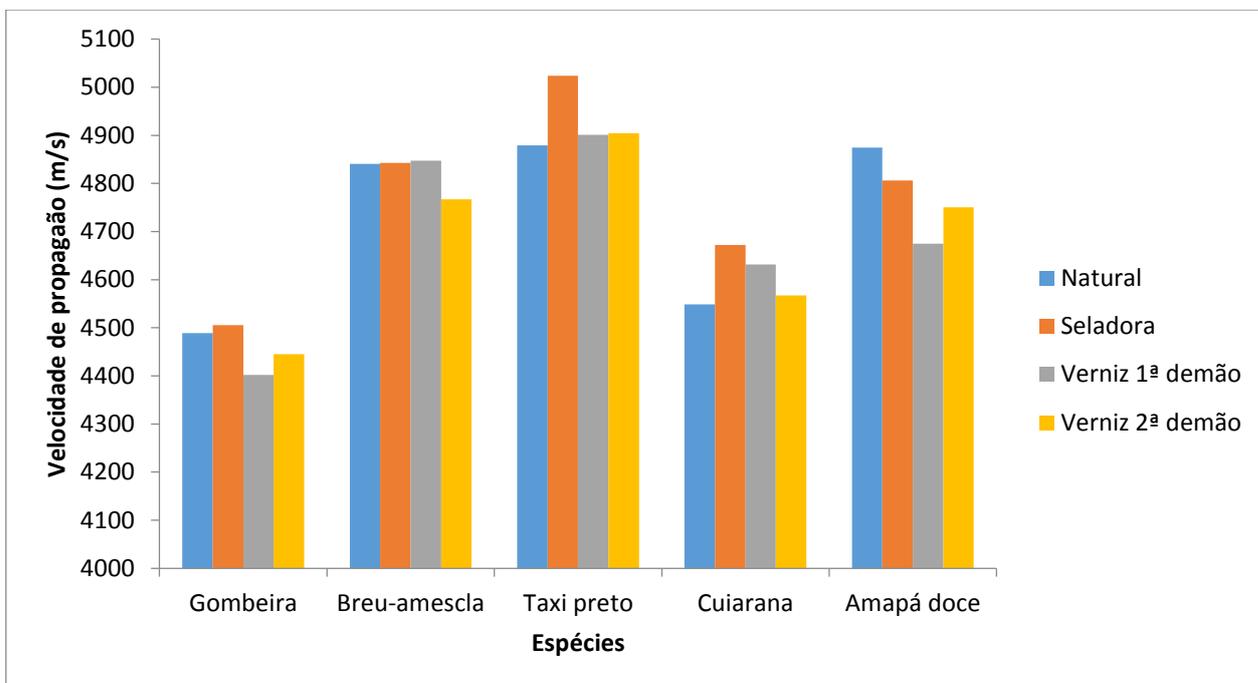


Figura 15: Velocidade de propagação sonora (C), em m/s, analisada para as espécies Gombeira, Breu-amescla, Taxi preto, Cuiarana e Amapá doce, com aplicação de diferentes tratamentos.

É possível perceber que há variações na velocidade de propagação sonora entre os tratamentos, e maiores diferenças entre espécies de massas diferentes, com relação inversa. Esse resultado é expressivo, uma vez que combinando-se a aplicação de produtos de acabamentos com diferentes espécies, têm-se alterações na acústica das madeiras.

A Tabela 2 apresenta o resultado da correlação de Pearson das propriedades acústica e a massa das amostras. Nas tabelas 9 a 14 do Anexo II encontram-se as demais correlações de Pearson para as faces radial e tangencial.

Tabela 2. Correlação de Pearson para massa, frequência de ressonância, velocidade de propagação sonora (C) e decaimento logarítmico (DL).

Madeira		Massa (g)	Frequência(Hz)	C (m/s)	DL
Gombeira	Massa (g)	1	0,513**	-,389**	-0,215
	Frequência (Hz)	0,513**	1	-0,148	-0,113
	C (m/s)	-0,389**	-0,148	1	0,173
	DL	-0,215	-0,113	0,173	1
Breu Amescla	Massa (g)	1	-0,192	-,436*	0,063
	Frequência (Hz)	-0,192	1	,914**	-0,189

	C (m/s)	-0,436*	0,914**	1	-0,189
	DL	0,063	-0,189	-0,189	1
Taxi Preto	Massa (g)	1	0,470*	-0,06	-0,079
	Frequência (Hz)	0,470*	1	-0,095	-0,236
	C (m/s)	-0,06	-0,095	1	0,262
	DL	-0,079	-0,236	0,262	1
Cuiarana	Massa (g)	1	-0,055	-0,317	-0,051
	Frequência (Hz)	-0,055	1	,467*	0,008
	C (m/s)	-0,317	0,467*	1	0,241
	DL	-0,051	0,008	0,241	1
Amapá Doce	Massa (g)	1	,568**	0,008	-0,114
	Frequência (Hz)	0,568**	1	,494*	0,268
	C (m/s)	0,008	0,494*	1	0,117
	DL	-0,114	0,268	0,117	1

*Significativo ao nível de 5% de significância.

**Significativo ao nível de 1% de significância

O ganho em massa das espécies de madeira tem correlação positiva com a frequência natural (com exceção para o Breu-amescla e Cuiarana), e correlação negativa com a velocidade de propagação do som (com exceção para a Cuiarana).

A correlação entre frequência de ressonância e velocidade de propagação do som foi variável, não obtendo um efeito único para as espécies.

Não houve correlação significativa para o decaimento logarítmico e velocidade de propagação do som.

A Tabela 3 apresenta os valores para máximo, mínimo e desvio padrão obtidos para os tratamentos, comparados com os dados de Souza et al (2007). Por meio dessa comparação, pode-se observar que os resultados encontrados para os testes acústicos foram satisfatório, e comparado ao trabalho de Souza (2007), indica bons potenciais das espécies de madeira utilizadas no trabalho para o uso em instrumentos musicais.

Tabela 3. Dados obtidos x Dados de Souza, 2007 para os tratamentos, analisando a frequência de ressonância, decaimento logarítmico (DL) e velocidade propagação sonora (C).

	Dados obtidos				Souza et al., 2007		
	Tratamento	Fr	DL	C	Fr	DL	C
Desvpad	Natural	17,56	0,022	342,34	15,10	0,005	352
Máximo	Natural	194,22	0,148	5470	207,3	0,037	5358
Mínimo	Natural	110,76	0,006	3956	145,3	0,016	3553
Desvpad	Seladora	17,48	0,005	315,79			
Máximo	Seladora	194,65	0,035	5339			
Mínimo	Seladora	111,03	0,005	3969			
Desvpad	Verniz 1ª de-	17,40	0,020	318,19			

	mão						
Máximo	Verniz 1ª de- mão	194,58	0,142	5339			
Mínimo	Verniz 1ª de- mão	110,53	0,004	3917			
Desvpad	Verniz 2ª de- mão	16,74	0,033	319,669			
Máximo	Verniz 2ª de- mão	192,38	0,167	5321			
Mínimo	Verniz 2ª de- mão	109,31	0,007	3887			

6. CONCLUSÕES

Foi possível observar que ocorrem variações acústicas de acordo com a variação do corte da madeira, sendo ele radial ou tangencial.

Madeiras com altos valores de velocidade de propagação sonora paralela às fibras geralmente são madeiras de baixa massa específica, fato encontrado nesse trabalho e na literatura, como uma correlação negativa a 1 e 5%

A aplicação dos tratamentos comerciais com produtos de acabamento não influenciou a frequência natural das madeiras. Esse fato leva a concluir também que não houve variações no timbre, apesar de que esta análise deve ser comprovada por uma FFT (Fast Fourier), que determina o timbre do instrumento através dos harmônicos.

O decaimento logarítmico sofreu variações significativas, apesar de não inviabilizar o uso das madeiras para instrumentos musicais após a aplicação dos tratamentos ($DL < 0,020$), com exceção do Taxi Preto. Tal fato significa que o som produzido com essa madeira irá se sustentar por menor tempo no ar, indicando um som mais opaco.

A aplicação da seladora e verniz poliuretânico, PU, como produtos de acabamento têm poder de boa impregnação da madeira, observados pela microscopia eletrônica, podendo ser analisado em trabalhos futuros o ganho em estabilidade dimensional com a impregnação de tais produtos.

As espécies tropicais amazônicas avaliadas obtiveram bons resultados acústicos, com grande potencial de uso em instrumentos musicais. Entretanto, as propriedades acústicas analisadas não são critérios definitivos para a escolha de espécies aptas para a confecção de instrumentos musicais, mas um indicativo da potencialidade dessas espécies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIRA, A.N.de. Comparação entre a produtividade do Brasil e Canadá para produção de madeira serrada. Curitiba, 2010.
- FAGUNDES, P.V. Utilização de espécies madeireiras amazônicas para fabricação do corpo da gaita diatônica. UnB – Departamento de Engenharia Florestal. Brasília, 2003.
- FERNANDES, G.A. Avaliação de madeiras brasileiras para utilização em guitarras elétricas. UnB – Departamento de Engenharia Florestal. Brasília, 2004
- FLORES, A.L.L. Análise de diferentes madeiras brasileiras em substituição às espécies tradicionais no violão clássico. Curitiba, 2015
- FOELKEL, C. E. B; BRASIL, M.A.M; BARRICHELO, L.E.G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas.IPEF n.2/3, p.65-74, 1971
- FRENCH,M., CHERNG, J. An Objective Method for Determining Soundboard Material Quality. Universityof Michigan-Dearborn. pag 740-745.
- GONÇALEZ, J.C., FÉLIX, T.L.F., GOUVEIA, F.N., CAMARGOS, J.A.A., RIBEIRO, P.G. Efeito da radiação ultravioleta na cor da madeira de freijó(*Cordia goeldiana* Huber) após receber produtos de acabamentos.Ciência Florestal, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 657-664, out.-dez., 2010
- HEARMON, R. F. S. The assessment of wood properties by vibration and high frequency acoustic waves. 2nd Symp NDT, Washington State University, p 49-66, 1965.
- http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/2.htm
- KOCAEFE, D., HUANG, X., KOCAEFE, Y. Dimensional Stabilization of wood. Wood Structure and Function, Topical Collection. Springer International Publishing. AG, 2015
- LUCHTEMBERG, P.H.Q. Resistência natural de dez espécies de madeiras amazônicas submetidas ao ataque de fungos apodrecedores em ensaio de laboratório. Brasília, 2013.
- NETO, A.L. Análise do som transmitido por madeiras de diferentes densidades.47 p, Lavras: UFLA, 2007.
- OLIVEIRA, F. G. R. DE, SALES, A. Efeito da densidade e do teor de umidade na velocidade ultra-sônica da madeira, LaMEM, EESC-USP; DECiv, UFSCar, 2005.
- PEREZ, P.L., BACHA, C.J.C. Evolução da produção e dos consumos interno e externo de madeira serrada do Brasil. Revista Agroanalyses (FGV), Agosto/2006 (vol. 26, nº 08)
- SBS. Sociedade Brasileira de Silvicultura. Fatos e Números do Brasil Florestal. 2008
- SENRA, J.B. Critérios físicos e seleção de madeira para tábua harmônica de piano. Brasília, 2013.
- SOUZA, M.R., SOUZA, M.H., CAMARGOS, J. A. A., TELES,R.F. Avaliação de madeiras amazônicas para utilização em instrumentos musicais. IBAMA/LPF. Brasília, 2007.

WEGST, U.G.K. Bamboo and wood in musical instruments. Department of materials science and engineering. Drexel University, Philadelphia, Pennsylvania 19104. Annu. Rev. Mater. Res. 2008. 38:323–49, 2008.

WEGST, U.G.K. Wood for sound. American Journal of Botany 93(10): 1439-1448. 2006

Anexo I - Análise de variância (ANOVA) das propriedades acústicas para as 5 espécies, considerando as faces radial e tangencial, submetidas a teste de Tukey.

ANOVA - Gombeira

			Sum ofSquar es	Df	Mean Square	F	Sig.
Radial	DL	BetweenGrou ps	0,002	3	0,001	1,92	0,136
		WithinGroups	0,02	60	0		
		Total	0,022	63			
Tangencia l	DL	BetweenGrou ps	0	3	0	0,349	0,793
		WithinGroups	0	4	0		
		Total	0	7			
Radial	Frequênci a (Hz)	BetweenGrou ps	3,547	3	1,182	0,081	0,970
		WithinGroups	878,313	60	14,639		
		Total	881,859	63			
Tangenci al	Frequênci a (Hz)	BetweenGrou ps	1,375	3	0,458	0,05	0,983
		WithinGroups	36,5	4	9,125		
		Total	37,875	7			
Radial	C (m/s)	BetweenGrou ps	101316	3	33771,9	1,004	0,397
		WithinGroups	2018364	60	33639,4		
		Total	2119680	63			
Tangenci al	C (m/s)	BetweenGrou ps	17614,5	3	5871,5	0,223	0,876
		WithinGroups	105231	4	26307,8		
		Total	122846	7			

Tabela 4. Análise de variância das propriedades acústicas para as faces radial e tangencial da Gombeira

Taxi preto - ANOVA

			Sum ofSquares	Df	Mean Square	F	Sig.
Radial	DL	BetweenGroups	0	3	0	0,747	0,554
		WithinGroups	0	8	0		
		Total	0	11			
Tangencial	DL	BetweenGroups	0	3	0	0,991	0,43
		WithinGroups	0	12	0		
		Total	0	15			
Radial	Frequência (Hz)	BetweenGroups	11	3	3,667	0,002	1
		WithinGroups	14112,7	8	1764,083		
		Total	14123,7	11			
Tangencial	Frequência (Hz)	BetweenGroups	9,688	3	3,229	0,007	0,999
		WithinGroups	5830,25	12	485,854		
		Total	5839,94	15			
Radial	C (m/s)	BetweenGroups	41581,6	3	13860,53	0,035	0,99
		WithinGroups	3134703	8	391837,9		
		Total	3176285	11			
Tangencial	C (m/s)	BetweenGroups	33884,7	3	11294,9	0,033	0,991
		WithinGroups	4047337	12	337278,1		
		Total	4081221	15			

Tabela 5. Análise de variância das propriedades acústicas para as faces radial e tangencial do Breu-amescla

Taxi preto - ANOVA

			Sum ofSquares	df	Mean Square	F	Sig.
Radial	DL	BetweenGroups	0	3	0	0,656	0,601
		WithinGroups	0	8	0		
		Total	0	11			
Tangencial	DL	BetweenGroups	0,003	3	0,001	0,865	0,486
		WithinGroups	0,013	12	0,001		
		Total	0,016	15			
Radial	Frequência (Hz)	BetweenGroups	242,917	3	80,972	0,973	0,452
		WithinGroups	666	8	83,25		
		Total	908,917	11			
Tangencial	Frequência (Hz)	BetweenGroups	15,688	3	5,229	0,123	0,945
		WithinGroups	511,25	12	42,604		
		Total	526,937	15			
Radial	C (m/s)	BetweenGroups	23356,333	3	7785,444	0,399	0,757
		WithinGroups	155949,33	8	19493,67		
		Total	179305,67	11			
Tangencial	C (m/s)	BetweenGroups	71881,5	3	23960,5	1,546	0,254
		WithinGroups	186034,5	12	15502,88		
		Total	257916	15			

Tabela 6. Análise de variância das propriedades acústicas para as faces radial e tangencial do Taxi preto.

Cuiarana - ANOVA

		Sum ofSquares	Df	Mean Square	F	Sig.
--	--	------------------	----	----------------	---	------

Radial	DL	BetweenGroups	0	3	0	1,486	0,29
		WithinGroups	0	8	0		
		Total	0	11			
Tangencial	DL	BetweenGroups	0	3	0	0,797	0,529
		WithinGroups	0	8	0		
		Total	0	11			
Radial	Frequência (Hz)	BetweenGroups	0,25	3	0,083	0	1
		WithinGroups	2690,667	8	336,333		
		Total	2690,917	11			
Tangencial	Frequência (Hz)	BetweenGroups	11,667	3	3,889	0,933	0,468
		WithinGroups	33,333	8	4,167		
		Total	45	11			
Radial	C (m/s)	BetweenGroups	16276,92	3	5425,64	0,143	0,931
		WithinGroups	304126	8	38015,8		
		Total	320402,9	11			
Tangencial	C (m/s)	BetweenGroups	52643,67	3	17547,9	0,77	0,542
		WithinGroups	182233,3	8	22779,2		
		Total	234877	11			

Tabela 7. Análise de variância das propriedades acústicas para as faces radial e tangencial da Cuiarana.

Amapá doce (Face Radial)- ANOVA

		Sum ofSquares	Df	Mean Square	F	Sig.
DL	BetweenGroups	0,014	3	0,005	2,819	0,072
	WithinGroups	0,027	16	0,002		
	Total	0,041	19			
Frequência (Hz)	BetweenGroups	7,75	3	2,583	0,019	0,996

	WithinGroups	2200,8	16	137,55		
	Total	2208,55	19			
C (m/s)	BetweenGroups	107852,55	3	35950,85	1,065	0,392
	WithinGroups	540358	16	33772,375		
	Total	648210,55	19			

Tabela 8. Análise de variância das propriedades acústicas para a face radial do Amapá doce.

ANEXO II - Correlação de Pearson para as propriedades acústicas, considerando as faces radial e tangencial

Gombeira -Correlação de Pearson

		Correlations					
			Frequência (Hz)	DA (g/cm ³)	DL	C (m/s)	Massa (g)
Radial	Frequência (Hz)	Pearson Correlation	1	0,024	-0,106	-0,137	,479**
		Sig. (2-tailed)		0,853	0,405	0,279	0
		N	64	64	64	64	64
Tangencial	Frequência (Hz)	Pearson Correlation	1	-0,021	-0,269	-,826*	-0,413
		Sig. (2-tailed)		0,96	0,519	0,012	0,31
		N	8	8	8	8	8
Radial	DA (g/cm ³)	Pearson Correlation	0,024	1	-0,204	0,091	0,049
		Sig. (2-tailed)	0,853		0,106	0,473	0,7
		N	64	64	64	64	64
Tangencial	DA (g/cm ³)	Pearson Correlation	-0,021	1	-,716*	0,137	-0,419
		Sig. (2-tailed)	0,96		0,046	0,746	0,301

		N	8	8	8	8	8
Radial	DL	Pearson Correlation	-0,106	-0,204	1	0,18	-0,22
		Sig. (2-tailed)	0,405	0,106		0,155	0,081
		N	64	64	64	64	64
Tangencial	DL	Pearson Correlation	-0,269	-,716*	1	-0,007	0,354
		Sig. (2-tailed)	0,519	0,046		0,986	0,389
		N	8	8	8	8	8
Radial	C (m/s)	Pearson Correlation	-0,137	0,091	0,18	1	-,440**
		Sig. (2-tailed)	0,279	0,473	0,155		0
		N	64	64	64	64	64
Tangencial	C (m/s)	Pearson Correlation	-,826*	0,137	-0,007	1	0,091
		Sig. (2-tailed)	0,012	0,746	0,986		0,831
		N	8	8	8	8	8
Radial	Massa (g)	Pearson Correlation	,479**	0,049	-0,22	-,440**	1
		Sig. (2-tailed)	0	0,7	0,081	0	
		N	64	64	64	64	64
Tangencial	Massa (g)	Pearson Correlation	-0,413	-0,419	0,354	0,091	1
		Sig. (2-tailed)	0,31	0,301	0,389	0,831	
		N	8	8	8	8	8

** . Correlação significativa a a 1%.

* . Correlação significativa a 5%.

Tabela 9. Correlação de Pearson das propriedades acústicas entre as faces radial e tangencial para a Gombeira.

Breu-amescla - Pearson Correlation

Correlations

			Frequência (Hz)	DA (g/cm ³)	DL	C (m/s)	Massa (g)
Radial	Frequência (Hz)	Pearson Correlation	1	-0,121	-0,227	,976**	-,639*
		Sig. (2-tailed)		0,708	0,479	0	0,025
		N	12	12	12	12	12
Tangencial	Frequência (Hz)	Pearson Correlation	1	-0,114	-0,382	,898**	-0,01
		Sig. (2-tailed)		0,673	0,144	0	0,97
		N	16	16	16	16	16
Radial	DA (g/cm ³)	Pearson Correlation	-0,121	1	-0,379	-0,112	0,413
		Sig. (2-tailed)	0,708		0,225	0,73	0,182
		N	12	12	12	12	12
Tangencial	DA (g/cm ³)	Pearson Correlation	-0,114	1	0,225	-0,109	0,032
		Sig. (2-tailed)	0,673		0,403	0,688	0,905
		N	16	16	16	16	16
Radial	DL	Pearson Correlation	-0,227	-0,379	1	-0,128	-0,06
		Sig. (2-tailed)	0,479	0,225		0,692	0,853
		N	12	12	12	12	12
Tangencial	DL	Pearson Correlation	-0,382	0,225	1	-0,392	0,158
		Sig. (2-tailed)	0,144	0,403		0,133	0,559
		N	16	16	16	16	16
Radial	C (m/s)	Pearson Correlation	,976**	-0,112	-0,128	1	-0,57
		Sig. (2-tailed)	0	0,73	0,692		0,053
		N	12	12	12	12	12
Tangencial	C (m/s)	Pearson Correlation	,898**	-0,109	-0,392	1	-0,436
		Sig. (2-tailed)	0	0,688	0,133		0,091
		N	16	16	16	16	16
Radial	Massa (g)	Pearson Correlation	-,639*	0,413	-0,06	-0,57	1

		Sig. (2-tailed)	0,025	0,182	0,853	0,053	
		N	12	12	12	12	12
Tangencial	Massa (g)	Pearson Correlation	-0,01	0,032	0,158	-0,436	1
		Sig. (2-tailed)	0,97	0,905	0,559	0,091	
		N	16	16	16	16	16

** . Correlação significativa a a 1%.

* . Correlação significativa a 5%.

Tabela 10. Correlação de Pearson das propriedades acústicas entre as faces radial e tangencial para o Breu-amescla.

Taxi preto - PearsonCorrelation

Correlations

			Frequência (Hz)	DA (g/cm ³)	DL	C (m/s)	Massa (g)
Radial	Frequência (Hz)	Pearson Correlation	1	-0,157	-0,11	-0,247	0,069
		Sig. (2-tailed)		0,625	0,734	0,439	0,832
		N	12	12	12	12	12
Tangencial	Frequência (Hz)	Pearson Correlation	1	0,183	-0,095	-0,254	0,655**
		Sig. (2-tailed)		0,498	0,727	0,342	0,006
		N	16	16	16	16	16
Radial	DA (g/cm ³)	Pearson Correlation	-0,157	1	-0,148	-0,501	0,121
		Sig. (2-tailed)	0,625		0,646	0,097	0,708
		N	12	12	12	12	12
Tangencial	DA (g/cm ³)	Pearson Correlation	0,183	1	-0,119	-0,349	0,065
		Sig. (2-tailed)	0,498		0,661	0,186	0,81
		N	16	16	16	16	16
Radial	DL	Pearson Correlation	-0,11	-0,148	1	0,444	-0,204
		Sig. (2-	0,734	0,646		0,148	0,525

		tailed)					
		N	12	12	12	12	12
Tangencial	DL	Pearson Correlation	-0,095	-0,119	1	0,34	0,022
		Sig. (2-tailed)	0,727	0,661		0,197	0,937
		N	16	16	16	16	16
Radial	C (m/s)	Pearson Correlation	-0,247	-0,501	0,444	1	0,15
		Sig. (2-tailed)	0,439	0,097	0,148		0,641
		N	12	12	12	12	12
Tangencial	C (m/s)	Pearson Correlation	-0,254	-0,349	0,34	1	-0,232
		Sig. (2-tailed)	0,342	0,186	0,197		0,387
		N	16	16	16	16	16
Radial	Massa (g)	Pearson Correlation	0,069	0,121	-0,204	0,15	1
		Sig. (2-tailed)	0,832	0,708	0,525	0,641	
		N	12	12	12	12	12
Tangencial	Massa (g)	Pearson Correlation	0,655**	0,065	0,022	-0,232	1
		Sig. (2-tailed)	0,006	0,81	0,937	0,387	
		N	16	16	16	16	16

** . Correlação significativa a a 1%.

* . Correlação significativa a 5%.

Tabela 11. Correlação de Pearson das propriedades acústicas entre as faces radial e tangencial para o Taxi preto.

Cuiarana - Pearson Correlation

Correlations

			Frequência (Hz)	DA (g/cm ³)	DL	C (m/s)	Massa (g)
Radial	Frequência (Hz)	Pearson Correlation	1	0,012	0,018	0,436	0,408
		Sig. (2-tailed)		0,97	0,955	0,157	0,188

		N	12	12	12	12	12
Tangencial	Frequência (Hz)	Pearson Correlation	1	-0,11	-0,414	0,088	-0,063
		Sig. (2-tailed)		0,732	0,181	0,786	0,847
		N	12	12	12	12	12
Radial	DA (g/cm ³)	Pearson Correlation	0,012	1	-0,524	0,153	-0,009
		Sig. (2-tailed)	0,97		0,08	0,636	0,979
		N	12	12	12	12	12
Tangencial	DA (g/cm ³)	Pearson Correlation	-0,11	1	-0,109	-0,035	-0,184
		Sig. (2-tailed)	0,732		0,737	0,913	0,568
		N	12	12	12	12	12
Radial	DL	Pearson Correlation	0,018	-0,524	1	0,214	-0,193
		Sig. (2-tailed)	0,955	0,08		0,504	0,547
		N	12	12	12	12	12
Tangencial	DL	Pearson Correlation	-0,414	-0,109	1	0,326	0,272
		Sig. (2-tailed)	0,181	0,737		0,301	0,393
		N	12	12	12	12	12
Radial	C (m/s)	Pearson Correlation	0,436	0,153	0,214	1	-0,41
		Sig. (2-tailed)	0,157	0,636	0,504		0,185
		N	12	12	12	12	12
Tangencial	C (m/s)	Pearson Correlation	0,088	-0,035	0,326	1	0,215
		Sig. (2-tailed)	0,786	0,913	0,301		0,502
		N	12	12	12	12	12
Radial	Massa (g)	Pearson Correlation	0,408	-0,009	-0,193	-0,41	1
		Sig. (2-tailed)	0,188	0,979	0,547	0,185	
		N	12	12	12	12	12
Tangencial	Massa (g)	Pearson Correlation	-0,063	-0,184	0,272	0,215	1

		Sig. (2-tailed)	0,847	0,568	0,393	0,502	
		N	12	12	12	12	12

** . Correlação significativa a a 1%.

* . Correlação significativa a 5%.

Tabela 12. Correlação de Pearson das propriedades acústicas entre as faces radial e tangencial para a Cuiarana.

Amapá doce (Face Radial) - Pearson Correlation

Correlations

		Frequênci a(Hz)	DA (g/cm ³)	DL	C (m/s)	Massa (g)
Frequência(Hz)	Pearson Correlation	1	0,13	0,268	,494*	,568**
	Sig. (2-tailed)		0,584	0,253	0,027	0,009
	N	20	20	20	20	20
DA (g/cm ³)	Pearson Correlation	0,13	1	-0,261	-0,12	0,366
	Sig. (2-tailed)	0,584		0,266	0,616	0,112
	N	20	20	20	20	20
DL	Pearson Correlation	0,268	-0,261	1	0,117	-0,114
	Sig. (2-tailed)	0,253	0,266		0,624	0,634
	N	20	20	20	20	20
C (m/s)	Pearson Correlation	,494*	-0,12	0,117	1	0,008
	Sig. (2-tailed)	0,027	0,616	0,624		0,975
	N	20	20	20	20	20
Massa (g)	Pearson Correlation	,568**	0,366	-0,114	0,008	1
	Sig. (2-tailed)	0,009	0,112	0,634	0,975	
	N	20	20	20	20	20

**.

** . Correlação significativa a a 1%.

Tabela 13. Correlação de Pearson das propriedades acústicas para o Amapá doce.

Correlations							
			Frequência (Hz)	DA (g/cm ³)	DL	C (m/s)	Massa (g)
Radial	Frequência (Hz)	Pearson Correlation	1	-,226*	0,153	,663**	-,437**
		Sig. (2- tailed)		0,013	0,096	0	0
		N	120	120	120	120	120
Tangencial	Frequência (Hz)	Pearson Correlation	1	-0,079	-0,045	,585**	,347*
		Sig. (2- tailed)		0,576	0,753	0	0,012
		N	52	52	52	52	52
Radial	DA (g/cm ³)	Pearson Correlation	-,226*	1	-,209*	-0,122	0,172
		Sig. (2- tailed)	0,013		0,022	0,186	0,061
		N	120	120	120	120	120
Tangencial	DA (g/cm ³)	Pearson Correlation	-0,079	1	-0,156	-0,173	0,042
		Sig. (2- tailed)	0,576		0,269	0,221	0,767
		N	52	52	52	52	52
Radial	DL	Pearson Correlation	0,153	-,209*	1	0,086	-0,05
		Sig. (2- tailed)	0,096	0,022		0,352	0,587
		N	120	120	120	120	120
Tangencial	DL	Pearson Correlation	-0,045	-0,156	1	0,12	-0,077
		Sig. (2- tailed)	0,753	0,269		0,396	0,585
		N	52	52	52	52	52
Radial	C (m/s)	Pearson Correlation	,663**	-0,122	0,086	1	-,689**
		Sig. (2- tailed)	0	0,186	0,352		0

		N	120	120	120	120	120
Tangencial	C (m/s)	Pearson Correlation	,585**	-0,173	0,12	1	-,403**
		Sig. (2-tailed)	0	0,221	0,396		0,003
		N	52	52	52	52	52
Radial	Massa (g)	Pearson Correlation	-,437**	0,172	-0,05	-,689**	1
		Sig. (2-tailed)	0	0,061	0,587	0	
		N	120	120	120	120	120
Tangencial	Massa (g)	Pearson Correlation	,347*	0,042	-0,077	-,403**	1
		Sig. (2-tailed)	0,012	0,767	0,585	0,003	
		N	52	52	52	52	52

** . Correlação significativa a a 1%.

*. Correlação significativa a 5%.

Tabela 14. Correlação de Pearson entre as faces Radial e Transversal